

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO

**ESTRATIGRAFIA DE EVENTOS VOLCANICOS BASADA EN  
REGISTROS SEDIMENTARIOS POSTGLACIALES EN LA ZONA  
DEL LAGO EPULAFQUEN, PATAGONIA**

Autora:

**Lic. Julieta Cottet**

**2020**

Director:

Dr. Gustavo Villarosa

Director:

Dr. Leandro D'Elia

## Resumen

El objetivo principal de este trabajo consistió en la reconstrucción de la historia del volcanismo explosivo postglacial en el sector norte de Patagonia, a partir del análisis de tefras preservadas en sedimentos lacustres y expuestas en superficie, aplicando métodos estratigráficos, sedimentológicos, tefrocronológicos y geoquímicos. Se presenta una estratigrafía de eventos volcánicos como marco de referencia para estudios de peligrosidad volcánica asociada a la ZVS; y de aplicación en investigaciones paleoambientales y paleoclimáticas.

La zona de estudio se localiza en los alrededores del lago Epulafquen y sur del volcán Lanín, al SO de la provincia de Neuquén, Argentina. Se caracteriza por tener un importante sistema lacustre emplazado en valles profundos generados por los glaciares Pleistocenos. El área se encuentra bajo la influencia de eventos explosivos de varios volcanes de la Zona Volcánica Sur Central (ZVSC) con actividad postglacial reconocida. La dirección de los vientos dominantes del oeste favoreció el depósito de numerosos niveles de tefra en la región, tanto por caída directa como por removilización.

Se estudiaron testigos cortos (< 1 m de longitud) de la laguna Huaca Mamuil, del lago Huechulafquen y un testigo largo de la laguna Carirriñe (~ 7 m de longitud). En los testigos se midieron varios parámetros útiles para poder identificar los niveles de tefra y definir distintas unidades sedimentarias. Se analizaron muestras de tefra seleccionadas para determinar la composición geoquímica de elementos mayoritarios, traza y tierras raras (REE) con el fin de caracterizar y correlacionar los registros. La información geoquímica de los componentes juveniles de los numerosos niveles de tefra descriptos junto con la morfología de los vitroclastos obtenida utilizando el microscopio, SEI y BSEI y los datos geoquímicos publicados permitieron la identificación de las distintas fuentes volcánicas. Se elaboraron modelos cronológicos con dataciones radiocarbónicas AMS propias y edades modeladas publicadas de marcadores cronoestratigráficos que fueron identificados en los registros lacustres y en los perfiles de superficie estudiados. La aplicación de herramientas tefrocronológicas junto con las dataciones

radiocarbónicas AMS permitieron desarrollar una cronología que dio marco a los registros eruptivos de alta resolución de las lagunas Huaca Mamuil y Carirriñe.

Los resultados tefrocronológicos demuestran que la región estuvo expuesta a frecuentes eventos de caída piroclástica originados desde diversos centros eruptivos, tanto regionales como locales.

Los tres registros lacustres se correlacionaron a partir de cinco niveles de tefra con características conspicuas (morfología distintiva de vitroclastos, geoquímica, asociación mineral y posición estratigráfica) que fueron identificadas en los testigos y en superficie.

Se obtuvieron dos modelos cronológicos Bayesianos. El modelo cronológico de alta resolución desarrollado para la laguna Carirriñe abarca los últimos 12000 años y permitió datar los 70 niveles de tefra identificados. Se registraron dos periodos de una profusa actividad volcánica con eventos de gran magnitud ( $VEI \geq 4$ ) comprendidos entre los 12000 y 8000 años Cal AP y a partir de los 1800 años Cal AP hasta la actualidad. Entre estos dos periodos se registraron numerosas erupciones de menor magnitud ( $VEI < 4$ ). Dieciséis tefras se atribuyeron al volcán Villarrica. La tefra más joven representa los productos de las erupciones de 2015 de los volcanes Villarrica y Calbuco. Cuarenta y cuatro tefras se atribuyeron al Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco. Tres tefras se atribuyeron al Grupo Huanquihue; una de ellas corresponde a la erupción histórica del cono piroclástico Achen Ñiyeu. Tres tefras se atribuyeron a erupciones del volcán Quetrupillán. Una tefra se atribuyó al Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle y otra se relacionó con la erupción del volcán Chaitén denominada “*Chana Tephra*” o “Cha1” por Alloway et al. (2017) y Moreno et al. (2014), respectivamente.

El modelo cronológico desarrollado para el registro corto de la laguna Huaca Mamuil permitió datar los catorce niveles de tefra, de los cuales 6 corresponden a erupciones del volcán Lanín, cuatro al volcán Villarrica, uno al Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco, uno al volcán Antuco y uno a la erupción histórica del cono piroclástico Achen Ñiyeu (Grupo Huanquihue). Una tefra compuesta ubicada en la parte superior del registro corresponde a las erupciones de 2015 de los volcanes Villarrica y Calbuco. Este registro muestra claramente la profusa actividad volcánica explosiva que tuvo lugar en la región durante los últimos 1000 años.

A su vez, estos modelos cronológicos permitieron estimar las variaciones de las tasas de sedimentación a lo largo de los últimos 12000 años de la laguna Carirriñe y de los últimos 1000 años de la laguna Huaca Mamuil. Los que, junto con otros parámetros sedimentológicos y mineralógicos, fueron utilizados para comprender la dinámica de estos cuerpos lacustres y sacar conclusiones sobre las condiciones climáticas de la región. En los sedimentos de la laguna Carirriñe se identificaron cuatro unidades litológicas definidas por cambios en las tasas de sedimentación. En la base del registro las tasas son bajas (0,02 cm/año) lo que se atribuyó a la transición entre la última parte de la reversión fría Huelmo-Mascardi (Hajdas et al., 2003) a condiciones climáticas más secas inferidas para Patagonia durante el Holoceno temprano. Para el Holoceno medio las condiciones climáticas se tornaron más húmedas, lo que se vio reflejado en tasas de sedimentación más elevadas (0,058 cm/año). Durante los últimos 5000 años se incrementaron las precipitaciones en el norte de Patagonia como respuesta a un cambio y fortalecimiento de los vientos del oeste hacia el norte y un fortalecimiento de la variabilidad climática vinculada a los eventos ENSO. Esto favoreció que las corrientes de agua superficiales aportaran mayor cantidad de sedimentos a la cuenca. El incremento en la tasa de sedimentación (0,14 cm/año) continuó reflejando la tendencia en el incremento de la humedad efectiva. La posterior disminución de las tasas de sedimentación hacia el techo del testigo se atribuyó a dos pulsos fríos que tuvieron lugar durante el Holoceno tardío conocidos como “*Pequeña Edad de Hielo*”. Ambos eventos fríos fueron seguidos por condiciones climáticas más cálidas hasta las registradas actualmente.

## **Abstract**

The aim of this work is the reconstruction of the eruptive history of postglacial explosive volcanism in northern Patagonia, by means of the analysis of tephra layers preserved in lake sediments and surface exposures applying stratigraphic, sedimentological, tephrochronological and geochemical methods. A high resolution volcanic stratigraphy is presented as a framework for volcanic hazards associated with the SVZ as well as for paleoenvironmental and paleoclimatic investigations.

The study area is located in the Epulafquen and Curruhué valleys and southern volcán Lanín area, SW of Neuquén province, Argentina. It is characterized by a large and complex lake system emplaced in glacial valleys related to the Pleistocene glaciations. The area has been under the influence of postglacial explosive volcanic activity from volcanoes of the Central Southern Volcanic Zone (CSVZ). Prevailing westerly winds, favoured the deposition of several direct fallout tephra layers and remobilized deposits in the study area.

Short cores (< 1 m long) from laguna Huaca Mamuil, lago Huechulafquen, and a long core from laguna Carirriñe (~7 m long) were studied. Several useful parameters were measured in the cores to identify tephra layers and to define different sedimentary units. Selected tephra samples were analysed to determine major elements composition, trace and rare earth elements (REE), which were used for the characterization and the stratigraphic correlation purposes. The geochemical information from juvenile components of the numerous tephra layers described together with the glass morphology obtained using microscope, SEI and BSEI and published geochemical data allowed the identification of the different volcanic sources. Chronological models were elaborated with own AMS radiocarbon dates and published modelled ages of chronostratigraphic markers that were identified in the studied lacustrine records and on nearby exposures. The application of tephrochronological techniques with AMS radiocarbon dates allowed the development of a high resolution eruptive records for laguna Huaca Mamuil and laguna Carirriñe.

The tephrochronological results show that the region was exposed to frequent pyroclastic fallout events originated from several local as well as regional eruptive centres.

The three lake records were correlated using five tephra layers with conspicuous characteristics (distinctive morphology of glass shards, geochemistry, mineral association and stratigraphic position) that were identified in the cores and on exposures.

Two chronological models were obtained. The high-resolution chronological model developed for the laguna Carirriñe long record spans through the last 12000 years and allowed to date the 70 identified tephra layers. There were two periods of profuse volcanic activity with events of great magnitude ( $VEI \geq 4$ ) between 12000 and 8000 years Cal BP and from 1800 years Cal BP to present. Between these two periods there were several eruptions of lower magnitude ( $VEI < 4$ ). Sixteen tephras were attributed to volcán Villarrica. The youngest composite tephra represents the products of the 2015 eruptions of the Villarrica and Calbuco volcanoes. Forty four tephras were attributed to the Mocho-Choshuenco Volcanic Complex. Three tephras were attributed to the Huanquihue Group; one of which corresponds to the historic eruption of Achen Ñiyeu pyroclastic cone. Three tephras were attributed to eruptions of the volcán Quetrupillán, whereas one layer was attributed to the Puyehue-Cordón Caulle Volcanic Complex, and another tephra was related to the volcán Chaitén, named as “Chana Tephra” or “Cha1” by Alloway et al. (2017) and Moreno et al. (2014), respectively.

The chronological model developed for laguna Huaca Mamuil short core allowed the dating of fourteen tephra layers that were deposited during the last 1000 years, six of which correspond to Lanín volcano, four to the Villarrica volcano, one to the Mocho-Choshuenco Volcanic Complex, one to the Antuco volcano and one to the historical eruption of Achen Ñiyeu pyroclastic cone (Grupo Huanquihue). The composite tephra at the top of the record corresponds to the 2015 eruptions of Villarrica and Calbuco volcanoes. This record clearly shows the profuse explosive volcanic activity that took place in the region during the last 1000 years.

These chronological models also allowed estimating the variations of the sedimentation rates over the last 12000 years for laguna Carirriñe and for the last 1000 years for laguna Huaca Mamuil. Temporal dataset together with other sedimentological and

mineralogical parameters were used to understand the dynamics of lakes and draw conclusions about the climatic conditions of the region. Four lithological units defined by changes in sedimentation rates were identified in the sediments of laguna Carirriñe. The rates are low (0.02 cm/year) at the base of the record, which was attributed to the transition between the later part of the Huelmo-Mascardi Cold Reversal (Hajdas et al., 2003) to drier climatic conditions inferred for Patagonia during the early Holocene. For the middle Holocene, the climatic conditions turned more humid, which was reflected in higher sedimentation rates (0.058 cm/year). During the last 5000 years, rainfall in northern Patagonia increased in response to a change and strengthening of westerly winds to north and a strengthening of climate variability related to ENSO events. This favoured the surface water currents to contribute a greater quantity of sediments to the basins. The increase in the sedimentation rates (0.14 cm/year) continued, reflecting a trending related to the increasing of effective humidity. The subsequent decrease in sedimentation rates towards the top of the core was attributed to two cold pulses that occurred during the late Holocene known as "*Little Ice Age*". Both cold events were followed by warmer weather conditions than currently recorded.

## **Agradecimientos**

Agradezco a la UNLP por haber permitido formarme en esta magnífica profesión y en ella a todas las personas que de una y otra manera contribuyeron para la realización de esta tesis doctoral.

A mis directores Gustavo Villarosa y Leandro D’Elia por haber confiado en mí para la realización de este trabajo.

A Valeria Outes, por la dedicación en enseñarme las técnicas de laboratorio, por su apoyo y buena predisposición de ayudarme cada vez que lo necesité. Gracias por todas las charlas y sugerencias que contribuyeron a mejorar el manuscrito.

Gracias a mis compañeros de campo, sin su colaboración este trabajo hubiese sido mucho más complicado y menos entretenido.

Este trabajo va especialmente dedicado a mi mamá, mi papá, mis hermanas e Ismael, siempre me acompañaron y confiaron en mí. Gracias por todo su apoyo!

Gracias a todos mis maestros por creer en la educación y en lo personal, poder disfrutar y aprovechar al máximo cada oportunidad que se me presentó.

Los trabajos realizados en esta tesis fueron financiados por los proyectos PICT 2010-2046 (“Volcanismo explosivo y fenómenos catastróficos asociados en Norpatagonia Andina: Recurrencia y peligrosidad”), PICT 2016-0084 (“Las caídas piroclásticas como eventos de disturbio en sistemas fluviales y fluvio-lacustres de Patagonia Norte: análisis de impactos y recurrencia”) y PICT 2015-1322 (“Deslizamientos subacuáticos en deltas lacustres en el contexto de la evaluación de peligrosidad de tsunamis: hacia una gestión del riesgo en localidades costeras de los grandes lagos patagónicos”). Así como también por los proyectos de investigación PIN I B191 (“Medioambiente y sociedad. Peligros naturales y vulnerabilidad en poblaciones de Patagonia Andina”) y PIN I – 04/B226 (“Problemáticas ambientales asociadas a volcanismo explosivo y fenómenos tsunamigénicos en Norpatagonia Andina: hacia la reducción de la vulnerabilidad”) de la Universidad Nacional del Comahue – Centro Regional Universitario Bariloche (CRUB).

## INDICE GENERAL

|   |     |
|---|-----|
| <b>Resumen</b> .....  | I   |
| <b>Abstract</b> .....   | IV  |
| <b>Agradecimientos</b> .....  | VII |
| <br>  |     |
| <b>Capítulo 1. Introducción</b> .....   | 1   |
| <b>1.1. Objetivos</b> .....   | 5   |
| 1.1.1. Objetivo general .....   | 5   |
| 1.1.2. Objetivos específicos .....  | 5   |
| <b>1.2. Ubicación de la zona de estudio</b> .....                               | 6   |
| <b>1.3. Marco geológico</b> .....   | 10  |
| <b>1.4. Marco estructural</b> .....   | 15  |
| <b>1.5. Volcanismo explosivo postglacial en la ZVS</b> .....                    | 19  |
| <b>1.6. El clima en Patagonia</b> .....   | 22  |
| <br>  |     |
| <b>Capítulo 2. Metodología</b> .....  | 24  |
| <b>2.1. Tareas de campo</b> .....   | 24  |
| 2.1.1. Geología de campo .....  | 24  |
| 2.1.2. Extracción de testigos sedimentarios lacustres.....                      | 25  |
| <b>2.2. Tareas de laboratorio</b> .....   | 27  |
| 2.2.1. Análisis de testigos sedimentarios lacustres .....                       | 27  |
| 2.2.2. Susceptibilidad magnética (SM).....                                      | 28  |
| 2.2.3. Determinación del contenido de agua, materia orgánica y carbonatos ..... | 29  |
| 2.2.4. Análisis de facies .....   | 32  |
| 2.2.4.1. Análisis de tefras .....   | 32  |
| 2.2.5. Geoquímica.....  | 33  |
| 2.2.5.1. Elementos mayores.....   | 33  |
| 2.2.5.2. Elementos traza y tierras raras (REE).....                             | 34  |
| 2.2.6. Dataciones <sup>14</sup> C AMS y modelo cronológico .....                | 34  |
| <br>  |     |
| <b>Capítulo 3. Resultados</b> .....   | 36  |
| <b>3.1. Laguna Huaca Mamuil</b> .....   | 36  |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.1.1. Ubicación.....  | 36        |
| 3.1.2. Testigos lacustres.....   | 37        |
| 3.1.3. Descripción de los sedimentos .....                                     | 37        |
| 3.1.4. Susceptibilidad magnética (SM).....                                     | 39        |
| 3.1.5. Contenido de agua, materia orgánica (MO) y carbonatos .....             | 41        |
| 3.1.6. Descripción y caracterización morfológica de los niveles de tefra. .... | 41        |
| 3.1.7. Caracterización geoquímica de los niveles de tefra.....                 | 53        |
| 3.1.7.1. Elementos mayores.....  | 53        |
| 3.1.7.2. Elementos traza y tierras raras (REE).....                            | 59        |
| 3.1.8. Edades <sup>14</sup> C AMS y modelo cronológico.....                    | 61        |
| <b>3.2. Lago Huechulafquen .....</b>   | <b>67</b> |
| 3.2.1. Ubicación.....  | 67        |
| 3.2.2. Testigos lacustres.....   | 68        |
| 3.2.3. Descripción de los sedimentos .....                                     | 69        |
| 3.2.4. Susceptibilidad magnética (SM).....                                     | 70        |
| 3.2.5. Contenido de agua, materia orgánica (MO) y carbonatos .....             | 70        |
| 3.2.6. Descripción y caracterización morfológica de los niveles de tefra ..... | 72        |
| 3.2.7. Caracterización geoquímica de los niveles de tefra.....                 | 79        |
| 3.2.7.1. Elementos mayores.....  | 79        |
| 3.2.7.2. Elementos traza y tierras raras (REE).....                            | 83        |
| 3.2.8. Edades <sup>14</sup> C AMS.....   | 85        |
| <b>3.3. Laguna Carirriñe.....</b>  | <b>87</b> |
| 3.3.1. Ubicación.....  | 87        |
| 3.3.2. Testigos lacustres.....   | 88        |
| 3.3.3. Descripción de los sedimentos .....                                     | 90        |
| 3.3.4. Susceptibilidad magnética (SM).....                                     | 91        |
| 3.3.5. Contenido de agua, materia orgánica (MO) y carbonatos .....             | 91        |
| 3.3.6. Descripción y caracterización morfológica de los niveles de tefra ..... | 93        |
| 3.3.7. Caracterización geoquímica de los niveles de tefra.....                 | 107       |
| 3.3.7.1. Elementos mayores.....  | 107       |
| 3.3.7.2. Elementos traza y tierras raras (REE).....                            | 114       |
| 3.3.8. Edades <sup>14</sup> C AMS y modelo cronológico.....                    | 116       |

|  |     |
|--|-----|
| <b>3.4. Tefras expuestas en superficie</b> .....                               | 126 |
| 3.4.1. Depósito piroclástico del flanco NE del volcán Lanín .....              | 126 |
| 3.4.2. Sección estratigráfica en la costa sur del Lago Tromen .....            | 131 |
| 3.4.2.1. Ubicación.....  | 131 |
| 3.4.3. Secciones estratigráficas en el valle de Curruhué y Epulafquen.....     | 141 |
| 3.4.3.1. Sección estratigráfica Cu1 .....                                      | 143 |
| 3.4.3.2. Sección estratigráfica Cu2 .....                                      | 145 |
| 3.4.3.3. Sección estratigráfica Cu8 .....                                      | 148 |
| 3.4.3.4. Sección estratigráfica Cu7 .....                                      | 149 |
| 3.4.3.5. Sección estratigráfica Cu18-1.....                                    | 150 |
| 3.4.3.6. Sección estratigráfica Cu3 .....                                      | 151 |
| 3.4.3.7. Sección estratigráfica Cu3-2.....                                     | 153 |
| 3.4.3.8. Sección estratigráfica Cu5 .....                                      | 154 |
| 3.4.3.9. Sección estratigráfica Cu15 .....                                     | 155 |
| 3.4.4. Correlación de secciones estratigráficas.....                           | 157 |
| 3.4.5. Erupciones recientes con impacto en la zona de estudio.....             | 159 |
| 3.4.5.1. Erupción del volcán Villarrica 2015.....                              | 159 |
| 3.4.5.2. Erupción del volcán Calbuco 2015.....                                 | 162 |
| 3.4.6. Caracterización geoquímica de las tefras de superficie.....             | 164 |
| 3.4.6.1. Elementos mayores.....  | 164 |
| 3.4.6.1.1. Depósito piroclástico del flanco NE del volcán<br>Lanín.....        | 164 |
| 3.4.6.1.2. Perfil LT-1/LT-2.....   | 166 |
| 3.4.6.1.3. Perfil Cu15.....  | 168 |
| 3.4.6.2. Elementos traza y tierras raras (REE).....                            | 169 |
| 3.4.6.1. Erupción del volcán Villarrica 2015.....                              | 169 |
| <br>   |     |
| <b>3.5. Centros eruptivos menores</b> .....                                    | 172 |
| 3.5.1. Cono La Angostura.....  | 172 |
| 3.5.1.1. Ubicación.....  | 172 |
| 3.5.1.2. Descripción y caracterización morfológica de los<br>componentes ..... | 174 |
| 3.5.2. Cono Achen Ñiyeu .....  | 176 |
| 3.5.2.1. Ubicación.....  | 176 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.5.2.2. Descripción y caracterización morfológica de los componentes .....                                     | 179        |
| 3.5.3. Caracterización geoquímica de los centros eruptivos menores .....  | 180        |
| 3.5.3.1. Elementos mayores.....   | 180        |
| 3.5.3.2. Elementos traza y tierras raras (REE).....   | 182        |
| <b>Capítulo 4. Discusión.....</b>   | <b>184</b> |
| <b>4.1. Identificación de la fuente volcánica.....</b>  | <b>184</b> |
| <b>4.2. Correlación de los registros lacustres y depósitos de superficie.....</b>                               | <b>195</b> |
| <b>4.3. Caracterización de los centros volcánicos postglaciales.....</b>  | <b>201</b> |
| 4.3.1. Volcán Villarrica .....  | 201        |
| 4.3.2. Volcán Quetrupillán .....  | 203        |
| 4.3.3. Volcán Lanín .....   | 203        |
| 4.3.4. Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco .....  | 205        |
| 4.3.5. Cono Achen Ñiyeu (Grupo Huanquihue).....   | 207        |
| 4.3.6. Cono La Angostura.....   | 208        |
| 4.3.7. Volcán Calbuco .....   | 208        |
| 4.3.8. Volcán Chaitén .....   | 209        |
| 4.3.9. Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle .....   | 209        |
| <b>Conclusiones.....</b>  | <b>213</b> |
| <b>Referencias Bibliográficas .....</b>   | <b>217</b> |
| <b>Anexo 1: Descripciones de lupa binocular .....</b>   | <b>229</b> |
| 1. Tefras de la Laguna Huaca Mamuil.....  | 229        |
| 2. Tefras del Lago Huechulafquen.....   | 244        |
| 3. Tefras de la Laguna Carirriñe .....  | 252        |
| <b>Anexo 2: Resultados de susceptibilidad magnética, contenido de agua, materia orgánica y carbonatos .....</b> | <b>271</b> |
| Tabla 1a. Mediciones de susceptibilidad magnética, registro de la laguna Huaca Mamuil .....                     | 271        |
| Tabla 1b. Datos de contenido de agua, materia orgánica y carbonatos,  |            |

|   |            |
|---|------------|
| registro de la laguna Huaca Mamuil.....   | 273        |
| Tabla 2a. Mediciones de susceptibilidad magnética, registro del lago Huechulafquen.....                                   | 275        |
| Tabla 2b. Datos de contenido de agua, materia orgánica y carbonatos, registro del lago Huechulafquen .....                | 276        |
| Tabla 3a. Mediciones de susceptibilidad magnética, registro de la laguna Carirriñe.....                                   | 277        |
| Tabla 3b. Datos de contenido de agua, materia orgánica y carbonatos, registro de la laguna Carirriñe .....                | 294        |
| <b>Anexo 3: Resultados geoquímicos .....</b>  | <b>297</b> |
| Tabla 1. Elementos mayores de las tefras de la Laguna Huaca Mamuil.....   | 297        |
| Tabla 2. Elementos mayores de las tefras del Lago Huechulafquen.....  | 301        |
| Tabla 3. Elementos mayores de las tefras de la Laguna Carirriñe .....   | 303        |
| Tabla 4. Elementos mayores de las tefras de superficie .....  | 313        |
| Tabla 5. Elementos trazas de las tefras de la laguna Huaca Mamuil, lago Huechulafquen, laguna Carirriñe y superficie..... | 316        |

# Capítulo 1

## Introducción

El término tefra fue introducido por Thorarinsson en 1944 y deriva de la palabra griega τέφρα que significa ceniza. Se utiliza para definir todo material piroclástico no consolidado, que puede ser dispersado desde las proximidades del conducto, hasta miles de kilómetros desde el centro volcánico de origen. Las tefras se depositan desde la atmósfera en cuestión de horas, días o semanas y representan eventos (cuasi) instantáneos en el registro geológico, preservándose en un amplia variedad de ambientes (Lowe, 2011; Shane, 2000, Bertrand et al., 2014; Watt et al., 2013b; Davies et al., 2002).

Los sistemas lacustres en general representan registros completos y continuos, de alta resolución, de la actividad explosiva pasada (Watt et al., 2011), frecuentemente con un excelente grado de preservación. En cambio, el registro de superficie es generalmente incompleto, debido a que los depósitos de tefra están sujetos a procesos de meteorización y edafización que modifican y alteran las propiedades del vidrio volcánico, principalmente en regiones con climas húmedos y templados a tropicales. Por tal motivo, los depósitos presentan en muchos casos muy bajo grado de conservación (Alloway et al., 2017). Por el contrario, en regiones con clima árido, la falta de vegetación facilita que sean fácilmente erosionados (Rawson et al., 2015). Esto representa un obstáculo para el estudio de las tefras y la reconstrucción de eventos volcánicos en ambientes tanto proximales como distales (Alloway et al., 2017).

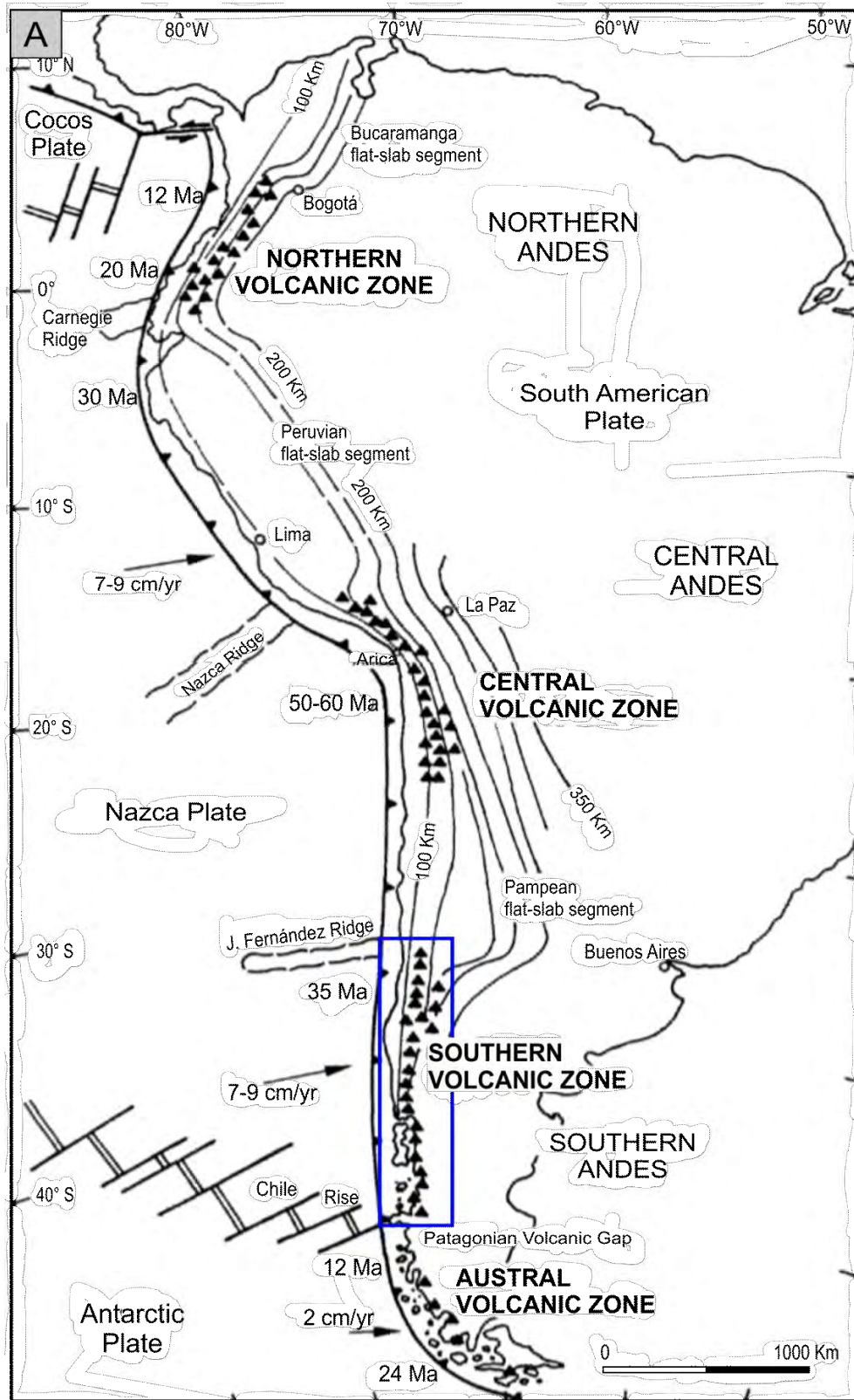
La tefrocronología es una herramienta muy útil que permite correlacionar y datar eventos o registros geológicos, paleoecológicos, paleoclimáticos y arqueológicos; a partir de la caracterización de detalle de las tefras sobre la base de la composición química y morfología de los vitroclastos, asociación mineral y posición estratigráfica. De acuerdo con esto, podemos conocer el comportamiento eruptivo de distintos centros volcánicos, en términos de frecuencia eruptiva, estilo, magnitud y composición, (Lowe y Hunt, 2001; Turney y Lowe, 2011; Lowe y Alloway, 2015; Alloway et al., 2017; Fontijn et al., 2014; Fontijn et al., 2016; Rawson et al., 2015).

Las tefras con características conspicuas permiten correlacionar distintos registros lacustres así como también otros registros sedimentarios tanto continentales como marinos (Lowe y Hunt, 2001; Turney y Lowe, 2011; Lowe y Alloway, 2015; Watt et al., 2011; Bertrand et al., 2014). Cuando estos niveles pueden ser datados se los utiliza como marcadores cronoestratigráficos.

La Zona Volcánica Sur de los Andes (Figura 1A) está caracterizada por numerosos centros volcánicos de edad Pleistoceno-Holoceno, sistemas de calderas y centros eruptivos menores, que han tenido erupciones explosivas con emisión de material piroclástico a escala local y regional (Stern, 2004). A estas latitudes, la dispersión de tefra se ve favorecida hacia territorio argentino por la predominancia de vientos con dirección oeste, depositándose en una variedad de ambientes de la Patagonia, tanto al pie de los andes como en la Patagonia Exrandina.

En esta región, al menos 60 centros volcánicos activos o potencialmente activos han sido identificados en Chile y Argentina, tres sistemas de calderas y varios centros eruptivos menores (conos monogenéticos) con flujos de lava asociados (Stern, 2004; Stern et al., 2007). Estos volcanes están alineados a lo largo de grandes estructuras tectónicas principales asociadas al Sistema de Falla Liquiñe-Ofqui entre los 33° y 46 ° S en Chile (Cembrano y Hervé, 1993; Cembrano et al., 1996, Lavenu et al., 1997; Cembrano y Lara, 2009). Algunos volcanes de esta zona han entrado recientemente en erupción vn. Chaitén en 2008, Complejo Volcánico Puyehue Cordón Caulle en 2011, vn. Copahue en 2011, vn. Villarrica en 2015 y vn. Calbuco en 2015 (Wilson et al., 2009; Wilson et al., 2013; Bertin et al., 2015; Osoreo et al., 2013; Collini et al., 2013; Viramonte et al., 2013; Reckziegel et al., 2016; Romero et al., 2016; Alloway et al., 2015, 2017) con caída de material piroclástico en Argentina. La zona de estudio se ve mayormente influenciada por los volcanes del sector central de la ZVS (cadena volcánica Villarrica-Quetrupillán-Lanín, Complejo Volcánico Mocho Choshuenco, Grupo Huanquihue, cono piroclástico Achen Ñiyeu y Cono La Angostura) (Figura 1B; Figura 2); los cuales, se consideran las fuentes potenciales de origen de las tefras. Algunos de ellos con intensa actividad durante el Holoceno. El registro potencial en esta zona se ve favorecido por la geomorfología heredada de los eventos de glaciación ocurridos durante el Cuaternario, desarrollándose actualmente lagos y lagunas dentro de artesas glaciares.

En el presente trabajo se presenta una estratigrafía de eventos volcánicos explosivos de alta resolución originada por la actividad volcánica durante los últimos 12000 años, a partir del estudio y caracterización de detalle de niveles de tefra preservados fundamentalmente en sedimentos lacustres, con apoyo de depósitos de superficie.





**Figura 1. A:** Mapa de Sudamérica con las cuatro zonas volcánicas (Stern, 2004). El recuadro azul señala la ZVS. **B:** Imagen satelital de la Zona Volcánica Sur (ZVS) mostrando los principales centros volcánicos y las cuatro subdivisiones: Zona Volcánica Sur Norte (ZVSN), Transicional (ZVST), central (ZVSC) y Austral (ZVSA). El recuadro rojo muestra el sitio de ubicación de la zona de estudio.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Aportar a la reconstrucción la historia del volcanismo explosivo postglacial en la zona del lago Epulafquen, Parque Nacional Lanín, a partir del análisis de sucesiones lacustres y geología de superficie, aplicando métodos estratigráficos, sedimentológicos, tefrocronológicos y geoquímicos.

En este estudio se presenta una estratigrafía de eventos volcánicos. Se establecieron cronologías y se realizaron correlaciones que permitieron vincular a los productos volcánicos con eventos conocidos y se dataron adecuadamente aquellos no identificados previamente. El estudio de niveles piroclásticos permitió obtener conclusiones sobre la intensidad, periodicidad, alcance, dispersión, tipo y efectos de las erupciones volcánicas postglaciales, así como sobre los mecanismos eruptivos y la ocurrencia de eventos volcánicos explosivos significativos en la región.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- ❖ Caracterizar los productos de emisión de centros de erupción postglaciales, Cono piroclástico Achen Ñiyeu (Grupo Huanquihue) y cono La Angostura (Figura 2).
- ❖ Relevar secciones de depósitos de tefra en perfiles de superficie y en sedimentos lacustres en el valle de los lagos Curruhué y Epulafquen, con apoyo en otros lagos del entorno del Volcán Lanín. En base a éstas secciones se determinarán litofacies, como primera herramienta de correlación.
- ❖ Análisis de facies de los depósitos subaéreos como subácueos reconocidos con el fin de determinar las distintas erupciones sobre la base de las características litológicas/ litogeoquímicas, la distribución y características de los depósitos.
- ❖ Modelado de facies mediante la asociación e interpretación de facies eruptivas reconstruyendo los rasgos más significativos de cada erupción. Las correlaciones subácueas/subaéreas se realizarán en base a parámetros diagnósticos como mineralogía, fragmentación, naturaleza de los litoclastos.

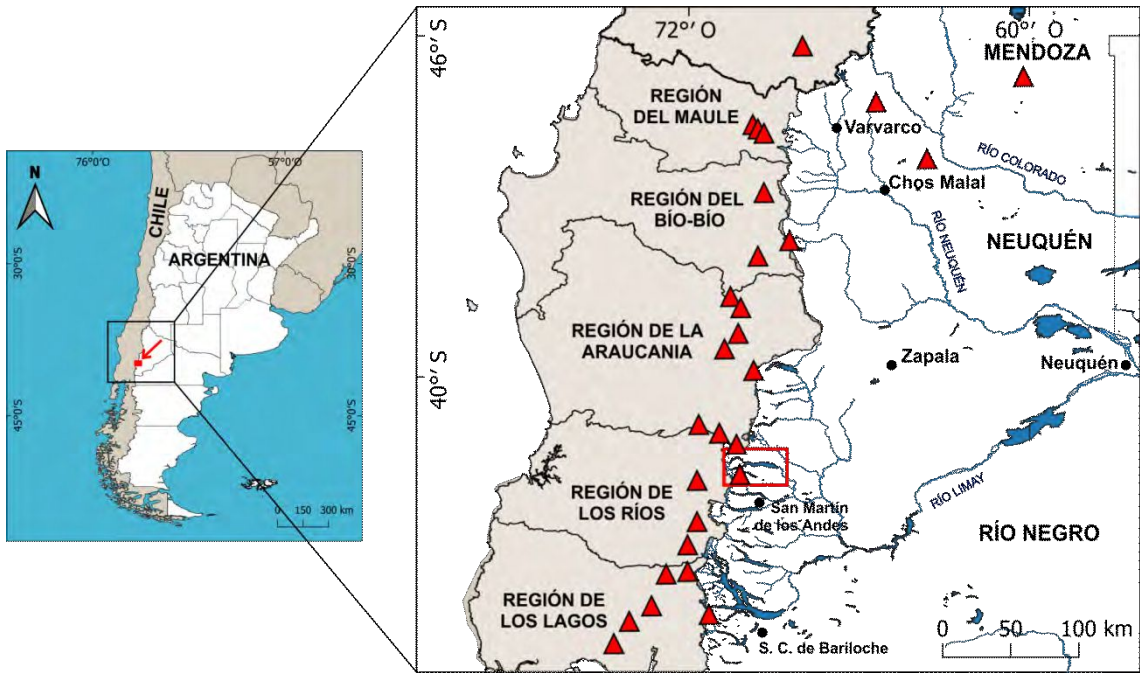
- ❖ Elaborar el marco cronoestratigráfico de alta resolución y establecer una cronología de eventos volcánicos de referencia para la región. Se determinarán rangos (erupciones, ciclos y períodos) de actividad volcánica en el área pero, se prestará especial atención a todos los registros de menos de 10000 años.

## **1.2. Ubicación de la zona de estudio**

La región de estudio está ubicada al SO de la provincia de Neuquén y comprende un sector de la Cordillera Patagónica Septentrional, entre los 39,68° y 39,90° de Latitud Sur y los 71,15° y 71,65° de Longitud Oeste, cubriendo un área de aproximadamente 1029 km<sup>2</sup> (Figura 2 y 3). Está limitada hacia el oeste por la Cordillera de Los Andes y expuesta a frecuente caída de ceniza de los volcanes de la Zona Volcánica Sur (ZVS). Las fuentes potenciales de origen de las tefras incluyen a los volcanes Villarrica, Quetrupillán, Lanín, Complejo Volcánico Mocho Choshuenco y Grupo Huanquihue.

El área presenta una morfología de valles en U labrados por los glaciares pleistocenos. Hoy en día un importante sistema lacustre se encuentra emplazado en el área, conformado por grandes lagos; L. Tromen, L. Huechulafquen, L. Paimún, L. Epulafquen, L. Curruhué grande y L. Curruhué chico (Figura 2).

Las poblaciones más próximas son Junín de Los Andes, San Martín de los Andes, Villa Traful, Aluminé y Piedra del Águila (Figura 4). Entre las localidades y comunas chilenas más cercanas se destacan Pucón, Villarrica, Curarrehue, Conaripe, Panguipulli, Neltume, Puerto Fuy, Futrono y Lago Ranco. Además existen otros asentamientos humanos dentro del Parque Nacional Lanín que corresponden a comunidades mapuches, estancias donde se lleva a cabo la actividad ganadera y forestal y algunas propiedades privadas que corresponden a residencias de uso temporario, alojamientos y servicios gastronómicos destinados a satisfacer la creciente demanda turística.



*Figura 2. Localización de la zona de estudio (rectángulo rojo) y centros volcánicos proximales (triángulos rojos).*



**Figura 3.** Detalle de la zona estudio y los principales lagos de la región. Las lagunas Huaca Mamuil y Carirriñe y el lago Huechulafquen representan los principales sitios de muestreo.



*Figura 4. Mapa de ubicación del Parque Nacional Lanín en Argentina y las localidades más próximas a la zona de estudio (recuadro rojo).*

### 1.3. Marco geológico

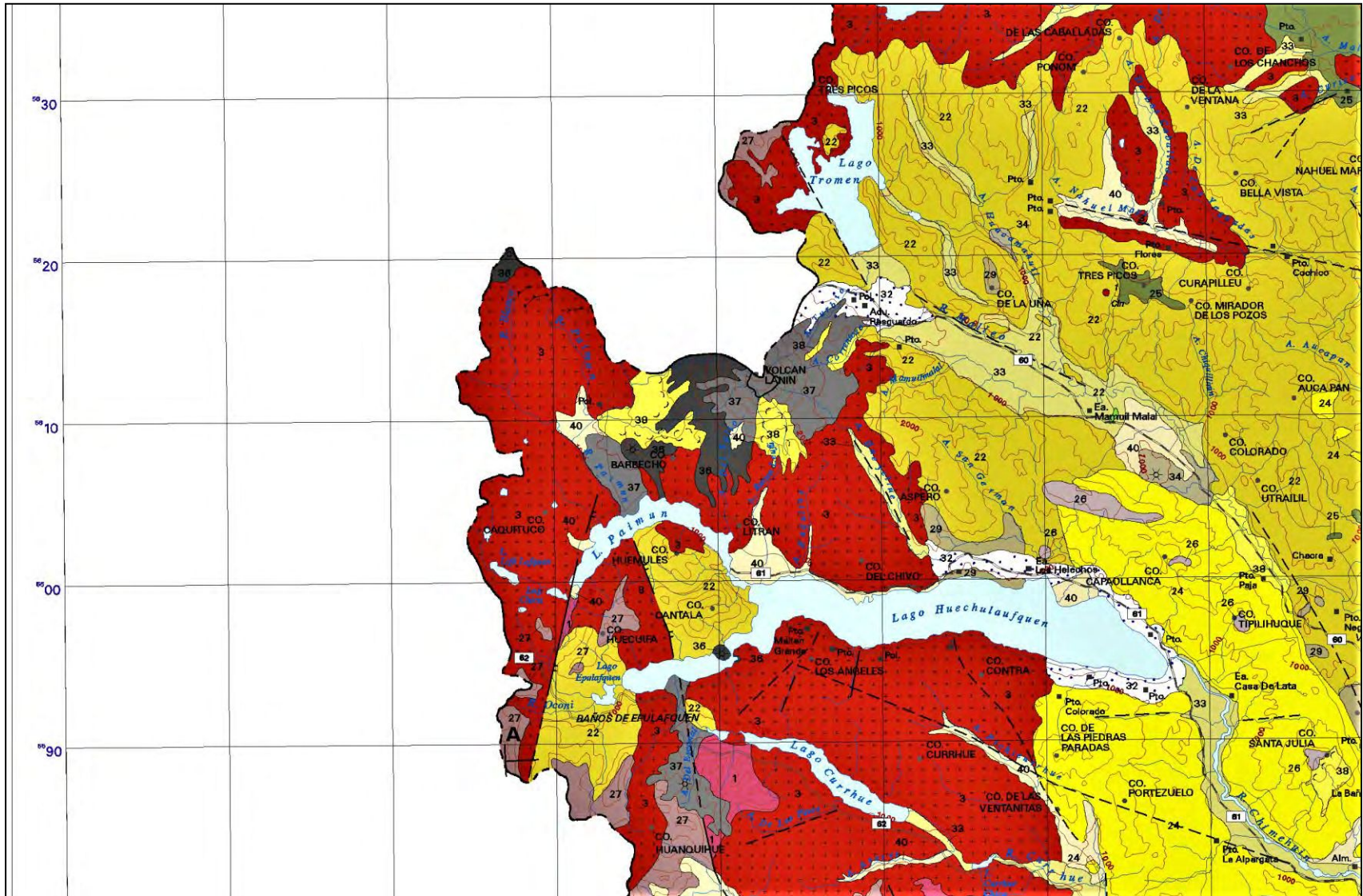
El basamento cristalino está representado por rocas metamórficas de bajo grado de la Formación Colohuincul instruidas por granitoides del Complejo Plutónico Huechulafquen. Está constituido por esquistos, filitas cuarzosas, filitas micacíticas y cuarcitas. En el área de estudio aflora en la zona sur del Lago Curruhué y está caracterizado por esquistos de grano fino a mediano, de color gris verdoso (Turner, 1973; Cucchi y Leanza, 2005) (Figura 5). La Formación Colohuincul se dató entre 420 y 380 Ma (Hervé et al., 2016). Las rocas graníticas (granodioritas, granitos y tonalitas) del Complejo Plutónico Huechulafquen de edad Devónico y Carbonífero (Varela et al., 2005), forman las costas de los grandes lagos Curruhué y Huechulafquen, y margen occidental del lago Tromen (Turner, 1973).

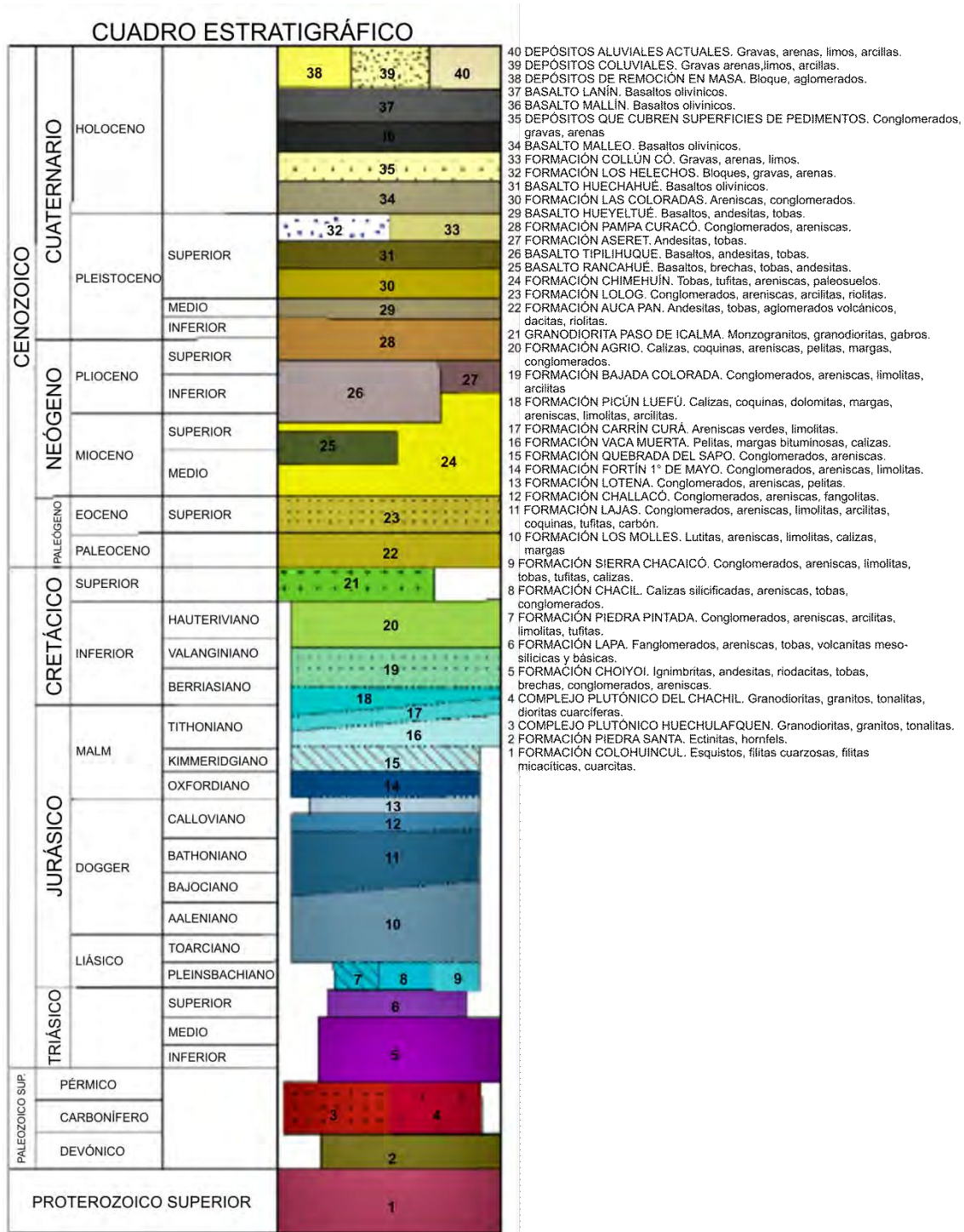
Al sur del lago Paimún se identifican andesitas, tobas, aglomerados volcánicos, dacitas y riolitas de la Formación Auca Pan de  $29,6 \pm 1,2$  Ma, Ramos, M. (2014). También se identificó en la costa sur de la laguna Huaca Mamuil (Turner, 1965a y 1965b).

La Formación Aseret de edad Plioceno está constituida por andesitas y tobas. Los principales afloramientos se presentan al sur del Cerro Huanquihue y cerca del Cerro Huecuifa, situado al sur del Lago Paimún (Turner, 1965a y 1973).

La Formación Los Helechos asignada al Pleistoceno tardío (Turner, 1965a y 1973; Cucchi y Leanza, 2005) agrupa los depósitos morénicos ubicados en la desembocadura del lago Huechulafquen, los cuales tienen mayor desarrollo en el sector norte de dicho lago. También se reconoce otro afloramiento cerca del lago Tromen al noreste del volcán Lanín. La morfología de las morenas, tanto frontales como laterales, es de lomadas suaves. Esta formación se ha acumulado sobre distintas unidades, entre ellas las formaciones Auca Pan y el Complejo Plutónico Huechulafquen (Turner, 1965a y 1973).

La Formación Collún Có está compuesta por limos amarillentos, a veces arenosos a arcillosos, que pueden englobar bloques de roca producto del transporte glaciario (Turner, 1965a y 1973). La edad de esta formación se atribuye al Pleistoceno tardío-Holoceno inferior.





**Figura 5.** Mapa geológico de la zona de estudio y alrededores del volcán Lanín (Cucchi y Leanza, 2005).

La estratigrafía del volcán Lanín fue descrita por Lara et al. (2004) para la cual definió cuatro unidades sobre la base de criterios morfológicos, relaciones de campo y edades <sup>14</sup>C.

La unidad más antigua corresponde a la unidad **Lanín 1**, conformada por lavas de composición dacítica denominadas "*Dacitas El Salto*" (P1d) situadas al SO en la base del edificio volcánico moderno (Figura 6). Esta unidad se interpretó como los remanentes de un estratovolcán antiguo. La edad es desconocida aunque se estima correspondería al Plioceno tardío-Pleistoceno temprano (Lara et al., 2001). La unidad **Lanín 2**, se distribuye radialmente en la base del edificio volcánico actual y sus afloramientos más característicos se localizan en el flanco norte. Está compuesta por sucesiones volcanoclásticas interdigitadas con niveles basálticos y andesíticos principalmente y en menor proporción dacíticos. La misma se dividió en tres subunidades correspondientes a: "*Andesitas Río Malleo*" (P2m), "*Basaltos, andesitas y dacitas Correntoso*" (P2c) y "*Basaltos Lago Paimún*" (P2p). La edad de esta unidad se acotó entre el Pleistoceno medio-Pleistoceno superior. La unidad **Lanín 3** está integrada por una sucesión de lavas andesíticas y basálticas denominada "*Basaltos y andesitas Lanín*" (PH3m) distribuidas radialmente respecto del edificio moderno. La edad de esta unidad se estima Pleistoceno superior-Holoceno. La unidad **Lanín 4** se atribuyó al Holoceno y está compuesta por flujos de lava simples o compuestos y depósitos piroclásticos. La mayor parte del estratovolcán, principalmente los flancos oeste y sur, están cubiertos por un extenso campo basáltico "*Basaltos Momolluco*" (H4m). En la ladera norte del volcán se exponen las "*Dacitas Mamuil Malal*" (H4d) las cuales representan un domo lávico. Los "*Basaltos Quillehue*" (H4q) forman un extenso campo basáltico en el flanco norte del volcán. Esta unidad comprende unos pocos depósitos piroclásticos. Se identificaron depósitos interdigitados con los Basaltos Quillehue, en el arroyo Lanín. Un depósito de bloques y ceniza (*block and ash flow deposit*) relacionado al domo (H4d) subyace a un flujo de lava de los Basaltos Quillehue (H4q) (sitio B, Figura 6). En la costa sur del lago Tromen se identificó una sucesión piroclástica que incluye depósitos de caída, de flujo y *surge* piroclástico (sitio C, Figura 6). Esta sucesión también fue identificada al SE del volcán, conformada por un depósito de flujo piroclástico (sitio D, Figura 6). En los flancos del volcán se distribuyen centros adventicios conocidos como el "*Centro fisural Huinfuica*" (H4fh) en el flanco NO, el "*Centro fisural NE*" (H4fn) en el flanco norte, el "*Centro W*" (H4fw) en el flanco oeste y los "*Conos Paimún*" (H4ap) en el flanco sur.

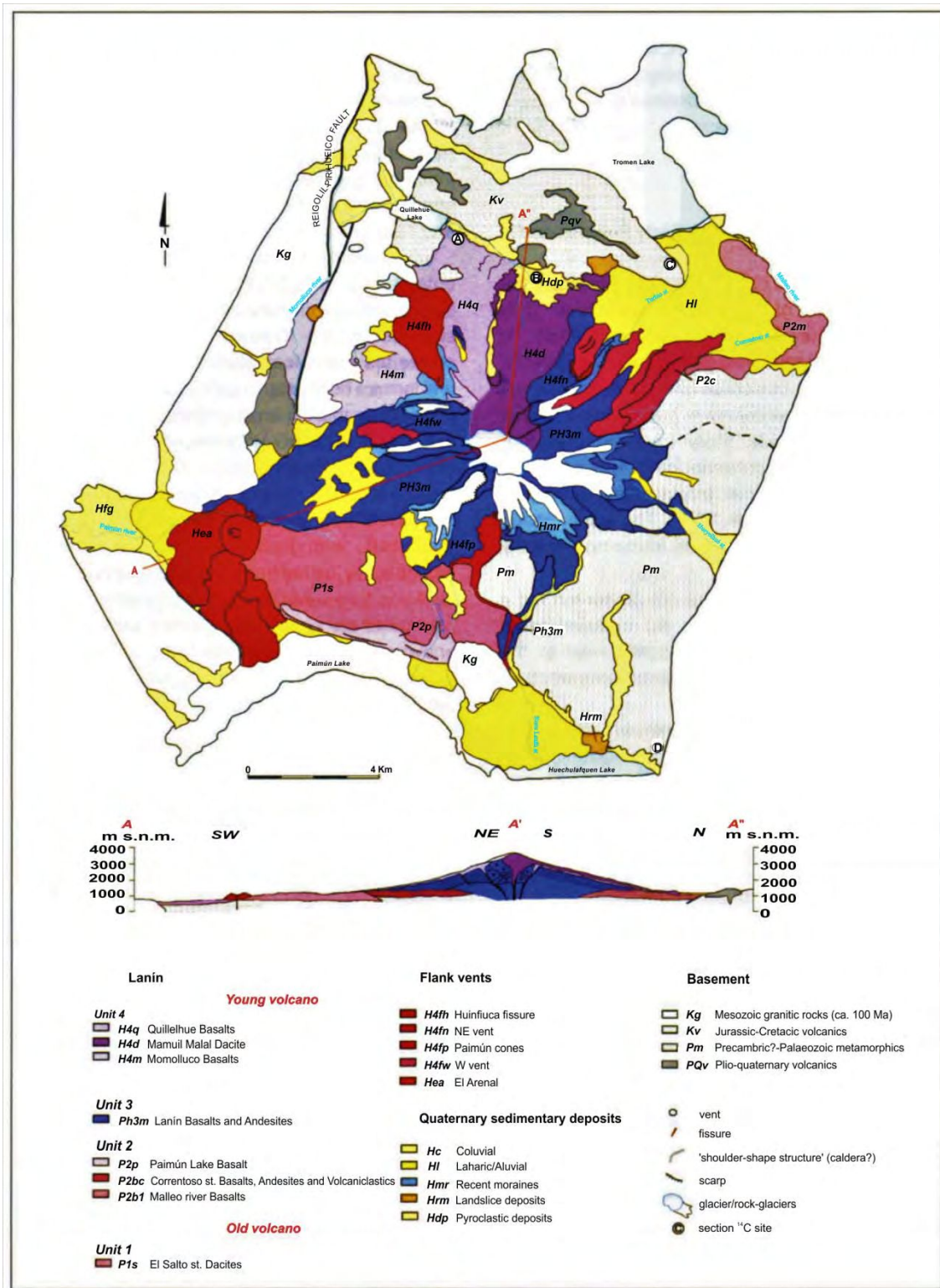


Figura 6. Mapa geológico del volcán Lanín (escala 1:50.000) (Lara et al., 2004).

Asimismo, se identificaron centros eruptivos menores no vinculados espacialmente al volcán Lanín. Estos centros corresponden a los "Conos El Arenal (Hea)", localizados en

el extremo SO al pie del volcán Lanín, y el cono piroclástico Achen Ñiyeu, centro eruptivo de un flujo de lava denominado el Escorial (Grupo Huanquihue), el cual llega hasta el lago Epulafquen (Figura 5).

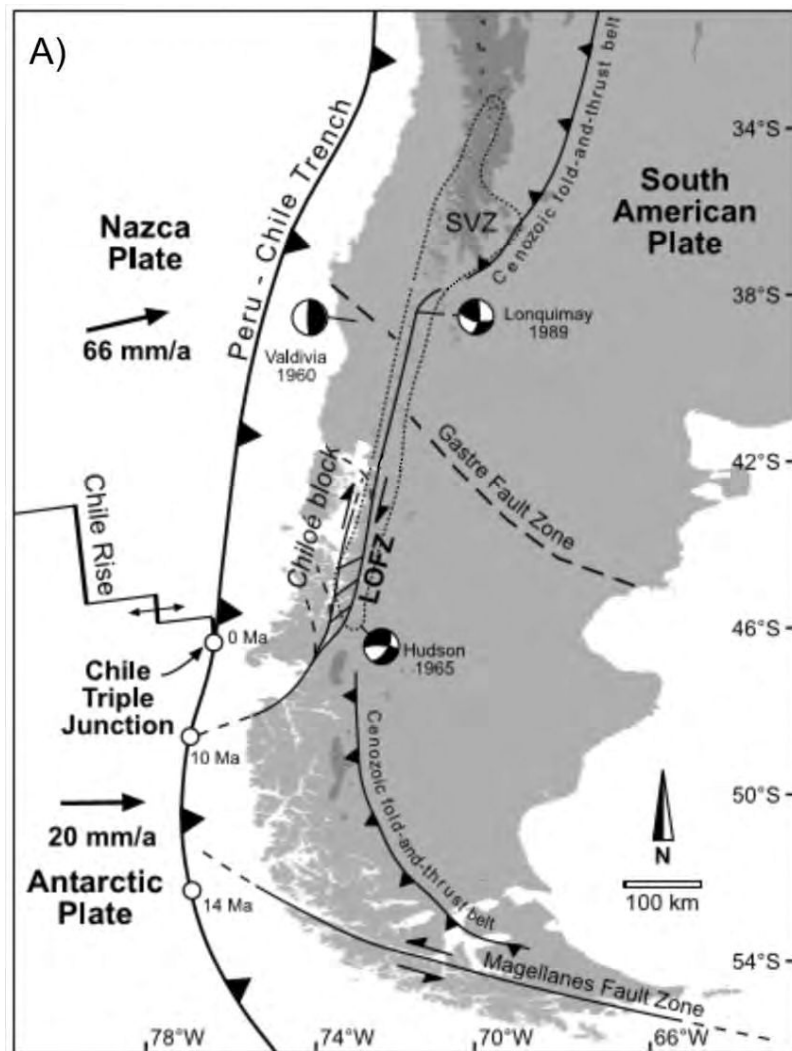
#### **1.4. Marco estructural**

La actividad volcánica en los Andes se encuentra segmentada en cuatro Zonas Volcánicas, la Zona Volcánica Norte (ZVN), Central (ZVC), Sur (ZVS) y Austral (ZVA) (Figura 1A); separadas por *gaps* significativos, caracterizados por ausencia de actividad magmática. La compleja interacción entre los procesos tectónicos y magmáticos, se evidencia por la arquitectura e impronta geoquímica de los sistemas volcánicos; dependiendo fundamentalmente del espesor cortical, sistemas de fallas de primer y segundo orden activos; y la naturaleza del basamento del arco volcánico (Cembrano y Lara, 2009). La estructuración tectónica no solo juega un rol importante en los procesos de migración del magma sino que ejerce un control fundamental en los procesos de diferenciación magmáticos; controlando la naturaleza y la composición del volcanismo a lo largo y a través de los márgenes continentales (Cembrano y Moreno, 1994). En la ZVS, el arco volcánico se extiende entre las latitudes 33° a 46°S, siguiendo en parte la zona de falla de Liquiñe-Ofqui (ZFLO) en territorio chileno (Cembrano et al., 1996 y 2000). Corresponde a un segmento del arco volcánico de 1400 Km de longitud, que resulta de la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana. A su vez, se ha subdividido en cuatro áreas por cambios en las características geoquímicas (López-Escobar et al., 1995; Stern, 2004), norte (ZVSN: 33°-34.5° S), transicional (ZVST: 34.5-37° S), central (ZVSC: 37°-42° S) y austral (ZVSA: 42°-46° S); siendo la denominada ZVSC la que corresponde a la región en donde se localiza el Parque Nacional Lanín (Figura 4).

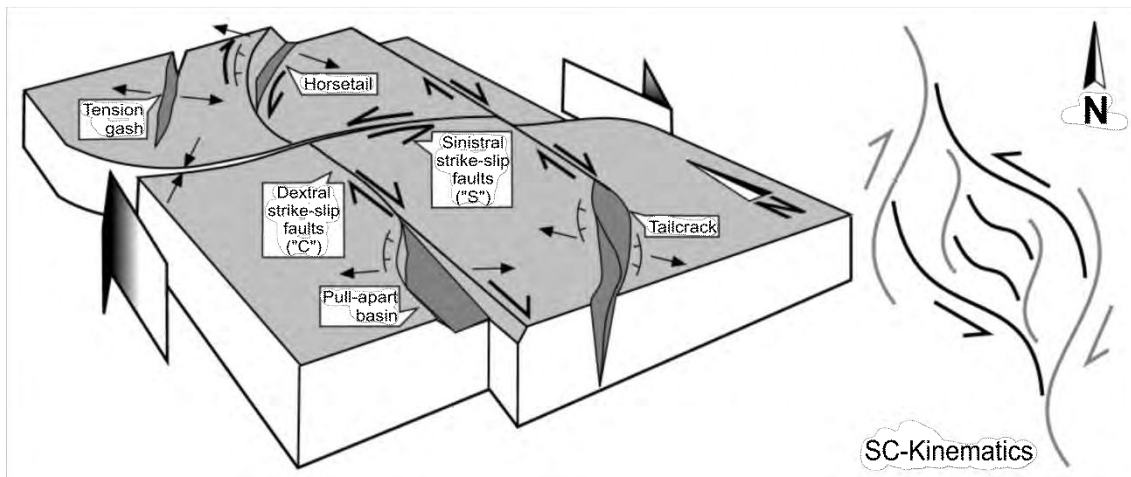
La zona de falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO) es un sistema transcurrente activo de primer orden que se extiende entre los 38° y 48° S, con una longitud de ~1100 Km y una orientación NNE (~ N10°E). Se caracteriza por presentar un régimen transpresivo, que resulta de una rotación dextral tipo strike-slip, acompañado de un acortamiento del arco (Hervé, 1976; López-Escobar et al., 1995; Cembrano et al., 2000; Rosenau et al., 2006). Este sistema ejerce el principal control estructural de la zona de intra-arco (Lavenu y Cembrano, 1999; Cembrano y Lara, 2009).

Desde el Pleistoceno inferior, el ZFLO representa un estructura cortical de primer orden asociada a un estilo estructural de deformación frágil que sirvió como canal de ascenso para los magmas; controlando la ubicación de grandes centros volcánicos (estratovolcanes) y centros eruptivos menores a lo largo de lineamientos con orientación NE-SO y NO-SE (Stern, 2004).

Se encontraron asociadas estructuras de segundo orden, como *horse tails*, *splays* y *cuencas de pull-apart*; y otras estructuras asociadas al régimen transcurrente como grabenes (Rosenau et al., 2006) (Figura 7). En particular, las estructuras de tercer orden están representadas por grupos de centros eruptivos menores con orientación NE-SO, (Lara y Moreno, 2004).



B)



**Figura 7. A:** Mapa de la Zona de Falla de Liquiñe Ofqui (ZFLO) mostrando la traza principal de los lineamientos de primer orden. **B:** esquema de las estructuras de segundo orden asociadas (Rosenau et al., 2006).

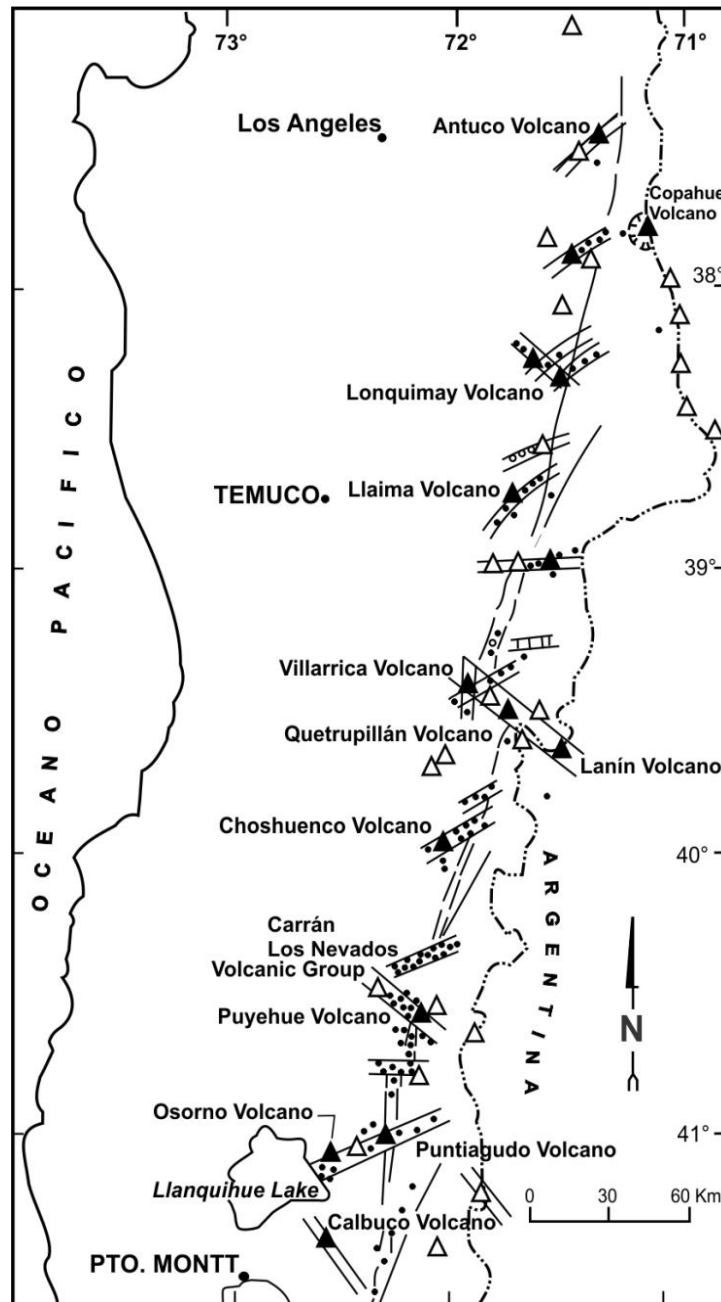
Cabe destacar que la relación entre los lineamientos principales de la ZFLO y los lineamientos oblicuos al arco con orientación NO-SE, no está bien establecida y podrían ser anteriores, (Cembrano y Lara, 2009). Como ejemplos de este rasgo morfotectónico con orientación N50-70°O son la cadena volcánica Villarrica-Quetrupillán-Lanín y el Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (López-Escobar et al., 1995) (Figura 8). El Complejo Volcánico Mocho Choshuenco se sitúa en un cruce estructural entre lineamientos de rumbo N-S con otros oblicuos de rumbo NO-SE (Guzmán-Marín et al., 2015).

Algunos centros eruptivos menores están asociados a los lineamientos principales de la ZFLO, como por ejemplo, Lolco, Caburgua, Huelemolle, Pichares, Huililco, La Viguería, entre otros. Aunque otros centros eruptivos menores como los del grupo volcánico Carrán Los Venados presentan una orientación N 50-70° E y se localizan en la intersección de la Falla Futrono con el SFLO (López-Escobar et al., 1995).

Un centro eruptivo menor denominado El Arenal compuesto por dos conos piroclásticos, se sitúa al pie suroccidental del volcán Lanín con una orientación NE que coincide con la prolongación del lineamiento Reigolil-Pirehueico (Figura 6).

Asimismo, se identifican conos piroclásticos en los flancos de los estratovolcanes, algunos siguen una orientación NE-SO, mientras otros pueden mostrar cierta curvatura e

incluso un patrón sigmoidal como el caso de los conos del flanco del volcán Villarrica y del Complejo Volcánico Mocho Choshuenco (Cembrano y Lara, 2009).



- |   |                                    |     |                                 |
|---|------------------------------------|-----|---------------------------------|
| ▲ | Holocene stratovolcanoes           | ══  | Alignments and/or fractures     |
| △ | Pleistocene stratovolcanoes        | --- | Liquiñe-Ofqui Fault Zone (LOFZ) |
| ● | Holocene minor eruptive centers    | ⊖   | Pleistocene Caldera             |
| ○ | Pleistocene minor eruptive centers |     |                                 |

**Figura 8.** Distribución espacial de estratovolcanes y centros eruptivos menores de la ZVSC y ZVSA de los Andes (López-Escobar et al., 1995).

El régimen tectónico no solo proporcionó las vías subverticales para el ascenso del magma sino también, diferentes tiempos de residencia en la corteza, viéndose reflejado en magmas con composiciones poca diferenciadas en las zonas de transtensión (escaso tiempo de residencia) y en magmas con composiciones muy diferenciadas (extenso tiempo de residencia) en las zonas contraccionales (ej. Villarrica-Quetrupillán-Lanín). A su vez, esto se ve favorecido por un espesor cortical delgado de ~ 30-35 Km en el sector sur de la ZVS (Stern, 2004). Por lo tanto, si bien los productos volcánicos varían desde composiciones basálticas a riolíticas, predominan las composiciones basálticas a andesítico-basálticas (López-Escobar et al., 1995, Lara et al., 2006a).

### **1.5. Volcanismo explosivo postglacial en la ZVS**

Cómo se mencionó anteriormente, la zona norte de Patagonia estuvo expuesta a frecuente caída de material piroclástico, correspondientes a eventos de gran magnitud y eventos menores. A continuación se describen los centros eruptivos considerados como las fuentes potenciales de origen de las tefras y se detallan los eventos piroclásticos asociados de edad postglacial.

#### **Villarrica-Quetrupillán-Lanín**

Estos tres estratovolcanes forman una cadena volcánica de orientación N50°O que se extiende por 60 Km de longitud. Además está compuesta por 5 volcanes de edad Pleistoceno fuertemente erosionados y más de 20 conos monogenéticos, incluyendo 2 maares (Lara et al., 2004).

El volcán Villarrica es un estratovolcán (39,3°S/71,9°O) compuesto cuyos productos son de composición basáltica a andesítico-basáltica. Dentro del período postglacial mostró una notable etapa explosiva comprendida entre los 14000-1600 años AP con dos principales depósitos de ignimbritas de composición basáltica-andesítica (Moreno et al., 1994; Clavero, 1996). Su estilo eruptivo explosivo se caracteriza por erupciones de tipo estromboliano (Lara et al., 2004). Es uno de los volcanes más activos de Sudamérica, con más de 60 erupciones en los últimos 460 años (Costantini et al., 2011). Si bien su actividad eruptiva ha sido principalmente efusiva y débilmente explosiva, tuvo un

comportamiento explosivo fuerte en tiempos postglaciales. Chaimilla ( $< 3,1$  Ka) es uno de los depósitos piroclásticos más ampliamente distribuidos, asociados a depósitos de caída y de flujo piroclástico. Las erupciones de mayor volumen están asociadas a la ignimbrita Licán y Pucón (13,8 y 3,6 Ka) que produjeron depósitos de flujo piroclástico.

El volcán Quetrupillán ( $39,5^{\circ}\text{E}/71,7^{\circ}\text{O}$ ) es un estratovolcán compuesto. Sus productos varían desde composiciones basálticas a dacíticas. Tiene un registro importante con erupciones de tipo explosivo que incluyen flujos piroclásticos y depósitos de caída, a lo largo del periodo postglacial. Este centro volcánico tuvo dos eventos formadores de caldera. El primero fue previo al último máximo glacial y el segundo durante el postglacial. Numerosos conos de escoria se distribuyen en dirección NE-SO y SO-NE, a lo largo de las paredes de la caldera (Lara et al., 2004).

El volcán Lanín ( $39,7^{\circ}\text{S}/71,5^{\circ}\text{O}$ ) se sitúa en el extremo SE de la cadena volcánica. Los productos varían desde basaltos hasta dacitas. La estratigrafía del volcán se dividió en cuatro unidades. La unidad 4 abarca los depósitos postglaciales, que incluye flujos de lava hasta depósitos piroclásticos de caída. Próximo a la costa sur del lago Tromeu una sucesión piroclástica completa incluye un flujo datado en  $2460 \pm 70$  años AP. Este nivel cubre un depósito de caída de 40 cm de espesor. Los centros adventicios asociados a este estratovolcán son escasos y no están alineados en una dirección preferencial. En el flanco NE del volcán se reconoce un depósito piroclástico constituido por bombas y fragmentos escoriáceos gruesos tamaño lapilli. En el flanco sur se reconocen los conos Paimún. Estos corresponden a pequeños conos piroclásticos de 100-150 m de diámetro con un flujo de lava de composición basáltica asociado de  $\sim 3,5$  Km de longitud (Lara et al., 2004; Fennel et al., 2014).

### **El Arenal**

Es un centro eruptivo menor que se localiza al pie suroccidental del volcán Lanín. A pesar de su proximidad, no se relacionan genéticamente debido a que sus características químicas sugieren una evolución magmática diferente e independiente (Lara et al., 2004).

Está compuesto por dos conos piroclásticos postglaciales. El de mayor tamaño presenta un diámetro basal de  $\sim 1,5$  Km de diámetro y dos cráteres anidados. Un cono más

pequeño se localiza un poco más hacia el norte del anterior y juntos definen una orientación NE. Los productos son de composición basáltica (Lara et al., 2004).

Este centro eruptivo fue clasificado como *Tuff ring* producto de una erupción de tipo hidromagmática por Corbella y Alonso (1989); sin embargo, Lara et al. (2004), no reconocieron características de este tipo de erupción volcánica.

### **La Angostura**

Es un cono piroclástico clasificado como *Tuff ring* producto de la interacción magma-agua. Se eleva 50 m sobre el nivel del lago Epulafquen y presenta un relación altura/diámetro baja (50:500 m). Está compuesto por vitroclastos blocosos y vitroclastos escoriáceos de composición basáltica (Corbella y Alonso, 1989).

### **Grupo Huanquihue**

Es una cadena de volcanes de edad pleistocena de orientación NNE-SSO, algunos de los cuales se sitúan a lo largo de la frontera argentino-chilena (*Global Volcanism Programme*).

En la ladera norte del volcán Huanquihue se localiza un cono piroclástico monogenético de edad postglacial (Lara et al., 2001), producto de una erupción de tipo estromboliana. El cono presenta 500 m de altura (Inbar et al., 1995). Está compuesto por vitroclastos escoriáceos de color negro, altamente vesiculares, de 20 a 30 cm de diámetro (Corbella y Alonso, 1989), acotados entre los  $475 \pm 35$  años AP (Casteller et al., 2010) y los  $200 \pm 90$  años AP (Inbar et al., 1995).

Este cono piroclástico presenta un flujo de lava asociado denominado El Escorial, el cual se canalizó por un valle y se extendió desde el cono hasta el lago Epulafquen. Presenta una longitud de 7,5 Km, un ancho de 0,1 a 0,8 km de ancho y ocupa una extensión areal de  $5,05 \text{ Km}^2$ . El espesor varía entre 5-30 m. Está compuesto por un basalto olivínico, altamente vesiculado con textura microporfírica, con fenocristales (Inbar et al., 1995).

## **Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco**

El volcán Mocho-Choshuenco ( $39^{\circ}55'S/72^{\circ}02'O$ ) cubre un área de  $\sim 250 \text{ Km}^2$  y una altura de 2.422 m s.n.m. Su estructura forma un alineamiento volcánico NO-SE y está integrado por los volcanes Mocho y Choshuenco. El edificio antiguo ancestral sufrió un colapso que generó una caldera de colapso, en cuya depresión se construyó el cono central del volcán Mocho. El volcán Choshuenco se localiza en el extremo noroccidental de la depresión volcánica (Moreno y Lara, 2007).

Es uno de los más peligrosos de la ZVS, con numerosos episodios explosivos (Rawson et al., 2015). Tuvo 3 erupciones importantes de tipo pliniano denominadas Neltume, Pirehueico y Huilo, con caída de material piroclástico y un evento sub-pliniano con un importante depósito de flujo piroclástico asociado con depósitos de caída de escoria y pumíceos intercalados. Otras erupciones de importancia corresponden a Enco, Hua Hum y el evento denominado MC12. En superficie se identificaron 27 depósitos de caída piroclástica. La composición de los productos varía desde basáltica-andesítica a riolítica. Cabe destacar, que el volcanismo reciente registra actividad hidromagmática (Rawson et al., 2015).

### **1.6. El clima en Patagonia**

La zona norte de Patagonia se encuentra bajo la influencia de los vientos del oeste (*westerlies*), originados en el Cinturón Subtropical de Altas Presiones del Pacífico sur localizado entre los  $30^{\circ}$  y  $60^{\circ}S$  (Ahrens, 2017). Estos vientos son más fuertes y constantes con respecto a los del hemisferio norte, debido a una menor extensión de superficie terrestre que genere fricción y ralentización de las masas de aire.

La dirección predominante de los vientos es hacia el este, con valores que oscilan entre NE y SE. Sin embargo, vientos con dirección N-NW pueden darse con una probabilidad  $< 20\%$  (Costantini et al., 2011).

Particularmente, los desplazamientos del cinturón de vientos del oeste (*Southern Westerly Wind Belt; SWWB*) tienen implicancias en el régimen de precipitaciones en los Andes y en la intensidad de los vientos, como consecuencia de cambios en la temperatura en la superficie del océano (Lamy et al., 2010). Las oscilaciones del

SWWB se relacionan a los eventos ENSO (El Niño *Southern Oscillation*). A mayor intensidad, menor es la temperatura del Pacífico Ecuatorial, es decir La Niña y a menor intensidad, mayor es la temperatura del Pacífico Ecuatorial, es decir El Niño. Asimismo, pequeños cambios en la posición del SWWB producen grandes cambios en las precipitaciones estacionales (Bertrand et al., 2014).

Numerosos trabajos de reconstrucciones paleoclimáticas y paleoambientales se han llevado a cabo en Argentina y Chile (Mayr et al., 2007; Gilli et al., 2005; Moreno et al., 2010; Lamy et al., 2010) para evaluar la evolución del cinturón de vientos del oeste del sur (Southern Westerly Wind Belt, SWWB) a lo largo de los últimos miles de años. Entre los periodos glacial e interglacial el núcleo del cinturón SWWB migró 10° en la latitud, con una posición más hacia el ecuador (~ 42°S) en condiciones glaciales frías y una posición más hacia el polo (~ 52° S) durante los interglaciares cálidos (Toggweiler et al., 2006; Ho et al., 2012; Kohfeld et al., 2013; Lamy et al., 2014). Sin embargo, para el Holoceno está en discusión. Moreno et al. (2010) argumenta que el cinturón se debilitó durante el Holoceno temprano y se fortaleció después, mientras que Lamy et al. (2010) afirma que las variaciones del Holoceno de los vientos del oeste son causados por una contracción del cinturón a comienzos del Holoceno, seguido de una expansión a partir de 11 Ka Cal AP. Van Daele et al. (2016) a partir de estudios realizados en el Lago Castor (45,6°S) en Chile concluyó en parte lo mismo que Lamy, aunque sugiere que alrededor de los 4,5 Ka parece haber un periodo caracterizado por una expansión y fortalecimiento del cinturón.

De acuerdo con esto, se necesitan realizar más estudios paleoambientales que permitan ajustar las variaciones acaecidas durante el Holoceno. Cabe destacar, que a nivel de la estratosfera, las condiciones cambian debido a la ausencia de rozamiento. Los vientos son más constantes y más veloces. La estratosfera se encuentra a una altura de unos 10-15 km y se extiende hasta unos 45-50 km. Los vientos en dirección horizontal pueden alcanzar frecuentemente los 200 km/h o más (Ahrens, 2017). Se destaca su importancia porque cualquier sustancia que llegue a la estratosfera es difundida por toda la extensión del planeta; como sucedió en 2011 con la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle; con serias implicancias ambientales.

## Capítulo 2

### Metodología

#### 2.1. Tareas de campo:

Se realizaron un total de 5 campañas a la zona de estudio entre 2015 y 2018, que consistieron en:

##### 2.1.1. Geología de campo:

Se realizó el reconocimiento de la geología y geomorfología de superficie, con el objetivo de conocer la zona de estudio, identificar los centros eruptivos y depósitos de tefra en superficie. Asimismo, evaluar el acceso a cuerpos lacustres para seleccionar los más adecuados para la extracción de testigos.

Se realizó el relevamiento de los centros eruptivos menores (Cono La Angostura y Cono Achen Ñiyeu), un depósito piroclástico en el flanco NE del volcán Lanín y el relevamiento de nueve secciones estratigráficas expuestas en cortes de camino a lo largo de la ruta provincial 62 y dos en el camino de acceso a la costa sur del lago Tromen (Figura 9). Se identificaron depósitos y niveles potentes de tefras preservados en la región que reflejan eventos de gran magnitud. Se realizaron mediciones de espesores y se describieron las características principales (color, componentes, selección, granulometría, estructuras sedimentarias y tipo de contacto entre unidades). Se tomaron muestras que se preservaron en bolsas plásticas correctamente rotuladas. En algunos niveles se recolectó carbón para dataciones AMS.

Se muestrearon los depósitos de dos erupciones recientes con impacto en la zona de estudio; correspondientes a las erupciones de 2015 de los volcanes Villarrica y Calbuco. Además, se seleccionaron a las lagunas Huaca Mamuil, Carirriñe y lago Huechulafquen para la extracción de testigos lacustres (Figura 9).



**Figura 9.** Mapa de ubicación de los conos piroclásticos Achen Ñiyeu (Grupo Huanquihue) y cono La Angostura. Los círculos azules marcan la posición de las secciones estratigráficas relevadas a lo largo de la Ruta Provincial 62 y el camino de acceso al lago Tromen. Las lagunas Huaca Mamuil, Carirriñe y lago Huechulafquen se seleccionaron para la extracción de testigos lacustres.

### 2.1.2. Extracción de testigos sedimentarios lacustres:

Con el fin de obtener un registro completo de erupciones para el Holoceno tardío se extrajeron 5 testigos sedimentarios cortos de longitud menor a 1 m con muestreador de gravedad-percusión UWITEC y UWITEC modificado, permitiendo conservar la interfase agua-sedimento indisturbada. Dos de ellos fueron tomados en la laguna Huaca Mamuil, uno en el Lago Huechulafquen y dos en una laguna innominada referida aquí como laguna Carirriñe (Figura 10).

La selección de las lagunas se basó preferentemente en cuerpos de agua pequeños, de poca profundidad, que carezcan de corrientes fuertes y con poco aporte de sedimentos por cursos fluviales; con el fin de poder coleccionar sedimentos que contengan niveles de tefra bien preservados. Si bien Huechulafquen es un lago de grandes dimensiones y

profundidad, el registro se recuperó en un sector de la cuenca que cumple con las condiciones previamente mencionadas.



**Figura 10.** Mapa de ubicación de los cuerpos lacustres seleccionados para la extracción de testigos.

Relevamientos batimétricos expeditivos permitieron seleccionar los mejores sitios de muestreo. Para ello se utilizó una ecosonda con GPS (*Dual-frequency Echo Sounder with GPS*) que permitió establecer la profundidad del agua y seleccionar sectores de fondo plano y alejados de la costa, para evitar captar material removilizado.

Los testigos se transportaron en la camisa del sacatestigos hasta el laboratorio donde fueron almacenados en un freezer a una temperatura de 4°C hasta ser sometidos a análisis radiográficos y posterior apertura.

Además, en sitios de muestreo próximos, se extrajeron dos testigos paralelos entre sí y en secciones de ~ 1m de longitud, con desplazamiento de secciones en profundidad, de manera de poder reconstruir un registro continuo consistente. Para ello se utilizó un

muestreador Livingstone, operado desde una plataforma flotante anclada próxima al centro de la laguna Carirriñe, que permitió recuperar un registro de ~ 7 m de largo.

Las distintas secciones se envolvieron en papel film y luego con papel aluminio con el rótulo correspondiente; para luego ser transportados en un cajón portatestigos hasta el laboratorio.

## **2.2. Tareas de laboratorio:**

Las tareas de laboratorio vinculadas a la apertura de los testigos lacustres, submuestreo, tamizado de muestras, uso de lupa binocular, análisis de susceptibilidad magnética, determinación del contenido de agua, materia orgánica y carbonatos, y procesamiento de muestras de superficie, se llevaron a cabo en el laboratorio de "Grupo de Estudios Ambientales (GEA)", ubicado en el Centro de Salmonicultura de la Universidad Nacional del Comahue, Bariloche.

### **2.2.1. Análisis de testigos sedimentarios lacustres:**

Previo a la apertura de los testigos se realizaron análisis radiográficos con el fin de identificar estructuras sedimentarias y niveles de tefra.

Las imágenes radiográficas reflejan diferencias de densidad entre materiales. Los materiales densos se observan de color blanco y los materiales de baja densidad se observan de color gris oscuro. Con lo cual, en una imagen radiográfica de un testigo lacustre, posibles niveles de tefras se identifican como niveles de color blanco que contrastan con el de color oscuro de los sedimentos orgánicos. Téngase en cuenta, que no todo nivel de color blanco, es un nivel de tefra.

Luego, los testigos se abrieron longitudinalmente en dos mitades iguales. Una mitad fue archivada como respaldo y la otra se utilizó para la toma de muestras y posteriores análisis. Los testigos fueron descriptos en detalle, fotografiados y submuestreados. El color de los sedimentos se determinó utilizando la cartilla de referencia para rocas Munsell (The Geological Society of America, Rock Color Chart, with genuine Munsell color chips, 1991) Las tefras se identificaron visualmente por color, espesor y

granulometría, junto con el apoyo de imágenes radiográficas y análisis de susceptibilidad magnética. Se consideraron muestreables solo las tefras identificadas visualmente.

Para completar la información estratigráfica de los testigos se realizaron análisis de susceptibilidad magnética y determinaciones de contenido de agua, materia orgánica y carbonatos.

Es importante destacar que los primeros registros lacustres analizados fueron cortos, con lo cual, se submuestrearon y estudiaron en detalle todas las tefras identificadas, inclusive aquellos niveles muy delgados y de grano fino. En principio, porque eran los primeros datos referentes a zona de estudio que permitían una primera aproximación hacia la caracterización del material piroclástico e identificación de las fuentes de proveniencia. En segundo lugar, para conocer la recurrencia eruptiva de la región de aproximadamente los últimos 1000 años; teniendo en cuenta que se establecieron dentro del Parque Nacional comunidades mapuches, estancias donde se lleva a cabo la actividad ganadera y forestal, dos pasos fronterizos con Chile (Paso Tromen y Paso Carirriñe) controlados por gendarmería y algunas propiedades privadas que corresponden a residencias de uso temporario, alojamientos y servicios gastronómicos. Por el contrario, en el registro largo se hizo hincapié en el estudio de los eventos de mayor magnitud.

### **2.2.2. Susceptibilidad magnética (SM):**

Las propiedades magnéticas de los sedimentos se determinaron a través de un análisis de susceptibilidad. Las mediciones se realizaron sobre secciones longitudinalmente abiertas de testigos, envueltas con papel film plástico para evitar que el sensor utilizado tome contacto directo con el sedimento. Cada sección se coloca en una media caña y luego, se monta sobre una estructura de soporte que mantiene el testigo nivelado en posición horizontal. Esta estructura presenta un sistema de desplazamiento lateral, al cual se le adosa un sensor, que lo mantiene en posición vertical sobre el testigo y se mueve sobre una guía estandarizada a intervalos de 5 mm. El sensor utilizado se denomina Bartington MS2E y permite la toma de mediciones puntuales y de alta resolución sobre la superficie de los sedimentos.

La susceptibilidad magnética es una medida de la capacidad de un material de magnetizarse cuando es expuesto frente a un pequeño campo magnético. Una vez que el campo aplicado es eliminado, la magnetización inducida en el material analizado vuelve al estado magnetizado inicial de la sustancia. La susceptibilidad magnética de volumen (K), se define como la relación entre la magnetización inducida por unidad de volumen de muestra medida (M) y la intensidad del campo magnético aplicado (H):

$$K=M/H$$

Como M y H se expresan en las mismas unidades (A/m) en el sistema internacional (SI); K es un número adimensional. Sin embargo, en la práctica es común informar los resultados como "unidades SI" (Lascu, 2009).

La SM es directamente proporcional al contenido de minerales magnéticos en los sedimentos y refleja cambios composicionales (St-Onge et al., 2007; Nowaczyk, 2002). Esto permitió identificar la posición de los niveles de tefra con concentraciones de minerales magnéticos y realizar correlaciones entre registros de distintos lagos. Para esto se tuvo particularmente en cuenta que la SM aumenta ligeramente con el aumento de la granulometría de las partículas (St-Onge et al., 2007). Por el contrario, los sedimentos orgánicos con alto contenido en agua reflejan valores bajos de susceptibilidad y en ocasiones se pueden obtener valores negativos (Lascu, 2009).

### **2.2.3. Determinación del contenido de agua, materia orgánica y carbonatos:**

Se aplicó el método "**Perdida por Calcinación**" o denominado también como "**Loss on ignition**" (conocido por sus siglas en inglés, **LOI**) para estimar el contenido de agua, materia orgánica (MO) y carbonatos en los sedimentos lacustres (Bengtsson y Enell, 1986); modificado por Heiri et al. (2001). Este método implica la pérdida de peso experimentada por una muestra de sedimento cuando es sometida a un calentamiento secuencial. La pérdida de peso está estrechamente relacionada con el contenido de materia orgánica y carbonatos.

Esta metodología se empleó en todos los registros recuperados y consistió en tomar una muestra de un volumen aproximado de 1 cm<sup>3</sup> de sedimento a intervalos de 1 cm. Cada

muestra se colocó en un crisol vacío que fue pesado previamente en forma individual. Luego se determinó el peso del crisol más la muestra. De esta manera, la diferencia de pesos permitió estimar el Peso húmedo (Pw). Es decir:

$$Pw = (Pc + m) - Pc$$

Pw: peso húmedo inicial de la muestra

Pc: peso del crisol

Pc + m: peso del crisol más la muestra

Posteriormente, los crisoles se colocaron en una estufa eléctrica a 105°C por un lapso entre 12 y 24 hs. Cumplido el lapso de tiempo, se apagó la estufa y las muestras se dejaron enfriar ahí mismo para evitar que absorban humedad del medio. Una vez frías, se pesaron con el fin de determinar el peso seco de la muestra.

$$\text{Peso seco} = DW_{105} - Pc$$

DW<sub>105</sub>: (*Dry weight*) peso seco de la muestra más el crisol luego del secado de la muestra a 105°.

Pc: peso del crisol

El contenido de agua (%) se calcula:

$$\text{Contenido de agua} = \frac{[(Pc+m) - DW_{105}]}{Pw} * 100$$

Pc + m: peso del crisol más la muestra

DW<sub>105</sub>: (*Dry weight*) peso seco de la muestra más el crisol luego del secado de la muestra a 105°.

Pw: peso húmedo inicial de la muestra

A continuación, los crisoles se colocaron en una mufla a 550°C por un periodo de 2 hs. A esta temperatura, la MO se oxida a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y ceniza. Las muestras se dejaron enfriar dentro de la mufla y una vez frías, se pesaron nuevamente. La pérdida

de peso es proporcional a la cantidad de carbono orgánico (LOI550) presente en la muestra.

El LOI<sub>550</sub> se calculó a partir de la formula:

$$\text{LOI}_{550} = [(\text{DW}_{105} - \text{DW}_{550})/\text{DW}_{105}] * 100$$

LOI<sub>550</sub>: representa el LOI a 550°C (en porcentaje)

DW<sub>105</sub>: representa el peso seco de la muestra antes de la calcinación a 550°C (gr)

DW<sub>550</sub>: representa el peso seco de la muestra después de la calcinación a 550°C (gr)

Por último, las muestras se llevan nuevamente a mufla a una temperatura de 950°C por 4 hs. A esta temperatura, se emitió el CO<sub>2</sub> que se desprende de los carbonatos y se formaron óxidos como residuo. Las muestras se dejaron enfriar en la mufla y una vez frías se pesaron nuevamente. La pérdida de peso es proporcional a la cantidad de carbonatos (LOI950) presente en la muestra.

El LOI<sub>950</sub> se calculó a partir de la formula:

$$\text{LOI}_{950} = [(\text{DW}_{550} - \text{DW}_{950})/\text{DW}_{105}] * 100$$

LOI<sub>950</sub>: representa el LOI a 950°C (en porcentaje)

DW<sub>550</sub>: representa el peso seco de la muestra después de la calcinación a 550°C (gr)

DW<sub>105</sub>: representa el peso seco inicial de la muestra antes de la calcinación a 550°C (gr)

El traspaso de los crisoles de la balanza eléctrica a la estufa y mufla siempre se llevó a cabo con una pinza metálica para evitar generar errores en la medición del cálculo de LOI, como así también, el uso de manera permanente de guantes de protección.

Los datos obtenidos a partir del análisis de susceptibilidad magnética y del método pérdida por calcinación (LOI) se trabajaron en el software con licencia "C2" (Juggings, 2007).

#### **2.2.4. Análisis de facies**

El análisis de facies se llevó a cabo a partir de la interpretación de los niveles de tefra en términos del proceso eruptivo y centro volcánico de proveniencia. Para ello se realizó una caracterización en detalle de la morfología distintiva de los vitroclastos en todas las tefras.

Las tefras con características más conspicuas, como niveles de mayor espesor, granulometría gruesa y con morfologías distintivas de vitroclastos, fueron seleccionadas para análisis geoquímicos de elementos mayores y trazas. Este criterio se tomó frente a la presencia de numerosos niveles piroclásticos menores, muy delgados y de grano fino denominados microtefras (Lowe y Hunt, 2001) preservados en los sedimentos lacustres. Téngase en cuenta que por escasos de tiempo y presupuesto resultaba imposible el poder analizarlos a todos.

##### **2.2.4.1. Análisis de tefras:**

Las muestras de tefra, tanto de superficie como las de los testigos sedimentarios fueron lavadas con agua destilada en lavador ultrasónico con baño termoestabilizado a temperatura de 40°C para remover restos de materia orgánica, óxidos e hidróxidos de hierro. Luego se enjuagaron con acetona y se secaron a estufa a una temperatura inferior a los 40°C, siguiendo el procedimiento descrito por Virginia Steen McIntyre (1977), modificado por Villarosa (2008b).

Las muestras de gran volumen se tamizaron con cribas y tamices estándar marca Cosacov (1/ ¼", 5/8", 5/16", #5, #10, #18, #35, #60, #120 y #230) en húmedo. Para las muestras de poco volumen se utilizó un kit mecánico de tamices marca Keck, constituida por tamices pequeños de 2" de diámetro, de malla de acero inoxidable con aberturas desde 4 mm hasta 53 µm. Cada fracción granulométrica fue analizada petrográficamente para determinar los componentes y caracterizar en detalle la morfología de los vitroclastos bajo lupa binocular; entre otras características como el color y la abundancia porcentual de los componentes. Asimismo, se tomaron microfotografías con una cámara de video Leica (Leica DFC 295) adosada a la lupa binocular. Cabe destacar que la abundancia porcentual de los componentes representa una apreciación de los contenidos del total para cada fracción de una muestra. Las

descripciones en detalle bajo lupa binocular de los testigos cortos se presentan en el Anexo 1.

### **2.2.5. Geoquímica:**

Se realizaron análisis geoquímicos con el fin de caracterizar geoquímicamente al material vítreo juvenil, el cual representa la composición de la fase líquida magmática al momento previo de la erupción. Esta información se utilizó para realizar correlaciones y asignar las posibles fuentes de origen de las tefras.

#### **2.2.5.1. Elementos mayores**

Los análisis geoquímicos de elementos mayores sobre vitroclastos se determinaron mediante el uso de una microsonda de electrones (EMPA) JEOL Superprobe  $\pm$  JXA-8230 en el Laboratorio de Microscopía Electrónica y Análisis por Rayos x (LAMARX) de la Universidad de Córdoba, Argentina. Se utilizó el método de corrección ZAF, para eliminar el efecto matriz. Se usó un voltaje de aceleración de 15 Kv con una corriente de 8 nA. Las mediciones se realizaron en áreas libres de minerales, con lo cual, el diámetro del haz de electrones se seleccionó en función de la densidad de microlitos y microfenocristales en la matriz del vidrio (andesítico a basáltico) en todas las tefras. Numerosos autores recalcan la dificultad de caracterizar geoquímicamente vitroclastos con elevado contenido microlítico y presencia de microfenocristales (Alloway et al., 2017; Pearce et al., 2014; Pearce et al., 2007; Fontijn et al., 2016), dado que limitan la superficie disponible de medición de los fragmentos. Durante el análisis, la incorporación de alguna fase mineral en el volumen analizado tiene un efecto notorio sobre la composición informada.

Las concentraciones de los óxidos se recalcularon al 100% sobre base anhidra. El Fe total se lo expresa como  $\text{FeO}_t$ .

En total fueron caracterizados 30 niveles de tefra lacustres (una muestra por nivel) y seis depósitos de tefra de superficie (una muestra por depósito) mediante determinación de elementos mayoritarios. Para este análisis, los vitroclastos fueron seleccionados minuciosamente por picking bajo lupa binocular y las muestras se montaron y pulieron a espejo.

El análisis EMPA permitió obtener imágenes de electrones retrodifundidos (BSEI) que reflejan la composición química de los vitroclastos y minerales; y electrones secundarios (SEI) que reflejan la morfología de los mismos, permitiendo caracterizar visualmente al material piroclástico analizado.

Cabe destacar, que si bien se analizaron los elementos mayores de algunas fases minerales para conocer la asociación mineral; no se realizó una caracterización mineral detallada y sus implicancias petrogenéticas no se consideraron centrales para este estudio en particular.

#### **2.2.5.2. Elementos traza y tierras raras (REE)**

Las concentraciones de elementos traza y tierras raras se llevaron a cabo mediante Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS), en el Laboratorio de Análisis Geoquímicos del Centro de Investigaciones Geológicas de La Plata. Se utilizó un espectrómetro marca Perkin Elmer, modelo NexIon 300X. Las curvas de calibrado se prepararon con reactivos certificados marca Perkin Elmer.

Un total de 18 muestras fueron analizadas y los resultados se expresaron en partes por millón (ppm); Tabla 5-Anexo 3. Los análisis se llevaron a cabo sobre muestra total.

Los datos geoquímicos fueron trabajados en el software libre "GCDKit" para la versión BibTex (Janousek et al., 2006).

#### **2.2.6. Dataciones $^{14}\text{C}$ AMS y modelo cronológico**

Los registros lacustres y depósitos de superficie se dataron a partir de edades radiocarbónicas obtenidas mediante el método de datación AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*) sobre 5 muestras de sedimento con contenido orgánico datable en el Laboratorio Beta Analytic, de Miami. Dos corresponden a muestras de superficie, una al registro de Huaca Mamuil y dos al registro de Carirriñe. Con el fin de establecer una cronología de eventos volcánicos se elaboraron modelos Bayesianos de edad-profundidad con el programa Oxcal v.4.3.2 (Bronk Ramsey, 2017), utilizando la curva de calibración para el hemisferio sur SHCal13 (Hogg et al., 2013). En su elaboración se

introdujeron como insumo las edades  $^{14}\text{C}$  obtenidas según el registro considerado y además, se incorporaron edades radiocarbónicas y modeladas de tefras atribuidas a eventos de edad conocida.

El uso de un enfoque Bayesiano para calibrar estas edades permitió incorporar información previa al proceso de calibración; que tuvo cuenta el contexto estratigráfico y la premisa de que la edad debe aumentar con la profundidad (Blockley et al., 2004). Asimismo, el modelo utiliza parámetros para evaluar la veracidad del mismo, denominados índices de confianza. El modelo calcula la probabilidad de que la posición de la muestra sea correcta; estableciendo un índice de confianza (agreement index A) para cada edad utilizada como insumo y un índice para todo el modelo (agreement index  $A_{\text{overall}}$ ). Los valores informados deben ser superiores al 60% para obtener un modelo realista. Con lo cual, su aplicabilidad permite evaluar la calidad del dato (edades utilizadas) y descartar modelos cronológicos poco probables, (Bronk Ramsey, 1995).

Se utilizó el modelo de depositación P\_sequence (Bronk Ramsey, 2008) sobre la base de cambios en la coloración y tamaño de grano de los sedimentos; que se asume, reflejan cambios en las tasas de sedimentación. Estos cambios se incorporaron como límites (Boundaries) asignados a profundidades determinadas. A su vez, se establecieron en el techo (Boundary Top) y base (Boundary Bottom) del testigo, para acotar el modelo a un intervalo de tiempo específico. Se utilizaron las funciones  $R\_Date$  para ingresar las edades radiocarbónicas, la función  $C\_Date$  para las edades modeladas y la función  $Date$ , para las tefras.

La longitud de los registros de las lagunas Huaca Mamuil (57 cm) y Carirriñe (~ 7 m) permitieron la elaboración de modelos cronológicos.

Sobre la base de los modelos de edad-profundidad se calculó la distribución de probabilidad de las edades calibradas de las tefras, representadas por la curva de distribución gaussiana en color gris obtenida en el gráfico. El área más oscura representa la probabilidad del 68,2% y el área más clara, la probabilidad del 95,4%. Los cambios de pendiente en la curva de calibración, identificados como segmentos de distinta coloración, reflejan los cambios en las tasas de sedimentación y delimitan las distintas unidades litológicas. Los modelos permitieron establecer los límites temporales entre las distintas unidades y relacionarlos con cambios paleoclimáticos y paleoambientales.

### 3. Resultados

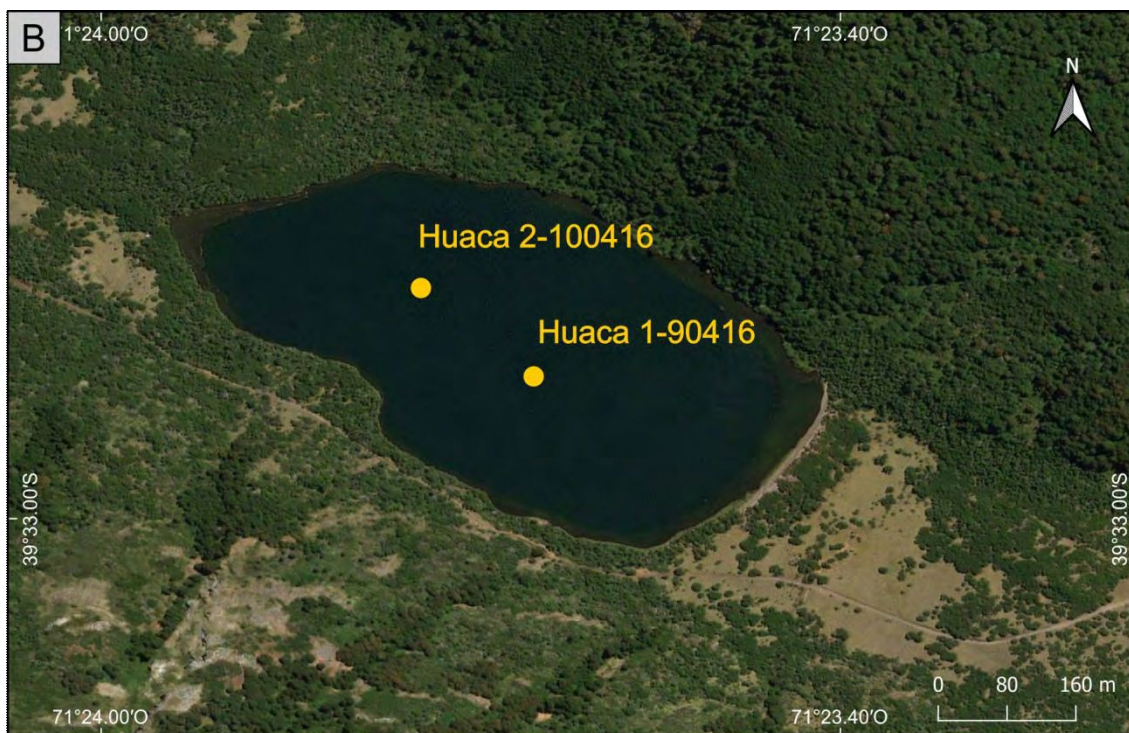
#### 3.1. Laguna Huaca Mamuil

##### 3.1.1. Ubicación

La Laguna Huaca Mamuil (HM: 39° 32' 52,28" S; 71° 23' 38,48" O) es una laguna de origen glaciario, que se ubica al NE del volcán Lanín a una distancia de 9 Km, próxima a la frontera Argentino-Chilena (Figura 11). Se localiza en un valle glacial a una altitud de 1064 m s.n.m. Esta laguna de forma ovalada, tiene una longitud máxima de 800 m, un ancho de 400 m y posee una extensión areal de 0,32 Km<sup>2</sup>. Presenta una profundidad máxima de ~15 m. En la costa sur se identificaron rocas volcánicas (andesitas piroxénicas) de la Formación Auca Pan (Cucchi y Leanza, 2005) de edad paleocena, (Lagorio et al., 1998).

Durante el Pleistoceno el área estuvo sometida a extensos englazamientos de tipo manto de hielo que posteriormente se redujeron a glaciares de valle o de tipo alpino. El retroceso de los glaciares expuso amplios valles en U. Todos los lagos de la región son de origen glaciario. En particular, la forma y la orientación del Lago Tromen se debe a la convergencia de varias artesas glaciarias, (Cucchi y Leanza, 2005) (Figura 11a).





**Figura 11.** *A:* Localización de la laguna Huaca Mamuil (HM), rectángulo amarillo. *B:* ubicación de los sitios de muestreo de los testigos lacustres (Huaca 1-90416 y Huaca 2-100416).

### 3.1.2. Testigos lacustres

En abril de 2016 se obtuvieron dos testigos sedimentarios cortos denominados **Huaca 1-90416** y **Huaca 2-100416**, de 57 y 43 cm de longitud, con un diámetro de 8,6 cm. Se extrajeron con un muestreador de gravedad y percusión UWITEC a 11 m de profundidad. Los sitios de muestreo (**Huaca 1-90416**: 39° 32,886' S; 71° 23,646' O y **Huaca 2-100416**: 39° 32,80' S; 71° 23,781' O) se localizan próximos al centro de la laguna en un sector de fondo plano (Figura 11b).

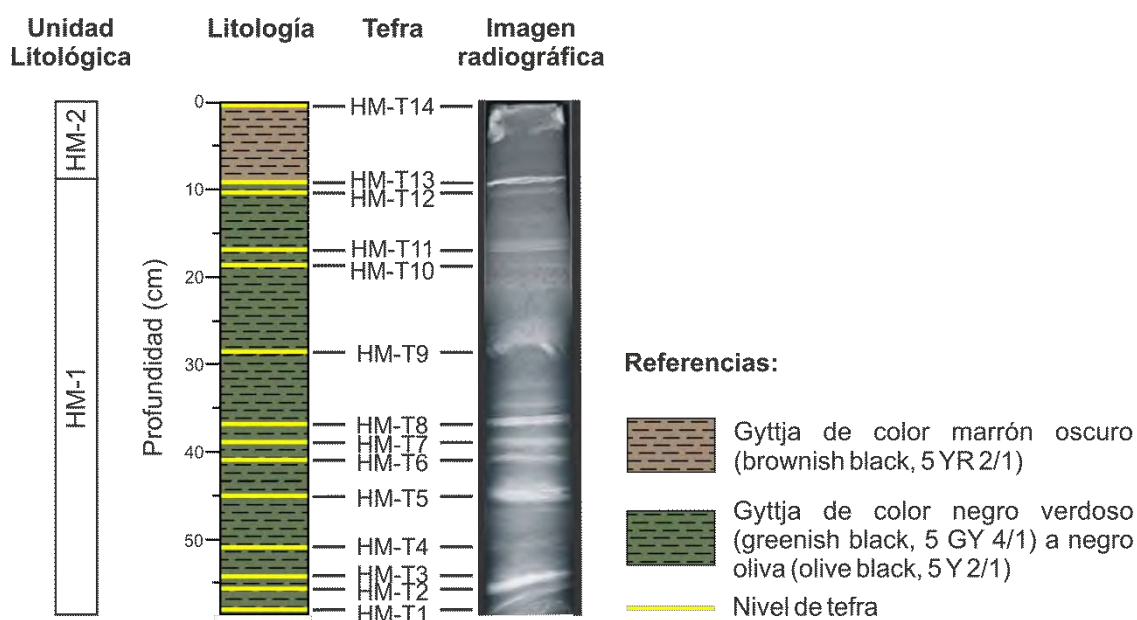
### 3.1.3. Descripción de los sedimentos

Los sedimentos de la laguna HM están compuestos principalmente por gyttja<sup>1</sup>. Se identificó un cambio de coloración a los 8 cm de profundidad, acompañado de una

<sup>1</sup>Gyttja: sedimento de grano fino y de color oscuro con un contenido muy rico en materia orgánica.

ligera variación en la granulometría, que permitió definir dos unidades litológicas (Figura 12). Una unidad basal (**HM-1**; 57 – 8 cm de profundidad) de color negro verdoso (greenish black 5GY 4/1) a negro oliva (olive black 5Y 2/1) constituida por limo arenoso y una unidad superior (**HM-2**; 8 – 0 cm de profundidad) de color marrón oscuro (brownish black 5YR 2/1) compuesta por limo arcilloso.

Se identificaron un total de 14 niveles macroscópicos y discretos de tefra preservados en los sedimentos; 13 de ellos localizados dentro de la unidad litológica basal (HM-1). En su mayoría las tefras son oscuras y de granulometría gruesa. Estos niveles se identificaron con claridad en las imágenes radiográficas (Figura 12).



**Figura 12.** Columna estratigráfica e imagen radiográfica del testigo Huaca 1-90416, señalando los niveles de tefras. A la izquierda se indican las unidades litológicas. Los niveles de color claro muy delgados, no se muestrearon porque no se identificó material piroclástico a simple vista.

Los espesores varían entre 0,1 y 1 cm, con base y techo neto. Algunos niveles presentan base neta y techo transicional, probablemente atribuible a la sedimentación posterior de las tefras removilizadas desde la cuenca durante los meses o años posteriores a la erupción. Esto dependerá del tipo de erupción, volumen de material expulsado, la

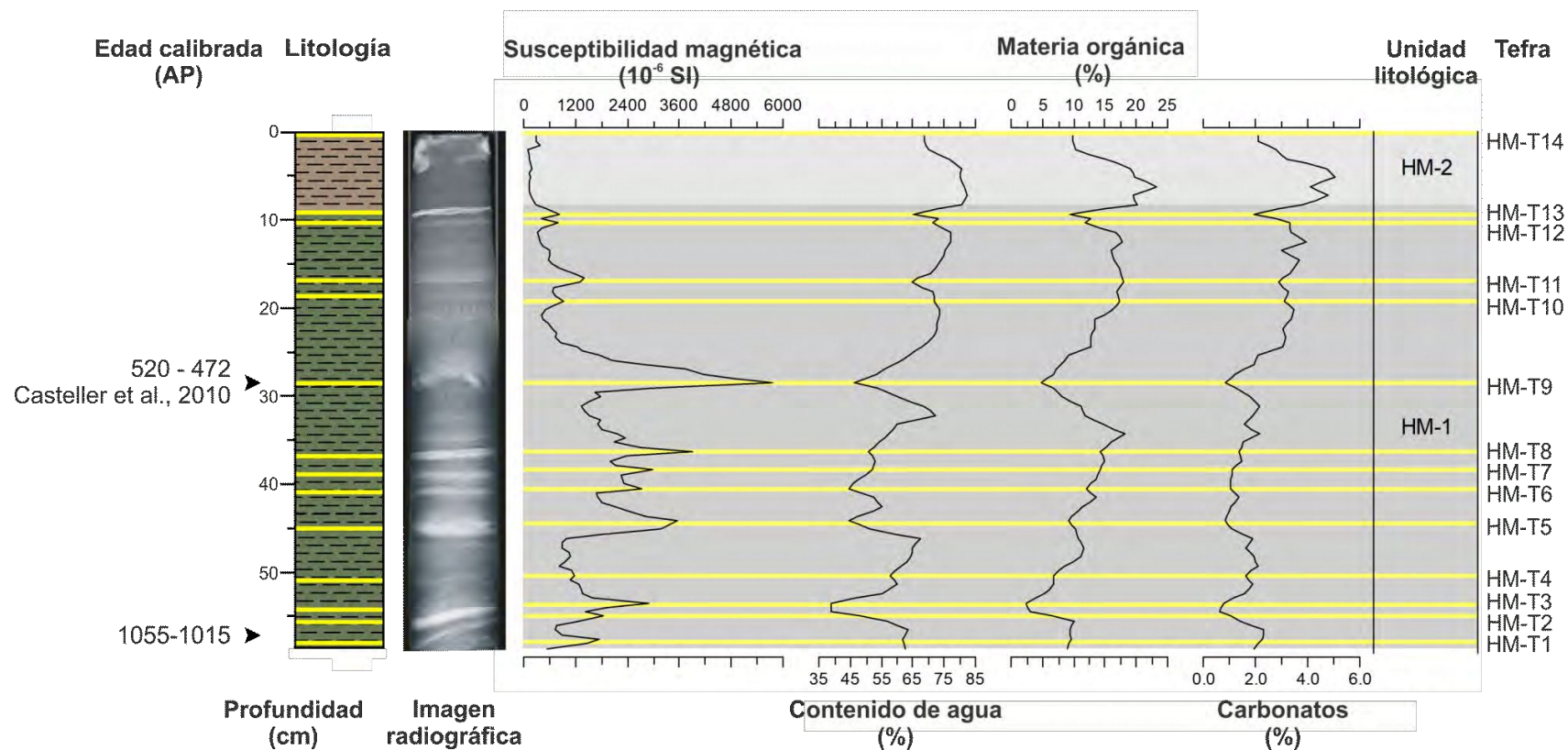
granulometría del material piroclástico, las condiciones climáticas y el grado de estabilidad de las laderas de la cuenca lacustre.

Los niveles de tefra se denominaron utilizando una sigla en mayúscula que hace referencia al nombre de la laguna (HM) y se numeraron desde la base hacia el techo; es decir, HM-T1 es tefra la más antigua y HM-T14 la más joven, respectivamente.

#### **3.1.4. Susceptibilidad magnética (SM)**

El análisis de susceptibilidad reveló un cambio en las propiedades magnéticas de los sedimentos a los 8 cm de profundidad, en coincidencia con la variación litológica observada macroscópicamente, y que corresponde al cambio de coloración y granulometría del sedimento ya descrito. Esto confirma que los valores de susceptibilidad reflejan adecuadamente los cambios de características en los sedimentos de esta laguna. Las mediciones de SM se presentan en la Tabla 1a-Anexo 2.

Se identificaron numerosos picos de alta SM sobre una señal de fondo (background) de alrededor de  $300 \cdot 10^{-6}$  SI, de los cuales 14 corresponden a niveles de tefra. Un pico muy prominente con un valor de  $5733 \cdot 10^{-6}$  SI se destaca a los 27,5 cm de profundidad. Siete picos marcados con valores que oscilan entre  $1758 \cdot 10^{-6}$  y  $3904 \cdot 10^{-6}$  SI; y seis picos con una señal mucho más baja entre  $935 \cdot 10^{-6}$  y  $1313 \cdot 10^{-6}$  SI (Figura 13).



**Referencias:**

- |   |  |   |   |   |                |
|---|--|---|---|---|----------------|
|  | Gyttja de color marrón oscuro (brownish black, 5 YR 2/1) |  | Gyttja de color negro verdoso (greenish black, 5 GY 4/1) a negro oliva (olive black, 5 Y 2/1) |  | Nivel de tefra |
|---|--|---|---|---|----------------|

**Figura 13.** Izquierda: columna estratigráfica e imagen radiográfica del testigo Huaca1-90416. Derecha: perfiles de SM, contenido de agua, MO (LOI 550), carbonatos (LOI 950) y unidades litológicas. Las líneas en color amarillo indican la posición de los niveles de tefra y los triángulos negros indican las edades radiocarbónicas calibradas (AP).

### **3.1.5. Contenido de agua, materia orgánica (MO) y carbonatos**

Los sedimentos de la unidad HM-1 presentan una amplia variabilidad en el contenido de agua con valores en el rango entre 38,5 y 80 %; y contenidos de MO entre 2,5 a 20 %. Por el contrario, la concentración de carbonatos es baja con valores que oscilan entre 0,6 y 4 % (Figura 13). Se observó una clara correlación entre el contenido de agua y MO con un ligero incremento desde la base (57 cm) hasta los 8 cm de profundidad. Las caídas abruptas en los valores marcan la profundidad a la que se encuentran los niveles de tefra. El incremento paulatino del contenido de MO a continuación de una caída marcada, se atribuye posiblemente a la sedimentación posterior del material piroclástico removilizado en la cuenca.

Los sedimentos de la unidad HM-2 presentan altos contenidos de agua con valores que varían entre 68,5 y 82% y contenidos de MO entre 10 y 23 %. La concentración de carbonatos oscila entre 2 y 5 % (Figura 13).

Los datos de contenido de agua, materia orgánica (LOI 550) y carbonatos (LOI 950) se presentan en la Tabla 1b-Anexo 2.

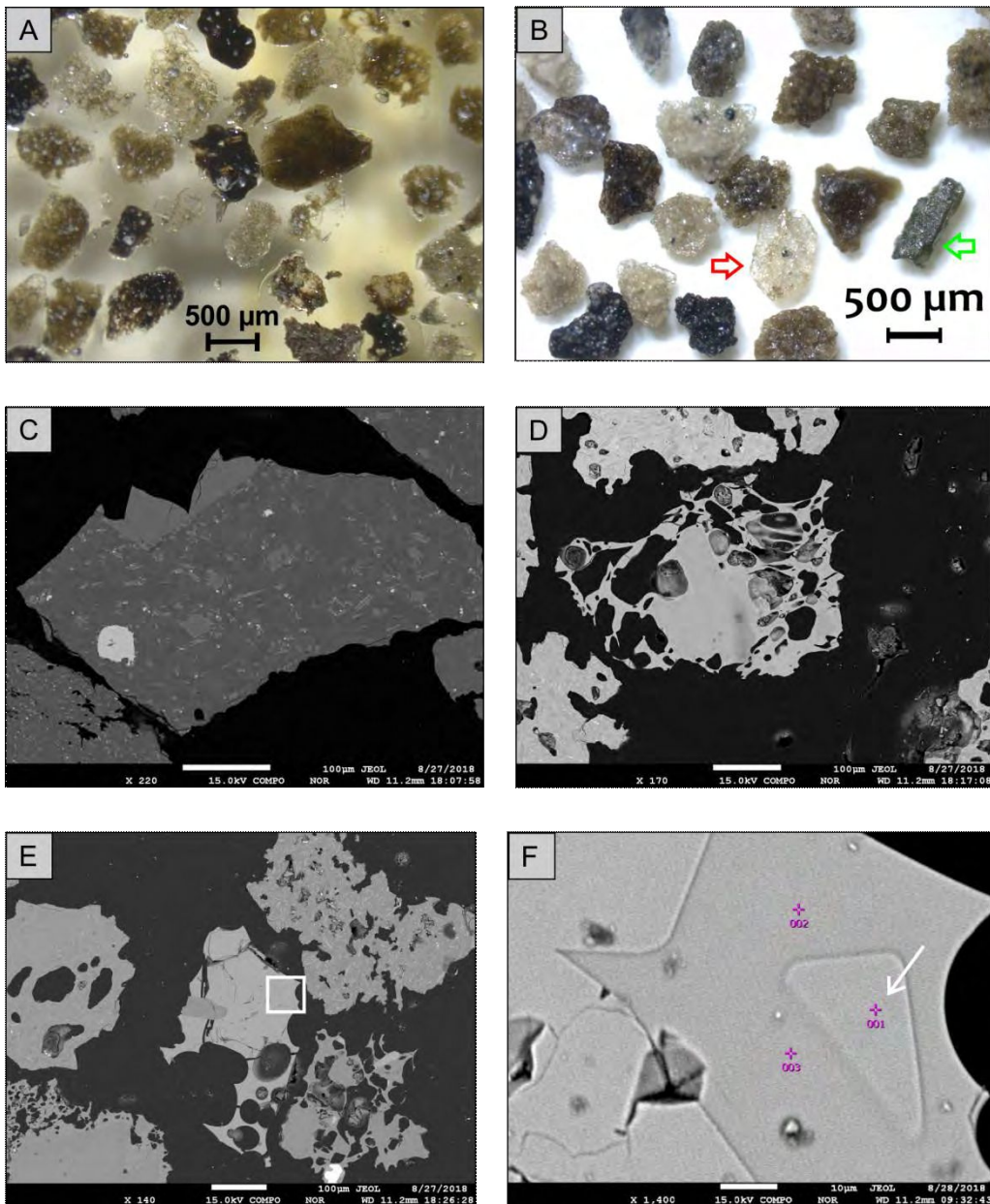
### **3.1.6. Descripción y caracterización morfológica de los niveles de tefra**

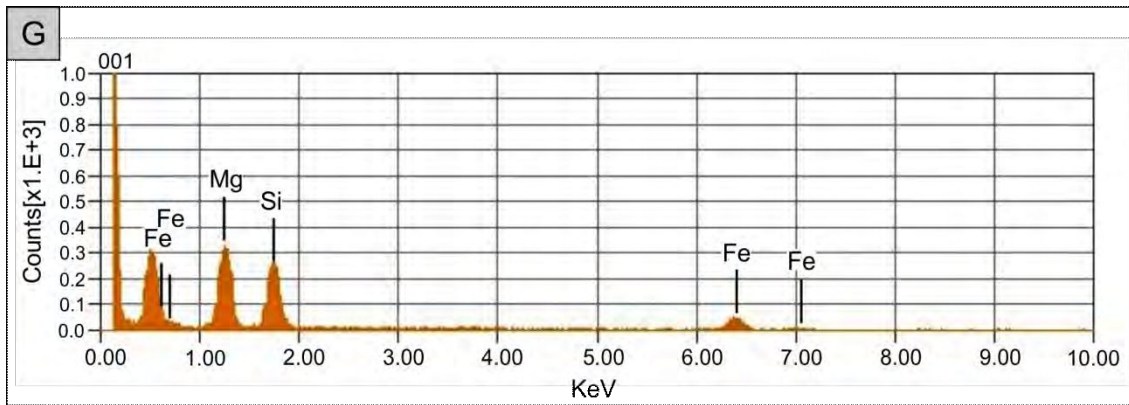
Las tefras están compuestas por material piroclástico con proporciones variables de vitroclastos, cristaloclastos y litoclastos según la fracción granulométrica. En general son muy ricos en componentes vítreos con porcentajes que varían entre el 85 y 95 % del volumen total. La fracción mineral suele ser escasa y se enriquece en las fracciones más finas (<125  $\mu\text{m}$ ), con porcentajes  $\leq 10$  %. Esta tendencia también se observa en la proporción de litoclastos aunque su concentración por lo general no supera el 5 %.

En todas las tefras se identificó una mineralogía muy simple: predominan los microfenocristales y microlitos constituidos por tablillas de plagioclasa, piroxeno y cristales de magnetita titanífera. Este último mineral es muy abundante en los vitroclastos de la tefra HM-T9, lo que se ve reflejado en el pico de SM correspondiente (Figura 13). Se presentan algunos de los análisis efectuados sobre minerales (Figuras 14 E, F y G y Figura 22 E y F).

## HM-T1

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 56,5 y 56,2 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro, pumíceos y castaño oscuro, con baja vesicularidad, acompañados de vitroclastos escoriáceos grises a negros, con inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea (Figura 14). Cabe destacar la presencia de vitroclastos de color castaño claro a oscuro, delgados, densos, con superficie de fractura concoidea. Estos fragmentos corresponden a esquirlas de obsidiana.





**Figura 14.** Tefra HM-T1. **A:** imagen de un corte pulido a espejo visto con lupa binocular; componentes vítreos. **B:** imagen de lupa binocular; vitroclastos y minerales con delgadas coberturas vítreas. La flecha roja señala un cristal de plagioclasa y la flecha verde, un cristal de piroxeno. **C, D, E y F:** BSEI. **C:** fragmento de obsidiana con microfenocristales y alto contenido microlítico. **D:** vitroclasto pumíceo con microfenocristales. **E:** en el sector central de la imagen se observa un vitroclasto con alto contenido de microfenocristales. El recuadro blanco indica el sector analizado. **F:** detalle del vitroclasto con microfenocristales de piroxeno. **G:** espectro de rayos x del punto 001 (flecha blanca) obtenido por SEM-EDS correspondiente a un piroxeno.

## HM-T2

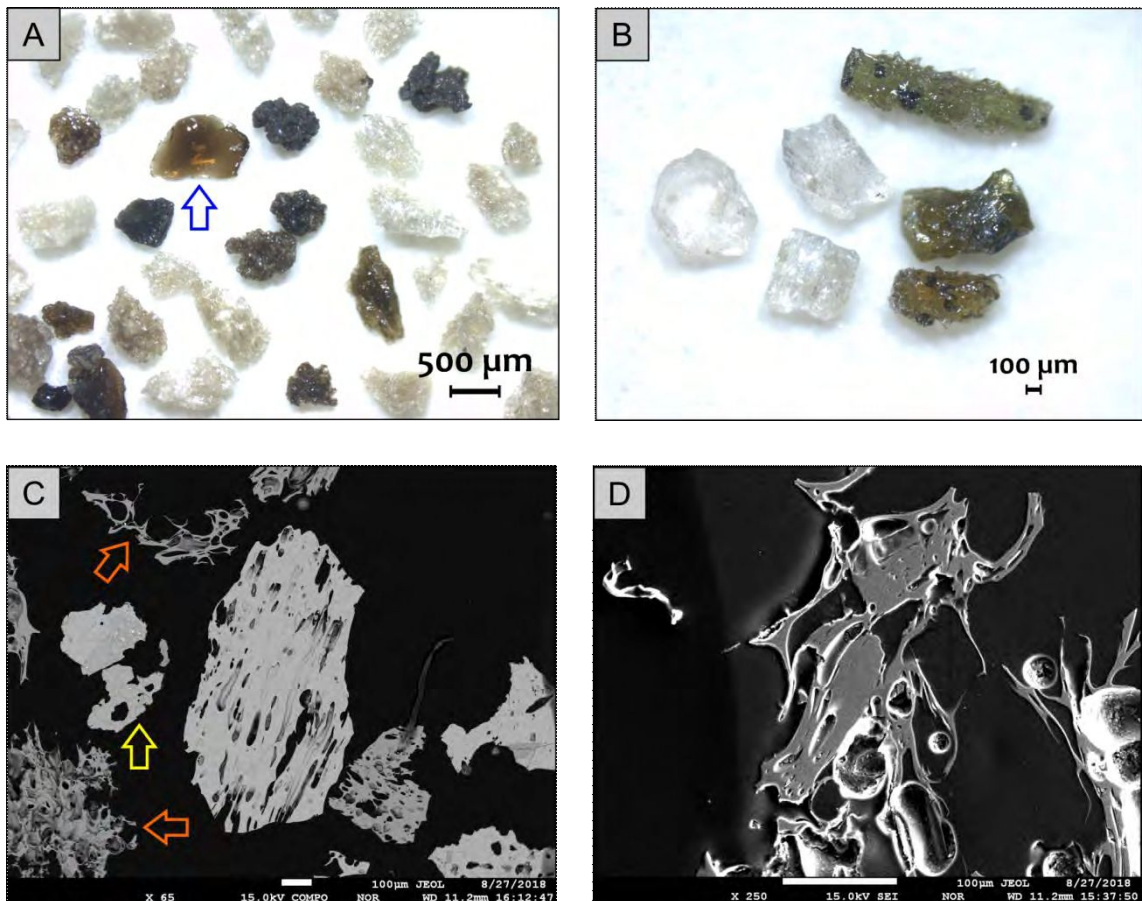
Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 53,5 y 53,4 cm de profundidad. Está compuesto en proporciones similares por vitroclastos escoriáceos de color castaño grisáceo a negro y vitroclastos de color castaño oscuro con moderada a baja vesicularidad. En menor proporción se identificaron vitroclastos de color castaño claro a incoloro, pumíceos y esquirlas de obsidiana (Figura 15).



**Figura 15.** Imagen de lupa binocular de los componentes vítreos de la tefra HM-T2.

### HM-T3

Nivel de tefra de 0,8 cm de espesor, ubicado entre los 53 y 52,2 cm de profundidad. Está compuesto principalmente por vitroclastos incoloros a castaño muy claro, pumíceos, con brillo satinado. Presentan vesículas circulares, ovaladas y canalículos paralelos entre sí evidenciando fluidalidad. Estos vitroclastos carecen o presentan microfenocristales/ microlitos aislados. En menor proporción se identificaron esquirlas de obsidiana, vitroclastos de color castaño a castaño verdoso y fragmentos escoriáceos grises a negros. La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos con delgadas coberturas vítreas conformando piroclastos mixtos (Figura 16). En algunos fragmentos se observó pirita con textura framboidal tapizando las cavidades de las vesículas.



**Figura 16.** Tefra HM-T3. **A:** imagen de lupa binocular. Nótese como predominan los fragmentos incoloros, pumíceos, en comparación a los de coloraciones más oscuras. La flecha azul señala un fragmento de obsidiana. **B:** imagen de lupa binocular. Cristales de plagioclasa y piroxeno con delgados recubrimientos vítreos. **C:** BSEI, en el sector central de la imagen se observa un vitroclasto moderadamente vesiculado, con vesículas alargadas paralelas entre sí.

Las flechas en color naranja señalan dos vitroclastos pumíceos mientras que la flecha amarilla, un vitroclasto escoriáceo altamente microlítico. **D:** SEI, vitroclasto pumíceo. Nótese las morfologías irregular y alargada de las vesículas.

#### HM-T4

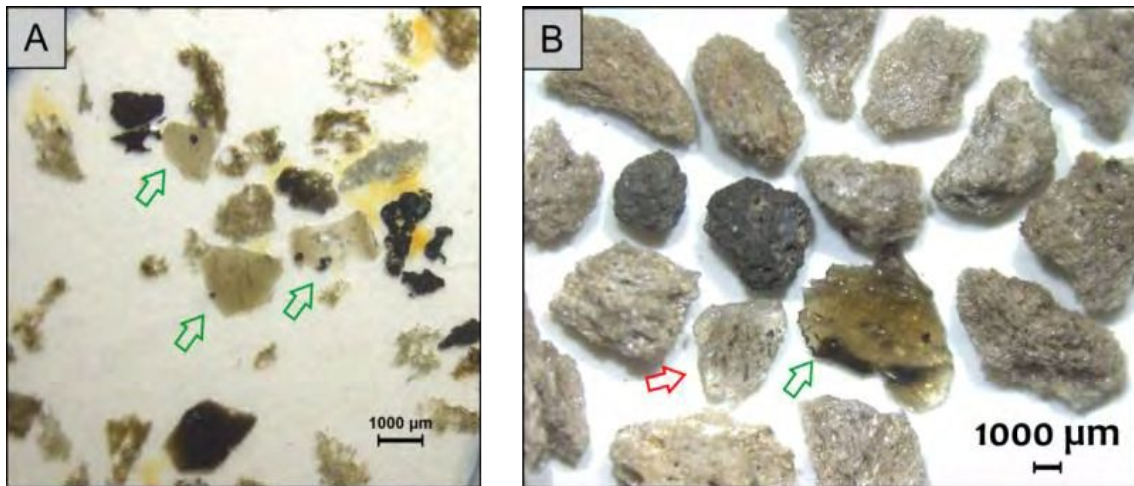
Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 48,5 y 48,4 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro a incoloro y castaño oscuro, pumíceos, acompañados por fragmentos escoriáceos de color castaño grisáceo oscuro a negro y obsidiana (Figura 17).



*Figura 17. Imagen de lupa binocular de la tefra HM-T4. Se observa como los componentes vítreos oscuros predominan sobre los de coloraciones más claras.*

#### HM-T5

Nivel de tefra de 1 cm de espesor, ubicado entre los 43,5 y 42,5 cm de profundidad. La fracción con un tamaño de partícula entre 500  $\mu\text{m}$  y 0,4 cm está compuesta fundamentalmente por vitroclastos de color castaño claro grisáceo, pumíceos, con vesículas ovaladas y alargadas. Estos fragmentos carecen o presentan microfenocristales/microlitos aislados. En las fracciones más finas predominan los vitroclastos de color castaño a castaño verdoso con vesicularidad variable y moderado a bajo contenido de microfenocristales y microlitos; fragmentos escoriáceos grises a negros altamente microlíticos y esquirlas de obsidiana (Figura 18).



**Figura 18.** Tefra HM-T5. **A:** imagen de un corte pulido a espejo visto con lupa binocular. Las flechas de color verde señalan esquirlas de obsidiana de color castaño claro con inclusiones de minerales negros, opacos. **B:** imagen de lupa binocular; vitroclastos pumíceos de color castaño claro grisáceo y vitroclastos escoriáceos. La flecha verde señala un fragmento de obsidiana y la flecha roja, un cristal de plagioclasa con un delgado recubrimiento vítreo.

## HM-T6

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 39 y 38,7 cm de profundidad. Está compuesto en proporciones similares por vitroclastos de color castaño claro a incoloro y castaño oscuro, pumíceos, acompañados por fragmentos escoriáceos grises a negro. En menor proporción, esquirlas de obsidiana. La fracción mineral está compuesta principalmente por plagioclasas, piroxenos y minerales negros, opacos, magnéticos, con delgados recubrimientos vítreos (Figura 19).



**Figura 19.** Imagen de lupa binocular de los componentes vítreos y minerales de la tefra HM-T6.

## HM-T7

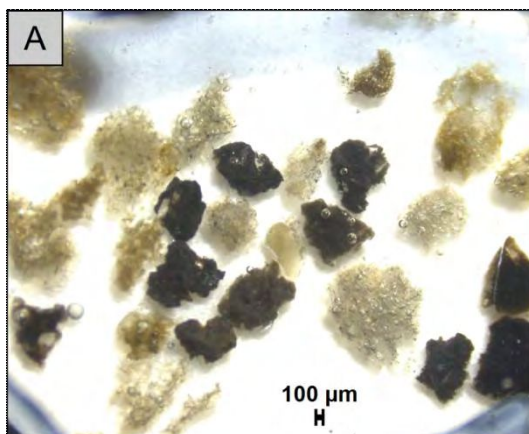
Nivel de tefra de 0,4 cm de espesor, ubicado entre los 37,5 y 37,1 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro grisáceo a incoloro y castaño verdoso oscuro, pumíceos, con vesículas circulares, ovaladas a alargadas; acompañados por vitroclastos escoriáceos grises a negro y obsidiana (Figura 20).

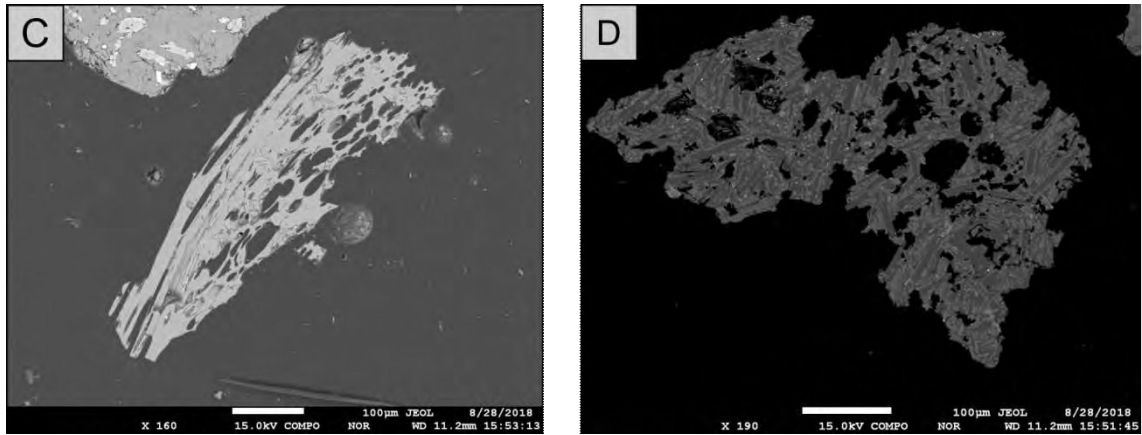


*Figura 20. Imagen de lupa binocular de los vitroclastos que componen la tefra HM-T7. Nótese la variación de coloración y diferentes morfologías entre las partículas de vidrio.*

## HM-T8

Nivel de tefra de 0,6 cm de espesor, ubicado entre los 35,5 y 34,9 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro grisáceo, pumíceos, conformando las fracciones más gruesas. A medida que disminuye el tamaño de partícula aumenta la proporción de vitroclastos escoriáceos negros con moderada a alta vesicularidad; acompañados por esquirlas de obsidiana y vitroclastos de color castaño oscuro, pumíceos (Figura 21).

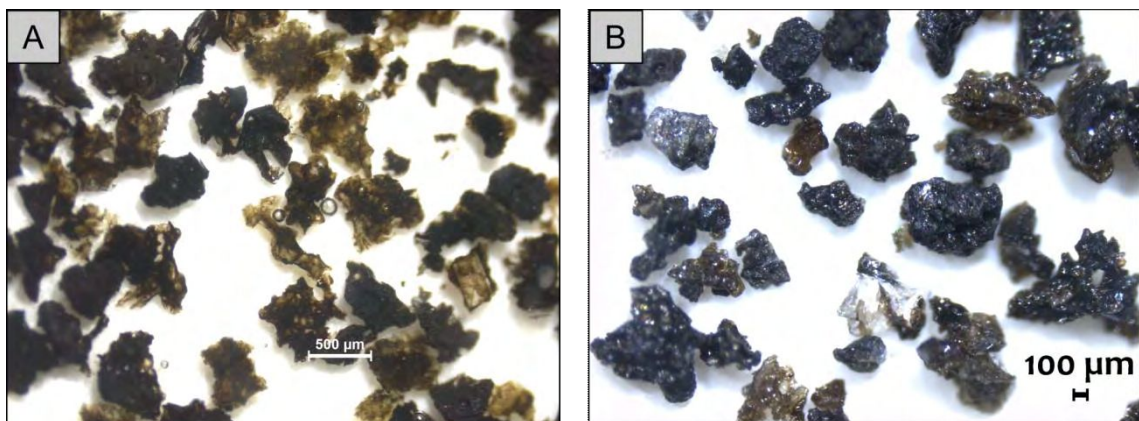


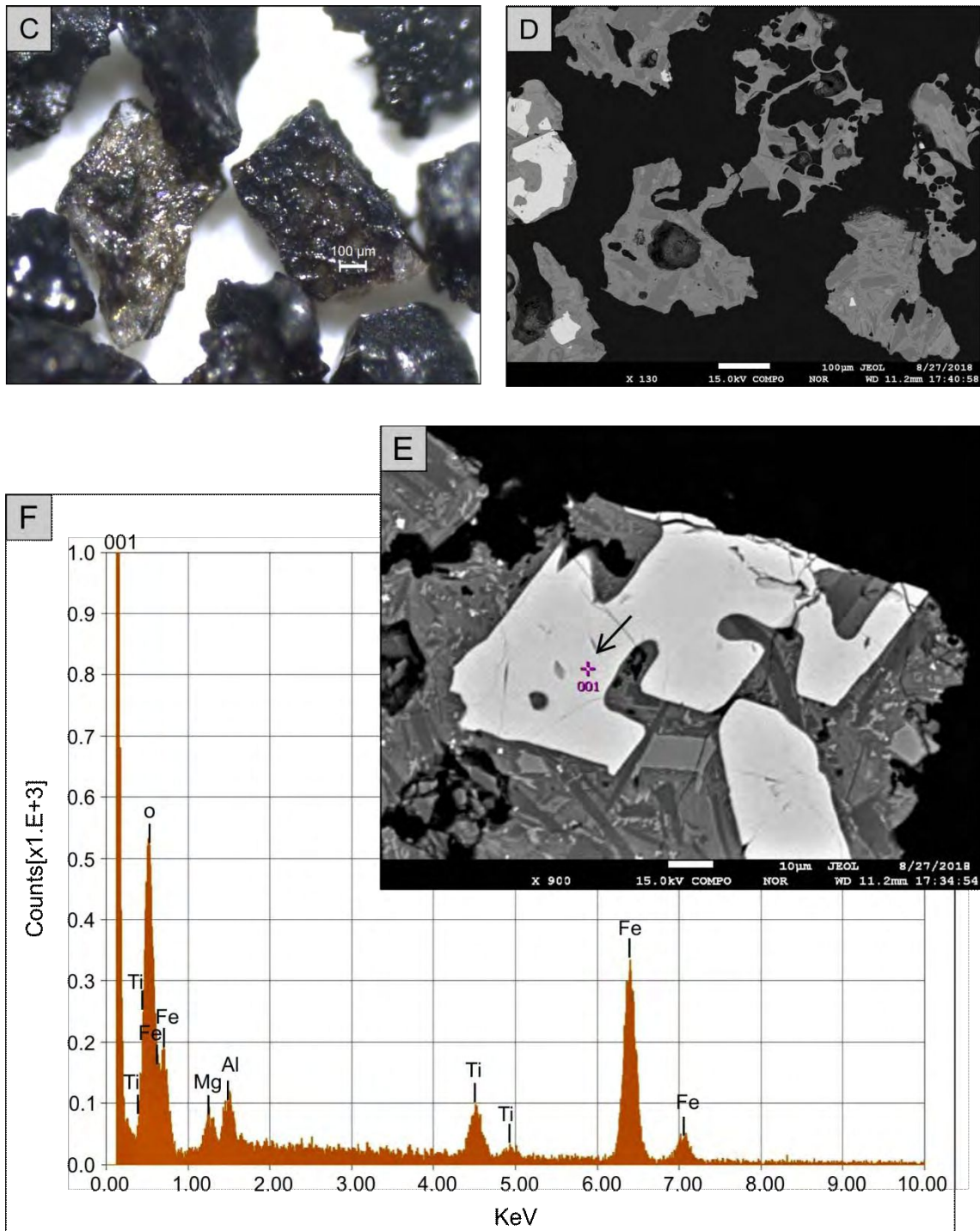


**Figura 21.** Tefra HM-T8. **A:** imagen de un corte pulido a espejo visto con lupa binocular; vitroclastos de color castaño claro y oscuro, fragmentos escoriáceos y esquirlas de obsidiana. **B:** imagen de lupa binocular de los componentes vítreos y minerales con delgados recubrimientos vítreos. **C y D:** BSEI. **C:** vitroclasto con vesículas ovaladas y alargadas paralelas entré si en un mismo fragmento. **D:** vitroclasto altamente microlítico.

## HM-T9

Nivel de tefra de 1 cm de espesor, ubicado entre los 28 y 27 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos de color castaño oscuro, con moderada a alta vesicularidad y vitroclastos escoriáceos negros, con moderada a baja vesicularidad. La fracción mineral está compuesta mayormente por plagioclasas y en menor proporción piroxenos, recubiertos por gruesas envolturas vítreas. Los vitroclastos presenta una alta cantidad de microfenocristales y microlitos caracterizados por tablillas de plagioclasa, piroxeno y magnetita titanífera (Figura 22).

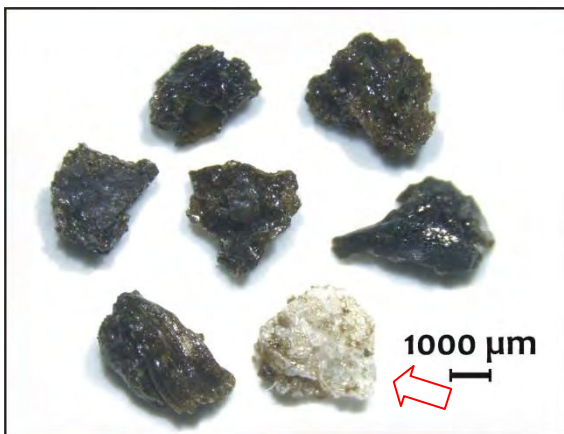




**Figura 22.** Componentes vítreos y minerales de la tefra HM-T9. **A:** corte pulido a espejo visto con lupa binocular. **B:** imagen de lupa binocular. **A y B:** vitroclastos escoriáceos negros y de color castaño oscuro. **C:** imagen de lupa binocular, en el sector central de la imagen se observan dos piroclastos mixtos. **D:** BSEI, vitroclastos con alto contenido de microfenocristales y microlitos. **E:** BSEI; detalle de un vitroclasto escoriáceo en el que se observa un fenocristal de magnetita titanífera. **F:** Espectro de rayos x del punto 001 (flecha negra) obtenido por SEM-EDS correspondiente al cristal de magnetita titanífera.

### HM-T10

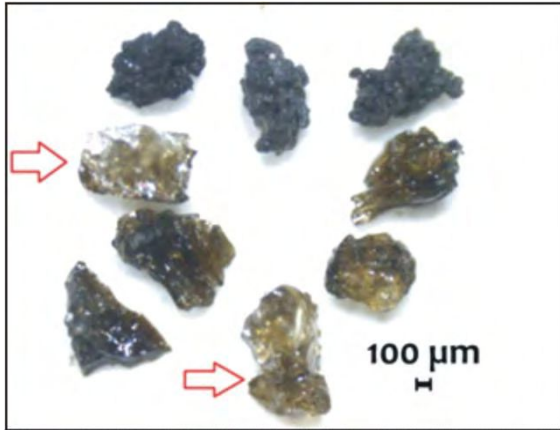
Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 18,5 y 18,4 cm de profundidad. Está compuesto por lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso, de formas irregulares y alargadas, de superficie externa lisa con protuberancias y vitroclastos escoriáceos de color negro, con baja vesicularidad. La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, piroxenos y olivinas con delgados recubrimientos vítreos de color castaño verdoso (Figura 23).



*Figura 23. Imagen de lupa binocular de las lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso que componen la tefra HM-T10. La flecha roja señala un cristal de plagioclasa con un delgado recubrimiento vítreo de color castaño verdoso.*

### HM-T11

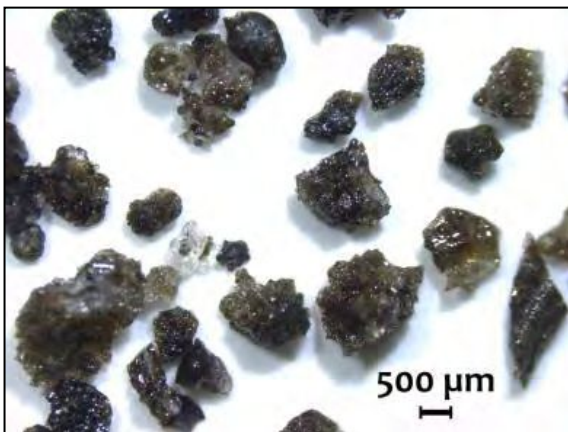
Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 17 y 16,9 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso, de formas irregulares con superficie externa lisa con protuberancias. La vesicularidad interna es alta, con vesículas circulares, ovaladas y alargadas. En menor proporción hay vitroclastos escoriáceos de color negro, con moderada a alta vesicularidad. Las vesículas son de forma irregular (Figura 24).



**Figura 24.** Imagen de lupa binocular de la tefra HM-T11. En el margen superior se observan tres vitroclastos escoriáceos de color negro; flecha roja: cristales de plagioclasas con recubrimientos vítreos, rodeados de cuatro lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso.

### HM-T12

Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 10 y 9,9 cm de profundidad. Está compuesto en mayor proporción por lágrimas de Pele y lágrimas rotas de color castaño verdoso oscuro, de formas irregulares, alargadas, de superficie externa lisa con protuberancias y vesicularidad interna variable. En las fracciones más finas predominan los vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro a negro, con alta a moderada vesicularidad (Figura 25).

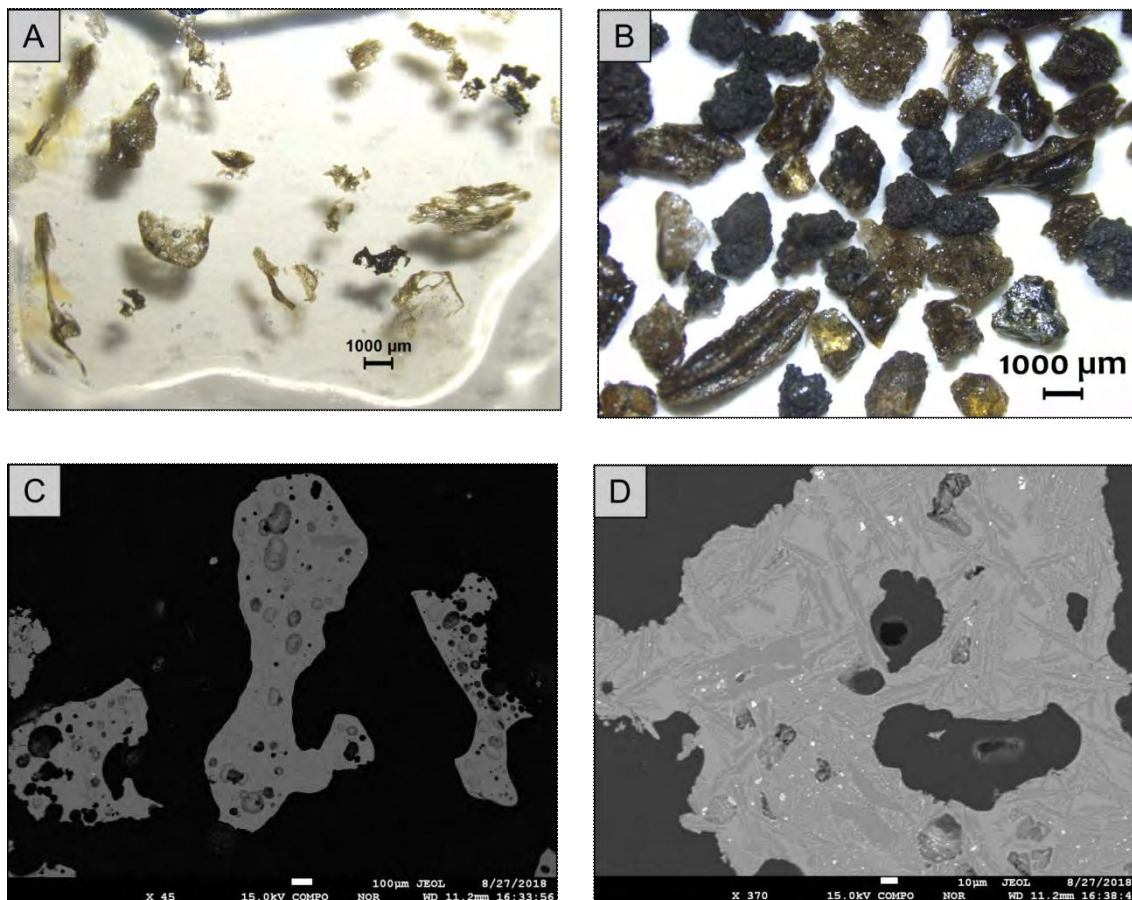


**Figura 25.** Imagen de lupa binocular de los componentes juveniles de la tefra HM-T12.

### HM-T13

Nivel de tefra de 0,2 cm de espesor, ubicado entre los 9 y 8,8 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por lágrimas de Pele con formas irregulares, elongadas, retorcidas y con extremos ahusados; y lágrimas rotas de color castaño verdoso oscuro.

Asimismo se identificaron vitroclastos escoriáceos negros altamente vesiculados cuya concentración aumenta hacia las fracciones más finas (Figura 26).

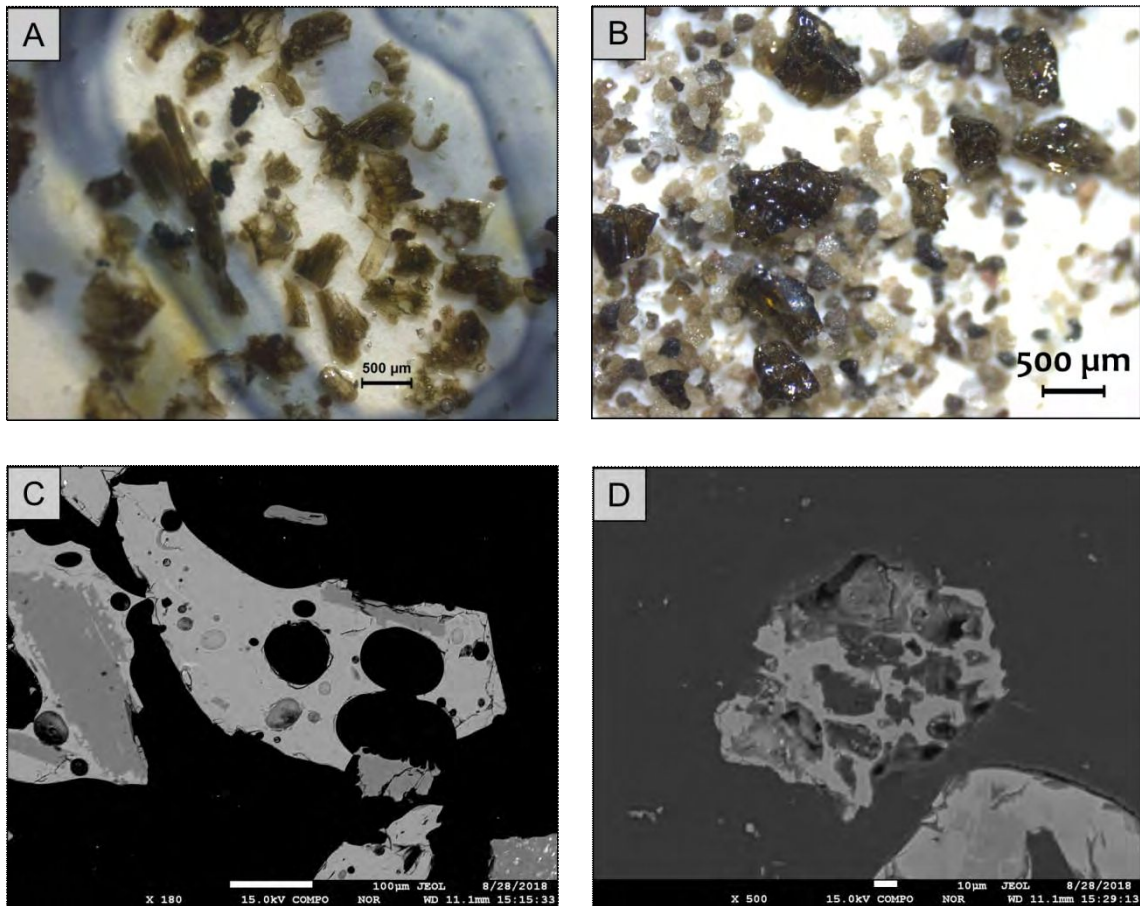


**Figura 26.** Tefra HM-T13. **A:** Imagen de un corte pulido a espejo visto con lupa binocular donde se destaca la morfología de gota de las lágrimas de Pele. **B:** imagen de lupa binocular; componentes vítreos y minerales. **C y D:** BSEI. **C:** el vitroclasto central corresponde a una lágrima de Pele rodeada de dos lágrimas rotas con alto a bajo contenido microlítico. **D:** detalle de un vitroclasto escoriáceo con elevado contenido microlítico.

## HM-T14

Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 0,1 y 0 cm de profundidad. Está compuesto por dos fracciones granulométricas, una gruesa (250 μm - 0,1 cm) y una fina (125 y 63 μm) que diferencian morfologías distintivas de vitroclastos. Estas morfologías son indicativas de mecanismos eruptivos con grado de explosividad diferente (Heiken, 1974) que permiten diferenciar distintas fuentes de origen. La fracción gruesa está compuesta por lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso oscuro, mientras que la

fracción fina está caracterizada por vitroclastos pumíceos de color castaño claro y oscuro; acompañados por vitroclastos incoloros y grises, pumíceos y fragmentos escoriáceos negros aislados. La fracción mineral está compuesta por cristales de plagioclasa y piroxeno (Figura 27).



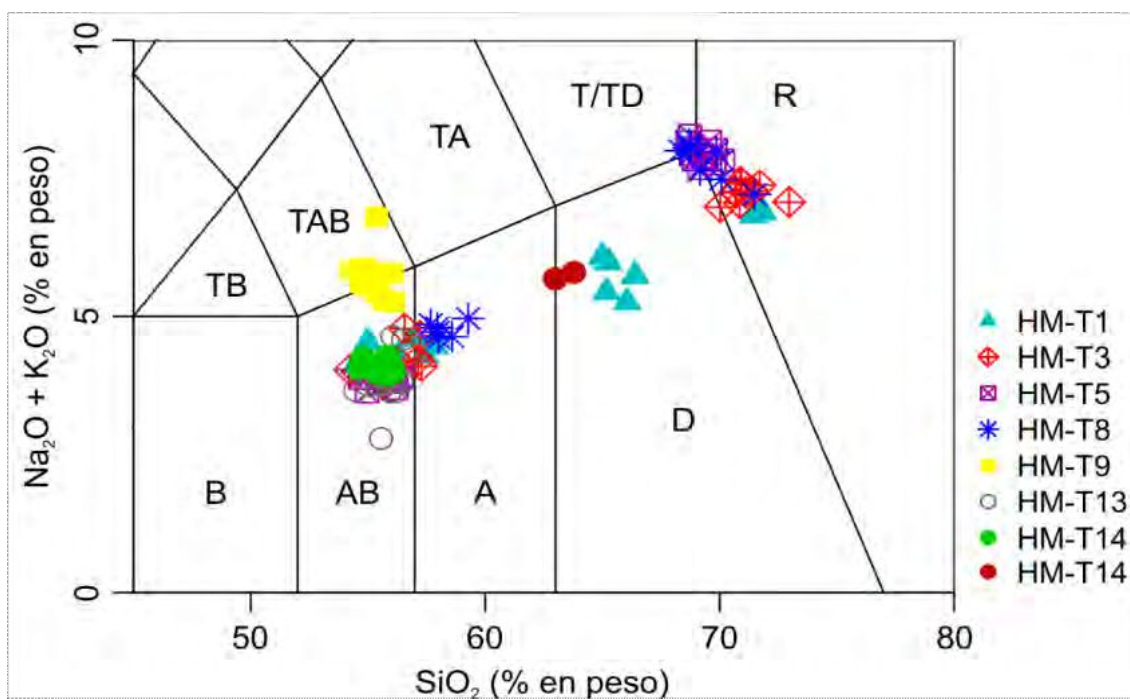
**Figura 27.** Tefra HM-T14. **A:** Imagen de un corte con pulido a espejo visto con lupa binocular. **B:** imagen de lupa binocular. Nótese en ambas imágenes la diferencia granulométrica entre las lágrimas de Pele rotas de mayor tamaño y las partículas vítreas pumíceas más finas. **C y D:** BSEI. **C:** lágrima de Pele rota (fracción gruesa). **D:** vitroclasto pumíceo (fracción fina).

### 3.1.7. Caracterización geoquímica de los niveles de tefra

#### 3.1.7.1. Elementos mayores

En este registro se analizaron químicamente los siete niveles de tefra más conspicuos. Se seleccionaron en función del espesor, granulometría y morfologías distintivas de

vitroclastos. Los resultados se proyectaron en un diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986) (Figura 28), con el fin de caracterizar la composición del vidrio e identificar tefras de una misma fuente y agruparlas de manera de poder relacionarlas con sus respectivos centros volcánicos.



**Figura 28.** Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986) para las tefras de la laguna Huaca Mamuil. Los puntos corresponden a la composición de distintos vitroclastos de cada nivel de tefra. B: Basalto, AB: Andesita-basáltica, A: Andesita, D: Dacita, R: Riolita, T/TD: Traquita/traquidacita, TA: Traquiandesita, TAB: Traquiandesita-basáltica, TR: Traquibasalto.

La composición de los elementos mayores revela un amplio rango composicional, con contenidos de  $\text{SiO}_2$  entre 54 y el 73 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 2,5 y el 8 % en peso (Figura 28). Los resultados se presentan en la Tabla 1-Anexo 3.

Sobre la base de la coloración, la caracterización morfológica y la composición química de las partículas de la fracción vítrea, se definieron distintas poblaciones de vitroclastos para cada una de las tefras.

En la tefra **HM-T1** se identificaron cuatro poblaciones de vitroclastos. La población más abundante es de composición dacítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 65 y el 66 %

en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 5 y el 6 % en peso. En menor proporción, una segunda población de composición riolítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  de  $\sim 71,5$  % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  de  $\sim 6,8$  % en peso y una tercera población es de composición andesítica-basáltica/andesítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 55 y el 58 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  de  $\sim 4,5$  % en peso. La cuarta población no pudo ser analizada debido a la alta densidad de microlitos presentes en los vitroclastos.

En la tefra **HM-T3** se identificaron tres poblaciones de vitroclastos. La población más representativa es de composición riolítica con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 70 y el 73 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  de  $\sim 7$  % en peso. En menor proporción una segunda población de composición andesítica-basáltica/ andesítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 54 y el 58 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 3,5 y el 4,5 % en peso. La tercera población no pudo ser medida debido al alto contenido microlítico de los vitroclastos.

En la tefra **HM-T5** se identificaron tres poblaciones de vitroclastos. La población más representativa posee una composición en el límite entre los campos riolítico/traquidacítico/dacítico, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 68,5 y el 70 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  de  $\sim 8$  % en peso. Una segunda población de composición andesítica-basáltica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 54 y el 57 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 3 y el 4 % en peso. La tercera población está compuesta por vitroclastos altamente microlíticos, motivo por el cual no pudo ser analizada.

En la tefra **HM-T8** se identificaron tres poblaciones de vitroclastos. La población más abundante posee una composición en el límite entre los campos riolítico/traquidacítico/dacítico, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 68 y el 71 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 7 y el 8 % en peso. Una segunda población de composición andesítica con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 57,5-59 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 4 y el 5 % en peso. La tercera población está compuesta por vitroclastos altamente microlíticos, con lo cual no pudieron ser analizados.

La tefra **HM-T9** está compuesta por una población de vitroclastos con dos morfologías distintivas (vitroclastos escoriáceos y vitroclastos de color castaño oscuro con moderada a alta vesicularidad). Estos poseen una composición en el límite entre los campos traquiandesítico-basáltico/andesítico-basáltico, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 54 y el 56 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 5 y el 6 % en peso.

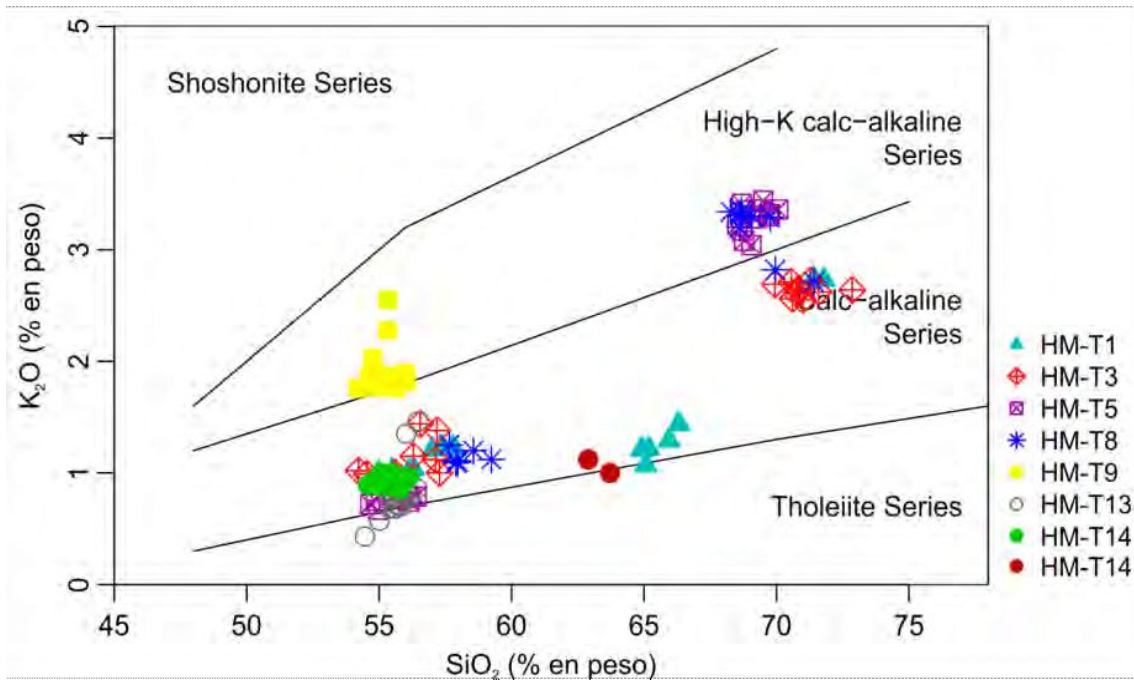
La tefra **HM-T13** está compuesta por una población de vitroclastos con dos morfologías distintivas (lágrimas de Pele/lágrimas rotas y vitroclastos escoriáceos). Estos son de composición basáltica-andesítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 54 y el 56,5 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 2,5 y el 5 % en peso.

En el caso de la tefra **HM-T14** las poblaciones de vitroclastos se definieron según la fracción granulométrica. La fracción fina está compuesta por dos poblaciones de vitroclastos. La población más representativa es de composición andesítica/dacítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 62,9 y el 64 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  de ~ 5,7 % en peso. La segunda población está compuesta por vitroclastos escoriáceos aislados, motivo por el cual no pudieron ser analizados.

La fracción gruesa está compuesta por una única población de composición andesítica-basáltica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 54,5 y el 56 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  de ~ 4 % en peso.

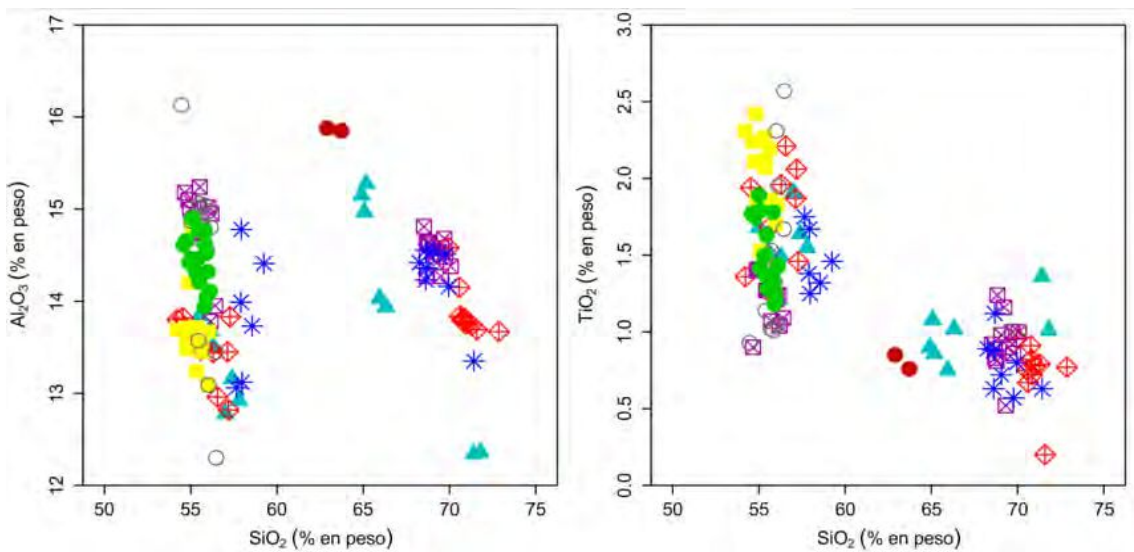
A partir del diagrama TAS, se puede observar que las tefras HM-T5 y HM-T8 se agrupan por composición; al igual que HM-T13 y la fracción gruesa de HM-T14; es decir, tienen afinidad e indicaría una probable fuente de origen común.

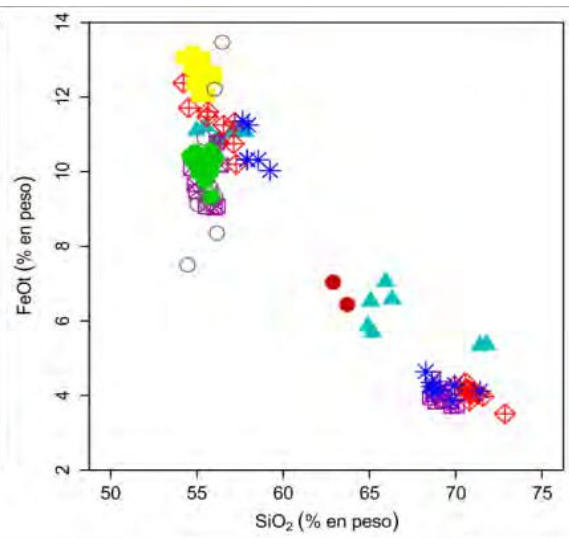
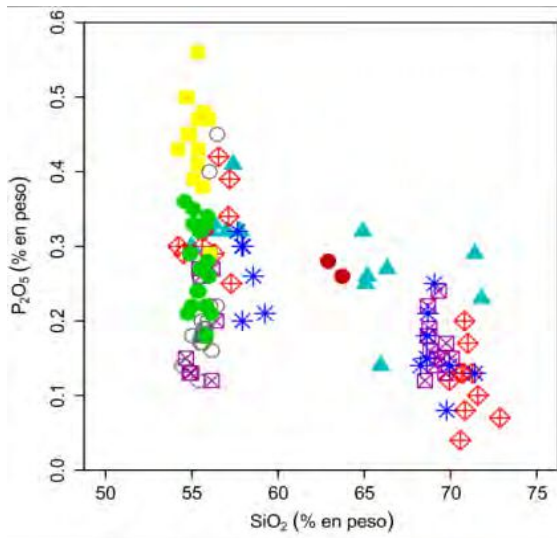
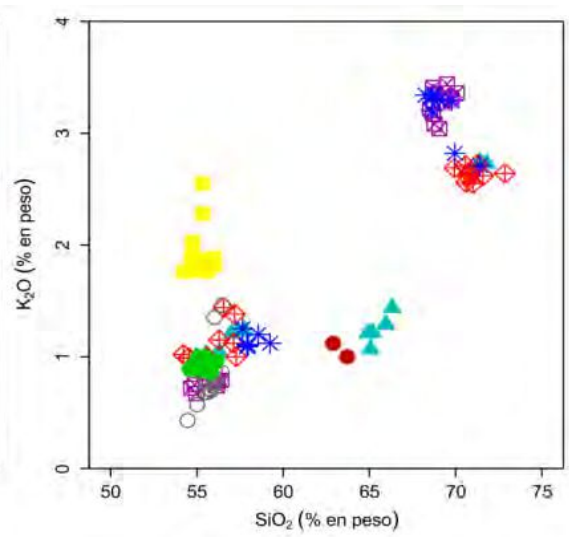
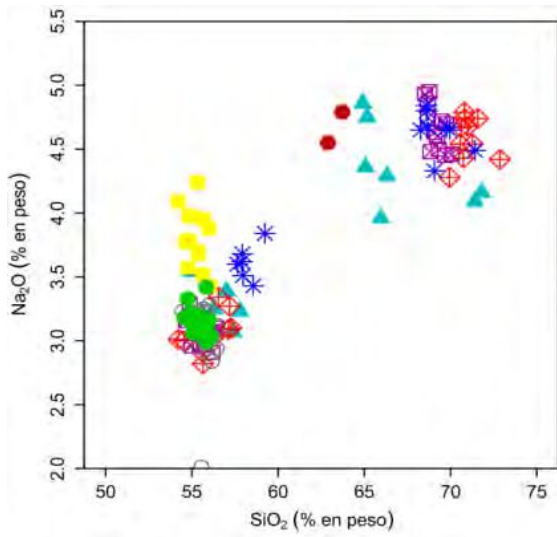
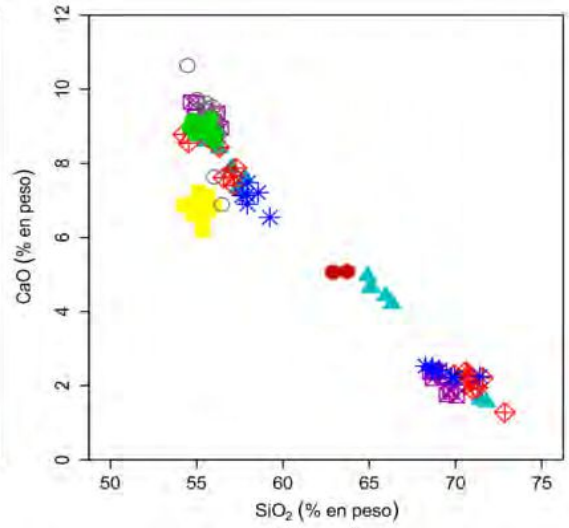
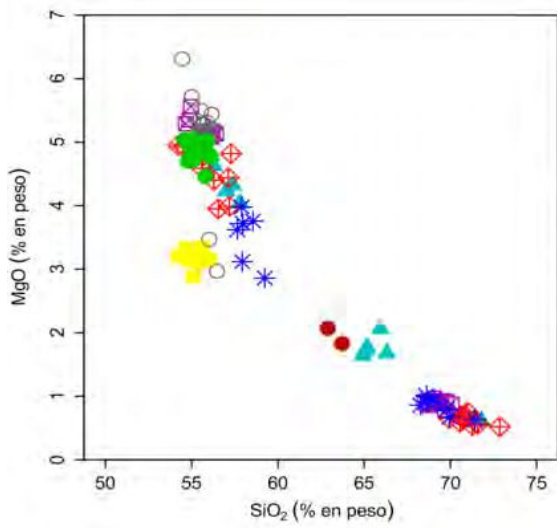
De acuerdo a la relación  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  (Peccerillo y Taylor, 1976) (Figura 29), las tefras HM-T1, HM-T3, HM-T13 y HM-T14 se ubican dentro del campo de la serie calcoalcalina o muy próxima al límite de la serie toleítica. La tefra HM-T9 tiene una tendencia calcoalcalina de alto potasio con bajos tenores de sílice. Por el contrario, las tefras HM-T5 y HM-T8 tienen una población de composición silíceo con una tendencia calcoalcalina de alto potasio y una población de composición básica con una tendencia calcoalcalina.

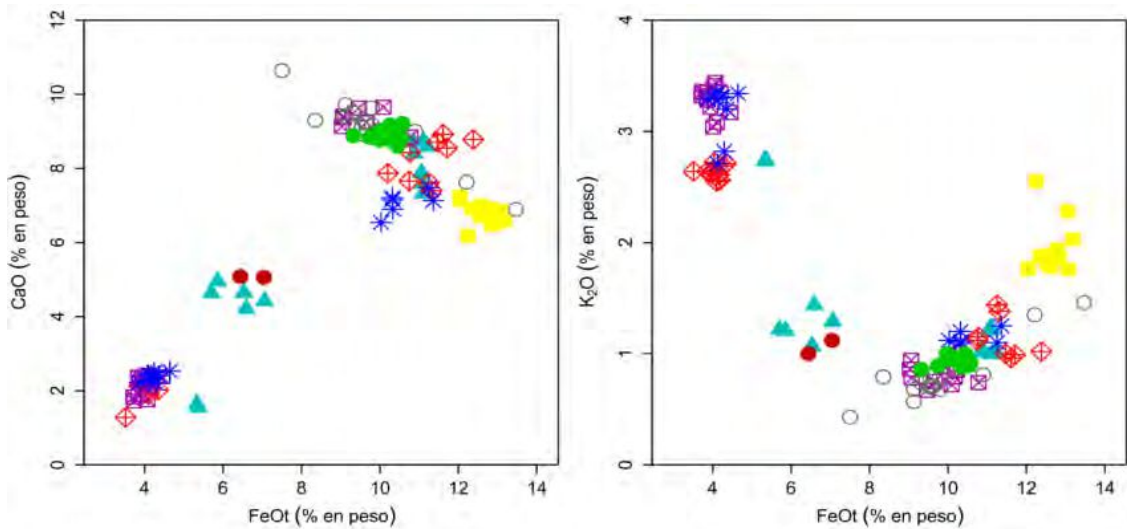


**Figura 29.** Diagrama de clasificación de Peccerillo y Taylor (1976),  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  para las tefras de la laguna HM.

En los diagramas de variación de Harker (Figura 30), se observó una tendencia decreciente en  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{FeO}_t$  a medida que aumenta la concentración de  $\text{SiO}_2$  para las tefras HM-T1, HM-T3, HM-T5, HM-T8, HM-T13 y HM-T14; y una tendencia ligeramente creciente para el  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ .







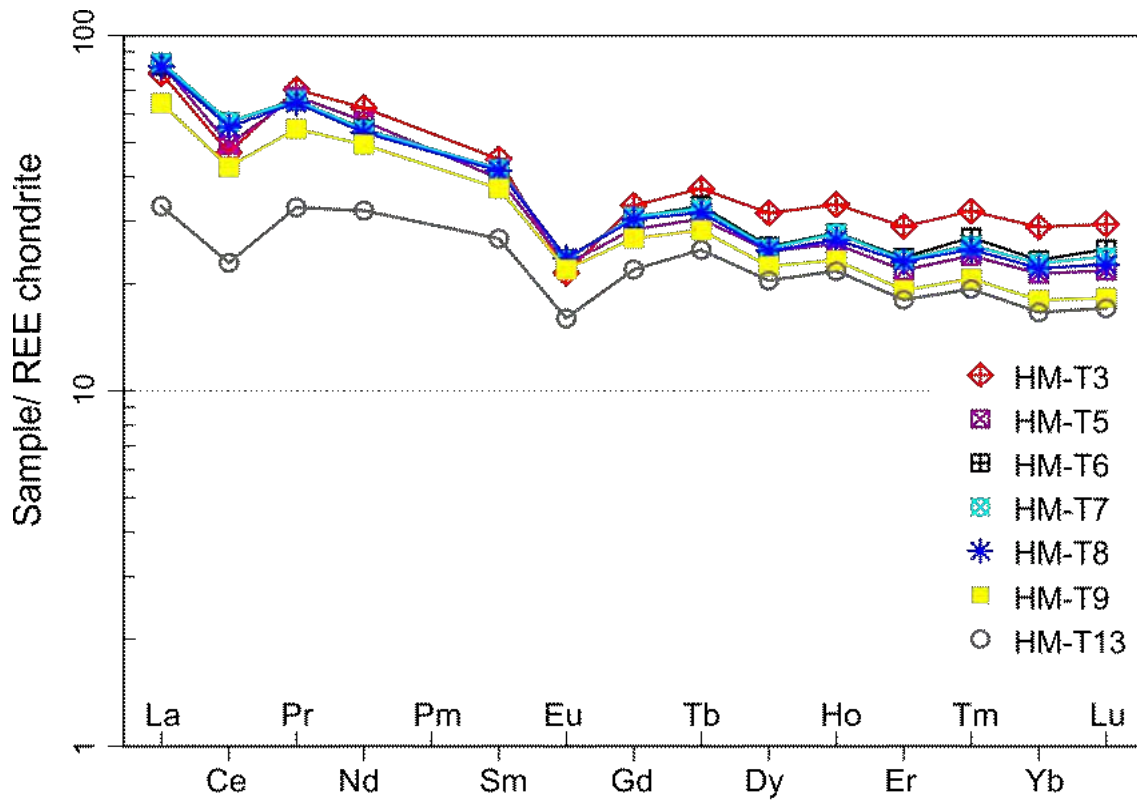
- |         |          |
|---------|----------|
| ▲ HM-T1 | ■ HM-T9  |
| ◆ HM-T3 | ○ HM-T13 |
| ◩ HM-T5 | ● HM-T14 |
| * HM-T8 | ● HM-T14 |

**Figura 30.** Diagramas de variación Harker de elementos mayores para las tefras de la laguna HM.

### 3.1.7.2. Elementos Traza y tierras raras (REE)

Se analizaron siete niveles de tefra. Se seleccionaron en función del espesor y morfologías distintivas de vitroclastos, con el fin de diferenciar e identificar posibles fuentes de origen. Las composiciones de elementos traza y tierras raras se presentan en la Tabla 5-Anexo 3.

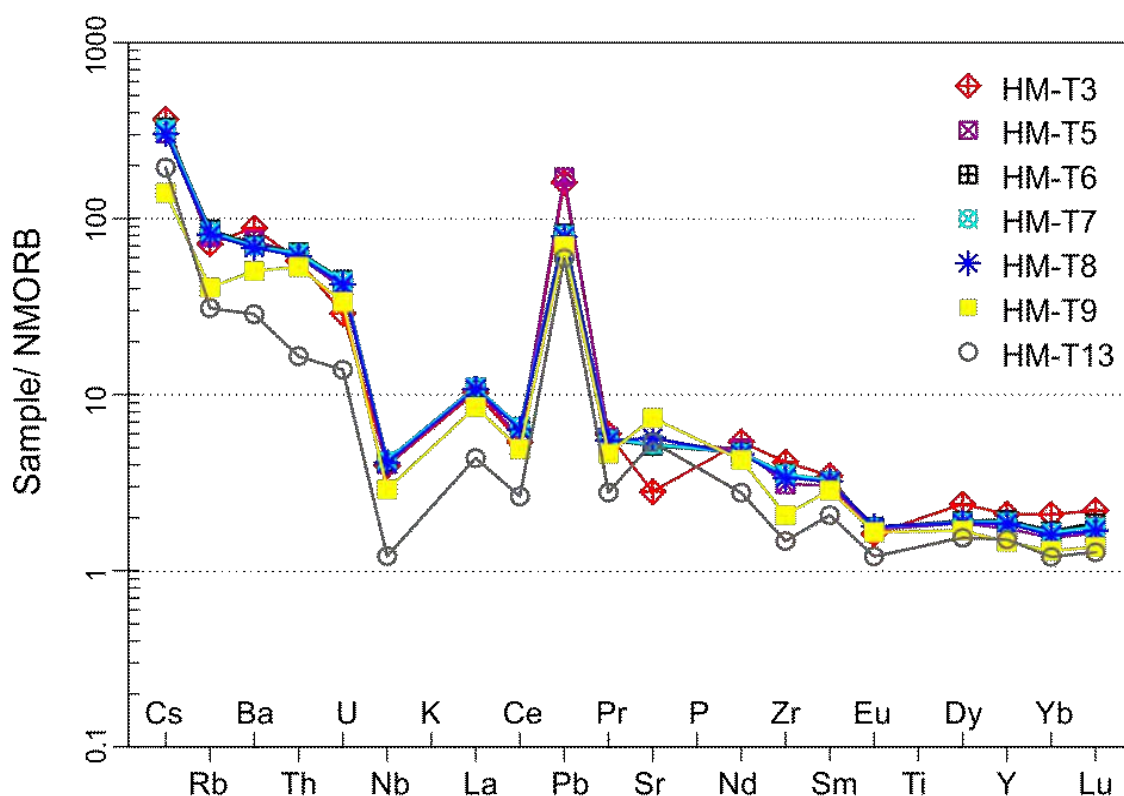
En la figura 31, se representan los patrones de tierras raras normalizados a condrito (Nakamura, 1974). Las tefras (HM-T3, HM-T5, HM-T6, HM-T7, HM-T8 y HM-T9) presentan patrones caracterizados por un enriquecimiento en las tierras raras livianas (LREE: La, Ce, Pr y Nd) respecto a las tierras raras pesadas (HREE: Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), con anomalías negativas de Eu y Ce. La tefra HM-T13 se diferencia en presentar patrones más tendidos con ligeros incrementos de tierras raras livianas respecto a las pesadas.



**Figura 31.** Patrones de tierras raras normalizados a condrito (Nakamura, 1974) para las tefras de la laguna Huaca Mamuil.

En el diagrama multielementos normalizado a NMORB (Sun y McDonough, 1989) las tefras presentan un enriquecimiento en elementos LILE (large ion lithophile elements) con respecto a HFSE (high field strength elements), con una anomalía negativa de Nb y una anomalía positiva de Pb (Figura 32).

Los patrones de tierras raras (REE) y multielementos permitieron discriminar cuatro tefras con características geoquímicas diferentes, las que serán luego atribuidas a distintas fuentes/volcanes de origen.



**Figura 32.** Diagrama multielementos normalizado a NMORB (Sun y McDonough, 1989) para las tefras de la laguna Huaca Mamuil.

### 3.1.8. Edades $^{14}\text{C}$ AMS y modelo cronológico

El registro sedimentario de la laguna HM se dató a partir de una edad  $^{14}\text{C}$  AMS en el rango de 1055 a 1015 años Cal AP ( $1120 \pm 30$  años AP; Beta-449833), obtenida sobre sedimento con contenido orgánico datable, extraído a los 55,5 – 55 cm de profundidad (Figura 13). Esta edad permitió estimar una edad máxima y una edad mínima para los dos eventos explosivos más antiguos (HM-T1 y HM-T2).

La calibración de edades radiocarbónicas y el modelo Bayesiano de edad-profundidad se elaboraron con el programa Oxcal v4.3.2 (Bronk Ramsey, 2017), utilizando la curva de calibración para el Hemisferio Sur SHCal13, (Hogg et al., 2013). Se seleccionó la función P\_sequence (Bronk Ramsey, 2008) y el parámetro K=1 sobre la base de las características de los sedimentos.

Para el modelo edad-profundidad se utilizaron como insumos la edad  $^{14}\text{C}$  AMS obtenida y dos edades de tefras correspondientes a eventos de edad conocida. La tefra HM-T9

atribuida a la erupción del cono piroclástico Achen Ñiyeu y datada en  $475 \pm 35$  años AP por Casteller et al. (2010); y la tefra HM-T14 que representa los productos de emisión de dos erupciones que tuvieron lugar en el año 2015 originadas en los volcanes Villarrica y Calbuco (véase capítulo 4, sección 4.1). Las edades incorporadas al modelo se resumen en la Tabla 1. Se establecieron tres límites, la base (Boundary Bottom) del testigo, el techo (Boundary Top) al cual se le asignó el año 2016, correspondiente al año de su extracción y un límite interno (Boundary Change) introducido a los 8 cm de profundidad dado por un cambio en las características de los sedimentos. Este límite reflejaría un cambio en la dinámica de la sedimentación lacustre, la que seguramente se vincula a variaciones en las tasas de sedimentación y posiblemente derivado de un cambio en las condiciones ambientales en la cuenca. No obstante, no se espera que las condiciones hayan cambiado drásticamente en el período considerado; basado en las reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas. Durante el Holoceno tardío en Patagonia se identificó un pulso de enfriamiento denominado la pequeña edad de hielo (LIA) (Villalba, 1990; Masiokas et al., 2009; Whitlock et al., 2006).

Las tefras se incorporaron al modelo con la función “Date function”. Los espesores de aquellas tefras que alcanzan o superan los 0,5 cm se descontaron del registro sedimentario sobre el supuesto de que estos eventos instantáneos de depositación modificarían espuriamente las tasas de sedimentación lacustre normal calculadas por el modelo. A partir de ello se trabajó con profundidades corregidas, Tabla 1.

| U. L.  | Tefras | Esp. (cm) | Prof. <sup>a</sup> (cm) | Prof. Corregida <sup>b</sup> (cm) | Cod. Lab. | Edad <sup>14</sup> C ± error (AP) | Material analizado | Referencia             |
|--------|--------|-----------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------------|--------------------|------------------------|
| HM-2   | HM-T14 | 0,1       | 0,1                     | 0,1                               |           | 2015 AD                           |                    |                        |
| Change |        |           |                         |                                   |           |                                   |                    |                        |
|        | HM-T13 | 0,2       | 9                       | 9                                 |           |                                   |                    |                        |
|        | HM-T12 | 0,1       | 10                      | 10                                |           |                                   |                    |                        |
|        | HM-T11 | 0,1       | 17                      | 17                                |           |                                   |                    |                        |
|        | HM-T10 | 0,1       | 18,5                    | 18,5                              |           |                                   |                    |                        |
|        | HM-T9  | 1         | 28                      | 27                                |           | 475 ± 35                          | Nothofagus dombeyi | Casteller et al., 2010 |
|        | HM-T8  | 0,6       | 35,5                    | 34                                |           |                                   |                    |                        |
| HM-1   | HM-T7  | 0,4       | 37,5                    | 36                                |           |                                   |                    |                        |
|        | HM-T6  | 0,3       | 39                      | 37,5                              |           |                                   |                    |                        |
|        | HM-T5  | 1         | 43,5                    | 41                                |           |                                   |                    |                        |
|        | HM-T4  | 0,1       | 48,5                    | 46                                |           |                                   |                    |                        |
|        | HM-T3  | 0,8       | 53                      | 49,5                              |           |                                   |                    |                        |
|        | HM-T2  | 0,1       | 53,5                    | 50                                |           |                                   |                    |                        |
|        |        |           |                         | 55,5                              | 52        | Beta-449833                       | 1120 ± 30          | gyttja                 |
|        | HM-T1  | 0,3       | 56,5                    | 53                                |           |                                   |                    |                        |

<sup>a</sup> Profundidad de la base de los niveles de tefra preservados en el testigo.

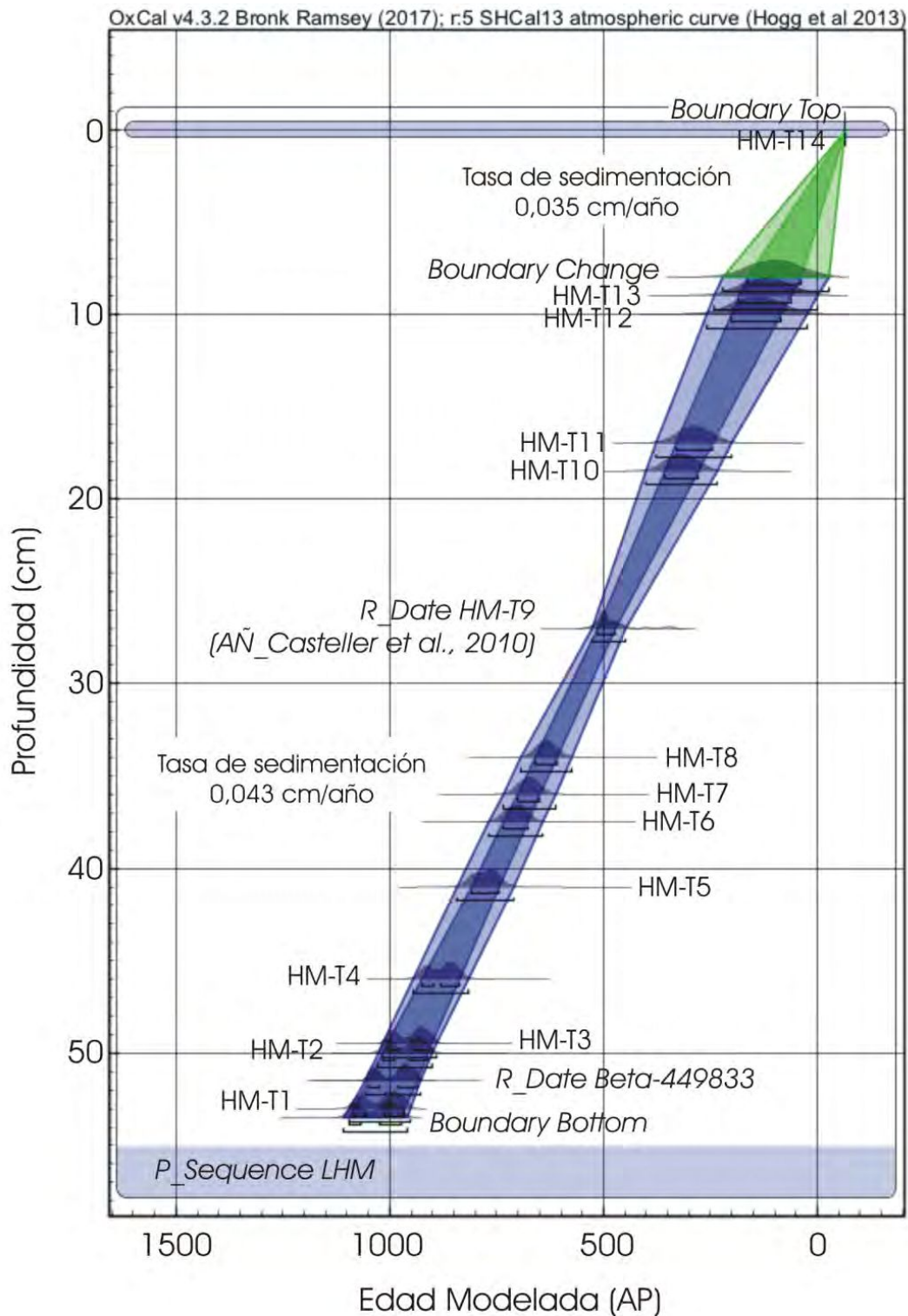
<sup>b</sup> Profundidad corregida de la base de los niveles de tefra luego de restar aquellos niveles con un espesor  $\geq 0,5$  cm; con base en que los eventos de caída piroclástica se consideran un aporte externo de tipo instantáneo.

**Tabla 1.** Edades radiocarbónicas utilizadas en la elaboración del modelo cronológico. Se informa la profundidad y el espesor de las tefras reconocidas dentro de cada unidad.

El modelo Bayesiano de edad-profundidad resultante (Figura 33) permitió estimar una edad máxima para la base del registro en 1095 – 974 años Cal AP ( $1\sigma$ ) (Tabla 2), es decir, la sucesión sedimentaria abarca aproximadamente los últimos 1000 años. La unidad basal (HM-1; 57 – 8 cm de profundidad) varía desde (1095 - 974 años Cal AP) hasta (162 – 40 años Cal AP;  $1\sigma$ ), con una tasa de sedimentación en el orden de 0,043 cm/año. La unidad superior (HM-2; 8 – 0 cm de profundidad) varía desde los (162 – 40 años Cal AP) hasta el presente (2016 AD), con una tasa de sedimentación en el orden de 0,035 cm/año. El cambio de coloración en los sedimentos, establecido a los 8 cm de profundidad ocurre a los 162 - 40 años Cal. AP y la estructura del modelo es consistente con un cambio en las tasas de sedimentación en ese punto.

El rango temporal del límite entre las unidades coincide con un cambio en las condiciones climáticas inferidas en Patagonia durante el Holoceno tardío y se atribuye a

la transición del final de la pequeña edad de hielo (LIA), (Villalba, 1990) y el inicio de las condiciones climáticas actuales.



**Figura 33.** Modelo Bayesiano edad-profundidad para el registro de la laguna Huaca Mamuil (Oxcal v.4.3.2, Bronk Ramsey, 2017). Las edades se calibraron con la curva SHCal13 (Hogg et al., 2013). La distribución probabilística de edades interpoladas para las tefras se representan



disminución relativa del aporte desde la cuenca por la presencia de laderas estabilizadas por la vegetación. Los valores moderadamente altos de materia orgánica (23 %), se asocian a condiciones climáticas más cálidas (Villalba, 1990).

El modelo se obtuvo con un índice de confianza (agreement index) del 99%. Este permitió estimar la edad modelada de las tefras con un rango de probabilidad del 68,2% ( $1\sigma$ ) y 95,4% ( $2\sigma$ ). Las edades se reportan en la Tabla 2.

A partir de los 15 eventos piroclásticos identificados, se estableció una recurrencia en el orden de una erupción cada 66 años para la región NE del volcán Lanín durante los últimos 1000 años.

En la laguna Huaca Mamuil se identificaron cambios en la dinámica de sedimentación del cuerpo lacustre durante los últimos 1000 años. En la unidad HM-1 la susceptibilidad varía en el rango de  $305.10^{-6}$  a  $974.10^{-6}$  SI; mientras que en la unidad HM-2 los valores son muy bajos, cercanos a cero ( $108.10^{-6}$  –  $297.10^{-6}$  SI). La diferencia está dada debido a que la unidad HM-1 se ve influenciada por un aporte externo significativo producto de la actividad volcánica que incorpora material piroclástico en la cuenca y favorece el enriquecimiento de los sedimentos en minerales magnéticos. A su vez, se estima que estuvo favorecido por condiciones climáticas más húmedas que aumentaron las tasas de erosión en la cuenca debido a la presencia de laderas no estabilizadas y presencia de material piroclástico de granulometría gruesa, que dependerá del foco eruptivo de origen, el tipo de erupción y el volumen de material eyectado a la atmosfera.

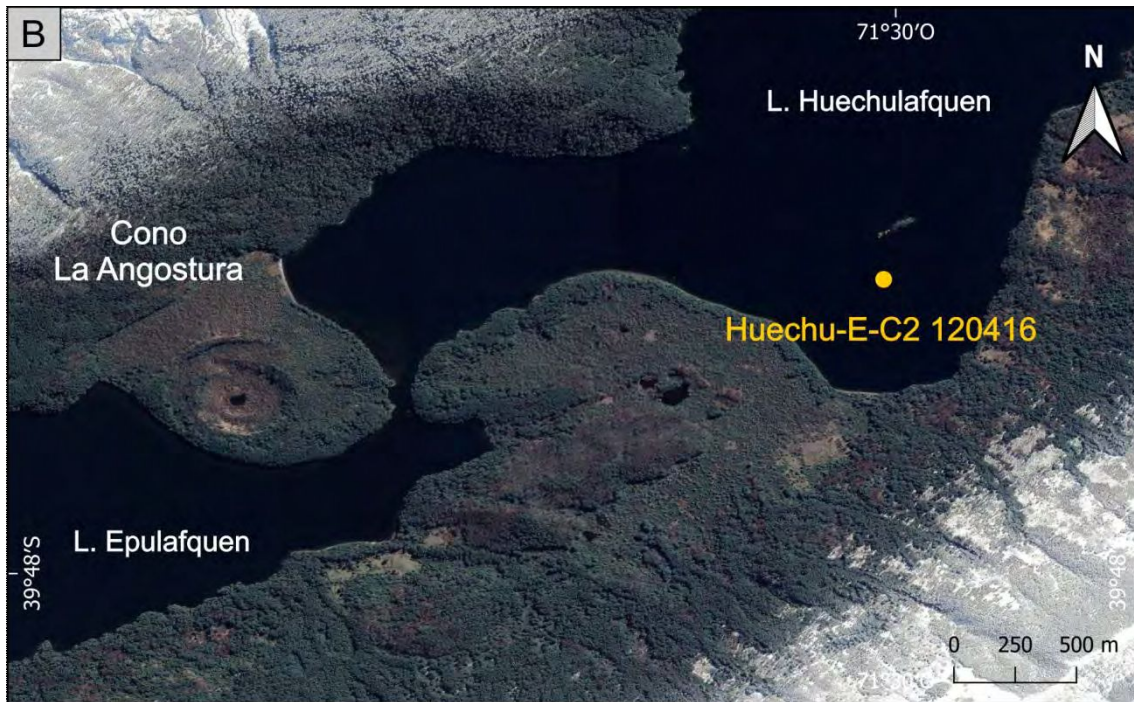
Un total de 15 eventos explosivos fueron identificados en los sedimentos lacustres. A partir de los gráficos geoquímicos realizados de elementos mayores y traza, se diferenciaron cinco grupos composicionales que responden a fuentes de origen diferentes.

## 3.2. Lago Huechulafquen

### 3.2.1. Ubicación

El lago Huechulafquen (LH: 39° 46' S; 71° 20' O) es un lago de origen glacial que se localiza dentro del Parque Nacional Lanín, al SO de la provincia de Neuquén. Sus afluentes nacen en la cordillera de los Andes y se halla dividido en tres secciones: brazo norte: Lago Paimún; brazo sur: Lago Epulafquen y principal: Huechulafquen. Se sitúa a una altitud de 875 m s.n.m. y cubre una superficie de 78,2 Km<sup>2</sup>. Es de vertiente atlántica y su efluente principal es el río Chimehuín (Figura 34A).





*Figura 34. A: Imagen satelital del Lago Huechulafquen. El rectángulo amarillo señala el sector del lago seleccionado para el muestreo. B: ubicación del sitio de muestreo del testigo Huechu-E-C2 120416 (circulo amarillo).*

### 3.2.2 Testigos lacustres

En abril de 2016 se extrajo un testigo sedimentario corto (Huechu-E-C2 120416) de 28 cm de longitud y 8,6 cm de diámetro, a una profundidad de 35 m. Para ello se utilizó un muestreador de gravedad y percusión UWITEC. El sitio seleccionado ( $39^{\circ} 47' 3,53''$ ;  $71^{\circ} 30' 2,60''$ ) coincide con un sector poco profundo del lago próximo al Cono La Angostura y alejado de la línea de costa (Figura 34B). Dado que el lago Huechulafquen es muy profundo en la mayor parte de su cuenca con numerosos cursos fluviales que desembocan en él, sumado a la presencia de sedimentos muchas veces arenosos y poco consolidados y un clima desfavorable, solo se pudo extraer un testigo lacustre.

Téngase en cuenta que los cursos fluviales aportan sedimentos a la cuenca lacustre, en algunos casos generando sistemas deltaicos inestables en las desembocaduras de los ríos, compuestos por sedimentos con granulometrías granodecrecientes y poco compactados. Asimismo, las corrientes remobilizan los sedimentos dentro la cuenca. Con lo cual, se intenta evitar obtener testigos en zonas proximales a cursos fluviales y

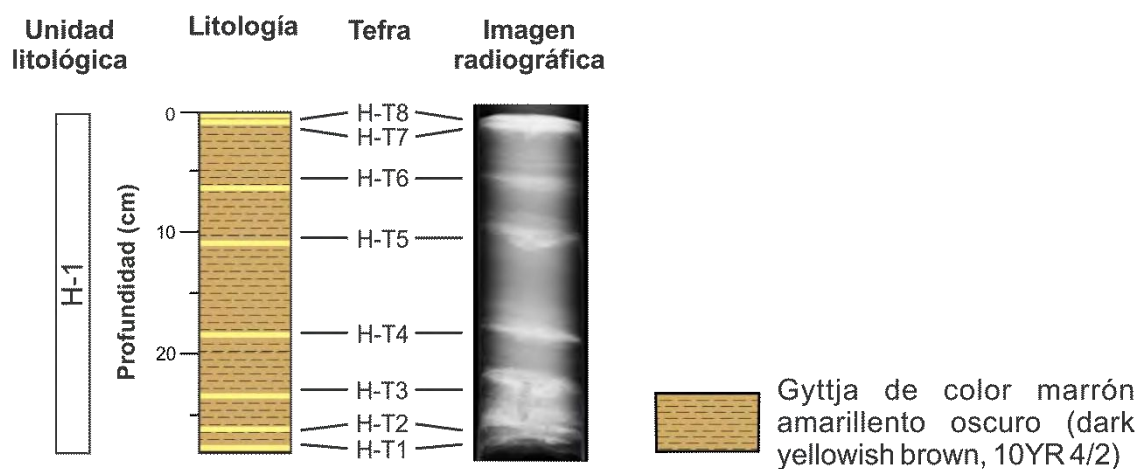
sectores con influencia de corrientes. En vez de eso, se seleccionan sectores de aguas calmas, poco profundas y alejadas de la costa para evitar cualquier influencia externa que modifique el registro.

### 3.2.3. Descripción de los sedimentos

Los sedimentos del testigo "Huechu-E-C2 120416" están compuestos por gyttja con una coloración homogénea a lo largo de los 28 cm, color marrón amarillento oscuro (dark yellowish brown, 10YR 4/2). Se define a este registro como una única unidad litológica. Intercalados se identificaron un total de ocho niveles de tefra, en su mayoría oscuros. La granulometría gruesa de las partículas y su espesor permitió su identificación visual. Asimismo, se distinguen con claridad en la placa radiográfica (Figura 35).

Las tefras varían en el rango de 0,2 a 1 cm de espesor, con base y techo netos o límite neto en su base y difuso hacia el techo resultado del aporte de material piroclástico que se encontraba disponible en la cuenca y fue removilizado en tiempos posteriores a la erupción.

Las tefras se denominaron utilizando una sigla en mayúscula que hace referencia al nombre del lago (H) y se numeraron desde la más antigua a la más joven.



**Figura 35.** Columna estratigráfica e imagen radiográfica del testigo Huechu-E-C2 120416, indicando los niveles de tefras. A la izquierda se señala la unidad litológica.

Cabe destacar que el hecho de no identificar cambios en las características de los sedimentos (color, granulometría, estructuras sedimentarias), permite asumir que la tasa de sedimentación fue constante a lo largo del período recuperado.

### **3.2.4. Susceptibilidad magnética (SM)**

El análisis de las propiedades magnéticas de los sedimentos permitió identificar valores de susceptibilidad altos en el rango de  $1601 \cdot 10^{-6}$  a  $3481 \cdot 10^{-6}$  SI. Un pico muy prominente que alcanza un valor máximo de  $6717 \cdot 10^{-6}$  SI se detectó a un centímetro de profundidad. Todas estas señales fueron indicativas de la posición de los niveles de tefra en el registro. La disminución significativa de la SM con valores cercanos a cero se atribuye a un incremento importante en el porcentaje de agua y materia orgánica, e indica un aporte bajo de sedimentos a la cuenca tanto por las corrientes de agua superficiales como por un aporte externo (actividad volcánica) (Figura 36).

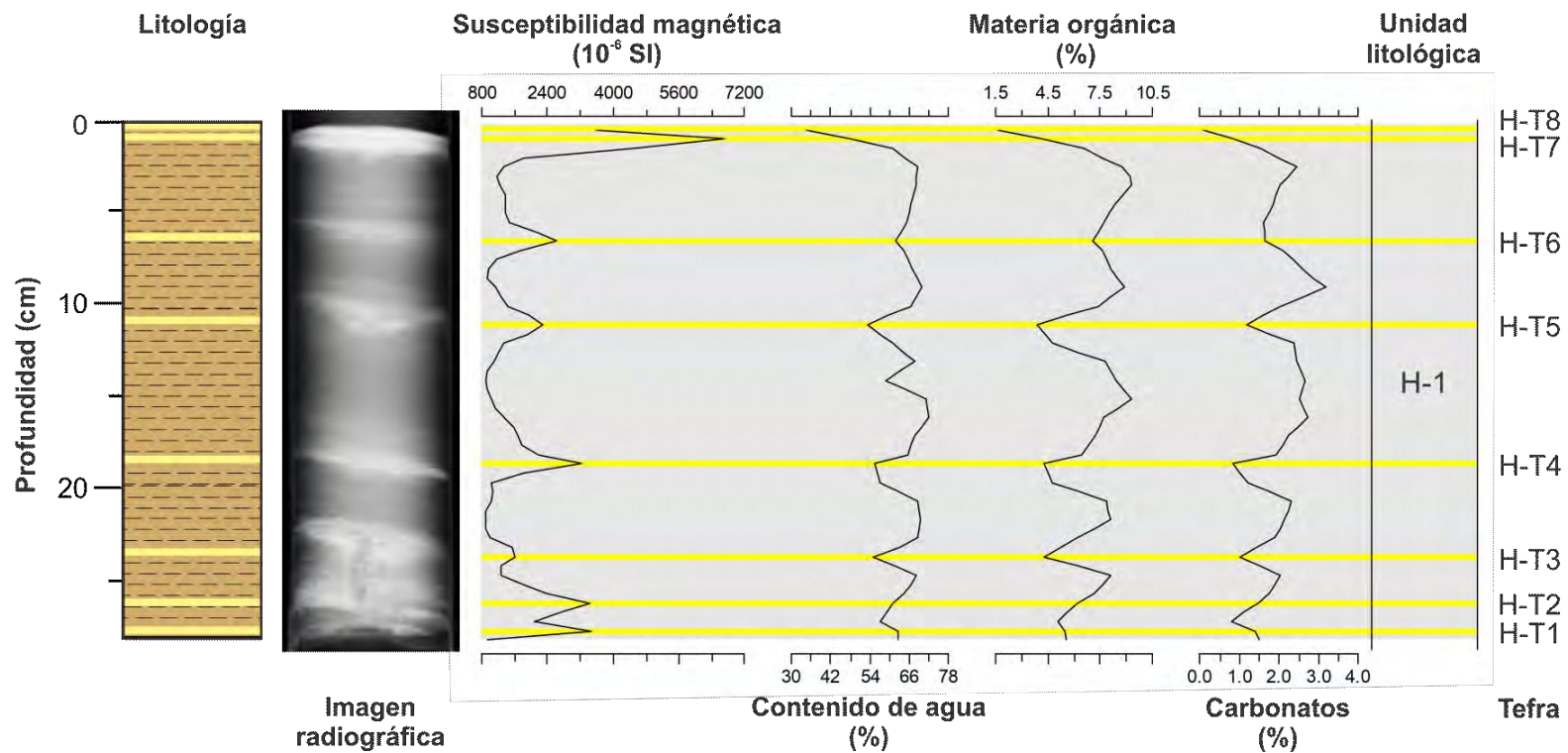
Las mediciones de susceptibilidad magnética se presentan en la Tabla 2a-Anexo 2.

### **3.2.5. Contenido de agua, materia orgánica (MO) y carbonatos**

Los sedimentos del lago Huechulafquen poseen un elevado contenido de agua que varía en el rango entre 65 y 72 %. Se observan caídas marcadas en el rango entre los 55 – 57% a los 26,5, 23, 18 y 10,5 cm, respectivamente; y una disminución muy abrupta de ~ 34% en el techo del testigo (Figura 36).

El contenido de MO oscila entre el 1,5 y 9,5 %. Por otra parte, el contenido de carbonatos muestra poca variabilidad a lo largo del perfil con valores bajos entre 0 y 3 % (Figura 36); rasgo característico de lagos fríos de baja productividad (oligotróficos o ultraoligotróficos).

Nótese que se observa una tendencia similar en los cuatro parámetros medidos en el testigo con caídas marcadas coincidentes con el contenido de agua, MO y carbonatos y con los picos prominentes del perfil de SM, reflejando la presencia y la ubicación de los niveles de tefra (Figura 36). Las mediciones de contenido de agua, MO y carbonatos se presentan en la Tabla 2b-Anexo 2.



**Figura 36.** Izquierda: columna estratigráfica e imagen radiográfica del testigo Huechu-E-C2 120416. Derecha: perfiles de SM, contenido de agua, MO (LOI 550) y carbonatos (LOI 950). Las líneas en color amarillo indican la posición de los niveles de tefra.

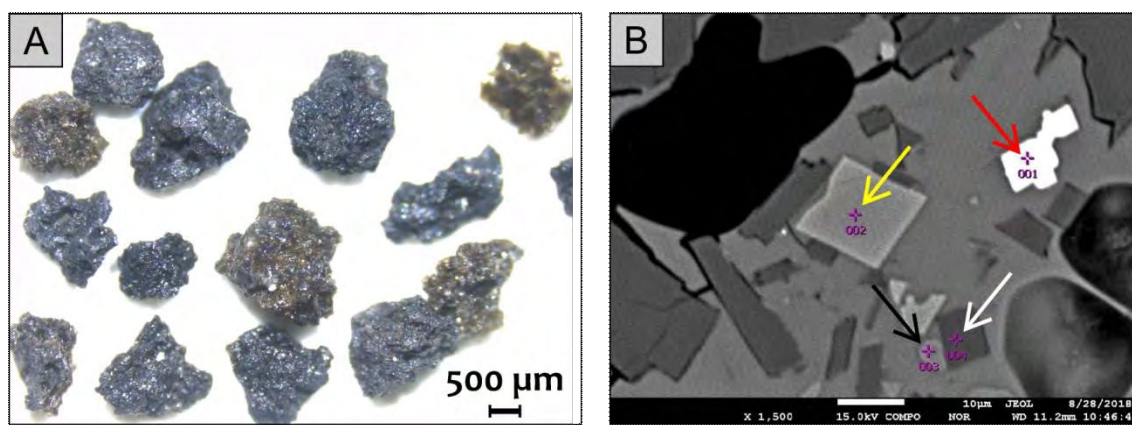
### 3.2.6. Descripción y caracterización morfológica de los niveles de tefra

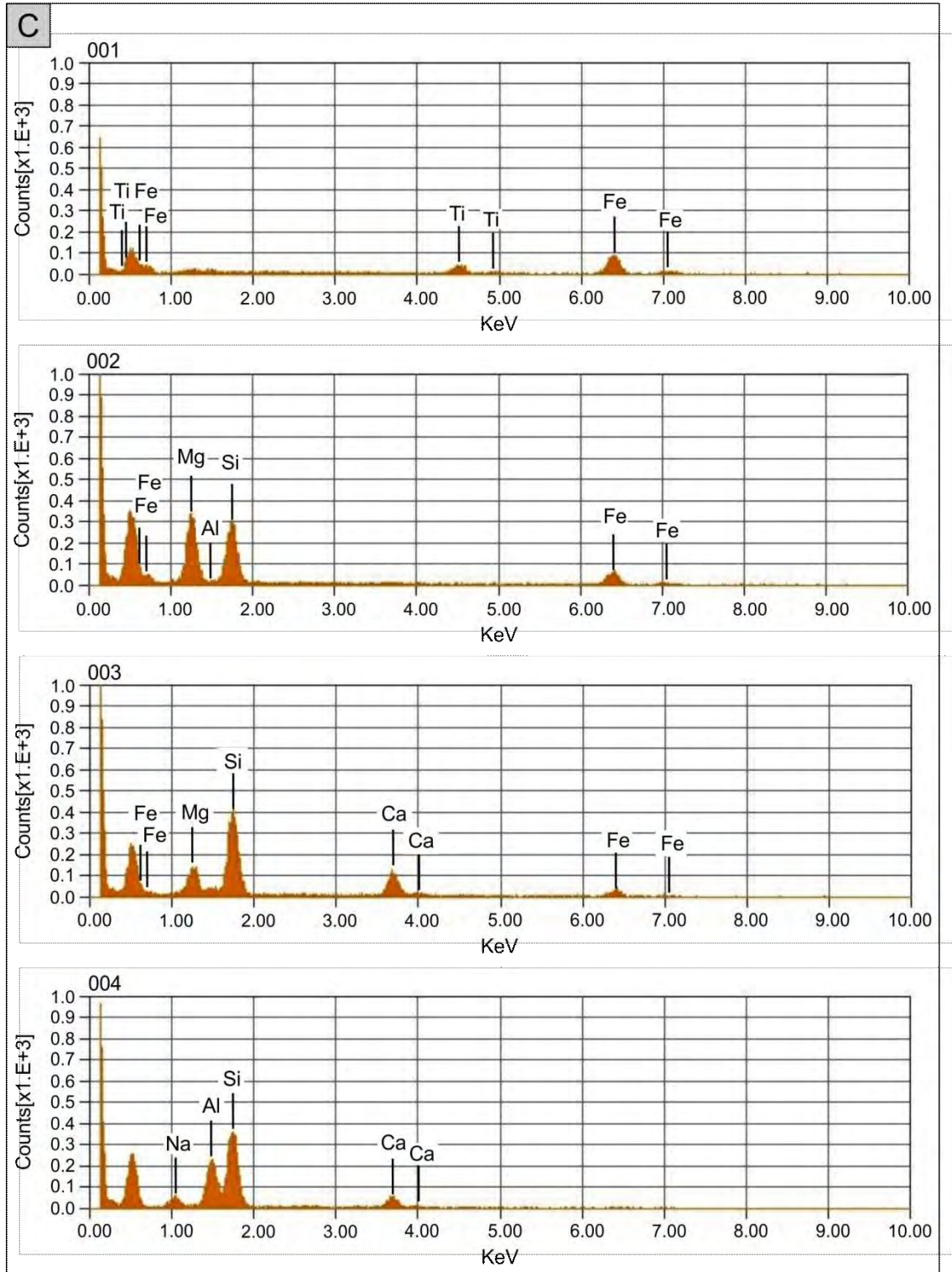
Las tefras están compuestas fundamentalmente por vitroclastos y en menor proporción por cristaloclastos y litoclastos. Su abundancia porcentual varía en función de la fracción granulométrica. Las fracciones más gruesas suelen estar compuestas en un 100 % por vitroclastos. En las más finas los porcentajes varían entre 100 y 83 %. Los cristaloclastos y litoclastos se concentran en las fracciones finas con valores máximos que llegan al 12 % y 7 %, respectivamente.

Para la descripción de detalle bajo lupa binocular de los niveles de tefras, referirse al Anexol.

#### H-T1

Nivel de lapilli fino y ceniza gruesa de 0,7 cm de espesor ubicado entre los 27,7 y 27 cm de profundidad. Está compuesto principalmente por vitroclastos escoriáceos negros y en menor proporción por vitroclastos de color castaño oscuro, ambos con moderada a alta vesicularidad (Figura 37 A). Los vitroclastos poseen moderado a alto contenido de microlitos y microfenocristales caracterizados por tablillas de plagioclasa, piroxeno, olivina y magnetita titanífera (Figura 37 B y C). La fracción mineral está constituida por cristaloclastos félsicos (plagioclasas) y máficos (piroxenos) recubiertos por una abundante envoltura vítrea de color oscuro conformando piroclastos mixtos.



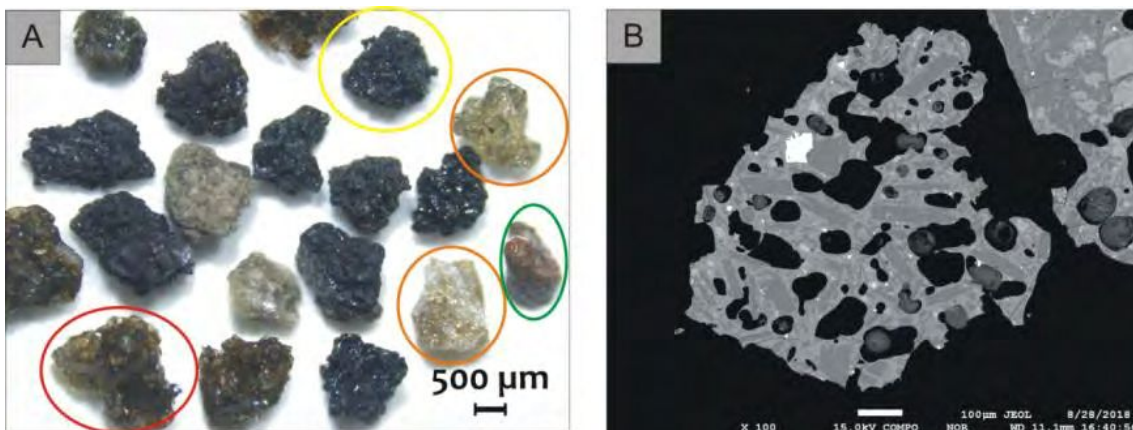


**Figura 37.** Tefra H-T1. **A:** imagen de lupa binocular. Vitroclastos escoriáceos negros y de color castaño oscuro. **B)** BSEI: detalle de un vitroclasto escoriáceo con alto contenido de

microfenocristales. **C)** Espectro de rayos x obtenido por SEM-EDS; el punto 001 corresponde a un cristal de magnetita titanífera (flecha roja); el punto 002 corresponde a un cristal de piroxeno (flecha amarilla); el punto 003 (flecha negra) corresponde a un cristal de olivina y el punto 004 corresponde a un cristal de plagioclasa (flecha blanca).

## H-T2

Nivel de ceniza gruesa de 0,8 cm de espesor ubicado entre los 26 y 25,2 cm de profundidad; con base neta y techo difuso. Se reconocieron partículas de color castaño verdoso a castaño verdoso claro, de formas irregulares y alargadas, que presentan superficie externa lisa con protuberancias. La vesicularidad interna varia de baja a alta, con vesículas circulares a ovaladas. Estos fragmentos corresponden a lágrimas de Pele y lágrimas rotas. Asimismo se reconocieron vitroclastos escoriáceos negros, angulosos, con moderada a alta vesicularidad y con alto contenido de microfenocristales y microlitos (Figura 38).



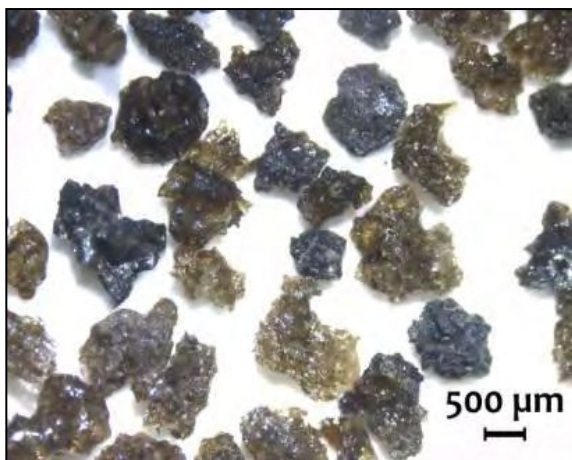
**Figura 38.** Tefra H-T2. **A:** imagen de lupa binocular. Amarillo: vitroclasto escoriáceo negro; rojo: lágrima de Pele rota de color castaño verdoso; naranja: piroclastos mixtos; verde: litoclasto. **B:** BSEI, vitroclasto con alto contenido de microfenocristales y microlitos de plagioclasa, piroxeno y magnetita titanífera.

### H-T3

Nivel de lapilli fino y ceniza gruesa de 1 cm de espesor, ubicado entre los 23,5 y 22,5 cm de profundidad. Base neta y techo difuso.

Está compuesto fundamentalmente por lágrimas de Pele de color castaño verdoso y lágrimas rotas, de formas irregulares a alargadas. Presentan superficie externa lisa con protuberancias dado por la presencia de numerosas burbujas internas. Las vesículas son circulares, ovaladas y alargadas. En menor proporción se identificaron vitroclastos escoriáceos negros, subangulosos a angulosos, con moderada a alta vesicularidad. Las vesículas son irregulares. La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, piroxenos y olivinas con una delgada cobertura vítrea de color verde y negro (Figura 39).

Los fragmentos escoriáceos presentan alto contenido de microfenocristales y microlitos, mientras que las gotas de vidrio presentan moderado a bajo contenido.



*Figura 39. Tefra H-T3. Imagen de lupa binocular, vitroclastos escoriáceos negros y lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso.*

### H-T4

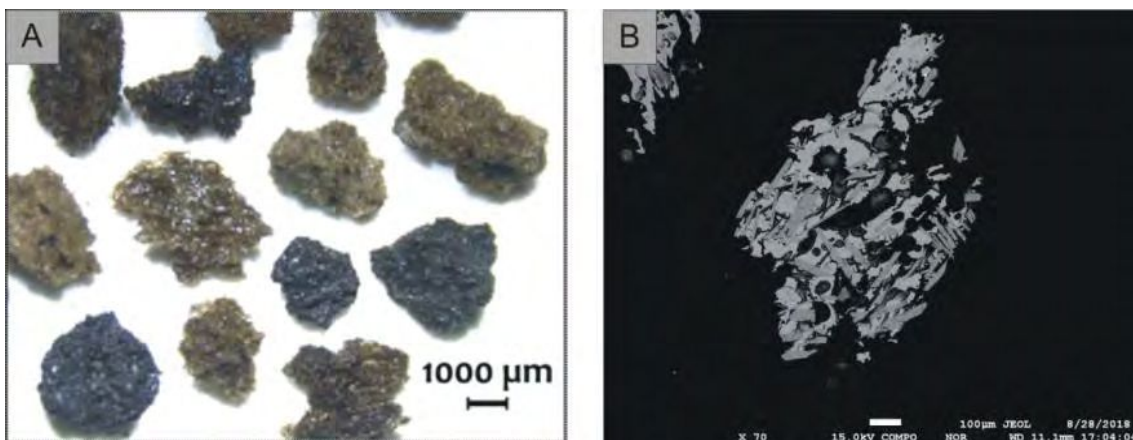
Nivel de ceniza gruesa muy delgado, de 0,2 cm de espesor ubicado aproximadamente entre los 18,5 y 18 cm de profundidad. Está compuesto por lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso, con alta vesicularidad y vitroclastos escoriáceos de color gris a negro, subangulosos a angulosos, con moderada a baja vesicularidad (Figura 40).



**Figura 40.** Tefra H-T4; imagen de lupa binocular. Vitroclastos escoriáceos de color negro y lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso; en el margen inferior derecho se observa un litoclasto.

## H-T5

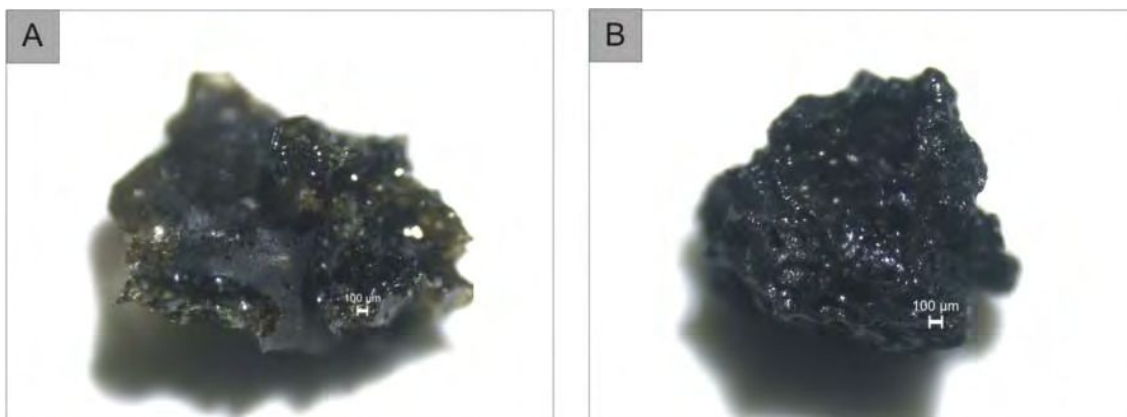
Nivel de ceniza gruesa de 0,5 cm de espesor, ubicado entre los 11 y 10,5 cm de profundidad. Base neta y techo difuso. Está compuesto en proporciones similares por lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso y vitroclastos escoriáceos negros, acompañados de vitroclastos pumíceos de color castaño verdoso (Figura 41). Los fragmentos escoriáceos presentan alto contenido de microfenocristales y microlitos, mientras que las lágrimas de Pele presentan contenidos moderados a bajo.



**Figura 41.** Tefra H-T5. **A:** imagen de lupa binocular, lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso y vitroclastos escoriáceos de color negro. **B:** BSEI, vitroclasto con alto contenido de microfenocristales de plagioclasa.

## H-T6

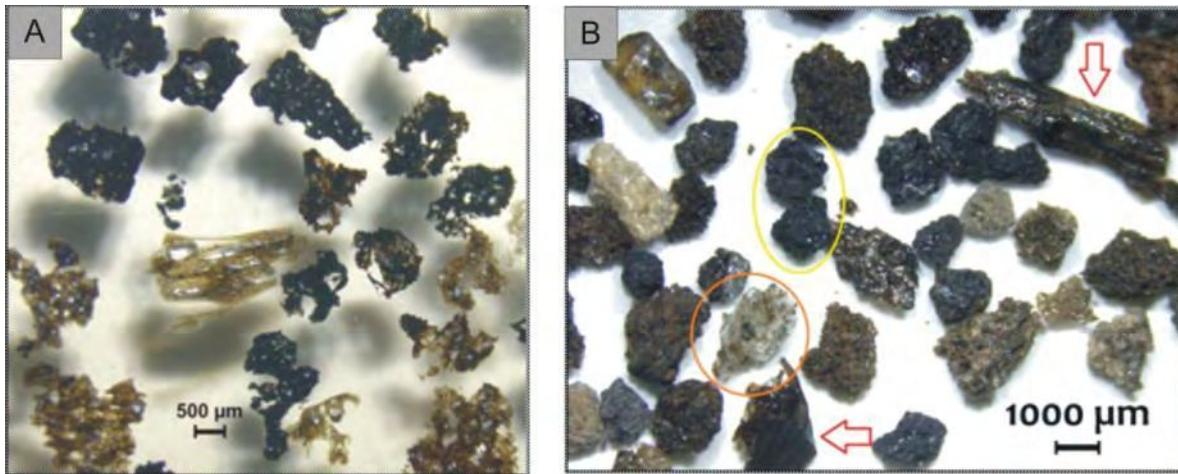
Nivel de ceniza gruesa de 0,4 cm de espesor, ubicado entre los 6,4 y 6 cm de profundidad. Base neta y techo difuso. Está compuesto por lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso con alta vesicularidad interna, acompañadas de vitroclastos escoriáceos de color negro (Figura 42).



**Figura 42.** Imágenes de lupa binocular. **A:** lágrima de Pele rota de color castaño verdoso. **B:** vitroclasto escoriáceo negro.

## H-T7

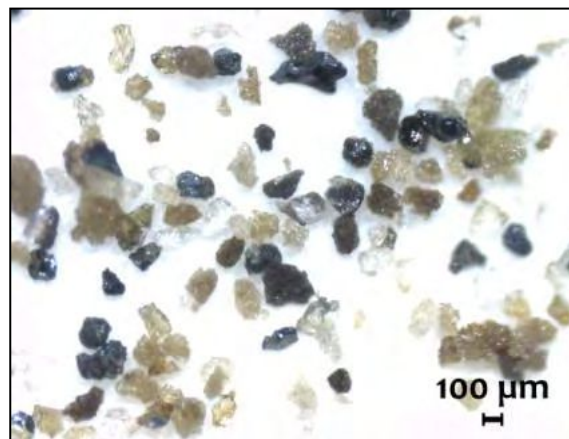
Nivel de lapilli fino y ceniza gruesa de 0,7 cm de profundidad, ubicado entre los 1 y 0,3 cm de profundidad. Base y techo netos. Está compuesto por lágrimas de Pele y lágrimas rotas de color castaño verdoso acompañadas por vitroclastos escoriáceos negros. La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, piroxenos y olivinas con delgados recubrimientos vítreos (Figura 43). Los vitroclastos escoriáceos poseen alto contenido de microfenocristales y microlitos, mientras que las lágrimas de Pele presentan generalmente contenidos moderados a bajo éstos, careciendo totalmente de ellos en algunos casos.



**Figura 43.** Tefra H-T7. **A:** imagen de un corte pulido a espejo visto con lupa binocular de vitroclastos. **B:** imagen bajo lupa binocular. Amarillo: vitroclastos escoriáceos negros; rojo: lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso; naranja: cristales de plagioclasas recubiertos con una delgada cobertura vítrea.

## H-T8

Nivel de ceniza gruesa con un tamaño de partícula entre 125 y 63  $\mu\text{m}$ . Se ubica en el techo del testigo con un espesor de 0,3 cm. Está compuesto en mayor proporción por vitroclastos de color castaño claro y castaño oscuro, pumíceos, acompañados por vitroclastos incoloros, grises y fragmentos escoriáceos negros aislados (Figura 44).

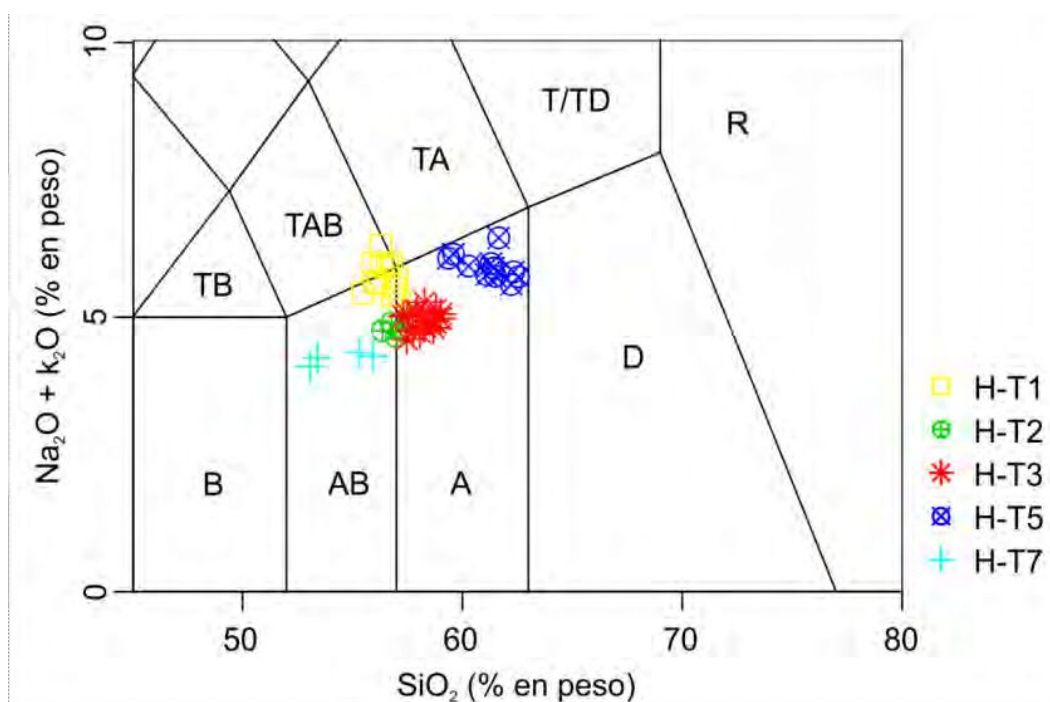


**Figura 44.** Imagen de lupa binocular de los componentes vítreos y minerales de la tefra H-T8.

### 3.2.7. Caracterización geoquímica de los niveles de tefra

#### 3.2.7.1. Elementos mayores

Se analizaron un total de cinco tefras. Se seleccionaron los cinco niveles de tefra con mayores espesores significativos. Los resultados se proyectaron en un diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986), con el fin de caracterizar la composición del vidrio e identificar tefras de una misma fuente y agruparlas de manera de poder relacionarlas con sus respectivos centros volcánicos (Figura 45). Los resultados geoquímicos se presentan en la Tabla 2-Anexo 3.



**Figura 45.** Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986) para la caracterización química de las tefras del Lago Huechulafquen. B: basalto, AB: andesita-basáltica, A: andesita, D: dacita, R: riolita, T/TD: traquita/traquidacita, TA: traquiandesita, TAB: traquiandesita-basáltica, TR: traquibasalto.

La tefra H-T1 está formada por una población por vitroclastos con dos morfologías de partícula distintivas (vitroclastos escoriáceos y vitroclastos de color castaño oscuro con

moderada a alta vesicularidad). Presentan una composición correspondiente al límite entre los campos traquiandesítico-basáltico/andesítico-basáltico/traquiandesítico y andesítico, con un rango en el contenido de SiO<sub>2</sub> entre 55 y 57 % en peso y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 5 y 6,5 % en peso.

La tefra H-T2 posee una población de vitroclastos con dos tipos de morfologías características (lágrimas de Pele/lágrimas rotas y vitroclastos escoriáceos). Es de composición andesítico-basáltica/andesítica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 56 y 57,5 % en peso; y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O de ~ 4,75 % en peso.

La tefra H-T3 está compuesta por una única población conformada por vitroclastos con dos morfologías distintivas (lágrimas de Pele/lágrimas rotas y vitroclastos escoriáceos), de composición andesítica, con un rango en el contenido de SiO<sub>2</sub> entre 57 y 59 % en peso y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O de ~ 5 % en peso.

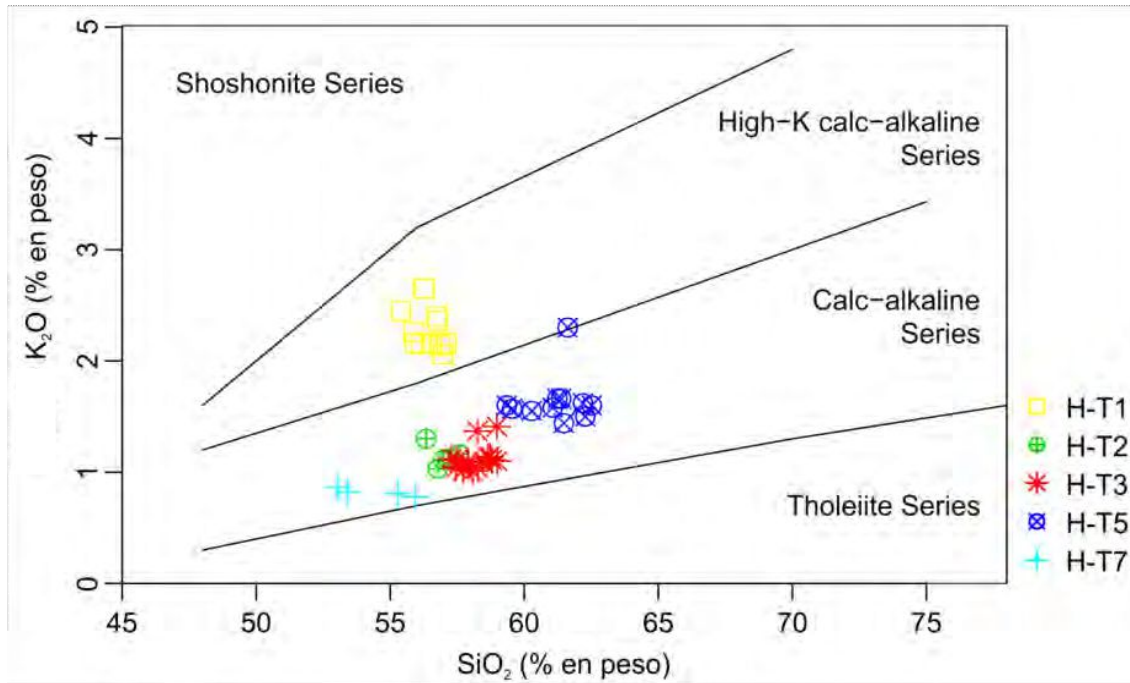
La tefra H-T5 está compuesta por una única población con dos morfologías de vitroclastos (lágrimas de Pele rotas y vitroclastos escoriáceos), con un rango en el contenido de SiO<sub>2</sub> entre 59 y 62,5 % en peso y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 5,5 y 6,5 % en peso.

La tefra H-T7 está compuesta por una única población de vitroclastos, con dos morfologías distintivas (lágrimas de Pele y vitroclastos escoriáceos). Es de composición andesítico-basáltica con un rango en el contenido de SiO<sub>2</sub> entre 53 y 56 % en peso y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O ~ 4 % en peso.

Si bien la tefra H-T1 es de composición básica, valores más altos de álcalis permiten diferenciarla de H-T2, H-T3 y H-T7.

Se puede apreciar para las tefras H-T3 y H-T5, una nube de puntos muy concentrada, lo que nos indica la escasa variación composicional que presentan en su composición de elementos mayoritarios.

De acuerdo a la relación SiO<sub>2</sub> vs K<sub>2</sub>O (Peccerillo y Taylor, 1976), la tefra H-T1 corresponde a la serie calcoalcalina de alto potasio, mientras que H-T2, H-T3, H-T5 y H-T7 presentan una tendencia calcoalcalina (Figura 46).

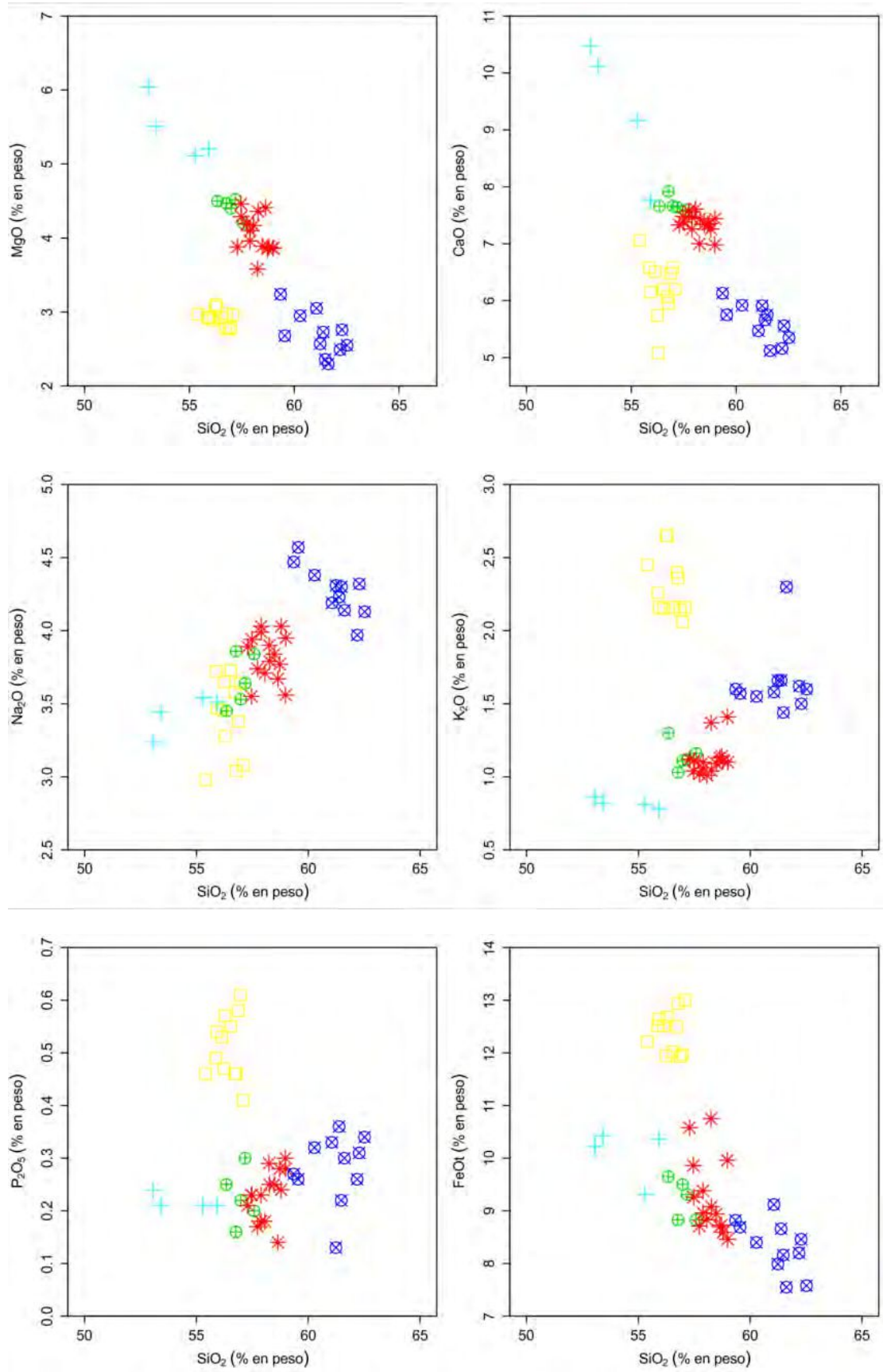


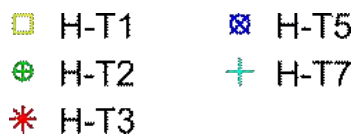
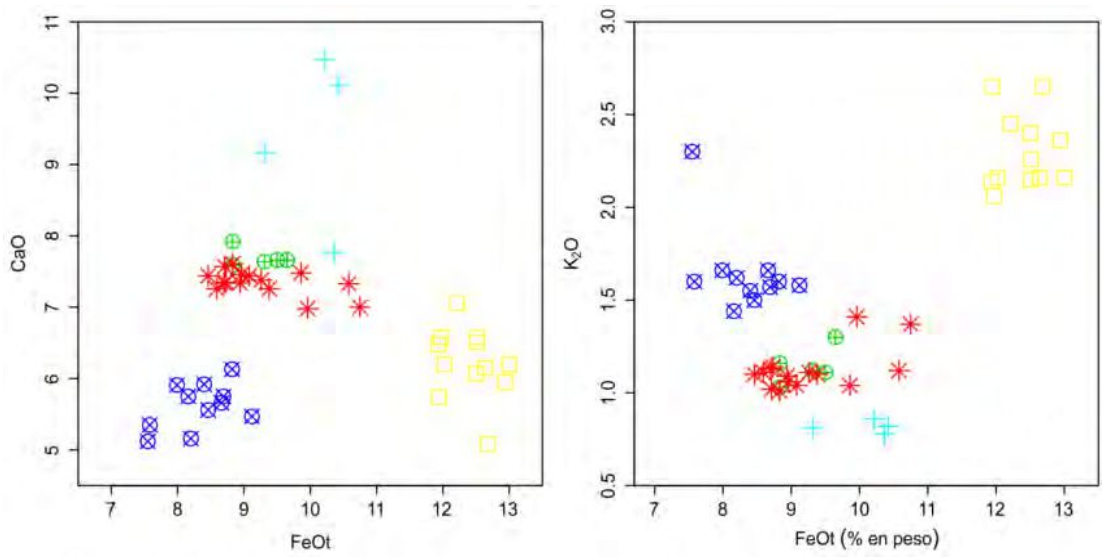
**Figura 46.** Diagrama de clasificación de Peccerillo y Taylor (1976),  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  para las tefras del Lago Huechulafquen.

En los diagramas de variación Harker se observó una tendencia decreciente en MgO y CaO a medida que aumenta la concentración de sílice para las tefras H-T2, H-T3, H-T5 y H-T7 (Figura 47).

El  $\text{TiO}_2$  se presenta en concentraciones bajas, inferiores a 1,8 % para las tefras H-T2, H-T3, H-T5 y H-T7 y con una concentración  $\geq 2$  % para H-T1. El  $\text{P}_2\text{O}_5$  presenta una concentración menor al 0,3 % para las tefras H-T2, H-T3, H-T5 y H-T7 y  $\geq 0,4$  % para H-T1; mientras que el  $\text{K}_2\text{O}$  se presenta en concentraciones  $\geq 2$  para la tefra H-T1.

En todos los gráficos bivariados se observa que la tefra H-T1 se diferencia de las tefras restantes (H-T2, H-T3, H-T5 y H-T7).





*Figura 47. Diagramas de variación Harker para elementos mayores de las tefras identificadas en el Lago Huechulafquen.*

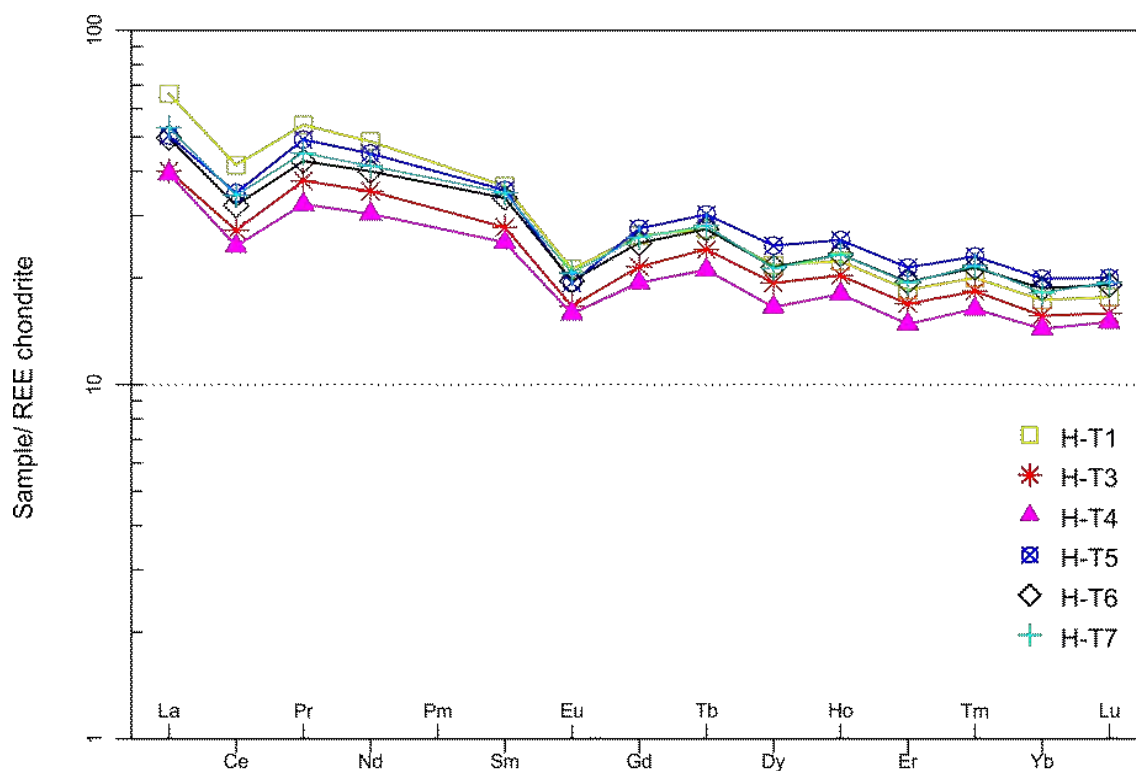
Los niveles de tefra a su vez pueden distinguirse sobre la base de los óxidos de elementos mayores como por ejemplo  $FeO_t$  versus  $CaO$  y  $K_2O$  (% en peso). El  $FeO$  aparece en concentraciones altas en el rango de 12 al 13 % en la tefra H-T1 e inferiores al 10,5 % para H-T2, H-T3, H-T5 y H-T7 (Figura 47).

Sobre la base de la composición química de elementos mayores las tefras se separan claramente en dos grupos de muestras que responden a dos fuentes de origen diferentes.

### 3.2.7.2. Elementos Traza y tierras raras (REE)

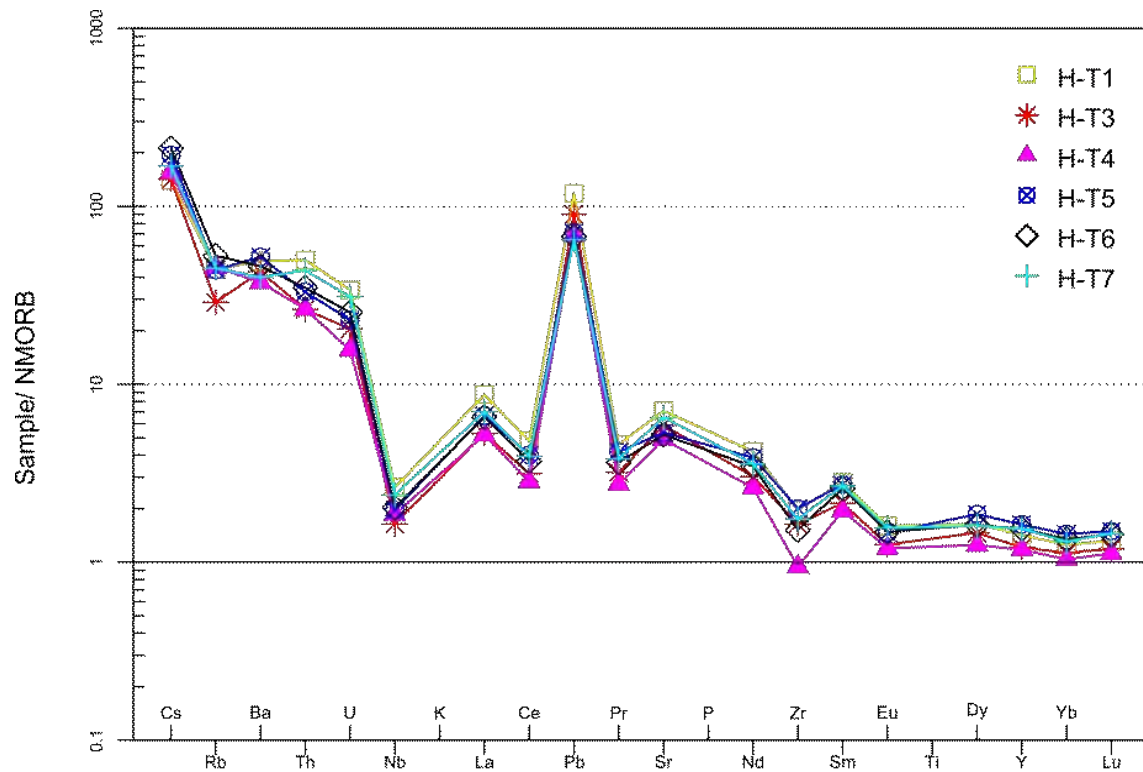
Los análisis geoquímicos de elementos traza y tierras raras se llevaron a cabo en seis niveles de tefra mediante espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS). Las tefras se seleccionaron en primer lugar, en función del espesor de los niveles de tefra y en segundo lugar, de la morfología de los vitroclastos. En la Tabla 5-Anexo 3 se presentan los resultados de los análisis químicos.

Las concentraciones de los elementos de las tierras raras normalizados a condrito (Nakamura, 1974) (Figura 48); muestran un patrón similar caracterizado por un enriquecimiento en las tierras raras livianas (LREE: La, Ce, Pr y Nd) respecto a las tierras raras pesadas (HREE: Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) con anomalías negativas de Eu.



**Figura 48.** Patrones de tierras raras normalizados a condrito (Nakamura, 1974) para las tefras del lago Huechulafquen.

En el diagrama multielementos normalizado a NMORB (Sun y McDonough, 1989) las tefras presentan un enriquecimiento en elementos LILE (large ion lithophile elements) con respecto a HFSE (high field strength elements), con una anomalía negativa de Nb y Zr; y una anomalía positiva de Pb (Figura 49).



**Figura 49.** Diagrama multielementos normalizado a NMORB (Sun y McDonough, 1989) para las tefras del lago Huechulafquen.

### 3.2.8. Edades $^{14}\text{C}$ AMS

Cabe destacar que dada la corta longitud del testigo y los bajos contenidos de materia orgánica, no se pudo obtener una muestra con contenido orgánico datable. Sin embargo, a partir de la identificación de un nivel cronoestratigráfico se pudo estimar el rango de edad de la sucesión recuperada. La tefra H-T1 se atribuyó a la erupción histórica del cono piroclástico Achen Ñiyeu, datada en 520-472 a. Cal AP ( $475 \pm 35$  AP) por Casteller et al. (2010). La identificación de la fuente volcánica se discute en el capítulo 4, sección 4.1. Teniendo en cuenta que este nivel de tefra se ubica muy próximo a la base del testigo (27,7 cm de profundidad), se estima que el registro lacustre recuperado cubriría aproximadamente los últimos 500 años (Figura 35).

El testigo del lago Huechulafquen abarca los últimos 500 años. Teniendo en cuenta la ausencia de variaciones litológicas y granulométricas que hicieran pensar en algún cambio en la dinámica del cuerpo lacustre (sección 3.2.3), se estimó una tasa de sedimentación en el orden de los 0,055 cm/año.

Se identificaron un total de 8 eventos explosivos. Sobre la base de la composición química de elementos mayores y traza, se diferenciaron dos grupos de tefras que responden a dos focos eruptivos diferentes.

Las características morfológicas de los vitroclastos y la impronta geoquímica distintiva, son los parámetros utilizados para identificar las tefras en otros registros lacustres y de superficie.

### 3.3. Laguna Carirriñe

#### 3.3.1. Ubicación

La Laguna Carirriñe ( $39^{\circ} 47,363' S$ ;  $71^{\circ} 40,758' O$ ) es un cuerpo de agua endorreico, de forma irregular, ubicado próximo a la frontera Argentino-Chilena (Figura 50A). Se localiza a 1129 m s.n.m y cubre una superficie de aprox. 2550 m<sup>2</sup>.





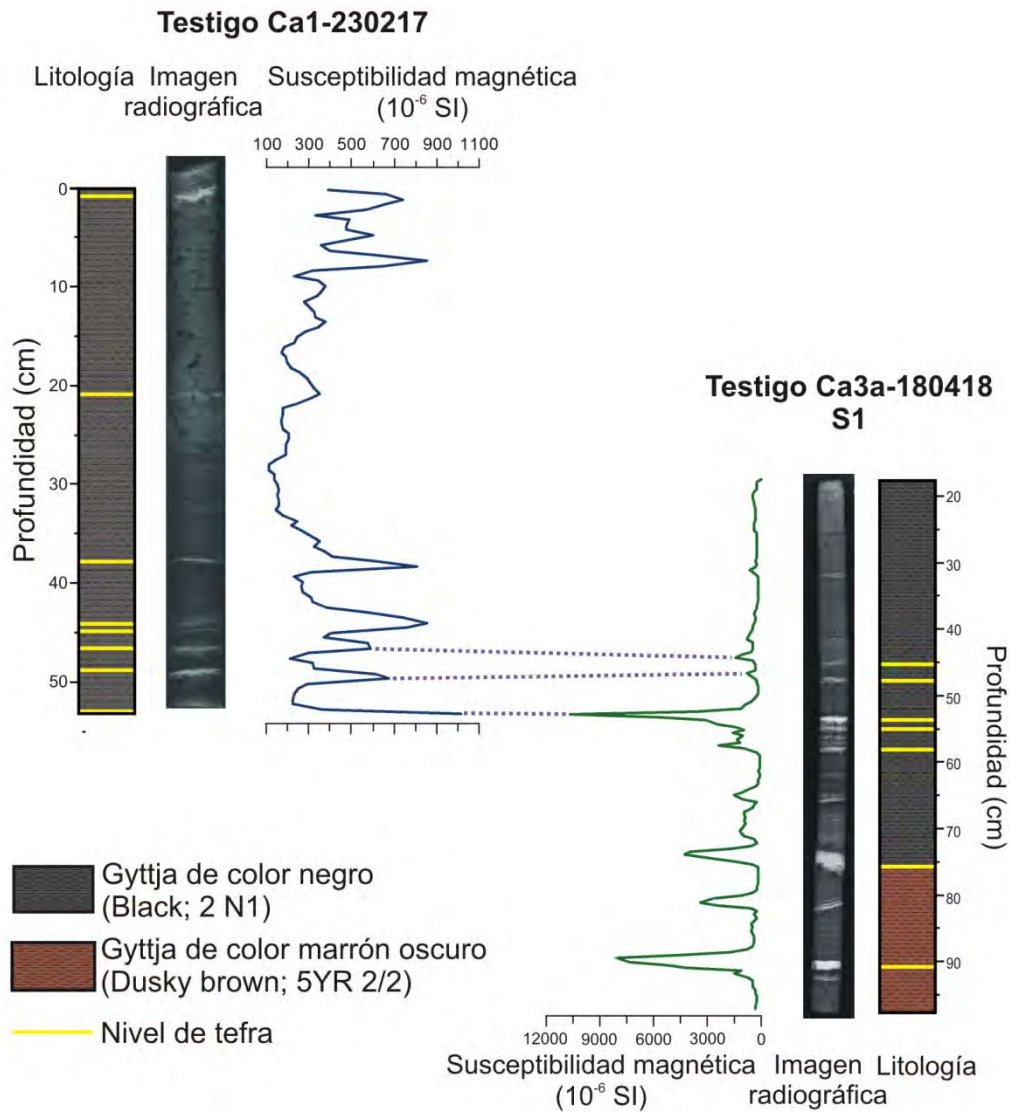
**Figura 50. A:** Localización de la laguna Carirriñe respecto al volcán Lanín (rectángulo amarillo). **B:** ubicación de los testigos lacustres (Ca1-230217, Ca2-230217, Ca3a-180418 y Ca3b-180418).

### 3.3.2. Testigos lacustres

En febrero de 2017 se extrajeron dos testigos sedimentarios cortos con un muestreador de gravedad y percusión UWITEC modificado, en el sector central de la laguna (**Ca1-230217**: 39° 47' 21,87" S; 71° 40' 45,93" O y **Ca2-230217**: 39° 47' 21,54" S; 71° 40' 45,64"), a una profundidad de 1,5 m (Figura 50B). Los testigos tienen 53 y 50 cm de longitud y 6 cm de diámetro. En mayo de 2018, se extrajeron dos testigos largos a 1,33 m de profundidad, **Ca3a-180418** (39° 47' 21,56" S; 71° 40' 45,14" O) y **Ca3b-180418** (39° 47' 21,84" S; 71° 40' 45,20" O), paralelos entre sí, en secciones de ~ 1 m de longitud y a distintas profundidades de manera tal de poder tener superposición entre las secciones y así, recuperar una sucesión continua de sedimentos (Figura 50B). Para ello, se utilizó un muestreador Livingstone. En total se recuperaron 9 secciones.

Los testigos cortos permitieron recuperar la interfase agua-sedimento. Su correlación con la primera sección del registro largo Ca3a-180418 se llevó a cabo sobre la base de tres niveles

de tefra prominentes, con apoyo en los datos de susceptibilidad magnética y morfología distintiva de vitroclastos (Figura 51). Este mismo criterio se aplicó en la correlación para cada una de las secciones. Se recuperó una sucesión continua de sedimentos lacustres de 686,2 cm de longitud.



**Figura 51.** Correlación entre el testigo corto (Ca1-230217) y la primera sección del testigo largo (Ca3a-180418).

### 3.3.3. Descripción de los sedimentos

Los sedimentos de la laguna Carirriñe están compuestos por gyttja con variaciones de coloración a lo largo de los 686,2 cm de longitud, que reflejan cambios en las condiciones de sedimentación (ver sección 3.3.8) y permitieron definir cuatro unidades litológicas (Figura 52A).

La unidad basal (C-1) se extiende desde la base (686,2 cm) hasta los 595,8 cm de profundidad (90,4 cm). En los 64 cm inferiores se observa una intercalación de numerosos y delgados niveles de tefra de distintas coloraciones en el sedimento orgánico, que conforman una laminación. El color del sedimento a lo largo de la unidad es negro parduzco (brownish black 5YR 2/I). Se identificaron 16 eventos de gran magnitud.

La unidad C-2 (595,8-177,5 cm de profundidad; 418,3 cm) está conformada por gyttja de color negro grisáceo (grayish black, 2 N2), con presencia de 36 tefras. A continuación, el color del sedimento se aclara ligeramente, dando lugar a la unidad C-3 (177,5-76 cm de profundidad; 101,5 cm), se torna marrón oscuro (dusky brown, 5YR 2/2) y se identificaron 7 tefras.

En la unidad superior, C-4 (76-0 cm de profundidad hasta el techo; 76 cm) el sedimento se oscurece y se observa de color negro (black, 1 N1), con 11 niveles tefra preservados.

Las tefras varían entre 0,1 y 5 cm de espesor con base y techo netos o base neta y techo transicional, dado por el aporte de material piroclástico que se encontraba disponible en la cuenca y fue removilizado en los meses o años posteriores a la erupción. Se destaca un evento excepcional que alcanzó los 19,5 cm de espesor correspondiente a la tefra C-T53. En los 686,2 cm del testigo se identificaron 70 niveles de tefra que corresponden a eventos de caída directa.

Las tefras se denominaron utilizando una sigla en mayúscula que hace referencia al nombre de la laguna (C) y se numeraron desde la más antigua a la más joven.

### **3.3.4. Susceptibilidad magnética (SM)**

El perfil de susceptibilidad magnética (Figura 52A) permitió identificar la presencia de niveles de tefra, representados por picos marcados con valores elevados de SM. Por el contrario, el sedimento orgánico libre de material piroclástico presentó valores próximos a cero. Los valores de SM obtenidos se presentan en la Tabla 3a-Anexo 2.

Las tefras registraron valores de susceptibilidad  $> 5000 \times 10^{-6}$  SI, entre  $5000-2000 \times 10^{-6}$  SI y  $< 2000 \times 10^{-6}$  SI; en función de la concentración de minerales magnéticos. Cabe destacar, que en la tefra C-T63 se detectó un valor máximo de  $10658 \times 10^{-6}$  SI y en la tefra C-T13 valores inferiores a  $130,2 \times 10^{-6}$  SI, reflejando valores extremos en las concentraciones de minerales magnéticos.

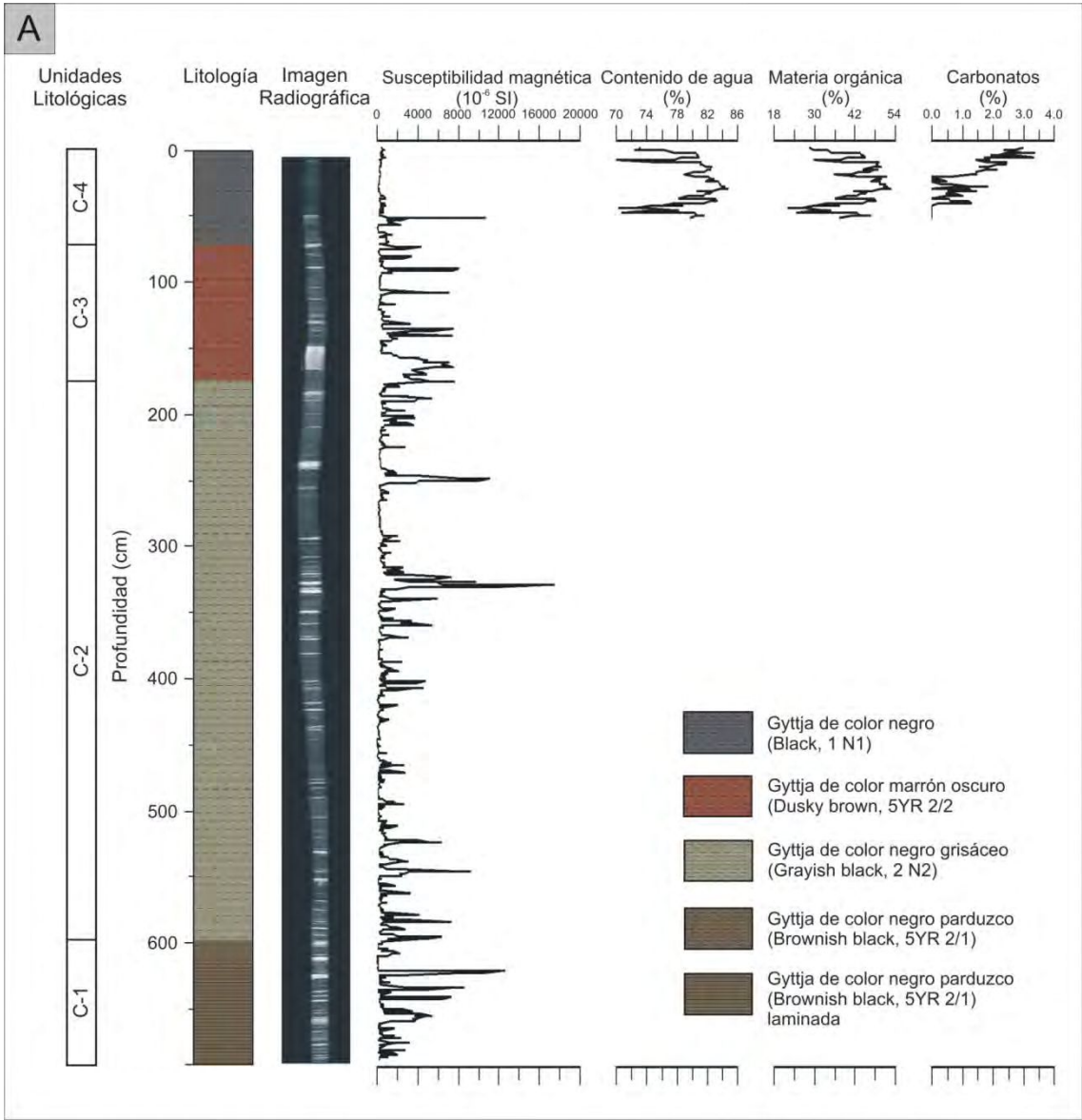
### **3.3.5. Contenido de agua, materia orgánica (MO) y carbonatos**

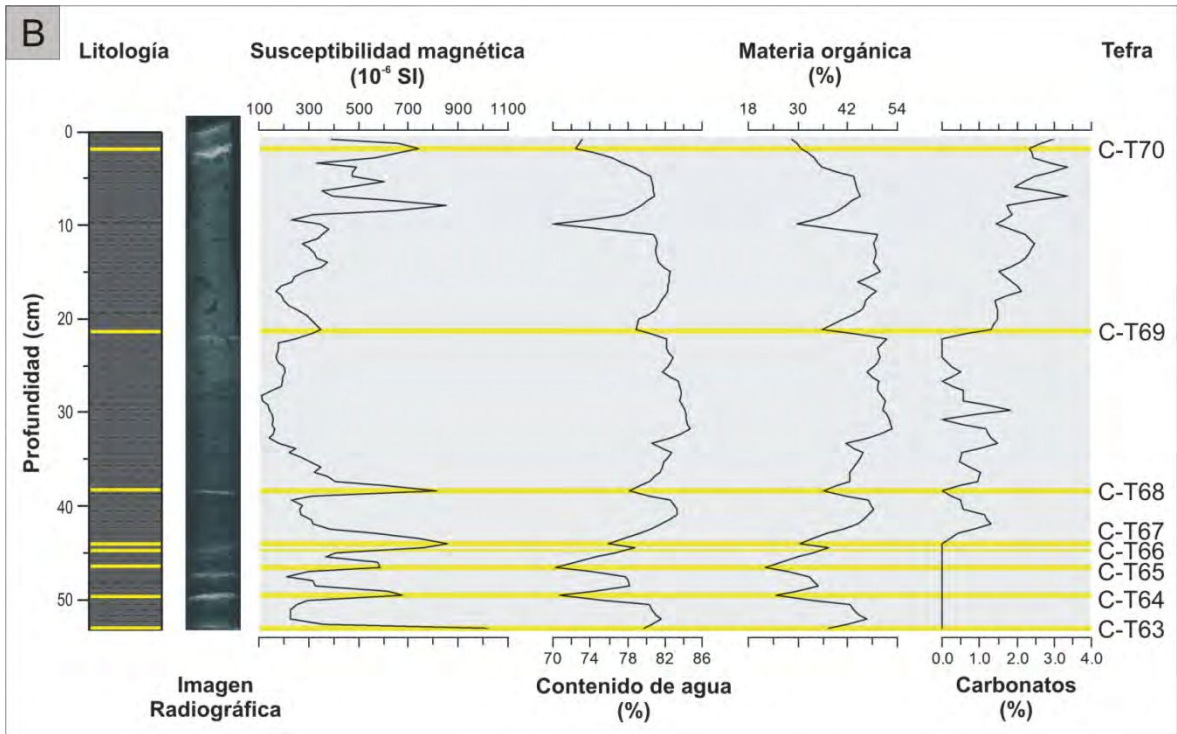
Los sedimentos de la laguna Carirriñe se caracterizan por tener un elevado contenido de agua que varía entre 62,5 y 85 % (Figura 52B).

Los niveles de MO se incrementan desde la base (C-1; 18-32 %) hacia al techo del registro (C-4; 18 a 53 %), con rangos en el orden de 16-42,5 % para la unidad C-2 y entre 23-44 % para la unidad C-3, reflejando un incremento gradual en la productividad de la laguna (Figura 52B). Las caídas marcadas permiten inferir la presencia de material piroclástico en el registro.

El color observado en el sedimento no siempre responde al elevado contenido de MO. En este registro el color del sedimento está influenciado por dos componentes, el contenido orgánico y el material piroclástico: la presencia de numerosos niveles de tefra submilimétricos de color negro y granulometría fina que se enmascaran con el sedimento.

Por otro lado, el contenido de carbonatos es muy bajo, varía de 0 a 3,5 % (Figura 52B).





**Figura 52.** A. Columna estratigráfica, imagen radiográfica y perfil de susceptibilidad magnética integrados. Se incluyen perfiles de contenido de agua, materia orgánica y carbonatos. A la izquierda se indican las unidades litológicas. B. Detalle de los 53 cm superiores de la unidad C-4. (Testigo Cal-230217). La posición de las tefras se indica con una línea en color amarillo.

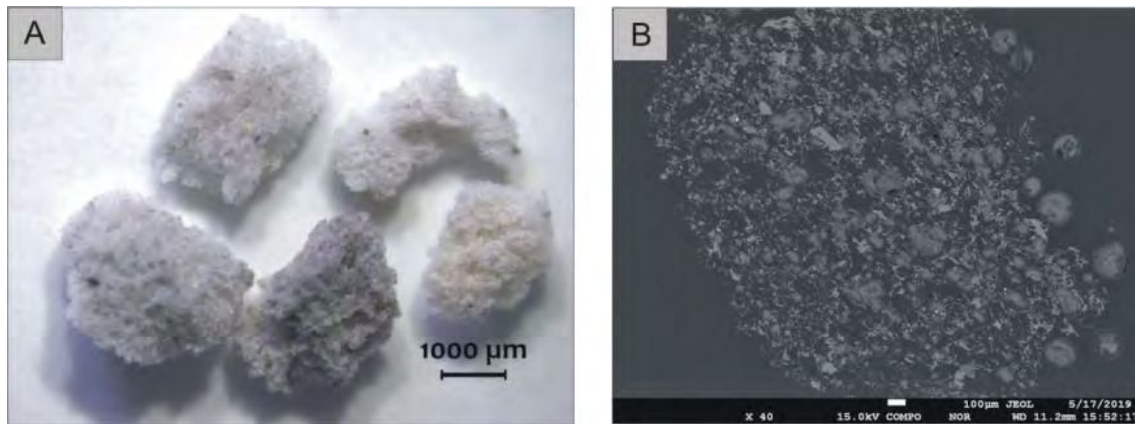
### 3.3.6. Descripción y caracterización morfológica de los niveles de tefra

En función del gran número de tefras identificadas, se seleccionaron 19 de los niveles con características más conspicuas en función de su espesor y morfología distintiva de vitroclastos. Para acceder a la descripción de todas las muestras, referirse al Anexo 1-Tefras de la laguna Carirriñe.

#### C-T1

Nivel de lapilli fino y ceniza gruesa de color gris muy claro, ubicado en la base del testigo

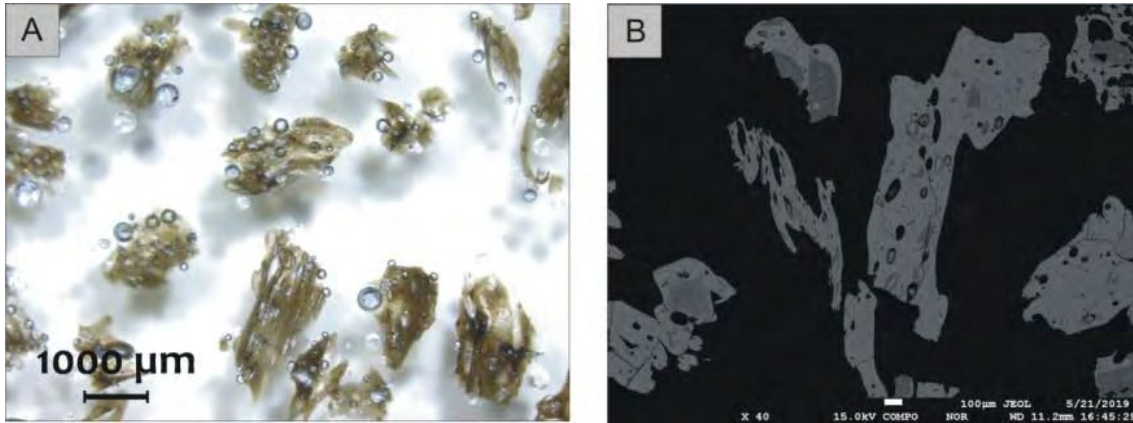
entre los 686,2 - 685 cm de profundidad, de 1,2 cm de espesor. Presenta techo neto y base no expuesta. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos de color castaño claro grisáceo, translucidos, subredondeados a angulosos, altamente pumíceos, con vesículas ovaladas e irregulares. Se observa frecuente coalescencia de burbujas (Figura 53). Posee un bajo contenido de microfenocristales y microlitos de plagioclasa, magnetita titanífera y apatito. La fracción mineral es escasa y está compuesta por cristaloclastos félsicos (plagioclasas) y cristaloclastos máficos (fundamentalmente piroxenos). Todos los cristales están recubiertos por delgadas coberturas vítreas.



**Figura 53.** Tefra C-T1. *A:* imagen de lupa binocular; vitroclastos altamente pumíceos. *B:* BSEI, vitroclasto pumíceo con bajo contenido de microlitos.

## C-T5

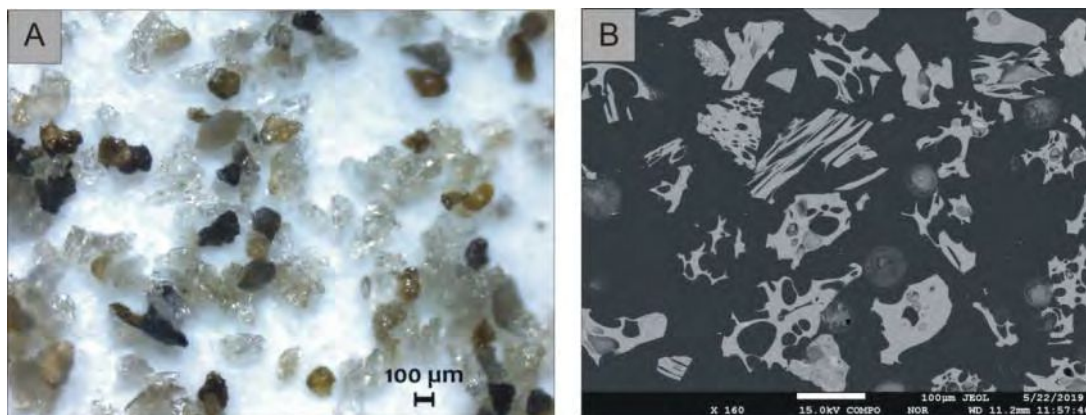
Nivel de lapilli fino y ceniza gruesa, de 0,5 cm de espesor, ubicado entre los 660,3 – 659,8 cm de profundidad. Base y techo netos. Está compuesto por lágrimas de Pele y lágrimas rotas, de color castaño verdoso, de formas irregulares y elongadas, con moderada vesicularidad. Presentan superficie externa lisa y protuberancias dado por la presencia de numerosas burbujas internas (Figura 54). Poseen moderado contenido de microfenocristales y microlitos caracterizados por tablillas de plagioclasa y piroxeno (solución sólida Enstatita-Ferrosilita). Se identificaron vitroclastos escoriáceos aislados. La fracción mineral está caracterizada por plagioclasas y posiblemente olivina, con coberturas vítreas delgadas.



**Figura 54.** Tefra C-T5. **A:** imagen de un corte pulido a espejo visto con lupa binocular. **B:** BSEI, lágrimas de Pele y lágrimas rotas con moderado contenido microlítico.

### C-T8

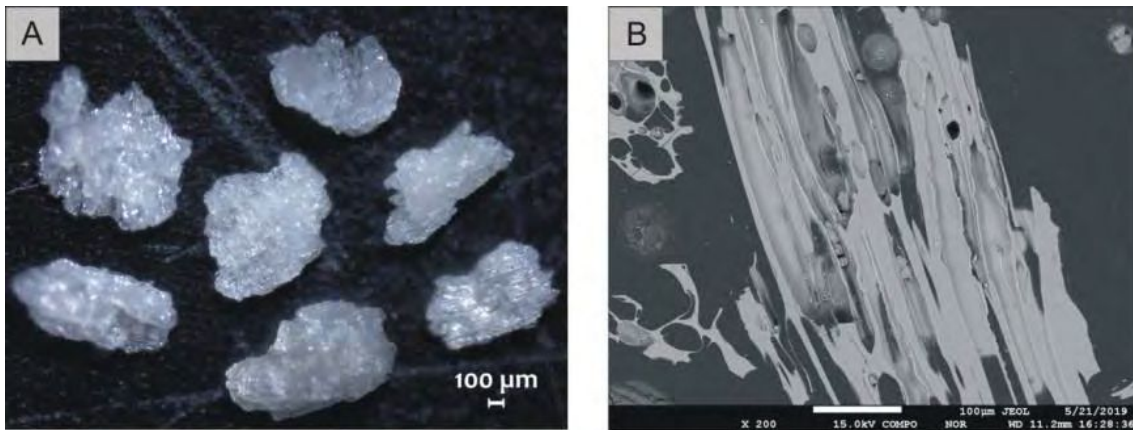
Nivel de ceniza de 0,3 cm de espesor ubicado entre los 647,8 y 647,5 cm de profundidad. Base y techo netos. Mayoritariamente está compuesto por vitroclastos incoloros a castaño claro, con un tamaño de partícula entre 125 y 63  $\mu\text{m}$ , pumíceos, con vesículas ovaladas, irregulares y alargadas paralelas entre sí, evidenciando fluidalidad. Están acompañados por remanentes de pared de burbuja y vitroclastos escoriáceos aislados, con alto contenido microlítico. La fracción mineral es escasa. Los cristales presentan delgadas coberturas vítreas (Figura 55).



**Figura 55.** Tefra C-T8. **A:** imagen de lupa binocular, vitroclastos pumíceos, remanentes de pared de burbuja y vitroclastos escoriáceos. **B:** BSEI: Vitroclastos pumíceos que carecen o presentan muy bajo contenido de microlitos.

### C-T10

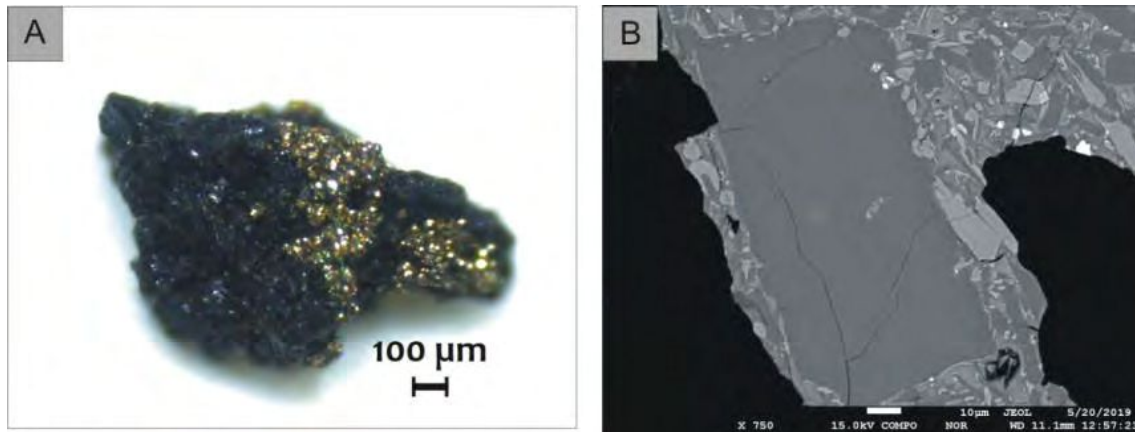
Nivel de ceniza gruesa de color blanco, de 1,3 cm de espesor, ubicado entre los 637,3 y 636 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos de color blanco, pumíceos, angulosos, con vesículas circulares y ovaladas. Numerosos fragmentos son alargados con canalículos paralelos entre sí. Carecen de microfenocristales y microlitos (Figura 56).



**Figura 56.** Tefra C-T10. **A:** imagen de lupa binocular; vitroclastos pumíceos. **B:** BSEI: detalle de un vitroclasto con ausencia de microlitos.

### C-T12

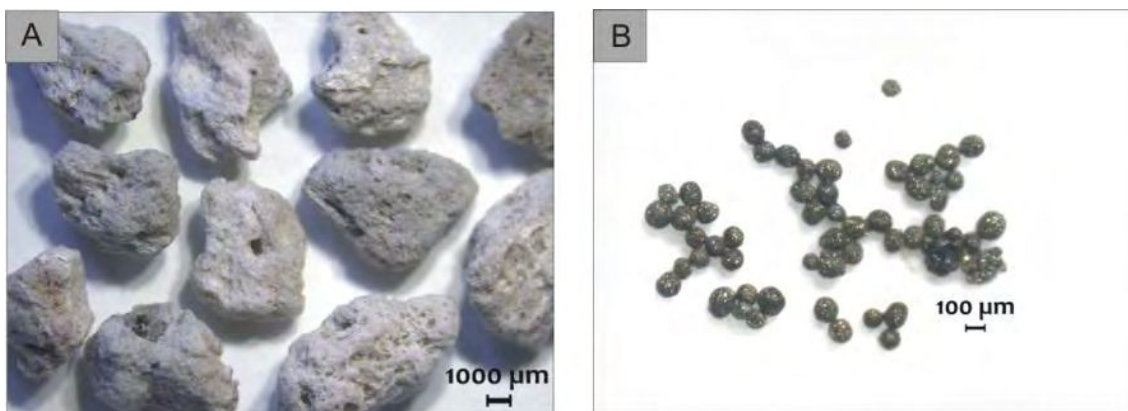
Nivel de ceniza gruesa de color negro, de 3,3 cm de espesor, ubicado entre los 622,5 y 619,2 cm de profundidad. Base y techo netos. Está compuesto por vitroclastos de color castaño oscuro y fragmentos escoriáceos negros, angulosos, con moderada a baja vesicularidad. Presentan alto contenido de microfenocristales y microlitos caracterizados por tablillas de plagioclasa, piroxeno y cristales de magnetita titanífera. Se identificó piritita con textura framboidal tapizando la superficie de los fragmentos (Figura 57).

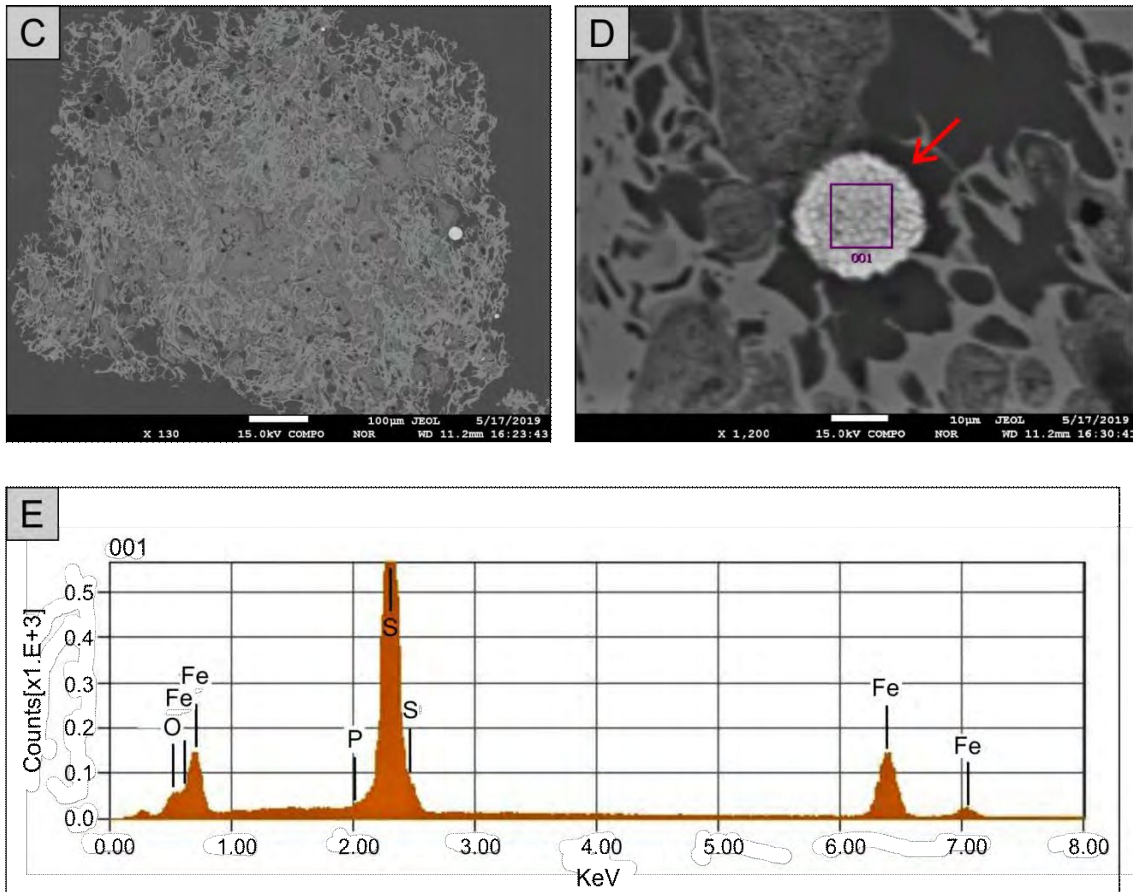


**Figura 57.** Tefra C-T12. **A:** imagen de lupa binocular en donde se observa un vitroclasto escoriáceo negro recubierto con pirita con textura framboidal. **B:** BSEI: detalle de un vitroclasto escoriáceo con alta densidad de cristales, nótese el fenocristal en primer plano.

### C-T13

Nivel muy prominente de ceniza y lapilli, de color gris claro, grano creciente. Presenta 10,2 cm de espesor y está ubicado entre los 619 y 608,8 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos de color castaño claro grisáceo, subangulosos a angulosos, altamente pumíceos, con vesículas ovaladas, circulares e irregulares; con frecuente coalescencia de burbujas. Se identificó presencia de pirita con textura framboidal ocupando las cavidades de las vesículas (Figura 58). La fracción mineral es escasa y está compuesta por plagioclasa y escasos piroxenos.

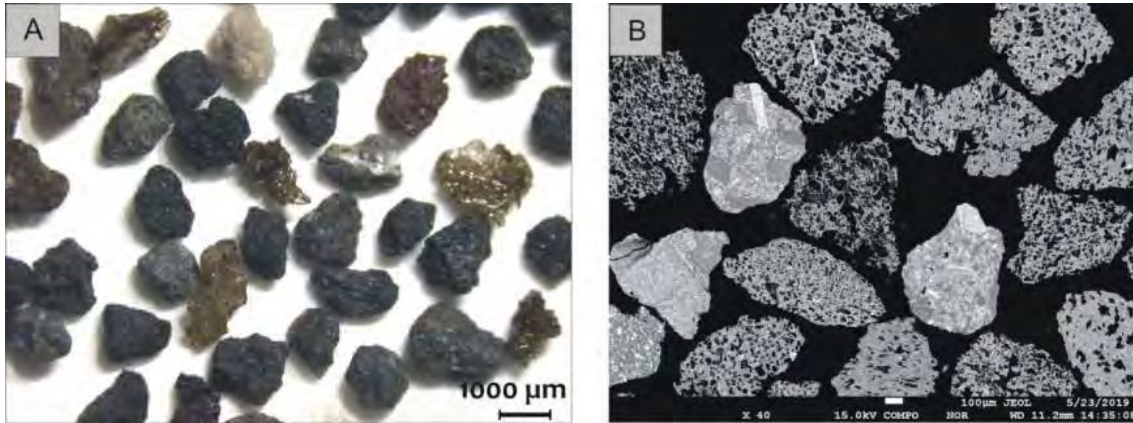




**Figura 58.** Tefra C-T13. Imágenes de lupa binocular. **A:** vitroclastos pumíceos de color castaño claro grisáceo. **B:** framboides de pirita. **C y D:** BSEI. **C:** vitroclasto altamente pumíceo, con frecuente coalescencia de burbujas. La flecha roja señala un framboide de pirita. **D:** detalle del framboide de pirita medido. **E:** Espectro de rayos x del punto 001 obtenido por SEM-EDS.

### C-T17

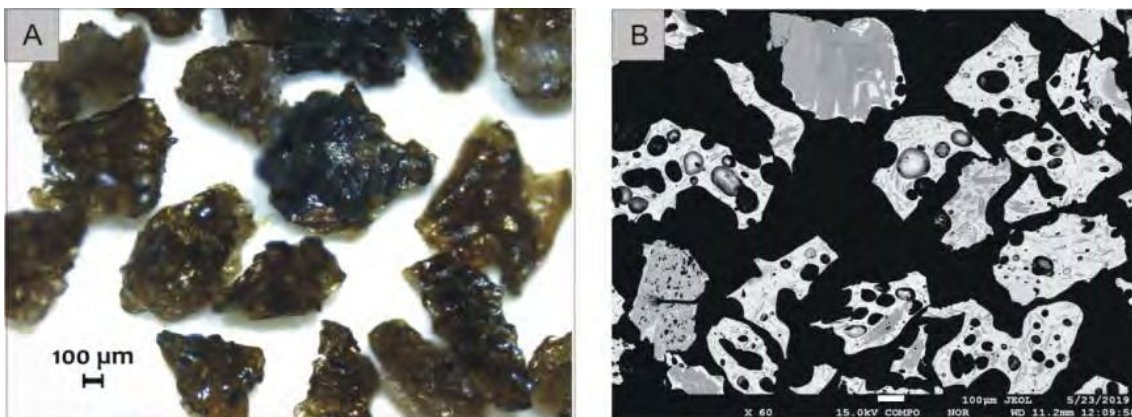
Nivel de ceniza gruesa de color negro, de 2,8 cm de espesor, ubicado entre los 595,8 – 593 cm de profundidad. Base y techo netos. Está compuesto mayormente por vitroclastos escoriáceos negros con baja vesicularidad; y vitroclastos de color castaño claro a castaño oscuro, angulosos, pumíceos (Figura 59).



**Figura 59.** Tefra C-T17. **A:** imagen de lupa binocular, vitroclastos escoriáceos de color negro y vitroclastos pumíceos de color castaño claro a castaño oscuro. **B:** BSEI: vitroclastos con alto contenido de microfenocristales y microlitos.

### C-T28

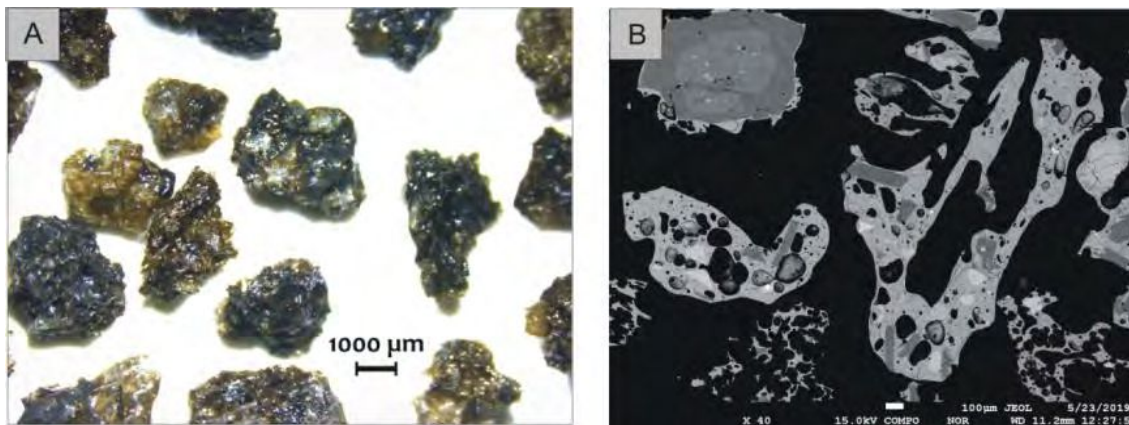
Nivel de ceniza gruesa de color negro verdoso, de 1 cm de espesor, ubicado entre los 477 y 476 cm de profundidad. Está compuesto principalmente por lágrimas de Pele y lágrimas rotas de color castaño verdoso. Presentan superficie externa lisa con protuberancias dado por la presencia de burbujas internas. Están acompañadas por escasos vitroclastos escoriáceos de color negro (Figura 60). La fracción mineral es escasa y caracterizada por plagioclasa, piroxeno y olivina, con delgadas coberturas vítreas.



**Figura 60.** C-T28. **A:** imagen de lupa binocular, lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso. **B:** BSEI: lágrimas de Pele rotas con moderado contenido microlítico. En el centro del margen superior se identifica un piroclasto mixto.

### C-T31

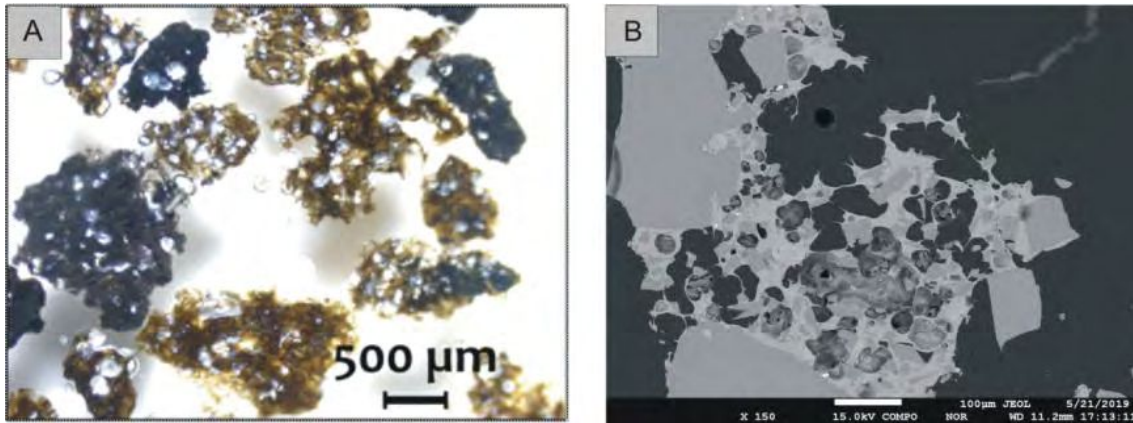
Nivel de ceniza lapilli fino y ceniza gruesa de color negro verdoso, de 1,2 cm de espesor, ubicado entre los 423,7 y 422,5 cm de profundidad. Está compuesto por lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso, de formas irregulares, angulosas, con vesicularidad variable. Presentan superficie externa lisa con protuberancias. Están acompañadas por vitroclastos escoriáceos aislados (Figura 61).



**Figura 61.** Tefra C-T31. **A:** imagen de lupa binocular, lágrimas de Pele rotas acompañadas por vitroclastos escoriáceos negros. **B:** BSEI: lágrimas de Pele con moderado contenido de microfenocristales y microlitos. En el margen superior izquierdo se identifica un cristal zonado con una delgada cobertura vítrea.

### C-T40

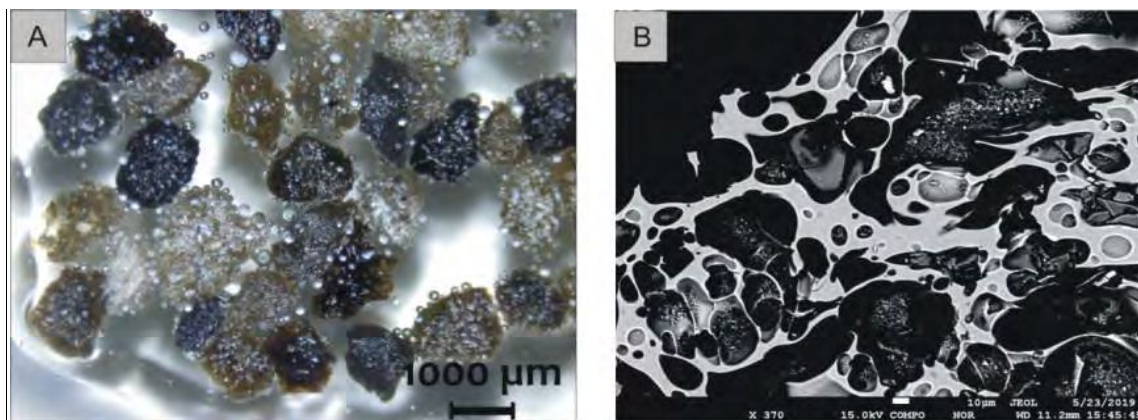
Nivel de ceniza gruesa de color negro, de 0,5 cm de espesor, ubicado entre los 359 y 358,5 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño oscuro y vitroclastos escoriáceos negros, angulosos. Presentan un alto contenido de microfenocristales y microlitos (Figura 62).



**Figura 62.** Tefra C-T40. **A:** imagen de un corte pulido a espejo visto con lupa binocular, vitroclastos de color castaño oscuro acompañados por fragmentos escoriáceos negros. **B:** BSEI, detalle de un vitroclasto con alto contenido de microfenocristales y microlitos.

#### C-T44

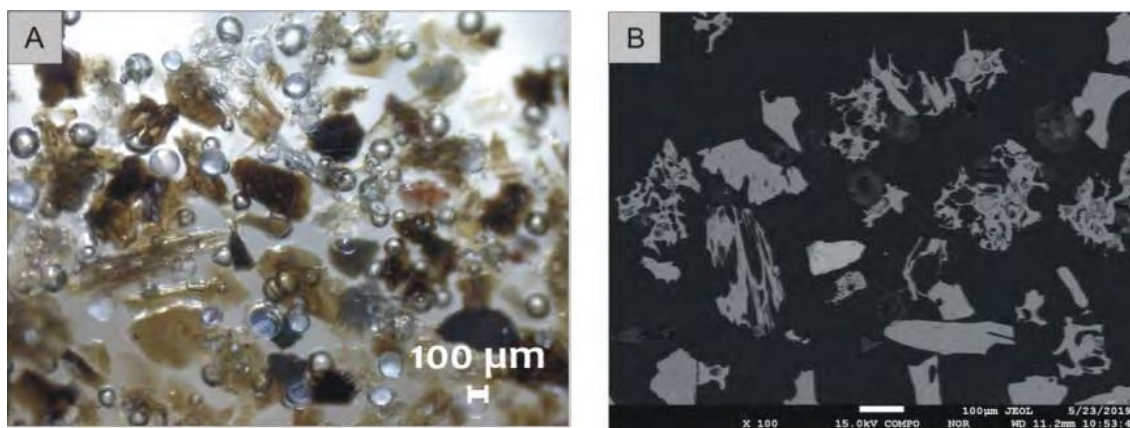
Nivel de lapilli fino y ceniza gruesa de color castaño, de 1 cm de espesor, ubicado entre los 330 – 328,5 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro y castaño oscuro, pumíceos, con vesículas ovaladas e irregulares; acompañados por vitroclastos escoriáceos negros (Figura 63).



**Figura 63.** Tefra C-T46. **A:** imagen de un corte pulido a espejo visto con lupa binocular, vitroclastos de color castaño claro, oscuro y fragmentos escoriáceos negros. **B:** BSEI: detalle de un vitroclasto pumíceo con coalescencia de burbujas.

### C-T47

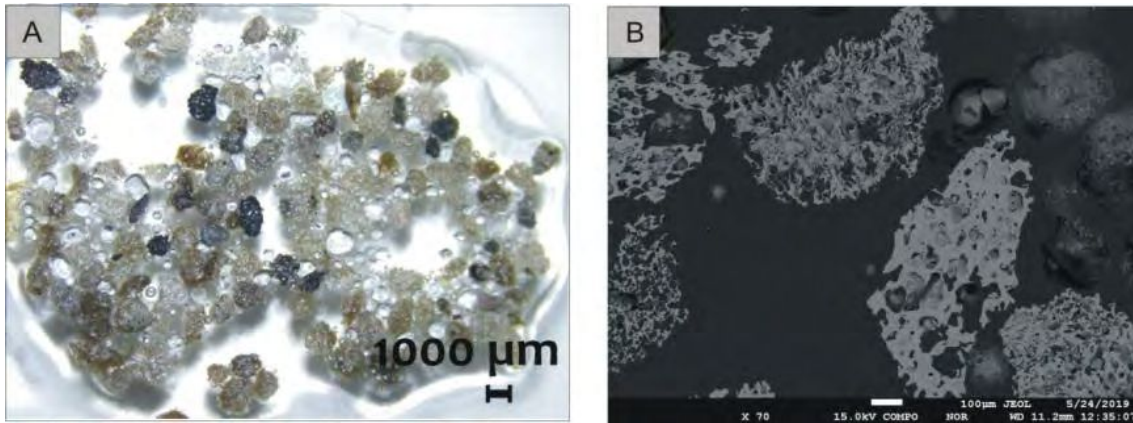
Nivel de ceniza de color castaño claro de 0,5 cm de espesor, ubicada entre los 317,5 y 317 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos castaño claro y oscuro, pumíceos acompañados fragmentos densos, delgados, con superficie concoidea correspondientes a esquirlas de obsidiana (Figura 64).



**Figura 64.** Tefra C-T50. **A:** imagen de un corte pulido a espejo visto con lupa binocular. **B:** BSEI. **A y B:** Vitroclastos pumíceos y esquirlas de obsidiana.

### C-T50

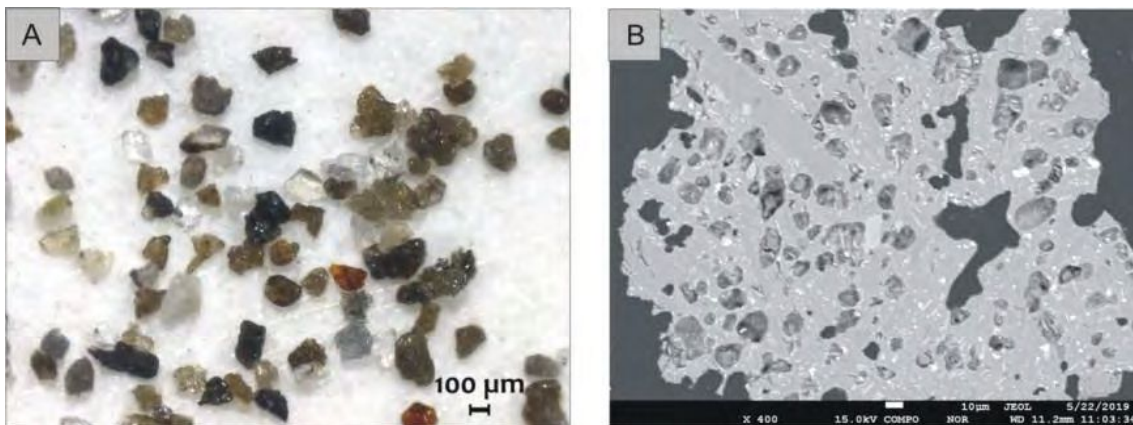
Nivel de lapilli fino y ceniza gruesa de color castaño oscuro, de 5 cm de espesor, ubicado entre los 253,5 y 248,5 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos de color castaño claro, castaño oscuro, pumíceos, acompañados de vitroclastos escoriáceos negros (Figura 65).



**Figura 65.** Tefra C-T50. **A:** imagen de un corte pulido a espejo visto con lupa binocular, vitroclastos pumíceos y vitroclastos escoriáceos de color negro. **B:** BSEI: vitroclastos pumíceos con bajo contenido de microlitos.

### C-T53

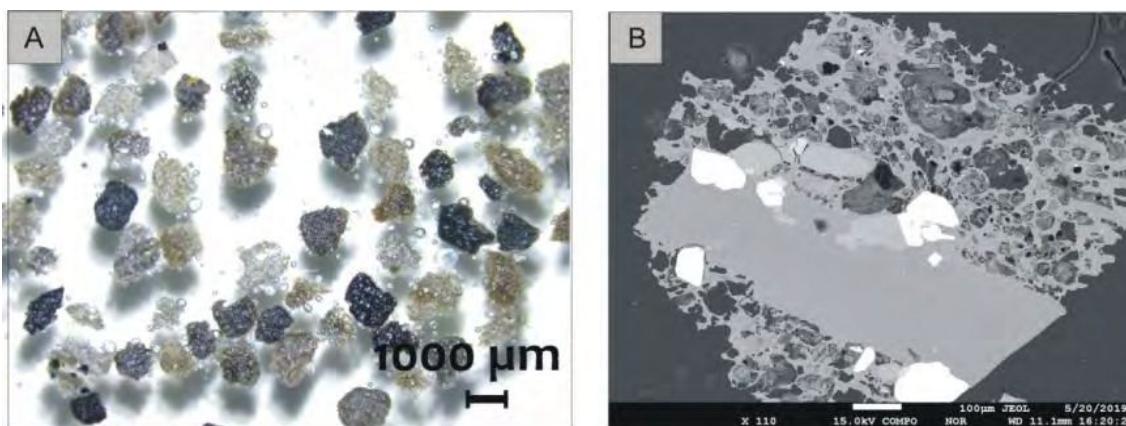
Nivel muy prominente de ceniza fina de color gris, de 19,5 cm de espesor, ubicado entre los 177,5 y 158 cm de profundidad. Presenta base y techo netos. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos con un tamaño de partícula  $< 63 \mu\text{m}$  y escasos fragmentos de mayor tamaño. Son color castaño claro a oscuro, pumíceos y vitroclastos escoriáceos negros, subangulosos a angulosos (Figura 66).



**Figura 66.** Tefra C-T53. **A:** imagen de lupa binocular, vitroclastos pumíceos y escoriáceos, acompañados por cristales de plagioclasa. **B:** BSEI: detalle de un vitroclasto escoriáceo con alto contenido microlítico.

### C-T55

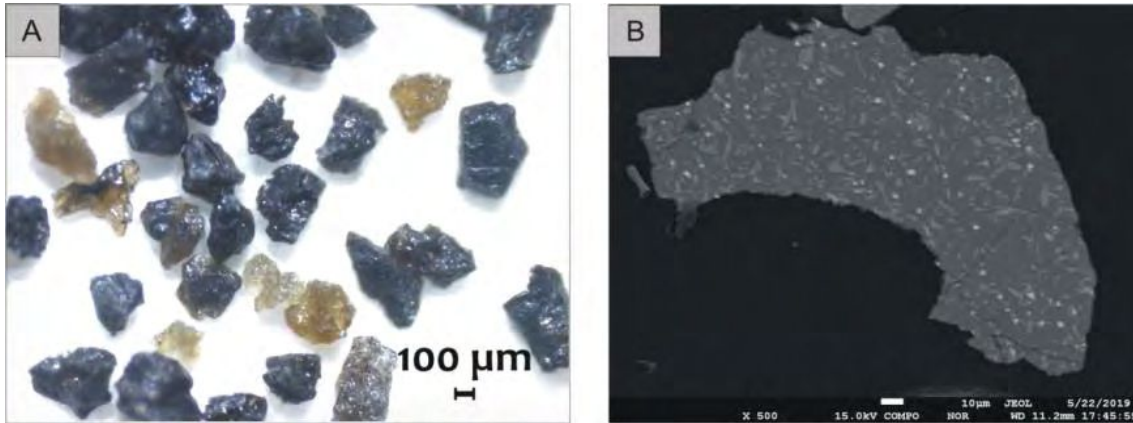
Nivel de lapilli fino y ceniza gruesa de color castaño oscuro, de 2 cm de espesor, ubicado entre los 138,5 y 136,5 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro y oscuro, pumíceos acompañados de vitroclastos escoriáceos negros. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea (Figura 67).



**Figura 67.** Tefra C-T55. **A:** imagen de un corte pulido a espejo visto con lupa binocular, vitroclastos pumíceos y escoriáceos. **B:** vitroclasto pumíceo con microfenocristales de plagioclasa, piroxeno y magnetita titanífera.

### C-T61

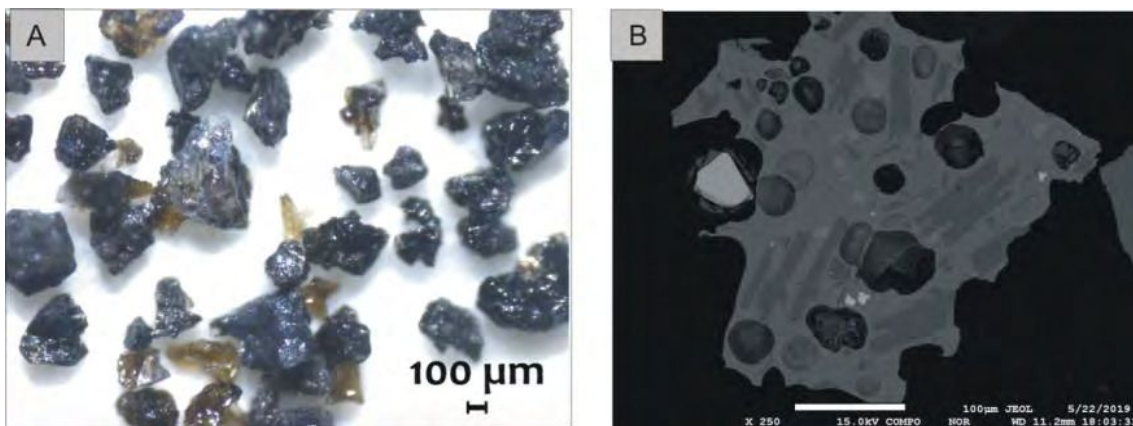
Nivel de ceniza gruesa de color negro, de 0,5 cm de espesor, ubicado entre los 57,5 y 57 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño oscuro y fragmentos escoriáceos negros, en su mayoría densos, acompañados por fragmentos con vesicularidad moderada (Figura 68).



**Figura 68.** Tefra C-T61. **A:** imagen de lupa binocular, vitroclastos de color castaño oscuro y fragmentos escoriáceos negros. **B:** BSEI, vitroclasto altamente microlítico.

### C-T62

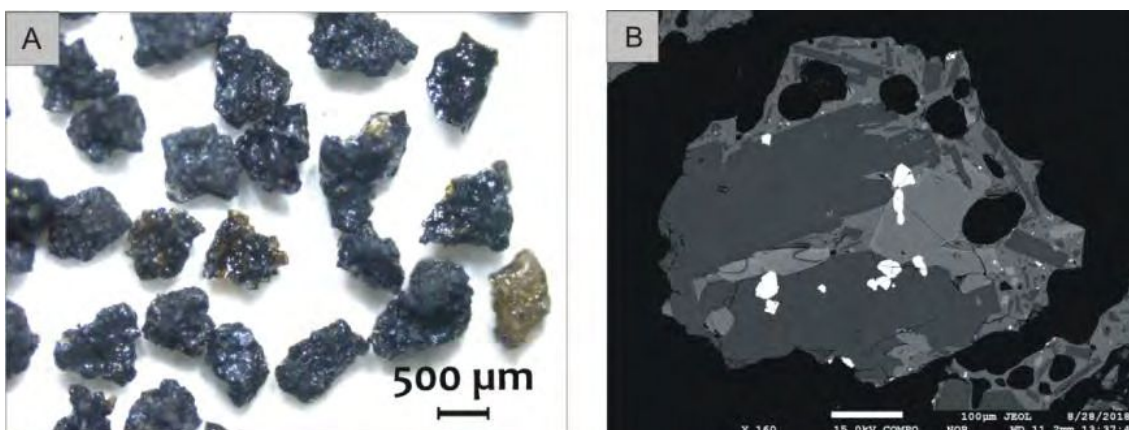
Nivel de ceniza gruesa de color negro, de 0,5 cm de espesor, ubicado entre los 53 y 52,5 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño oscuro y vitroclastos escoriáceos negros, angulosos, con moderada a baja vesicularidad (Figura 69).



**Figura 69.** Tefra C-T62. **A:** imagen de lupa binocular, vitroclastos de color castaño oscuro y fragmentos escoriáceos negros. **B:** BSEI; vitroclasto con alto contenido de microfenocristales y microlitos de plagioclasa y piroxeno.

### C-T63

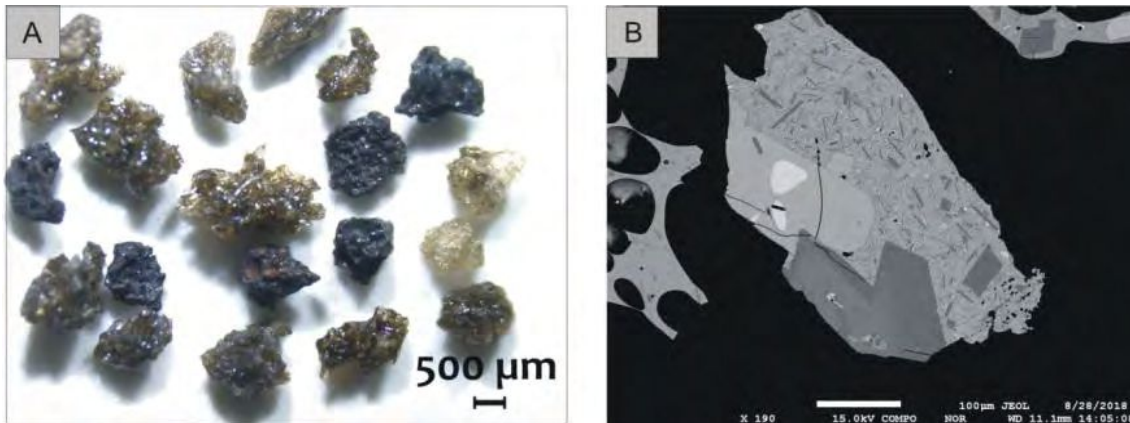
Nivel de ceniza gruesa de color negro, de 0,7 cm de espesor, ubicado entre los 52,2 y 51,5 cm de profundidad. Está compuesta por vitroclastos escoriáceos negros, angulosos, con alta a moderada vesicularidad, acompañados por vitroclastos de color castaño oscuro, angulosos, altamente vesiculares (Figura 70).



**Figura 70.** Tefra C-T63. **A:** imagen de lupa binocular, vitroclastos escoriáceos y de color castaño oscuro. **B:** BSEI: detalle de un vitroclasto con alto contenido de microfenocristales de plagioclasa, piroxeno y magnetita titanífera.

### C-T64

Nivel de ceniza de color verdoso muy oscuro, de 1 cm de espesor, ubicado entre los 48,7 y 48,2 cm de profundidad. Está compuesto por lágrimas de Pele rotas de color castaño verdoso, de formas irregulares y vitroclastos escoriáceos negros (Figura 71).



**Figura 71.** Tefra C-T64. **A:** imagen de lupa binocular, lágrima de Pele rota. **B:** BSEI, vitroclasto escoriáceo con alto contenido de microfenocristales y microlitos de plagioclasa, piroxeno y olivina.

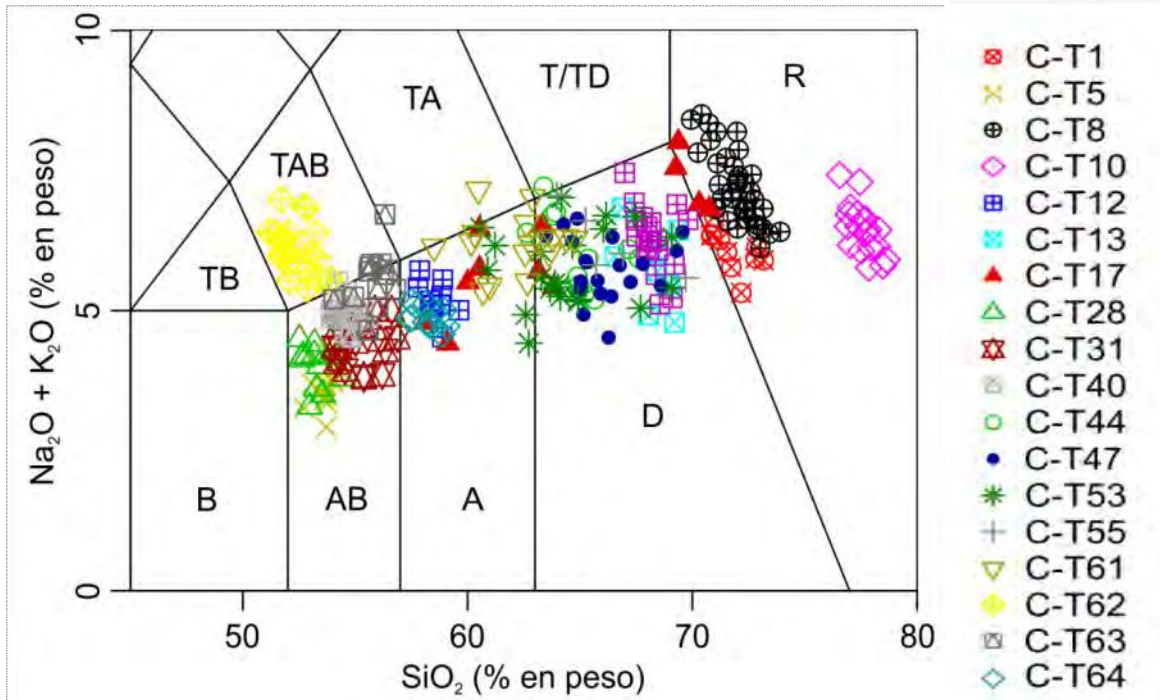
### 3.3.7. Caracterización geoquímica de los niveles de tefra

#### 3.3.7.1. Elementos mayores

Se analizaron diecinueve de 70 niveles de tefra. La composición de los elementos mayores revela un amplio rango composicional, con contenidos de SiO<sub>2</sub> entre 51 y 78,6 % en peso y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 2,9 y 8.5 % en peso (Figura 72). Los resultados de los elementos mayores se presentan en la Tabla 3-Anexo 3.

El análisis de los elementos mayores y la caracterización de detalle de las morfologías distintivas de los vitroclastos realizado bajo lupa binocular, permitió caracterizar distintas poblaciones de vidrio en las tefras y separar las tefras en grupos que responden a focos eruptivos diferentes.

La tefra C-T1 está compuesta por una población de vitroclastos de composición riolítica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 70,5 y 73 % en peso y un contenido de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 5 y 6,5 % en peso.



**Figura 72.** Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986) para las tefras de la laguna Carirriñe. B: basalto, AB: andesita-basáltica, A: andesita, D: dacita, R: riolita, TD: traquidacita, TA: traquiandesita, TAB: traquiandesita-basáltica, TR: traquibasalto.

La tefra C-T5 posee una población de vitroclastos con dos tipos de morfologías distintivas (lágrimas de Pele y vitroclastos escoriáceos). Son de composición basáltica-andesítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 52,5 y 54 % en peso y un contenido  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 3 y 4,5 % en peso.

La tefra C-T8 está compuesta por dos poblaciones de vitroclastos. La población más abundante es de composición riolítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 69,5-74 % en peso y un contenido de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 6-8,5 % en peso. La segunda población no pudo ser medida, porque se encuentra en menor proporción y los vitroclastos son altamente microlíticos.

La tefra C-T10 está compuesta por una población de vitroclastos de composición riolítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 76,5 y 78,5 % en peso y un contenido de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 5,5 y 7,5 % en peso.

La tefra C-T12 está compuesta por una población de vitroclastos con dos tipos de morfologías de partícula característicos (vitroclastos escoriáceos y vitroclastos de color castaño oscuro con moderada a baja vesicularidad). Son de composición basáltica-andesítica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 57,5 y 59,5 % en peso y un contenido de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 4,5 y 6 % en peso.

La tefra C-T13 está compuesta por una población de vitroclastos de composición dacítica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 66,5 y 69,5 % en peso y un contenido de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 4,5 y 7 % en peso.

La tefra C-T17 está compuesta por tres poblaciones de vitroclastos. Una población de composición riolítica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 69 y 70,5 % en peso y un contenido de Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O entre 7-8 % en peso. La segunda población es de composición dacítica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> de ~ 63 % en peso y un contenido de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 5,5 y 7,5 % en peso. La tercera población es de composición andesítica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 58 y 60,5 % en peso y un contenido de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 4 y 6,5 % en peso.

La tefra C-T28 está compuesta por una población de vitroclastos con distintos tipos de morfologías distintivas (lágrimas de Pele, lágrimas rotas y vitroclastos escoriáceos). Son de composición basáltica-andesítica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 52,5 y 54,5 % en peso y un contenido de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 3 y 4,5 % en peso.

La tefra C-T31 está compuesta por una población con vitroclastos de dos tipos morfológicos (lágrimas de Pele rotas y vitroclastos escoriáceos). Son de composición basáltica-andesítica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 54 y 57 % en peso y un contenido de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 4 y 5 % en peso.

La tefra C-T40 está compuesta por una única población de vitroclastos con dos tipos de morfologías características (vitroclastos de color castaño oscuro altamente vesiculares y fragmentos escoriáceos). Son de composición basáltica-andesítica/traquiandesítica-basáltica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 53,5 y 55,5 % en peso y un contenido de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 4,5 y 5,5 % en peso.

La tefra C-T44 está compuesta por tres poblaciones de vitroclastos. La población más representativa es de composición dacítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 62,5-67,5 % en peso y un contenido de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 5 y 7 % en peso. Las otras dos poblaciones no pudieron ser medidas debido al alto contenido de microlitos.

La tefra C-T47 está compuesta dos poblaciones de vitroclastos. La población mayoritaria es de composición dacítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 66,5 y 70 % en peso y un contenido de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 5 y 7,5 % en peso. La segunda población no pudo ser medida porque se encuentra en menor proporción.

La tefra C-T50 está compuesta por tres poblaciones de vitroclastos. La población más abundante es de composición dacítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 63 y 70 % en peso y un contenido de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 4,5 y 7 % en peso. Las otras dos poblaciones no pudieron ser analizadas por estar compuestas por vitroclastos altamente microlíticos.

La tefra C-T53 está compuesta por tres poblaciones. La población más representativa es de composición dacítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 63 y 69 % en peso y un contenido de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 5-7 % en peso. En menor proporción, una población de composición andesítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 60 y 62,5 % en peso y un contenido de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 4,5 y 6,5 % en peso. La tercera población no pudo ser analizada por que los vitroclastos son altamente microlíticos.

La tefra C-T55 está compuesta tres poblaciones de vitroclastos. La población más abundante es de composición dacítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 64 y 69,5 % en peso y un contenido de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 5,5 y 7 % en peso. Las otras dos poblaciones no pudieron ser analizadas por la presencia de numerosos microfenocristales y microlitos en los vitroclastos.

La tefra C-T61 está compuesta por dos poblaciones de vitroclastos. Una población de composición dacítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 63 y 65 % en peso y un contenido de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \sim 6$  %. La segunda población es andesítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 58 y 53% en peso y un contenido de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 5 y 7 % en peso.

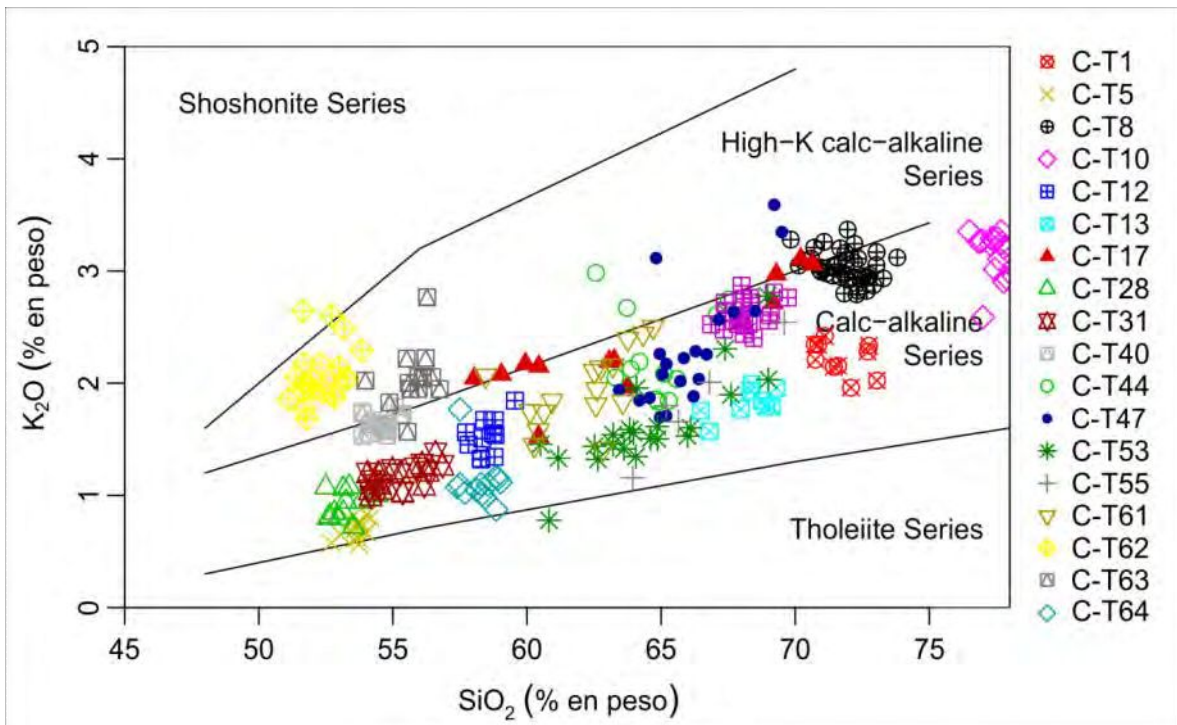
La tefra C-T62 está compuesta por una población de vitroclastos con dos morfologías distintivas (vitroclastos de color castaño oscuro con moderada a baja vesicularidad y vitroclastos escoriáceos). Son de composición traquiandesítica-basáltica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 51 y 54 % en peso y un contenido de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 5 y 7 % en peso.

La tefra C-T63 está compuesta por una población con vitroclastos de dos tipos morfológicos (vitroclastos escoriáceos y vitroclastos de color castaño oscuro con alta vesicularidad). Son de composición traquiandesítico-basáltico, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 54 y 56,8 % en peso y un contenido de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 4,5 y 6,8 % en peso.

La tefra C-T64 está compuesta por una única población con vitroclastos con dos morfologías distintivas (lágrimas de Pele y vitroclastos escoriáceos). Son de composición andesítica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 57,4 y 59 % en peso y un contenido de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O ~ 5% en peso.

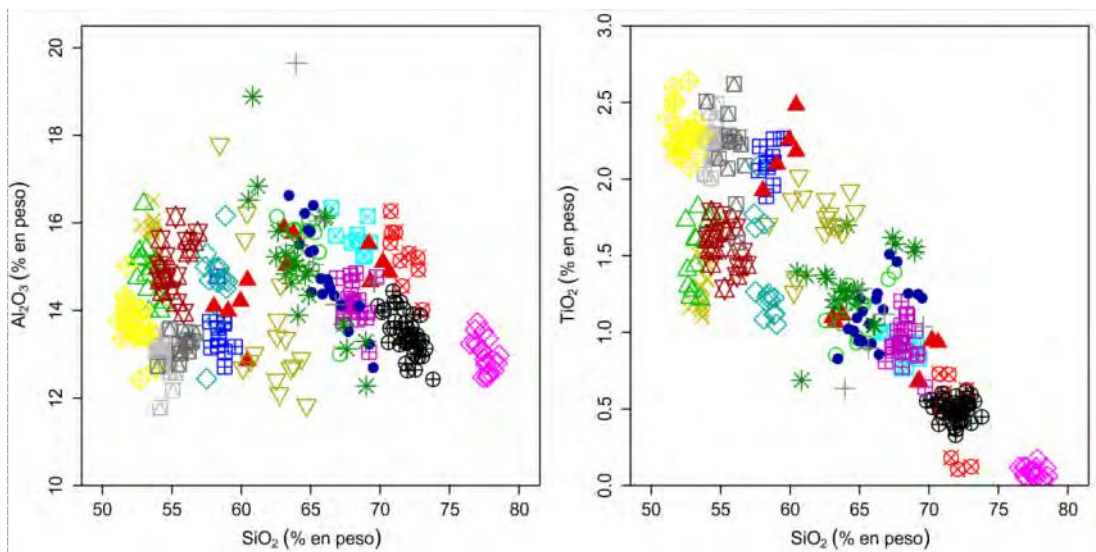
De acuerdo a la relación SiO<sub>2</sub> vs K<sub>2</sub>O (Peccerillo y Taylor, 1976), las tefras C-T5, C-T28, C-T31 y C-T64 se localizan dentro de la serie calcoalcalina y próximas al límite de la serie Toleítica. En cambio, las tefras C-T1, C-T8, C-T10, C-T12, C-T13, C-T17, C-T44, C-T47, C-T50, C-T53, C-T55, C-T61, se ubican dentro del campo de la serie calcoalcalina y sobre el límite de la serie calcoalcalina de alto potasio. Algunas mediciones de las tefras C-T44 y C-T50 caen en el campo calcoalcalino de alto potasio (Figura 73).

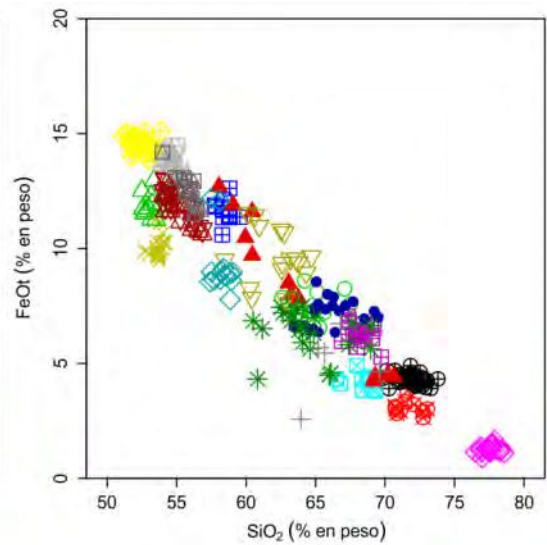
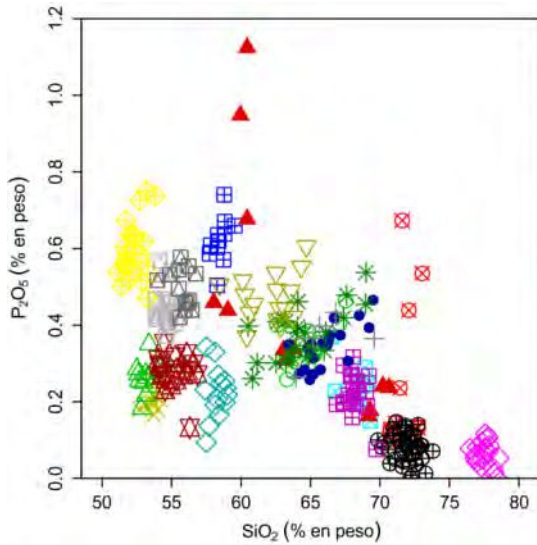
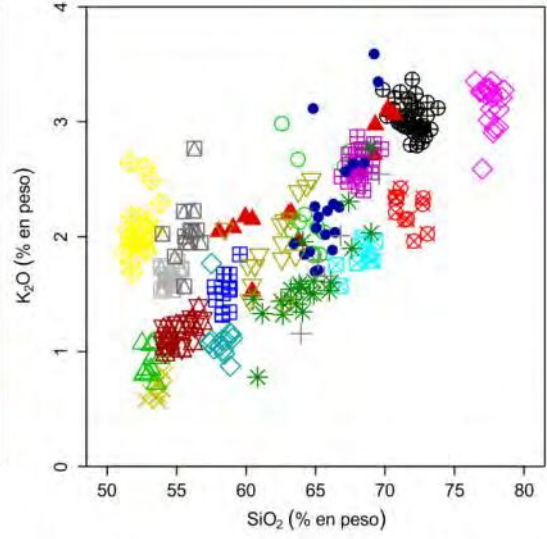
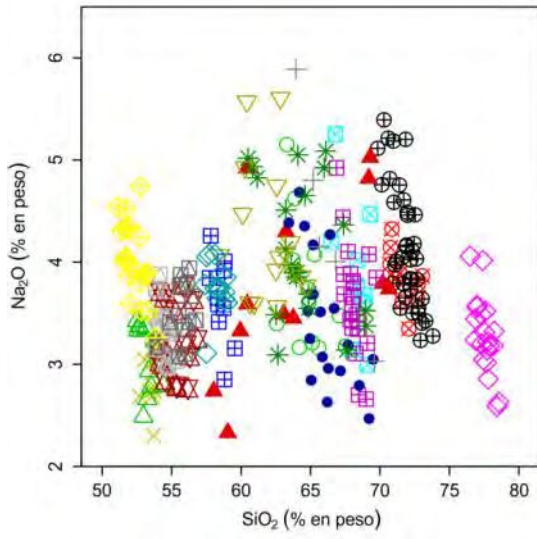
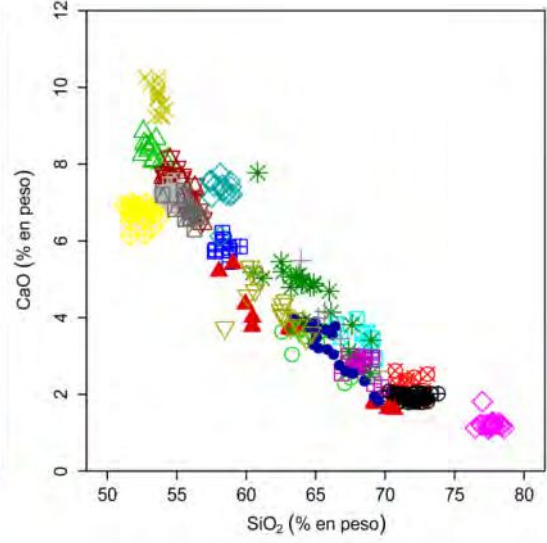
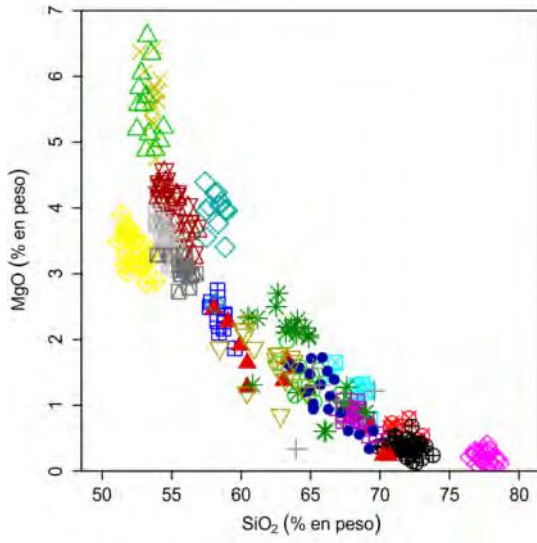
Las tefras C-T40, C-T62 y C-T63 se ubican dentro del campo de la serie calcoalcalina de alto potasio y sobre el límite con la serie calcoalcalina.

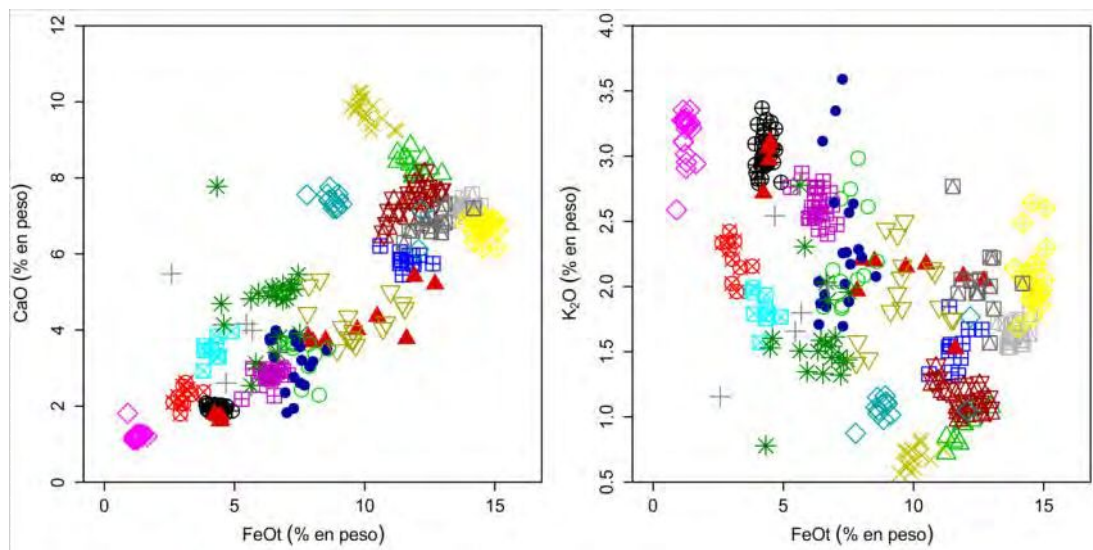


**Figura 73.** Diagrama de clasificación de Peccerillo y Taylor (1976),  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  para las tefras de la laguna Carirriñe.

En los diagramas de variación Harker (Figura 74), se observó una tendencia decreciente en  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$  y  $\text{TiO}_2$  a medida que aumenta la concentración de  $\text{SiO}_2$  para las tefras y una tendencia ligeramente creciente para el  $\text{K}_2\text{O}$ .







- |         |          |         |
|---------|----------|---------|
| ⊠ C-T1  | ▲ C-T17  | * C-T53 |
| × C-T5  | △ C-T28  | + C-T55 |
| ⊕ C-T8  | ⊠ C-T31  | ▽ C-T61 |
| ◇ C-T10 | ⊠ C-T40  | ◆ C-T62 |
| ⊠ C-T12 | ○ C-T44  | ⊠ C-T63 |
| ⊠ C-T13 | ● 2C-T47 | ◇ C-T64 |

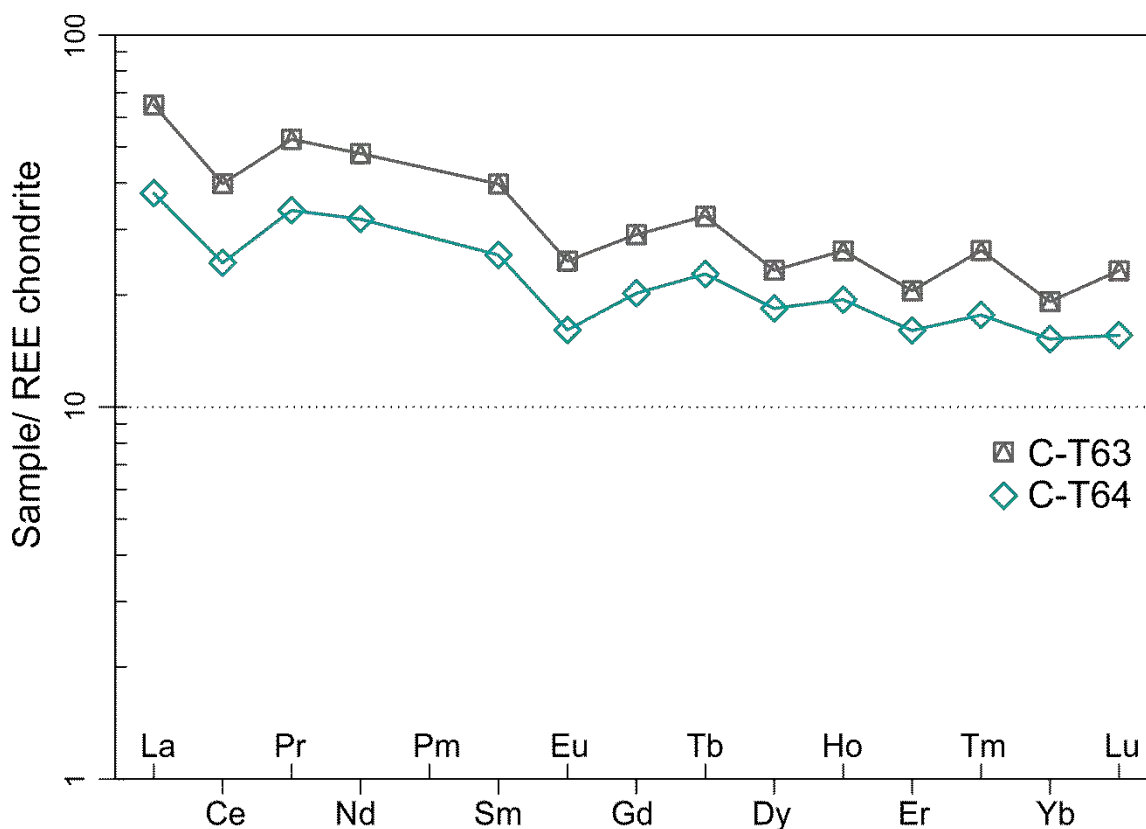
**Figura 74.** Diagramas de variación Harker de elementos mayores para las tefras de la laguna Carirriñe.

A partir de los diagramas geoquímicos (TAS, Peccerillo y Taylor y diagramas Harker) se pudieron diferenciar seis grupos composicionales que responden a focos eruptivos distintos.

### 3.3.7.2. Elementos Traza y tierras raras (REE)

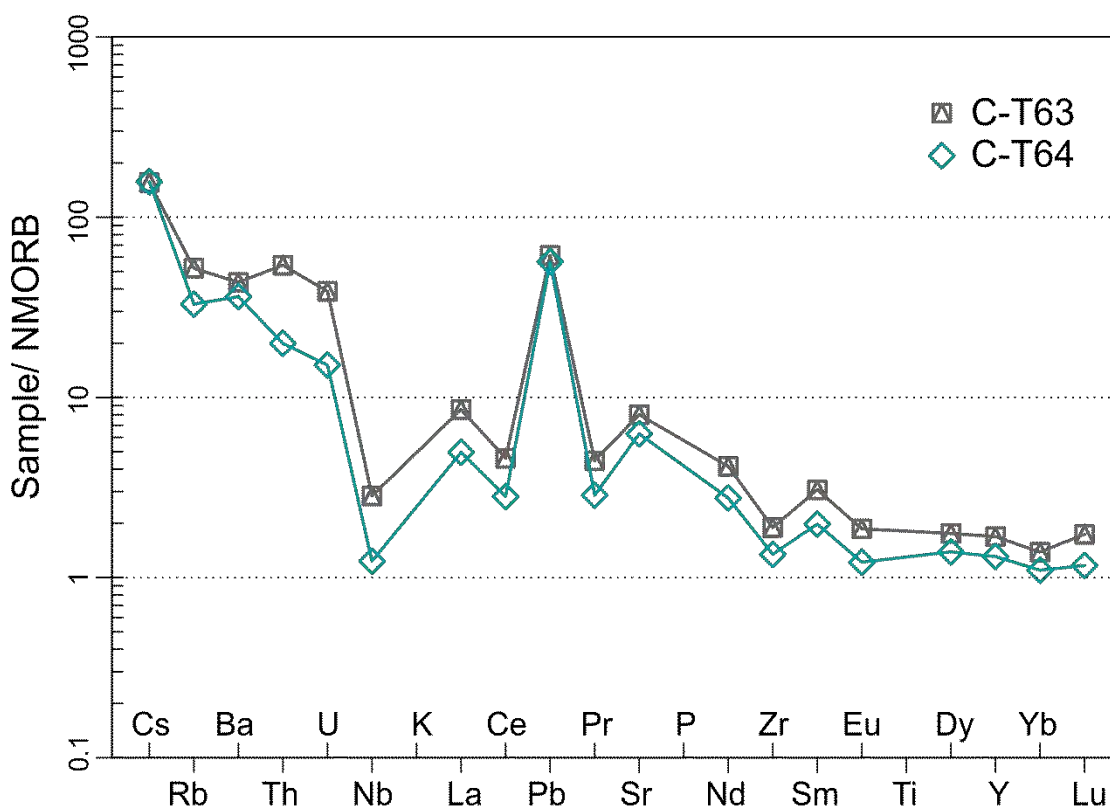
Los análisis geoquímicos de elementos traza y tierras raras se llevaron a cabo en dos niveles de tefra mediante espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS). Se seleccionaron las dos tefras de mayor espesor del testigo corto Ca1-230217. Por falta de presupuesto no se pudieron analizar las tefras del registro largo. En la Tabla 5-Anexo 3 se presentan los resultados de los análisis químicos.

Los patrones de tierras raras normalizados a condrito (Nakamura, 1974), se representan en la (Figura 75). Las tefras C-T63 y C-T64 presentan patrones caracterizados por un enriquecimiento en las tierras raras livianas (LREE: La, Ce, Pr y Nd) respecto a las tierras raras pesadas (HREE: Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), con anomalías negativas de Eu y Ce.



**Figura 75.** Patrones de tierras raras normalizados a condrito (Nakamura, 1974) para las tefras de la laguna Carirriñe.

En el diagrama multielementos normalizado a NMORB (Sun y McDonough, 1989) las tefras presentan un enriquecimiento en elementos LILE (large ion lithophile elements) con respecto a HFSE (high field strength elements), con una anomalía negativa de Nb y una anomalía positiva de Pb (Figura 76).



**Figura 76.** Diagrama multielementos normalizado a NMORB (Sun y McDonough 1989) para las tefras de la laguna Carirriñe.

### 3.3.8. Edades $^{14}\text{C}$ AMS y modelo cronológico

Un total de dos dataciones radiocarbónicas AMS fueron obtenidas a partir del análisis de sedimento con contenido orgánico datable. Los resultados arrojaron una edad en el rango de 3651-3546 años Cal AP ( $3400 \pm 30$  AP; Beta-523213) a 305 cm de profundidad; y una edad en el rango de 5894-5661 años Cal AP ( $5070 \pm 30$  AP; Beta-523214) a 428 cm.

Para el modelo edad-profundidad se utilizaron como insumos las dos edades  $^{14}\text{C}$  AMS obtenidas del laboratorio Beta Analytic (Beta-523213 y Beta-523214), una edad extrapolada del modelo edad-profundidad de la laguna HM correspondiente a la tefra HM-T3 (ver capítulo 3.1, sección 3.1.8) que fue correlacionada con la tefra C-T60 del registro de la laguna Carirriñe (ver capítulo 4, sección 4.1) y el año 2015 asignado a la tefra C-T70 correspondiente a las erupciones de los volcanes Villarrica y Calbuco. Cabe destacar que se

identificaron eventos relevantes a partir de la caracterización geoquímica y morfológica de los vitroclastos, y posición estratigráfica, que son coincidentes con datos publicados por otros autores (Moreno et al., 2014; Rawson et al., 2015; Fontijn et al., 2016). Se utilizaron como insumo siete edades conocidas de eventos previamente identificados (una edad radiocarbónica y siete edades modeladas).

Las edades utilizadas y las profundidades corregidas se informan en la Tabla 3. La identificación de la fuente de procedencia de las tefras se discute en el capítulo 4, sección 4.1.

El modelo Bayesiano de edad-profundidad se desarrollo con el programa Oxcal v4.3.2 (Bronk Ramsey, 2017) y las edades se calibraron aplicando la curva para el hemisferio sur SHCal13 (Hogg et al., 2013). El modelo se definió entre un límite superior correspondiente al techo del testigo (Boundary Top; profundidad= 0 cm), al cual se le asignó el año de extracción de los sedimentos (2017 AD) y un límite inferior correspondiente a la base (Boundary Bottom; profundidad= 686,2 cm). Adicionalmente, se distinguieron tres límites (Boundary Change I, II y III) por cambios en la coloración de los sedimentos; establecidos a 595,8, 177,5 y 76 cm de profundidad, respectivamente. De acuerdo con esto, los cambios delimitan cuatro unidades con tasas de sedimentación diferentes; lo se ve reflejado en el modelo cronológico expuesto en la Figura 77. A su vez, el modelo permitió establecer el rango temporal para cada unidad. Las edades modeladas obtenidas se informan en la Tabla 4.

| U. L.             | Tefras | Esp. (cm) | Prof. <sup>a</sup> (cm) | Prof. corregida <sup>b</sup> (cm) | Cod. Lab. | Edad <sup>14</sup> C ± error (AP) | Edad mod. (Cal AP) | Material analizado  | Referencia             |  |
|-------------------|--------|-----------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------------|--------------------|---------------------|------------------------|--|
| C-4               | C-T70  | 0.3       | 1.7                     | 1.7                               |           | -64                               |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T69  | 0.1       | 20.5                    | 20.5                              |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T68  | 0.1       | 37.5                    | 37.5                              |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T67  | 0.1       | 43                      | 43                                |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T66  | 0.1       | 44.5                    | 44.5                              |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T65  | 0.5       | 45.5                    | 45                                |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T64  | 0.5       | 48.7                    | 48                                |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T63  | 0.7       | 52.2                    | 50.5                              |           | 475 ± 35*                         |                    | Nothofagus dombeyi  | Casteller et al., 2010 |  |
|                   | C-T62  | 0.5       | 53                      | 51                                |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T61  | 0.5       | 57.5                    | 55                                |           |                                   |                    |                     |                        |  |
| C-T60             | 2      | 76        | 71.5                    |                                   |           | 1005-901                          |                    |                     |                        |  |
| <b>Change III</b> |        |           |                         |                                   |           |                                   |                    |                     |                        |  |
| C-3               | C-T59  | 1.5       | 92                      | 86                                |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T58  | 1         | 109.5                   | 102                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T57  | 0.8       | 118.5                   | 110.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T56  | 0.3       | 131.9                   | 124                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T55  | 2         | 138.5                   | 128.5                             |           |                                   | 1375-1155*         |                     | Rawson et al., 2015    |  |
|                   | C-T54  | 0.3       | 141.4                   | 131.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
| C-T53             | 19.5   | 177.5     | 148                     |                                   |           | 1695-1465*                        |                    | Rawson et al., 2015 |                        |  |
| <b>Change II</b>  |        |           |                         |                                   |           |                                   |                    |                     |                        |  |
| C-2               | C-T52  | 0.4       | 208.5                   | 179                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T51  | 0.3       | 222                     | 195.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T50  | 5         | 253.5                   | 219                               |           |                                   | 2832-2158*         |                     | Rawson et al., 2015    |  |
|                   | C-T49  | 0.2       | 293.5                   | 259                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   |        |           |                         | 305                               | 270.5     | Beta-523213                       | 3400 ± 30          |                     | gyttja                 |  |
|                   | C-T48  | 0.3       | 305.9                   | 271.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T47  | 0.5       | 317.5                   | 282.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T46  | 1.5       | 324.5                   | 288                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T45  | 0.4       | 327.1                   | 290.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T44  | 2.5       | 330                     | 291                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T43  | 0.7       | 340.2                   | 300.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T42  | 0.1       | 347.8                   | 308                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T41  | 0.4       | 357                     | 317.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T40  | 0.5       | 359                     | 319                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T39  | 0.3       | 368.4                   | 328.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T38  | 0.3       | 387.3                   | 347                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T37  | 0.2       | 393                     | 353                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T36  | 0.5       | 394                     | 353.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T35  | 0.2       | 402.4                   | 362                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T34  | 0.7       | 407.6                   | 366                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T33  | 0.3       | 420.1                   | 379                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T32  | 1.2       | 422.4                   | 379.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T31  | 1.2       | 423.7                   | 380                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   |        |           |                         | 428                               | 384.5     | Beta-523214                       | 5070 ± 30          |                     | gyttja                 |  |
|                   | C-T30  | 0.3       | 461.8                   | 418                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T29  | 0.3       | 465.3                   | 421.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T28  | 1         | 477                     | 432                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T27  | 0.2       | 493.8                   | 449                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T26  | 0.5       | 507.5                   | 462                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T25  | 0.8       | 523.4                   | 477.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T24  | 1.3       | 545.5                   | 498                               |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T23  | 0.4       | 561                     | 513.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
|                   | C-T22  | 0.9       | 568.8                   | 520.5                             |           |                                   |                    |                     |                        |  |
| C-T21             | 0.4    | 577.6     | 529.5                   |                                   |           |                                   |                    |                     |                        |  |
| C-T20             | 0.2    | 578.9     | 530.5                   |                                   |           |                                   |                    |                     |                        |  |
| C-T19             | 0.7    | 582.7     | 534                     |                                   |           |                                   |                    |                     |                        |  |
| C-T18             | 1      | 588.5     | 538.5                   |                                   |           |                                   |                    |                     |                        |  |
| C-T17             | 3.1    | 595.8     | 543                     |                                   |           | 8422-7982*                        |                    | Rawson et al., 2015 |                        |  |
| <b>Change I</b>   |        |           |                         |                                   |           |                                   |                    |                     |                        |  |

continuación

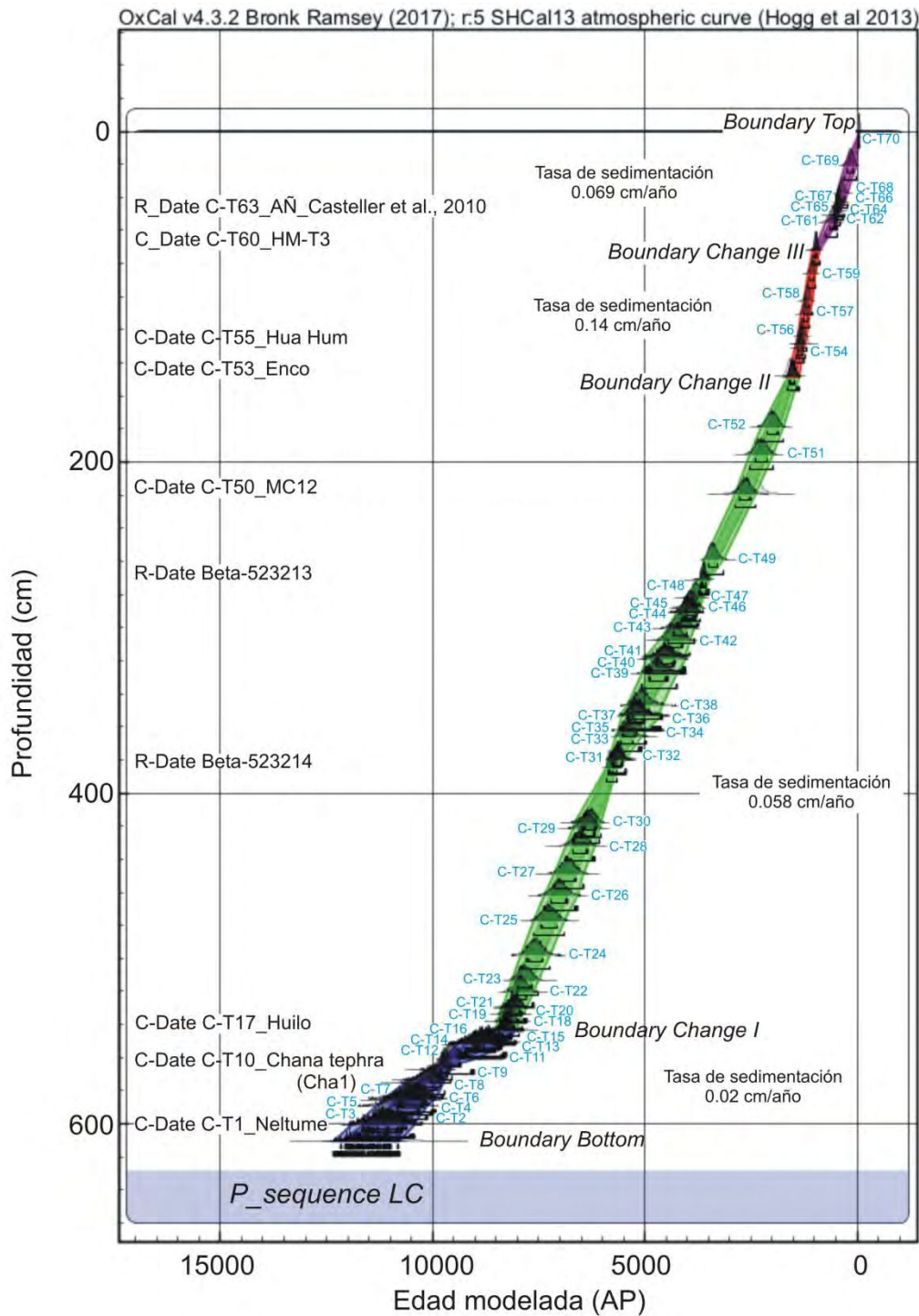
| U. L. | Tefras | Esp. (cm) | Prof. <sup>a</sup> (cm) | Prof. corregida <sup>b</sup> (cm) | Cod. Lab. | Edad <sup>14</sup> C ± error (AP) | Edad mod. (Cal AP) | Material analizado | Referencia           |
|-------|--------|-----------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
|       | C-T16  | 0.5       | 597                     | 544                               |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T15  | 1.3       | 605                     | 550.5                             |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T14  | 2.7       | 608.6                   | 551                               |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T13  | 10.2      | 619                     | 551.5                             |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T12  | 3.3       | 622.5                   | 552                               |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T11  | 0.8       | 632.8                   | 561                               |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T10  | 1.3       | 637.3                   | 564.5                             |           |                                   | 9594-9839*         |                    | Moreno et al., 2014  |
| C-1   | C-T9   | 1.3       | 640.9                   | 567                               |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T8   | 0.3       | 647.8                   | 573.5                             |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T7   | 0.4       | 649.8                   | 575.5                             |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T6   | 0.2       | 658.5                   | 584.5                             |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T5   | 0.5       | 660.3                   | 586                               |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T4   | 0.3       | 663.5                   | 589                               |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T3   | 0.4       | 674.1                   | 599.5                             |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T2   | 0.4       | 674.9                   | 600.5                             |           |                                   |                    |                    |                      |
|       | C-T1   | 1.2       | 686.2                   | 610.5                             |           |                                   | 10568-11960*       |                    | Fontijn et al., 2016 |

<sup>a</sup> Profundidad de la base de los niveles de tefra en el testigo.

<sup>b</sup> Profundidad corregida de las tefras luego de restar aquellos niveles con un espesor  $\geq 0.5$  cm; dado que los eventos de caída piroclástica se consideran un aporte externo de tipo instantáneo.

\*Edad radiocarbónica y edades modeladas conocidas de eventos identificados previamente.

**Tabla 3.** Edades radiocarbónicas y modeladas de erupciones de edad conocida identificadas en el registro, que fueron utilizadas en la elaboración del modelo cronológico. Tres límites (Change I, II y III) dividen el registro en cuatro unidades litológicas por cambios identificados en la coloración de los sedimentos. Se informa la profundidad y el espesor de las tefras reconocidas dentro de cada unidad.



**Figura 77.** Modelo Bayesiano edad-profundidad para el registro de la laguna Carriñe. Se elaboró con el programa Oxcal v.4.3.2 (Bronk Ramsey, 2017) y las edades se calibraron con la curva SHCal13 (Hogg et al., 2013). Las dataciones utilizadas se indican en el margen izquierdo. Los cambios (Boundaries) de pendiente en la curva señalan las variaciones en las tasas de sedimentación. Las edades interpoladas para las tefras se representan sobre la curva.

| Name   | Unmodelled (BP) |      |      |      |      |      | Modelled (BP) |      |      |      |      |      | Indices           |   |   | Select | Page break |                                     |    |
|--|-----------------|------|------|------|------|------|---------------|------|------|------|------|------|-------------------|---|---|--------|------------|-------------------------------------|----|
|  | from            | to   | %    | from | to   | %    | from          | to   | %    | from | to   | %    | A <sub>comb</sub> | A | L |        |            | P                                   | C  |
| 2017   |                 |      |      |      |      |      |               |      |      |      |      |      |                   |   |   |        |            | <input checked="" type="checkbox"/> | 81 |
| ▲ Boundary Top                               | -66             | -67  | 68.2 | -66  | -67  | 95.4 | -66           | -67  | 68.2 | -66  | -67  | 95.4 | 100               |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 80 |
| C-T70  |                 |      |      |      |      |      | -64           | -65  | 68.2 | -64  | -65  | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 79 |
| C-T69  |                 |      |      |      |      |      | 214           | 80   | 68.2 | 289  | 32   | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 78 |
| C-T68  |                 |      |      |      |      |      | 424           | 300  | 68.2 | 465  | 224  | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 77 |
| C-T67  |                 |      |      |      |      |      | 475           | 380  | 68.2 | 505  | 306  | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 76 |
| C-T66  |                 |      |      |      |      |      | 490           | 406  | 68.2 | 515  | 331  | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 75 |
| C-T65  |                 |      |      |      |      |      | 492           | 414  | 68.2 | 515  | 335  | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 74 |
| C-T64  |                 |      |      |      |      |      | 510           | 450  | 68.2 | 532  | 400  | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 73 |
| R_Date C-T63<br>AN_Casteller et al.,<br>2010 | 520             | 472  | 68.2 | 535  | 338  | 95.4 | 522           | 488  | 68.2 | 536  | 458  | 95.4 | 107               |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 72 |
| C-T62  |                 |      |      |      |      |      | 533           | 484  | 68.2 | 576  | 452  | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 71 |
| C-T61  |                 |      |      |      |      |      | 642           | 516  | 68.2 | 745  | 483  | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 70 |
| C_Date C-T60_HM-T3                           | 1008            | 941  | 68.2 | 1038 | 911  | 95.4 | 996           | 931  | 68.2 | 1028 | 895  | 95.4 | 94.5              |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 69 |
| Boundary Change III                          |                 |      |      |      |      |      | 1003          | 932  | 68.2 | 1038 | 895  | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 68 |
| C-T59  |                 |      |      |      |      |      | 1103          | 1009 | 68.2 | 1155 | 965  | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 67 |
| C-T58  |                 |      |      |      |      |      | 1218          | 1111 | 68.2 | 1271 | 1061 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 66 |
| C-T57  |                 |      |      |      |      |      | 1270          | 1164 | 68.2 | 1327 | 1113 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 65 |
| C-T56  |                 |      |      |      |      |      | 1347          | 1253 | 68.2 | 1401 | 1203 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 64 |
| C_Date C-T55_Hua<br>Hum                      | 1330            | 1201 | 68.2 | 1392 | 1139 | 95.4 | 1382          | 1283 | 68.2 | 1425 | 1236 | 95.4 | 79.1              |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 63 |
| C-T54  |                 |      |      |      |      |      | 1409          | 1300 | 68.2 | 1466 | 1245 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 62 |
| C_Date C-T53_Enco                            | 1649            | 1513 | 68.2 | 1714 | 1448 | 95.4 | 1578          | 1451 | 68.2 | 1635 | 1375 | 95.4 | 79.3              |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 61 |
| Boundary Change II                           |                 |      |      |      |      |      | 1602          | 1452 | 68.2 | 1644 | 1375 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 60 |
| C-T52  |                 |      |      |      |      |      | 2112          | 1853 | 68.2 | 2265 | 1747 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 59 |
| C-T51  |                 |      |      |      |      |      | 2404          | 2118 | 68.2 | 2546 | 1992 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 58 |
| C_Date C-T50_MC12                            | 2695            | 2302 | 68.2 | 2886 | 2110 | 95.4 | 2781          | 2509 | 68.2 | 2886 | 2382 | 95.4 | 99.4              |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 57 |
| C-T49  |                 |      |      |      |      |      | 3508          | 3293 | 68.2 | 3592 | 3161 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 56 |
| R_Date Beta-523213                           | 3680            | 3562 | 68.2 | 3693 | 3481 | 95.4 | 3675          | 3565 | 68.2 | 3696 | 3484 | 95.4 | 100.1             |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 55 |
| C-T48  |                 |      |      |      |      |      | 3689          | 3572 | 68.2 | 3726 | 3504 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 54 |
| C-T47  |                 |      |      |      |      |      | 3910          | 3705 | 68.2 | 4047 | 3619 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 53 |
| C-T46  |                 |      |      |      |      |      | 4021          | 3773 | 68.2 | 4146 | 3698 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 52 |
| C-T45  |                 |      |      |      |      |      | 4094          | 3809 | 68.2 | 4223 | 3745 | 95.5 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 51 |
| C-T44  |                 |      |      |      |      |      | 4104          | 3810 | 68.2 | 4237 | 3753 | 95.5 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 50 |
| C-T43  |                 |      |      |      |      |      | 4316          | 3994 | 68.2 | 4468 | 3833 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 49 |
| C-T42  |                 |      |      |      |      |      | 4512          | 4122 | 68.2 | 4661 | 3948 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 48 |
| C-T41  |                 |      |      |      |      |      | 4719          | 4285 | 68.2 | 4969 | 4047 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 47 |
| C-T40  |                 |      |      |      |      |      | 4743          | 4311 | 68.2 | 4970 | 4047 | 95.3 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 46 |
| C-T39  |                 |      |      |      |      |      | 4918          | 4469 | 68.2 | 5080 | 4235 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 45 |
| C-T38  |                 |      |      |      |      |      | 5270          | 4893 | 68.2 | 5416 | 4579 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 44 |
| C-T37  |                 |      |      |      |      |      | 5379          | 5009 | 68.2 | 5577 | 4656 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 43 |
| C-T36  |                 |      |      |      |      |      | 5382          | 5011 | 68.2 | 5550 | 4621 | 95.3 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 42 |
| C-T35  |                 |      |      |      |      |      | 5516          | 5204 | 68.1 | 5625 | 4972 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 41 |
| C-T34  |                 |      |      |      |      |      | 5549          | 5293 | 68.2 | 5688 | 5060 | 95.3 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 40 |
| C-T33  |                 |      |      |      |      |      | 5747          | 5527 | 68.1 | 5832 | 5450 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 39 |
| C-T32  |                 |      |      |      |      |      | 5747          | 5545 | 68.2 | 5848 | 5465 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 38 |
| C-T31  |                 |      |      |      |      |      | 5748          | 5546 | 68.2 | 5849 | 5467 | 95.4 |                   |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 37 |
| R_Date Beta-523214                           | 5888            | 5715 | 68.2 | 5894 | 5661 | 95.4 | 5857          | 5661 | 68.2 | 5887 | 5656 | 95.4 | 93                |   |   |        | 100        | <input checked="" type="checkbox"/> | 36 |

continuación

| Name                             | Unmodelled (BP) |       |      |       |       |      | Modelled (BP) |           |      |           |           |      | Indices           |   |   |   | Select | Page break |    |
|----------------------------------|-----------------|-------|------|-------|-------|------|---------------|-----------|------|-----------|-----------|------|-------------------|---|---|---|--------|------------|----|
|                                  | from            | to    | %    | from  | to    | %    | from          | to        | %    | from      | to        | %    | A <sub>comb</sub> | A | L | P |        |            | C  |
| C-T30                            |                 |       |      |       |       |      | 6468          | 6133      | 68.2 | 6641      | 6026      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 35 |
| C-T29                            |                 |       |      |       |       |      | 6508          | 6170      | 68.3 | 6688      | 6075      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 34 |
| C-T28                            |                 |       |      |       |       |      | 6697          | 6349      | 68.2 | 6876      | 6189      | 95.5 |                   |   |   |   |        | 100        | 33 |
| C-T27                            |                 |       |      |       |       |      | 7018          | 6616      | 68.2 | 7142      | 6440      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 32 |
| C-T26                            |                 |       |      |       |       |      | 7191          | 6811      | 68.2 | 7378      | 6595      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 31 |
| C-T25                            |                 |       |      |       |       |      | 7440          | 7069      | 68.2 | 7622      | 6894      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 30 |
| C-T24                            |                 |       |      |       |       |      | 7782          | 7409      | 68.2 | 7936      | 7241      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 29 |
| C-T23                            |                 |       |      |       |       |      | 7992          | 7658      | 68.2 | 8143      | 7509      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 28 |
| C-T22                            |                 |       |      |       |       |      | 8084          | 7775      | 68.2 | 8239      | 7625      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 27 |
| C-T21                            |                 |       |      |       |       |      | 8225          | 7907      | 68.2 | 8357      | 7785      | 95.3 |                   |   |   |   |        | 100        | 26 |
| C-T20                            |                 |       |      |       |       |      | 8224          | 7911      | 68.2 | 8394      | 7804      | 95.3 |                   |   |   |   |        | 100        | 25 |
| C-T19                            |                 |       |      |       |       |      | 8269          | 8001      | 68.2 | 8415      | 7879      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 24 |
| C-T18                            |                 |       |      |       |       |      | 8322          | 8081      | 68.2 | 8463      | 7971      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 23 |
| C_Date C-T17_Huilo               | 8332            | 8076  | 68.2 | 8457  | 7951  | 95.4 | 8408          | 8142      | 68.2 | 8516      | 8047      | 95.4 | 98.2              |   |   |   |        | 100        | 22 |
| Boundary Change I                |                 |       |      |       |       |      | 8411          | 8146      | 68.2 | 8526      | 8052      | 95.5 |                   |   |   |   |        | 100        | 21 |
| C-T16                            |                 |       |      |       |       |      | 8412          | 8150      | 68.2 | 8581      | 8053      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 20 |
| C-T15                            |                 |       |      |       |       |      | 9033          | 8383      | 68.2 | 9297      | 8258      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 19 |
| C-T14                            |                 |       |      |       |       |      | 9033          | 8441      | 68.2 | 9382      | 8257      | 95.3 |                   |   |   |   |        | 100        | 18 |
| C-T13                            |                 |       |      |       |       |      | 9236          | 8443      | 68.1 | 9414      | 8302      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 17 |
| C-T12                            |                 |       |      |       |       |      | 9242          | 8528      | 68.3 | 9421      | 8318      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 16 |
| C-T11                            |                 |       |      |       |       |      | 9701          | 9335      | 68.2 | 9801      | 9018      | 95.5 |                   |   |   |   |        | 100        | 15 |
| C_Date C-T10_Chana Tephra (Cha1) | 9788            | 9643  | 68.2 | 9857  | 9574  | 95.4 | 9774          | 9621      | 68.2 | 9835      | 9553      | 95.4 | 97.9              |   |   |   |        | 100        | 14 |
| C-T9                             |                 |       |      |       |       |      | 9887          | 9659      | 68.2 | 10074     | 9579      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 13 |
| C-T8                             |                 |       |      |       |       |      | 10229         | 9816      | 68.2 | 10540     | 9709      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 12 |
| C-T7                             |                 |       |      |       |       |      | 10379         | 9880      | 68.3 | 10650     | 9760      | 95.5 |                   |   |   |   |        | 100        | 11 |
| C-T6                             |                 |       |      |       |       |      | 10794         | 10138     | 68.1 | 11164     | 9940      | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 10 |
| C-T5                             |                 |       |      |       |       |      | 10864         | 10206     | 68.3 | 11174     | 10001     | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 9  |
| C-T4                             |                 |       |      |       |       |      | 10989         | 10316     | 68.2 | 11347     | 10130     | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 8  |
| C-T3                             |                 |       |      |       |       |      | 11630         | 10621     | 68.1 | 11779     | 10450     | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 7  |
| C-T2                             |                 |       |      |       |       |      | 11648         | 10729     | 68.3 | 11928     | 10430     | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 6  |
| C_Date C-T1_Neltume              | 11663           | 10865 | 68.2 | 12058 | 10470 | 95.4 | 12160         | 10822     | 68.4 | 12320     | 10773     | 95.4 | 88.6              |   |   |   |        | 100        | 5  |
| Boundary Bottom                  |                 |       |      |       |       |      | 12160         | 10820     | 68.2 | 12340     | 10773     | 95.4 |                   |   |   |   |        | 100        | 4  |
| P_Sequence LC                    | -2              | 2     | 68.2 | -2    | 2     | 95.4 | -0.596274     | -0.368274 | 68.2 | -0.616274 | -0.196274 | 95.4 | 100               |   |   |   |        | 100        | 3  |
| Curve SHCal13                    |                 |       |      |       |       |      |               |           |      |           |           |      |                   |   |   |   |        | 100        | 2  |

**Tabla 4.** Resultados del modelo Bayesiano para el registro de la laguna Carirriñe. Se informan las edades modeladas de las tefras a la profundidad previamente establecida, con el rango de probabilidad del 68,2% y 95,4%; y los índices de confianza establecidos por el modelo.

La unidad basal (C-1) abarca el período comprendido entre los 12160-10820 años Cal AP hasta los 8411-8146 años Cal AP (según la distribución de probabilidad del 68,2%;  $1\sigma$ ), con una tasa de sedimentación en el orden de los 0,02 cm/año.

Un total de 16 niveles de tefra correspondientes a eventos de gran magnitud fueron identificadas, entre los que se destacan 8 con espesores  $>$  a 1 cm. Asimismo, se reconocieron tres eventos con un VEI  $>$  5. Se identificó la erupción del volcán Chaitén (C-T10) datada en 9594-9839 (Moreno et al., 2014), renombrada como Chana Tephra por Alloway et al. (2017) / (Chal sensu stricto Naranjo y Stern, 2004); para la cual se obtuvo una edad modelada en el rango de 9774-9621 años AP. Además, se identificaron dos erupciones atribuidas al volcán Mocho Choshuenco; Neltume (C-T1), para la cual se obtuvo un rango de edad de 12160-10822 años AP en coincidencia con lo informado por Fontijn et al. (2016) y en 12393-10389 años Cal AP (Rawson et al., 2015) y Pirehueico (C-T13) datada en 11549-8828 años Cal AP (Rawson et al., 2015). El presente modelo cronológico permitió acotar la edad de esta última erupción en 9236-8443 años Cal AP. Cabe destacar que se identificaron numerosos eventos de menor magnitud ( $\sim$  1 o 2 mm de espesor) que desarrollaron una laminación en los últimos 64 cm de la unidad.

Para este rango de edad se registro el pulso de enfriamiento denominado Huelmo/Mascardi (conocido por sus siglas en inglés como HMCR; Huelmo/ Mascardi Cold Reversal) (Hajdas et al., 2003), el cual tuvo lugar entre los 11400-10150 a.  $^{14}\text{C}$  AP (13300-11700 a. Cal AP), (Hajdas et al., 2003). La reversión fría Huelmo-Mascardi representa la acentuación y culminación de una tendencia de enfriamiento que comenzó  $\sim$  12400 a.  $^{14}\text{C}$  AP y fue registrado a ambos lados de los Andes. Este periodo con condiciones frías y secas (Whitlock et al, 2006) recibe el nombre de los registros lacustres estudiados donde fue identificado; lago Mascardi en Argentina y lago Huelmo en Chile; (Hajdas et al., 2003). Una tendencia a condiciones más cálidas continuó una vez finalizado este período. Las simulaciones del modelo paleoclimático para el Holoceno temprano caracterizan inviernos cálidos, relativamente secos y veranos fríos registrados a los  $41^\circ$  de latitud sur (Whitlock et al., 2001). Estas condiciones pueden extrapolarse hacia el norte, a la zona de estudio. La unidad C-1 abarcaría la transición entre la última parte de la reversión fría Huelmo/Mascardi (HMCR) a condiciones climáticas más cálidas y secas registradas durante el Holoceno temprano (Whitlock et al., 2001; 2006) lo que se ve reflejado en los valores bajos de las tasas de sedimentación.

La unidad C-2 abarca el rango temporal entre los 8411 y 8146 a. Cal AP hasta los 1602-1452 a. Cal AP (según la distribución de probabilidad del 68,2%;  $1\sigma$ ). La tasa de sedimentación aumentó a 0,058 cm/año. Un total de 36 niveles de tefra fueron identificados. La tefra C-T17 se atribuyó a la erupción Huilo del volcán Mocho Choshuenco para la cual se obtuvo una edad modelada en el rango de 8408-8142 años AP en coincidencia con lo reportado por Rawson et al. (2015), con VEI > 5. En esta unidad se registró una frecuente actividad volcánica con eventos de menor magnitud (VEI  $\leq$  4) estimado a partir del espesor y granulometría de las tefras.

En el período comprendido entre 6468 y 5204 años AP se identificaron seis eventos de magnitud atribuidos al volcán Villarrica.

Condiciones climáticas más húmedas fueron registradas para el Holoceno medio (Whitlock et al., 2006; Iglesias et al., 2012). Durante los últimos 5000 años se incrementaron las precipitaciones en norte de Patagonia, probablemente como respuesta a un cambio y fortalecimiento continuo hacia el norte de los vientos del oeste (Southern Westerlies) así como también un fortalecimiento de la variabilidad climática relacionada a los eventos ENSO (El Niño Southern Oscillation; Iglesias et al., 2014). Con lo cual, las corrientes de agua superficiales aportaron mayor cantidad de sedimentos a la cuenca favoreciendo el aumento de la tasa de sedimentación.

En la unidad C-3 se registró un incremento notable en la tasa de sedimentación (0,14 cm/año), en el período 1602-1452 a. Cal AP hasta 1003-932 a. Cal AP (según la distribución de probabilidad del 68,2%;  $1\sigma$ ). Se reconocieron siete niveles de tefra de los cuales uno corresponde a un evento de magnitud VEI=5 que generó un nivel muy prominente de 19,5 cm de espesor. Esta tefra se atribuyó a la erupción Enco del volcán Mocho-Choshuenco para la cual se obtuvo una edad modelada en el rango de 1578-1451 años AP en coincidencia con lo informado por (Rawson et al., 2015).

El incremento en la tasa de sedimentación continúa reflejando la tendencia en el incremento de la humedad efectiva.

La unidad superior (C-4) se extiende desde los 1003 a los 932 a. Cal AP hasta el presente (2017 AD), con una tasa de sedimentación de 0,069 cm/año. Se identificaron un total de 11

niveles de tefra de las cuales una corresponde a un evento de mayor magnitud atribuido a una erupción del volcán Mocho-Choshuenco (C-T60). Este nivel también se identificó en el registro de la laguna Huaca Mamuil (HM-T3). Las tefras restantes corresponden a eventos de  $VEI \leq 2$ . Para este periodo se registraron dos pulsos de enfriamiento climático que tuvieron lugar entre 1050-880 BP (900-1070 AD) y 680-290 BP (1270-1660 AD) conocidos como "Pequeña Edad de Hielo" (LIA). Estuvieron caracterizados por condiciones frías y húmedas, (Villalba, 1990). Ambos eventos fueron seguidos de condiciones más cálidas. De acuerdo con esto, la disminución de la tasa de sedimentación registrada entre las unidades C-3 y C-4 se asociaría al descenso de temperatura registrado por los dos pulsos fríos seguidos de condiciones climáticas más cálidas hasta las registradas actualmente.

Las condiciones de sedimentación en la laguna Carirriñe, variaron durante los últimos 12000 años en función de las condiciones climáticas y una importante influencia externa a partir del aporte de material piroclástico por la intensa actividad explosiva registrada. Las variaciones se reflejaron a partir de cuatro cambios en las tasas de sedimentación. Dos unidades registran dos eventos paleoclimáticos de interés identificados en Patagonia. La unidad C-1 representa la transición entre el final de la reversión fría Huelmo/Mascardi, hacia condiciones climáticas más cálidas y secas durante el Holoceno temprano; y en la unidad C-4 se registraron los dos pulsos de enfriamiento correspondiente a la "Pequeña Edad de Hielo" (LIA) y la transición hacia las condiciones climáticas actuales.

Se identificaron un total de 70 niveles de tefras. Las características morfológicas de los vitroclastos y la impronta geoquímica distintiva de las tefras, es un recurso que permitirá reconocerlas en otros registros lacustres y de superficie.

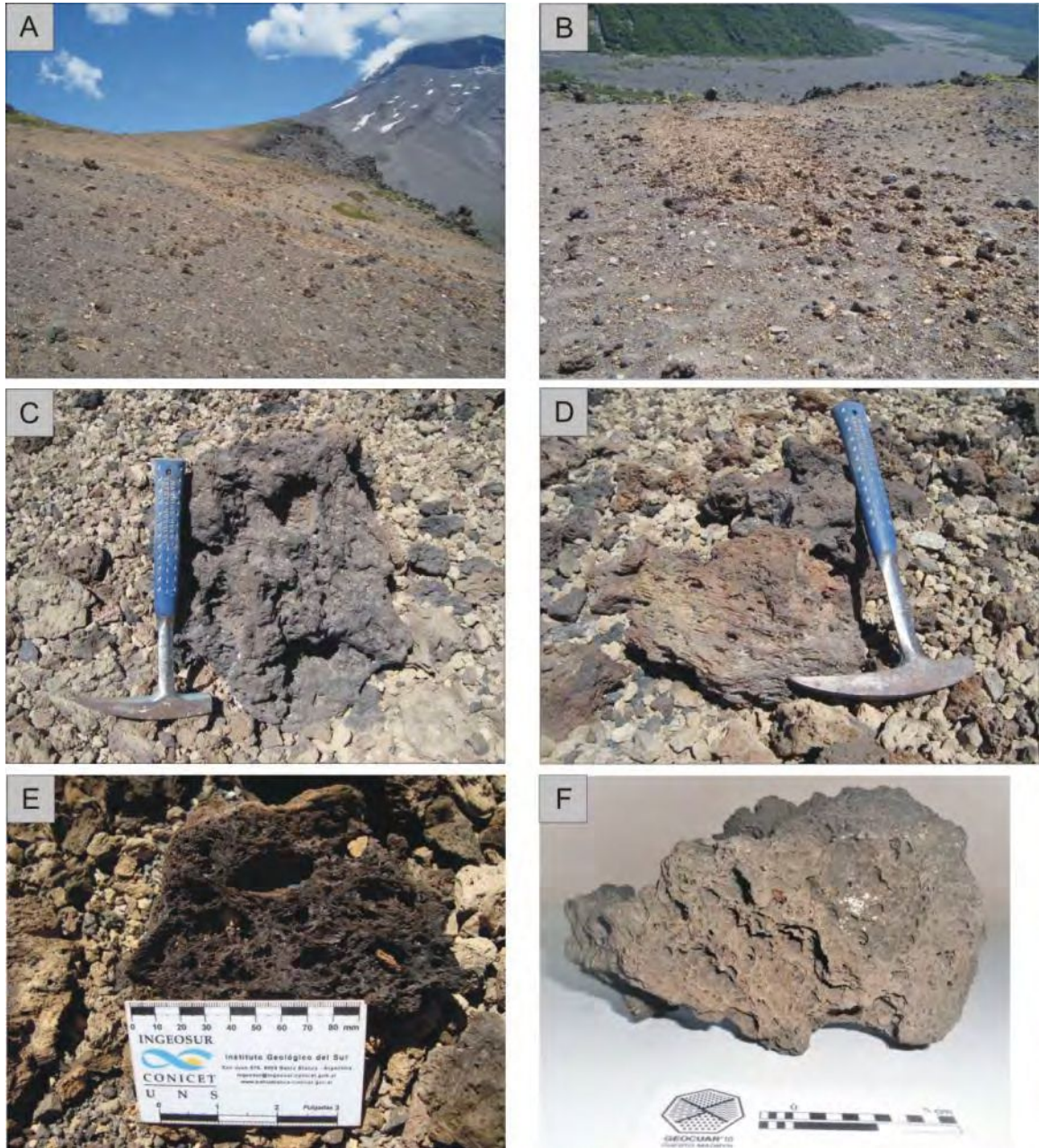
### 3.4 Tefras expuestas en superficie

#### 3.4.1. Depósito piroclástico del flanco NE del volcán Lanín

En el flanco NE del volcán Lanín se muestreo un depósito piroclástico de caída y balístico ( $39^{\circ} 37,496' S$ ;  $71^{\circ} 27,260' O$ ) (Figura 78), de 1,3 km de longitud y 0,5 Km de ancho aproximadamente. Este depósito está compuesto por bloques de escoria de color negro a castaño grisáceo y coloraciones castañas amarillentas producto de los procesos de meteorización y edafización (Figura 79 A y B). Se observaron bloques de hasta 50 cm de longitud en el eje mayor (Figura 79 C, D, E y F). Los vitroclastos presentan dos coloraciones de vidrio, castaño oscuro y negro, veteados (Figura 80). Los fragmentos son angulosos, con alta vesicularidad. Las vesículas son ovaladas, alargadas e irregulares y se observa coalescencia de burbujas. En algunos fragmentos las vesículas alargadas se disponen orientadas paralelamente entre sí (Figura 80 A y B).



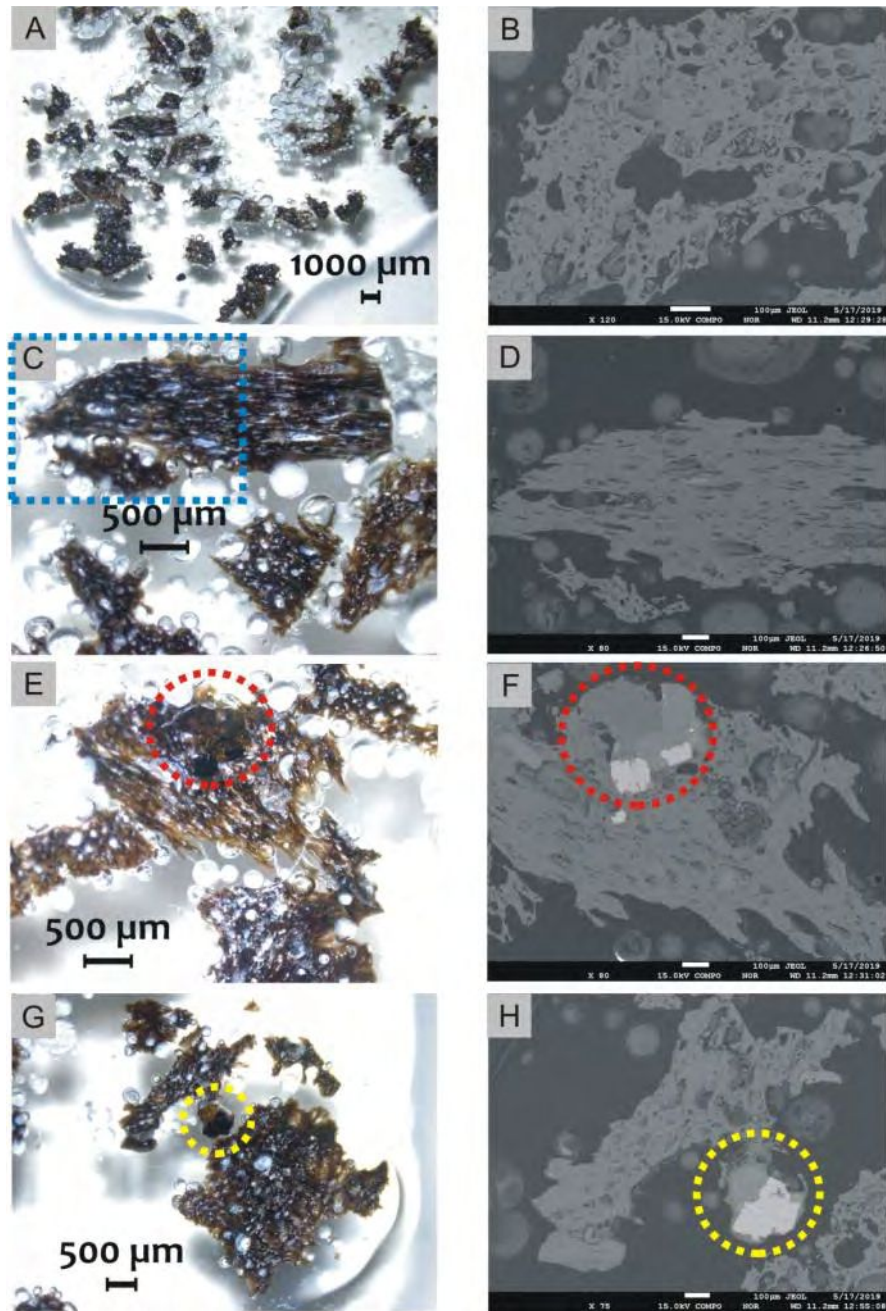
**Figura 78.** Localización del sitio de muestreo (LNN) del depósito piroclástico en el flanco NE del volcán Lanín.



**Figura 79.** *A y B.* Depósito piroclástico del flanco NE del volcán Lanín. Nótese la dispersión de los piroclastos sobre la ladera del volcán que se observa de coloración castaña amarillento. *C, D, E, F y G.* Bloques escoriáceos, con alta vesicularidad, angulosos, de distintos tamaños y coloraciones que varían desde negro a castaño oscuro grisáceo.

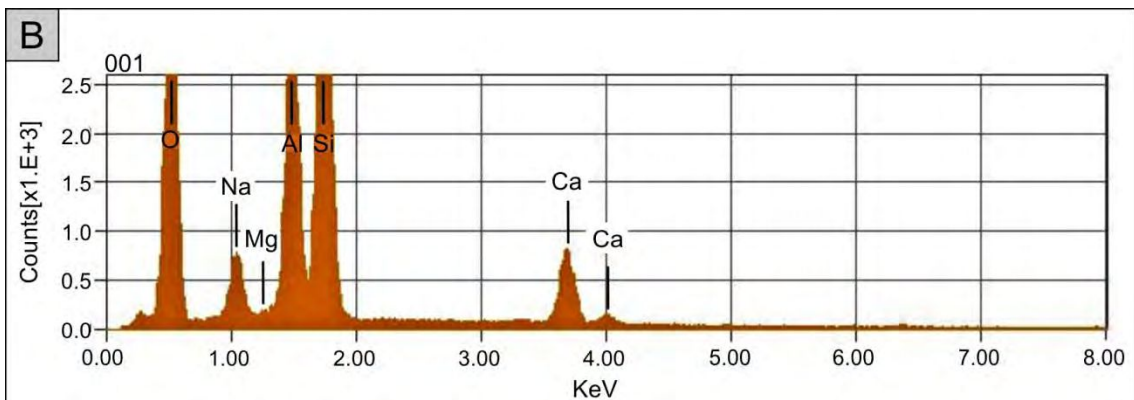
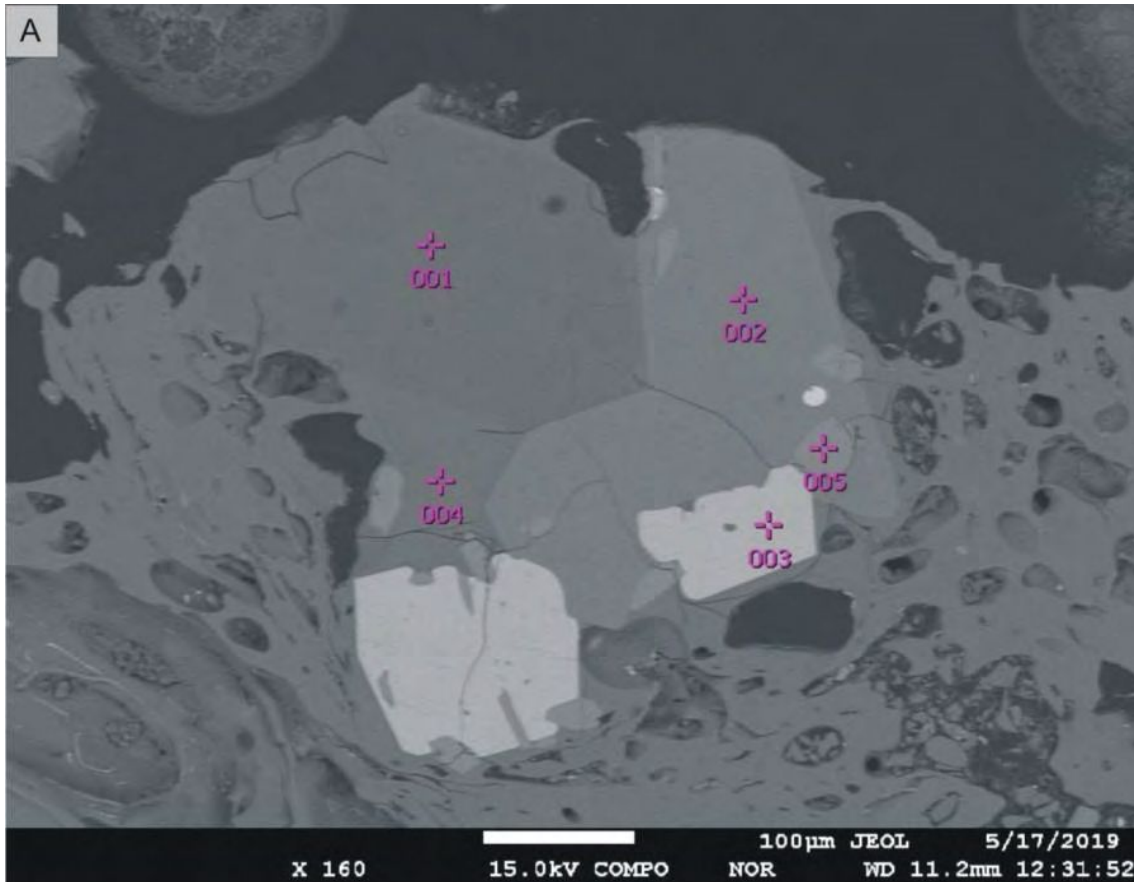
Los vitroclastos presentan bajo contenido de microfenocristales dentro de la masa vítrea, que en su mayoría se encuentran en grupos o cúmulos (textura glomeroporfídica) (Figura

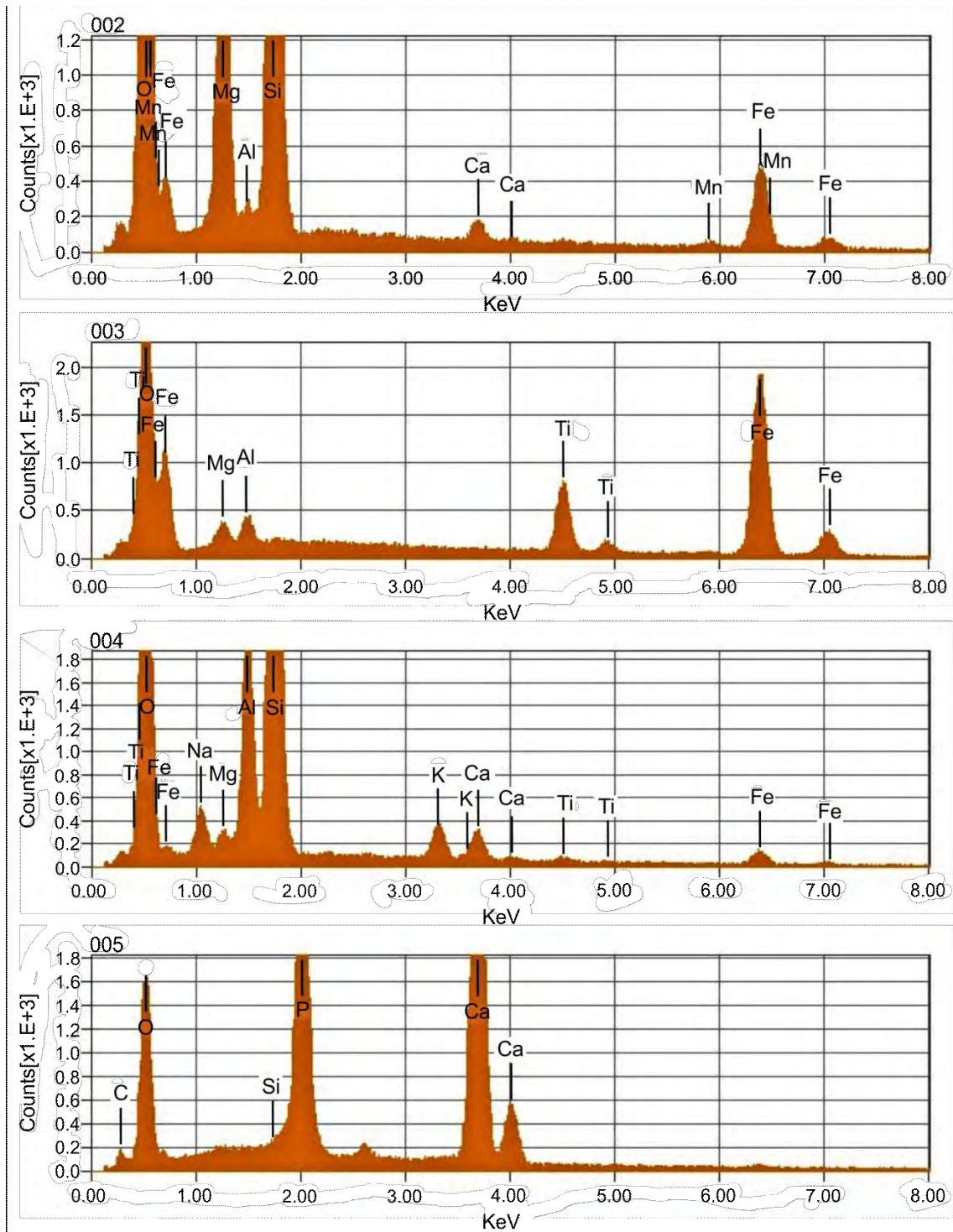
80 E, F, G y H). La asociación mineral incluye plagioclasa, ortopiroxeno (solución sólida Enstatita-Ferrosilita), magnetita titanífera y apatito (Figura 81).



**Figura 80.** *Izquierda:* imágenes de cortes pulidos a espejo vistos con lupa binocular; nótese los vitroclastos con dos coloraciones de vidrio (castaño oscuro y negro). *Derecha:* BSEI. **A:** vitroclastos de color castaño oscuro a negro. **B:** vitroclasto escoriáceo con alta vesicularidad y coalescencia de burbujas. **C y D:** vitroclasto alargado con vesículas orientadas paralelamente entre sí (rectángulo azul). **E y F:** vitroclasto con textura glomeroporfídica (ovalo rojo). **G y H:**

*vitroclasto con textura glomeroporfidica (ovalo amarillo). Los cúmulos de minerales, son muy frecuentes en los vitroclastos, lo que permite considerarlo como un rasgo distintivo de este depósito.*





**Figura 81. A:** BSEI: textura glomeroporfídica dentro de la matriz vítrea de un vitroclasto escoriáceo (LNN). **B:** Espectros de rayos x obtenidos por SEM-EDS; punto 001: plagioclasa cálcica; punto 002: ortopiroxeno (solución sólida Enstatita-Ferrosilita), punto 003: magnetita titanífera; punto 004: plagioclasa y punto 005: apatito.

Las características morfológicas de los vitroclastos son consistentes con una erupción de tipo estromboliano de un cono adventicio cercano.

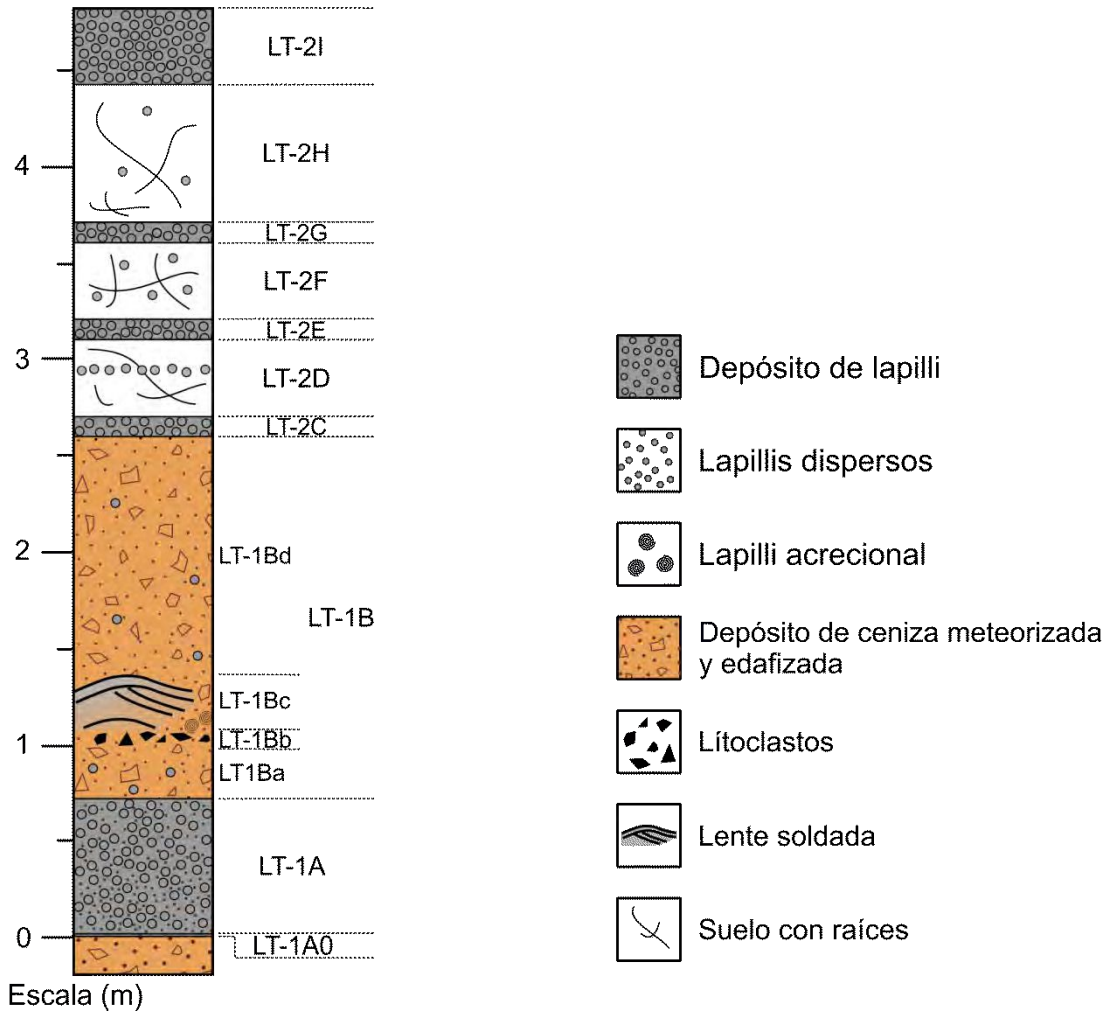
### 3.4.2. Sección estratigráfica en la costa sur del Lago Tromen

#### 3.4.2.1. Ubicación

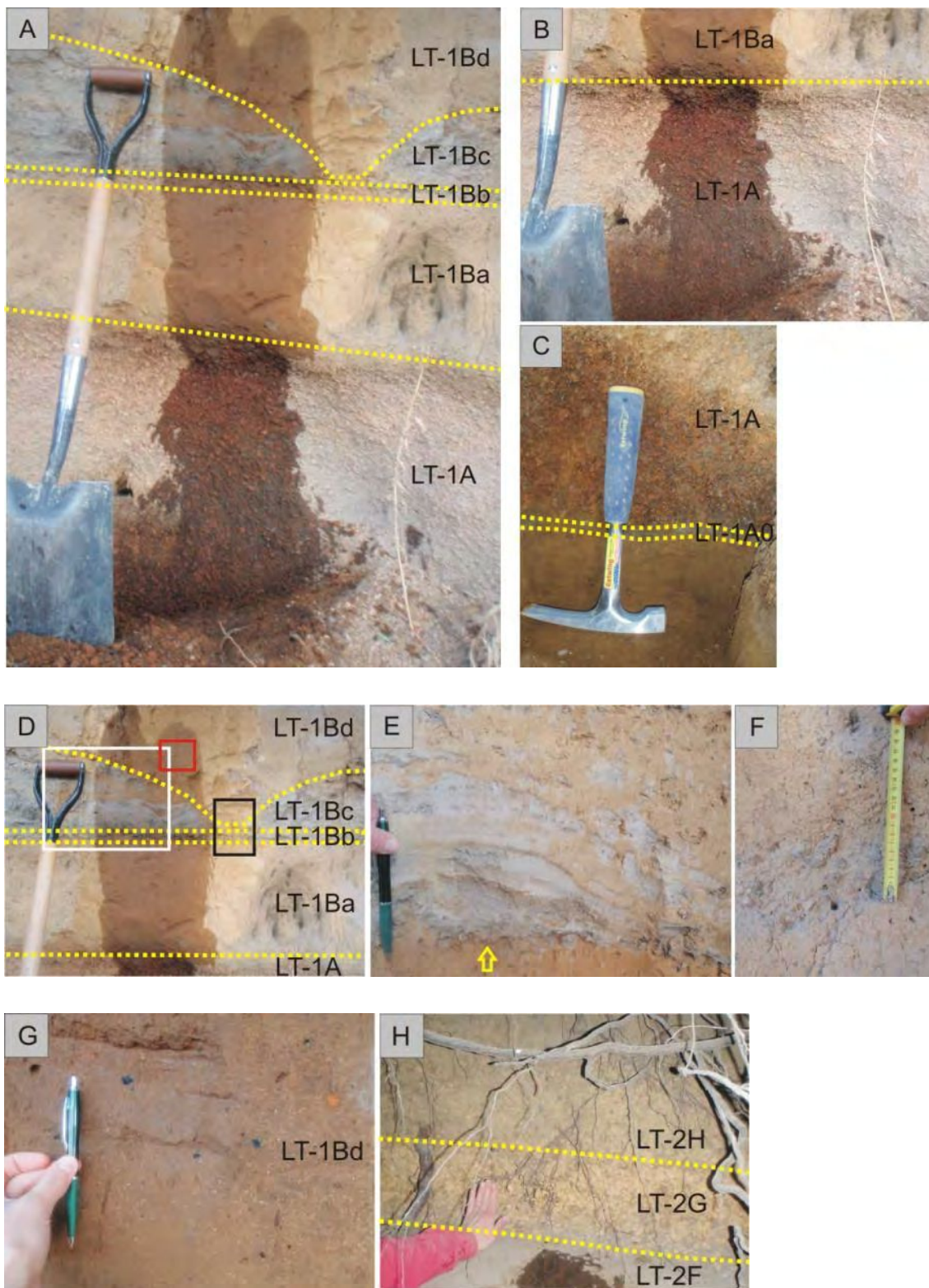
En la costa sur del Lago Tromen, se identificó una sucesión de niveles piroclásticos intercalados con paleosuelos y niveles altamente meteorizados y edafizados, expuesto en un corte de camino. Se describieron dos secciones estratigráficas LT-1 ( $39^{\circ} 34,212' S$ ;  $71^{\circ} 26,431' O$ ) y LT-2 ( $39^{\circ} 34,214' S$ ;  $71^{\circ} 26,427' O$ ) (Figura 82A). La sucesión integrada tiene aproximadamente 2,14 m de longitud (Figura 82B). En la figura 83 se presentan las fotos del perfil donde se indican las distintas unidades identificadas.



B)



**Figura 82. A:** Localización de las secciones estratigráficas descriptas, LT-1 y LT-2. **B:** Columna estratigráfica integrada LT-1/LT-2.



**Figura 83.** A. Sección estratigráfica LT-1 con las unidades identificadas, descrita en la costa sur del lago Tromen. B. Detalle de las unidades LT-1A y LT-1Ba. Nótese la diferencia granulométrica

entre ambas unidades. **C.** Detalle de las unidades LT1A0 y LT1A. **B.** Detalle de los depósitos LT-1A0 y LT-1A. **D.** Detalle del banco LT-1B. Nótese la unidad LT-1Bc correspondiente a lentes de color gris, soldadas con una concentración de líticos en su base (LT-1Bb), intercalada entre dos depósitos no consolidados (LT-1Ba y LT-1Bd). **E.** Detalle del recuadro blanco en D. La flecha amarilla señala la concentración de litoclastos en la base de la lente de color gris. **F.** Detalle del rectángulo negro en D. Lapilli acrecional. **G.** Detalle del recuadro rojo en D. Unidad LT-1Bd. Nótese los vitroclastos de color naranja dispersos y los restos de carbón en color negro preservados en el depósito. **H.** Unidad LT-2G, depósito de caída piroclástica preservado entre dos suelos que presentan lapillis dispersos.

Se identificaron 11 niveles, que se describen desde el más antiguo hasta el más joven. La sucesión se inicia con un nivel no consolidado compuesto por ceniza, matriz sostén, de color castaño-anaranjado, altamente meteorizado y edafizado. Base no expuesta, con techo neto e irregular.

Se continúa con:

**LT-1A0:** nivel de ceniza gruesa con un tamaño de partícula entre 0,2 cm y 63  $\mu\text{m}$ , de color gris y espesor variable entre 1 – 1,5 cm (Figura 83 C). Base y techo neto e irregular. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos de color castaño claro grisáceo a grisáceo, subangulosos a angulosos, pumíceos, con vesículas circulares, ovaladas e irregulares. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea. Además se identificó pirita con textura framboidal relleno y/u ocupando las cavidades de algunos vitroclastos y recubriendo parcialmente la superficie de algunos cristaloclastos (Figura 84).

La fracción mineral está compuesta por cristaloclastos félsicos, incoloros, translucidos, subhedrales a anhedrales, algunos euhedrales (plagioclasas) y cristaloclastos máficos de distintas coloraciones de verde, euhedrales a subhedrales, piroxenos y anfíboles. Los minerales máficos presentan inclusiones de minerales opacos. Los cristales están recubiertos parcialmente por delgadas envolturas vítreas incoloras.

Los litoclastos presentan coloraciones variadas desde claras a oscuras y son angulosos a subangulosos.

Este nivel corresponde a un depósito de caída piroclástica.



*Figura 84. Imagen de lupa binocular, vitroclastos de color grisáceo con presencia de pirita con textura framboidal recubriendo la superficie del fragmento.*

**LT-1A:** Nivel de lapilli y ceniza gruesa de coloración rojizo-anaranjado, de 70 cm de espesor. Base y techo neto e irregular. Una vez procesado el material, la muestra se observa macroscópicamente de color gris oscuro. Presenta un tamaño de partícula entre 3,2 cm y 63 µm.

Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos de color castaño claro, castaño oscuro a castaño grisáceo, angulosos, con gradación inversa. Los piroclastos presentan alta vesicularidad, con vesículas irregulares y se observa frecuente coalescencia de burbujas. Se observan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea como adheridos sobre la superficie de los fragmentos. Además se identificaron vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro a negro, angulosos, con alta vesicularidad y vesículas irregulares.

La fracción mineral está compuesta por cristaloclastos félsicos, incoloros, subhedrales a anhedrales, plagioclasas y máficos de color verde, subhedrales a anhedrales, piroxenos. Los cristales presentan delgados recubrimientos vítreos.

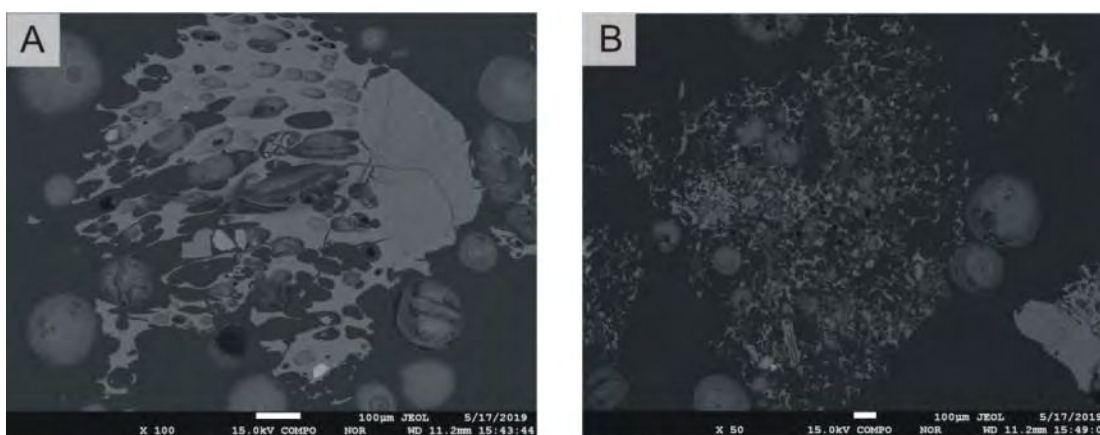
Los litoclastos corresponden a fragmentos de roca de coloraciones oscuras, en su mayoría angulosos.

Este nivel corresponde a un depósito de caída piroclástica.

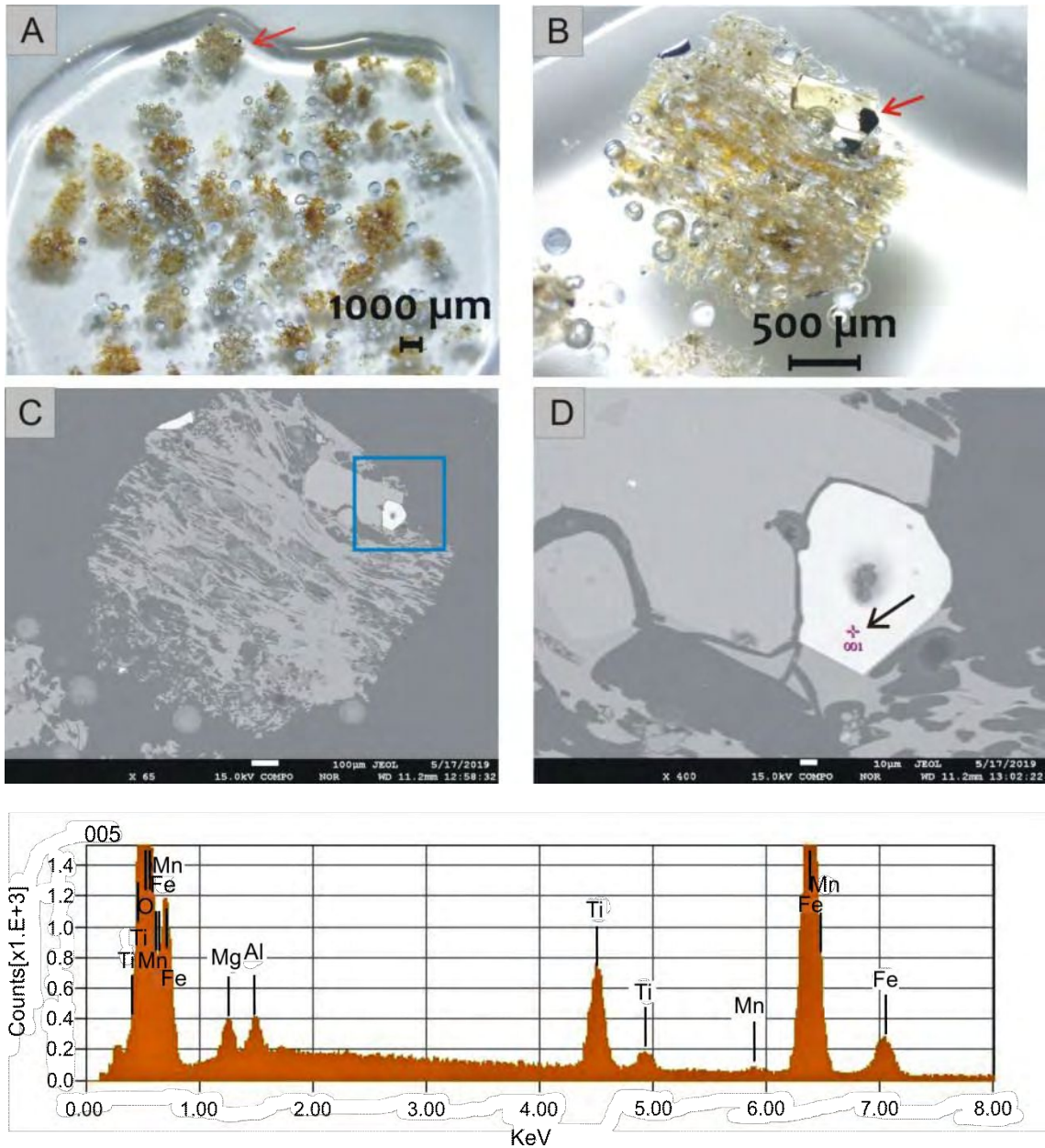
**LT-1B:** banco de 1,65 m de espesor. Se lo dividió en cuatro subunidades:

**Ba:** nivel basal de 33 cm de espesor, con base neta. Es un depósito masivo, no consolidado, matriz sostén, de coloración castaño amarillento, altamente meteorizado y edafizado, con vitroclastos dispersos y restos de carbón. Una vez procesado el material muestreado, se observó macroscópicamente de color gris oscuro amarillento.

La muestra presenta un tamaño de partícula entre 500 y 63  $\mu\text{m}$ . Los vitroclastos representan el 45 % del total. Se identificaron de color castaño claro a incoloro (15 %), angulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas a alargadas. Se observó frecuente coalescencia de burbujas. Los vitroclastos presentan bajo contenido de microfenocristales y bajo a moderado contenido de microlitos (Figura 85). Los minerales incluyen tablillas de plagioclasa, piroxeno y magnetita titanífera (Figura 86).



**Figura 85.** Imágenes de electrones retrodispersados de dos vitroclastos pumíceos. Nótese la diferencia de grosor de las paredes de vidrio entre A y B, dado por una mayor cantidad de vesículas en B. Se destaca en ambos la coalescencia de burbujas.



**Figura 86.** *A y B:* Imágenes de un corte pulido a espejo visto con lupa binocular. *A:* LNF, vitroclastos incoloros y de color castaño claro, pumíceos. El color castaño amarillento corresponde a óxidos de hierro producto de la alteración del vidrio por procesos de meteorización y edafización. *B:* vitroclasto incoloro con un microfenocristal de piroxeno y magnetita titanífera, señalado por la flecha roja en A y B. *C y D:* BSEI. *C:* vitroclasto presentado en la figura B. *D:* Detalle de los microfenocristales (recuadro azul en C) y espectro de rayos x del punto 001 (flecha negra) obtenido por SEM-EDS correspondiente al cristal de magnetita titanífera.

Además se identificaron vitroclastos escoriáceos negros de color gris muy oscuro a castaño oscuro (30%), angulosos, con baja vesicularidad. Se reconocieron vitroclastos aislados de color castaño grisáceo claro, densos, con fractura concoidea (posiblemente obsidianas).

La fracción mineral representa el 20 % y está compuesta mayormente por cristaloclastos félsicos (plagioclasas) y máficos (piroxenos). Los litoclastos son abundantes alcanzando una proporción del 35 %. Estos corresponden a fragmentos de roca de coloraciones variadas.

**Bb:** nivel delgado, de 2,5 cm de espesor, compuesto por litoclastos de color negro a grisáceo, angulosos.

**Bc:** Lentes de hasta 28 cm de alto, soldadas, de longitud variable, con estructura (dunas, antidunas y estratificación entrecruzada de bajo ángulo). Se continúan lateralmente con fragmentos de aproximadamente 5 cm de eje mayor, imbricados, angulosos y subangulosos, constituidos por material acrecional, en su mayoría litoclastos y en menor proporción cristaloclastos y vitroclastos.

**Bd:** nivel de espesor variable entre 1,015 y 1,25 m. Es un depósito masivo, no consolidado, matriz sostén, de color castaño-amarillento, altamente meteorizado y edafizado, con vitroclastos dispersos y restos de carbón. Presenta techo neto e irregular. Es masivo y no consolidado.

Está compuesto en un 45 % por cristaloclastos félsicos (plagioclasas, subhedrales a anhedrales), cristaloclastos máficos (piroxenos, en su mayoría subhedrales) y un 25 % por litoclastos. Los vitroclastos solo representan el 30 % de la muestra. Se identificaron fragmentos de color castaño claro a incoloro, pumíceos (10 %) y vitroclastos escoriáceos negros.

**LT-2C:** Nivel de 10 cm de espesor, clasto sostén, de coloración castaño amarillento dado por la alteración del vidrio por procesos de meteorización y edafización. Base neta y techo difuso. Está compuesto por lapilli y ceniza gruesa, con un tamaño de partícula entre 1,6 cm y 125  $\mu\text{m}$ .

Está constituido fundamentalmente por vitroclastos incoloros, castaño claro grisáceo, subredondeados a angulosos, pumíceos, con vesículas circulares y ovaladas. Se observa frecuente coalescencia de burbujas. Se identifican inclusiones de minerales félsicos y máficos, dentro de la masa vítrea como adheridos sobre la superficie. Asimismo, se identificaron vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro, angulosos, altamente vesiculares.

La fracción mineral está constituida mayormente por cristaloclastos félsicos, incoloros, euhedrales (plagioclasa) y minerales máficos de color verde, subhedrales (piroxenos). Los cristales presentan inclusiones de minerales negros, opacos y están recubiertos por una delgada envoltura vítrea conformando piroclastos mixtos.

Los litoclastos son escasos, corresponden a fragmentos de roca de coloraciones oscuras, en su mayoría angulosos y subangulosos.

Por las características observadas, este nivel corresponde a un depósito de caída piroclástica.

**LT-2D:** Paleosuelo de 40 cm de espesor. Techo neto. A los 24 cm de la base se observa un nivel muy delgado de 2 cm de espesor compuesto por pómez edafizadas que presentan un tamaño de partícula entre 2 y 4 cm.

Los vitroclastos son de color castaño claro grisáceo, subangulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas, alargadas y frecuente coalescencia de burbujas. Se observan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.

**LT-2E:** Nivel de lapilli y ceniza gruesa con un tamaño de partícula entre 1,6 cm y 230  $\mu\text{m}$ , de color castaño amarillento, de 10 cm de espesor. Base y techo netos.

Está compuesto por vitroclastos incoloros y de color castaño claro grisáceo, subredondeados, pumíceos, con vesículas circulares y ovaladas. Se observa coalescencia de burbujas. Además, se identificaron vitroclastos escoriáceos negros, subangulosos, altamente vesiculares, con vesículas irregulares.

La fracción mineral está constituida de plagioclasas y piroxenos, en su mayoría subhedrales. Los piroxenos presentan inclusiones de minerales negros, opacos. Los cristales están parcialmente recubiertos con delgadas envolturas vítreas.

Los litoclastos son más abundantes en las fracciones más finas, presentan coloraciones variadas desde claras a oscuras y son subangulosos a angulosos.

Este nivel corresponde a un depósito de caída piroclástica.

**LT-2F:** suelo de color castaño grisáceo de ~ 40 cm de espesor, con fragmentos vítreos dispersos. Techo neto.

Los vitroclastos son de color marrón muy oscuro, subangulosos, con alta vesicularidad. Las vesículas son circulares y ovaladas. Se observan abundantes inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea como adheridas sobre la superficie. Se observan numerosas y diminutas burbujas internas preservadas en la pared del vidrio. En menor proporción se identificaron vitroclastos incoloros, subangulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas y alargadas evidenciando fluidalidad. Se observa coalescencia de burbujas.

**LT-2G:** nivel compuesto por lapilli y ceniza gruesa. Clasto sostén. Techo gradual difuso.

Presenta un tamaño de partícula entre 4 cm y 230  $\mu\text{m}$ . Está constituido fundamentalmente por vitroclastos incoloros y de color castaño claro grisáceo, subangulosos, pumíceos, con vesículas circulares a ovaladas, en cuyo interior se observan hebras de vidrio con extremos ahusados, que en algunos casos conectan las burbujas. Se observa frecuente coalescencia de burbujas.

En la fracción con un tamaño de partícula menor a 0,1 cm se identificaron vitroclastos escoriáceos negros, angulosos, altamente vesiculares. Además, se identificaron escasos vitroclastos de color castaño grisáceo ahumado, densos, con superficie externa concoidea, posiblemente obsidianas.

La fracción mineral incluye cristaloclastos félsicos (plagioclasa) y máficos (piroxenos).

Este nivel corresponde a un depósito de caída piroclástica.

**LT-2H:** Suelo oscuro de ~ 72 cm de espesor, con contactos netos. Presenta lapillis dispersos con un tamaño de partícula menor a 1,5 cm de diámetro.

**LT-2I:** Posible depósito de caída piroclástica removilizado, de ~ 40 cm de espesor. No fue analizado.

### **3.4.3. Secciones estratigráficas en el valle de Curruhué y Epulafquen**

Se relevaron un total de 9 secciones estratigráficas a lo largo de un corte de camino correspondiente a la Ruta Provincia 62 en la zona del valle de los lagos Curruhué Grande y Chico y del Lago Epulafquen (Figura 87); que expone niveles de tefra de espesores importantes, que evidencian eventos de magnitud. Todas las secciones se describen desde lo más antiguo a lo más joven.

Estos depósitos identificados en superficie están muy alterados producto de los procesos de meteorización y edafización, con lo cual, muchos de ellos no pudieron ser caracterizados ni petrográficamente, ni geoquímicamente. En algunos niveles con mejor grado de preservación, pudieron describirse y caracterizarse los componentes en función del color, morfología de los vitroclastos y cuando fue posible se realizó geoquímica de mayores.



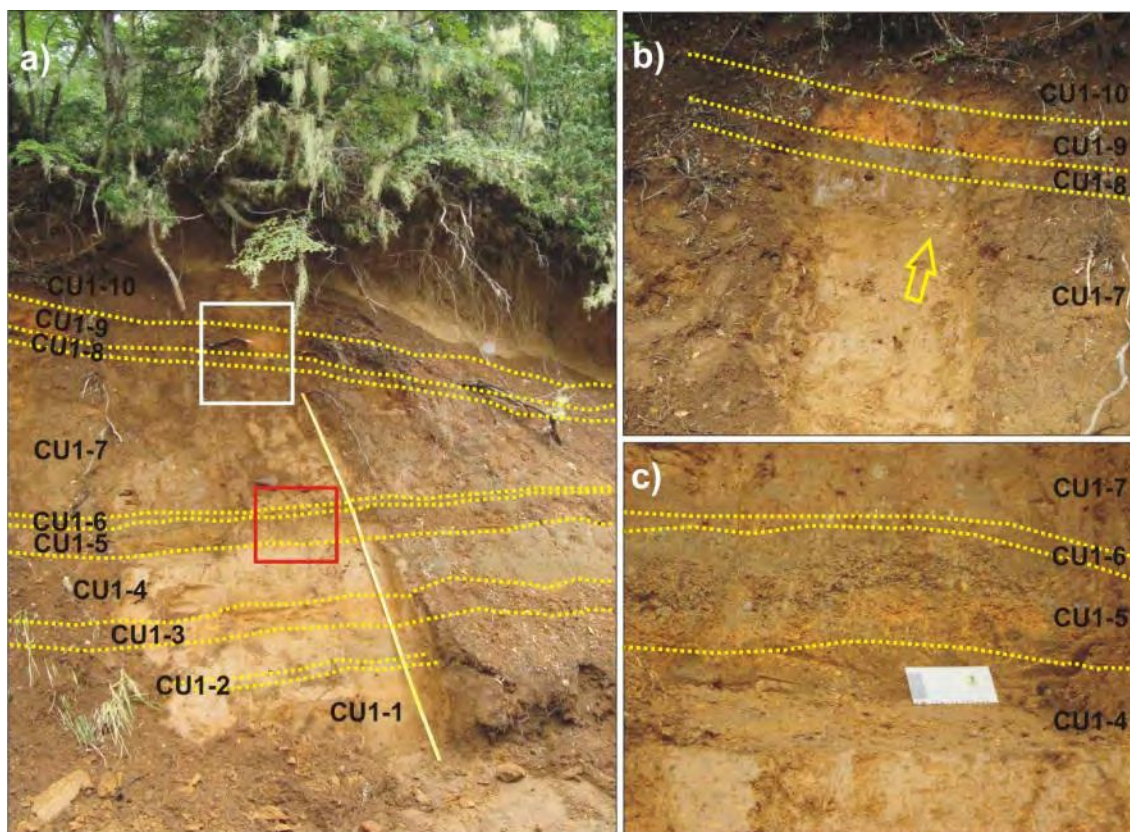
**Figura 87.** Localización de los relevamientos de las secciones estratigráficas (rombos amarillos) y sitio de muestreo de la base de la colada El Escorial donde se obtuvo la datación  $^{14}\text{C}$  AMS (circulo naranja).

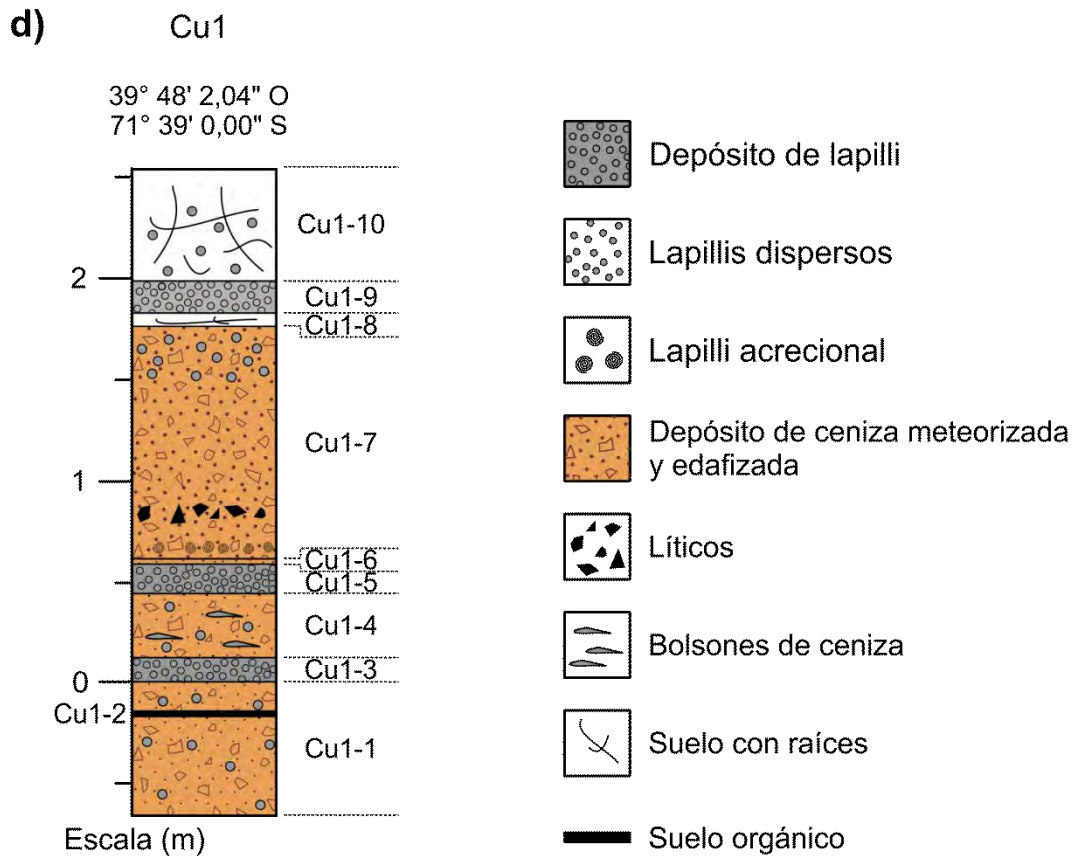
### 3.4.3.1. Sección estratigráfica Cu1

El perfil Cu1 (39° 48' 2,04" S; 71° 39' 0,00" O) se localiza a una altitud de 2130 m s.n.m y tiene una longitud de 3,2 m (Figura 88). Se identificaron 10 niveles altamente meteorizados y edafizados.

**Cu1-1:** nivel con un espesor mayor a 66 cm con base no expuesta y techo neto. Depósito masivo, no consolidado, de coloración castaño anaranjado, matriz sostén. Está compuesto por lapilli fino y ceniza gruesa, meteorizado y altamente edafizado. A los 49 cm de la base se identifica un nivel orgánico discontinuo (**Cu1-2**) de 3 cm de espesor.

**Cu1-3:** nivel de 12 cm de espesor, con base y techo netos. Depósito masivo, no consolidado, con textura clasto sostén. Está compuesto por lapilli con un tamaño de partícula entre 0,5 y 3 cm, de color castaño anaranjado. Se tomó una muestra y una vez procesado el material se identificaron vitroclastos de color castaño grisáceo claro a gris, angulosos, pumíceos, con vesículas irregulares.





**Figura 88. a:** Sección estratigráfica Cu-1 donde se señala cada una de las unidades identificadas. **b:** detalle de la sección superior (recuadro blanco). Nótese el nivel de tefra rojizo anaranjado, clasto sostén (Cu1-9) y la concentración de lapillis en los centímetros superiores del nivel Cu1-7 señalados con la flecha amarilla. **c:** Nótese la diferencia de coloración distintiva del nivel Cu1-5. Fotos aportadas por: Lic. Carolina Manzoni y Dr. Agustín Delménico. **d:** Columna estratigráfica Cu1.

**Cu1-4:** nivel de 32 cm de espesor, con base neta y techo difuso. Está compuesto por lapilli fino y ceniza gruesa, de coloración castaño claro grisáceo. Depósito masivo, no consolidado, con textura matriz sostenida. Se identificaron lapillis dispersos de hasta un centímetro de espesor y bolsones de ceniza fina de color gris.

**Cu1-5:** nivel de 12 a 15 cm de espesor, con base difusa y techo neto. Depósito masivo, no consolidado, con textura clasto sostén. Está compuesto por lapilli con un tamaño de partícula entre 0,2 y 1,5 cm. Entre los 4 y 8 cm basales se observa una coloración castaña anaranjada que se torna gris amarillenta en los centímetros superiores (Figura 88c). Los

vitroclastos varían de color gris claro a incoloro, son angulosos, pumíceos, con vesículas irregulares y frecuente coalescencia de burbujas.

**Cu1-6:** nivel de 2 cm de espesor, masivo, no consolidado, con textura matriz sostén. Está compuesto por una ceniza fina de color rojizo.

**Cu1-7:** nivel de 1,15 m de espesor, con base y techo netos. Depósito masivo, no consolidado, compuesto por una ceniza fina de coloración castaña. A los 3 cm de la base, se identificó una concentración de lapilli acrecional disperso en un espesor de 10 cm aproximadamente. Estos fragmentos están compuestos por vitroclastos claros, cristales y líticos en mayor proporción.

A los 23 cm de la base se observó una concentración discontinua de líticos, muy angulosos, correspondientes a fragmentos de rocas de coloraciones claras a oscuras, con tamaños de hasta 10 cm de eje mayor.

En los 30 cm superiores se identificaron lapillis de hasta 4 cm. Estos vitroclastos son de color gris claro a incoloro, angulosos, pumíceos.

**Cu1-8:** suelo oscuro de 6 cm de espesor con material carbonoso disperso.

**Cu1-9:** nivel de 16 cm de espesor, con base irregular y techo neto. Depósito con textura clasto sostén, compuesto por lapilli con un tamaño de partícula entre 0,4 y 1 cm de diámetro, de color rojizo anaranjado (Figura 88b). Los vitroclastos son de color castaño claro grisáceo a gris claro, algunos incoloros, angulosos, pumíceos, con vesículas irregulares y frecuente coalescencia de burbujas.

**Cu1-10:** suelo oscuro de 56 cm de espesor con lapillis dispersos aislados.

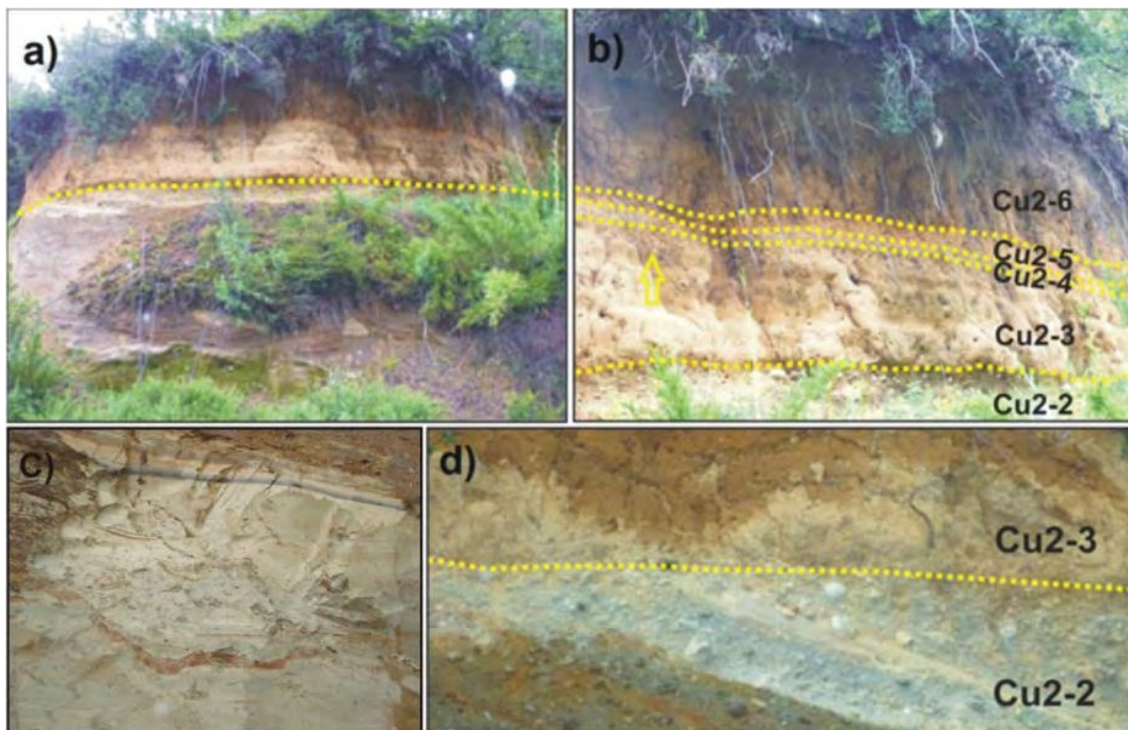
### 3.4.3.2. Sección estratigráfica Cu-2

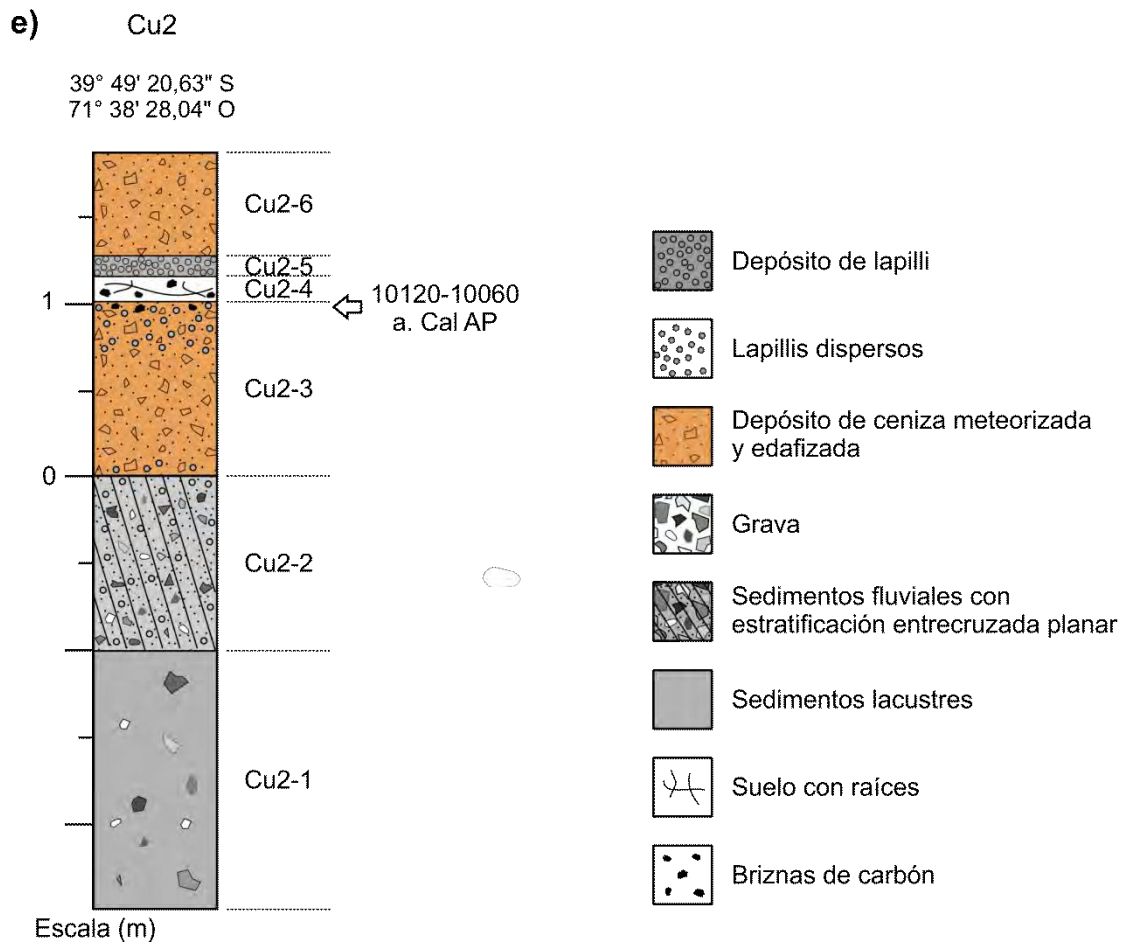
El perfil Cu2 (39° 49' 20,63" S; 71° 38' 28,04" O), tiene una longitud de 1,6 m (Figura 89a-e).

La sucesión se inicia con un nivel potente de sedimentos lacustres (**Cu2-1**) muy finos, compuestos por arcillas de color gris con gravas dispersas con tamaños que varían entre 3 y 20 cm de diámetro; las cuales se interpretan como *dropstones* (Figura 89c). Este nivel subyace un depósito compuesto por sedimentos fluviales (**Cu2-2**), mal seleccionado, con

estratificación entrecruzada planar, compuesto por arena y grava, en el cual se identificaron lapillis dispersos (Figura 89d). La mayoría de los fragmentos son angulosos a subangulosos y en menor proporción subredondeados, con tamaños que varían entre 3 y 15 cm, llegando a alcanzar los 20 cm de diámetro. Sobre estos depósitos, interpretados como de origen glacifluvial se depositó una sucesión formada por niveles de material piroclástico de caída intercalados con paleosuelos.

**Cu2-3:** depósito de un metro de espesor, compuesto por lapillis de hasta 1 cm de diámetro dispersos en una matriz de ceniza fina concentrados en la base del depósito y una concentración mayor de lapillis en los 30 cm superiores, de hasta 4 cm de diámetro. Los vitroclastos son de color gris claro a incoloro, angulosos, pumíceos (Figura 89b). Hay presencia de briznas de carbón en el techo del depósito. Se obtuvo una datación  $^{14}\text{C}$  AMS de 10120 a 10060 años Cal AP.





**Figura 89. a:** Sección estratigráfica Cu2. La línea punteada amarilla separa los depósitos lacustres y glacifluviales (depósitos deltaicos) sobre los cuales se depositan las tefras. **b:** Detalle de la sección superior, la flecha amarilla señala la concentración de lapillis en el techo de Cu2-3. **c:** sedimentos lacustres **d:** depósito deltaico con estratificación entrecruzada planar, Cu2-2. Fotos aportadas por: Carolina Manzoni, Agustín Delménico. **e:** Columna estratigráfica Cu2.

**Cu2-4:** suelo oscuro, delgado, de unos pocos centímetros de espesor, con fragmentos de carbón dispersos.

**Cu2-5:** depósito de 8 a 12 cm de espesor, con textura clasto sostén, de color rojizo anaranjado, compuesto por lapillis con un tamaño de partícula entre 0,4 a 1 cm. Los vitroclastos son de color castaño claro grisáceo a gris claro e incoloros, angulosos, pumíceos, con vesículas irregulares y frecuente coalescencia de burbujas.

**Cu2-6:** depósito de ceniza de color castaño anaranjado, de 60 cm de espesor, altamente meteorizado y edafizado.

Los depósitos lacustres (Cu2-1) identificados en la base del perfil se habrían formado por la existencia de pequeños lagos someros marginales a un glaciar que suelen asociarse a morenas laterales o terrazas kame. A medida que el glaciar retrocedía, los sistemas fluviales que corrían lateralmente, depositaban su carga de sedimento en estos pequeños cuerpos de agua generando sistemas deltaicos que progradaban rápidamente debido a las altas tasas de sedimentación; generando los depósitos glacifluviales (Cu2-2).

La ausencia de material carbonoso en estos depósitos imposibilitó su datación; sin embargo, el contexto regional, permite estimar su edad entre los 18000 y 15000 años AP.

#### **3.4.3.3. Sección estratigráfica Cu8**

Se describieron los 120 cm basales del perfil Cu8 (39° 49' 38,56" S; 71° 37' 32,16" O) (Figura 90).

La sucesión se apoya sobre 25 cm de gravas. Base no expuesta.

**Cu8-1:** nivel de 15 cm de espesor, matriz sostén, compuesto por ceniza fina con lapillis dispersos con un tamaño de partícula entre 0,5 y 1,5 cm.

**Cu8-2:** suelo oscuro de 15 cm de espesor.

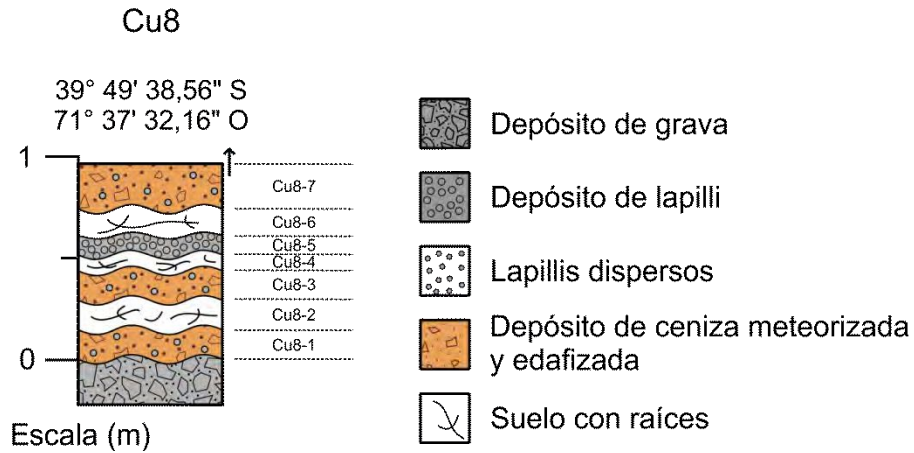
**Cu8-3:** nivel de 15 cm de espesor, con textura matriz sostén, compuesto por ceniza fina con lapillis dispersos. Los lapillis presentan un tamaño de partícula máximo de 5 cm.

**Cu8-4:** suelo de color negro de 8 cm de espesor.

**Cu8-5:** nivel de 6 cm de espesor de compuesto por lapilli con un tamaño de partícula entre 0,2 y 1 cm. Textura clasto sostén. Los vitroclastos son de color castaño claro grisáceo a gris, son angulosos, pumíceos con vesículas irregulares.

**Cu8-6:** suelo oscuro de 16 cm de espesor.

**Cu8-7:** nivel de 20 cm de espesor, matriz sostén, compuesto por una ceniza fina con lapillis gruesos dispersos.



**Figura 90.** Columna estratigráfica Cu8.

#### 3.4.3.4. Sección estratigráfica Cu7

Se describen los 150 cm basales de la sección estratigráfica Cu7 (39° 49' 11,56" S; 71° 36' 31,74" O) (Figura 91).

La sucesión se apoya sobre gravas. Base no expuesta.

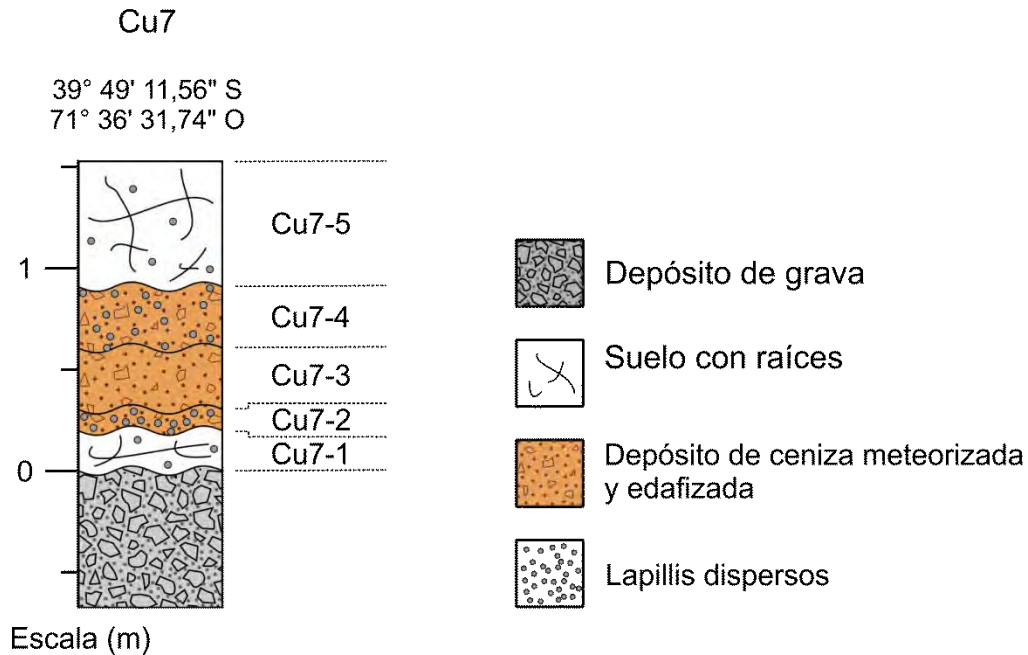
**Cu7-1:** suelo de 20 cm de espesor que contiene lapillis dispersos con un tamaño de partícula aproximado de 0,5 cm.

**Cu7-2:** nivel de 10 cm de espesor, matriz sostén, compuesto por ceniza fina con numerosos lapillis dispersos. Los lapillis tienen un tamaño de partícula entre 0,2 y 0,5 cm.

**Cu7-3:** nivel de 30 cm de espesor, matriz sostén, compuesto por ceniza fina de color rojizo.

**Cu7-4:** nivel de 30 cm de espesor, matriz sostén, compuesto por ceniza fina con lapillis dispersos. Los lapillis tienen un tamaño de partícula entre 3 y 4 cm.

**Cu7-5:** suelo oscuro con más de 60 cm de espesor, con lapillis dispersos.



**Figura 91.** Columna estratigráfica Cu7.

### 3.4.3.5. Sección estratigráfica Cu18-1

La sección Cu18-1 (39° 49,040' S; 71° 33,834' O) presenta 2,31 m de espesor (Figura 92).

**Cu18-1a:** nivel de más de 26 cm de espesor. Base no expuesta. Está compuesto por ceniza fina de color marrón anaranjado, con restos de carbón y lapillis aislados dispersos con un tamaño de partícula aproximado de 0,5 cm.

**Cu18-1b:** nivel de 38 cm de espesor, compuesto por una ceniza fina, con lapillis dispersos de color castaño claro anaranjado, con un tamaño de partícula entre 3 y 4 cm.

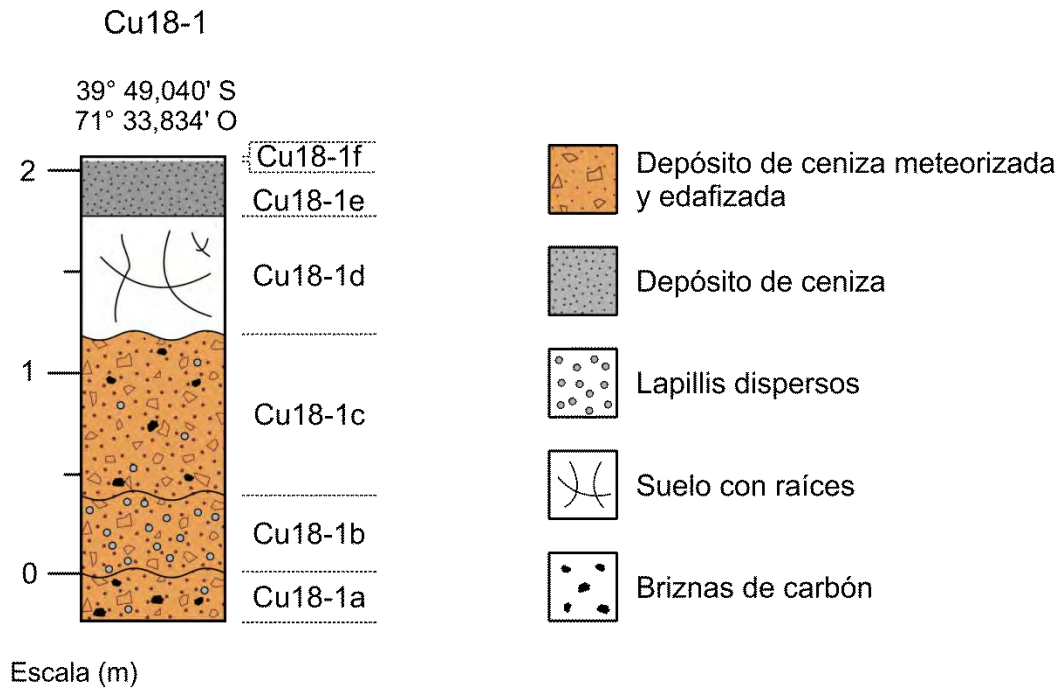
**Cu18-1c:** nivel de 80 cm de espesor, matriz sostén, compuesto por una ceniza fina de color castaño claro anaranjado, con escasos lapillis dispersos y restos de carbón de hasta 1 cm de diámetro.

**Cu18-1d:** suelo de color negro de 57 cm de espesor.

**Cu18-1e:** nivel de 27 cm, con base neta y techo difuso. Depósito masivo, no consolidado, clasto sostén de color negro. Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño de partícula entre 0,2 cm y 63 µm. Este nivel representa el depósito de los productos de

emisión del cono piroclástico Achen Ñiyeu. Para la descripción en detalle de los componentes y geoquímica, referirse al capítulo 3.5, sección 3.5.2.2.

**Cu18-1f:** suelo delgado de 3 cm de espesor, con ceniza gruesa de color negro dispersa.



*Figura 92. Columna estratigráfica C18-1.*

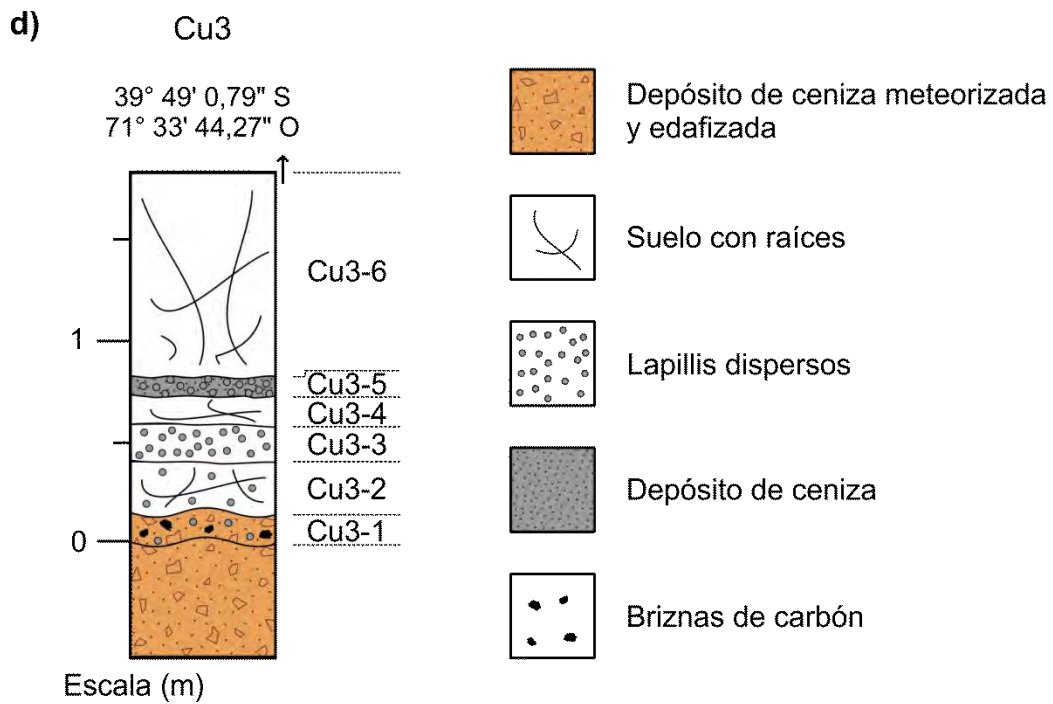
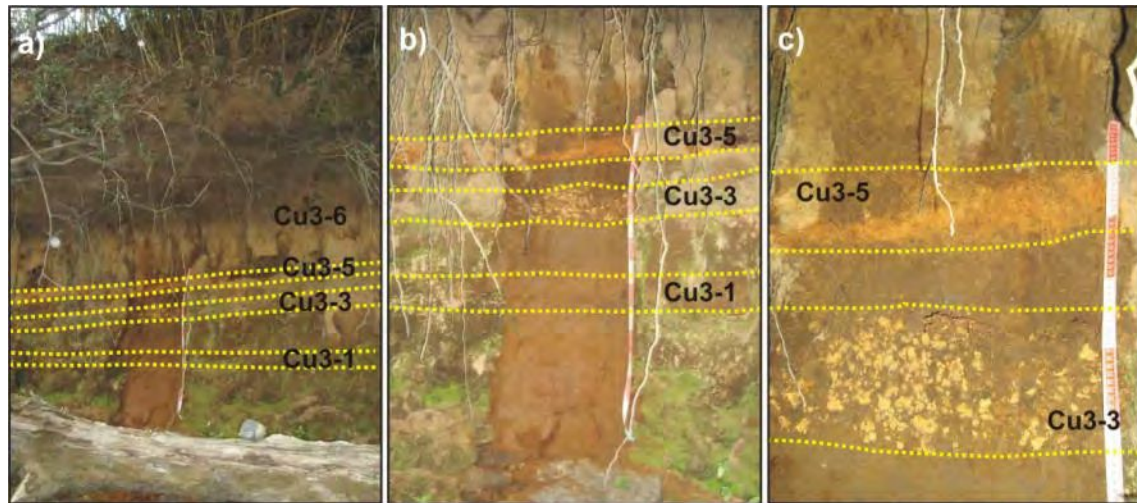
### 3.4.3.6. Sección estratigráfica Cu3

Se describen los 179 cm basales de la sección Cu3 (39° 49' 0,79" S; 71° 33' 44,27" O) (Figura 93a).

La sucesión se inicia con un nivel de 60 cm de espesor (base no expuesta) compuesto por una ceniza altamente meteorizada y edafizada.

**Cu3-1:** nivel de 15 cm de espesor, matriz sostén, compuesto por una ceniza fina con lapillis dispersos y briznas de carbón. Los lapillis presentan un tamaño de partícula de hasta 0,5 cm de diámetro (Figura 93b).

**Cu3-2:** suelo de 22 cm de espesor, con lapilli fino disperso.



**Figura 93.** *a:* Sección Cu3. *b:* tres niveles de teфра identificados. *c:* detalle de los niveles Cu3-3 y Cu3-5. Fotos aportadas por: Agustín Delmónico. *d:* Columna estratigráfica Cu3.

**Cu3-3:** suelo de 18 cm de espesor, con lapillis con un tamaño de partícula de hasta 4 cm de diámetro dispersos (Figura 93b y c).

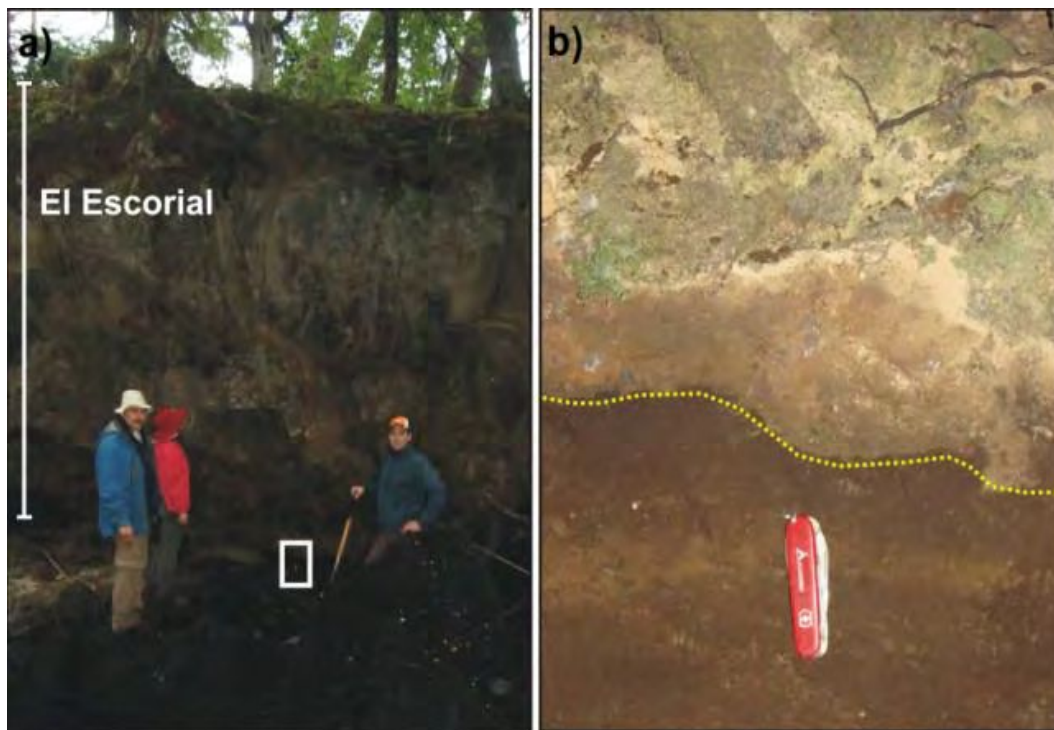
**Cu3-4:** suelo de color muy oscuro de 15 cm de espesor.

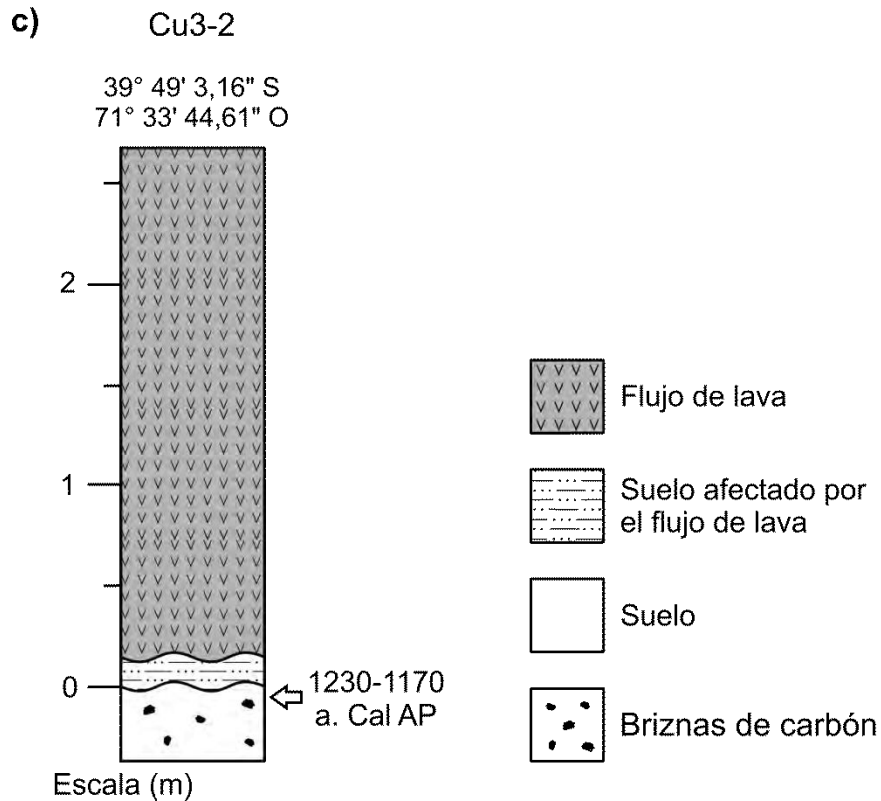
**Cu3-5:** nivel de 9 cm de espesor, matriz sostén, compuesto por ceniza fina de color rojizo anaranjado, con numerosos lapillis que presentan un tamaño de partícula aproximado de 0,5 cm. Los vitroclastos son de color castaño claro grisáceo a gris (Figura 93b y c).

**Cu3-6:** suelo oscuro de un metro de espesor aproximadamente.

### 3.4.3.7. Sección estratigráfica Cu3-2

Flujo de lava "El Escorial" con un espesor aproximado de 2,5 m, en contacto con un suelo con contenido orgánico (Figura 94). Se obtuvo una datación  $^{14}\text{C}$  AMS de 1230 a 1170 a. Cal AP en la base de la colada.





**Figura 94. a:** Flujo de lava "El Escorial" en contacto con un suelo orgánico. **b:** detalle del recuadro blanco, señalando la ubicación del sitio de muestreo. La línea amarilla señala el límite entre el suelo afectado por el flujo de lava y el suelo sin alterar. Fotos aportadas por: Agustín Delménico. **c)** Columna estratigráfica Cu3-2.

### 3.4.3.8. Sección estratigráfica Cu5

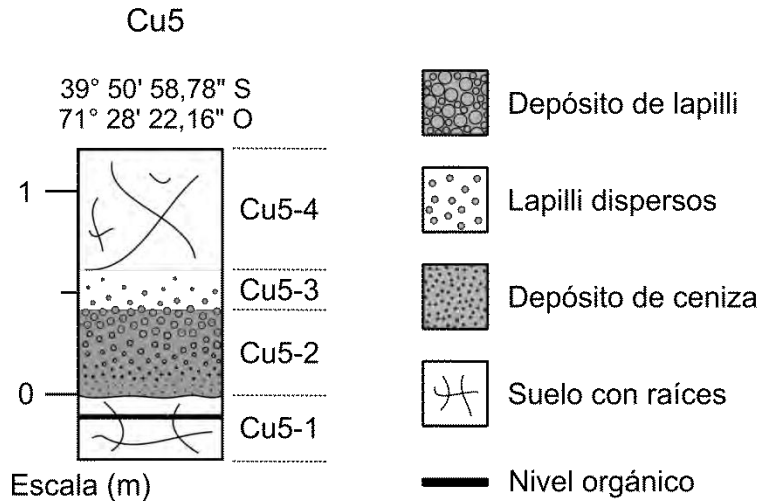
La sección Cu5 (39° 50' 58,78" S; 71° 28' 22,16" O) presenta 1,54 m de longitud (Figura 95).

**Cu5-1:** suelo de 32 cm de espesor que posee un nivel con contenido de carbón a los 20 cm de la base.

**Cu5-2:** nivel 42 cm de espesor, clasto sostén, de color rojizo anaranjado, con base neta y techo difuso. Está compuesto por ceniza gruesa y lapilli, con gradación inversa. Los vitroclastos son de color castaño claro grisáceo a gris, angulosos, pumíceos, con vesículas irregulares, con un tamaño máximo de partícula de 5 cm.

**Cu5-3:** suelo de 20 cm de espesor con lapillis dispersos, con diámetros de hasta 1,4 cm.

**Cu5-4:** suelo de 60 cm de espesor.



**Figura 95.** Columna estratigráfica Cu5.

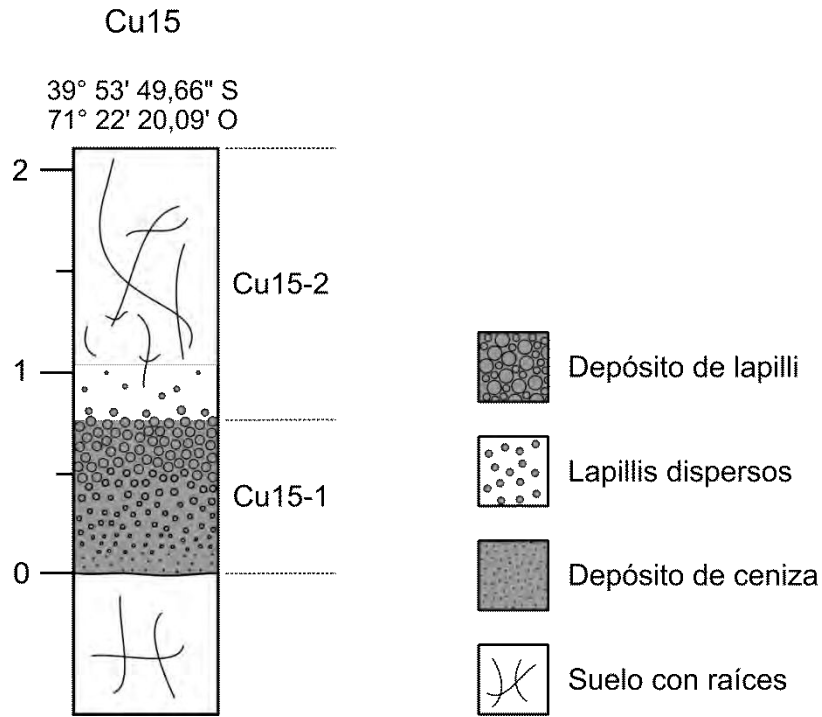
### 3.4.3.9. Sección estratigráfica Cu15

La sección Cu15 (39° 53' 49,66" S; 71° 22' 20,09" O) tiene un espesor de 2,8 m. La sucesión se inicia con un suelo de más de 70 cm de espesor. Base no expuesta (Figura 96).

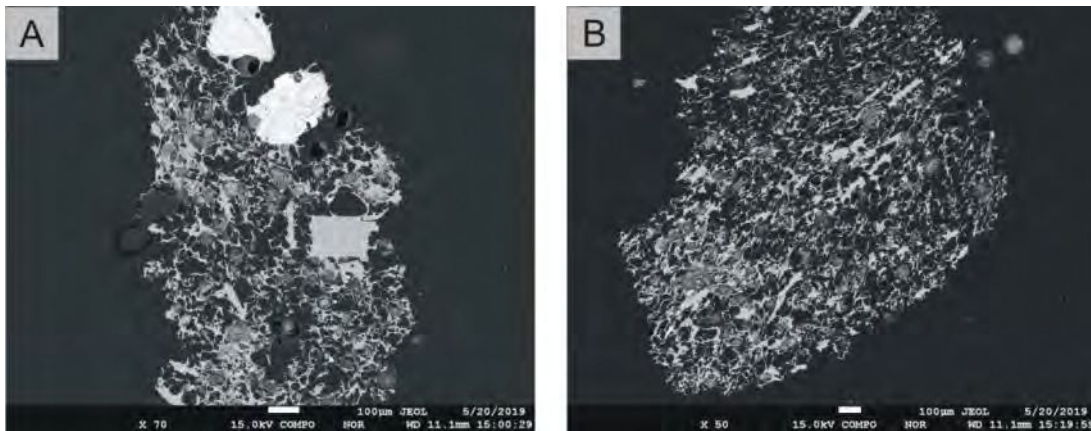
**Cu15-1:** nivel de 75 cm de espesor de color rojizo anaranjado, con base neta y techo difuso. Está compuesto por ceniza gruesa y lapilli con un tamaño de partícula máximo de partícula de 3,5 cm, con gradación inversa. Los vitroclastos son de color castaño claro grisáceo a gris, angulosos, muy pumíceos, con vesículas circulares, ovaladas e irregulares, con frecuente coalescencia de burbujas. Presentan un bajo contenido de microfenocristales y microlitos de plagioclasa y piroxeno (Figura 97).

Este nivel pasa transicionalmente a un suelo.

**Cu15-2:** nivel de suelo de 1,35 m de espesor. En los 28 cm basales se observa el contacto transicional, con lapillis dispersos en una matriz fina.



**Figura 96.** Columna estratigráfica Cu15.



**Figura 97.** BSEI. **A:** vitroclasto pumíceo con fenocristales de plagioclasa y piroxeno. **B:** vitroclastos pumíceo con bajo contenido microlítico. Nótese en ambos cuan delgadas son las paredes de vidrio.

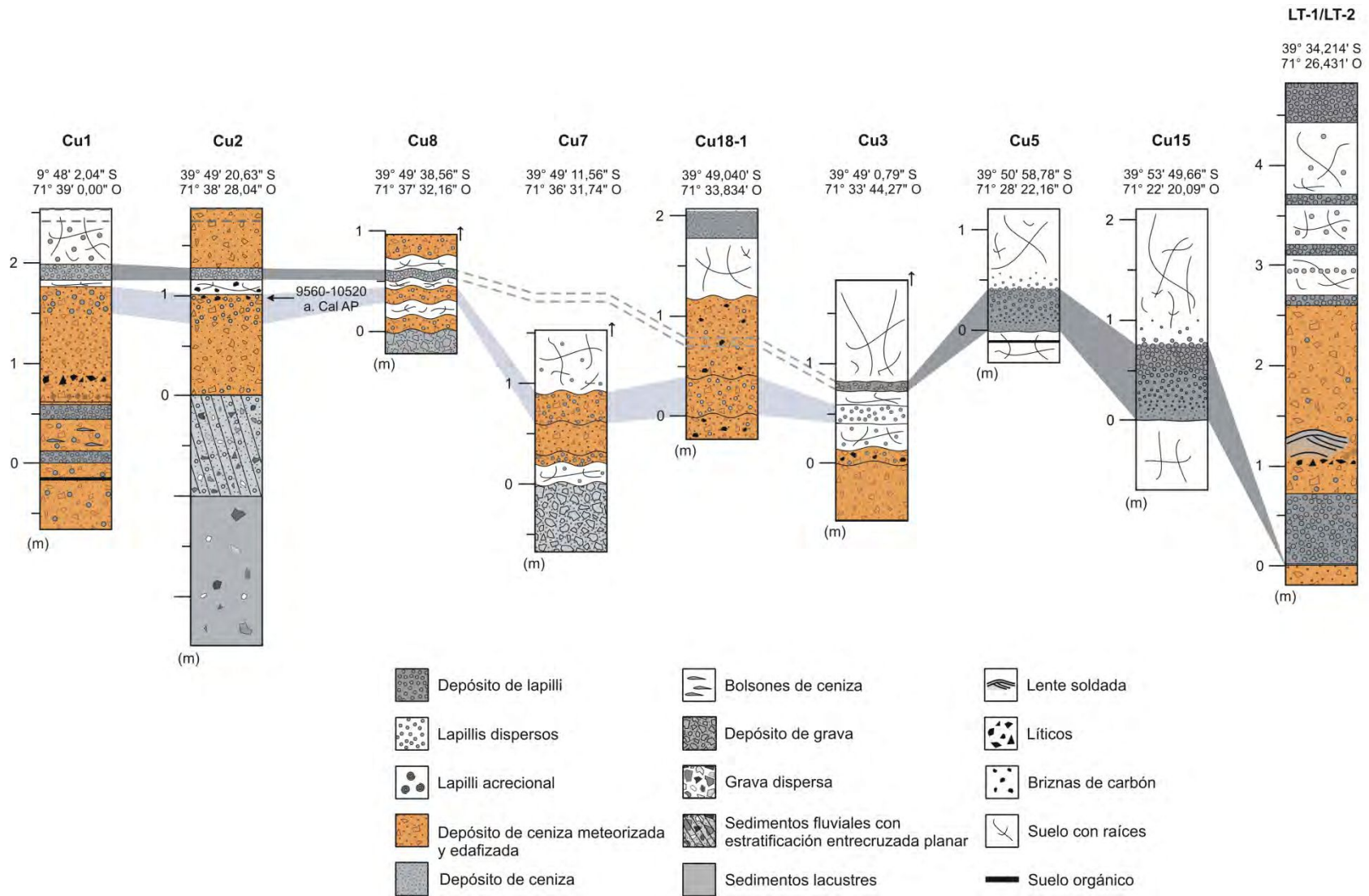
#### **3.4.4. Correlación de secciones estratigráficas**

En función de las características más sobresalientes de los depósitos y de los niveles que pudieron ser caracterizados, se correlacionaron las secciones estratigráficas sobre la base de dos niveles prominentes de tefra (Figura 98).

Estos niveles se consideran marcadores tefroestratigráficos de acuerdo a sus características: color, morfología distintiva de los vitroclastos y composición química de elementos mayores.

En el perfil Cu18-1 el evento más joven correlacionado no pudo identificarse debido a la intensidad con la que los procesos de meteorización y edafización actuaron, obliterando las características del material original; sin embargo se asume su presencia en ese sector.

Cabe destacar que este mismo evento se correlacionó con un depósito descrito en el perfil LT situado al norte del volcán Lanín, en la costa sur del lago Tromen, evidenciando un evento de gran magnitud con amplia dispersión.



**Figura 98.** Correlación de las secciones estratigráficas.

### **3.4.5. Erupciones recientes con impacto en la zona de estudio**

En el año 2015 dos centros volcánicos de la ZVS (Villarrica y Calbuco) entraron en erupción, con caída de material piroclástico en la zona de estudio. Con lo cual, tuve la oportunidad de aprovechar ambas erupciones para caracterizar los productos de eventos de emisión conocidos, para luego aplicar esta información a la asignación de origen de las tefras antiguas de los registros lacustres y de superficie.

#### **3.4.5.1. Erupción del volcán Villarrica 2015**

El volcán Villarrica entró en erupción en marzo de 2015 en horas de la madrugada. Desde hacía ya algunos meses, se venía produciendo un leve incremento de la actividad sísmica, con un importante aumento registrado el día 6 de febrero, que dio inicio a una actividad eruptiva débil y discontinua, con pequeñas explosiones y eyecciones de materiales balísticos a nivel del cráter. Esta actividad continuó así hasta un día antes del evento principal cuando se tornó continua. Finalmente, a las 3:08hs (hora local) del día 3 de marzo de 2015 se desencadenó el proceso eruptivo generado por un repentino incremento de la sismicidad. La columna de gases y ceniza alcanzó una altura de 6-8 Km en su fase de mayor actividad que duró aproximadamente 25 minutos y decayó completamente en un lapso de 50 minutos, con emisión de lava hasta 1,5 Km. Durante los días posteriores se produjeron explosiones esporádicas pero de menor magnitud acompañadas también por emisiones de ceniza. La dispersión de la pluma se produjo hacia el SE cubriendo una distancia de hasta 500 Km, según la información provista por el SERNAGEOMIN en el RAV. No. 4 y 5 y el Informe de Resumen de Crisis Volcán Villarrica Febrero-Marzo 2015.

Se colectó una muestra prístina (**V-T1**: 39° 35,313'S - 71° 25,855'O) horas después de la erupción (Figura 99).

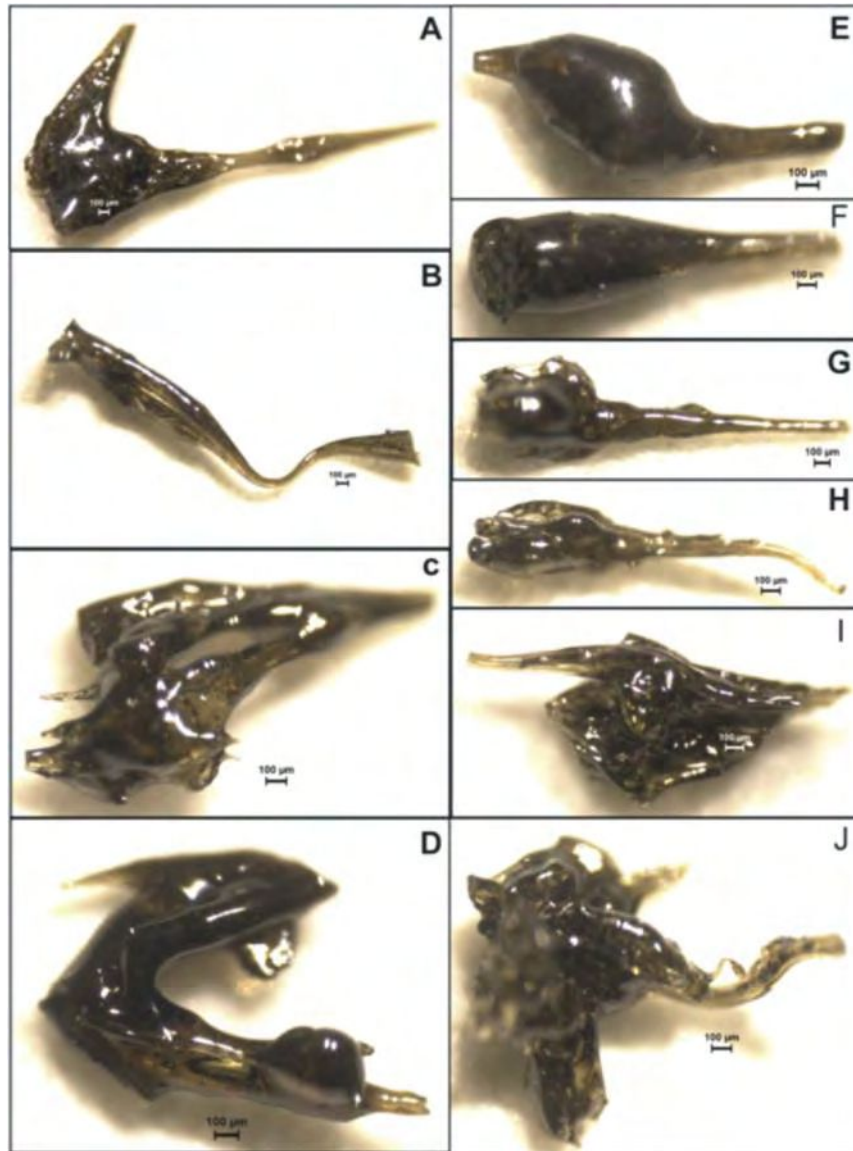


**Figura 99.** Localización del sitio de muestreo de la ceniza (V-T1) correspondiente a la erupción del volcán Villarrica 2015.

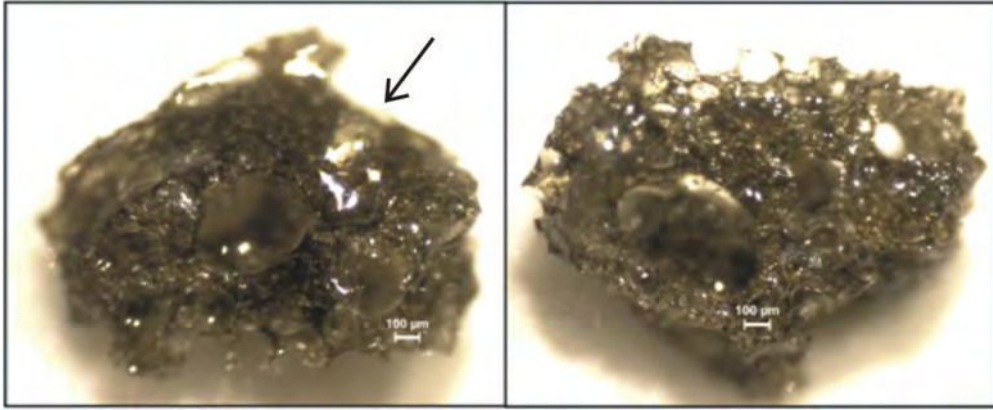
Está compuesta por una población de vitroclastos de color castaño verdoso, que representa el 98% del total y un 2 % caracterizado por cristaloclastos félsicos y máficos, acompañados por escasos litoclastos.

Los vitroclastos presentan formas irregulares a elongadas, curvadas y retorcidas. Son angulosos y con extremos ahusados. Presentan superficie externa lisa con protuberancias dado por la presencia de numerosas burbujas internas (Figura 100). Algunos de estos fragmentos se observan rotos, exponiendo la vesicularidad interna, la cual varía de baja a alta (Figura 101). Las vesículas son circulares, ovaladas, alargadas y en algunos casos se observan canalículos muy delgados paralelos entre sí y al eje mayor de estiramiento. Estos vitroclastos corresponden a gotas de vidrio tipo *Pele's Tears* y gotas rotas (Heiken, 1972), generados por un magma de composición basáltica ligeramente más viscoso producto de una erupción de tipo estromboliano en coincidencia con lo informado por Servicio Nacional de Geología y Minería Chileno (SERNAGEOMIN).

La fracción mineral está compuesta por cristaloclastos félsicos (plagioclasas), translucidos, subhedrales a anhedrales, recubiertas con envolturas vítreas, conformando piroclastos mixtos (Figura 102). En algunos casos, se identifican por el habito tabular o bien por estar parcialmente recubiertos por vidrio.



**Figura 100.** Imágenes bajo lupa binocular; gotas de vidrio tipo *Pele's Tears*. **A, E, F, G, H e I:** gotas de vidrio elongadas con vesículas alargadas y canaliculos paralelos al eje mayor de estiramiento. **B.** Vitroclasto elongado y retorcido sobre su eje mayor. **C y J:** Gotas de vidrio de forma irregular con extremos ahusados. **D:** Vitroclasto de forma curvada. Nótese las protuberancias sobre la superficie externa lisa de los fragmentos.



**Figura 101.** Gota de vidrio rota, imágenes bajo lupa binocular. Izquierda: la flecha negra señala la superficie externa lisa. Derecha: se destaca la vesicularidad interna.



**Figura 102.** Imagen de lupa binocular; cristales de plagioclasa con envoltura vítrea de color castaño conformando piroclastos mixtos.

### 3.4.5.2. Erupción del volcán Calbuco 2015

La erupción del volcán Calbuco tuvo lugar el 22 y 23 de abril de 2015 a las 18:05 hora local. El ciclo eruptivo consistió en dos fases sub-plinianas que generaron columnas de 15 y 17 Km de altura. La dispersión de la pluma fue hacia el NE; según lo informado por Servicio Nacional de Geología y Minería Chileno (SERNAGEOMIN).

Durante una campaña realizada en el mes de mayo de 2015, se recolectó una muestra de ceniza en la costa sur del Lago Tromen (LT-120515: 39° 34,149' S; 71° 26,460' O),

(Figura 103). Durante el muestreo se observó que la ceniza del volcán Calbuco cubría el depósito piroclástico de la erupción del volcán Villarica del 3 de marzo de 2015.

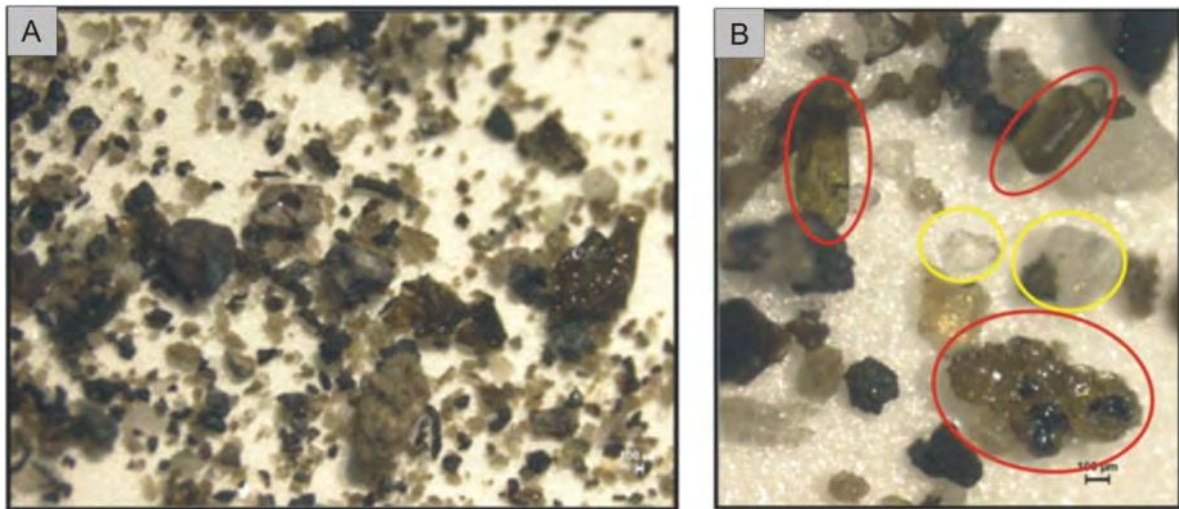


**Figura 103.** Localización del sitio de muestreo de los productos de emisión (LT-120515) del volcán Calbuco durante la erupción del año 2015.

La muestra tiene un tamaño de partícula entre 500 y 63  $\mu\text{m}$ . La fracción más gruesa (e/500 y 125  $\mu\text{m}$ ) está constituida principalmente por litoclastos angulosos y vitroclastos producto de la erupción del volcán Villarica de 2015.

La fracción con un tamaño de partícula entre 125 y 63  $\mu\text{m}$ , está compuesta fundamentalmente por vitroclastos de color castaño claro y castaño oscuro; y vitroclastos incoloros y de color gris aislados, subcirculares a subangulosos, pumíceos, acompañados de escasos vitroclastos escoriáceos negros, angulosos, con baja vesicularidad. Esta ceniza corresponde a los productos emitidos por el volcán Calbuco (Figura 104A).

La fracción mineral está compuesta por cristaloclastos félsicos (plagioclasas) y minerales máficos (piroxenos) (Figura 104B).



**Figura 104.** *A:* componentes que conforman la muestra LT-120515. Las partículas más finas son las que corresponden a los productos emitidos por el volcán. *B:* cristales de piroxeno (rojo) y plagioclasa (amarillo). Nótese que los cristales de piroxeno presentan inclusiones de minerales negros, opacos.

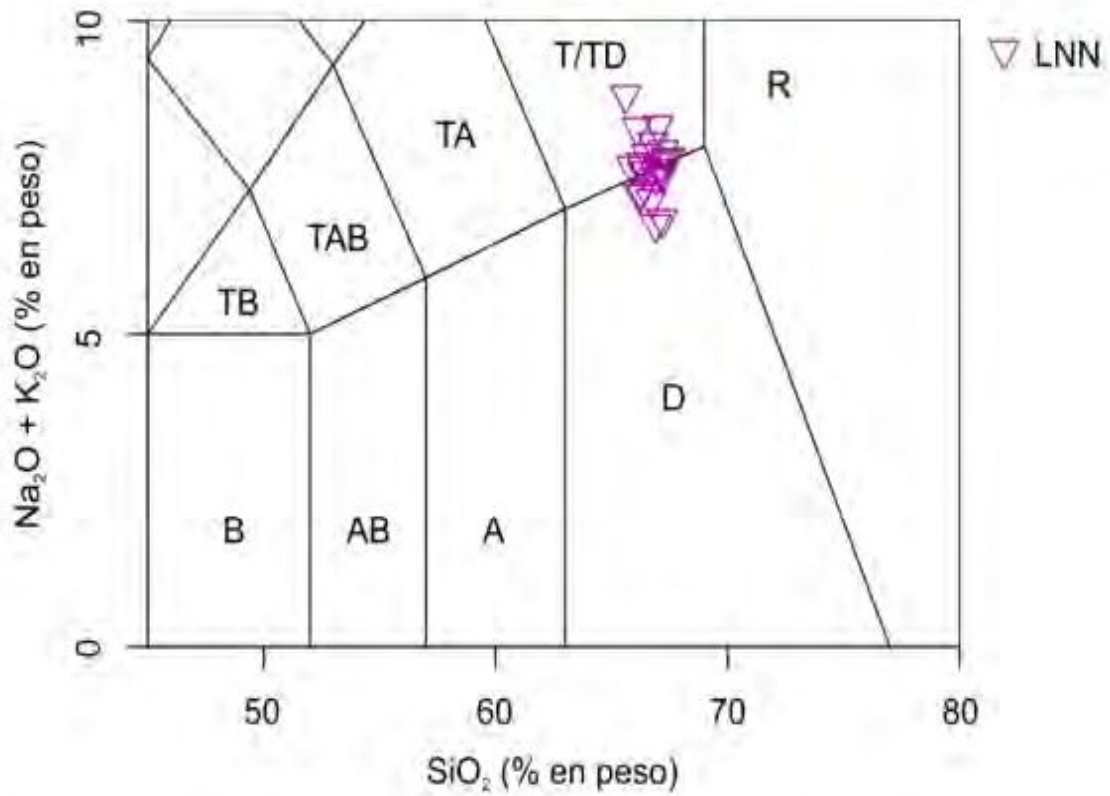
### 3.4.6. Caracterización geoquímica de las tefras de superficie

#### 3.4.6.1. Elementos mayores

Solo tres depósitos de superficie que presentaban un buen grado de preservación del vidrio pudieron ser analizados mediante geoquímica de elementos mayores.

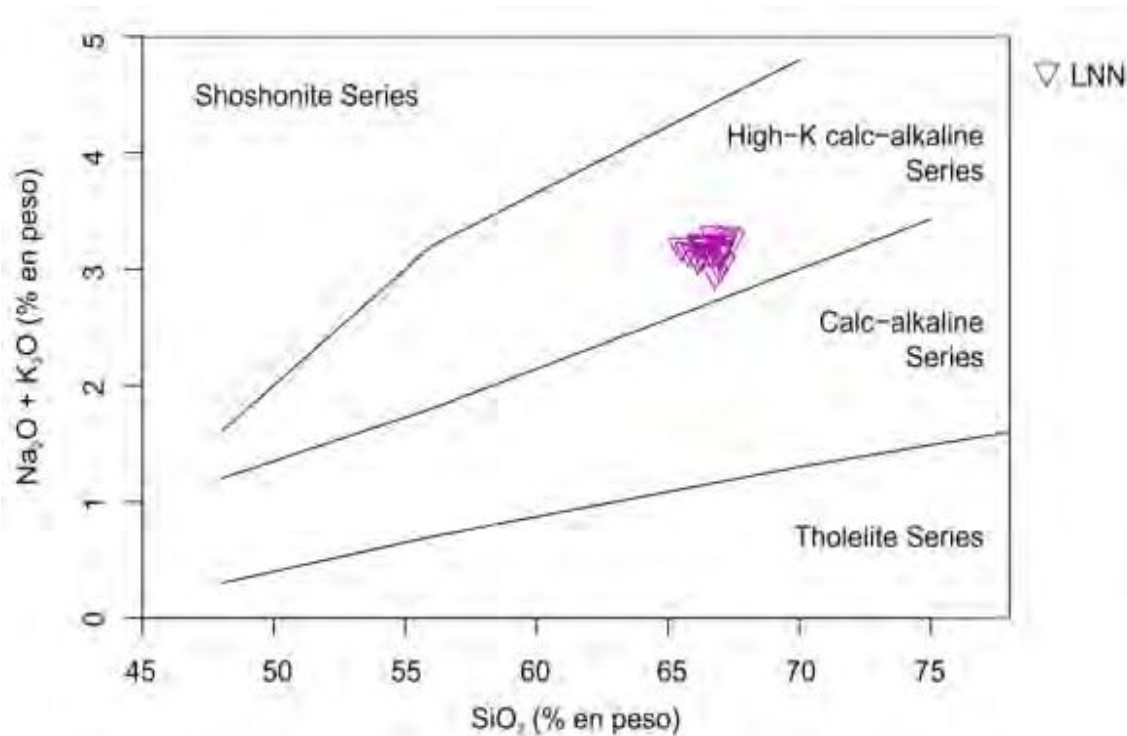
##### 3.4.6.1.1. Depósito piroclástico del flanco NE del volcán Lanín

Los vitroclastos son de composición heterogénea, traquidacítico/dacítico, lo que se ve reflejado en las diferencias de coloración (Sección 3.4.1). Presentan un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 65,5 y el 67,5 % en peso y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 6,7 y el 8,8 % en peso (Figura 105); y contenidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 14,5 y el 16 % en peso, TiO<sub>2</sub> entre 0,5 y 1 % en peso, FeO<sub>t</sub> entre 3,5 – 5,5 % en peso, MgO entre 0,5 y 1,5 % en peso y CaO entre 2,5 y 3,5 % en peso. Los resultados geoquímicos de los elementos mayores se presentan en la Tabla 4-Anexo 3.



**Figura 105.** Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986); para los vitroclastos del depósito piroclástico localizado en el flanco NE del volcán Lanín.

De acuerdo a la relación  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  (Peccerillo y Taylor 1976), los vitroclastos se ubican dentro del campo de la serie calcoalcalina de alto potasio (Figura 106).



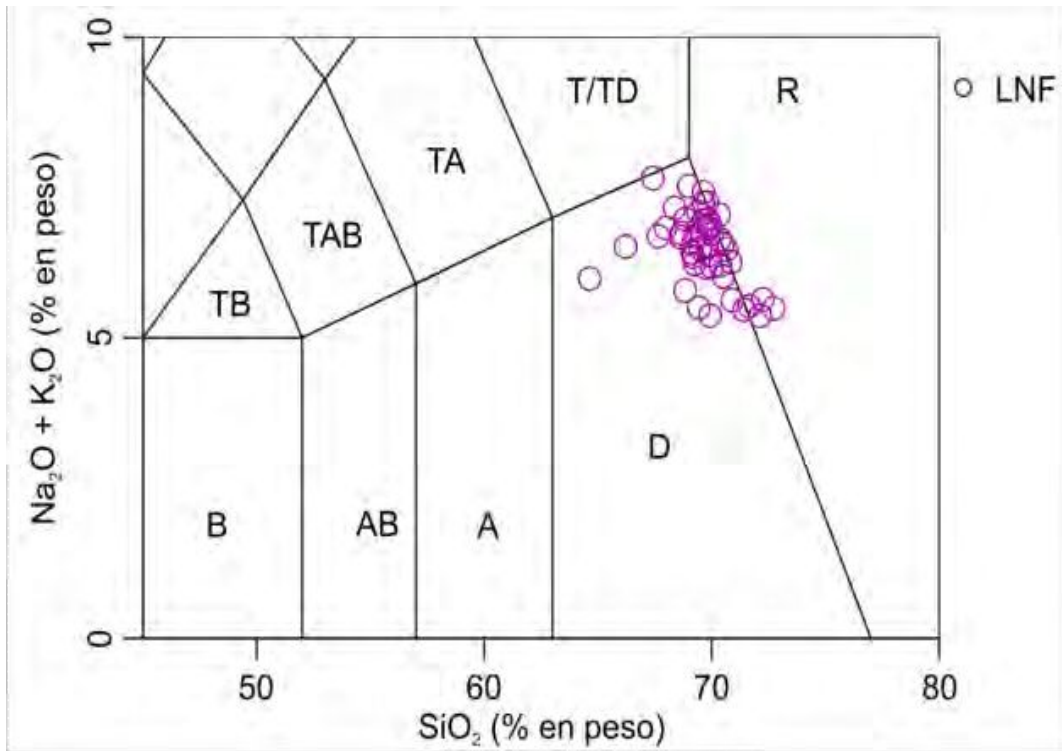
**Figura 106.** Diagrama de clasificación de Peccerillo y Taylor (1976); para los vitroclastos del depósito piroclástico localizado en el flanco NE del volcán Lanín.

#### 3.4.6.1.2. Perfil LT-1/LT-2

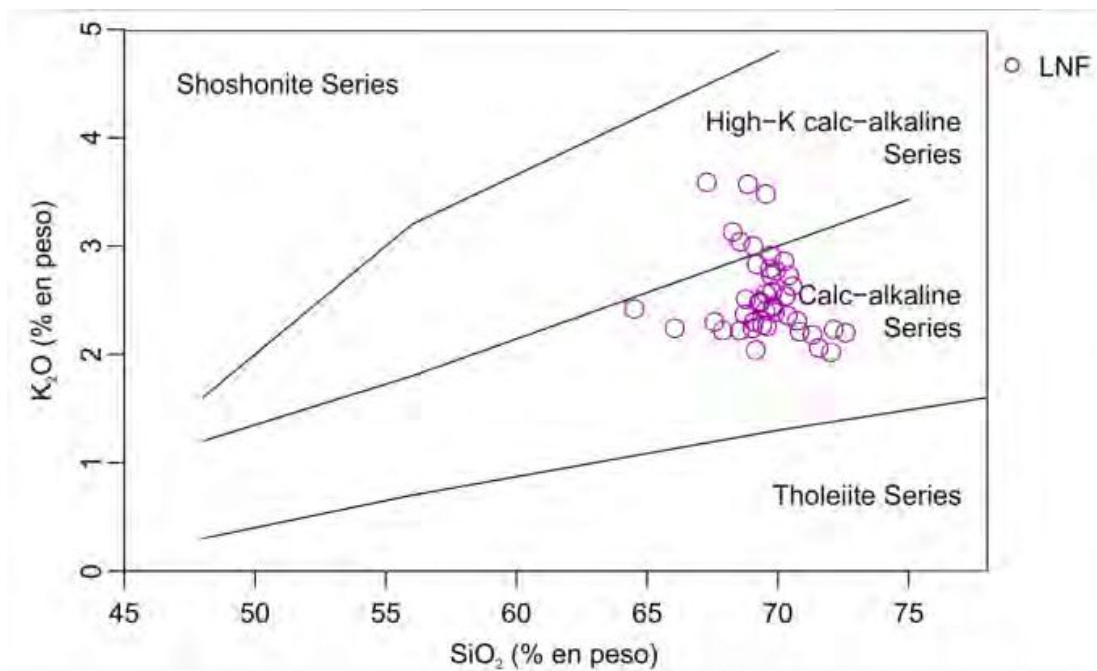
Se presenta la geoquímica de la subunidad Ba del banco LT-1B. Se analizó la población más representativa compuesta por vitroclastos pumíceos (muestra LNF) que representan la fase explosiva propia del evento. Los resultados geoquímicos se presentan en la tabla 4-Anexo 3.

Los vitroclastos son de composición heterogénea, riolítica-dacítica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 64,5 y 72,5 % en peso y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 5,3 y 7,7 % en peso (Figura 107); y contenidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 13 y 22 % en peso, TiO<sub>2</sub> 0,1 y 1,2 % en peso, FeO 2,8 y 5 % en peso, MgO 0,2 y 1 % en peso y CaO 1,8 y 3,7 % en peso.

De acuerdo a la relación SiO<sub>2</sub> vs K<sub>2</sub>O (Peccerillo y Taylor 1976), la mayoría de los vitroclastos presentan una afinidad calcoalcalina a calcoalcalina de alto potasio (Figura 108).



**Figura 107.** Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986); de los vitroclastos pumíceos obtenidos de un flujo piroclástico atribuido al volcán Lanín.

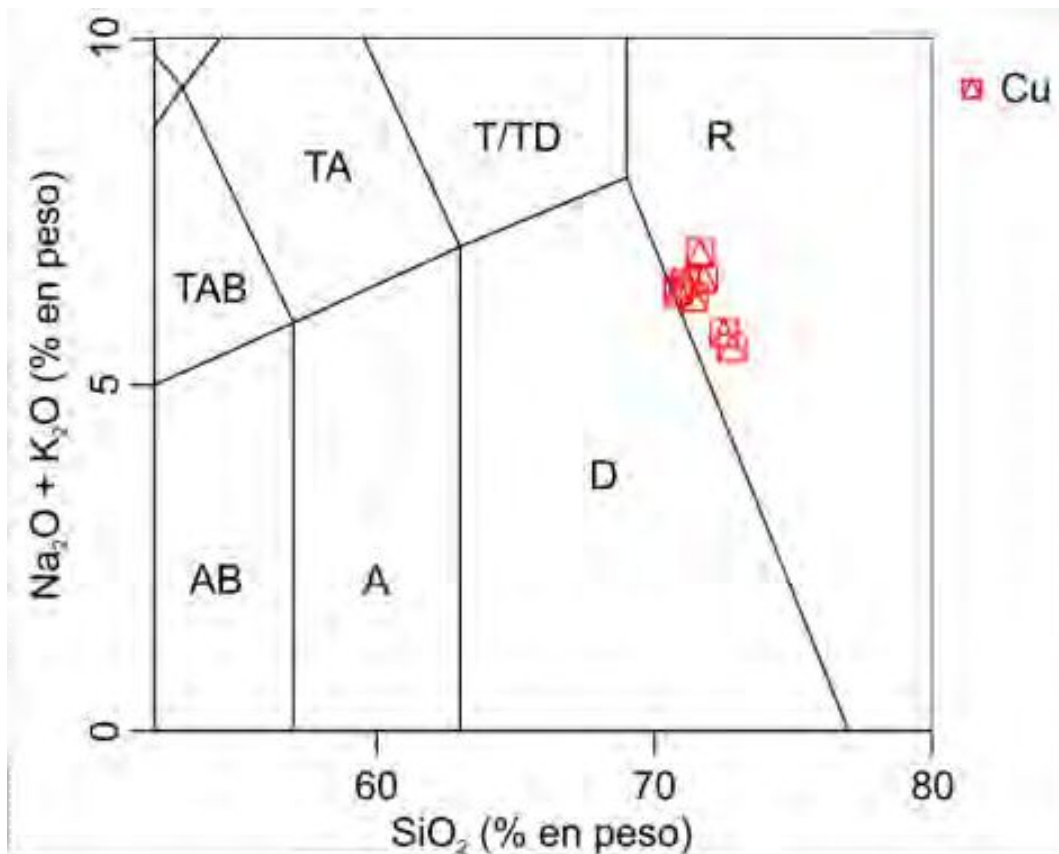


**Figura 108.** Diagrama de clasificación de Peccerillo y Taylor (1976); de los vitroclastos pumíceos obtenidos de un flujo piroclástico atribuido al volcán Lanín.

### 3.4.6.1.3. Perfil Cu15

Los vitroclastos son de composición riolítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 70,5 y 73 % en peso y un contenido de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 5,5 y 7 % en peso (Figura 109); y contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  entre 15 y 16 % en peso,  $\text{CaO} \sim 2$  % en peso,  $\text{TiO}_2$  entre 0,5 y 0,8 % en peso,  $\text{FeO} \sim 3$  % en peso y  $\text{MgO}$  entre 0,5 y 0,8 % en peso. Los resultados geoquímicos se presentan en la tabla 4-Anexo 3.

De acuerdo a la relación  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  (Peccerillo y Taylor, 1976), se ubican dentro del campo de la serie calcoalcalina (Figura 110).



*Figura 109. Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986).*

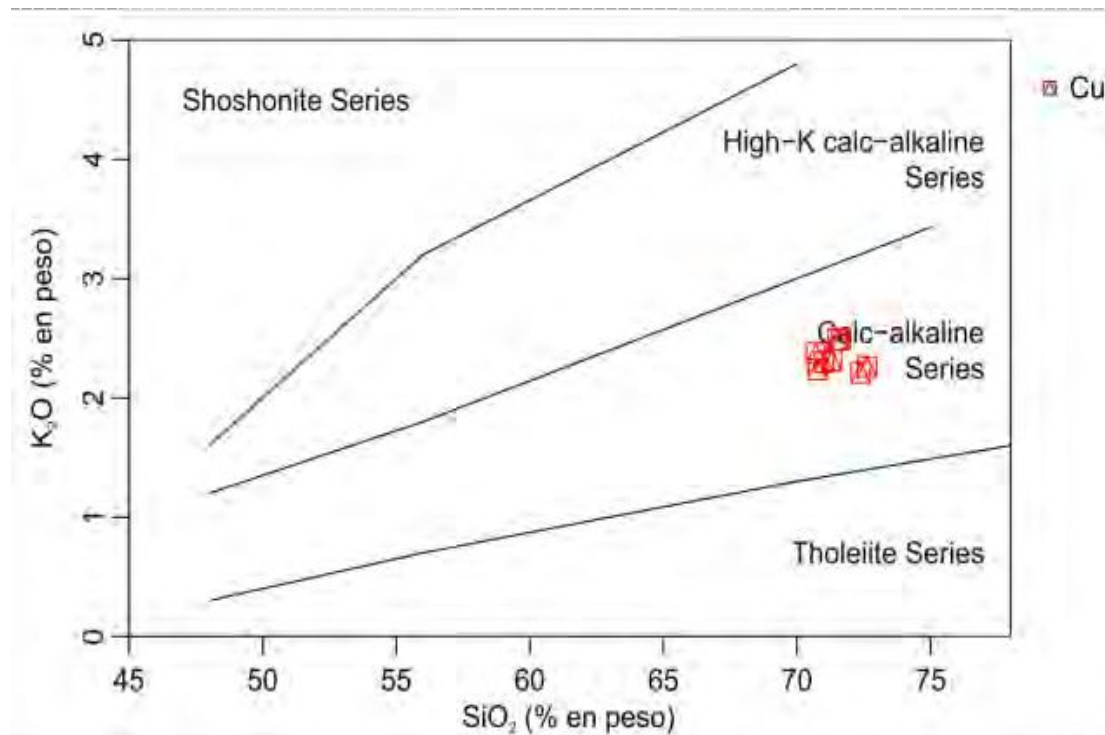


Figura 110. Diagrama de clasificación de Peccerillo y Taylor (1976),  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$ .

### 3.4.6.2. Elementos traza y tierras raras (REE)

#### 3.4.6.2.1. Erupción del volcán Villarrica 2015

Se realizaron determinaciones de elementos traza y tierras raras mediante espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS). En la Tabla 5-Anexo 3 se presentan los resultados de la muestra (V-T1).

Los patrones de tierras raras normalizados a condrito (Nakamura, 1974) se presentan en la (Figura 111). Esta tefra tiene un patrón caracterizado por un ligero enriquecimiento en las tierras raras livianas (LREE: La, Ce, Pr y Nd) respecto a las tierras raras pesadas (HREE: Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), con anomalías negativas de Eu y Ce.

En el diagrama multielementos normalizado a NMORB (Sun y McDonough, 1989) las tefras presentan un enriquecimiento en elementos LILE (*large ion lithophile elements*) con respecto a HFSE (*high field strength elements*), con una anomalía negativa de Nb y una anomalía positiva de Pb (Figura 112).

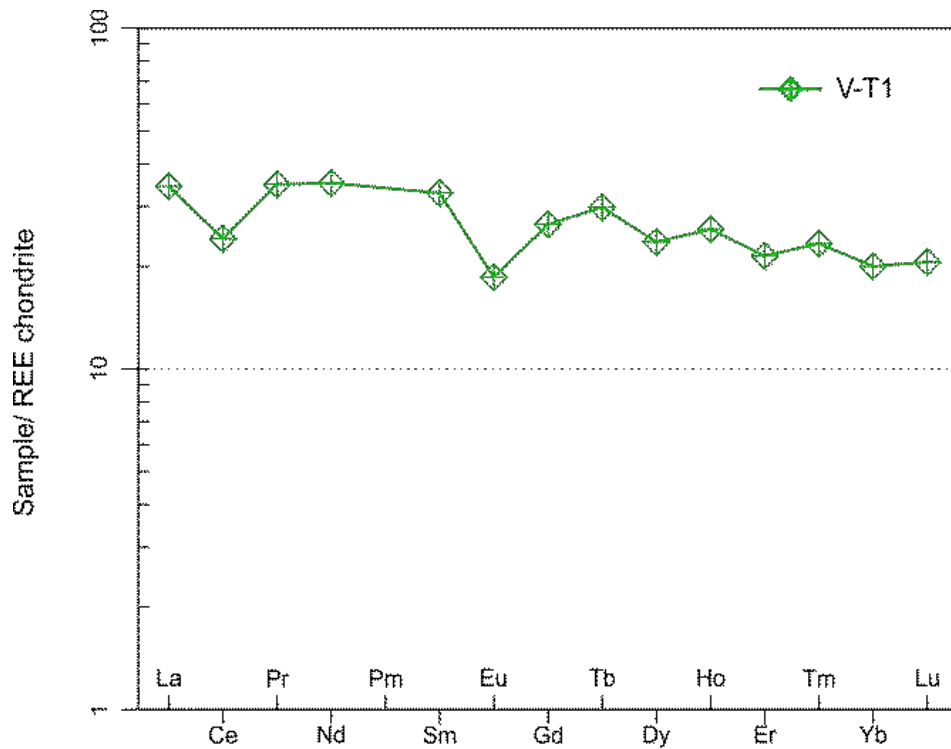


Figura 111. Patrón de tierras raras normalizado a condrito (Nakamura, 1974).

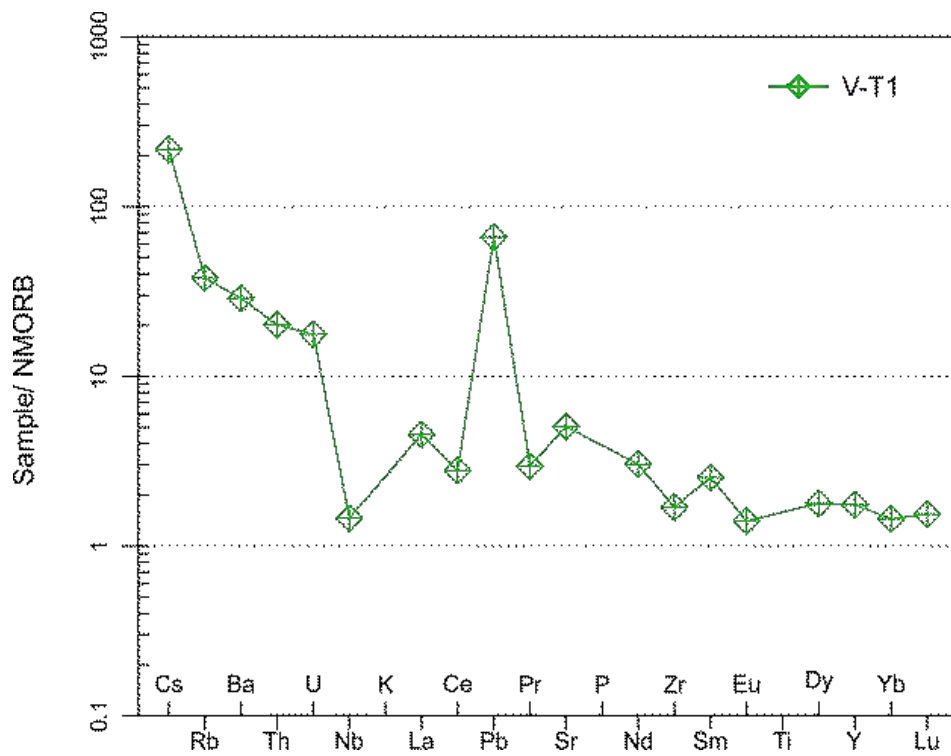


Figura 112. Diagrama multielementos normalizado a NMORB (Sun y McDonough, 1989).

En los alrededores del volcán Lanín, se identificaron numerosos eventos de caída piroclástica preservados en superficie, algunos de los cuales se desconoce su fuente de origen. Se recalca nuevamente la dificultad de caracterizar algunos depósitos por la alteración del vidrio volcánico a causa de los procesos de meteorización y edafización.

En el perfil descrito en la costa sur del lago Tromen, al banco LT-1B se lo interpreta como dos depósitos de corriente de densidad piroclástica concentrada (depósito de flujo pumíceo o ignimbrita), conformado por las subunidades Ba y Bd; con un depósito de corriente de densidad piroclástica diluida (surge o base surge del tipo húmedo) intercalado; las subunidades Bb y Bc pudieron haberse depositado uno a continuación del otro durante un mismo episodio eruptivo; o bien, a partir de dos erupciones distintas que hayan ocurrido en un lapso de tiempo lo suficientemente corto para que no se desarrolle un suelo entre ambos depósitos.

La presencia de lentes y lapillis acrecionales imbricados (Bc), soldados, son evidencia de una corriente de densidad piroclástica diluida producto de la interacción del magma con agua. A medida que estas corrientes se desplazan, los procesos de selección tienden a concentrar los fragmentos líticos en la zona basal (subunidad Bb); (Fisher y Schmincke, 1984). Mientras que los depósitos de flujo tiende a ser masivos y no consolidados.

Claramente estos depósitos corresponden a un material que descendió en forma de flujo por la ladera del volcán Lanín, con lo cual se atribuyen a este volcán en coincidencia con Lara et al. (2004).

La geoquímica obtenida de la subunidad Ba junto con la del depósito del flanco NE, permitió caracterizar algunos depósitos explosivos del volcán Lanín y se utilizó de referencia para asociar otras tefras a este volcán.

Asimismo, las erupciones de 2015 de los volcanes Villarrica y Calbuco; y el cono piroclástico Achen Ñiyeu identificado en el perfil Cu18-1 (depósito Cu18-1e), permitió la caracterización de estos focos eruptivos y sirvió de base para la asignación de la fuentes de origen de otras tefras.

En la zona del valle de los lagos Curruhué Grande, Chico y Epulafquen, se identificaron dos niveles tefroestratigráficos con gran potencial para correlaciones regionales y con tefras preservadas en registros lacustres.

### 3.5. Centros eruptivos menores

#### 3.5.1. Cono La Angostura

##### 3.5.1.1. Ubicación

El cono La Angostura ( $39^{\circ} 47,449'S$ ;  $71^{\circ} 31,852' O$ ) se localiza al sur del volcán Lanín y separa al lago Epulafquen del Lago Huechulafquen (Figura 113a). Es un cono piroclástico monogénético producto de la interacción magma-agua cuyo cráter se eleva 50 m sobre el nivel del lago Epulafquen. El cono muestra una relación altura/diámetro baja (50:500 m) (Figura 114). Según su morfología se lo clasifica como "tuff ring" (Corbella y Alonso, 1989).





**Figura 113.** *a:* Mapa de localización del cono La Angostura. *b:* ubicación del sitio de muestreo (CA).



**Figura 114.** Foto del Cono La Angostura tomada desde el lago Epulafquen con vista hacia E. Nótese la baja relación entre la altura y el diámetro del cono.

### 3.5.1.2. Descripción y caracterización morfológica de los componentes

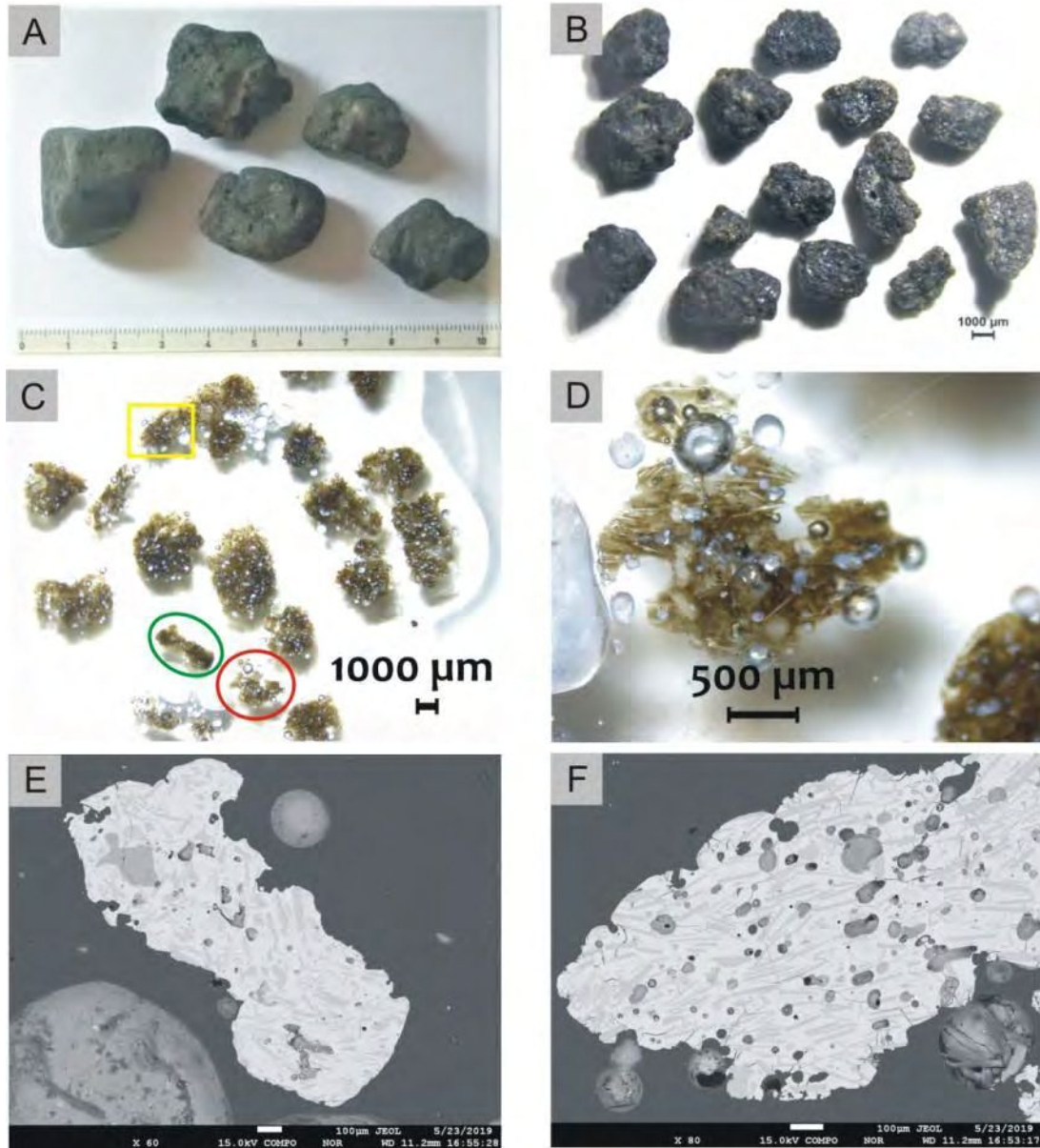
Los componentes del cono piroclástico fueron descritos por Corbella y Alonso, (1989) en un sector de la playa donde el lago generó un corte de un afloramiento. Identificaron un depósito con estructuras planares y ocasionalmente ondulosas, con un grado de selección muy bajo, a excepción de algunos niveles alternantes muy finos. Está constituido por hialoclastos de grano fino y lapilli escoriáceo de composición basáltica, acompañados en menor proporción por cristaloclastos y litoclastos graníticos con un diámetro de 30 a 50 cm.

Los vitroclastos están compuestos fundamentalmente por sideromelano microvesicular con escasos microlitos, acompañados de vitroclastos de taquilita subordinados, altamente vesiculados, con abundante contenido microlítico. Para corroborar lo descrito por Corbella y Alonso, se colectó una muestra de material piroclástico al este del cono en depósitos de playa, sobre la costa del lago Epulafquen ( $39^{\circ} 47' 35,18''$  S;  $71^{\circ} 31' 28,55''$  O) (Figura 113b). Macroscópicamente la muestra presenta una coloración oscura, con tonalidades amarillentas a anaranjadas, producto de la alteración por procesos de meteorización.

La fracción con un tamaño máximo de partícula entre 3,5 y 0,5 cm, está compuesta fundamentalmente por vitroclastos escoriáceos de color negro, angulosos a subangulosos, blocosos, con baja a muy baja vesicularidad (Figura 115A). Las vesículas de menor tamaño son circulares a ovaladas mientras que las de mayor tamaño son irregulares. En ocasiones, las paredes de las vesículas están tapizadas por minerales. En la fracción con un tamaño de partícula entre 0,5 cm y  $63 \mu\text{m}$ , los vitroclastos se observan de color castaño verdoso oscuro, son angulosos a subangulosos, con moderada a baja vesicularidad (Figura 115 B, C y D). Las vesículas son circulares a subcirculares. Los vitroclastos presentan un moderado contenido de microfenocristales caracterizados fundamentalmente por tablillas de plagioclasa que se disponen paralelamente entre sí en la mayoría de los fragmentos (Figura 115 E y F). Además, se identificaron cristales aislados de magnetita titanífera.

Cabe destacar la presencia de partículas conformadas por el agregado de fragmentos escoriáceos de distintos tamaños soldados entre sí, los cuales reciben el nombre de dominios lávicos clastogénicos.

Los litoclastos son escasos y su abundancia no supera el 3 %. Corresponden a fragmentos de rocas graníticas, subangulosos, con un tamaño máximo de partícula de 1,6 cm.



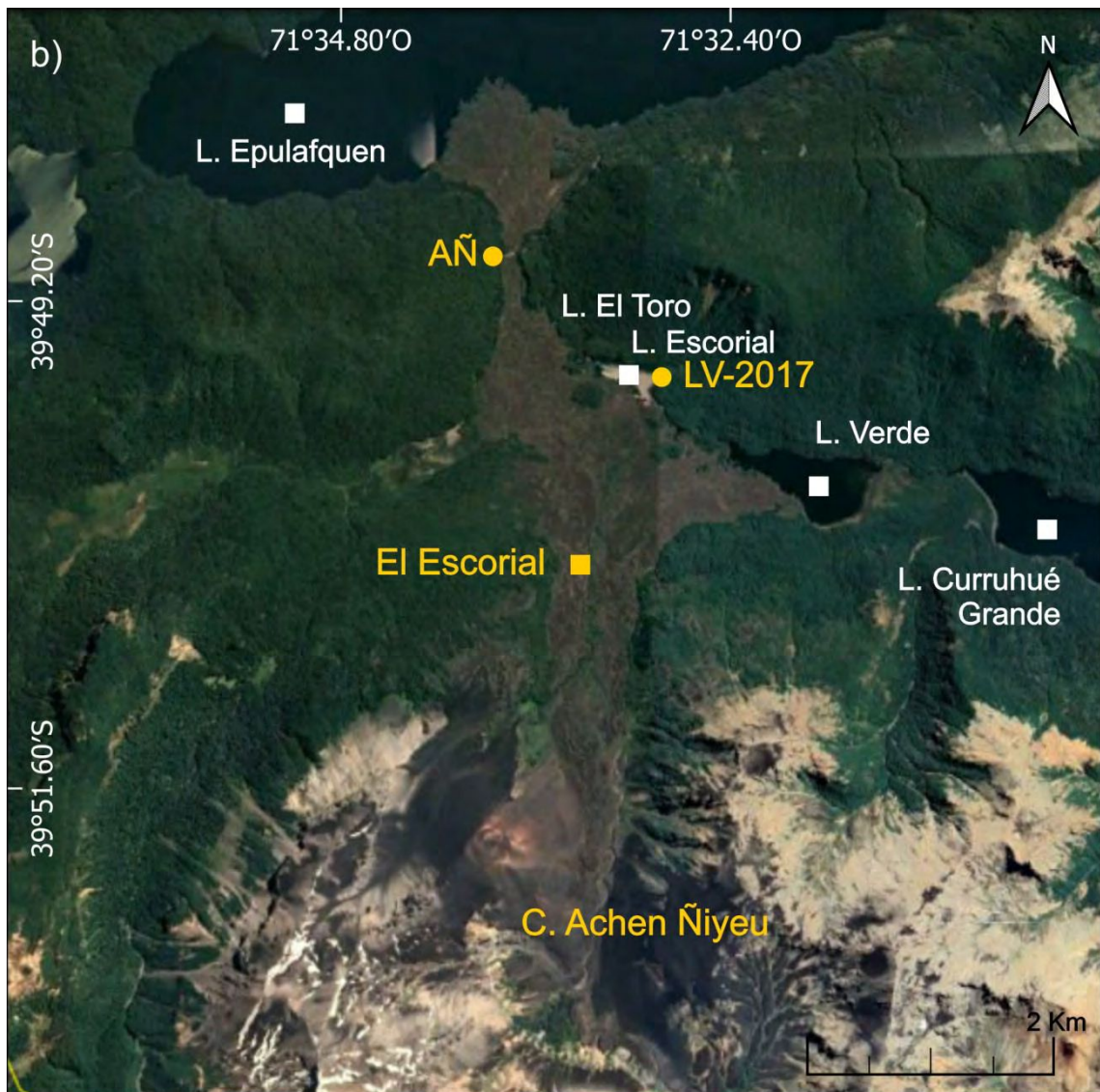
**Figura 115.** Vitroclastos del cono La Angostura. **A y B,** imágenes de lupa binocular; **A:** vitroclastos escoriáceos negros con un tamaño de partícula entre 2,5 – 3,5 cm. **B:** vitroclastos de color castaño verdoso oscuro con un tamaño de partícula entre 0,5 – 0,1 cm. **C y D:** imágenes de dos cortes pulidos a espejo vistos con lupa binocular; **C:** vitroclastos de color castaño verdoso oscuro. **D:** detalle del vitroclasto encerrado en el círculo rojo. **E y F:** BSEI. **E:** vitroclasto encerrado en el círculo verde. **F:** detalle de un vitroclasto señalado por el rectángulo amarillo. Nótese en E y F el ordenamiento paralelo de las tablillas de plagioclasa.

### 3.5.2. Cono Achen Ñiyeu

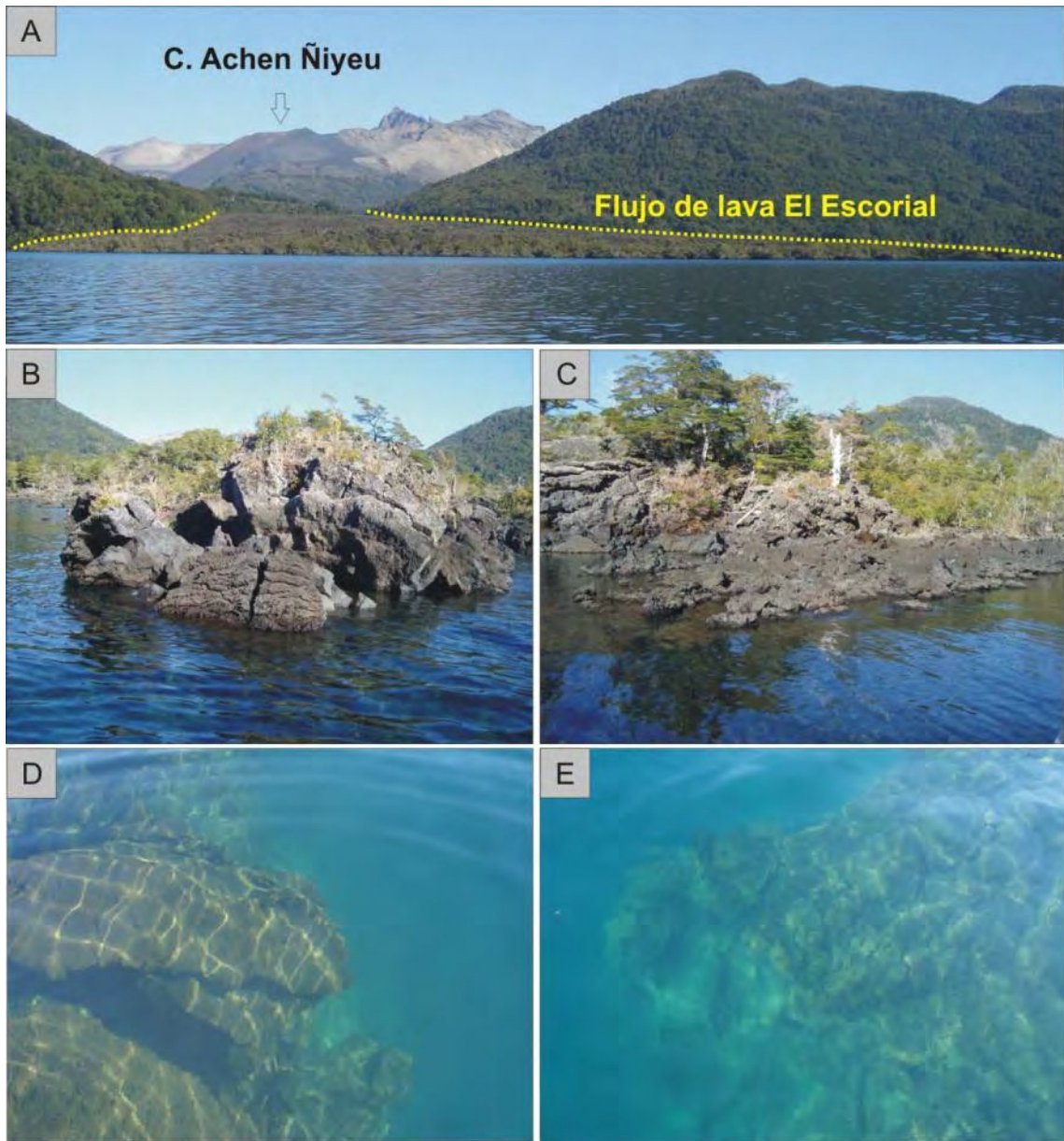
#### 3.5.2.1 Ubicación

El cono Achen Niyeu ( $39^{\circ} 51,805' S$ ;  $71^{\circ} 33,881' O$ ) es un cono piroclástico monogénético que se localiza en el flanco norte del volcán Huanquihue (Inbar et al., 1995) con un flujo de lava asociado denominado El Escorial (Figura 116a). Este flujo de lava se encauzó en un valle hasta llegar al lago Epulafquen donde desarrolló una morfología en forma de delta. En su camino se interpuso en el curso del sistema fluvial que drenaba hacia el lago Curruhué, fragmentándolo. Con lo cual, hacia el oeste el sistema fluvial se desvió hacia el lago Epulafquen donde se produce el desagüe del tramo superior y se formó una pequeña laguna sin nombre en contacto con la colada. Hacia el este, el endicamiento formó la laguna El Toro y avanzó sobre la preexistente laguna Verde (Figura 116b y 117).





**Figura 116. a:** Localización del cono piroclástico Achen Ñiyeu (Grupo Huanquihue). **b:** ubicación de los sitios de muestreo (LV-2017 y AÑ).

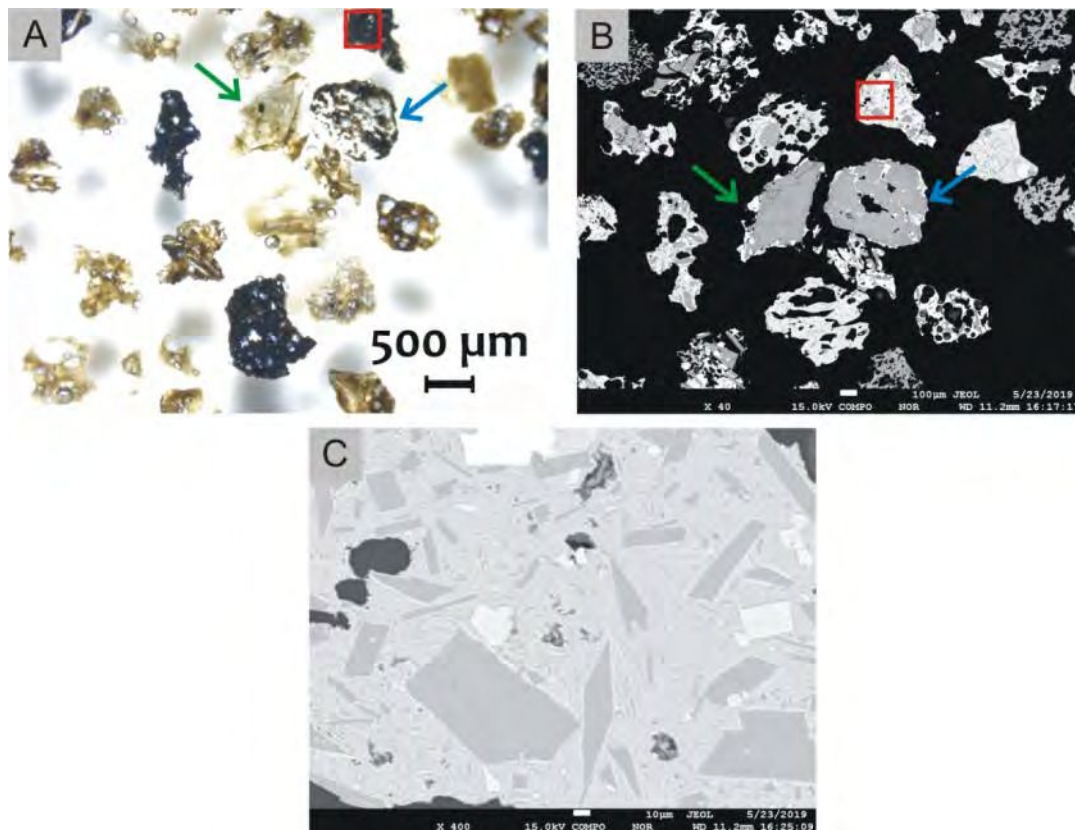


**Figura 117.** *A.* vista hacia el sur, nótese como el flujo de lava "El Escorial" se canalizó por el valle hasta llegar al lago Epulafquen. Detrás del cono se observa el Grupo Huanquihue. **B y C.** Fotografías del flujo de lava El Escorial en su ingreso al lago Epulafquen. Nótese como la vegetación se desarrolló sobre el flujo. **D y E.** Fotografías del flujo de lava por debajo del agua.

### 3.5.2.2. Descripción y caracterización morfológica de los componentes

Los productos piroclásticos emitidos desde este centro volcánico fueron colectados en superficie en dos sitios de muestreo (muestras LV-2017 y AÑ; Figura 116b).

Macroscópicamente la muestra se observa de color negro. Está compuesta por vitroclastos con dos tipos de morfologías características. Los más abundantes son los vitroclastos escoriáceos negros, angulosos, con moderada a alta vesicularidad. Las vesículas son irregulares. Presentan alto contenido de microfenocristales y microlitos. Estos están acompañados por vitroclastos de color castaño oscuro, angulosos, con alta a baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares y se observa coalescencia de burbujas. Presentan moderado a alto contenido de microfenocristales y microlitos (Figura 118 A, B y C).



**Figura. 118.** *A:* Imagen de un corte pulido a espejo visto con lupa binocular. Nótese los vitroclastos escoriáceos negros acompañados de fragmentos de color castaño oscuro. La flecha azul y verde señala dos piroclastos mixtos. **B y C:** BSEI. **B:** se señalan los dos piroclastos mixtos identificados en A. **C:** detalle de un vitroclasto escoriáceo con alto contenido de microfenocristales y microlitos correspondiente al rectángulo rojo en A y B.

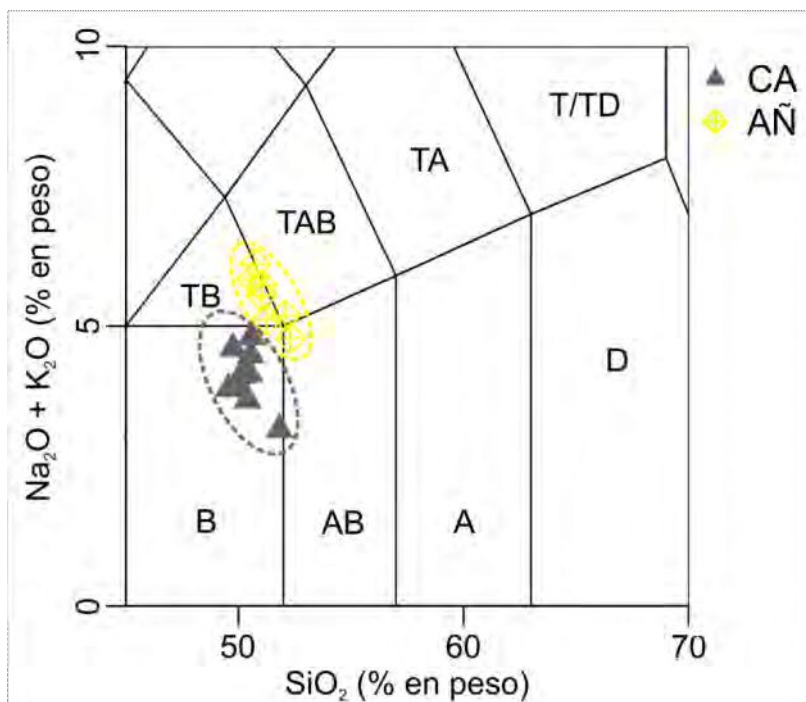
Los microfenocristales y microlitos están caracterizados por tablillas de plagioclasa, piroxeno y cristales de magnetita titanífera.

La fracción mineral está compuesta en su mayoría por plagioclasas y en menor proporción por piroxenos, euhedrales a subhedrales, con gruesas envolturas vítreas de color castaño oscuro a negro (Figura 118 A y B).

### 3.5.3. Caracterización geoquímica de los centros eruptivos menores

#### 3.5.3.1 Elementos mayores

La composición de los elementos mayores de los vitroclastos se determinó con el fin de caracterizar la composición química del vidrio de estas erupciones y tener así un recurso para reconocerlas en otros registros y, eventualmente, datarlas. Los resultados geoquímicos se presentan en la Tabla 4-Anexo 3 y se proyectaron en el diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986) (Figura 119).

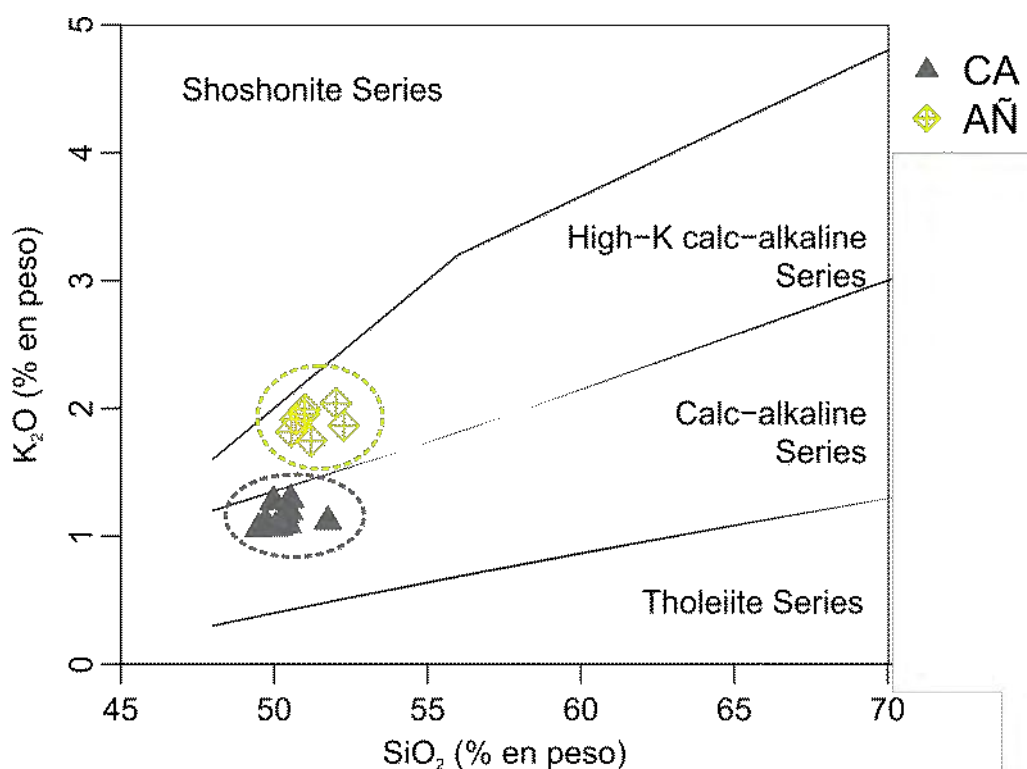


**Figura 119.** Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986) para las tefras del Cono La Angostura (CA) y el cono Achen Ñiyeu (AÑ).

Los vitroclastos del cono La Angostura son de composición basáltica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 49 y 52 % en peso y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 3 y 5 % en peso y contenidos de TiO<sub>2</sub> de ~1,5 % en peso, CaO de ~ 9 % en peso y FeO de ~ 14 %; Tabla 4-Anexo 3.

Los vitroclastos del cono Achen Ñiyeu son de composición andesítica-basáltica /traquibasáltica/ traquiandesítica-basáltica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 49,5 y 55,5 % en peso y de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 4,5 – 6 y en peso y contenido de TiO<sub>2</sub> entre 1,3 y 2,5 % en peso, CaO entre 6,5 y 7,8 % en peso y FeO entre 11 y 16,5 % en peso; Tabla 4-Anexo 3.

De acuerdo a la relación SiO<sub>2</sub> vs K<sub>2</sub>O (Peccerillo y Taylor 1976), los vitroclastos del cono La Angostura se ubican dentro del campo de la serie calcoalcalina (Figura 120). Por el contrario, los vitroclastos del cono Achen Ñiyeu, se ubican dentro del campo de la serie calcoalcalina de alto potasio (Figura 120).



**Figura 120.** Diagrama de clasificación de Peccerillo y Taylor (1976); para las tefras del cono La Angostura y Achen Ñiyeu.

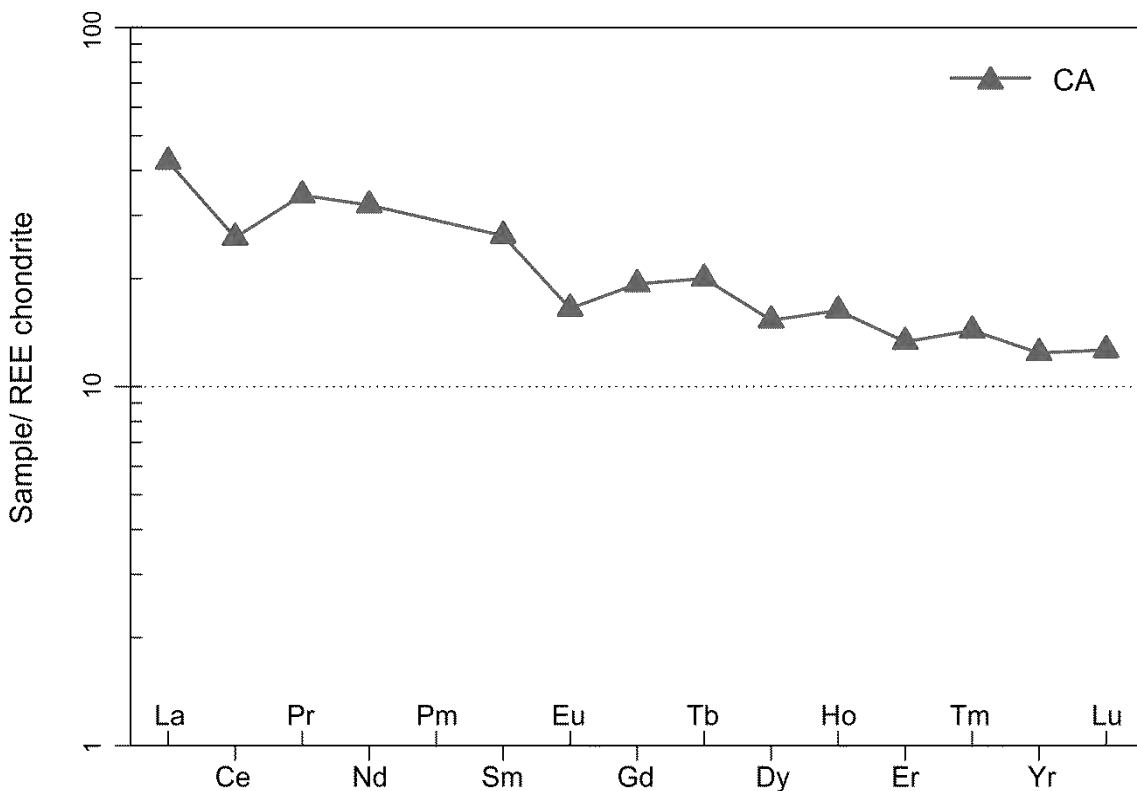
### 3.5.3.2. Elementos traza y tierras raras (REE)

En la figura 121 se representa el patrón de tierras raras normalizado a condrito del cono La Angostura (Nakamura, 1974). Por falta de presupuesto no se pudo analizar la tefra del cono Achen Ñiyeu.

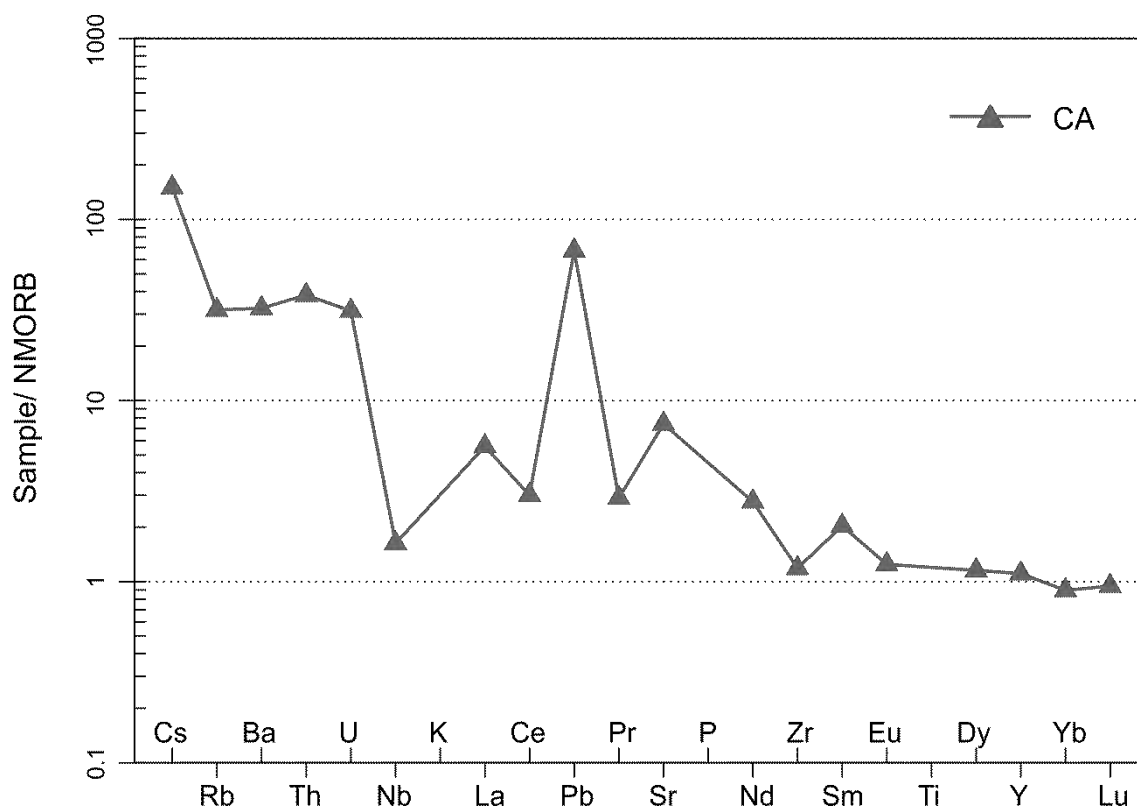
La tefra del cono La Angostura presenta un patrón caracterizado por un enriquecimiento en las tierras raras livianas (LREE: La, Ce, Pr y Nd) respecto a las tierras raras pesadas (HREE: Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), con ligeras anomalías negativas de Eu y Ce.

En el diagrama multielementos normalizado a NMORB (Sun y McDonough, 1989) se observa un enriquecimiento en elementos LILE (*large ion lithophile elements*) con respecto a HFSE (*high field strength elements*), con una anomalía negativa de Nb y una anomalía positiva de Pb (Figura 122).

Las composiciones de elementos traza y tierras raras se presentan en la Tabla 5-Anexo 3.



**Figura 121.** Patrón de tierras raras normalizado a condrito (Nakamura, 1974) para la tefra del cono La Angostura.



**Figura 122.** Diagrama multielementos normalizado a NMORB (Sun y McDonough, 1989) del cono La Angostura.

Teniendo en cuenta la morfología de los vitroclastos y la impronta geoquímica de ambos eventos tan distintivos, tienen un gran potencial para ser identificados en otros sitios y ser datados con mayor exactitud.

Ambos conos piroclásticos son de edad postglacial. Los productos de emisión del cono Achen Ñiyeu cubren parte del flujo de lava El Escorial para la cual se obtuvo una edad máxima de 1230 a 1170 a. Cal AP (ver capítulo 3.4, sección 3.4.3.7). Si bien se desconoce la edad del cono la Angostura, el bajo grado de alteración de los vitroclastos comparado con otros depósitos de superficie más antiguos altamente alterados de edad postglacial, es indicativo de un origen reciente.

## 4. Discusión

### 4.1. Identificación de la fuente volcánica

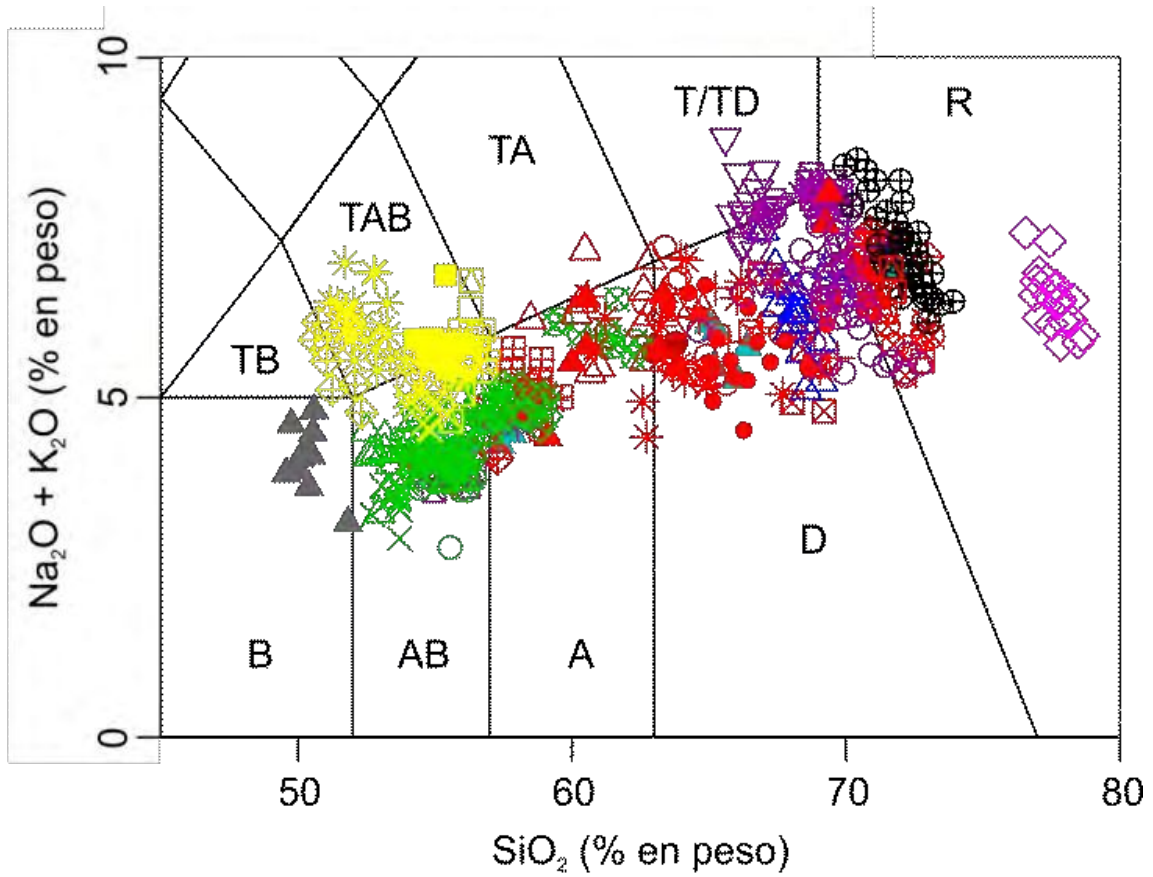
Con el fin de identificar la fuente de origen de los distintos niveles de tefra, en principio se compararon las morfologías de los vitroclastos con muestras de tefra de superficie correspondientes a los centros volcánicos conocidos. Luego, se comparó la geoquímica de elementos mayores y traza con datos de referencia propios y datos reportados por otros autores. Cuando la morfología de las partículas o la geoquímica no resultó concluyente, se tuvo en cuenta la asociación mineral y la presencia de minerales secundarios como pirita con textura framboidal para asignar la fuente de origen.

Los resultados de la geoquímica de elementos mayores de las tefras identificadas en los registros lacustres y de superficie se proyectaron en un diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986) (Figura 123) y en el diagrama de clasificación de Peccerillo y Taylor (1976) (Figura 124). Las tefras se agruparon según su afinidad geoquímica.

Se identificaron 10 grupos composicionales, que responden a focos eruptivos distintos. Cada grupo se representó con un color distinto en las Figuras 123 y 124.

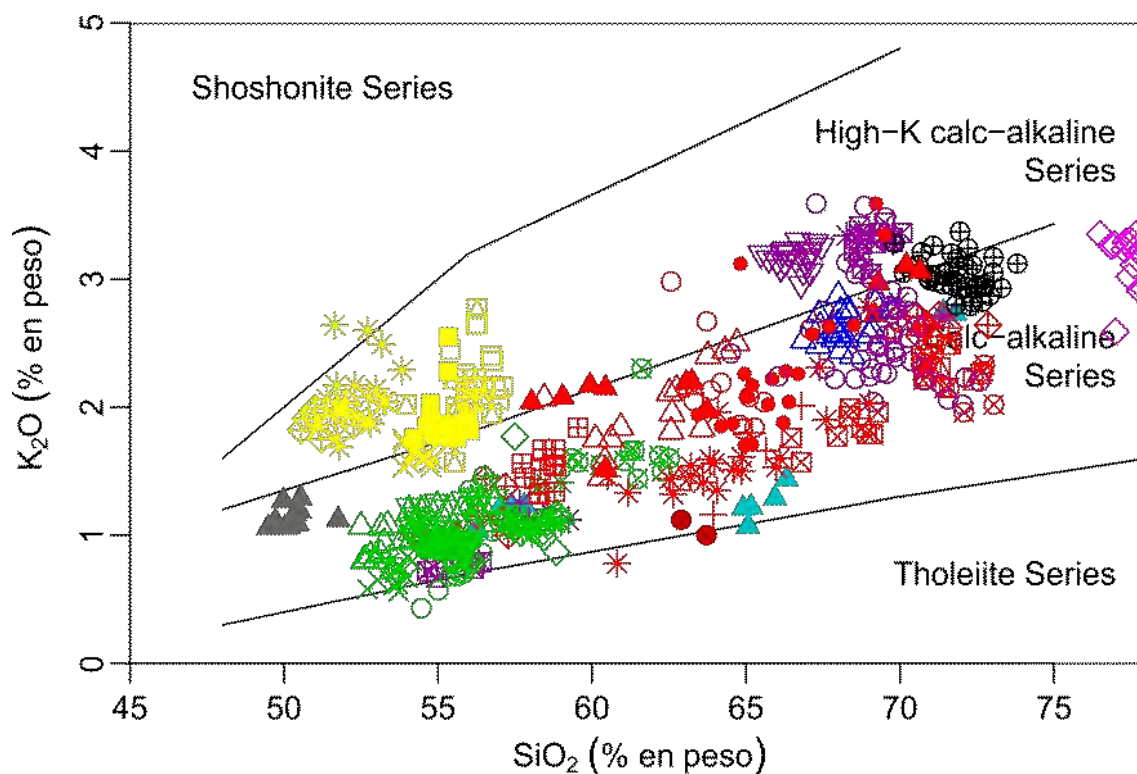
Se puede observar claramente que los grupos composicionales se superponen y no siempre la geoquímica es concluyente.

Las tefras (HM-T13, la fracción gruesa de HM-T14, H-T2, H-T3, H-T5, H-T7, C-T5, C-T28, C-T31, C-T64) compuestas por lágrimas de Pele, lágrimas rotas y fragmentos escoriáceos negros; poseen una composición que varía desde andesítica-basáltica a andesítica (Figura 123), con afinidad subalcalina de tipo calcoalcalina (Figura 124). La morfología de los vitroclastos es coincidente con la muestra colectada en superficie (V-T1). Los patrones de tierras raras de las tefras (HM-T13, H-T3, H-T4, H-T5, H-T6, H-T7, C-T64), a su vez, coinciden con el patrón de REE de la muestra V-T1 (Figura 126). Tanto la morfología de los vitroclastos (V-T1) como la geoquímica de elementos mayores de este grupo coincide con datos de referencia informados por Fontijn et al. (2016) para el volcán Villarrica, (Figura 125).



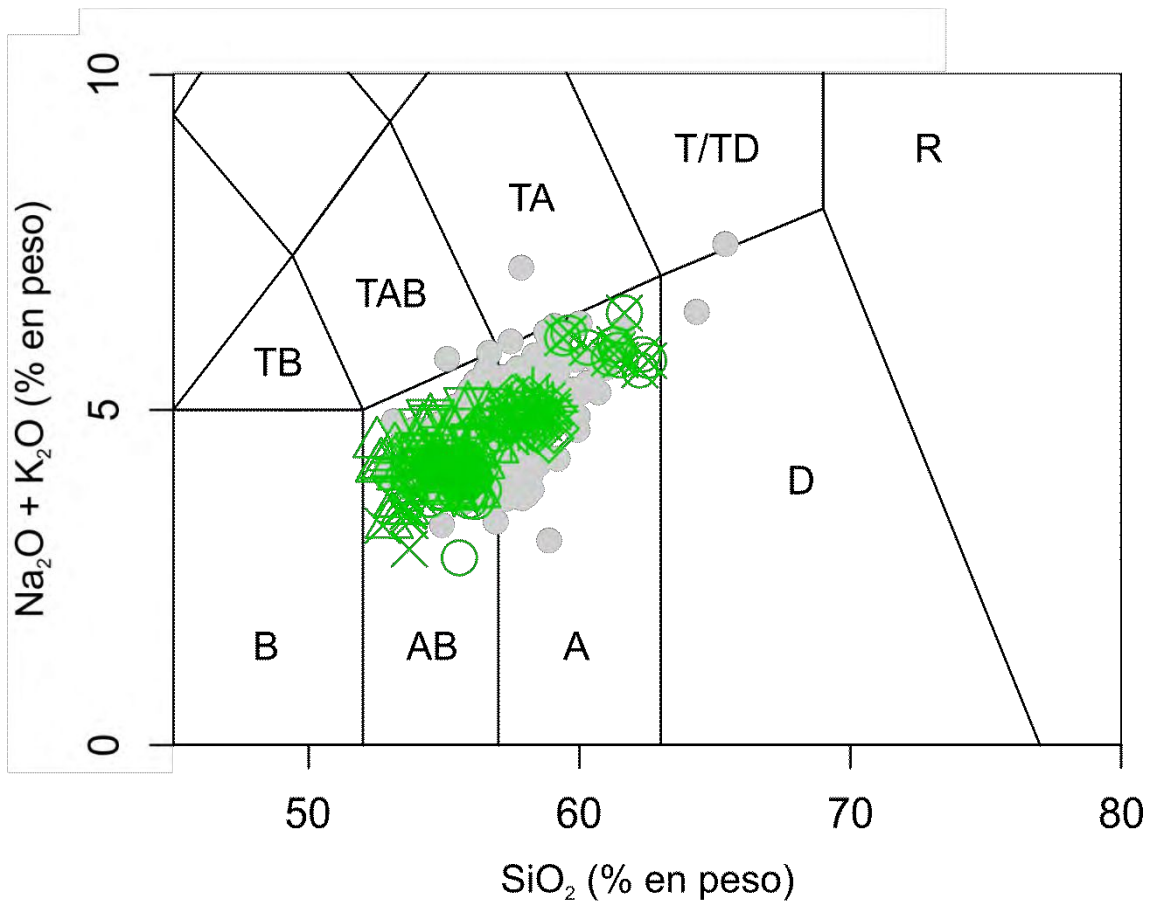
- |         |          |         |         |          |
|---------|----------|---------|---------|----------|
| ◆ HM-T3 | ○ HM-T13 | ■ HM-T9 | ▽ LNN   | ▲ HM-T1  |
| ⊠ C-T1  | ● HM-T14 | □ H-T1  | ○ LNF   | ● HM-T14 |
| ⊞ C-T12 | ⊕ H-T2   | × C-T40 | ⊞ HM-T5 | ⊕ C-T8   |
| ⊠ C-T13 | * H-T3   | * C-T62 | * HM-T8 | ◇ C-T10  |
| ▲ C-T17 | ⊞ H-T5   | ⊞ C-T63 |         | △ C-T47  |
| ○ C-T44 | + H-T7   | ◆ AÑ    |         | ▲ CA     |
| ● C-T50 | × C-T5   |         |         |          |
| * C-T53 | △ C-T28  |         |         |          |
| + C-T55 | ⊞ C-T31  |         |         |          |
| △ C-T61 | ◇ C-T64  |         |         |          |
| ⊠ CU    |          |         |         |          |

**Figura 123.** Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986) para las tefras identificadas en los registros lacustres y de superficie. B: Basalto, AB: Andesita-basáltica, A: Andesita, D: Dacita, R: Riolita, T/TD: Traquita/traquidacita, TA: Traquiandesita, TAB: Traquiandesita basáltica, TR: Traquibasalto.



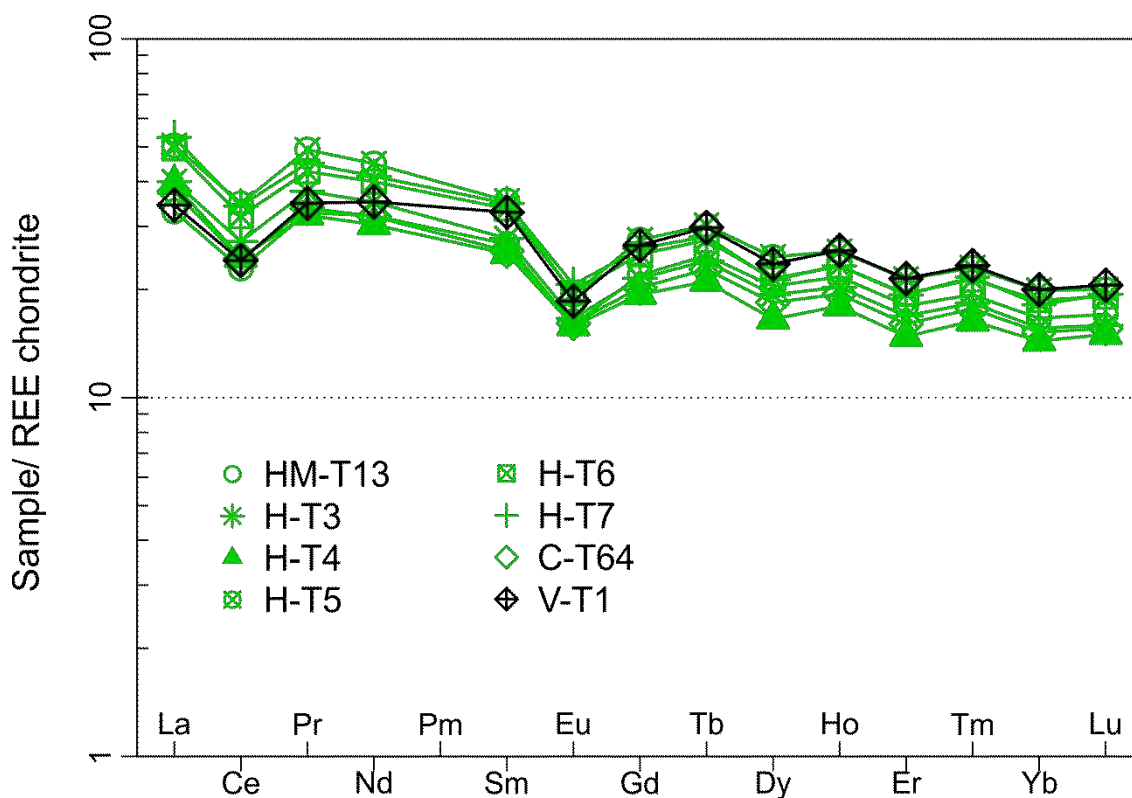
- |         |          |         |         |          |
|---------|----------|---------|---------|----------|
| ◆ HM-T3 | ○ HM-T13 | ■ HM-T9 | ▽ LNN   | ▲ HM-T1  |
| ⊠ C-T1  | ● HM-T14 | □ H-T1  | ○ LNF   | ● HM-T14 |
| ⊞ C-T12 | ⊕ H-T2   | × C-T40 | ⊠ HM-T5 | ⊕ C-T8   |
| ⊠ C-T13 | * H-T3   | * C-T62 | * HM-T8 | ◇ C-T10  |
| ▲ C-T17 | ⊞ H-T5   | ■ C-T63 |         | △ C-T47  |
| ○ C-T44 | + H-T7   | ◆ AÑ    |         | ▲ CA     |
| ● C-T50 | × C-T5   |         |         |          |
| * C-T53 | △ C-T28  |         |         |          |
| + C-T55 | ⊞ C-T31  |         |         |          |
| △ C-T61 | ◇ C-T64  |         |         |          |
| ⊠ CU    |          |         |         |          |

**Figura 124.** Diagrama de clasificación de Peccerillo y Taylor (1976),  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  para las tefras identificadas en los registros lacustres y de superficie.



- |          |         |                      |
|----------|---------|----------------------|
| ○ HM-T13 | ⊠ H-T5  | ⊠ C-T31              |
| ● HM-T14 | + H-T7  | ◇ C-T64              |
| ⊕ H-T2   | × C-T5  | ● VILLARRICA         |
| * H-T3   | △ C-T28 | Fontijn et al., 2016 |

**Figura 125.** Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986), para las tefras HM-T13, HM-T14, H-T2, H-T3, H-T5, H-T7, C-T5, C-T28, C-T31 y C-T64. El área en color gris representa los datos reportados por Fontijn et al. (2016) para el volcán Villarrica. B: Basalto, AB: Andesita-basáltica, A: Andesita, D: Dacita, R: Riolita, T/TD: Traquita/traquidacita, TA: Traquiandesita, TAB: Traquiandesita-basáltica, TR: Traquibasalto.



**Figura 126.** Patrones de tierras raras normalizados a condrito (Nakamura, 1974) para las tefras (HM-T13, H-T3, H-T4, H-T5, H-T6, H-T7, C-T64). La tefra V-T1 se utilizó como patrón de referencia.

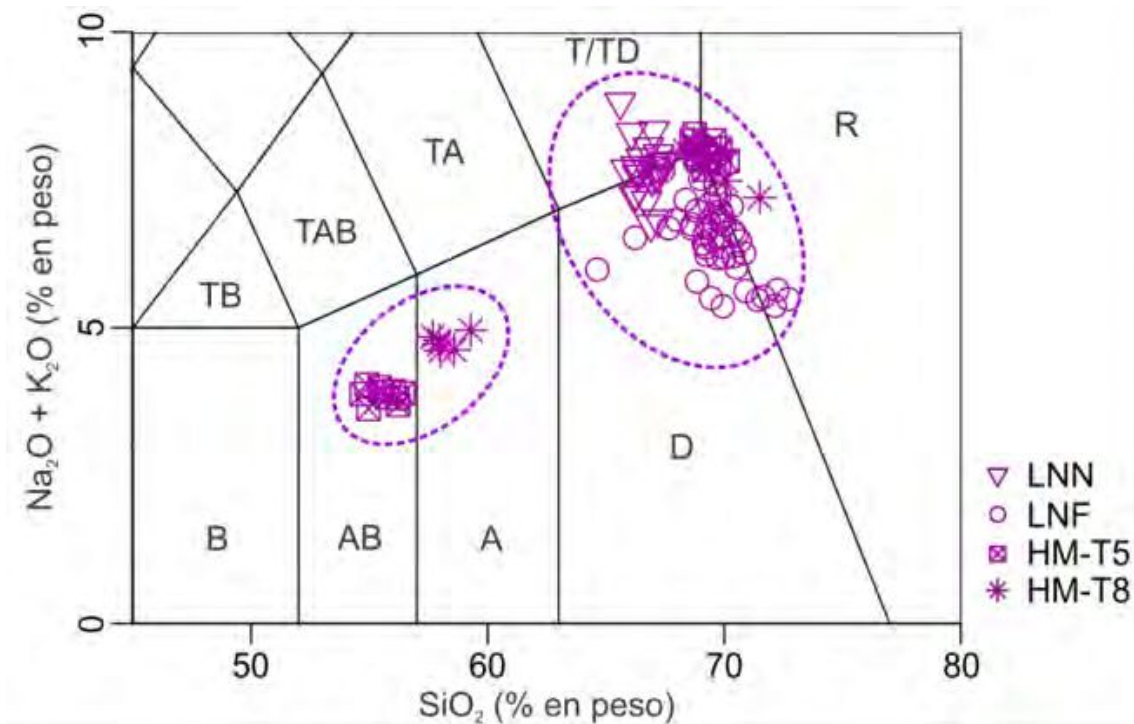
De esta forma, sobre la base de la morfología de los vitroclastos, geoquímica de elementos mayores y traza; las tefras HM-T13, H-T2, H-T3, H-T4, H-T5, H-T6, H-T7, C-T5, C-T28, C-T31 y C-T64 se atribuyen a erupciones del volcán Villarrica.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, las tefras C-T6, C-T20, C-T22, C-T30, C-T32, C-T33, C-T37, C-T65, C-T66, C-T67, C-T68 y C-T69 sobre la base de la morfología distintiva de los vitroclastos también se atribuyen a erupciones de dicho volcán.

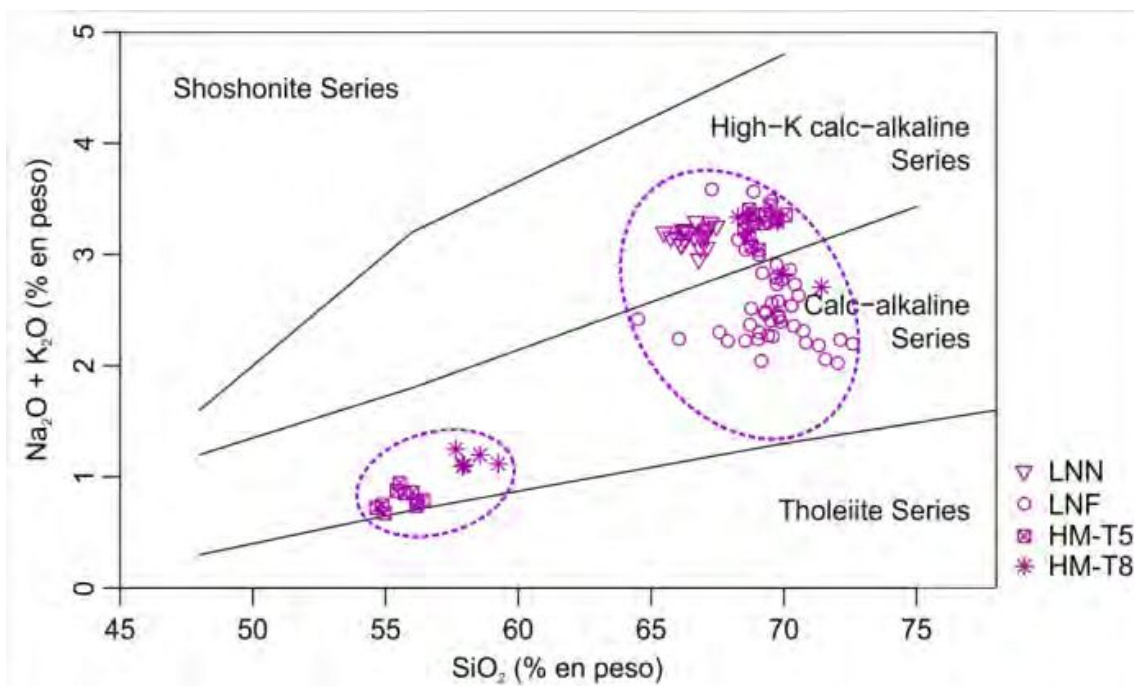
Las tefras más jóvenes identificadas en los registros de la laguna Huaca Mamuil y Carirriñe (HM-T14 y C-T70) están compuestas por vitroclastos cuyas morfologías son incompatibles a un mismo evento eruptivo. Teniendo en cuenta esto y la posición estratigráfica de estos niveles, se comparó la morfología de los vitroclastos con las muestras colectadas en superficie de los productos emitidos en el año 2015 por los volcanes Villarrica y Calbuco. Se observó una coincidencia morfológica inequívoca entre los componentes. De esta forma, se atribuye que estas tefras representan los

productos de emisión de estos dos centros eruptivos. La baja tasa de sedimentación de las dos lagunas, sumado al corto lapso de tiempo transcurrido entre ambas erupciones, no permitió que se depositaran sedimentos entre ambos niveles. Las partículas del volcán Calbuco con granulometría más fina se acomodaron en los huecos entre las partículas más gruesas previamente depositadas del volcán Villarrica, observándose en la placa radiográfica como un único nivel; referirse al capítulo 3.1 Figura 12 y capítulo 3.3 Figura 52 B. Por el contrario, en el lago Huechulafquen, la tefra H-T8 corresponde a la ceniza del volcán Calbuco y H-T7 a la ceniza del volcán Villarrica. En este lago los espesores de ambas erupciones son mayores, pudiéndolas identificar individualmente. Esto se observa con claridad en la placa radiográfica, referirse al capítulo 3.2 Figura 35.

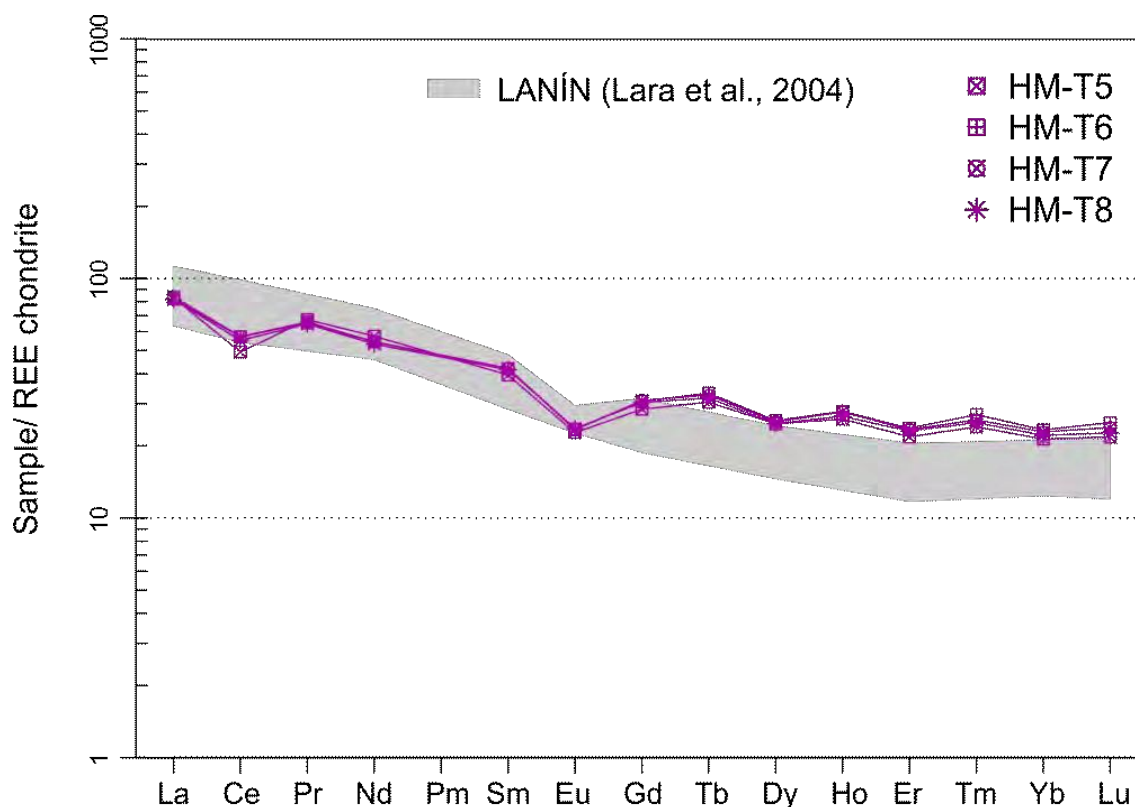
Las tefras HM-T5 y HM-T8 presentan al menos dos poblaciones de vidrio, una de composición andesítica basáltica a andesítica, con afinidad calcoalcalina y una población en el límite entre los campos traquidacítico-dacítico-riolítico, con afinidad calcoalcalina de alto potasio. La población más representativa de composición ácida, coincide en el campo con la geoquímica de elementos mayores del depósito piroclástico de la ladera NE del volcán Lanín y con la composición del flujo piroclástico (Figuras 127 y 128). Asimismo, el patrón de tierras raras de las tefras HM-T5, HM-T6, HM-T7 y HM-T8, es coincidente con los datos informados por Lara et al. (2004) para el depósito piroclástico de la ladera NE de este volcán (Figura 129). Las diferencias composicionales observadas en los patrones de tierras raras con los datos reportados por estos autores reflejan el tipo de material analizado y el método aplicado en el análisis.



**Figura 127.** Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986), para las tefras HM-T5 y HM-T8, comparadas con la geoquímica del depósito piroclástico de la ladera NE del volcán Lanín (LNN) y con la composición de los vitroclastos pumíceos del flujo piroclástico localizado en la costa sur del lago Tromen (LNF). B: Basalto, AB: Andesita basáltica, A: Andesita, D: Dacita, R: Riolita, T/TD: Traquita/traquidacita, TA: Traquiandesita, TAB: Traquiandesita basáltica, TR: Traquibasalto.



**Figura 128.** Diagrama de clasificación de Peccerillo y Taylor (1976),  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$ .

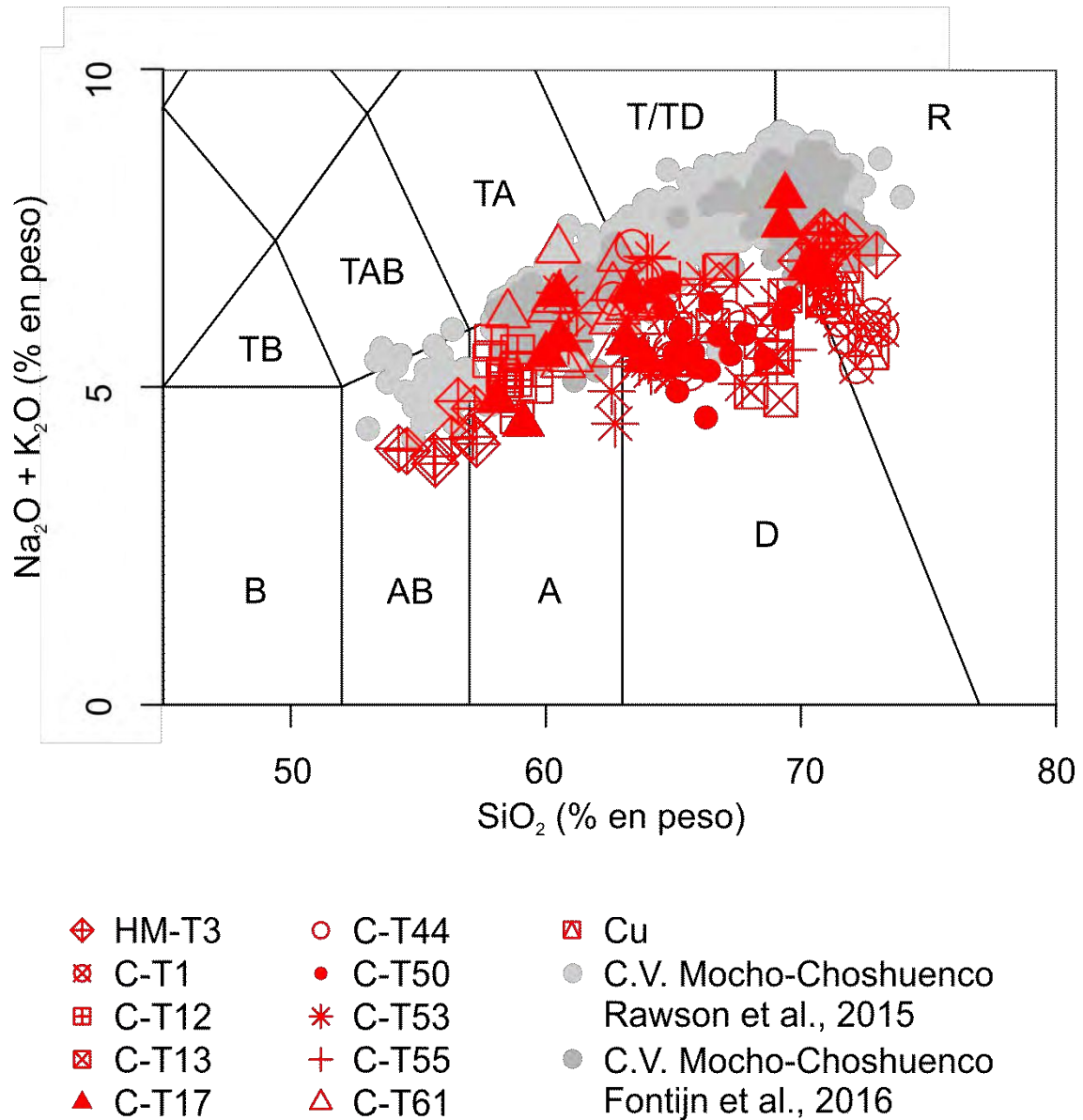


**Figura 129.** Patrones de tierras raras (REE) normalizados a condrito (Nakamura, 1974) para las tefras (HM-T5, HM-T6, HM-T7 y HM-T8). El área sombreada en color gris representa los datos reportados por Lara et al. (2004) de un depósito piroclástico en la ladera NE del volcán Lanín.

Sobre la base de la geoquímica de elementos mayores y traza, y la morfología distintiva de los vitroclastos, las tefras HM-T5, HM-T6, HM-T7 y HM-T8 se atribuyen al volcán Lanín, mientras que de acuerdo a la morfología distintiva de los vitroclastos de las tefras HM-T2 y HM-T4, éstas podrían ser atribuidas tentativamente también a dicho volcán.

Las tefras HM-T3, C-T1, C-T12, C-T13, C-T17, C-T44, C-T50, C-T53, C-T55, C-T61 y Cu presentan desde una única población a tres poblaciones muestrales, en donde los vitroclastos varían desde composiciones andesíticas, dacíticas y riolíticas, con afinidad calcoalcalina. La mayoría de estas tefras presentan piritas con textura framboidal ocupando las cavidades de las vesículas. La geoquímica de elementos mayores es coincidente con los datos reportados por Rawson et al. (2015) y Fontijn et al. (2016) para el Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco (Figura 130). Sobre la base de la morfología de los vitroclastos, geoquímica de elementos mayores y posición

estratigráfica, estas tefras se atribuyen a dicho complejo volcánico. Cabe señalar que la presencia de pirita en vitroclastos es poco común y fue identificada por Rawson et al. (2015) en depósitos piroclástico atribuidos al Complejo Volcánico Mocho-Choshueno. Esta característica distintiva representó una herramienta adicional para atribuir estas tefras a este complejo volcánico.



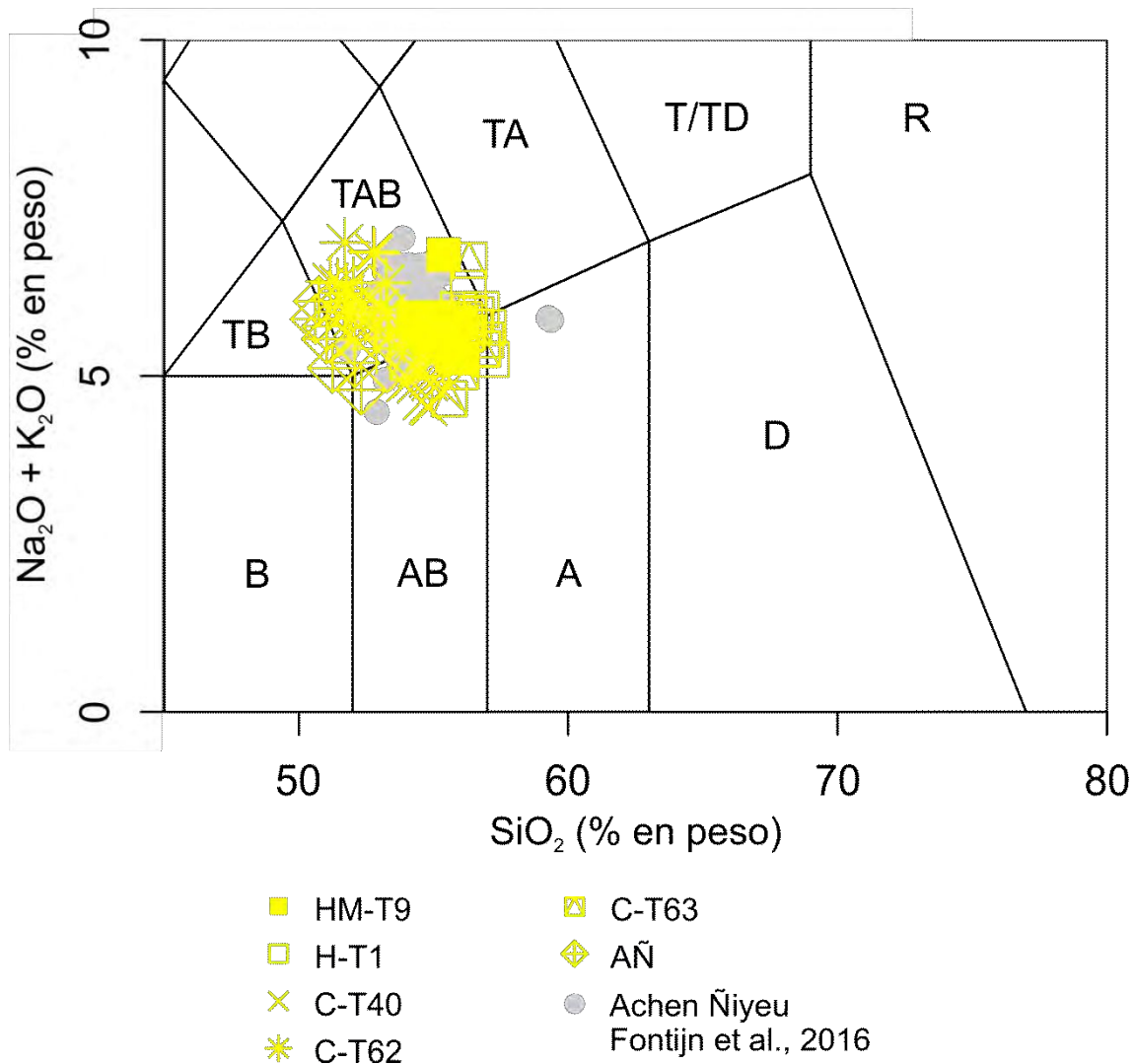
**Figura 130.** Diagrama de clasificación TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986) para las tefras (HM-T3, C-T1, C-T12, C-T13, C-T17, C-T44, C-T50, C-T53, C-T55, C-T61, Cu). Las áreas en color gris respresentan los datos reportados por Rawson et al. (2015) y Fontijn et al. (2016), para el CVMC. B: Basalto, AB: Andesita basáltica, A: Andesita, D: Dacita, R: Riolita, T/TD: Traquita/traquidacita, TA: Traquiandesita, TAD: Traquiandesita basáltica, TR: Traquibasalto.

Las tefras C-T1 y C-T13 se atribuyen a las erupciones más antiguas denominadas Neltume y Pirehueico, respectivamente, mientras que la tefra C-T17 se atribuyó a la erupción Huilo del Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco (cf. Rawson et al., 2015). A su vez, la tefra C-T50, C-T53, C-T55 y C-T61 también fueron adjudicadas a este centro volcánico, aunque por la morfología de los vitroclastos y geoquímica la tefra C-T50 corresponde al evento numerado MC12, la tefra C-T53 se atribuyó a la erupción Enco, la tefra C-T55 a la erupción Hua Hum y la tefra C-T61 se interpretó como correspondiente a la erupción Pimaiquén de este complejo volcánico (cf. Rawson et al., 2015). La morfología de los vitroclastos se comparó con datos de referencia de Rawson et al. (2015) y la geoquímica se comparó con datos reportados por Rawson et al. (2015) y Fontijn et al. (2016; Figura 130).

La morfología de los vitroclastos de la tefra C-T61 caracterizada por partículas vítreas blocosas, es indicativa de la interacción magma-agua producto de una erupción hidromagmática, en coincidencia con lo reportado por Rawson et al. (2015).

La tefra C-T8 compuesta por dos poblaciones de vidrio se atribuyó al Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle en coincidencia con la geoquímica informada por Fontijn et al. (2016).

Las tefras HM-T9, H-T1, C-T40, C-T62, C-T63 y AÑ presentan una población de vitroclastos de composición traquiandesítica basáltica / andesítica basáltica / traquibasalto, con afinidad calcoalcalina de alto potasio (Figura 123 y 124). Estas tefras coinciden con la geoquímica de elementos mayores informada por Fontijn et al. (2016) (Figura 131). Sobre la base de la morfología de las partículas y composición química (cf. Fontijn et al., 2016), estas tefras se atribuyen al Grupo Huanquihue. Las tefras HM-T9, H-T1 y C-T63 se atribuyen a la erupción histórica del cono piroclástico Achen Ñiyeu (cf. Fontijn et al., 2016), permitiendo la correlación entre los tres registros lacustres.



**Figura 131.** Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (Le Bas et al., 1986) para las tefras (HM-T9, H-T1, C-T40, C-T62, C-T63, AÑ). El área en color gris respresenta los datos reportados por Fontijn et al. (2016), para el cono piroclástico Achen Ñiyeu. B: Basalto, AB: Andesita-basáltica, A: Andesita, D: Dacita, R: Riolita, T/TD: Traquita/traquidacita, TA: Traquiandesita, TAB: Traquiandesita-basáltica, TR: Traquibasalto.

Sobre la base de la morfología distintiva de los vitroclastos la tefra HM-T1 se atribuyó a la erupción del volcán Antuco denominada Petroquines y datada en 1055-1185 años AP (895-765 AD; *comunicación personal*, Jorge Romero).

Sobre la base de la morfología distintiva de los vitroclastos y una impronta geoquímica característica, en coincidencia con lo informado por Alloway et al. (2017), la tefra C-T10 está compuesta por una población de vitroclastos con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre el 77 y el 78,5%. Este evento se atribuyó a la erupción del volcán Chaitén denominada

*Chana Tephra* o *Chal* por Alloway et al. (2017) y Naranjo y Stern (2004), respectivamente, datada en 9594-9839 años Cal AP (Moreno et al., 2014). Por último, la tefra C-T47 compuesta por dos poblaciones de vidrio, se atribuyó a una erupción del volcán Quetrupillán, en coincidencia con la geoquímica informada por Fontijn et al. (2016).

#### **4.2. Correlación de los registros lacustres y depósitos de superficie**

La correlación entre los registros sedimentarios lacustres se llevó a cabo sobre la base de las características petrográficas de las tefras (color, componentes, morfología distintiva de vitroclastos, asociación mineral), geoquímica de elementos mayores, traza y tierras raras, susceptibilidad magnética, posición estratigráfica y edades modeladas. Es importante destacar que en función de la localización de los cuerpos lacustres hay diferencias tanto de espesor como de granulometría de los depósitos. Esto se ve reflejado en los valores de susceptibilidad; como lo señala (St-Onge et al., 2007). El mismo criterio se utilizó para la correlación con los depósitos preservados en superficie. A partir de toda la información disponible se evaluaron posibles patrones de dispersión. Los registros lacustres se correlacionaron con cinco eventos explosivos: (i) la erupción histórica del cono piroclástico Achen Ñiyeu (Grupo Huanquihue), (ii) una erupción del volcán Mocho-Choshuenco, (iii) y (iv) tefras del volcán Villarrica (la más joven correspondiente a la erupción del 3 de marzo de 2015), y (v) la erupción del volcán Calbuco del 22 y 23 de abril de 2015 (Figura 132).

Nótese que en el registro del lago Huechulafquen, la tefra atribuida al volcán Villarrica subyace inmediatamente a la tefra del volcán Calbuco, con ausencia de sedimentos entre ambos niveles. Esta observación constata la baja tasa de sedimentación del lago y el corto lapso de tiempo transcurrido entre ambos eventos. En coincidencia con lo informado por el SERNAGEOMIN, se estima que el eje principal de la pluma de la erupción del volcán Villarrica tuvo lugar hacia el SE, motivo por el cual se registró un mayor espesor en el lago Huechulafquen. Por el contrario, los delgados espesores reconocidos en los registros de la laguna Huaca Mamuil y Carirriñe indicarían el depósito correspondiente al borde de pluma. La ceniza del volcán Calbuco con un tamaño de partícula entre 125 y 63  $\mu\text{m}$ , se acomodó al espacio entre las partículas de mayor tamaño (500-250  $\mu\text{m}$ ) de la tefra del volcán Villarrica, de manera tal que en las

placas radiográficas y en la inspección visual de los sedimentos se identificó a ambas erupciones como un único nivel (referirse al capítulo 3.1, Figura 12 y capítulo 3.3, Figura 52 B).

Los registros lacustres se correlacionaron con los depósitos de superficie a partir de tres eventos con características conspicuas (Figura 133). Dos atribuidos a erupciones del volcán Mocho-Choshuenco conocidas como Neltume y Pirehueico; y el tercero correspondiente a los productos de emisión del cono piroclástico Achen Ñiyeu (Grupo Huanquihue).

Para evaluar los depósitos identificados y las variaciones de espesor registradas en las diferentes secciones estratigráficas, se utilizó como referencia los mapas de isópacas elaborados por Rawson et al. (2015; Figura 134).

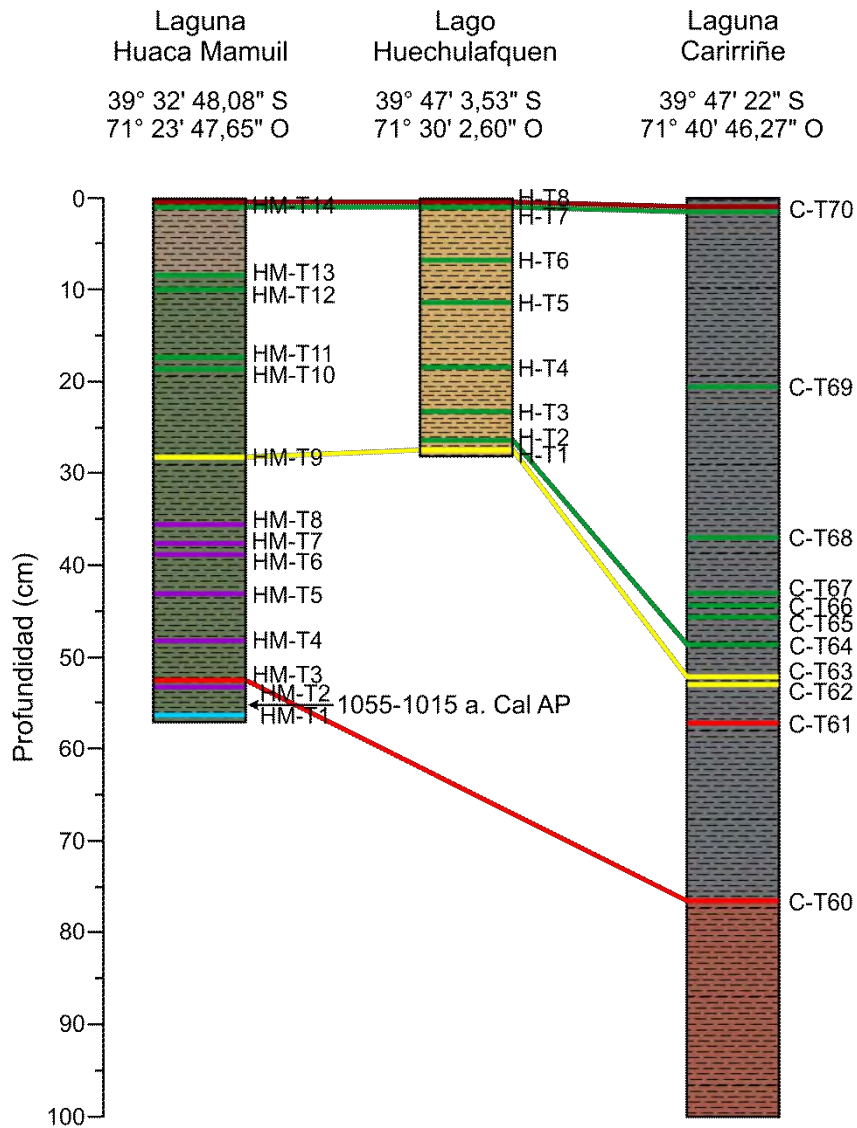
El depósito de la erupción Neltume solo se registró en el perfil Cu1, correspondiente al más próximo a la frontera argentino-chilena. No se observó continuidad hacia el este, dado el alto grado de alteración de los depósitos por los procesos de meteorización y edafización. Lo observado coincide con lo informado por Rawson et al. (2015), que establece el eje de dispersión principal de la pluma con dirección hacia el norte y limitada extensión lateral. A su vez, describe una variación de coloración dentro del depósito, lo cual concuerda con lo observado en el perfil, (capítulo 3.4, sección 3.4.3.1). Por el contrario, los depósitos de la erupción Pirehueico se pueden seguir lateralmente a lo largo del valle de los lagos Curruhué Grande y Curruhué Chico. Se observa que los espesores son más delgados próximos al centro eruptivo y aumentan hacia el este (varían desde 10 a ~50 cm de espesor). Esta variación se debe a que en zonas proximales se describen los depósitos coincidentes con el margen de la pluma mientras que a mayor distancia hacia el este, la localización de los depósitos coinciden con el eje principal de la pluma. Es importante destacar que esta erupción fue identificada al norte del volcán Lanín, en el perfil LT-120515 y atribuido al nivel LT-1A0. Con lo cual, en base al mapa isopáquico informado por Rawson et al. (2015) se incorpora una nueva curva con una distribución tentativa que incluye este depósito (Figura 134).

El depósito en superficie correspondiente a la erupción del cono piroclástico Achen Ñiyeu, se identificó próximo al centro eruptivo. Sin embargo, este evento se preservó en los tres registros lacustres. Estos últimos tres eventos por su extensión regional y las características distintivas de las tefras se consideran marcadores cronoestratigráficos de referencia en la región. Las edades modeladas de cada episodio se presentan en el capítulo 3.3, sección 3.3.8.

La erupción del volcán Chaitén renombrada como Chana Tephra (Alloway et al., 2017)/ Chal (sensu stricto Naranjo y Stern, 2004) datada en 9594-9839 años Cal AP (Moreno et al., 2014) se identificó a 49 cm de la base de la sucesión con un espesor de 1,3 cm y granulometría gruesa con un tamaño de partícula entre 500 y 63  $\mu\text{m}$ . Se considera un nivel cronoestratigráfico regional excelente con gran distribución areal, teniendo en cuenta que el volcán Chaitén se localiza a 350 Km al sur de la zona de estudio. Este evento, a su vez, fue identificado más al norte a  $\sim 39^\circ$  de latitud sur por Fontijn et al. (2016) en el registro sedimentario de la laguna Las Ranas y lago Villarrica en Chile.

A lo largo de los 7 m de registro se identificaron cuatro eventos atribuidos a erupciones del volcán Mocho-Choshuenco que cumplirían con las características (espesor potente, granulometría gruesa, morfologías de vitroclastos distintivas, impronta geoquímica característica) requeridas para ser considerados potenciales marcadores cronoestratigráficos. Se propone a las tefras C-T53 (erupción Enco), tefra C-T55 (erupción Hua Hum), tefra C-T17 (erupción Huilo) y tefra C-T50 (evento denominado MC-12, Rawson et al., 2015).

Respecto a la correlación entre las tefras lacustres y depósitos de superficie se estableció un marco cronoestratigráfico de referencia para los alrededores del volcán Lanín.



Referencias:

- |  |                        |  |   |
|--|------------------------|--|---|
|  | Villarrica             |  | Gyttja de color marrón oscuro (brownish black, 5YR 2/1)                                     |
|  | Lanín                  |  | Gyttja de color negro verdoso (greenish black, 5GY 4/1) a negro oliva (olive black, 5Y 2/1) |
|  | Grupo Huanquihue       |  | Gyttja de color marrón amarillento oscuro (dark yellowish brown, 10YR 4/2)                  |
|  | C. V. Mocho-Choshuenco |  | Gyttja de color negro (black, 2 N1)   |
|  | Calbuco                |  | Gyttja de color marrón oscuro (dusky brown, 5YR 2/2)  |
|  | Antuco                 |  |   |
|  | Datación AMS           |  |   |

**Figura 132.** Correlación de los testigos lacustres de las lagunas Huaca Mamuil, Carirriñe y lago Huechulafquen.

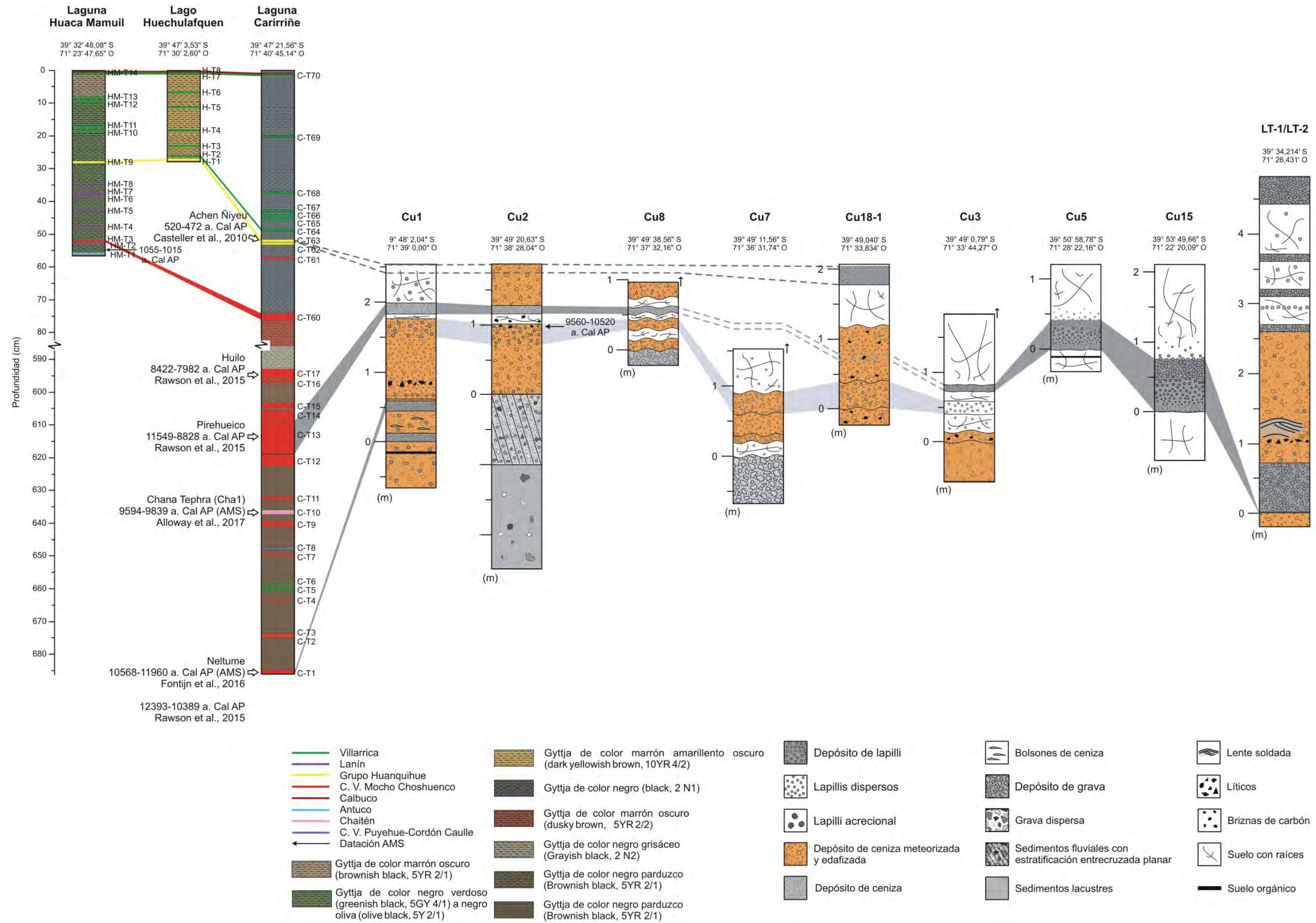
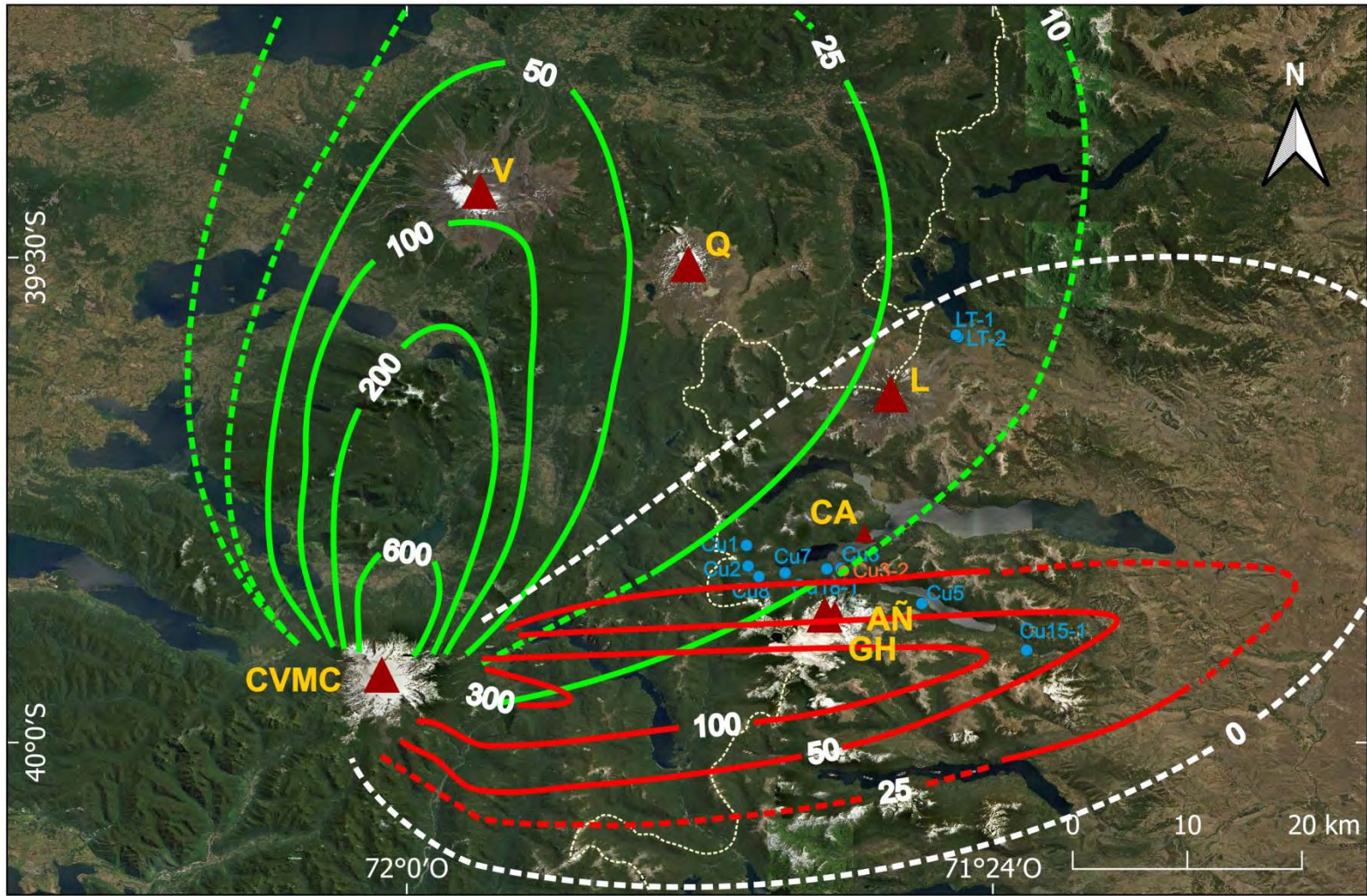


Figura 133. Correlación los registros lacustres y los depósitos de tefra preservados en superficie.



**Figura 134.** Mapa de localización de las secciones estratigráficas y registros lacustres, con las curvas isopáquicas trazadas por Rawson et al. (2015) modificado y los principales centros volcánicos: Villarrica (V), Quetrupillán (Q), Lanín (L), Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco (CVMC), Grupo Huanquihue (GH), cono Achen Ñiyeu (AÑ) y cono La Angostura (CA).

### **4.3. Caracterización de los centros volcánicos postglaciales**

En esta sección se resaltan las características más sobresalientes de los principales focos eruptivos (proximales y distales) definidos como fuente de origen de las tefras, a partir del estudio de los niveles piroclásticos. Es importante destacar que muchas características son comunes entre varios centros volcánicos y no son diagnósticas de uno en particular; sobre todo para aquellos volcanes que poseen mecanismos eruptivos y una composición química similar y producen vitroclastos con un mismo tipo de partícula. De acuerdo con esto, el criterio utilizado para discriminar las fuentes de origen se basó en la integración de toda la información disponible de las tefras. No solo se tuvo en cuenta las características petrográficas como color, componentes, morfología de vitroclastos, asociación mineral, sino también el espesor, granulometría, estructuras, considerando a su vez, los posibles patrones de dispersión para aquellas tefras que pudieron correlacionarse entre registros.

Los productos de emisión de algunos focos eruptivos como el volcán Villarrica, el cono La Angostura y el cono Achen Ñiyeu (Grupo Huanquihue) presentan una morfología de partícula distintiva que junto a su impronta geoquímica, se diferencian con mayor facilidad de otros centros volcánicos proximales. A continuación se detallan las particularidades que permitieron la diferenciación de las distintas fuentes de proveniencia.

#### **4.3.1. Volcán Villarrica**

Los productos del volcán Villarrica se caracterizaron a partir de una muestra de superficie correspondiente a la erupción de marzo de 2015 y se usó de referencia para compararla con otras tefras.

Los productos de emisión del volcán Villarrica son oscuros, generalmente de color negro verdoso y están compuestos por una única población con dos morfologías distintivas de vitroclastos, cuya proporción varía según la fracción granulométrica analizada. Está compuesto fundamentalmente por lágrimas de Pele y lágrimas rotas de color castaño verdoso, de formas irregulares, elongadas y retorcidas (Heiken, 1972, 1974). Los fragmentos son angulosos y presentan una superficie externa lisa con protuberancias dado por la presencia de numerosas burbujas internas. La vesicularidad

es variable, desde baja a alta y queda expuesta cuando los fragmentos se rompen. Las vesículas pueden ser circulares, ovaladas a alargadas, controlando la forma de los vitroclastos. Contienen bajo a moderado contenido de microfenocristales y microlitos. En algunas lágrimas rotas, la vesicularidad es muy elevada (Heiken, 1972, 1974).

La segunda población está caracterizada por vitroclastos escoriáceos de color negro, angulosos a subangulosos, con alta a moderada vesicularidad. Las vesículas son irregulares. Presentan elevado contenido de microfenocristales y microlitos, mayormente de plagioclasa acompañada por piroxeno, olivina y magnetita titanífera. Cabe destacar que esta población puede no estar presente en algunas erupciones; a diferencia de lo expresado por varios autores (Costantini et al., 2011; Van Daele et al., 2014; Fontijn et al., 2016) los productos de emisión de este centro volcánico en Chile, se han caracterizado por estar compuestos fundamentalmente por vitroclastos escoriáceos. La diferencia observada está probablemente relacionada al proceso de segregación por densidad que ocurre a lo largo de la pluma eruptiva a medida que aumenta la distancia desde el foco eruptivo. Los productos más densos se depositan primero, mientras que los livianos permanecen en suspensión por más tiempo (Shane et al., 2008) por lo que resulta lógico que en los depósitos proximales (Chile) predominen los vitroclastos escoriáceos mientras que en los depósitos distales (Argentina) abundan las lágrimas de Pele y las lágrimas rotas.

La fracción mineral está compuesta por cristaloclastos félsicos, incoloros, euhedrales a subhedrales (plagioclasas) y cristaloclastos máficos, de color verde a verde amarillento, en su mayoría subhedrales (piroxenos y olivinas). Los cristales suelen tener delgadas coberturas vítreas de color castaño verdoso, conformando piroclastos mixtos.

Los datos geoquímicos de las tefras que en este trabajo fueron asignadas al volcán Villarrica revelan que las emisiones explosivas han sido de composición andesíta-basáltica y/o andesítica con un rango en el contenido de SiO<sub>2</sub> entre 52,5 y 62,5 % en peso y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 2,5 y 6,5 %, a lo largo de los últimos 12000 años.

La morfología de los vitroclastos tipo gota de vidrio y gotas rotas reflejan un magma de composición básica más viscoso dado probablemente por un mayor número de cristales definido por Heiken (1972), junto con una impronta geoquímica definida evidencian un comportamiento eruptivo explosivo con erupciones de tipo estromboliano/

estromboliano violento, con un índice de explosividad volcánica 1–2, en coincidencia con lo informado por el SERNAGROMIN.

En total se identificaron 26 eventos atribuidos a este foco eruptivo correspondientes a las tefras HM-T10, HM-T11, HM-T12, HM-T13, H-T3, H-T4, H-T5, H-T6, C-T5, C-T6, C-T20, C-T22, C-T28, C-T30, C-T32, C-T31, C-T33, C-T37, C-T64, C-T65, C-T66, C-T67, C-T68, C-T69 y la tefra H-T2 correlacionada con C-T64 y la tefra H-T7 correlacionada con la fracción gruesa de las tefras HM-T14 y C-T70, correspondiente a la erupción de 2015.

#### **4.3.2. Volcán Quetrupillán**

Los productos se caracterizaron a partir de 3 muestras (C-T42, C-T47 y C-T48) que fueron asignadas a este volcán por comparación con la morfología de partícula y geoquímica de referencia reportada por Fontijn et al. (2016).

Los productos de emisión de este centro volcánico son de coloraciones claras y se caracterizan por presentar al menos dos poblaciones de vitroclastos. La población más abundante está caracterizada por vitroclastos de color castaño claro a oscuro, pumíceos de composición dacítica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 66,5 y el 70 % en peso y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 5-7,5 % en peso; acompañados por esquirlas de obsidiana.

#### **4.3.3. Volcán Lanín**

Los productos de emisión de este centro volcánico, localizado dentro del área de estudio, se caracterizaron a partir de dos depósitos de superficie, el depósito piroclástico sobre la ladera NE del volcán y un depósito de flujo localizado en la costa sur del lago Tromen. La morfología de los vitroclastos y la composición geoquímica se utilizaron de referencia para identificar otras tefras correspondientes a este mismo volcán.

Los productos de emisión de esta fuente volcánica varían en función del mecanismo eruptivo de origen. Los depósitos pueden estar conformados por una o varias poblaciones de vitroclastos. Por un lado, el depósito de caída piroclástica de la ladera NE del volcán está compuesto por una única población de vitroclastos escoriáceos

(traquidacítico-dacítico) producto de la erupción de un centro adventicio; mientras que el depósito de flujo piroclástico localizado en la costa sur del lago Tromen, compuesto fundamentalmente por vitroclastos pumíceos, correspondería a una erupción del conducto central, lo que se asume por la potencia del depósito y la composición del vidrio (riolítico-dacítico). Por el contrario, en las tefras preservadas en los sedimentos lacustres se identificaron al menos tres poblaciones de vidrio con cuatro tipos de morfología de partícula. Su abundancia porcentual varía según la fracción granulométrica.

Se reconocieron vitroclastos de color castaño claro grisáceo a incoloro, subangulosos a angulosos, pumíceos, con vesículas circulares, ovaladas a alargadas; con bajo contenido de microfenocristales y microlitos. Vitroclastos de colores castaños claro a castaño oscuro, angulosos, densos, con superficie de fractura concoidea. Carecen o presentan muy bajo contenido de vesículas y bajo a alto contenido de microlitos. Estos fragmentos corresponden a esquirlas de obsidiana. Vitroclastos de color castaño oscuro, altamente vesiculares, con vesículas circulares, ovaladas a alargadas, con moderado a bajo contenido de microfenocristales y microlitos. Vitroclastos escoriáceos grises a negros, angulosos, con moderada a alta vesicularidad. Las vesículas son irregulares. Presentan alto contenido de microfenocristales y microlitos. Los cristales se caracterizan por tablillas de plagioclasa, piroxeno (solución sólida Enstatita-Ferrosilita), magnetita titanífera y apatito. Se observó que pueden presentar textura glomeroporfídica.

La fracción mineral está caracterizada por cristaloclastos félsicos (plagioclasa) y cristaloclastos máficos (piroxenos), con delgadas coberturas vítreas, conformando piroclastos mixtos.

Los datos geoquímicos revelan una población de composición correspondiente al límite entre los campos riolítico/dacítico/traquidacítico, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 64,5 y el 72,7 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 5 y el 8,5 % en peso; con afinidad calcoalcalina de alto potasio/calcoalcalina. Una segunda población de composición basáltica-andesítica o andesítica, con un contenido de  $\text{SiO}_2$  entre 56,5 y el 9,5 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  entre 3,5 y el 5 % en peso, con afinidad calcoalcalina.

La morfología de los vitroclastos junto con la composición química permitió identificar eventos correspondientes a erupciones de tipo estromboliano (depósito piroclástico localizado en el flanco NE del volcán) a vulcaniano de centros adventicios localizados

en la ladera del volcán y erupciones de tipo subpliniano vinculadas al conducto central (flujo piroclástico descrito en el perfil LT, en la costa sur del lago Tromen).

Cuatro eventos fueron identificados preservados en el registro de la laguna Huaca Mamuil (HM-T5, HM-T6, HM-T7 y HM-T8), y otros dos que se le atribuyen tentativamente (HM-T2 y HM-T4), sobre la base de la morfología distintiva de los vitroclastos.

#### **4.3.4. Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco**

Los productos de emisión de este centro volcánico se caracterizaron a partir de un depósito de superficie localizado en la costa sur de los lagos Curruhué y Epulafquen, atribuido a este centro eruptivo por Rawson et al. (2015). Además, sobre la base de la descripción de la morfología de vitroclastos, geoquímica y presencia de pirita con textura framboidal, informados por Rawson et al. (2015) y Fontijn et al. (2016) se realizaron las comparaciones para asignar las tefras a este centro eruptivo.

Los productos de emisión de este centro volcánico presentan diferencias notables tanto morfológicas como composicionales, vinculadas al tipo de mecanismo eruptivo.

Los depósitos pueden estar compuestos por una o más poblaciones de vitroclastos. Las tefras atribuidas a eventos de gran magnitud ( $VEI > 5$ ) correspondientes a erupciones de tipo pliniano se caracterizan por estar compuestas fundamentalmente por vitroclastos de color castaño claro grisáceo a incoloro y gris, subangulosos a angulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas e irregulares, con paredes de vidrio muy delgadas. Presentan muy bajo contenido de microfenocristales y microlitos, fundamentalmente de plagioclasa y cristales aislados de magnetita titanífera y piroxeno.

Las tefras atribuidas a erupciones de menor magnitud ( $VEI 4-2$ ) correspondientes a erupciones de tipo subpliniano-estromboliano, están compuestas por más de una población de vidrio, entre los que se reconocen los vitroclastos previamente descritos acompañados de vitroclastos de color castaño claro a castaño oscuro, angulosos, pumíceos, con alta a moderada vesicularidad, con vesículas ovaladas a irregulares. Presentan moderado a alto contenido de microfenocristales y microlitos. Es común reconocer fragmentos de color castaño claro a oscuro, densos, con ausencia o con

vesículas aisladas, que corresponden a esquirlas de obsidiana. Además se identifican vitroclastos escoriáceos negros, angulosos, con alta a baja vesicularidad, o ausencia de ella. Las vesículas son irregulares. Presentan alta densidad de microfenocristales y microlitos.

Evidencias de una erupción hidromagmática se observaron reflejadas en la morfología distintiva de las partículas vítreas. Vitroclastos con ausencia de vesicularidad, blocosos, son indicativos de la interacción magma-agua (Heiken, 1972, 1974).

Las microlitos y microfenocristales se caracterizan por una asociación de tablillas de plagioclasa, piroxeno, magnetita titanífera y escasa olivina. Cabe señalar la presencia de pirita con textura framboidal que tapiza u ocupa las cavidades de las vesículas. También tapiza la superficie de los cristales y litoclastos, de manera tal que no se considera un mineral juvenil, sino secundario producto del sistema hidrotermal actuante al momento de la erupción. En algunas tefras este mineral es muy abundante y no estaría vinculado a la magnitud de la erupción. Se observó tanto en tefras producto de erupciones plinianas a subplinianas como en tefras producto de erupciones de tipo estromboliano, a lo largo de los últimos 12000 años. Con lo cual, este mineral secundario es distintivo de este centro volcánico. Debe tenerse en cuenta que si bien se identificó en la mayoría de las tefras atribuidas a este centro eruptivo, algunos niveles no se lo observó bajo lupa binocular.

Los datos geoquímicos revelan una amplia variación composicional para algunas de las tefras, desde composiciones basálticas-andesíticas hasta riolíticas, con contenidos de  $\text{SiO}_2$  entre 54 y 73 % en peso y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  3,5 y 8 % en peso; lo que estaría reflejando una cámara magmática zonada. Las tefras con una única población de vitroclastos presentan una composición mucho más acotada.

Un total de 44 eventos explosivos se atribuyen a este centro volcánico durante los últimos 12000 años; correspondientes a las tefras C-T1, C-T2, C-T3, C-T4, C-T7, C-T9, C-T11, C-T12, C-T13, C-T14, C-T15, C-T16, C-T17, C-T18, C-T19, C-T21, C-T24, C-T25, C-T26, C-T27, C-T29, C-T34, C-T35, C-T36, C-T38, C-T39, C-T41, C-T43, C-T44, C-T45, C-T46, C-T49, C-T50, C-T51, C-T52, C-T53, C-T54, C-T55, C-T56, C-T57, C-T58, C-T59, C-T60 y C-T61. La tefra C-T60 se correlacionó con HM-T3.

#### **4.3.5. Cono Achen Ñiyeu (Grupo Huanquihue)**

Los productos de este cono volcánico, localizado dentro del área de estudio, se caracterizaron sobre la base dos muestras de superficie colectadas en las cercanías de este cono piroclástico (AÑ y LV-2017). La caracterización morfológica de las partículas vítreas y la geoquímica permitió identificar esta erupción en los tres registros lacustres.

Los productos de emisión de este cono monogenético son de color negro y se caracterizan por presentar dos morfologías distintivas de vitroclastos. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos escoriáceos negros, angulosos, con alta a moderada vesicularidad. Las vesículas son irregulares. Estos fragmentos presentan alta densidad de microfenocristales y microlitos, caracterizadas por tablillas de plagioclasa, piroxeno y abundante cantidad de magnetita titanífera. En menor proporción, vitroclastos de color castaño oscuro, angulosos, con alta vesicularidad. Las vesículas son circulares a ovaladas, con moderado a alto contenido de microfenocristales y microlitos.

La fracción mineral está caracterizada fundamentalmente por cristaloclastos félsicos (plagioclasas) y en menor proporción piroxenos, con envolturas vítreas gruesas de color negro que dificultan su identificación.

Los datos geoquímicos revelan que este cono piroclástico está compuesto por una población de composición traquiandesítica-basáltica/basáltica-andesítica/traquibasáltica, con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 50,5 y el 57 % en peso y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 4,5 y el 7 % en peso; con afinidad calcoalcalina de alto potasio que permite distinguirla del resto de los productos de emisión de los otros centros volcánicos de influencia en la región.

La morfología de los vitroclastos junto con una alta proporción de minerales magnéticos y una impronta geoquímica definida, permiten asociarlo a este centro eruptivo. Los productos coinciden en una erupción de tipo estromboliano. Esta erupción se identificó en los tres registros lacustres (tefras HM-T9, H-T1 y C-T63), permitiendo la correlación entre los tres sitios y el depósito de superficie (tefra AÑ).

La tefra C-T40 y C-T62 se atribuyen al Grupo Huanquihue sobre la base de las morfologías distintivas de los vitroclastos y geoquímica de elementos mayores.

#### **4.3.6. Cono La Angostura**

Los productos de este cono volcánico, localizado dentro del área de estudio, se caracterizaron a partir de una muestra colectada en la base del cono. El material piroclástico es oscuro y está compuesto por vitroclastos escoriáceos negros, que carecen de vesicularidad o presentan muy baja proporción de vesículas, con superficie externa lisa. Este tipo de morfología de vitroclastos blocosos es indicativo de la interacción magma-agua producto de una erupción hidromagmática. Estos fragmentos están acompañados por vitroclastos de color castaño verdoso, con moderada a alta vesicularidad. Las vesículas son circulares a subcirculares. Los vitroclastos presentan una alta cantidad de microlitos caracterizadas por tablillas de plagioclasa que se disponen paralelas entre sí y cristales de magnetita titanífera aislados. Los datos geoquímicos revelan una composición basáltica, con un rango de SiO<sub>2</sub> entre 49,5 y el 51,5 % en peso y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 3 y el 5 % en peso.

#### **4.3.7. Volcán Calbuco**

Los productos de emisión de este centro eruptivo se realizaron sobre la base del estudio de la ceniza volcánica emitida por el volcán en el año 2015 y colectada en superficie en las proximidades del volcán Lanín. Dos morfologías distintivas de vitroclastos fueron identificadas; vitroclastos de color castaño claro a incoloro, castaño oscuro y grises, pumíceos, con vesículas irregulares y bajo contenido microlítico; acompañados de vitroclastos escoriáceos negros, angulosos, con baja vesicularidad.

Los fragmentos escoriáceos como los de color gris y castaño oscuro no son muy abundantes, sino que predominan los vitroclastos de coloraciones claras. Los datos geoquímicos revelan una composición dacítica-andesítica.

Este centro eruptivo se localiza ~ 194 Km al sur de la zona de estudio; es decir, la ceniza identificada en superficie y correlacionada con los registros lacustres, representa los productos distales de esta erupción de tipo subpliniano.

#### **4.3.8. Volcán Chaitén**

Los productos de este centro volcánico se caracterizaron a partir de la tefra C-T10 que fue previamente asignada a este volcán por comparación de las morfologías de los vitroclastos con geoquímica de referencia reportada por Alloway et al. (2017).

Los productos son de color claro, blanquecino y se caracterizan por presentar una población de vitroclastos incoloros, translucidos, muy pumíceos, elongados con canalículos paralelos entre sí, además de fragmentos con vesículas circulares y ovaladas. Carecen de microlitos. Los datos geoquímicos revelan una impronta geoquímica muy diagnóstica, de composición riolítica con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 76,5 y 78,5 % en peso, que permite diferenciarlo claramente de otros centros eruptivos de la región de similar composición, como por ejemplo, Cordón Caulle.

Los productos de emisión de este centro de emisión fueron muy bien caracterizados en detalle a partir del estudio de depósitos de superficie por Alloway et al. (2017); datos que fueron utilizados para identificar la fuente de origen de esta tefra.

El volcán Chaitén se localiza ~ 350 Km al sur de la zona de estudio, con lo cual, esta ceniza representa los productos distales de una erupción de tipo pliniano.

#### **4.3.9. Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle**

Los productos de este centro se caracterizaron a partir de una muestra C-T8 que fue asignada a partir de la morfología de los vitroclastos y geoquímica de referencia informada por Fontijn et al. (2016).

Los productos de emisión de este centro volcánico se caracterizan por presentar al menos dos poblaciones. La población más representativa compuesta por vitroclastos de color castaño claro a incoloro, pumíceos, con vesículas ovaladas, irregulares y alargadas paralelas entre sí; acompañados de vitroclastos escoriáceos. La población más abundante es de composición riolítica con un contenido de SiO<sub>2</sub> entre 69,5 y el 74 % en peso y Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O entre 6 y el 8,5 % en peso.

El C. V. Puyehue-Cordón Caulle se localiza a 100 Km al sur de la zona de estudio; solo una tefra (C-T8) se atribuyó a este centro volcánico. La misma correspondería a la erupción datada en 10295-10455 años Cal AP (Fontijn et al., 2016).

Sobre la base de la información expuesta previamente se constató que el área estuvo expuesta a frecuentes episodios de caída de material piroclástico (Figura 133) de baja magnitud ( $VEI \leq 2$ ) de tipo estromboliano/estromboliano violento hasta eventos de gran magnitud de tipo pliniano ( $VEI > 5$ ).

El registro de superficie abarcaría todo el periodo postglacial ( $< 18000$  a.). Esto se constata sobre la base de que la sección estratigráfica Cu2 se apoya sobre sedimentos lacustres y fluviales producto del retroceso de los glaciares pleistocenos. El bajo potencial de preservación de los depósitos de superficie solo permitió identificar la fuente de procedencia de tres eventos (erupción del cono piroclástico Achen Ñiyeu del Grupo Huanquihue y las erupciones Neltume y Pirehueico del Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco) y su correlación con los registros lacustres. Sin embargo, el registro lacustre máximo recuperado abarca los últimos 12000 años. Se identificaron 14 niveles de tefra en el registro de la laguna Huaca Mamuil, ocho en el registro del lago Huechulafquen y setenta en el registro de la laguna Carirriñe.

La tefra C-T1 de edad 12160-10822 a. Cal AP se atribuyó a la erupción Neltume del Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco. Se identificó en la base del registro de la laguna Carirriñe, con lo cual se desconoce su espesor real. Se correlacionó con un depósito de superficie (Cu1-5) de 12 a 15 cm de espesor de la sección Cu1; es decir, la sección más próxima al centro eruptivo de origen. No se observó una continuidad lateral hacia el este, en coincidencia con lo informado por Rawson et al. (2015); que indica que el eje principal de la pluma tuvo dirección NNE. Fue una erupción de tipo pliniano de magnitud ( $VEI > 5$ ) (Rawson et al., 2015).

La tefra C-T13 de edad 9236-8443 a. Cal AP se atribuyó a la erupción Pirehueico del Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco. Se identificó en el registro lacustre de la laguna Carirriñe con 10,2 cm de espesor entre los 619 y 608,8 cm de profundidad. Este nivel de tefra se correlacionó con el depósito de superficie identificado en las secciones

Cu1, Cu-2, Cu-8, Cu-3, Cu5, Cu15-1 y LT-1/LT-2. En las secciones más próximas al centro eruptivo (Cu1, Cu2, Cu8 y Cu3) (Figura 133) se observa un depósito de 6 a 16 cm de espesor compuesto por lapilli fino. Por el contrario, en las secciones (Cu5 y Cu15-1) se observa un depósito potente con espesores de entre 42 y 75 cm, compuesto por ceniza gruesa y lapilli grueso con gradación inversa. Esto se debe a que los depósitos proximales coinciden con el depósito correspondiente al borde de pluma, mientras que en Cu5 y Cu15-1 representan el depósito asociado al eje de la pluma (Figura 133). Corresponde a una erupción de tipo pliniana ( $VEI > 5$ ) (Rawson et al., 2015).

Cabe destacar que la parte superior de la sucesión estratigráfica Cu7 no pudo ser descripta (Figura 133), con lo cual se estima que el depósito de esta erupción se encuentra en la parte superior del perfil, teniendo como referencia que la erupción Neltume fue identificada en el registro y la erupción Pirehueico es más joven (Figura 133). Por el contrario, en la sección estratigráfica Cu18-1, los procesos de meteorización y edafización alteraron notoriamente los vitroclastos, dificultando su clara identificación en el perfil. De acuerdo a su posición estratigráfica se estima que el depósito correspondiente a la erupción Pirehueico se encontraría dentro del nivel C18-1c.

Tres eventos de gran magnitud atribuidos al Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco solo fueron identificados en el registro de la laguna Carirriñe. La erupción Huilo ( $VEI > 5$ ) datada en 8422-7982 a. Cal AP (Rawson et al., 2015), la erupción Enco ( $VEI = 5$ ) datada en 1695-1465 a. Cal AP y la erupción Hua Hum ( $VEI > 4$ ) datada en 1375-1155 a. Cal AP (Rawson et al., 2015).

Los tres registros lacustres se correlacionaron a partir de la erupción histórica del cono piroclástico Achen Ñiyeyu (Grupo Huanquihue) correspondiente a los niveles de tefra HM-T9, H-T1 y C-T63; y su depósito de superficie (Cu18-1e) identificado en la sección estratigráfica Cu18-1 (Figura 133). Esta erupción tuvo lugar entre los 522-488 a. Cal AP (Casteller et al., 2010). A pesar de no haber sido identificada en las secciones estratigráficas Cu1, Cu2 y Cu8 se estima que su depósito se localiza en los primeros centímetros de cada perfil. Teniendo en cuenta que la erupción de tipo estromboliano del cono es de baja magnitud y el material piroclástico es de color negro, su

identificación a simple vista se dificultó a medida que aumentó la distancia al foco eruptivo.

Los registros lacustres también se correlacionaron a partir de las erupciones de 2015 de los volcanes Villarrica y Calbuco. La erupción del volcán Villarrica fue de tipo estromboliano y de magnitud (VEI = 1; *Global Volcanism Programme* y referencias allí citadas). La erupción del volcán Calbuco fue de gran magnitud (VEI = 4; *Global Volcanism Programme* y referencias allí citadas). Este último centro volcánico localizado ~ 199 Km de la zona de estudio. Asimismo, otras tres erupciones correspondientes a centros volcánicos distales fueron identificadas. La tefra C-T10 del registro de la laguna Carirriñe se atribuyó a la erupción renombrada como *Chana Tephra* y *Chal* por Alloway et al. (2017) y Naranjo y Stern (2004), respectivamente, datada en 9594-9839 años Cal AP (Moreno et al., 2014), la cual corresponde al volcán Chaitén localizado ~ 350 Km de la zona de estudio. Esta erupción fue de tipo pliniano de magnitud (VEI = 5; Fontijn et al., 2016). La tefra HM-T1 del registro de la laguna Huaca Mamuil se atribuyó a la erupción del volcán Antuco denominada Petroquines y datada en 1055-1185 años AP (895-765 AD); (*comunicación personal*; Jorge Romero). El volcán Antuco se localiza ~ 262 Km de la zona de estudio. La tefra C-T8 se atribuyó a la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (localizado 100 Km al sur de la zona de estudio) datada en 10295-10455 años Cal AP (Fontijn et al., 2016).

El registro tefrocronológico reflejó dos periodos de intensa actividad volcánica con eventos de gran magnitud (VEI  $\geq$  4) entre los 12000 y 8000 a. Cal AP y a partir de los 1800 a. Cal AP hasta la actualidad; con numerosas erupciones de menor magnitud (VEI  $<$  4) entre estos dos periodos. Las tefras representan los productos de emisión de centros volcánicos tanto proximales como distales.

## Conclusiones

- ✓ La zona norte de Patagonia, en la región en torno al volcán Lanín, estuvo expuesta a frecuentes episodios de caída de material piroclástico durante los últimos 12000 años. Los productos de emisión (tefras) son el resultado de erupciones explosivas de baja magnitud (VEI=1-2) de tipo estromboliano/estromboliano violento hasta eventos de gran magnitud (VEI > 5) de tipo pliniano; de centros volcánicos locales y regionales.
- ✓ Las tefras se depositaron en ambientes subacuáticos y subaéreos. Se recalca el bajo potencial de preservación de los depósitos de superficie. Teniendo en cuenta que el registro es incompleto, solo 3 eventos de magnitud pudieron atribuirse a su fuente de procedencia. Uno se asignó a la erupción histórica del cono piroclástico Achen Ñiyeu (Grupo Huanquihue) y dos a erupciones del Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco (Neltume y Pirehueico). Por el contrario, se destaca la importancia del registro lacustre que al ser continuo y completo permitió la preservación de niveles de tefra correspondientes a eventos de gran magnitud.
- ✓ Sobre la base de la caracterización morfológica de los vitroclastos, la mayoría de las tefras representan los productos de emisión de erupciones magmáticas; a excepción de dos, cuyos productos reflejan procesos de interacción magma-agua correspondientes a erupciones hidromagmáticas. De acuerdo al tipo de morfología de las partículas vítreas y su composición química se caracterizaron distintas poblaciones de vidrio para cada una de las tefras, con composiciones que varían desde basálticas hasta riolíticas.
- ✓ Sobre la base de la morfología distintiva de los vitroclastos, composición química y asociación mineral, se identificaron a los volcanes Villarrica, Quetrupillán, Lanín, Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco, Grupo Huanquihue y Cono La Angostura de influencia local y a los volcanes Calbuco, Chaitén, Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle y Antuco de influencia regional, como las principales fuentes de origen.

- ✓ El registro de la laguna Huaca Mamuil abarca los últimos 1000 años. Se identificaron un total de 15 eventos explosivos. De acuerdo con esto, se estableció una recurrencia eruptiva en el orden de una erupción cada 66 años, para la zona norte del volcán Lanín.
- ✓ Una tefra se atribuyó al volcán Antuco. Una tefra se atribuyó al Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco. Seis tefras se atribuyeron a erupciones del volcán Lanín. Una tefra se atribuyó a la erupción histórica del cono piroclástico Achen Ñiyeu (Grupo Huanquihue). Cuatro tefras se atribuyeron a erupciones del volcán Villarrica. Una tefra representa los productos de caída de las erupciones de 2015 de los volcanes Villarrica y Calbuco.
- ✓ Las tefras atribuidas al volcán Lanín, solo se identificaron en el registro de la laguna Huaca Mamuil en el periodo comprendido entre los 951-635 años Cal AP. A partir de los 6 eventos, se estableció una frecuencia eruptiva para el volcán Lanín en el orden de una erupción cada 166 años, para los últimos 1000 años.
- ✓ El registro del lago Huechulafquen abarca los últimos 500 años. Se identificaron un total de 8 niveles de tefra. Una tefra se atribuyó a la erupción histórica del Achen Ñiyeu (Grupo Huanquihue). Seis tefras se atribuyeron a erupciones del volcán Villarrica y una tefra H-T8 se atribuyó a la erupción de 2015 del volcán Calbuco.
- ✓ El registro de la laguna Carirriñe abarca los últimos 12000 años. Se identificaron un total de 71 eventos explosivos. De acuerdo con esto, se estableció una recurrencia eruptiva en el orden de una erupción cada 169 años, incluyendo los eventos de menor magnitud ( $VEI \leq 2$ ), para la zona sur del volcán Lanín. En cambio, se estableció una recurrencia eruptiva en el orden de una erupción cada 178 considerando solo los eventos de mayor magnitud ( $VEI \geq 5$ ).
- ✓ Dieciséis tefras se atribuyeron al volcán Villarrica. Una tefra representa los productos de las erupciones de 2015 de los volcanes Villarrica y Calbuco. Cuarenta y cuatro tefras se atribuyeron al Complejo Volcánico Mocho-

Choshuenco. Tres tefras se atribuyeron al Grupo Huanquihue, una de ellas corresponde a la erupción histórica del cono Achen Ñiyeu. Tres tefras se atribuyeron a erupciones del volcán Quetrupillán. Una tefra se atribuyó al Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle. Una tefra se atribuyó a la erupción del volcán Chaitén denominada Chana Tephra y Chal por Alloway et al. (2017) y Naranjo y Stern (2004), respectivamente.

- ✓ Un total de 86 niveles de tefra de caída directa fueron identificados en los registros lacustres. La correlación entre los tres sitios se realizó sobre la base de cinco eventos explosivos conspicuos; una erupción atribuida al Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco, la erupción histórica de cono Achen Ñiyeu (Grupo Huanquihue) y dos erupciones del volcán Villarrica (entre ellas la erupción del 3 de marzo de 2015) y la erupción de 2015 del volcán Calbuco.
- ✓ Se recalca una profusa actividad de dos centros volcánicos. En primer lugar, el Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco con 44 eventos registrados y en segundo lugar, el volcán Villarrica con 19 eventos registrados.
- ✓ Se registraron dos periodos de intensa actividad volcánica con eventos de gran magnitud ( $VEI \geq 4$ ) comprendidos entre los 12000 y 8000 años Cal AP y a partir de los 1800 años Cal AP hasta la actualidad. Entre estos dos periodos se registraron numerosas erupciones de menor magnitud ( $VEI \leq 4$ ).
- ✓ Entre dos de las erupciones más antiguas definidas para el Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco (Neltume y Pirehueico), se identificaron un total de 7 eventos eruptivos no identificados previamente; a pesar de los numerosos estudios realizados en depósitos de superficie (Rawson et al. 2015) en la reconstrucción de la historia eruptiva de este complejo volcánico. Nuevamente se destaca la importancia de los registros lacustres en el estudio por su gran potencial de preservación.
- ✓ Se recalca la importancia de la elaboración de los modelos cronológicos que permitieron identificar cambios en la dinámica de los cuerpos lacustres, reflejados en las variaciones de las tasas de sedimentación, en coincidencia con

condiciones climáticas y una fuerte influencia de la actividad volcánica. Asimismo, permitieron determinar la edad de los eventos explosivos y acotar el rango de edad de erupciones conocidas.

- ✓ Se enfatiza la importancia de la tefrocronología como una herramienta para la reconstrucción de un marco cronológico regional y se destaca su aplicabilidad para estudios de peligrosidad y riesgo volcánico. Si bien la localidad más próxima se encuentra a unos 50,7 Km, dentro del ámbito del Parque Nacional Lanín, la presencia de comunidades mapuches y estancias privadas para la actividad ganadera y forestal, dos cruces fronterizos (Carirriñe y Tromen) controlados por gendarmería y alojamientos turísticos; se verían fuertemente afectados ante una caída de material piroclástico de magnitud.

## Referencias Bibliográficas

- Ahrens, C.D. 2017. Essentials of meteorology, an invitation to the atmosphere. Third edition. Brooks Cole.
- Alloway, B., Pearce, N., Villarosa, G., Outes, V., Moreno, P. 2015. Multiple melt bodies fed the AD 2011 eruption of Puyehue-Cordón Caulle, Chile. Scientific reports. 5.17589.10.1038/srep17589.
- Alloway, B., Moreno, P., Pearce, N., De Pol-Holz, R., Henríquez, W., Pesce, O., Sagredo, E., Villarosa, G., Outes, V. 2017. Stratigraphy, age and correlation of Lepué Tephra: a widespread c. 11 000 cal a BP marker horizon sourced from the Chaitén Sector of southern Chile: LEPUÉ TEPHRA: A MARKER HORIZON SOURCED FROM SOUTHERN CHILE. Journal of Quaternary Science. 10.1002/jqs.2976.
- Bengtsson, L., and Enell, M. 1986. Chemical analysis. In: Berglund, B.E., ed. Handbook of Palaeoecology and Palaeohydrology, John Wiley y Sons, p. 423-451.
- Bertin, D., Amigo, A., Bertin, L., 2015. Erupción del volcán Villarrica 2015: Productos emitidos y volumen involucrado. In: XIV Congreso Geológico Chileno, actas.
- Bertrand, S., Daga, R., Bedert, R., Fontijn, K. 2014. Deposition of the 2011-2012 Cordón Caulle tephra (Chile, 40°S) in lake sediments: implications for tephrochronology and volcanology. Journal of Geophysical Research: Earth Surface. 119, 2555-2573.
- Bertrand, S., Huguen, K., Sepúlveda, J., Pantoja, S. 2014. Late Holocene covariability of the southern westerlies and sea surface temperature in northern Chilean Patagonia. Quaternary Science Reviews. 105. 195-208. 10.1016/j.quascirev.2014.09.021.
- Blockley, S., Lowe, J., Walker, M.J.C., Alessandra, A., Trincardi, F. Coope, G., Donahue, R. 2004. Bayesian analysis of radiocarbon chronologies: Examples

from the European Late-glacial. *Journal of Quaternary Science*. 19. 159 - 175.  
10.1002/jqs.820.

Bronk Ramsey, C., 1995. Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The Oxcal program. *Radiocarbon*, 37 (2), 425-430.

Bronk Ramsey, C. 2008. Deposition models for chronological records. *Quaternary Science Reviews*. 27, 42-60.

Bronk Ramsey, C. 2017. Methods for Summarizing Radiocarbon Datasets. *Radiocarbon*. 59. 1-25. 10.1017/RDC.2017.108.

Casteller, A., Stoffel, M., Crespo, S., Arbella, E., Villalba, R. 2010. Use of dendrochronological and radiocarbon methods for dating a volcanic event in the Lake District, northern Patagonian Andes. Abstract for the proposed session "Tree rings and natural hazards"

Cembrano, J., Hervé, F. 1993. The Liquiñe Ofqui fault zone: A major Cenozoic strike-slip duplex in the southern Andes. Second ISAG, Oxford (UK).

Cembrano, J.; Moreno, H., 1994. Geometría y naturaleza contrastante del volcanismo cuaternario entre los 38°S y 46°S: Dominios compresionales y tensionales en un régimen transcurrente?, 7° CGCH, 1994, Concepción. 1. 240-244.

Cembrano, J., Schermer, E., Lavenu, A., Sanhueza, A. 2000. Contrasting nature of deformation along an intra-arc shear zone, the Liquiñe–Ofqui fault zone, southern Chilean Andes. *Tectonophysics*. 319. 129-149. 10.1016/S0040-1951(99)00321-2.

Cembrano, J., Lara, L. 2009. The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: a review. *Tectonophysics* 471, 96-113.

Cembrano, J., Hervé, F., Lavenu, A. 1996. The Liquiñe–Ofqui fault zone: a long-lived intra-arc fault system in southern Chile. *Tectonophysics* 259, 55–66

Clavero, J. 1996. Ignimbritas andesítico basálticas postglaciales del volcán Villarrica, Andes del Sur (39° 25' S). Tesis de Magister, Universidad de Chile, Departamento de Geología, 112 p. Santiago.

- Clavero, J., Moreno, H. 2004. Evolution of Villarrica Volcano, in Villarrica Volcano (39.5°S), southern Andes, Chile. In: Lara, L.E., Clavero, J. (Eds.) Villarrica Volcano (39.5°S) southern Andes, Chile. Gobierno de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, pp.17-27.
- Collini, E., Osoreo, M.S., Folch, A., Viramonte, J.G., Villarosa, G. y Salmuni, G. 2013. Volcanic Ash Forecast during the June 2011 Cordon Caulle eruption. *Natural Hazards*. Vol 66 (N°2): 389-412. DOI 10.0007/s11069-012-0492-y
- Corbella, H., Alonso, M. S. 1989. Postglacial hydroclastic and pyroclastic deposits in the Lanín National Park. North-Patagonian Cordillera, Neuquén. *Asociación Geológica Argentina, REV.*, 1989, XLIV (1-4): 127-132.
- Costantini, L., Pioli, L., Bonadonna, C., Clavero, J., Longchamp, C. 2011. A Late Holocene explosive mafic eruption of Villarrica volcano, Southern Andes: The Chaimilla deposit. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 200, no. 3-4, pp.143-158.
- Cucchi, R. y Leanza, H. 2005. Hoja Geológica 3972-IV Junín de los Andes, provincia del Neuquén. *Serv. Geo. Min. Nac. Boletín* 357, 1-102.
- Davies, S.M., Branch, N.P., Lowe, J.J. 2002. Towards a European tephrochronological framework for Termination 1 and the Early Holocene. *Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences* 360: 767–802.
- Fennell, L.M., Ramos, M.E., Folguera, A. 2014. Evolución sin y postglaciaria de la vertiente oriental del volcán Lanín, provincia de Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71(1), 100-111.
- Fontijn, K., Lachowycz, S.M., Rawson, H., Pyle, D.M., Mather, T.A., Naranjo, J.A., Moreno-Roa, H. 2014. Late Quaternary Tephrostratigraphy of southern Chile and Argentina. *Quaternary Science Reviews* 89, 70-84.
- Fontijn, K., Rawson, H., Van Daele, M., Moernaut, J., Abarzúz, A.M., Heirman, K., Bertrand, S., Pyle, D.M., Mather, T.A., De Batist, M., Naranjo, J.A., Moreno, H. 2016. Synchronisation of sedimentary records using tephra: A postglacial

tephrochronological model for the Chilean Lake District. *Quaternary Science Reviews* 137, 234-254.

Gilli, A., Anselmetti, F.S., Ariztegui, D., Bradbury, J.P., Kelts, K.R., Markgraf, V., and McKenzie, J.A. 2001. Tracking abrupt climate change in the Southern Hemisphere: A seismic stratigraphic study of Lago Cardiel, Argentina (49°S): *Terra Nova*, v. 13, p. 443–448, doi: 10.1046/j.1365-3121.2001.00377.x.

Gilli, A., Anselmetti, F., Ariztegui, D., Beres, M., McKenzie, J., Markgraf, V. 2005. Seismic stratigraphy, buried beach ridges and contourite drifts: The Late Quaternary history of the closed Lago Cardiel basin, Argentina (49°S). *Sedimentology*. 52. 1 - 23. 10.1111/j.1365-3091.2004.00677.x.

Guzmán-Marín, P., Lira, M.P., Tassara, A., Urrutia, R. 2015. Nuevos antecedentes tectónicos del Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui en la Cuenca de Intra-arco del Lago Maihue (40° 16' S, 72° W), Andes del Sur, Chile. XIV Congreso Geológico Chileno.

Hajdas, I., Bonani, G., Moreno, P. y Ariztegui, D. 2003. Precise radiocarbon dating of Late-Glacial cooling in mid-latitude South America. *Quaternary Research*. 59. 70-78. 10.1016/S0033-5894(02)00017-0.

Hervé, M. 1976. Estudio geológico de la falla Liquiñe-Reloncavi en el área de Liquiñe: antecedentes de un movimiento transcurrente (Province de Valdivia). *Actas 1er Congreso Geológico Chileno, Santiago*, 1:B39-B56.

Hickey-Vargas, R., Moreno Roa, H., López Escobar, L., Frey, F.A. 1989. Geochemical variations in Andean basaltic and silicic lavas from the Villarrica-Lanín volcanic chain (39.5°S): an evaluation of source heterogeneity, fractional crystallization and crustal assimilation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 103, p. 361-386.

Heiri, O., Lotter, A.F. y Lemcke, G. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, v. 25, p. 101-110.

Heiken, G.H. 1972. Morphology and petrography of volcanic ashes. *Geological Society of America Bulletin*, v. 83, p. 1961-1987, 13 figs.

- Heiken, G.H. 1974. An atlas of volcanic Ash, Smithsonian Earth Science Contributions, Number 12, p. 1-101.
- Hervé, F., Calderón, M., Fanning, C., Pankhurst, R., Rapela, C., Quezada, P. 2018. The country rocks of Devonian magmatism in the North Patagonian Massif and Chaitenia. *Andean Geology*. 45. 301-317. 10.5027/andgeoV45n3-3117.
- Hervé, F., Calderón, M., Fanning, C., Pankhurst, R., Fuentes, F., Rapela, C., Correa, J., Quezada, P., Marambio, C. 2016. Devonian magmatism in the accretionary complex of Southern Chile. *Journal of the Geological Society*. 173. jgs2015-163. 10.1144/jgs2015-163.
- Hervé, M. 1976. Estudio geológico de la falla Liquiñe-Reloncaví en el área de Liquiñe: antecedentes de un movimiento transcurrente. In: *Actas Primer Congreso Geológico Chileno*, pp. B39-B56.
- Ho, S.L., Mollenhauer, G., Lamy, F., Martínez-García, A., Mothadi, M., Gersonde, R., Hebbeln, D., Nuñez-Ricardo, S., Rosel-Melé, A., Tiedemann, R. 2012. Sea surface temperatura variability in the Pacific sector of the Southern Ocean over the past 700 kyr. *Paleoceanography* 27.
- Hogg, A., Hua, Q., Blackwell, P., Niu, M., Buck, C., Guilderson, T., Heaton, T., Palmer, J., Reimer, P., Reimer, R., Turney, C., y Zimmerman, S. 2013. SHCal13 Southern Hemisphere Calibration, 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*. Vol 55, n° 4, pp.1889-1903. 1-15. 10.2458/azu\_js\_rc.55.16783.
- Inbar, M., Risso, C., Parica, C. 1995. The morphological development of a young lava flow in the south western Andes - Neuquén, Argentina. *Zeitschrift für geomorphologie*, ISSN 0372-8854, Vol. 39, N°4, pp. 479-487.
- Janousek, V., Farrow, C., Erban, V. 2006. Interpretation of Whole-rock Geochemical Data in Igneous Geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology*. 47. 1255-1259. 10.1093/petrology/egl013.
- Juggins, S. 2007. C2. Version 1.5. User guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualization. Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK. 73pp.

- Kohfeld, K.E., Graham, R.M., de Boer., A.M., Sime, L.C., Wolff, E.W., Le Quéré, C., Bopp, L. 2013. Southern Hemisphere westerly wind changes during the Last Glacial Maximum: paleo-data synthesis. *Quat. Sci. Rev.* 68, 76-95.
- Lamy, F., Kilian, R., Arz, H.A., Francois, J.P., Kaiser, J., Prange, M., Steinke, T. 2010. Holocene changes in the position and intensity of the southern westerly. *Nature Geoscience.* 3. 695-699. 10.1038/ngeo959.
- Lamy, F., Gersonde, R., Winckler, G., Esper, O., Jaeschke, A., Kuhn, G., Ullermann, J., Martinez-Garcia, A., Lambert, F., Kilian, R. 2014. Increased dust deposition in the Pacific southern ocean during glacial periods. *Science (New York, N.Y.).* 343, 403-407. 10.1126/science.1245424.
- Lara, L.E., Naranjo, J.A. and Moreno, H. 2004. Lanín volcano (39.5°), southern Andes: Geology and Morphostructural Evolution. *Andean Geology*, vol. 31, n. 2, pp. 241-257. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile.
- Lara, L.E., Cembrano, J., Lavenu., A. 2006a. La zona de falla de Liquiñe-Ofqui: antecedentes de su evolución cuaternaria e implicancias para el volcanismo activo en los andes del sur. XI Congreso Geológico Chileno. Actas Vol 2, Geodinámica Andina.
- Lara, L., Rodríguez, C., Moreno, H., Arce, C. 2001. Geocronología K-Ar y geoquímica del volcanismo plioceno superior-pleistoceno de los Andes del sur (39-42°S). *Revista Geológica de Chile - REV GEOL CHILE.* 28. 10.4067/S0716-02082001000100004.
- Lascu, I. 2009. Magnetic susceptibility logging for cores. Version 1.0. Limnological Research Center Core Facility – SOP series.
- Lavenu, A.; Cembrano, J.,1997. Quaternary state of stress in Southern Chilean Andes between 32°-45° south latitude. *Geological Society of America, Annual Meeting, Abstracts with Programs*, Vol. 29, No. 6, p. A-443.
- Lavenu, A. y Cembrano, J. 1999. Compressional- and transpressional-stress pattern for Pliocene and Quaternary brittle deformation in forearc and intra-arc zones (Andes of Central and Southern Chile). *Journal of Structural Geology* 21.

- López-Escobar, L., Cembrano, J., Roa, H. 1995. Geochemistry and tectonics of the Chilean Southern Andes basaltic Quaternary volcanism (37-46°S). *Andean Geology*. 22. 10.5027/andgeoV22n2-a06.
- Lowe, D.J. y Hunt, J.B. 2001. A summary of terminology used in tephra related studies. In: Juvigné, E., Raynal, J.P., (Eds), *Tephros, Chronology and Archeology, Les Dossiers de l'Archaeo-logis 1*. Centre de recherches archéologiques départemental, pp 17-22.
- Lowe, D. 2011. Tephrochronology and its application: A review. *Quaternary Geochronology*. 6. 107-153. 10.1016/j.quageo.2010.08.003.
- Lowe, D. J., y Alloway, B. V. 2015. Tephrochronology. In W. J. Rink, y J. W. Thompson (Eds.), *Encyclopaedia of Scientific Dating Methods* (pp. 783-799). Dordrecht: Springer. Doi: [10.1007/978-94-007-6304-3\\_19](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6304-3_19).
- Mayr, C., Wille, M., Haberzettl, T., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Ohlendorf, C., Oliva, G., Schäbitz, F., Schleser, G., Zolitschka, B. 2007. Holocene variability of the Southern Hemisphere westerlies in Argentinean Patagonia (52°S). *Quaternary Science Reviews*. 26. 579-584. 10.1016/j.quascirev.2006.11.013.
- Moreno, H., Clavero, J., Lara, L. 1994. Actividad explosiva postglacial del volcán Villarrica, Andes del Sur (39° 25'). In Congreso Geológico Chileno N°7, Actas, p. 329-333. Concepción.
- Moreno, H. y Lara, L. 2007. Geología del Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica. 107. 1-27.
- Moreno Moncada, P., Francois, J., Moy, C. y Villa Martínez, R., 2010. Covariability of the Southern Westerlies and atmospheric CO2 during the Holocene. Disponible en [Http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/119280](http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/119280).
- Moreno, P., Alloway, B., Villarosa, G., Outes, V., Enríquez, W.I., De Pol-Holz, R. y Pearce, N. 2014. A past-millennium maximum in postglacial activity from Volcán Chaitén, southern Chile. *Geology*. 43. 10.1130/G36248.1.

- Morgado, E., Parada, M.A., Contreras, C., Castruccio, A., Gutiérrez, F., McGee, L.E. 2015. Contrasting records from mantle to surface of Holocene lavas of two nearby arc volcanic complexes: Caburgua-Huelemolle Small Eruptive Centers and Villarrica Volcano, Southern Chile, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 306: 1-16, 10.1016/j.jvolgeores.2015.09.023.
- Nowaczyk, N. 2002. Logging of Magnetic Susceptibility. In: Last W.M., Smol J.P. (eds) *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Developments in Paleoenvironmental Research*, vol 1. Springer, Dordrecht. 10.1007/0-306-47669-X\_8.
- Osores, M.S., Folch, A., Collini, E., Villarosa, G., Durant, A., Pujol, G., y Viramonte, J.G. 2013. Validation of the Fall3D model for the 2008 Chaitén eruption using field and satellite data. *Andean Geology, Revista Geológica de Chile*. DOI: 10.5027/andgeoV40n2-aXX.
- Pearce, N.J.G., Denton, J.S., Perkins, W.T., Westgate, J.A. y Alloway, B.V. 2007. Correlation and characterization of individual glass shards from tephra deposit using trace element laser ablation ICP-MS analyses: current and future potential. *J. Quaternary Sci.*, Vol.22, pp. 721-736. ISSN 0267-8179.
- Pearce, N. 2014. Towards a protocol for the trace element analysis of glass from rhyolitic shards in tephra deposits by laser ablation ICP-MS. *Journal of Quaternary Science*. 29. 10.1002/jqs.2727.
- Ramos, M., Folguera, A., Fennell, L., Giménez, M., Litvak, V., Dzierma, Y., Ramos, V. 2014. Tectonic evolution of the North Patagonian Andes from field and gravity data (39-40°S). *Journal of South American Earth Sciences*. 51. 10.1016/j.jsames.2013.12.010.
- Ramos, M.E. 2015. "Controles tectónicos de las principales secuencias volcano-sedimentarias del Cenozoico en la Cordillera Nordpatagónica". Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

- Reckziegel, F., Bustos, E., Mingari, L., Báez, W., Villarosa, G., Folch, A., Collini, E., Viramonte, J.G., Romero, J. y Osoreo, M.S. 2016. Forecasting volcanic ash dispersal and coeval resuspension during the April–May 2015 Calbuco eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 321: 44-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.04.033> 0377-0273/
- Romero, J.E., Morgavi, D., Arzilli, F., Daga, R., Caselli, A., Reckziegel, F., Viramonte, J.G., Díaz-Alvarado, J., Polacci, M., Burton, M. y Perugini, D. 2016. Eruption dynamics of the 22–23 April 2015 Calbuco Volcano (Southern Chile): Analyses of tephra fall deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 317: 15-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.02.027> 0377-0273
- Rosenau, M., Melnick, D., Echtler, H. 2006. Kinematic constraints on intra-arc shear and strain partitioning in the southern Andes between 38°S and 42°S latitude. *Tectonics*. 25. TC4013.10.1029/2005TC001943.
- Rawson, H., Naranjo, J.A., Smith, V.C., 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.
- Shane, P. 2000. Tephrochronology: a New Zealand case study. *Earth-Science Reviews* 49: 223-259.
- Steen McIntyre, V. 1977. A manual for Tephrochronology: collection, preparation, petrographic description and approximate dating of tephra (volcanic ash).
- Stern, C. 2004. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile*, 31(2): 161-206.
- Stern, C.R., Moreno H, López-Escobar, L., Clavero, J.E., Lara, L.E., Naranjo, J.A., Parada, M.A., Skewes, M.A. 2007. Chilean volcanoes. In: Moreno T, Gibbons W (eds) *The geology of Chile*. Geological Society of London, chap. 5, pp 149–180.

- St-Onge, G., Mulder, T., Francus, P., Long, B. 2007. Chapter Two Continuous Physical Properties of Cored Marine Sediments. Proxies in Late Cenozoic Paleooceanography. 1. 10.1016/S1572-5480(07)01007-X.
- Thorarinsson, S. 1944. Tefrokronologiska studier pa Island. Geografiska Annaler 26, 1–217.
- Toggweiler., J.R., Russel., J.L., Carson., S.R. 2006. Midlatitude westerlies, atmospheric CO<sub>2</sub>, and climate change during the ice ages. *Paleoceanography* 21, PA2005.
- Turney, C.S.M. and Lowe, J.J. 2011. Tephrochronology. Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques. Edited by: Last WM, Smol PJ. 2001, Dordrecht: Kluwer Academic.
- Turner, J. C. M. 1965a. Estratigrafía de la comarca de Junín de los Andes. *Academia Nacional de Ciencias, Boletín* 44: 5-51. Córdoba.
- Turner, J. C. M. 1965b. Estratigrafía de Aluminé y adyacencias. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 20: 153-164. Buenos Aires.
- Turner, J. C. M. 1973. Descripción geológica de la Hoja 37 a-b, Junín de los Andes, provincia del Neuquén. *Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín* 138: 186. Buenos Aires.
- Van Daele, M., Moernaut, J., Silversmit, G., Schmidt, S., Fontijn, K., Heirman, K., Vandoorne, W., De Clercq, M., Van Acker, J., Wolff, C., Pino, M., Urrutia, R., Roberts, S.J., Vincze, L., and De Batist, M. 2014. The 600yr eruptive history of Villarrica volcano (Chile) revealed by annually laminated lake sediments. *Geological Society of America Bulletin* 126 (3-4), p. 481-498.
- Van Daele, M., Bertrand, S., Meyer, I., Moernaut, J., Vandoorne, W., Siani, G., Tanghe, N., Ghazoui, Z., Pino, M., Urrutia, R., Batist, M. 2016. Late Quaternary evolution of Lago Castor (Chile, 45.6 S): Timing of the deglaciation in northern Patagonia and evolution of the southern westerlies during the last 17 kyr. *Quaternary Science Reviews*. 133. 10.1016/j.quascirev.2015.12.021.

- Varela, R., Basei, M., Cingolani, C., Siga Jr., O. y Passarelli, C. 2005. El basamento cristalino de los Andes Norpatagónicos en Argentina: Geocronología e interpretación tectónica. *Revista Geológica De Chile*. 32. 10.4067/S0716-02082005000200001.
- Villarosa, G. 2008b. Tefrocronología Postglacial de la región de Nahuel Huapi, Patagonia, Argentina. Tesis doctoral para optar al título de Doctor de la UBA, área Ciencias Geológicas. Inédito.
- Viramonte, J.C. 2013. Utilización del modelo WRF/ARW – Fall3D para el pronóstico de dispersión de cenizas durante la erupción 2011 del Cordón Caulle. *Pyroclastic Flow, Journal of Geology*, Vol 2, (Nº 2) edición especial: 27-30. ISSN Nº 00719-0565. Chile.
- Watt, S., Pyle, D., Naranjo, J., Rosqvist, G., Mella, M. Mather, T., Roa, H. 2011. Holocene tephrochronology of the Hualaihué region (Andean southern volcanic zone, ~42° S), southern Chile. *Quaternary International - QUATERN INT*. 246. 10.1016/j.quaint.2011.05.029.
- Watt, S.F.L., Pyle, D.M., Mather, T.A. 2013b. Evidence of mid- to late-Holocene explosive rhyolitic eruptions from Chaitén volcano, Chile. *Andean Geol.* 40, 216-226.
- Whitlock, C., Bartlein, P., Markgraf, V. y Ashworth, A. 2001. The mid-latitudes of North and South America during the last glacial maximum and early Holocene: Similar paleoclimatic sequences despite differing large-scale controls. In: Markgraf, V. (Ed.), *Interhemispheric Climate Linkages: Present and Past Interhemispheric Climate Linkages in the Americas and their Societal Effects*. Academic Press, New York, NY, pp. 391-416.
- Whitlock, C., Bianchi, M., Bartlein, P., Markgraf, V., Marlon, J., Walsh, M., McCoy, N. 2006. Postglacial vegetation, climate, and fire history along the east side of the Andes (lat 41–42.5°S), Argentina. *Quaternary Research*. 66. 187-201. 10.1016/j.yqres.2006.04.004
- Wilson, T., Stewart, C. y Leonard, G. 2009. Trip Report: Assessment of impacts of, and short-term recovery from the May 2008 eruption of Volcán Chaitén, Chile.

Wilson, T.M., Stewart, C., Bickerton, H., Baxter, P.J., Outes, V., Villarosa, G. y Rovere, E. 2013. Impacts of the June 2011 Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex eruption on urban infrastructure, agriculture and public health, GNS Science Report.

# Anexo 1

## Descripciones de lupa binocular

### 1. Tefras de la laguna Huaca Mamuil

#### HM-T1

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 56,5 – 56,2 cm de profundidad.

Es una ceniza gruesa con un tamaño máximo de partícula de 500  $\mu\text{m}$ .

Se identificaron cuatro morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño claro a castaño oscuro**, algunos veteados, angulosos, con superficie de fractura concoidea, densos. Algunos fragmentos presentan vesículas aisladas, ovaladas a circulares. Estos vitroclastos corresponden a esquirlas de *obsidianas*.
- ❖ **M2: vitroclastos de color castaño claro**, subangulosos a angulosos, pumíceos, con alta a moderada vesicularidad. Las vesículas son irregulares. Se observa coalescencia de burbujas. Se identificaron remanentes de pared de burbuja en la fracción con un tamaño de partícula entre 125 y 63  $\mu\text{m}$ . Presentan minerales adheridos sobre la superficie de los fragmentos y dentro de la masa vítrea.
- ❖ **M3: vitroclastos de color castaño oscuro a castaño grisáceo**, (algunos fragmentos presentan las dos coloraciones de vidrio), angulosos a subangulosos, de vesicularidad variable, desde pumíceos hasta fragmentos con baja vesicularidad. Las vesículas son ovaladas a circulares. Se observaron fragmentos alargados con canalículos paralelos entre sí evidenciando fluidalidad, acompañados por remanentes de pared de burbuja en la fracción con un tamaño de partícula entre los 125 a 63  $\mu\text{m}$ . Presentan minerales adheridos sobre la superficie de los fragmentos y dentro de la masa vítrea.
- ❖ **M4: vitroclastos escoriáceos de color gris a negro**, subangulosos a angulosos, con moderada a baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

La **fracción mineral** está compuesta fundamentalmente por **crystaloclastos félsicos y máficos**. Los minerales félsicos son incoloros, translúcidos, con brillo vítreo, hábito tabular, desde euhedrales a anhedrales (plagioclasas). Los minerales **máficos se identificaron** de color verde a verde amarillento, translucidos, con brillo vítreo, hábito prismático, en su mayoría subhedrales (piroxenos y posiblemente olivinas) y de color

negro, opacos, anhedrales a subhedrales, magnéticos (posiblemente magnetita/magnetita titanífera). Los cristales están recubiertos de forma parcial o total por una delgada cobertura vítrea de color castaño claro a incoloro, conformando piroclastos mixtos. Se observaron inclusiones de diminutos minerales negros, opacos, dentro de los minerales, como así también en el vidrio que los recubre.

Los **litoclastos** corresponden a fragmentos de roca de coloraciones variadas, desde claras a oscuras. Subangulosos.

La proporción de cada uno de los componentes (vitroclastos, cristaloclastos y litoclastos) varía según la fracción granulométrica. A medida que el tamaño de las partículas disminuye, se observó una disminución muy marcada de los componentes vítreos acompañado de un aumento en la proporción de cristaloclastos. En la fracción con un tamaño de partícula inferior a 63  $\mu\text{m}$ , no se pudo cuantificar la proporción de los componentes, dado el diminuto tamaño de las partículas.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |    |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|----|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |    |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | M3 | M4 | Total |                     |                 |
| HM-T1 | 500 - 250 $\mu\text{m}$ | castaño                           | 5                             | 54 | 20 | 15 | 94    | 4                   | 2               |
|       | 250 - 125 $\mu\text{m}$ | castaño                           | 5                             | 25 | 10 | 5  | 45    | 50                  | 5               |
|       | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | castaño                           | 7                             | 10 | 8  | 5  | 30    | 60                  | 10              |
|       | < 63 $\mu\text{m}$      | castaño grisáceo muy claro        | /                             | /  | /  | /  | /     | /                   | /               |

## HM-T2

Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 53,5 – 53,4 cm de profundidad. Es una ceniza gruesa con un tamaño máximo de partícula de 125  $\mu\text{m}$ . Escasos fragmentos con un tamaño ligeramente mayor fueron observados.

Cuatro morfologías (M) de vitroclastos fueron identificadas:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño claro a incoloro**, angulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas y fragmentos alargados con canalículos paralelos entre sí evidenciando fluidalidad; acompañados de numerosos remanentes de pared de burbuja. Se observan escasas inclusiones de diminutos minerales negros, opacos, dentro de la masa vítrea.

- ❖ **M2: vitroclastos de color castaño oscuro**, angulosos, con moderada a baja vesicularidad. Las vesículas son ovaladas.
- ❖ **M3: vitroclastos escoriáceos de color castaño grisáceo a negro**, subangulosos, con moderada a baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares.
- ❖ **M4: vitroclastos de color castaño oscuro a incoloro**, angulosos, delgados, de superficie externa lisa y con fractura concoidea, densos. En algunos fragmentos se observaron vesículas ovaladas aisladas. Estas partículas corresponden a esquirlas de **obsidiana**.

La **fracción mineral** está constituida fundamentalmente por **crystaloclastos félsicos** incoloros, translucidos, brillo vítreo, hábito tabular, subhedrales a anhedrales (plagioclasas) y escasos **crystalos máficos** de color verde claro, translucidos, de hábito prismático, subhedrales (piroxenos). Escasos minerales están recubiertos parcialmente por una delgada cobertura vítrea incolora y de color castaño claro conformando piroclastos mixtos.

Los **litoclastos** corresponden a fragmentos subangulosos de roca de coloraciones variadas (blanquecinas, castañas, rojizas, grisáceas a negras).

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |    |    |           |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|----|----|-----------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |    |    |           | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | M3 | M4 | Total     |                     |                 |
| HM-T2 | 250 - 125 µm            | castaño                           | 10                            | 28 | 40 | 10 | <b>88</b> | 7                   | 5               |
|       | 125 - 63 µm             | castaño                           | 15                            | 30 | 30 | 10 | <b>85</b> | <b>10</b>           | <b>5</b>        |
|       | < 63 µm                 | castaño claro                     | /                             | /  | /  | /  | /         | /                   | /               |

### HM-T3

Nivel de tefra de 0,8 cm de espesor, ubicado entre los 53 -52,2 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño máximo de partícula de 500 µm.

Cuatro morfologías (M) de vitroclastos fueron identificadas:

- ❖ **M1: vitroclastos incoloros a castaño muy claro**, con brillo satinado. Son subredondeados a subangulosos, pumíceos, con vesículas circulares a ovaladas. Numerosos fragmentos son alargados con canalículos paralelos entre sí evidenciando fluidalidad. Se observa frecuente coalescencia de burbujas. Presentan inclusiones aisladas de diminutos minerales negros, opacos.

- ❖ **M2: vitroclastos de color castaño a castaño verdoso**, subangulosos, con moderada a baja vesicularidad. Las vesículas son circulares a ovaladas. La coalescencia de burbujas es poco frecuente.
- ❖ **M3: vitroclastos escoriáceos grises a negros**, subangulosos, con baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares.
- ❖ **M4: vitroclastos incoloros, grises y castaños a castaños muy oscuro**, algunos con dos coloraciones de vidrio, delgados, de forma aplanada, delgados, con superficie de fractura concoidea, densos o con vesicularidad aislada (vesículas circulares a ovaladas). Estos vitroclastos corresponden a esquirlas de obsidiana.

En algunos vitroclastos se observó la presencia de pirita con textura framboidal tapizando las cavidades de las vesículas.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, anhedrales a subhedrales (plagioclasas) y **crystaloclastos máficos** de color verde, translucidos, de hábito prismático, euhedrales (piroxenos) y anhedrales (posiblemente olivinas). En la fracción con un tamaño de partícula entre 125 y 63  $\mu\text{m}$  se identificaron minerales negros, opacos, con brillo metálico, anhedrales a subhedrales, magnéticos (posiblemente magnetita-magnetita titanífera). Los cristales se encuentran recubiertos por una delgada cobertura vítrea incolora, de manera parcial o total, conformando piroclastos mixtos.

Los **litoclastos** son escasos y corresponden a fragmentos de roca de coloraciones variadas, desde rojizas a negras; subangulosos.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |    |    |           |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|----|----|-----------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |    |    |           | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | M3 | M4 | Total     |                     |                 |
| HM-T3 | 500 - 250 $\mu\text{m}$ | castaño claro                     | 80                            | 8  | 5  | 3  | <b>96</b> | 2                   | 2               |
|       | 250 - 125 $\mu\text{m}$ | castaño claro                     | 50                            | 15 | 20 | 5  | <b>90</b> | 5                   | 5               |
|       | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | castaño claro                     | 52                            | 15 | 15 | 8  | <b>90</b> | 5                   | 5               |
|       | < 63 $\mu\text{m}$      | castaño grisáceo muy claro        | /                             | /  | /  | /  | /         | /                   | /               |

#### HM-T4

Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 48,5 y 48,4 cm de profundidad.

Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño de partícula máximo de 250  $\mu\text{m}$ .

Se identificaron cuatro morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño claro a incoloro**, angulosos a subangulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas a irregulares. Algunos fragmentos son alargados con vesículas elongadas que en algunos casos forman canalículos paralelos entre sí, evidenciando fluidalidad. Escasas inclusiones de minerales negros, opacos, se observaron dentro de la masa vítrea.
- ❖ **M2: vitroclastos de color castaño oscuro**, angulosos, pumíceos, con alta a moderada vesicularidad. Las vesículas son ovaladas. Se observan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.
- ❖ **M3: vitroclastos escoriáceos de color castaño grisáceo oscuro a negro**, angulosos, con vesicularidad variable, desde alta a baja. Las vesículas son irregulares.
- ❖ **M4: vitroclastos de color castaño claro a castaño oscuro**, de superficie externa lisa y con fractura concoidea, densos. Algunos presentan vesículas ovaladas aisladas. Estos fragmentos corresponden a esquirlas de **obsidiana**.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, euhedrales a subhedrales (plagioclasas). Los **crystaloclastos máficos** son de color verde a verde amarillento, translucidos, con brillo vítreo, de hábito prismático, en su mayoría subhedrales (piroxenos) y cristales de color negro, opacos, con brillo metálico, magnéticos (posiblemente magnetita o magnetita titanífera). Estos últimos solo están presentes en la fracción con un tamaño de partícula entre los 125 y 63  $\mu\text{m}$ . Los cristales están recubiertos parcialmente por una delgada cobertura vítrea de color castaño claro e incoloro, conformando piroclastos mixtos. Los minerales máficos presentan inclusiones de minerales negros, opacos. Los **litoclastos** son escasos. Estos son subredondeados a subangulosos, con coloraciones que varían del rojizo al gris.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |    |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|----|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |    |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M 1                           | M2 | M3 | M4 | Total |                     |                 |
| HM-T4 | 250 - 125 $\mu\text{m}$ | castaño                           | 38                            | 15 | 35 | 5  | 93    | 5                   | 2               |
|       | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | castaño                           | 30                            | 10 | 45 | 5  | 90    | 8                   | 2               |
|       | < 63 $\mu\text{m}$      | castaño                           | /                             | /  | /  | /  | /     | /                   | /               |

## HM-T5

Nivel de tefra de 1 cm de espesor, ubicado entre los 43,5 y 42,5 cm de profundidad. Está compuesto por lapilli fino y ceniza gruesa.

Se identificaron cuatro morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño claro grisáceo**, subangulosos a angulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas a alargadas. Algunos fragmentos son alargados con canalículos paralelos entre sí, evidenciando fluidalidad. Se observa frecuente coalescencia de burbujas.
- ❖ **M2: vitroclastos de color castaño a castaño verdoso**, angulosos a subangulosos, con un contenido de vesículas variable, desde baja a alta vesicularidad. Las vesículas son circulares, ovaladas a ligeramente alargadas.
- ❖ **M3: vitroclastos escoriáceos de color gris a negro**, subredondeados a subangulosos, con moderada a alta vesicularidad. Las vesículas son circulares e irregulares.
- ❖ **M4: vitroclastos de color castaño claro a castaño muy oscuro, gris ahumado**, algunos veteados, con superficie externa lisa y fractura concoidea. Densos o con vesículas aisladas. Las vesículas son ovaladas a alargadas. Presentan escasas inclusiones de minerales. Estos fragmentos corresponden a esquirlas de **obsidiana**.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, euhedrales a subhedrales (plagioclasas) y **crystalos máficos** de color verde, translucidos, brillo vítreo, hábito prismático (piroxenos).

Los **litoclastos** son subangulosos y de coloración variable, desde rojiza a negra.

En esta tefra predominan los fragmentos pumíceos de color castaño claro grisáceo en las fracciones más gruesas, disminuyendo su proporción a medida que disminuye el tamaño de partícula y acompañado por un aumento de los fragmentos escoriáceos. La proporción de la fracción mineral y lítica es escasa y aumenta ligeramente con la disminución del tamaño de partícula.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |    |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|----|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |    |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | M3 | M4 | Total |                     |                 |
| HM-T5 | 0,4 - 0,2 cm            | castaño claro                     | 100                           | 0  | 0  | 0  | 100   | 0                   | 0               |
|       | 0,2 - 0,1 cm            | castaño claro                     | 88                            | 0  | 5  | 5  | 98    | 1                   | 1               |
|       | 1000 - 500 µm           | castaño claro                     | 70                            | 5  | 7  | 5  | 87    | 5                   | 5               |
|       | 500 - 250 µm            | castaño                           | 27                            | 10 | 40 | 10 | 87    | 8                   | 5               |
|       | 250 - 125 µm            | castaño muy oscuro                | 30                            | 10 | 30 | 12 | 82    | 10                  | 8               |
|       | 125 - 63 µm             | castaño muy oscuro                | 30                            | 10 | 30 | 10 | 80    | 10                  | 10              |
|       | < 63 µm                 | castaño                           | /                             | /  | /  | /  | /     | /                   | /               |

### HM-T6

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 39 y 38,7 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa, con un tamaño máximo de partícula de 250 µm.

Se identificaron cuatro morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño claro a incoloro**, angulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas a alargadas. Algunos fragmentos son alargados con canalículos paralelos entre sí, evidenciando fluidalidad.
- ❖ **M2: vitroclastos de color castaño oscuro**, angulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas a alargadas.
- ❖ **M3: vitroclastos escoriáceos grises a negros**, subangulosos, con baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares.
- ❖ **M4: vitroclastos de color castaño claro y oscuro**, algunos veteados, con superficie externa lisa y fractura concoidea. Estas partículas corresponden a esquirlas de **obsidiana**.

Se observaron numerosos remanentes de pared de burbuja de los vitroclastos de color castaño claro a incoloro y castaño oscuro en la fracción con un tamaño de partícula entre 125 y 63 µm.

La **fracción mineral** está compuesta fundamentalmente por **cristaloclastos incoloros**, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, subhedrales a anhedrales (plagioclasas). Los **cristaloclastos máficos** son en su mayoría de color verde muy claro a verde amarillento, translucidos, con brillo vítreo, hábito prismático, euhedrales a subhedrales (piroxenos y posiblemente olivinas). Algunos cristales están recubiertos parcialmente por una delgada cobertura vítrea parcial, conformando piroclastos mixtos.

Los **litoclastos** corresponden a fragmentos de roca, de coloraciones variadas, desde blanquecinas a gris muy oscuro, subangulosos.

Se observa que en las dos fracciones granulométricas no hay una variación en la proporción de los componentes.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |    |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|----|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |    |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | M3 | M4 | Total |                     |                 |
| HM-T6 | 250 - 125 $\mu\text{m}$ | castaño oscuro                    | 32                            | 15 | 40 | 5  | 92    | 5                   | 3               |
|       | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | castaño oscuro                    | 32                            | 15 | 40 | 5  | 92    | 5                   | 3               |
|       | < 63 $\mu\text{m}$      | castaño                           | /                             | /  | /  | /  | /     | /                   | /               |

### HM-T7

Nivel de tefra de 0,4 cm de espesor, ubicado entre los 37,5 cm y 37,1 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa, con un tamaño máximo de partícula de 500  $\mu\text{m}$ . Escasos vitroclastos con un tamaño de hasta 2 mm fueron observados.

Se identificaron cuatro morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1:** *vitroclastos de color castaño claro grisáceo a incoloro*, (algunos fragmentos con dos coloraciones de vidrio, castaño claro grisáceo y gris) angulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas, irregulares y alargadas. Algunos fragmentos son alargados con canaliculos paralelos entre sí. Carecen o presentan escasas inclusiones de minerales dentro de la masa vítrea como adheridos sobre la superficie.
- ❖ **M2:** *vitroclastos de color castaño verdoso oscuro*, son angulosos, pumíceos, con vesículas circulares, ovaladas y alargadas. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.
- ❖ **M3:** *vitroclastos escoriáceos grises a negros*, angulosos, con moderada a baja vesicularidad. Las vesículas son circulares e irregulares. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.
- ❖ **M4:** *vitroclastos de color castaño claro y oscuro*, algunos veteados, delgados, con superficie externa lisa y fractura concoidea. Estas partículas corresponden a esquirlas de **obsidiana**.

La **fracción mineral** está compuesta fundamentalmente por **crisales félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, subhedrales (plagioclasas); acompañados de **minerales máficos** de color verde, anhedrales (posiblemente olivinas) y escasos minerales negros, opacos, subhedrales, con brillo metálico, magnéticos (posiblemente magnetita/magnetita titanífera). Algunos cristales están parcialmente recubiertos por vidrio, conformando piroclastos mixtos. Los cristales presentan inclusiones de minerales negros, opacos en su interior.

Los **litoclastos** corresponden a fragmentos de roca de coloraciones variadas, desde anaranjadas a verdosas, subangulosos.

A medida que disminuye el tamaño de las partículas se observa que la proporción de los distintos componentes varía ligeramente siendo los fragmentos escoriáceos los componentes más abundantes junto con los vitroclastos de color castaño claro grisáceo.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |    |    |           |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|----|----|-----------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |    |    |           | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | M3 | M4 | Total     |                     |                 |
| HM-T7 | 500 - 250 $\mu\text{m}$ | castaño oscuro                    | 30                            | 18 | 40 | 6  | <b>94</b> | <b>3</b>            | <b>3</b>        |
|       | 250 - 125 $\mu\text{m}$ | castaño oscuro                    | 34                            | 10 | 40 | 6  | <b>90</b> | <b>5</b>            | <b>5</b>        |
|       | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | castaño oscuro                    | 30                            | 8  | 45 | 4  | <b>87</b> | <b>8</b>            | <b>5</b>        |
|       | < 63 $\mu\text{m}$      | castaño oscuro                    | /                             | /  | /  | /  | /         | /                   | /               |

### HM-T8

Nivel de tefra de 0,6 cm de espesor, ubicado entre los 35,5 cm y 34,9 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa, con un tamaño máximo de partícula de 0,2 cm.

Se identificaron cuatro morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño claro grisáceo**, angulosos, pumíceos, con vesículas circulares, ovaladas a alargadas. Algunos fragmentos son alargados con canalículos paralelos entre sí. Se observan escasas inclusiones de minerales dentro de la masa vítrea.
- ❖ **M2: vitroclastos de color castaño verdoso**, son angulosos a subangulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas a alargadas. Algunos fragmentos son alargados con canalículos paralelos entre sí evidenciando fluidalidad.

- ❖ **M3: vitroclastos escoriáceos de color negro**, angulosos, con alta a moderada vesicularidad. Las vesículas son circulares a irregulares. Se observan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.
- ❖ **M4: vitroclastos de color castaño claro a negro**, algunos veteados, con superficie externa lisa y fractura concoidea, densos. Algunos fragmentos presentan algunas vesículas circulares y ovaladas aisladas. Estos fragmentos corresponden a esquirlas de **obsidiana**.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, subhedrales a anhedrales (plagioclasas). Los **crystaloclastos máficos** son de color verde a verde muy oscuro casi negro, brillo vítreo, hábito prismático, en su mayoría subhedrales (piroxenos y posiblemente anfíbol, hornblenda). Algunos cristales están recubiertos por una delgada cobertura vítrea parcial o total, de coloración castaña clara a incolora y vidrio oscuro; conformando piroclastos mixtos. Los piroxenos presentan diminutas inclusiones de minerales de color negro, opacos.

Los **litoclastos** corresponden a fragmentos de roca de coloraciones variadas, desde castañas a negras; subangulosos.

Esta ceniza está compuesta fundamentalmente por vitroclastos en la cual predominan los de color castaño claro grisáceo en la fracción con un tamaño de partícula superior a los 0,1 cm y disminuyen su abundancia a medida que disminuye el tamaño de partícula. Esto va acompañado de un aumento en la proporción de los fragmentos escoriáceos. La proporción de vitroclastos de color castaño verdoso es escasa y su abundancia no superó el 20%.

La abundancia de los crystaloclastos aumentó a medida que disminuyó el tamaño de partícula acompañado de un ligero aumento en la proporción de litoclastos.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |    |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|----|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |    |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | M3 | M4 | Total |                     |                 |
| HM-T8 | 0,2 - 0,1 cm            | castaño claro                     | 80                            | 10 | 5  | 5  | 100   | 0                   | 0               |
|       | 1000 - 500 µm           | castaño oscuro                    | 20                            | 17 | 50 | 5  | 92    | 5                   | 3               |
|       | 500 - 250 µm            | castaño oscuro                    | 27                            | 20 | 35 | 5  | 87    | 8                   | 5               |
|       | 250 - 125 µm            | castaño oscuro                    | 27                            | 10 | 45 | 5  | 87    | 8                   | 5               |
|       | 125 - 63 µm             | castaño oscuro                    | 27                            | 10 | 45 | 5  | 85    | 10                  | 5               |
|       | < 63 µm                 | castaño oscuro grisáceo           | /                             | /  | /  | /  | /     | /                   | /               |

## HM-T9

Nivel de tefra de 1 cm de espesor, ubicado entre los 28 y 27 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño máximo de partícula de 500  $\mu\text{m}$ .

Se identificaron dos morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño oscuro**, subangulosos a angulosos, con moderada a alta vesicularidad. Las vesículas son ovaladas a circulares. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea. En la fracción con un tamaño de partícula entre los 125 y 63  $\mu\text{m}$ , se observan de un color castaño verdoso más claro.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color negro**, subangulosos a angulosos, con moderada a baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, euhedrales a subhedrales (plagioclasas), acompañados de **crystaloclastos máficos** de color verde muy claro a verde amarillento, subhedrales (piroxenos y posiblemente olivinas). En su mayoría los cristales se encuentran recubiertos totalmente o parcialmente por una delgada cobertura vítrea de color castaño verdoso a negro.

Los **litoclastos** corresponden a fragmentos de roca de coloraciones anaranjadas a verdosas, subangulosos a angulosos.

Los componentes más abundantes y responsables del color negro observado macroscópicamente en la ceniza son los vitroclastos escoriáceos en las granulometrías más gruesas. A medida que el tamaño de partícula disminuye aumentan en proporción los vitroclastos de color castaño verdoso y los crystaloclastos aclarando el color observado macroscópicamente. La proporción de cristales es abundante aunque su identificación se dificulta porque numerosos de ellos están recubiertos por vidrio de color negro. El hábito tabular de las plagioclasas ayuda en el reconocimiento de los mismos.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| HM-T9 | 500 - 250 $\mu\text{m}$ | negro                             | 35                            | 55 | 90    | 10                  | 0               |
|       | 250 - 125 $\mu\text{m}$ | negro                             | 27                            | 50 | 82    | 16                  | 2               |
|       | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | castaño oscuro                    | 32                            | 45 | 77    | 20                  | 3               |
|       | < 63 $\mu\text{m}$      | castaño claro                     | /                             | /  | /     | /                   | /               |

### HM-T10

Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 18,5 y 18,4 cm de profundidad.

Está compuesta por una ceniza gruesa, con un tamaño de partícula entre 1000 y 63  $\mu\text{m}$ .

Se identificaron dos morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso**, con formas irregulares y alargadas, de superficie externa lisa con protuberancias, dado por la presencia de numerosas burbujas internas. Internamente presentan alta vesicularidad, la cual queda expuesta en las superficies de fractura. Las vesículas son circulares, ovaladas a alargadas. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea. Estos fragmentos corresponden a lágrimas de Pele rotas.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color negro**, angulosos, con baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.

La **fracción mineral** está compuesta por **cristaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, subhedrales (plagioclasas) y **crisales máficos** de color verde claro, con brillo vítreo, hábito prismático, subhedrales (posiblemente piroxenos y olivinas). Los cristales están recubiertos parcialmente por una delgada cobertura vítrea de color verde, conformando piroclastos mixtos.

Los **litoclastos** son de coloraciones anaranjadas, angulosos.

| Tefra  | Fracción granulométrica  | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|--------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|        |                          |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|        |                          |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| HM-T10 | 1000 - 500 $\mu\text{m}$ | verde oscuro                      | 98                            | 0  | 98    | 2                   | 0               |
|        | 500 - 250 $\mu\text{m}$  | verde oscuro                      | 98                            | 0  | 98    | 2                   | 0               |
|        | 250 - 125 $\mu\text{m}$  | verde oscuro                      | 60                            | 38 | 93    | 5                   | 2               |
|        | 125 - 63 $\mu\text{m}$   | verde oscuro                      | 45                            | 48 | 93    | 5                   | 2               |

### HM-T11

Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 17 y 16,9 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa, con un tamaño de partícula entre 250 y 125  $\mu\text{m}$ . Está constituido fundamentalmente por vitroclastos, en la cual identificó dos morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso**, con formas irregulares y alargadas, de superficie externa lisa con protuberancias, dado por la presencia de numerosas burbujas internas. Internamente presentan alta vesicularidad, la cual queda expuesta en las superficies de fractura. Las vesículas son circulares, ovaladas a alargadas. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea. Estos fragmentos corresponden a lágrimas de Pele rotas.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color negro**, angulosos, con alta a moderada vesicularidad. Las vesículas son irregulares. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.

La población de vitroclastos más abundante corresponde a las lágrimas de Pele rotas que se presentan en una proporción del 65%, mientras que los fragmentos escoriáceos tienen una abundancia del 35%.

### HM-T12

Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 10 y 9,9 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa, con un tamaño de partícula entre 500 y 125  $\mu\text{m}$ .

Se identificaron dos morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso oscuro**, con formas irregulares y alargadas, de superficie externa lisa con protuberancias, dado por la presencia de numerosas burbujas internas. Internamente se observa una vesicularidad variable, desde baja a alta, la cual queda expuesta en las superficies de fractura. Las vesículas son circulares, ovaladas a alargadas. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea. Estos fragmentos corresponden a lágrimas de Pele rotas.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro a negro**, angulosos, con alta a moderada vesicularidad. Las vesículas son irregulares. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular (plagioclasas) y **crystalos máficos** de color verde a verde amarillento, con brillo vítreo, hábito prismático, subhedrales (posiblemente piroxenos y olivinas). Algunos crystalos están recubiertos parcialmente por una delgada cobertura vítreo de color verde, conformando piroclastos mixtos.

Los **litoclastos** son fragmentos de rocas de coloraciones claras, desde blanquecinas a grisáceas, subangulosos a angulosos.

Esta ceniza está compuesta principalmente por lágrimas de Pele rotas, caracterizando sobre todo las fracciones más gruesas. A medida que el tamaño de partícula disminuye, los fragmentos escoriáceos aumentan su abundancia hasta que en la fracción con un tamaño de partícula entre 125 y 63  $\mu\text{m}$ , ambas poblaciones presentan una abundancia similar.

La fracción mineral como los litoclastos son escasos y su mayor concentración se da en las fracciones más finas.

| Tefra  | Fracción granulométrica  | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|--------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|        |                          |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|        |                          |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| HM-T12 | 1000 - 500 $\mu\text{m}$ | verde oscuro                      | 100                           | 0  | 100   | 0                   | 0               |
|        | 500 - 250 $\mu\text{m}$  | verde oscuro                      | 97                            | 0  | 97    | 3                   | 0               |
|        | 250 - 125 $\mu\text{m}$  | verde oscuro                      | 68                            | 25 | 93    | 5                   | 2               |
|        | 125 - 63 $\mu\text{m}$   | castaño verdoso                   | 41                            | 41 | 82    | 10                  | 8               |

### HM-T13

Nivel de tefra de 0,2 cm de espesor, ubicado entre los 9 – 8,8 cm de profundidad. Está compuesto por lapilli fino y ceniza gruesa, con un tamaño máximo de partícula de 0,4 cm.

Se identificaron dos morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso oscuro**, con formas irregulares, elongados, retorcidos y con extremos ahusados. La superficie externa es lisa y botroidal dado por la presencia de numerosas burbujas internas. En algunos fragmentos se observa una película superficial muy delgada de color verde oscuro, con brillo mate, que contrasta con el brillo vítreo de las superficies de fractura de un mismo individuo. Internamente presentan vesicularidad que varía

de baja a alta, la cual queda expuesta en las superficies de fractura. Las vesículas son circulares, ovaladas y alargadas. Se observan inclusiones de minerales máficos y félsicos dentro de la masa vítrea y adheridos sobre la superficie de los fragmentos. Esta morfología de vitroclastos corresponde a lágrimas de Pele.

- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos negros**, subredondeados a subangulosos, con alta vesicularidad. Las vesículas son circulares e irregulares.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, euhedrales a subhedrales (plagioclasas) y **crystaloclastos máficos** de color verde a verde amarillento, translucidos, con brillo vítreo, hábito prismático (piroxenos y olivinas). La mayoría de los cristales presentan una delgada cobertura vítrea, parcial o total, de color verde, conformando piroclastos mixtos. Los minerales máficos presentan diminutas inclusiones de minerales negros, opacos.

Los **litoclastos** son de coloraciones anaranjadas, subangulosos.

| Tefra  | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|--------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|        |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|        |                         |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| HM-T13 | 0,4 - 0,1 cm            | verde oscuro                      | 100                           | 0  | 100   | 0                   | 0               |
|        | 1000 - 500 µm           | verde oscuro                      | 55                            | 40 | 95    | 5                   | 0               |
|        | 500 - 250 µm            | negro verdoso                     | 40                            | 54 | 89    | 8                   | 3               |
|        | 250 - 125 µm            | castaño                           | 33                            | 52 | 85    | 10                  | 5               |
|        | 125 - 63 µm             | gris claro                        | 30                            | 55 | 85    | 10                  | 5               |
|        | < 63 µm                 | castaño grisáceo claro            | /                             | /  | /     | /                   | /               |

#### HM-T14

Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, que se ubica en el techo del testigo, es decir, entre los 0,1 y 0 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa, caracterizada por dos fracciones granulométricas.

En la fracción con un tamaño de partícula entre 1000 y 250 µm, solo se identificó un tipo de morfología de vitroclasto:

- ❖ **vitroclastos de color castaño verdoso oscuro**, con superficie externa lisa y con protuberancias, dado por numerosas burbujas internas. Presentan formas irregulares a elongadas, con extremos ahusados y brillo vítreo. Internamente presentan alta a moderada vesicularidad, la cual queda expuesta en las

superficies de fractura. Las vesículas son circulares, ovaladas a alargadas. Estos fragmentos corresponden a lágrimas de Pele.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, brillo vítreo, hábito tabular, euhedrales a subhedrales (plagioclasas). Estos están cubiertos por una delgada cobertura vítrea de color castaño verdoso, conformando piroclastos mixtos.

En la fracción con un tamaño de partícula entre 125 y 63  $\mu\text{m}$  se identificaron:

- ❖ **vitroclastos de color castaño claro a incoloros**
- ❖ **vitroclastos de color castaño oscuro**
- ❖ **vitroclastos de color gris**

Los vitroclastos se caracterizan por ser subredondeados a subangulosos, muy pumíceos, con vesículas irregulares. Algunos fragmentos son alargados con canalículos paralelos entre sí evidenciando fluidalidad. Se observaron inclusiones de diminutos minerales negros, opacos, dentro de la masa vítrea.

- ❖ **vitroclastos escoriáceos negros**, subangulosos, con baja vesicularidad. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, anhedrales a subhedrales (plagioclasas) y **crystalos máficos** de color verde, translucidos, con brillo vítreo, hábito prismático, subhedrales (piroxenos).

En la fracción con un tamaño de partícula entre 63 y 125  $\mu\text{m}$  predominan los vitroclastos de color castaño claro y oscuro, acompañados en menor proporción por los vitroclastos incoloros, de color gris y fragmentos escoriáceos negros aislados.

## 2. Tefras del lago Huechulafquen

### H-T1

Nivel de tefra de 0,7 cm de espesor, ubicado entre los 27,7 y 27 cm de profundidad. Está compuesto por lapilli fino y ceniza gruesa, con un tamaño máximo de partícula de 1,6 cm.

Se reconocieron dos tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño oscuro**, subangulosos a angulosos, con moderada a alta vesicularidad. Las vesículas son ovaladas a circulares. En la

fracción con un tamaño de partícula entre los 125 y 63  $\mu\text{m}$ , se observan de un color castaño verdoso más claro.

- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color negro**, subangulosos a angulosos, con moderada a alta vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

Ambos tipos de vitroclastos presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, euhedrales a subhedrales (plagioclasas), acompañados de **crystaloclastos máficos** de color verde muy claro a verde amarillento, subhedrales (piroxenos y posiblemente olivinas). La mayoría de los cristales se encuentran recubiertos con vidrio de color castaño a negro, de manera total o parcial, conformando piroclastos mixtos.

Los **litoclastos** corresponden a fragmentos de roca de coloraciones anaranjadas a verdosas, subangulosos a angulosos.

Los vitroclastos escoriáceos predominan en las fracciones más gruesas y disminuyen su abundancia hacia las fracciones más finas acompañado de un aumento de los vitroclastos de color castaño y los crystaloclastos. Esta variación en la proporción de los componentes se ve reflejada en una coloración más clara.

| Tefra | Fracción granulométrica  | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |     |       |                     |                 |
|-------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                          |                                   | Vitroclastos (%)              |     |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                          |                                   | M1                            | M2  | Total |                     |                 |
| H-T1  | 1,6 - 0,2 cm             | negro                             | 0                             | 100 | 100   | 0                   | 0               |
|       | 0,2 - 0,1 cm             | negro                             | 30                            | 70  | 100   | 0                   | 0               |
|       | 1000 - 500 $\mu\text{m}$ | negro                             | 38                            | 60  | 98    | 2                   | 0               |
|       | 500 - 250 $\mu\text{m}$  | negro                             | 45                            | 50  | 95    | 7                   | 0               |
|       | 250 - 125 $\mu\text{m}$  | castaño oscuro                    | 45                            | 40  | 85    | 10                  | 5               |
|       | 125 - 63 $\mu\text{m}$   | castaño oscuro                    | 50                            | 30  | 83    | 12                  | 5               |
|       | < 63 $\mu\text{m}$       | castaño claro                     | /                             | /   | /     | /                   | /               |

## H-T2

Nivel de tefra de 0,8 cm de espesor, ubicado entre los 26 y 25,2 cm de profundidad. Está compuesto por lapilli fino y ceniza gruesa, con un tamaño máximo de partícula de 0,4 cm.

Se reconocieron dos tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso**, de formas irregulares a elongadas. Presentan superficie externa lisa con protuberancias dado por la presencia de numerosas burbujas internas. En las superficies de fractura queda expuesta la vesicularidad interna. Estos fragmentos presentan baja a alta vesicularidad, con vesículas circulares a ovaladas. Algunos fragmentos carecen de la superficie externa lisa, son pumíceos y debido a la alta vesicularidad, las paredes del vidrio se tornan muy delgadas y los vitroclastos se observan de un color castaño verdoso claro. Las vesículas son circulares y ovaladas, con frecuente coalescencia de burbujas.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color negro**, subangulosos a angulosos, con moderada a alta vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

La **fracción mineral** está constituida por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, euhedrales a subhedrales (plagioclasas) y **crystaloclastos máficos** de color verde a verde amarillento, translucidos, con brillo vítreo, hábito prismático, subhedrales (píroxenos y posiblemente olivinas). Los cristales máficos presentan numerosas inclusiones de diminutos minerales de color negro, opacos. Todos los cristales presentan un recubrimiento vítreo de color verdoso, conformando piroclastos mixtos. En aquellos casos en que el recubrimiento es muy grueso, su identificación es posible a partir del hábito de los minerales.

Los **litoclastos** son subangulosos y presentan coloraciones anaranjadas.

La fracción con un tamaño de partícula entre los 0,4 y 0,2  $\mu\text{m}$ , está compuesta fundamentalmente por vitroclastos escoriáceos. Por debajo de los 0,2  $\mu\text{m}$ , ambas morfologías de vitroclastos están presentes en proporciones similares. Hacia las fracciones más finas aumenta la abundancia de los crystaloclastos. Los litoclastos son escasos y su abundancia no supera el 5 %.

| Tefra | Fracción granulométrica  | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |     |       |                     |                 |
|-------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                          |                                   | Vitroclastos (%)              |     |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                          |                                   | M1                            | M2  | Total |                     |                 |
| H-T2  | 0,4 - 0,2 cm             | negro                             | 0                             | 100 | 100   | 0                   | 0               |
|       | 0,2 - 0,1 cm             | negro                             | 48                            | 50  | 98    | 2                   | 0               |
|       | 1000 - 500 $\mu\text{m}$ | negro                             | 45                            | 48  | 93    | 5                   | 2               |
|       | 500 - 250 $\mu\text{m}$  | negro                             | 40                            | 55  | 93    | 5                   | 2               |
|       | 250 - 125 $\mu\text{m}$  | castaño oscuro                    | 40                            | 47  | 87    | 8                   | 5               |
|       | 125 - 63 $\mu\text{m}$   | castaño oscuro                    | 40                            | 45  | 85    | 10                  | 5               |
|       | < 63 $\mu\text{m}$       | castaño claro                     | /                             | /   | /     | /                   | /               |

### H- T3

Nivel de tefra de 1 cm de espesor, ubicado entre los 23,5 y 22,5 cm de profundidad. Está compuesto por lapilli fino y ceniza gruesa, con un tamaño máximo de partícula de 0,4 cm.

Se reconocieron dos tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso**, con formas irregulares a alargadas, angulosos, de superficie externa lisa con protuberancias. En las superficies de fractura queda expuesta la vesicularidad interna. Son altamente vesiculares, con vesículas circulares, ovaladas a alargadas. En la fracción con un tamaño de partícula entre los 125 y 63  $\mu\text{m}$ , se identificaron remanentes de pared de burbuja.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos negros**, subangulosos a angulosos, con moderada a alta vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, euhedrales a subhedrales (plagioclasas). Los **crystaloclastos máficos** son de color verde a verde amarillento claro, translucidos, con brillo vítreo, hábito prismático, subhedrales (piroxenos y olivinas). Los cristales están recubiertos por una delgada cobertura vítrea de color verde y negro conformando piroclastos mixtos.

Los **litoclastos** son fragmentos de roca de coloraciones variadas desde blanquecinas a rojizas, subangulosos a angulosos.

| Tefra | Fracción granulométrica  | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|-------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                          |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                          |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| H-T3  | 0,4 - 0,2 cm             | verde oscuro                      | 50                            | 50 | 100   | 0                   | 0               |
|       | 0,2 - 0,1 cm             | verde oscuro                      | 50                            | 50 | 100   | 0                   | 0               |
|       | 1000 - 500 $\mu\text{m}$ | verde oscuro                      | 60                            | 37 | 97    | 3                   | 0               |
|       | 500 - 250 $\mu\text{m}$  | verde oscuro                      | 58                            | 35 | 93    | 5                   | 2               |
|       | 250 - 125 $\mu\text{m}$  | castaño muy oscuro                | 45                            | 45 | 90    | 5                   | 5               |
|       | 125 - 63 $\mu\text{m}$   | castaño oscuro                    | 45                            | 45 | 90    | 5                   | 5               |
|       | < 63 $\mu\text{m}$       | castaño claro                     | /                             | /  | /     | /                   | /               |

#### H-T4

Nivel de tefra de 0,2 cm de espesor, ubicado aproximadamente entre los 18,5 y 18 cm de profundidad. Está compuesta por una ceniza gruesa con un tamaño de partícula entre 500 y 63  $\mu\text{m}$ .

Se reconocieron dos tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso**, con formas irregulares a alargadas, angulosos, de superficie externa lisa con protuberancias. En las superficies de fractura queda expuesta la vesicularidad interna. La vesicularidad varía de alta a baja, con vesículas circulares, ovaladas a alargadas. Algunos fragmentos son de **color castaño verdoso claro**, subangulosos, pumíceos, con vesículas irregulares. Se observaron minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea. En la fracción con un tamaño de partícula entre los 125 y 63  $\mu\text{m}$ , estos tipos de vitroclastos se observan de un color castaño verdoso y los fragmentos presentan baja vesicularidad.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color gris a negro**, subangulosos a angulosos, con moderada a baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, subhedrales a anhedrales (plagioclasas). Los **crystaloclastos máficos** son de color verde a verde amarillento claro, translucidos, con brillo vítreo, hábito prismático, subhedrales (piroxenos y olivinas). Los cristales están recubiertos por una delgada cobertura vítrea de color verde y negro conformando piroclastos mixtos. Los minerales máficos presentan diminutas inclusiones de minerales negros, opacos.

Los **litoclastos** corresponden a fragmentos de roca de coloraciones variadas desde blanquecinas a negras, subangulosos.

En esta ceniza se identificaron dos morfologías distintivas de vitroclastos que se presentan en proporciones muy similares aunque las lágrimas de Pele son ligeramente más abundantes. Los crystaloclastos son más abundantes en la fracción con un tamaño de partícula inferior a 125  $\mu\text{m}$ .

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| H-T4  | 500 - 250 $\mu\text{m}$ | verde muy oscuro                  | 50                            | 40 | 90    | 5                   | 5               |
|       | 250 - 125 $\mu\text{m}$ | verde muy oscuro                  | 48                            | 40 | 88    | 5                   | 7               |
|       | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | castaño oscuro                    | 43                            | 40 | 83    | 10                  | 7               |

## H-T5

Nivel de tefra de 0,5 cm de espesor, ubicado entre los 11 y 10,5 cm de profundidad.

Está compuesta por una ceniza gruesa con un tamaño máximo de partícula de 0,2 cm.

Se reconocieron dos tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso**, con formas irregulares a alargadas, angulosos, de superficie externa lisa con protuberancias. En las superficies de fractura queda expuesta la vesicularidad interna. Altamente vesiculares, con vesículas circulares, ovaladas a alargadas. Estos vitroclastos corresponden a lágrimas de Pele rotas. Algunos fragmentos son subangulosos, pumíceos. Se observaron minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color negro**, subangulosos a angulosos, con moderada a alta vesicularidad. Las vesículas son irregulares. Presentan minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.

La **fracción mineral** está compuesta por **cristaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, euhedrales a subhedrales (plagioclasas). Los **cristaloclastos máficos** son de color verde a verde amarillento, translucidos, con brillo vítreo, hábito prismático, subhedrales (piroxenos y olivinas). Los cristales están recubiertos por una delgada cobertura vítrea de color verde y negro conformando piroclastos mixtos.

La fracción con un tamaño de partícula entre 0,2 y 0,1  $\mu\text{m}$ , está compuesta en mayor proporción por lágrimas de Pele y lágrimas rotas acompañadas por vitroclastos escoriáceos. Por debajo de los 0,2  $\mu\text{m}$ , ambas morfologías se presentan en proporciones similares. La abundancia de cristaloclastos aumenta ligeramente hacia la fracción más fina con presencia de escasos litoclastos.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| H-T5  | 0,2 - 0,1 cm            | verde oscuro                      | 80                            | 20 | 100   | 0                   | 0               |
|       | 1000 - 500 µm           | verde oscuro                      | 55                            | 43 | 98    | 5                   | 3               |
|       | 500 - 250 µm            | verde oscuro                      | 35                            | 55 | 90    | 7                   | 3               |
|       | 250 - 125 µm            | verde oscuro                      | 33                            | 55 | 88    | 7                   | 5               |
|       | 125 - 63 µm             | castaño oscuro                    | 32                            | 55 | 87    | 8                   | 5               |
|       | < 63 µm                 | castaño claro                     | /                             | /  | /     | /                   | /               |

### H-T6

Nivel de tefra de 0,4 cm de espesor, ubicado entre los 6,4 y 6 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño máximo de partícula de 500 µm.

Se reconocieron dos tipos de morfologías (m) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso**, con formas irregulares a alargadas, angulosos, de superficie externa lisa con protuberancias. En las superficies de fractura queda expuesta la vesicularidad interna. Son altamente vesiculares, con vesículas circulares, ovaladas a alargadas. Estos vitroclastos corresponden a lágrimas de Pele. Algunos fragmentos son subangulosos a angulosos, pumíceos. Se observaron minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color negro**, subangulosos a angulosos, con moderada a alta vesicularidad. Las vesículas son irregulares. Presentan minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.

La **fracción mineral** está compuesta por **cristaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, euhedrales a subhedrales (plagioclasas). Los **cristaloclastos máficos** son de color verde, translucidos, con brillo vítreo, hábito prismático, subhedrales (piroxenos). Los cristales están recubiertos por una delgada cobertura vítrea de color verde y negro conformando piroclastos mixtos.

Los **litoclastos** son de coloraciones anaranjadas, subangulosos a angulosos.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| H-T6  | 500 - 250 µm            | verde oscuro                      | 60                            | 35 | 95    | 3                   | 2               |
|       | 250 - 125 µm            | verde oscuro                      | 45                            | 45 | 90    | 5                   | 5               |
|       | 125 - 63 µm             | castaño oscuro                    | 40                            | 45 | 85    | 10                  | 5               |
|       | < 63 µm                 | castaño claro                     | /                             | /  | /     | /                   | /               |

## H-T7

Nivel de tefra de 0,7 cm de profundidad, ubicado entre los 1 y 0,3 cm de profundidad. Está compuesto por lapilli fino y ceniza gruesa, con un tamaño máximo de partícula de 0,4 cm.

Se reconocieron dos tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso claro a oscuro**, con formas irregulares a alargadas, angulosos, de superficie externa lisa con protuberancias. En las superficies de fractura queda expuesta la vesicularidad interna. Altamente vesiculares, con vesículas circulares, ovaladas a alargadas e irregulares. Estos vitroclastos corresponden a lágrimas de Pele rotas. Algunos fragmentos son subangulosos a angulosos, pumíceos.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color negro**, angulosos, con alta vesicularidad. Las vesículas son irregulares. Presentan inclusiones de minerales félsicos y máficos dentro de la masa vítrea.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, euhedrales a subhedrales (plagioclasas). Los **crystaloclastos máficos** son de color verde amarillento a verde claro, translucidos, con brillo vítreo, hábito prismático, euhedrales a subhedrales (olivinas y piroxenos). Los cristales están recubiertos por una delgada cobertura vítrea de color verde y negro conformando piroclastos mixtos. En la fracción con un tamaño de partícula menor a los 125 µm, los minerales no presentan recubrimiento vítreo.

Los **litoclastos** son decoloraciones anaranjadas, angulosos.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| H-T7  | 0,4 - 0,2 cm            | verde oscuro                      | 20                            | 80 | 100   | 0                   | 0               |
|       | 0,2 - 0,1 cm            | verde oscuro                      | 40                            | 60 | 100   | 0                   | 0               |
|       | 1000 - 500 µm           | verde oscuro                      | 40                            | 58 | 98    | 2                   | 0               |
|       | 500 - 250 µm            | verde muy oscuro                  | 40                            | 53 | 93    | 5                   | 2               |
|       | 250 - 125 µm            | verde muy oscuro                  | 42                            | 50 | 92    | 5                   | 3               |
|       | 125 - 63 µm             | castaño oscuro                    | 57                            | 30 | 87    | 10                  | 3               |
|       | < 63 µm                 | castaño claro                     | /                             | /  | /     | /                   | /               |

## H-T8

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado en el techo del testigo, entre los 0,3 y 0 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño de partícula entre 125 y 63  $\mu\text{m}$ .

Se reconocieron dos tipos de morfologías de vitroclastos:

- ❖ **M1:** *vitroclastos incoloros y de color castaño claro, castaño oscuro y gris*, subredondeados a subangulosos, muy pumíceos, con vesículas irregulares. Algunos fragmentos son alargados con canalículos paralelos entre sí, evidenciando fluidalidad. Se observaron inclusiones de diminutos minerales negros, opacos, dentro de la masa vítrea.
- ❖ **M2:** *vitroclastos escoriáceos negros*, subangulosos, con baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, anhedrales a subhedrales (plagioclasas) y **crystaloclastos máficos** de color verde, translucidos, con brillo vítreo, hábito prismático, subhedrales (piroxenos) y minerales de color negro, opacos, subhedrales con brillo metálico, magnéticos (posiblemente magnetita/magnetita titanífera).

La tefra H-T8 se observó macroscópicamente de color castaño claro, dado fundamentalmente por una mayor proporción de vitroclastos de esta coloración (65 %), vitroclastos de color castaño oscuro (15 %) y crystaloclastos (10 %). Estos están acompañados por vitroclastos incoloros, grises y fragmentos escoriáceos negros aislados que en su totalidad representan un 10%. La muestra carece de litoclastos.

### 3. Tefras de la Laguna Carirriñe

## C-T70

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 1,7 y 1,2 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño de partícula entre 125 y 63  $\mu\text{m}$ .

Se reconocieron cuatro tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1:** *vitroclastos incoloros y de color castaño claro*, subredondeados a subangulosos, muy pumíceos, con vesículas irregulares. Algunos fragmentos son alargados con canalículos paralelos entre sí evidenciando fluidalidad. Se

observaron inclusiones de diminutos minerales negros, opacos, dentro de la masa vítrea.

- ❖ **M2: vitroclastos de color castaño oscuro y gris**, subredondeados a subangulosos, muy pumíceos, con vesículas irregulares.
- ❖ **M3: vitroclastos escoriáceos negros**, subangulosos, con baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares.
- ❖ **M4: Vitroclastos de color castaño verdoso**, aislados, de formas irregulares a alargadas, con superficie externa lisa con protuberancias. Estos fragmentos corresponden a lágrimas de Pele.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, translucidos, con brillo vítreo, hábito tabular, anhedrales a subhedrales (plagioclasas) y **crystaloclastos máficos** de color verde, translucidos, con brillo vítreo, hábito prismático, subhedrales (piroxenos) y minerales de color negro, opacos, subhedrales con brillo metálico, magnéticos (posiblemente magnetita/magnetita titanífera).

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |    |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|----|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |    |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | M3 | M4 | Total |                     |                 |
| C-T70 | 125 - 63 µm             | castaño muy oscuro                | 50                            | 25 | 8  | 9  | 92    | 8                   | 0               |

### C-T69

Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 20,5 y 20 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño de partícula menor a 125 µm.

Se reconocieron dos tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso**, de formas irregulares, con superficie externa lisa con protuberancias. Presentan moderada vesicularidad interna. Las vesículas son circulares, ovaladas y alargadas. Estos fragmentos corresponden a lágrimas de Pele rotas.
- ❖ **M2: Vitroclastos escoriáceos de color negro**, subangulosos, con moderada vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, con brillo vítreo, subhedrales (plagioclasas) y **crystaloclastos máficos** de color verde, con brillo vítreo y hábito prismático, subhedrales (piroxenos).

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| C-T69 | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | castaño muy oscuro                | 48                            | 45 | 93    | 5                   | 2               |
|       | < 63 $\mu\text{m}$      | castaño                           | /                             | /  | /     | /                   | /               |

### C-T68

Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 37,5 y 37 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño de partícula menor a 125  $\mu\text{m}$ .

Se reconocieron dos tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso**, de formas irregulares a alargadas, con superficie externa lisa con protuberancias. La vesicularidad interna es alta. Las vesículas son circulares, ovaladas y alargadas. Estos fragmentos corresponden a lágrimas de Pele rotas.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color negro**, subangulosos, con moderada vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

La **fracción mineral** está compuesta por **cristaloclastos félsicos**, incoloros, con brillo vítreo, subhedrales (plagioclasas).

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| T68   | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | castaño muy oscuro                | 53                            | 40 | 93    | 5                   | 2               |
|       | < 63 $\mu\text{m}$      | castaño muy oscuro                | /                             | /  | /     | /                   | /               |

### C-T67

Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 43 y 42,5 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño de partícula entre 125 y 63  $\mu\text{m}$ .

Se reconocieron dos tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso**, de formas irregulares a alargadas, presentan superficie externa lisa con protuberancias. Estos fragmentos corresponden a lágrimas de Pele rotas. Se observan numerosos fragmentos correspondientes a remanentes de pared de burbuja.

- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro**, subangulosos, con moderada a baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

La **fracción mineral** está compuesta por **crystaloclastos félsicos**, incoloros, con brillo vítreo, anhedrales (plagioclasas) y **crystaloclastos máficos** de color verde, con brillo vítreo, hábito prismático, subhedrales (piroxenos). Algunos cristales presentan delgadas envolturas vítreas.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| C-T67 | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | castaño muy oscuro                | 48                            | 48 | 96    | 3                   | 1               |

### C-T66

Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 44,5 y 44 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño de partícula entre 125 y 63  $\mu\text{m}$ .

Se reconocieron dos tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso**, angulosos, alargados, de superficie externa lisa. La mayoría son muy delgados, con superficie externa concoidea, algunos con forma de Y. Estos fragmentos corresponden a remanentes de pared de burbuja de lágrimas de Pele.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos negros**, subangulosos, con moderada a baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

La **fracción mineral** está compuesta por crystaloclastos félsicos, incoloros, con brillo vítreo, subhedrales (plagioclasas), recubiertos con delgadas envolturas vítreas.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| C-T66 | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | castaño muy oscuro                | 48                            | 48 | 96    | 3                   | 1               |

### C-T65

Nivel de tefra de 0,5 cm de espesor, ubicado entre los 45,5 y 45 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño de partícula entre 125 y 63  $\mu\text{m}$ .

Se reconocieron dos tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso**, de formas irregulares a alargadas, con superficie externa lisa con protuberancias. Presentan alta vesicularidad, con vesículas circulares, ovaladas y alargadas. Estos fragmentos corresponden a lágrimas de Pele rotas.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro**, subangulosos, con baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

La **fracción mineral** está compuesta por cristaloclastos félsicos, incoloros, con brillo vítreo, subhedrales (plagioclasas) y cristaloclastos máficos de color verde a verde amarillento, con brillo vítreo, hábito prismático, subhedrales a anhedrales (piroxenos y posiblemente olivinas), con delgados recubrimientos vítreos.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| C-T65 | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | castaño muy oscuro                | 55                            | 39 | 94    | 4                   | 2               |

#### C-T64

Nivel de tefra de 0,5 cm de espesor, ubicado entre los 48,7 y 48,2 cm de profundidad. Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño de partícula entre 500 y 63  $\mu\text{m}$ . Se reconocieron dos tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

- ❖ **M1: vitroclastos de color castaño verdoso**, de formas irregulares a alargadas, con superficie externa lisa con protuberancias. Presentan alta vesicularidad interna, con vesículas circulares, ovaladas y alargadas según el eje mayor de estiramiento. Estos vitroclastos corresponden a lágrimas de Pele y lágrimas rotas.
- ❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color negro**, angulosos, con alta a moderada vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

La **fracción mineral** está compuesta por **cristaloclastos félsicos**, incoloros, con brillo vítreo (plagioclasas) y **cristaloclastos máficos** de color verde a verde amarillento (olivinas y piroxenos) en orden decreciente de abundancia. Todos los minerales presentan delgados recubrimientos vítreos.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | M1                            | M2 | Total |                     |                 |
| C-T64 | 500 - 250 $\mu\text{m}$ | castaño muy oscuro                | 74                            | 20 | 94    | 4                   | 2               |
|       | 250 - 125 $\mu\text{m}$ | castaño muy oscuro                | 50                            | 42 | 92    | 5                   | 3               |
|       | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | castaño muy oscuro                | 46                            | 46 | 92    | 5                   | 3               |

### C-T63

Nivel de tefra de 0,7 cm de espesor, ubicado entre los 52,2 y 51,5 cm de profundidad.

Está compuesto por una ceniza gruesa con un tamaño de partícula entre 500 y 63  $\mu\text{m}$ .

Se reconocieron dos tipos de morfologías (M) de vitroclastos:

❖ **M1: vitroclastos escoriáceos de color negro**, angulosos, con alta vesicularidad.

Las vesículas son irregulares.

❖ **M2: vitroclastos escoriáceos de color castaño oscuro**, angulosos, altamente a moderadamente vesiculares. Las vesículas son circulares, ovaladas e irregulares.

La **fracción mineral** está compuesta fundamentalmente por **cristaloclastos félsicos**, incoloros, con brillo vítreo, hábito tabular, euhedrales a subhedrales (plagioclasas) y en menor proporción **cristaloclastos máficos** de color verde, con brillo vítreo y hábito prismático (piroxenos) con gruesas envolturas vítreas de color negro.

| Tefra | Fracción granulométrica | Color observado macroscópicamente | Abundancia de los componentes |    |       |                     |                 |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----|-------|---------------------|-----------------|
|       |                         |                                   | Vitroclastos (%)              |    |       | Cristaloclastos (%) | Litoclastos (%) |
|       |                         |                                   | P1                            | P2 | Total |                     |                 |
| T63   | 500 - 250 $\mu\text{m}$ | negro                             | 65                            | 30 | 95    | 5                   | 0               |
|       | 250 - 125 $\mu\text{m}$ | negro                             | 54                            | 40 | 94    | 6                   | 0               |
|       | 125 - 63 $\mu\text{m}$  | negro                             | 50                            | 42 | 92    | 8                   | 0               |

### C-T62

Su descripción se detalla en la página 105.

### C-T61

Su descripción se detalla en la página 104.

### **C-T60**

Nivel de tefra de 2 cm de espesor, ubicado entre los 76 y 74 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos incoloros, angulosos, pumíceos, con vesículas circulares y ovaladas. Numerosos fragmentos son alargados y presentan canalículos paralelos entre sí. Están acompañados por vitroclastos de color castaño, angulosos, pumíceos y fragmentos escoriáceos de color gris oscuro con moderada vesicularidad. Además, se identificaron vitroclastos que varían desde incoloros a castaño muy oscuro, algunos veteados, angulosos, densos, con superficie de fractura concoidea que corresponden a esquirlas de obsidiana. Se observó la presencia de pirita con textura framboidal ocupando las cavidades de las vesículas en algunos vitroclastos. La fracción mineral está compuesta por plagioclasa y piroxenos con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T59**

Nivel de tefra de 1,5 cm de espesor, ubicado entre los 92 y 90,5 cm de profundidad. Está compuesto en proporciones similares por vitroclastos de color castaño verdoso, angulosos, y vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro. Angulosos. Ambos tipos de vitroclastos carecen o presentan muy baja vesicularidad. La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, olivinas y piroxenos, con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T58**

Nivel de tefra de 1 cm de espesor, ubicado entre los 109,5 y 108,5 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos escoriáceos de color gris muy oscuro, con moderada a baja vesicularidad; acompañados por vitroclastos de color castaño claro y castaño oscuro, pumíceos. En algunos fragmentos se identifica la presencia de pirita con textura framboidal ocupando las cavidades de las vesículas. La fracción mineral está compuesta mayormente por plagioclasas y piroxenos.

### **C-T57**

Nivel de tefra de 0,8 cm de espesor, ubicado entre los 118,5 y 117,7 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro grisáceo a gris, pumíceos, angulosos a subangulosos, acompañados por vitroclastos de color castaño oscuro con alta vesicularidad y vitroclastos escoriáceos negros, altamente vesiculares.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos con delgados recubrimientos vítreos.

#### **C-T56**

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 131,9 y 131,6 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro grisáceo a castaño, pumíceos, subangulosos; acompañados por vitroclastos de color castaño muy oscuro a negro, con alta vesicularidad.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasa, piroxenos y anfíboles, con delgados recubrimientos vítreos parciales, conformando piroclastos mixtos.

#### **C-T55**

Su descripción se detalla en la página 104.

#### **C-T54**

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 141,4 y 141,1 cm de profundidad. Está compuesta fundamentalmente por vitroclastos de color castaño claro pumíceos, subangulosos a angulosos. En menor proporción de color castaño oscuro, pumíceos y fragmentos escoriáceos de color castaño muy oscuro con vesículas irregulares. Algunos vitroclastos presentan dos coloraciones de vidrio.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, incoloras, subhedrales y minerales de color verde y verde amarillento (piroxenos y olivinas).

#### **C-T53**

Su descripción se detalla en la página 103.

#### **C-T52**

Nivel de tefra de 0,4 cm de espesor, ubicado entre los 208,5 y 208,1 cm de profundidad. Está compuesto mayormente por vitroclastos escoriáceos de color castaño oscuro a castaño rojizo, altamente vesiculares, angulosos. En menor proporción se identificaron vitroclastos de color castaño claro a castaño oscuro, pumíceos, subangulosos. Algunos vitroclastos presentan dos coloraciones de vidrio.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, incoloras y piroxenos, con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T51**

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 225 y 248,5 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro y castaño oscuro, angulosos, pumíceos, con frecuente coalescencia de burbujas. Las vesículas son irregulares. Están acompañados por vitroclastos escoriáceos, con alta vesicularidad, aislados.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y en muy baja proporción piroxenos. Presentan delgados recubrimientos vítreos de color castaño, parciales.

### **C-T50**

Su descripción se detalla en la página 102.

### **C-T49**

Nivel de tefra de 0,2 cm de espesor, ubicado entre los 293,4 y 293,2 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro y castaño oscuro, muy angulosos, pumíceos, con frecuente coalescencia de burbujas. En menor proporción se identificaron vitroclastos escoriáceos de color negro, aislados.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos con gruesas envolturas vítreas.

### **C-T48**

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 305,9 y 305,6 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos de color castaño claro y en menor proporción castaño oscuro, muy angulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas, alargadas y canalículos paralelos entre sí. Se identifican remanentes de pared de burbuja. Están acompañados por vitroclastos de color castaño claro y oscuro, densos, con superficie de fractura concoidea. Estos fragmentos corresponden a esquirlas de obsidiana. Además, se identificaron vitroclastos de color negro aislados, con moderada vesicularidad.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, subhedrales a anhedrales.

### **C-T47**

Su descripción se detalla en la página 102.

#### **C-T46**

Nivel de tefra de 1,5 cm de espesor, ubicado entre los 324,5 y 323 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño verdoso, angulosos, con moderada a baja vesicularidad. Las vesículas son ovaladas a alargadas. Además se identificaron vitroclastos escoriáceos de color negro, angulosos a subangulosos, con moderada a baja vesicularidad. Las vesículas son circulares e irregulares.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, piroxenos y olivinas.

#### **C-T45**

Nivel de tefra de 0,4 cm de espesor, ubicado entre los 327,1 y 326,7 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color gris oscuro a negro, angulosos, con moderada a baja vesicularidad. Están acompañados por vitroclastos de color castaño, angulosos, con moderada a baja vesicularidad. Las vesículas son circulares y ovaladas.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, piroxenos y olivinas con delgados recubrimientos vítreos, conformando piroclastos mixtos.

#### **C-T44**

Su descripción se detalla en la página 101.

#### **C-T43**

Nivel de tefra de 0,7 cm de espesor, ubicado entre los 340,2 y 339,5 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos de color castaño verdoso, angulosos, con moderada a baja vesicularidad. Las vesículas son circulares y ovaladas. En menor proporción vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro a negro, angulosos, con moderada vesicularidad. Las vesículas son circulares e irregulares.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, piroxenos y olivinas.

#### **C-T42**

Nivel de tefra de 0,1 cm de espesor, ubicado entre los 347,8 y 347,7 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos de color castaño claro a incoloro, angulosos, pumíceos, con vesículas circulares, ovaladas y canalículos paralelos entre sí. Están acompañados por vitroclastos de color castaño claro y oscuro, angulosos, densos, con superficie de fractura concoidea. Estos vitroclastos corresponden a esquirlas de

obsidiana. La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, incoloras, subhedrales a anhedrales.

#### **C-T41**

Nivel de tefra de 0,4 cm de espesor, ubicado entre los 357 y 356,6 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos escoriáceos de color castaño oscuro grisáceo, angulosos, con alta vesicularidad. Las vesículas son irregulares. En menor proporción, se identificaron vitroclastos de color castaño grisáceo, subangulosos, pumíceos, con vesículas irregulares, con coalescencia de burbujas.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, piroxenos y olivinas; mencionados en orden decreciente de abundancia.

#### **C-T40**

Su descripción se detalla en la página 100.

#### **C-T39**

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 368,4 y 368,1 cm de profundidad. Está compuesto en proporciones similares por vitroclastos escoriáceos de color negro, angulosos, con baja a moderada vesicularidad. Las vesículas son circulares e irregulares. Además, se identificaron vitroclastos de color castaño verdoso, angulosos, con moderada a baja vesicularidad.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos.

#### **C-T38**

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 387,3 y 387 cm de profundidad. Está compuesta en mayor proporción por vitroclastos de color castaño, angulosos a subangulosos, pumíceos, con vesículas circulares y ovaladas. Los vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro son angulosos, moderadamente vesiculados. Las vesículas son irregulares y circulares.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos.

#### **C-T37**

Nivel de tefra de 0,2 cm de espesor, ubicado entre los 393 y 392,8 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por lágrimas de Pele de color castaño verdoso rotas,

con superficie externa lisa y con protuberancias, dado por la presencia de numerosas burbujas internas. Las vesículas son circulares, ovaladas y ligeramente alargadas. Están acompañados por vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro, subangulosos, con moderada vesicularidad.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y olivinas.

### **C-T36**

Nivel de tefra de 0,5 cm de espesor, ubicado entre los 394 y 393,5 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos incoloros, angulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas y alargadas. Están acompañados en menor proporción por vitroclastos de color castaño verdoso, angulosos, pumíceos y vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro, con moderada vesicularidad. Además, se identificaron vitroclastos de color castaño claro a incoloro. Son angulosos, densos y presentan fractura concoidea. Estos fragmentos corresponden a esquirlas de obsidiana.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos.

### **C-T35**

Nivel de tefra de 0,2 cm de espesor, ubicado entre los 402,4 y 402,2 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño verdoso, angulosos, pumíceos, con vesículas circulares y ovaladas. Están acompañados por vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro. Son angulosos, con moderada a baja vesicularidad.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, piroxenos y olivinas, con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T34**

Nivel de tefra de 0,7 cm de espesor, ubicado entre los 407,6 y 406,9 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño verdoso, angulosos, con alta y moderada vesicularidad. Las vesículas son circulares y ovaladas. Están acompañadas por escasos vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro a negro, subangulosos, con moderada vesicularidad.

La fracción mineral está compuesta fundamentalmente por plagioclasa y en menor proporción piroxenos y olivinas.

### **C-T33**

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 420,1 y 419,8 cm de profundidad. Está compuesto por lágrimas de Pele rotas, de color castaño verdoso, con superficie externa lisa y con protuberancias, dado por la presencia de numerosas burbujas internas. Las vesículas son circulares, ovaladas y alargadas. Están acompañadas por vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro. Son angulosos y presentan moderada vesicularidad. La fracción mineral, está compuesta por plagioclasas y piroxenos con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T32**

Nivel de tefra de 1,2 cm de espesor, ubicado entre los 422,4 y 421,2 cm de profundidad. Está compuesto por lágrimas de Pele y lágrimas rotas de color castaño oscuro, angulosos, de formas irregulares a alargadas. Presentan superficie externa lisa con protuberancias. Poseen alta a moderada vesicularidad, con vesículas circulares y ovaladas. Además, se identificaron vitroclastos escoriáceos de color negro, angulosos, con alta vesicularidad. Las vesículas son irregulares. La fracción mineral está compuesta fundamentalmente por plagioclasas con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T31**

Su descripción se detalla en la página 100.

### **C-T30**

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 461,8 y 461,5 cm de profundidad. Está compuesto por lágrimas de Pele rotas, de color castaño verdoso, de formas irregulares a alargadas. Presentan superficie externa lisa con protuberancias, dado por el gran número de burbujas internas. Las vesículas son circulares, ovaladas y alargadas. Se identificaron escasos vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro. Son angulosos y presentan vesículas circulares. La fracción mineral está compuesta fundamentalmente por plagioclasa con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T29**

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 465,3 y 465 cm de profundidad.

Está compuesto en proporciones similares por vitroclastos de color castaño claro y castaño grisáceo, angulosos a subangulosos, pumíceos, con vesículas irregulares.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y olivinas.

#### **C-T28**

Su descripción se detalla en la página 99.

#### **C-T27**

Nivel de tefra de 0,2 cm de espesor, ubicado entre los 493,8 y 493,6 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos escoriáceos de color negro, angulosos, carecen o presentan baja vesicularidad. Están acompañados por vitroclastos de color castaño claro a oscuro con baja vesicularidad; unos pocos son moderadamente vesiculados.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos.

#### **C-T26**

Nivel de tefra de 0,5 cm de espesor, ubicado entre los 507,5 y 507 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro, castaño claro grisáceo a gris oscuro y castaño verdoso, subangulosos a angulosos, pumíceos, con vesículas circulares, ovaladas y alargadas. Están acompañados por vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro con moderada a alta vesicularidad.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasa y piroxeno, con delgados recubrimientos vítreos.

#### **C-T25**

Nivel de tefra de 0,8 cm de espesor, ubicado entre los 523,4 y 522,6 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro y castaño oscuro, angulosos, pumíceos, con vesículas irregulares y frecuente coalescencia de burbujas. Están acompañados por vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro a negro, con baja vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos.

#### **C-T24**

Nivel de tefra de 1,3 cm de espesor, ubicado entre los 545,5 y 544,2 cm de profundidad.

Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro y oscuro, angulosos a subangulosos, pumíceos, con vesículas irregulares. Están acompañados por vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro y castaño grisáceo oscuro, angulosos, altamente vesiculares. Se identificó la presencia de pirita con textura framboidal ocupando las cavidades de las vesículas.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos.

### **C-T23**

Nivel de tefra de 0,4 cm de espesor, ubicado entre los 561 y 560,6 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos escoriáceos negros, angulosos, altamente vesiculares. Las vesículas son irregulares. Están acompañados por vitroclastos de color castaño verdoso oscuro. Son angulosos, pumíceos, con vesículas irregulares y frecuente coalescencia de burbujas.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos, con delgados recubrimientos vítreos conformando piroclastos mixtos.

### **C-T22**

Nivel de tefra de 0,9 cm de espesor, ubicado entre los 568,8 y 567,9 cm de profundidad. Está compuesto mayormente por lágrimas de Pele y lágrimas rotas de color castaño verdoso, de formas irregulares a alargadas. Presentan superficie externa lisa, con protuberancias, dado por el gran número de burbujas internas. Las vesículas son circulares, ovaladas y alargadas. En menor proporción se identificaron vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro. Son angulosos y presentan alta vesicularidad.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, olivinas y piroxenos, con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T21**

Nivel de tefra de 0,4 cm de espesor, ubicado entre los 577,6 y 577,2 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro y oscuro, angulosos, pumíceos, con vesículas irregulares y frecuente coalescencia de burbujas. Están acompañados por fragmentos escoriáceos de color negro, angulosos, con alta vesicularidad.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T20**

Nivel de tefra de 0,2 cm de espesor, ubicado entre los 578,9 y 578,7 cm de profundidad. Está compuesto por lágrimas de Pele y lágrimas rotas de color castaño verdoso, angulosos, de formas irregulares, con superficie externa lisa, con protuberancias. Presentan alta vesicularidad interna, con vesículas circulares, ovaladas y alargadas. Están acompañadas por vitroclastos de color negro, angulosos, con moderada vesicularidad. Las vesículas son irregulares y circulares.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T19**

Nivel de tefra de 0,7 cm de espesor, ubicado entre los 582,7 y 582 cm de profundidad. Está compuesto en proporciones similares por vitroclastos de color castaño verdoso y vitroclastos escoriáceos de color gris muy oscuro, angulosos, con moderada vesicularidad.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos, con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T18**

Nivel de tefra de 1 cm de espesor, ubicado entre los 588,5 y 587,5 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro grisáceo a gris, subangulosos a subredondeados, pumíceos, con vesículas ovaladas e irregulares y frecuente coalescencia de burbujas. En menor proporción se identificaron vitroclastos de color castaño oscuro grisáceo, subangulosos, pumíceos. Algunos vitroclastos presentan dos coloraciones de vidrio (castaño claro grisáceo y castaño oscuro grisáceo).

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos, con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T17**

Su descripción se detalla en la página 98.

### **C-T16**

Nivel de tefra de 0,5 cm de espesor, ubicado entre los 597 y 596,5 cm de profundidad.

Está compuesto por vitroclastos escoriáceos de color gris oscuro y castaño grisáceo muy oscuro, angulosos, con alta vesicularidad. Las vesículas son irregulares.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y olivinas, con delgados recubrimientos vítreos.

#### **C-T15**

Nivel de tefra de 1,3 cm de espesor, ubicado entre los 605 y 603,5 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro a incoloro y en menor proporción castaño grisáceo, angulosos, pumíceos, con vesículas circulares, ovaladas e irregulares. Algunos fragmentos son alargados y presentan canalículos paralelos entre sí. En algunos vitroclastos se identificó la presencia de pirita con textura framboidal ocupando las cavidades de las vesículas.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos con delgados recubrimientos vítreos.

#### **C-T14**

Nivel de tefra de 2,7 cm de espesor, ubicado entre los 608,6 y 605,9 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño claro grisáceo, subangulosos, pumíceos, con vesículas ovaladas y alargadas, con frecuente coalescencia de burbujas. Se observó una abundante cantidad de pirita con textura framboidal ocupando las cavidades de las vesículas.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, piroxenos y olivinas, con delgados recubrimientos vítreos.

#### **C-T13**

Su descripción se detalla en la página 97.

#### **C-T12**

Su descripción se detalla en la página 96.

#### **C-T11**

Nivel de tefra de 0,8 cm de espesor, ubicado entre los 632,8 y 632 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por vitroclastos blanquecinos a ligeramente coloreados (castaño muy claro) y de color gris claro, subangulosos, pumíceos, con

vesículas circulares y ovaladas. Se observa frecuente coalescencia de burbujas. Presentan piritita con textura framboidal ocupando las cavidades de las vesículas.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos.

#### **C-T10**

Su descripción se detalla en la página 96.

#### **C-T9**

Nivel de tefra de 1,3 cm de espesor, ubicado entre los 640,9 y 639,6 cm de profundidad. Está compuesto mayormente por vitroclastos blanquecinos a castaño claro y en menor proporción castaño grisáceo, subangulosos, pumíceos, con vesículas circulares, ovaladas e irregulares.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y piroxenos, con delgados recubrimientos vítreos.

#### **C-T8**

Su descripción se detalla en la página 95.

#### **C-T7**

Nivel de tefra de 0,4 cm de espesor, ubicado entre los 649,8 y 649,4 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño muy claro y de color castaño oscuro, angulosos, pumíceos, con vesículas circulares y ovaladas. Se observa frecuente coalescencia de burbujas.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, piroxenos y olivinas, con delgados recubrimientos vítreos.

#### **C-T6**

Nivel de tefra de 0,2 cm de espesor, ubicado entre los 658,5 y 658,3 cm de profundidad. Está compuesto fundamentalmente por lágrimas de Pele y lágrimas rotas de color castaño verdoso, de formas irregulares a alargadas, con superficie externa lisa con protuberancias. Presentan alta vesicularidad interna, las vesículas son circulares, ovaladas y alargadas.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas y olivinas, con recubrimientos vítreos parciales.

### **C-T5**

Su descripción se detalla en la página 94.

### **C-T4**

Nivel de tefra de 0,3 cm de espesor, ubicado entre los 663,5 y 663,2 cm de profundidad. Está compuesto mayormente por vitroclastos de color castaño claro grisáceo, angulosos a subangulosos, pumíceos, con vesículas irregulares y frecuente coalescencia de burbujas. Están acompañados por vitroclastos escoriáceos de color castaño grisáceo muy oscuro, aislados, con moderada vesicularidad.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, piroxenos y olivinas.

### **C-T3**

Nivel de tefra de 0,4 cm de espesor, ubicado entre los 674,1 y 673,7 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño verdoso, angulosos a subangulosos, pumíceos, con vesículas circulares, ovaladas e irregulares. Están acompañados por vitroclastos escoriáceos de color negro, angulosos, con moderada vesicularidad.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, olivinas y piroxenos, con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T2**

Nivel de tefra de 0,4 cm de espesor, ubicado entre los 674,9 y 674,5 cm de profundidad. Está compuesto por vitroclastos de color castaño verdoso. Son angulosos, con moderada a alta vesicularidad; acompañados por vitroclastos escoriáceos de color negro, angulosos, moderadamente vesiculados.

La fracción mineral está compuesta por plagioclasas, piroxenos y olivinas con delgados recubrimientos vítreos.

### **C-T1**

Su descripción se detalla en la página 93.

## ANEXO 2

**Tabla 1a.** Mediciones de susceptibilidad magnética, registro de la laguna Huaca Mamuil

| n° medición       | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|-------------------|---------------|-----------------------------|
| Huaca1-90416      | 0             | 297,5129                    |
| Huaca1-90416_0001 | 0,5           | 392,6796                    |
| Huaca1-90416_0002 | 1             | 108,2239                    |
| Huaca1-90416_0003 | 1,5           | 121,9125                    |
| Huaca1-90416_0004 | 2             | 125,6842                    |
| Huaca1-90416_0005 | 2,5           | 153,824                     |
| Huaca1-90416_0006 | 3             | 199,839                     |
| Huaca1-90416_0007 | 3,5           | 140,0407                    |
| Huaca1-90416_0008 | 4             | 152,2893                    |
| Huaca1-90416_0009 | 4,5           | 131,64                      |
| Huaca1-90416_0010 | 5             | 135,2647                    |
| Huaca1-90416_0011 | 5,5           | 129,6365                    |
| Huaca1-90416_0012 | 6             | 148,5512                    |
| Huaca1-90416_0013 | 6,5           | 218,3271                    |
| Huaca1-90416_0014 | 7             | 274,1825                    |
| Huaca1-90416_0015 | 7,5           | 530,4929                    |
| Huaca1-90416_0016 | 8             | 834,3636                    |
| Huaca1-90416_0017 | 8,5           | 629,55245                   |
| Huaca1-90416_0018 | 9             | 424,7413                    |
| Huaca1-90416_0019 | 9,5           | 611,39385                   |
| Huaca1-90416_0020 | 10            | 798,0464                    |
| Huaca1-90416_0021 | 10,5          | 416,9957                    |
| Huaca1-90416_0022 | 11            | 304,8932                    |
| Huaca1-90416_0023 | 11,5          | 338,9681                    |
| Huaca1-90416_0024 | 12            | 367,0742                    |
| Huaca1-90416_0025 | 12,5          | 436,1639                    |
| Huaca1-90416_0026 | 13            | 602,4649                    |
| Huaca1-90416_0027 | 13,5          | 600,8158                    |
| Huaca1-90416_0028 | 14            | 587,2247                    |
| Huaca1-90416_0029 | 14,5          | 669,5935                    |
| Huaca1-90416_0030 | 15            | 819,999                     |
| Huaca1-90416_0031 | 15,5          | 1188,645                    |
| Huaca1-90416_0032 | 16            | 1381,386                    |
| Huaca1-90416_0033 | 16,5          | 1312,894                    |
| Huaca1-90416_0034 | 17            | 706,7997                    |
| Huaca1-90416_0035 | 17,5          | 670,6823                    |
| Huaca1-90416_0036 | 18            | 743,6893                    |

continuación

**Tabla 1a.** Continuación

| n° medición       | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|-------------------|---------------|-----------------------------|
| Huaca1-90416_0037 | 18,5          | 935,0961                    |
| Huaca1-90416_0038 | 19            | 690,0104                    |
| Huaca1-90416_0039 | 19,5          | 517,032                     |
| Huaca1-90416_0040 | 20            | 420,152                     |
| Huaca1-90416_0041 | 20,5          | 445,5343                    |
| Huaca1-90416_0042 | 21            | 567,5119                    |
| Huaca1-90416_0043 | 21,5          | 680,8421                    |
| Huaca1-90416_0044 | 22            | 763,7723                    |
| Huaca1-90416_0045 | 22,5          | 740,9063                    |
| Huaca1-90416_0046 | 23            | 868,1235                    |
| Huaca1-90416_0047 | 23,5          | 1253,321                    |
| Huaca1-90416_0048 | 24            | 1352,785                    |
| Huaca1-90416_0049 | 24,5          | 1759,258                    |
| Huaca1-90416_0050 | 25            | 2060,494                    |
| Huaca1-90416_0051 | 25,5          | 2813,421                    |
| Huaca1-90416_0052 | 26            | 3731,623                    |
| Huaca1-90416_0053 | 26,5          | 4155,124                    |
| Huaca1-90416_0054 | 27            | 4849,828                    |
| Huaca1-90416_0055 | 27,5          | 5732,984                    |
| Huaca1-90416_0056 | 28            | 2963,044                    |
| Huaca1-90416_0057 | 28,5          | 1663,178                    |
| Huaca1-90416_0058 | 29            | 1780,505                    |
| Huaca1-90416_0059 | 29,5          | 1497,731                    |
| Huaca1-90416_0060 | 30            | 1330,717                    |
| Huaca1-90416_0061 | 30,5          | 1399,093                    |
| Huaca1-90416_0062 | 31            | 1529,62                     |
| Huaca1-90416_0063 | 31,5          | 1770,63                     |
| Huaca1-90416_0064 | 32            | 1703,588                    |
| Huaca1-90416_0065 | 32,5          | 1821,693                    |
| Huaca1-90416_0066 | 33            | 2168,516                    |
| Huaca1-90416_0067 | 33,5          | 2349,366                    |
| Huaca1-90416_0068 | 34            | 2085,771                    |
| Huaca1-90416_0069 | 34,5          | 2702,494                    |
| Huaca1-90416_0070 | 35            | 3904,421                    |
| Huaca1-90416_0071 | 35,5          | 2390,338                    |
| Huaca1-90416_0072 | 36            | 1987,208                    |
| Huaca1-90416_0073 | 36,5          | 2119,79                     |

continuación

**Tabla 1a.** Continuación

| n° medición       | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|-------------------|---------------|-----------------------------|
| Huaca1-90416_0074 | 37            | 2969,89                     |
| Huaca1-90416_0075 | 37,5          | 2256,596                    |
| Huaca1-90416_0076 | 38            | 2281,8985                   |
| Huaca1-90416_0077 | 38,5          | 2307,201                    |
| Huaca1-90416_0078 | 39            | 2724,79                     |
| Huaca1-90416_0079 | 39,5          | 1679,557                    |
| Huaca1-90416_0080 | 40            | 1718,262                    |
| Huaca1-90416_0081 | 40,5          | 1807,217                    |
| Huaca1-90416_0082 | 41            | 2117,086                    |
| Huaca1-90416_0083 | 41,5          | 2423,616                    |
| Huaca1-90416_0084 | 42            | 2814,898                    |
| Huaca1-90416_0085 | 42,5          | 3566,562                    |
| Huaca1-90416_0086 | 43            | 3371,2995                   |
| Huaca1-90416_0087 | 43,5          | 3176,037                    |
| Huaca1-90416_0088 | 44            | 1800,898                    |
| Huaca1-90416_0089 | 44,5          | 973,9056                    |
| Huaca1-90416_0090 | 45            | 887,5433                    |
| Huaca1-90416_0091 | 45,5          | 900,4411                    |
| Huaca1-90416_0092 | 46            | 1040,46                     |
| Huaca1-90416_0093 | 46,5          | 1069,924                    |
| Huaca1-90416_0094 | 47            | 937,2963                    |
| Huaca1-90416_0095 | 47,5          | 834,4579                    |
| Huaca1-90416_0096 | 48            | 1111,229                    |
| Huaca1-90416_0097 | 48,5          | 1181,643                    |
| Huaca1-90416_0098 | 49            | 1088,074                    |
| Huaca1-90416_0099 | 49,5          | 1272,88                     |
| Huaca1-90416_0100 | 50            | 1325,564                    |
| Huaca1-90416_0101 | 50,5          | 1378,248                    |
| Huaca1-90416_0102 | 51            | 1593,502                    |
| Huaca1-90416_0103 | 51,5          | 2880,795                    |
| Huaca1-90416_0104 | 52            | 1937,592                    |
| Huaca1-90416_0105 | 52,5          | 1428,761                    |
| Huaca1-90416_0106 | 53            | 1840,465                    |
| Huaca1-90416_0107 | 53,5          | 1258,894                    |
| Huaca1-90416_0108 | 54            | 759,9365                    |
| Huaca1-90416_0109 | 54,5          | 722,6465                    |
| Huaca1-90416_0110 | 55            | 890,942                     |
| Huaca1-90416_0111 | 55,5          | 1758,435                    |
| Huaca1-90416_0112 | 56            | 1449,431                    |
| Huaca1-90416_0113 | 56,5          | 526,3342                    |

**Tabla 1b.** Datos de contenido de agua, materia orgánica y carbonatos, registro de la laguna Huaca Mamuil

| Profundidad (cm) | Contenido de agua (%) | Materia orgánica (%) | Carbonatos (%) |
|------------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| 0-1              | 68,60                 | 9,90                 | 2,13           |
| 1-2              | 70,07                 | 10,34                | 2,79           |
| 2-3              | 76,69                 | 15,16                | 3,23           |
| 3-4              | 80,49                 | 19,05                | 4,76           |
| 4-5              | 80,26                 | 19,84                | 5,06           |
| 5-6              | 81,32                 | 23,18                | 4,09           |
| 6-7              | 82,18                 | 19,60                | 4,80           |
| 7-8              | 80,46                 | 20,08                | 3,79           |
| 8-9              | 65,23                 | 9,42                 | 1,93           |
| 9-10             | 73,22                 | 12,81                | 2,81           |
| 10-11            | 71,38                 | 11,88                | 3,31           |
| 11-12            | 77,24                 | 16,73                | 3,35           |
| 12-13            | 77,32                 | 17,72                | 3,94           |
| 13-14            | 75,41                 | 16,00                | 3,00           |
| 14-15            | 74,20                 | 16,44                | 3,69           |
| 15-16            | 72,18                 | 17,41                | 3,48           |
| 16-17            | 66,57                 | 17,82                | 3,05           |
| 17-18            | 68,10                 | 17,38                | 3,07           |
| 18-19            | 71,70                 | 17,07                | 3,19           |
| 19-20            | 72,72                 | 16,81                | 3,31           |
| 20-21            | 73,38                 | 14,85                | 3,42           |
| 21-22            | 72,87                 | 13,39                | 3,20           |
| 22-23            | 72,08                 | 13,01                | 3,10           |
| 23-24            | 69,81                 | 12,73                | 3,10           |
| 24-25            | 65,89                 | 11,01                | 2,57           |
| 25-26            | 61,30                 | 8,55                 | 2,02           |
| 26-27            | 56,18                 | 7,32                 | 1,57           |
| 27-28            | 49,89                 | 5,77                 | 1,03           |
| 28-29            | 54,03                 | 6,84                 | 1,28           |
| 29-30            | 59,99                 | 8,20                 | 1,78           |
| 30-31            | 68,40                 | 11,14                | 2,18           |
| 31-32            | 72,23                 | 11,85                | 1,91           |
| 32-33            | 59,85                 | 14,66                | 1,57           |
| 33-34            | 57,40                 | 18,12                | 2,14           |
| 34-35            | 54,27                 | 16,09                | 1,54           |
| 35-36            | 50,92                 | 14,23                | 1,38           |
| 36-37            | 53,19                 | 14,97                | 1,47           |
| 37-38            | 52,18                 | 14,22                | 1,09           |
| 38-39            | 47,82                 | 13,59                | 1,07           |
| 39-40            | 44,43                 | 12,05                | 1,07           |
| 40-41            | 52,40                 | 13,52                | 1,38           |

continuación

**Tabla 1b.** Continuación

| Profundidad (cm) | Contenido de agua (%) | Materia orgánica (%) | Carbonatos (%) |
|------------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| 41-42            | 55,33                 | 11,39                | 1,07           |
| 42-43            | 47,33                 | 9,68                 | 0,90           |
| 43-44            | 48,03                 | 9,73                 | 0,97           |
| 44-45            | 59,51                 | 10,55                | 1,50           |
| 45-46            | 66,33                 | 11,21                | 1,78           |
| 46-47            | 64,64                 | 11,47                | 1,79           |
| 47-48            | 62,89                 | 9,93                 | 2,02           |
| 48-49            | 59,60                 | 7,72                 | 1,87           |
| 49-50            | 58,92                 | 6,82                 | 1,76           |
| 50-51            | 57,58                 | 6,05                 | 1,72           |
| 51-52            | 46,89                 | 3,86                 | 1,17           |
| 52-53            | 38,91                 | 2,72                 | 0,71           |
| 53-54            | 48,07                 | 6,57                 | 1,04           |
| 54-55            | 60,20                 | 9,75                 | 1,86           |
| 56-56            | 62,55                 | 9,52                 | 2,29           |
| 56-57            | 62,18                 | 9,32                 | 2,11           |

**Tabla 2a.** Mediciones de susceptibilidad magnética, registro del lago Huechulafquen

| n° medición             | Prof. (cm) | SM (10 <sup>-6</sup> SI) |
|-------------------------|------------|--------------------------|
| Huechu-E-C2 120416      | 0          | 3626,319                 |
| Huechu-E-C2 120416_0001 | 0,5        | 6716,654                 |
| Huechu-E-C2 120416_0002 | 1          | 4475,733                 |
| Huechu-E-C2 120416_0003 | 1,5        | 1806,669                 |
| Huechu-E-C2 120416_0004 | 2          | 1358,685                 |
| Huechu-E-C2 120416_0005 | 2,5        | 1159,876                 |
| Huechu-E-C2 120416_0006 | 3          | 1244,727                 |
| Huechu-E-C2 120416_0007 | 3,5        | 1364,572                 |
| Huechu-E-C2 120416_0008 | 4          | 1389,125                 |
| Huechu-E-C2 120416_0009 | 4,5        | 1391,373                 |
| Huechu-E-C2 120416_0010 | 5          | 1487,527                 |
| Huechu-E-C2 120416_0011 | 5,5        | 2158,968                 |
| Huechu-E-C2 120416_0012 | 6          | 2635,302                 |
| Huechu-E-C2 120416_0013 | 6,5        | 1735,586                 |
| Huechu-E-C2 120416_0014 | 7          | 1177,06                  |
| Huechu-E-C2 120416_0015 | 7,5        | 958,4359                 |
| Huechu-E-C2 120416_0016 | 8          | 947,3457                 |
| Huechu-E-C2 120416_0017 | 8,5        | 1149,982                 |
| Huechu-E-C2 120416_0018 | 9          | 1289,693                 |
| Huechu-E-C2 120416_0019 | 9,5        | 1438,718                 |
| Huechu-E-C2 120416_0020 | 10         | 1964,019                 |
| Huechu-E-C2 120416_0021 | 10,5       | 2290,899                 |
| Huechu-E-C2 120416_0022 | 11         | 1923,394                 |
| Huechu-E-C2 120416_0023 | 11,5       | 1340,307                 |
| Huechu-E-C2 120416_0024 | 12         | 1198,324                 |
| Huechu-E-C2 120416_0025 | 12,5       | 1092,78                  |
| Huechu-E-C2 120416_0026 | 13         | 925,7924                 |
| Huechu-E-C2 120416_0027 | 13,5       | 885,715                  |
| Huechu-E-C2 120416_0028 | 14         | 919,0404                 |
| Huechu-E-C2 120416_0029 | 14,5       | 1033,701                 |
| Huechu-E-C2 120416_0030 | 15         | 1144,351                 |
| Huechu-E-C2 120416_0031 | 15,5       | 1326,441                 |
| Huechu-E-C2 120416_0032 | 16         | 1562,043                 |
| Huechu-E-C2 120416_0033 | 16,5       | 1693,871                 |
| Huechu-E-C2 120416_0034 | 17         | 1789,9                   |
| Huechu-E-C2 120416_0035 | 17,5       | 2178,242                 |
| Huechu-E-C2 120416_0036 | 18         | 3237,145                 |
| Huechu-E-C2 120416_0037 | 18,5       | 1832,045                 |
| Huechu-E-C2 120416_0038 | 19         | 1037,983                 |
| Huechu-E-C2 120416_0039 | 19,5       | 1069,282                 |
| Huechu-E-C2 120416_0040 | 20         | 1052,902                 |

continuación

**Tabla 2a.** Continuación

| n° medición             | Prof. (cm) | SM (10 <sup>-6</sup> SI) |
|-------------------------|------------|--------------------------|
| Huechu-E-C2 120416_0041 | 20,5       | 900,3312                 |
| Huechu-E-C2 120416_0042 | 21         | 913,05                   |
| Huechu-E-C2 120416_0043 | 21,5       | 896,6095                 |
| Huechu-E-C2 120416_0044 | 22         | 992,6322                 |
| Huechu-E-C2 120416_0045 | 22,5       | 1560,885                 |
| Huechu-E-C2 120416_0046 | 23         | 1601,471                 |
| Huechu-E-C2 120416_0047 | 23,5       | 1284,292                 |
| Huechu-E-C2 120416_0048 | 24         | 1265,682                 |
| Huechu-E-C2 120416_0049 | 24,5       | 1843,934                 |
| Huechu-E-C2 120416_0050 | 25         | 2391,91                  |
| Huechu-E-C2 120416_0051 | 25,5       | 3456,893                 |
| Huechu-E-C2 120416_0052 | 26         | 2764,257                 |
| Huechu-E-C2 120416_0053 | 26,5       | 2075,545                 |
| Huechu-E-C2 120416_0054 | 27         | 3481,253                 |
| Huechu-E-C2 120416_0055 | 27,5       | 945,395                  |

**Tabla 2b.** Datos de contenido de agua, materia orgánica y carbonatos, registro del lago Huechulafquen

| Profundidad (cm) | Contenido de agua (%) | Materia orgánica (%) | Carbonatos (%) |
|------------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| 0-1              | 34,53                 | 1,64                 | 0,10           |
| 1-2              | 61,09                 | 6,59                 | 1,56           |
| 2-3              | 68,66                 | 8,76                 | 2,47           |
| 3-4              | 68,11                 | 9,29                 | 2,02           |
| 4-5              | 66,55                 | 8,32                 | 1,87           |
| 5-6              | 65,30                 | 7,72                 | 1,63           |
| 6-7              | 61,66                 | 7,11                 | 1,65           |
| 7-8              | 65,53                 | 7,89                 | 2,35           |
| 8-9              | 68,46                 | 8,53                 | 2,88           |
| 9-10             | 68,29                 | 8,15                 | 2,62           |
| 10-11            | 59,91                 | 5,63                 | 1,62           |
| 11-12            | 57,21                 | 4,34                 | 1,79           |
| 12-13            | 64,49                 | 6,30                 | 2,42           |
| 13-14            | 63,32                 | 8,12                 | 2,55           |
| 14-15            | 64,94                 | 8,86                 | 2,58           |
| 15-16            | 71,58                 | 8,50                 | 2,62           |
| 16-17            | 69,85                 | 7,49                 | 2,49           |
| 17-18            | 66,58                 | 6,85                 | 2,10           |
| 18-19            | 55,54                 | 4,26                 | 0,83           |
| 19-20            | 57,27                 | 4,78                 | 1,23           |
| 20-21            | 68,55                 | 7,85                 | 2,31           |
| 21-22            | 69,53                 | 8,11                 | 2,15           |
| 22-23            | 68,58                 | 6,18                 | 1,90           |
| 23-24            | 55,07                 | 4,31                 | 1,01           |
| 24-25            | 68,15                 | 8,11                 | 2,03           |
| 25-26            | 64,56                 | 7,15                 | 1,75           |
| 26-27            | 59,10                 | 5,65                 | 1,13           |
| 27-28            | 62,85                 | 5,49                 | 1,42           |

**Tabla 3a.** Mediciones de susceptibilidad magnética, registro de la laguna Carirriñe

| n° medición     | Prof. (cm) | SM ( $10^{-6}$ SI) |
|-----------------|------------|--------------------|
| Ca1-230217      | 0          | 390,9651           |
| Ca1-230217_0001 | 0,5        | 662,5564           |
| Ca1-230217_0002 | 1          | 742,3146           |
| Ca1-230217_0003 | 1,5        | 665,3427           |
| Ca1-230217_0004 | 2          | 567,2355           |
| Ca1-230217_0005 | 2,5        | 331,4806           |
| Ca1-230217_0006 | 3          | 493,1096           |
| Ca1-230217_0007 | 3,5        | 477,4696           |
| Ca1-230217_0008 | 4          | 475,0752           |
| Ca1-230217_0009 | 4,5        | 603,007            |
| Ca1-230217_0010 | 5          | 464,4118           |
| Ca1-230217_0011 | 5,5        | 356,1777           |
| Ca1-230217_0012 | 6          | 396,771            |
| Ca1-230217_0013 | 6,5        | 610,624            |
| Ca1-230217_0014 | 7          | 853,5552           |
| Ca1-230217_0015 | 7,5        | 645,4639           |
| Ca1-230217_0016 | 8          | 315,6634           |
| Ca1-230217_0017 | 8,5        | 232,584            |
| Ca1-230217_0018 | 9          | 344,5748           |
| Ca1-230217_0019 | 9,5        | 377,8834           |
| Ca1-230217_0020 | 10         | 356,3061           |
| Ca1-230217_0021 | 10,5       | 336,6514           |
| Ca1-230217_0022 | 11         | 276,7088           |
| Ca1-230217_0023 | 11,5       | 298,7781           |
| Ca1-230217_0024 | 12         | 322,184            |
| Ca1-230217_0025 | 12,5       | 333,4322           |
| Ca1-230217_0026 | 13         | 377,3869           |
| Ca1-230217_0027 | 13,5       | 347,9473           |
| Ca1-230217_0028 | 14         | 286,7246           |
| Ca1-230217_0029 | 14,5       | 244,6823           |
| Ca1-230217_0030 | 15         | 230,336            |
| Ca1-230217_0031 | 15,5       | 188,8977           |
| Ca1-230217_0032 | 16         | 170,6414           |
| Ca1-230217_0033 | 16,5       | 190,1312           |
| Ca1-230217_0034 | 17         | 198,9519           |
| Ca1-230217_0035 | 17,5       | 222,3772           |
| Ca1-230217_0036 | 18         | 255,7096           |
| Ca1-230217_0037 | 18,5       | 289,6806           |
| Ca1-230217_0038 | 19         | 305,7979           |
| Ca1-230217_0039 | 19,5       | 327,2434           |
| Ca1-230217_0040 | 20         | 350,0113           |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición     | Prof. (cm) | SM ( $10^{-6}$ SI) |
|-----------------|------------|--------------------|
| Ca1-230217_0041 | 20,5       | 313,2621           |
| Ca1-230217_0042 | 21         | 248,0304           |
| Ca1-230217_0043 | 21,5       | 178,9104           |
| Ca1-230217_0044 | 22         | 181,0818           |
| Ca1-230217_0045 | 22,5       | 174,0954           |
| Ca1-230217_0046 | 23         | 170,3633           |
| Ca1-230217_0047 | 23,5       | 180,5373           |
| Ca1-230217_0048 | 24         | 202,6534           |
| Ca1-230217_0049 | 24,5       | 204,8456           |
| Ca1-230217_0050 | 25         | 193,9469           |
| Ca1-230217_0051 | 25,5       | 195,0139           |
| Ca1-230217_0052 | 26         | 192,0129           |
| Ca1-230217_0053 | 26,5       | 151,3025           |
| Ca1-230217_0054 | 27         | 112,5243           |
| Ca1-230217_0055 | 27,5       | 115,718            |
| Ca1-230217_0056 | 28         | 139,3014           |
| Ca1-230217_0057 | 28,5       | 142,8446           |
| Ca1-230217_0058 | 29         | 153,7455           |
| Ca1-230217_0059 | 29,5       | 158,6255           |
| Ca1-230217_0060 | 30         | 151,0274           |
| Ca1-230217_0061 | 30,5       | 161,1582           |
| Ca1-230217_0062 | 31         | 157,4751           |
| Ca1-230217_0063 | 31,5       | 143,1124           |
| Ca1-230217_0064 | 32         | 179,0293           |
| Ca1-230217_0065 | 32,5       | 246,0737           |
| Ca1-230217_0066 | 33         | 221,1892           |
| Ca1-230217_0067 | 33,5       | 273,6705           |
| Ca1-230217_0068 | 34         | 306,3005           |
| Ca1-230217_0069 | 34,5       | 348,9087           |
| Ca1-230217_0070 | 35         | 322,6798           |
| Ca1-230217_0071 | 35,5       | 373,2219           |
| Ca1-230217_0072 | 36         | 408,5115           |
| Ca1-230217_0073 | 36,5       | 605,8287           |
| Ca1-230217_0074 | 37         | 811,7443           |
| Ca1-230217_0075 | 37,5       | 314,048            |
| Ca1-230217_0076 | 38         | 232,9682           |
| Ca1-230217_0077 | 38,5       | 272,3151           |
| Ca1-230217_0078 | 39         | 262,6061           |
| Ca1-230217_0079 | 39,5       | 269,4911           |
| Ca1-230217_0080 | 40         | 309,4379           |
| Ca1-230217_0081 | 40,5       | 317,0272           |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca1-230217_0082     | 41            | 387,4239                    |
| Ca1-230217_0083     | 41,5          | 559,6403                    |
| Ca1-230217_0085     | 42            | 740,4034                    |
| Ca1-230217_0086     | 42,5          | 857,1976                    |
| Ca1-230217_0087     | 43            | 763,5914                    |
| Ca1-230217_0088     | 43,5          | 407,3884                    |
| Ca1-230217_0089     | 44            | 369,9855                    |
| Ca1-230217_0090     | 44,5          | 577,8927                    |
| Ca1-230217_0091     | 45            | 587,4103                    |
| Ca1-230217_0092     | 45,5          | 299,4034                    |
| Ca1-230217_0093     | 46            | 212,988                     |
| Ca1-230217_0094     | 46,5          | 315,4559                    |
| Ca1-230217_0095     | 47            | 327,0301                    |
| Ca1-230217_0096     | 47,5          | 618,3185                    |
| Ca1-230217_0097     | 48            | 676,1254                    |
| Ca1-230217_0098     | 48,5          | 294,9484                    |
| Ca1-230217_0099     | 49            | 250,9496                    |
| Ca1-230217_0100     | 49,5          | 229,3705                    |
| Ca1-230217_0101     | 50            | 226,3748                    |
| Ca1-230217_0102     | 50,5          | 224,7153                    |
| Ca1-230217_0103     | 51            | 361,819                     |
| Ca1-230217_0104     | 51,5          | 1015,572                    |
| Ca3a-180418 S1_0075 | 52            | 10658,47                    |
| Ca3a-180418 S1_0076 | 52,5          | 5773,146                    |
| Ca3a-180418 S1_0077 | 53            | 3106,627                    |
| Ca3a-180418 S1_0078 | 53,5          | 2476,245                    |
| Ca3a-180418 S1_0079 | 54            | 1458,278                    |
| Ca3a-180418 S1_0080 | 54,5          | 981,992                     |
| Ca3a-180418 S1_0081 | 55            | 1617,354                    |
| Ca3a-180418 S1_0082 | 55,5          | 1046,449                    |
| Ca3a-180418 S1_0083 | 56            | 1375,617                    |
| Ca3a-180418 S1_0084 | 56,5          | 1208,141                    |
| Ca3a-180418 S1_0085 | 57            | 2373,22                     |
| Ca3a-180418 S1_0086 | 57,5          | 944,5769                    |
| Ca3a-180418 S1_0087 | 58            | 245,3518                    |
| Ca3a-180418 S1_0088 | 58,5          | 85,13694                    |
| Ca3a-180418 S1_0089 | 59            | 88,88177                    |
| Ca3a-180418 S1_0090 | 59,5          | 71,48539                    |
| Ca3a-180418 S1_0091 | 60            | 50,1893                     |
| Ca3a-180418 S1_0092 | 60,5          | 108,866                     |
| Ca3a-180418 S1_0093 | 61            | 134,48                      |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3a-180418 S1_0094 | 61,5          | 80,0127                     |
| Ca3a-180418 S1_0095 | 62            | 53,40754                    |
| Ca3a-180418 S1_0096 | 62,5          | 158,3532                    |
| Ca3a-180418 S1_0097 | 63            | 126,447                     |
| Ca3a-180418 S1_0098 | 63,5          | 337,1687                    |
| Ca3a-180418 S1_0099 | 64            | 745,0436                    |
| Ca3a-180418 S1_0100 | 64,5          | 1065,779                    |
| Ca3a-180418 S1_0101 | 65            | 1464,34                     |
| Ca3a-180418 S1_0102 | 65,5          | 1007,226                    |
| Ca3a-180418 S1_0103 | 66            | 263,7034                    |
| Ca3a-180418 S1_0104 | 66,5          | 366,7537                    |
| Ca3a-180418 S1_0105 | 67            | 482,9723                    |
| Ca3a-180418 S1_0106 | 67,5          | 939,155                     |
| Ca3a-180418 S1_0107 | 68            | 949,5465                    |
| Ca3a-180418 S1_0108 | 68,5          | 849,4938                    |
| Ca3a-180418 S1_0109 | 69            | 945,2201                    |
| Ca3a-180418 S1_0110 | 69,5          | 861,669                     |
| Ca3a-180418 S1_0111 | 70            | 1023,537                    |
| Ca3a-180418 S1_0112 | 70,5          | 1163,564                    |
| Ca3a-180418 S1_0113 | 71            | 1084,076                    |
| Ca3a-180418 S1_0114 | 71,5          | 965,5475                    |
| Ca3a-180418 S1_0115 | 72            | 376,8376                    |
| Ca3a-180418 S1_0116 | 72,5          | 219,3577                    |
| Ca3a-180418 S1_0117 | 73            | 551,9009                    |
| Ca3a-180418 S1_0118 | 73,5          | 1711,085                    |
| Ca3a-180418 S1_0119 | 74            | 3945,514                    |
| Ca3a-180418 S1_0120 | 74,5          | 4301,246                    |
| Ca3a-180418 S1_0121 | 75            | 2618,237                    |
| Ca3a-180418 S1_0122 | 75,5          | 1430,391                    |
| Ca3a-180418 S1_0123 | 76            | 450,8807                    |
| Ca3a-180418 S1_0124 | 76,5          | 179,5691                    |
| Ca3a-180418 S1_0125 | 77            | 174,7753                    |
| Ca3a-180418 S1_0126 | 77,5          | 152,2084                    |
| Ca3a-180418 S1_0127 | 78            | 132,2215                    |
| Ca3a-180418 S1_0128 | 78,5          | 135,4042                    |
| Ca3a-180418 S1_0129 | 79            | 184,8963                    |
| Ca3a-180418 S1_0130 | 79,5          | 221,8284                    |
| Ca3a-180418 S1_0131 | 80            | 262,6428                    |
| Ca3a-180418 S1_0132 | 80,5          | 457,6184                    |
| Ca3a-180418 S1_0133 | 81            | 1085,695                    |
| Ca3a-180418 S1_0134 | 81,5          | 2684,515                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3a-180418 S1_0135 | 82            | 3378,711                    |
| Ca3a-180418 S1_0136 | 82,5          | 2442,154                    |
| Ca3a-180418 S1_0137 | 83            | 560,4505                    |
| Ca3a-180418 S1_0138 | 83,5          | 228,2241                    |
| Ca3a-180418 S1_0139 | 84            | 408,1916                    |
| Ca3a-180418 S1_0140 | 84,5          | 240,6786                    |
| Ca3a-180418 S1_0141 | 85            | 410,501                     |
| Ca3a-180418 S1_0142 | 85,5          | 584,4881                    |
| Ca3a-180418 S1_0143 | 86            | 467,8724                    |
| Ca3a-180418 S1_0144 | 86,5          | 552,3594                    |
| Ca3a-180418 S1_0145 | 87            | 435,2229                    |
| Ca3a-180418 S1_0146 | 87,5          | 419,2923                    |
| Ca3a-180418 S1_0147 | 88            | 360,3916                    |
| Ca3a-180418 S1_0148 | 88,5          | 360,4279                    |
| Ca3a-180418 S1_0149 | 89            | 479,3302                    |
| Ca3a-180418 S1_0150 | 89,5          | 781,5114                    |
| Ca3a-180418 S1_0151 | 90            | 1763,516                    |
| Ca3a-180418 S1_0152 | 90,5          | 4519,759                    |
| Ca3a-180418 S1_0153 | 91            | 8022,652                    |
| Ca3a-180418 S1_0154 | 91,5          | 7378,088                    |
| Ca3a-180418 S1_0155 | 92            | 5363,669                    |
| Ca3a-180418 S1_0156 | 92,5          | 4207,027                    |
| Ca3a-180418 S1_0157 | 93            | 1076,892                    |
| Ca3a-180418 S1_0158 | 93,5          | 1467,879                    |
| Ca3a-180418 S1_0159 | 94            | 726,6633                    |
| Ca3a-180418 S1_0160 | 94,5          | 469,7653                    |
| Ca3a-180418 S1_0161 | 95            | 451,3535                    |
| Ca3a-180418 S1_0162 | 95,5          | 438,0254                    |
| Ca3a-180418 S1_0163 | 96            | 346,1572                    |
| Ca3a-180418 S1_0164 | 96,5          | 299,2546                    |
| Ca3a-180418 S1_0165 | 97            | 243,0911                    |
| Ca3a-180418 S1_0166 | 97,5          | 261,5896                    |
| Ca3a-180418 S1_0167 | 98            | 255,6556                    |
| Ca3a-180418 S1_0168 | 98,5          | 312,7789                    |
| Ca3a-180418 S1_0169 | 99            | 284,6848                    |
| Ca3a-180418 S2      | 99,5          | 201,8883                    |
| Ca3a-180418 S2_0001 | 100           | 188,1552                    |
| Ca3a-180418 S2_0002 | 100,5         | 196,1863                    |
| Ca3a-180418 S2_0003 | 101           | 201,6101                    |
| Ca3a-180418 S2_0004 | 101,5         | 252,6762                    |
| Ca3a-180418 S2_0005 | 102           | 291,1539                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3a-180418 S2_0006 | 102,5         | 264,8196                    |
| Ca3a-180418 S2_0007 | 103           | 274,8987                    |
| Ca3a-180418 S2_0008 | 103,5         | 246,6239                    |
| Ca3a-180418 S2_0009 | 104           | 244,81                      |
| Ca3a-180418 S2_0010 | 104,5         | 211,8695                    |
| Ca3a-180418 S2_0011 | 105           | 202,108                     |
| Ca3a-180418 S2_0012 | 105,5         | 225,3744                    |
| Ca3a-180418 S2_0013 | 106           | 300,9298                    |
| Ca3a-180418 S2_0014 | 106,5         | 434,6357                    |
| Ca3a-180418 S2_0015 | 107           | 570,3343                    |
| Ca3a-180418 S2_0016 | 107,5         | 1019,501                    |
| Ca3a-180418 S2_0017 | 108           | 4633,117                    |
| Ca3a-180418 S2_0018 | 108,5         | 7113,163                    |
| Ca3a-180418 S2_0019 | 109           | 1456,398                    |
| Ca3a-180418 S2_0020 | 109,5         | 495,632                     |
| Ca3a-180418 S2_0021 | 110           | 369,468                     |
| Ca3a-180418 S2_0022 | 110,5         | 362,3054                    |
| Ca3a-180418 S2_0023 | 111           | 388,8786                    |
| Ca3a-180418 S2_0024 | 111,5         | 380,4199                    |
| Ca3a-180418 S2_0025 | 112           | 289,9935                    |
| Ca3a-180418 S2_0026 | 112,5         | 322,5189                    |
| Ca3a-180418 S2_0027 | 113           | 441,7037                    |
| Ca3a-180418 S2_0028 | 113,5         | 361,8161                    |
| Ca3a-180418 S2_0029 | 114           | 185,356                     |
| Ca3a-180418 S2_0030 | 114,5         | 200,0003                    |
| Ca3a-180418 S2_0031 | 115           | 182,3045                    |
| Ca3a-180418 S2_0032 | 115,5         | 222,8096                    |
| Ca3a-180418 S2_0033 | 116           | 230,1845                    |
| Ca3a-180418 S2_0034 | 116,5         | 285,1859                    |
| Ca3a-180418 S2_0035 | 117           | 982,385                     |
| Ca3a-180418 S2_0036 | 117,5         | 1801,227                    |
| Ca3a-180418 S2_0037 | 118           | 1287,469                    |
| Ca3a-180418 S2_0038 | 118,5         | 215,0032                    |
| Ca3a-180418 S2_0039 | 119           | 92,7339                     |
| Ca3a-180418 S2_0040 | 119,5         | 102,8272                    |
| Ca3a-180418 S2_0041 | 120           | 116,1669                    |
| Ca3a-180418 S2_0042 | 120,5         | 110,3282                    |
| Ca3a-180418 S2_0043 | 121           | 169,2996                    |
| Ca3a-180418 S2_0044 | 121,5         | 327,5139                    |
| Ca3a-180418 S2_0045 | 122           | 449,303                     |
| Ca3a-180418 S2_0046 | 122,5         | 459,3645                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3a-180418 S2_0047 | 123           | 753,0593                    |
| Ca3a-180418 S2_0048 | 123,5         | 653,3309                    |
| Ca3a-180418 S2_0049 | 124           | 407,4923                    |
| Ca3a-180418 S2_0050 | 124,5         | 533,2116                    |
| Ca3a-180418 S2_0051 | 125           | 549,8779                    |
| Ca3a-180418 S2_0052 | 125,5         | 627,3486                    |
| Ca3a-180418 S2_0053 | 126           | 642,735                     |
| Ca3a-180418 S2_0054 | 126,5         | 1271,744                    |
| Ca3a-180418 S2_0055 | 127           | 709,731                     |
| Ca3a-180418 S2_0056 | 127,5         | 535,2959                    |
| Ca3a-180418 S2_0057 | 128           | 439,4776                    |
| Ca3a-180418 S2_0058 | 128,5         | 388,7088                    |
| Ca3a-180418 S2_0059 | 129           | 454,9345                    |
| Ca3a-180418 S2_0060 | 129,5         | 735,5063                    |
| Ca3a-180418 S2_0061 | 130           | 1072,904                    |
| Ca3a-180418 S2_0062 | 130,5         | 756,8916                    |
| Ca3a-180418 S2_0063 | 131           | 1215,974                    |
| Ca3a-180418 S2_0064 | 131,5         | 3237,752                    |
| Ca3a-180418 S2_0065 | 132           | 1290,919                    |
| Ca3a-180418 S2_0066 | 132,5         | 753,3978                    |
| Ca3a-180418 S2_0067 | 133           | 524,0383                    |
| Ca3a-180418 S2_0068 | 133,5         | 475,9143                    |
| Ca3a-180418 S2_0069 | 134           | 461,5026                    |
| Ca3a-180418 S2_0070 | 134,5         | 520,4387                    |
| Ca3a-180418 S2_0071 | 135           | 506,0523                    |
| Ca3a-180418 S2_0072 | 135,5         | 879,1226                    |
| Ca3a-180418 S2_0073 | 136           | 2922,75                     |
| Ca3a-180418 S2_0074 | 136,5         | 7547,481                    |
| Ca3a-180418 S2_0075 | 137           | 5279,333                    |
| Ca3a-180418 S2_0076 | 137,5         | 4317,92                     |
| Ca3a-180418 S2_0077 | 138           | 5683,686                    |
| Ca3a-180418 S2_0078 | 138,5         | 3414,159                    |
| Ca3a-180418 S2_0079 | 139           | 1059,333                    |
| Ca3a-180418 S2_0080 | 139,5         | 904,717                     |
| Ca3a-180418 S2_0081 | 140           | 1263,999                    |
| Ca3a-180418 S2_0082 | 140,5         | 7414,323                    |
| Ca3a-180418 S2_0083 | 141           | 7389,399                    |
| Ca3a-180418 S2_0084 | 141,5         | 1452,19                     |
| Ca3a-180418 S2_0085 | 142           | 1196,409                    |
| Ca3a-180418 S2_0086 | 142,5         | 1602,637                    |
| Ca3a-180418 S2_0087 | 143           | 1998,214                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3a-180418 S2_0088 | 143,5         | 1555,926                    |
| Ca3a-180418 S2_0089 | 144           | 1405,959                    |
| Ca3a-180418 S2_0090 | 144,5         | 769,2444                    |
| Ca3a-180418 S2_0091 | 145           | 418,1934                    |
| Ca3a-180418 S2_0092 | 145,5         | 363,4231                    |
| Ca3a-180418 S2_0093 | 146           | 317,96                      |
| Ca3a-180418 S2_0094 | 146,5         | 290,9371                    |
| Ca3a-180418 S2_0095 | 147           | 381,0042                    |
| Ca3a-180418 S2_0096 | 147,5         | 480,9705                    |
| Ca3a-180418 S2_0097 | 148           | 1003,563                    |
| Ca3a-180418 S2_0098 | 148,5         | 456,1063                    |
| Ca3a-180418 S2_0099 | 149           | 397,35                      |
| Ca3a-180418 S2_0100 | 149,5         | 486,0819                    |
| Ca3a-180418 S2_0101 | 150           | 465,0854                    |
| Ca3a-180418 S2_0102 | 150,5         | 427,4885                    |
| Ca3a-180418 S2_0103 | 151           | 380,006                     |
| Ca3a-180418 S2_0104 | 151,5         | 483,9323                    |
| Ca3a-180418 S2_0105 | 152           | 517,8321                    |
| Ca3a-180418 S2_0106 | 152,5         | 451,148                     |
| Ca3a-180418 S2_0107 | 153           | 328,9717                    |
| Ca3a-180418 S2_0108 | 153,5         | 424,9327                    |
| Ca3a-180418 S2_0109 | 154           | 884,0352                    |
| Ca3a-180418 S2_0110 | 154,5         | 1390,054                    |
| Ca3a-180418 S2_0111 | 155           | 1615,748                    |
| Ca3a-180418 S2_0112 | 155,5         | 1903,508                    |
| Ca3a-180418 S2_0113 | 156           | 1880,52                     |
| Ca3a-180418 S2_0114 | 156,5         | 1928,24                     |
| Ca3a-180418 S2_0115 | 157           | 2196,868                    |
| Ca3a-180418 S2_0116 | 157,5         | 2672,489                    |
| Ca3a-180418 S2_0117 | 158           | 4130,865                    |
| Ca3a-180418 S2_0118 | 158,5         | 3627,746                    |
| Ca3a-180418 S2_0119 | 159           | 4613,905                    |
| Ca3a-180418 S2_0120 | 159,5         | 4968,5                      |
| Ca3a-180418 S2_0121 | 160           | 4799,304                    |
| Ca3a-180418 S2_0122 | 160,5         | 4500,559                    |
| Ca3a-180418 S2_0123 | 161           | 7067,941                    |
| Ca3a-180418 S2_0124 | 161,5         | 6931,154                    |
| Ca3a-180418 S2_0125 | 162           | 6631,757                    |
| Ca3a-180418 S2_0126 | 162,5         | 6793,259                    |
| Ca3a-180418 S2_0127 | 163           | 6329,788                    |
| Ca3a-180418 S2_0128 | 163,5         | 6690,391                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3a-180418 S2_0129 | 164           | 7537,627                    |
| Ca3a-180418 S2_0130 | 164,5         | 6977,632                    |
| Ca3a-180418 S2_0131 | 165           | 5889,304                    |
| Ca3a-180418 S2_0132 | 165,5         | 5538,296                    |
| Ca3a-180418 S2_0133 | 166           | 3697,985                    |
| Ca3a-180418 S2_0134 | 166,5         | 3902,451                    |
| Ca3a-180418 S2_0135 | 167           | 3440,372                    |
| Ca3a-180418 S2_0136 | 167,5         | 3406,772                    |
| Ca3a-180418 S2_0137 | 168           | 3994,178                    |
| Ca3a-180418 S2_0138 | 168,5         | 4025,353                    |
| Ca3a-180418 S2_0139 | 169           | 4434,216                    |
| Ca3a-180418 S2_0140 | 169,5         | 4883,39                     |
| Ca3a-180418 S2_0141 | 170           | 3722,283                    |
| Ca3a-180418 S2_0142 | 170,5         | 3003,547                    |
| Ca3a-180418 S2_0143 | 171           | 2565,924                    |
| Ca3a-180418 S2_0144 | 171,5         | 3153,968                    |
| Ca3a-180418 S2_0145 | 172           | 2623,095                    |
| Ca3a-180418 S2_0146 | 172,5         | 2664,195                    |
| Ca3a-180418 S2_0147 | 173           | 2963,231                    |
| Ca3a-180418 S2_0148 | 173,5         | 3417,759                    |
| Ca3a-180418 S2_0149 | 174           | 3759,096                    |
| Ca3a-180418 S2_0150 | 174,5         | 4235,396                    |
| Ca3a-180418 S2_0151 | 175           | 5307,536                    |
| Ca3a-180418 S2_0152 | 175,5         | 7190,455                    |
| Ca3a-180418 S2_0153 | 176           | 7671,346                    |
| Ca3a-180418 S2_0154 | 176,5         | 4556,723                    |
| Ca3a-180418 S2_0155 | 177           | 1028,665                    |
| Ca3a-180418 S2_0156 | 177,5         | 636,6335                    |
| Ca3a-180418 S2_0157 | 178           | 853,0649                    |
| Ca3a-180418 S2_0158 | 178,5         | 1663,302                    |
| Ca3a-180418 S2_0159 | 179           | 2224,223                    |
| Ca3a-180418 S2_0160 | 179,5         | 1915,47                     |
| Ca3a-180418 S2_0161 | 180           | 948,089                     |
| Ca3a-180418 S2_0162 | 180,5         | 523,7059                    |
| Ca3a-180418 S2_0163 | 181           | 644,8301                    |
| Ca3a-180418 S2_0164 | 181,5         | 812,9219                    |
| Ca3a-180418 S2_0165 | 182           | 863,3655                    |
| Ca3a-180418 S2_0166 | 182,5         | 728,5631                    |
| Ca3a-180418 S2_0167 | 183           | 599,7971                    |
| Ca3a-180418 S2_0168 | 183,5         | 386,7304                    |
| Ca3a-180418 S2_0169 | 184           | 431,2706                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3a-180418 S2_0170 | 184,5         | 408,9618                    |
| Ca3a-180418 S2_0171 | 185           | 252,4348                    |
| Ca3a-180418 S2_0172 | 185,5         | 263,8762                    |
| Ca3a-180418 S2_0173 | 186           | 465,0365                    |
| Ca3a-180418 S2_0174 | 186,5         | 1033,944                    |
| Ca3a-180418 S2_0175 | 187           | 3038,63                     |
| Ca3a-180418 S3      | 187,5         | 2113,7                      |
| Ca3a-180418 S3_0001 | 188           | 5428,312                    |
| Ca3a-180418 S3_0002 | 188,5         | 4953,604                    |
| Ca3a-180418 S3_0003 | 189           | 4030,537                    |
| Ca3a-180418 S3_0004 | 189,5         | 3737,63                     |
| Ca3a-180418 S3_0005 | 190           | 2633,988                    |
| Ca3a-180418 S3_0006 | 190,5         | 647,4814                    |
| Ca3a-180418 S3_0007 | 191           | 439,2597                    |
| Ca3a-180418 S3_0008 | 191,5         | 438,0588                    |
| Ca3a-180418 S3_0009 | 192           | 631,9157                    |
| Ca3a-180418 S3_0010 | 192,5         | 886,6188                    |
| Ca3a-180418 S3_0011 | 193           | 573,9056                    |
| Ca3a-180418 S3_0012 | 193,5         | 549,5185                    |
| Ca3a-180418 S3_0013 | 194           | 551,6202                    |
| Ca3a-180418 S3_0014 | 194,5         | 524,5912                    |
| Ca3a-180418 S3_0015 | 195           | 557,0409                    |
| Ca3a-180418 S3_0016 | 195,5         | 619,9784                    |
| Ca3a-180418 S3_0017 | 196           | 655,7767                    |
| Ca3a-180418 S3_0018 | 196,5         | 886,0132                    |
| Ca3a-180418 S3_0019 | 197           | 1564,617                    |
| Ca3a-180418 S3_0020 | 197,5         | 2710,756                    |
| Ca3a-180418 S3_0021 | 198           | 1511,848                    |
| Ca3a-180418 S3_0022 | 198,5         | 888,3306                    |
| Ca3a-180418 S3_0023 | 199           | 803,8105                    |
| Ca3a-180418 S3_0024 | 199,5         | 423,5921                    |
| Ca3a-180418 S3_0025 | 200           | 575,1264                    |
| Ca3a-180418 S3_0026 | 200,5         | 437,7178                    |
| Ca3a-180418 S3_0027 | 201           | 933,0882                    |
| Ca3a-180418 S3_0028 | 201,5         | 3612,222                    |
| Ca3a-180418 S3_0029 | 202           | 2455,652                    |
| Ca3a-180418 S3_0030 | 202,5         | 3726,147                    |
| Ca3a-180418 S3_0031 | 203           | 3664,727                    |
| Ca3a-180418 S3_0032 | 203,5         | 1684,851                    |
| Ca3a-180418 S3_0033 | 204           | 794,1578                    |
| Ca3a-180418 S3_0034 | 204,5         | 669,2554                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3a-180418 S3_0035 | 205           | 1388,881                    |
| Ca3a-180418 S3_0036 | 205,5         | 1874,36                     |
| Ca3a-180418 S3_0037 | 206           | 1638,379                    |
| Ca3a-180418 S3_0038 | 206,5         | 1261,515                    |
| Ca3a-180418 S3_0039 | 207           | 2422,848                    |
| Ca3a-180418 S3_0040 | 207,5         | 3006,89                     |
| Ca3a-180418 S3_0041 | 208           | 3617,382                    |
| Ca3a-180418 S3_0042 | 208,5         | 2361,637                    |
| Ca3a-180418 S3_0043 | 209           | 741,4796                    |
| Ca3a-180418 S3_0044 | 209,5         | 584,8404                    |
| Ca3a-180418 S3_0045 | 210           | 645,8232                    |
| Ca3a-180418 S3_0046 | 210,5         | 440,8746                    |
| Ca3a-180418 S3_0047 | 211           | 395,3146                    |
| Ca3a-180418 S3_0048 | 211,5         | 436,403                     |
| Ca3a-180418 S3_0049 | 212           | 876,9685                    |
| Ca3a-180418 S3_0050 | 212,5         | 540,4654                    |
| Ca3a-180418 S3_0051 | 213           | 285,9303                    |
| Ca3a-180418 S3_0052 | 213,5         | 330,3186                    |
| Ca3a-180418 S3_0053 | 214           | 336,9981                    |
| Ca3a-180418 S3_0054 | 214,5         | 450,1881                    |
| Ca3a-180418 S3_0055 | 215           | 446,3276                    |
| Ca3a-180418 S3_0056 | 215,5         | 1097,142                    |
| Ca3a-180418 S3_0057 | 216           | 1145,538                    |
| Ca3a-180418 S3_0058 | 216,5         | 490,8958                    |
| Ca3a-180418 S3_0059 | 217           | 420,2184                    |
| Ca3a-180418 S3_0060 | 217,5         | 290,7314                    |
| Ca3a-180418 S3_0061 | 218           | 305,3562                    |
| Ca3a-180418 S3_0062 | 218,5         | 320,635                     |
| Ca3a-180418 S3_0063 | 219           | 342,5473                    |
| Ca3a-180418 S3_0064 | 219,5         | 264,6368                    |
| Ca3a-180418 S3_0065 | 220           | 252,1555                    |
| Ca3a-180418 S3_0066 | 220,5         | 266,1251                    |
| Ca3a-180418 S3_0067 | 221           | 284,7813                    |
| Ca3a-180418 S3_0068 | 221,5         | 345,0352                    |
| Ca3a-180418 S3_0069 | 222           | 512,4813                    |
| Ca3a-180418 S3_0070 | 222,5         | 770,4389                    |
| Ca3a-180418 S3_0071 | 223           | 477,6131                    |
| Ca3a-180418 S3_0072 | 223,5         | 466,4857                    |
| Ca3a-180418 S3_0073 | 224           | 922,2078                    |
| Ca3a-180418 S3_0074 | 224,5         | 2801,074                    |
| Ca3a-180418 S3_0075 | 225           | 1492,447                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3a-180418 S3_0076 | 225,5         | 898,7234                    |
| Ca3a-180418 S3_0077 | 226           | 345,8944                    |
| Ca3a-180418 S3_0078 | 226,5         | 220,402                     |
| Ca3a-180418 S3_0079 | 227           | 207,8888                    |
| Ca3a-180418 S3_0080 | 227,5         | 269,5526                    |
| Ca3a-180418 S3_0081 | 228           | 323,1694                    |
| Ca3a-180418 S3_0082 | 228,5         | 275,0039                    |
| Ca3a-180418 S3_0083 | 229           | 277,0868                    |
| Ca3a-180418 S3_0084 | 229,5         | 234,87                      |
| Ca3a-180418 S3_0085 | 230           | 216,4201                    |
| Ca3a-180418 S3_0086 | 230,5         | 217,8204                    |
| Ca3a-180418 S3_0087 | 231           | 213,3132                    |
| Ca3a-180418 S3_0088 | 231,5         | 214,7416                    |
| Ca3a-180418 S3_0089 | 232           | 216,8373                    |
| Ca3a-180418 S3_0090 | 232,5         | 195,7632                    |
| Ca3a-180418 S3_0091 | 233           | 204,417                     |
| Ca3a-180418 S3_0092 | 233,5         | 229,6462                    |
| Ca3a-180418 S3_0093 | 234           | 296,5665                    |
| Ca3a-180418 S3_0094 | 234,5         | 300,6061                    |
| Ca3a-180418 S3_0095 | 235           | 269,6122                    |
| Ca3a-180418 S3_0096 | 235,5         | 301,456                     |
| Ca3a-180418 S3_0097 | 236           | 302,8663                    |
| Ca3a-180418 S3_0098 | 236,5         | 315,5102                    |
| Ca3a-180418 S3_0099 | 237           | 334,7891                    |
| Ca3a-180418 S3_0100 | 237,5         | 330,9117                    |
| Ca3a-180418 S3_0101 | 238           | 276,0891                    |
| Ca3a-180418 S3_0102 | 238,5         | 285,4566                    |
| Ca3a-180418 S3_0103 | 239           | 295,4916                    |
| Ca3a-180418 S3_0104 | 239,5         | 306,1736                    |
| Ca3a-180418 S3_0105 | 240           | 281,1283                    |
| Ca3a-180418 S3_0106 | 240,5         | 377,7804                    |
| Ca3a-180418 S3_0107 | 241           | 406,9797                    |
| Ca3a-180418 S3_0108 | 241,5         | 495,0208                    |
| Ca3a-180418 S3_0109 | 242           | 704,7908                    |
| Ca3a-180418 S3_0110 | 242,5         | 1178,37                     |
| Ca3a-180418 S3_0111 | 243           | 1064,705                    |
| Ca3a-180418 S3_0112 | 243,5         | 1594,515                    |
| Ca3a-180418 S3_0113 | 244           | 1889,609                    |
| Ca3a-180418 S3_0114 | 244,5         | 824,3032                    |
| Ca3a-180418 S3_0115 | 245           | 848,1839                    |
| Ca3a-180418 S3_0116 | 245,5         | 690,2581                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3a-180418 S3_0117 | 246           | 834,5269                    |
| Ca3a-180418 S3_0118 | 246,5         | 1415,253                    |
| Ca3a-180418 S3_0119 | 247           | 2329,947                    |
| Ca3a-180418 S3_0120 | 247,5         | 4317,334                    |
| Ca3a-180418 S3_0121 | 248           | 7965,894                    |
| Ca3a-180418 S3_0122 | 248,5         | 8958,682                    |
| Ca3a-180418 S3_0123 | 249           | 11141,77                    |
| Ca3a-180418 S3_0124 | 249,5         | 10026,26                    |
| Ca3a-180418 S3_0125 | 250           | 9481,403                    |
| Ca3a-180418 S3_0126 | 250,5         | 6807,815                    |
| Ca3a-180418 S3_0127 | 251           | 4087,978                    |
| Ca3a-180418 S3_0128 | 251,5         | 3821,534                    |
| Ca3a-180418 S3_0129 | 252           | 3770,071                    |
| Ca3a-180418 S3_0130 | 252,5         | 1904,615                    |
| Ca3a-180418 S3_0131 | 253           | 1008,637                    |
| Ca3b-180418 S4_0007 | 253,5         | 397,2639                    |
| Ca3b-180418 S4_0008 | 254           | 277,6366                    |
| Ca3b-180418 S4_0009 | 254,5         | 196,3574                    |
| Ca3b-180418 S4_0010 | 255           | 197,0734                    |
| Ca3b-180418 S4_0011 | 255,5         | 163,4106                    |
| Ca3b-180418 S4_0012 | 256           | 226,2984                    |
| Ca3b-180418 S4_0013 | 256,5         | 284,5576                    |
| Ca3b-180418 S4_0014 | 257           | 330,2318                    |
| Ca3b-180418 S4_0015 | 257,5         | 489,6319                    |
| Ca3b-180418 S4_0016 | 258           | 652,3611                    |
| Ca3b-180418 S4_0017 | 258,5         | 1123,96                     |
| Ca3b-180418 S4_0018 | 259           | 1152,502                    |
| Ca3b-180418 S4_0019 | 259,5         | 866,2254                    |
| Ca3b-180418 S4_0020 | 260           | 366,2736                    |
| Ca3b-180418 S4_0021 | 260,5         | 504,5389                    |
| Ca3b-180418 S4_0022 | 261           | 484,7935                    |
| Ca3b-180418 S4_0023 | 261,5         | 512,6305                    |
| Ca3b-180418 S4_0024 | 262           | 366,5527                    |
| Ca3b-180418 S4_0025 | 262,5         | 401,6259                    |
| Ca3b-180418 S4_0026 | 263           | 639,102                     |
| Ca3b-180418 S4_0027 | 263,5         | 534,6763                    |
| Ca3b-180418 S4_0028 | 264           | 532,7227                    |
| Ca3b-180418 S4_0029 | 264,5         | 574,4515                    |
| Ca3b-180418 S4_0030 | 265           | 946,2157                    |
| Ca3b-180418 S4_0031 | 265,5         | 290,8569                    |
| Ca3b-180418 S4_0032 | 266           | 136,1631                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S4_0033 | 266,5         | 130,9766                    |
| Ca3b-180418 S4_0034 | 267           | 120,421                     |
| Ca3b-180418 S4_0035 | 267,5         | 104,594                     |
| Ca3b-180418 S4_0036 | 268           | 109,9739                    |
| Ca3b-180418 S4_0037 | 268,5         | 137,7595                    |
| Ca3b-180418 S4_0038 | 269           | 176,8773                    |
| Ca3b-180418 S4_0039 | 269,5         | 164,3597                    |
| Ca3b-180418 S4_0040 | 270           | 119,4676                    |
| Ca3b-180418 S4_0041 | 270,5         | 130,1108                    |
| Ca3b-180418 S4_0042 | 271           | 189,6583                    |
| Ca3b-180418 S4_0043 | 271,5         | 218,1455                    |
| Ca3b-180418 S4_0044 | 272           | 220,221                     |
| Ca3b-180418 S4_0045 | 272,5         | 310,8535                    |
| Ca3b-180418 S4_0046 | 273           | 334,7519                    |
| Ca3b-180418 S4_0047 | 273,5         | 243,54                      |
| Ca3b-180418 S4_0048 | 274           | 202,6283                    |
| Ca3b-180418 S4_0049 | 274,5         | 155,0557                    |
| Ca3b-180418 S4_0050 | 275           | 155,732                     |
| Ca3b-180418 S4_0051 | 275,5         | 157,8227                    |
| Ca3b-180418 S4_0052 | 276           | 173,7535                    |
| Ca3b-180418 S4_0053 | 276,5         | 196,8885                    |
| Ca3b-180418 S4_0054 | 277           | 237,9657                    |
| Ca3b-180418 S4_0055 | 277,5         | 239,3393                    |
| Ca3b-180418 S4_0056 | 278           | 285,044                     |
| Ca3b-180418 S4_0057 | 278,5         | 283,1395                    |
| Ca3b-180418 S4_0058 | 279           | 297,0337                    |
| Ca3b-180418 S4_0059 | 279,5         | 262,6987                    |
| Ca3b-180418 S4_0060 | 280           | 173,506                     |
| Ca3b-180418 S4_0061 | 280,5         | 183,4981                    |
| Ca3b-180418 S4_0062 | 281           | 216,5986                    |
| Ca3b-180418 S4_0063 | 281,5         | 246,446                     |
| Ca3b-180418 S4_0064 | 282           | 270,2569                    |
| Ca3b-180418 S4_0065 | 282,5         | 274,2929                    |
| Ca3b-180418 S4_0066 | 283           | 271,0447                    |
| Ca3b-180418 S4_0067 | 283,5         | 228,7611                    |
| Ca3b-180418 S4_0068 | 284           | 170,6805                    |
| Ca3b-180418 S4_0069 | 284,5         | 198,4927                    |
| Ca3b-180418 S4_0070 | 285           | 256,0713                    |
| Ca3b-180418 S4_0071 | 285,5         | 308,3833                    |
| Ca3b-180418 S4_0072 | 286           | 276,6883                    |
| Ca3b-180418 S4_0073 | 286,5         | 322,4001                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof. (cm) | SM (10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|------------|--------------------------|
| Ca3b-180418 S4_0074 | 287        | 295,3519                 |
| Ca3b-180418 S4_0075 | 287,5      | 287,4276                 |
| Ca3b-180418 S4_0076 | 288        | 364,9118                 |
| Ca3b-180418 S4_0077 | 288,5      | 521,7072                 |
| Ca3b-180418 S4_0078 | 289        | 445,7142                 |
| Ca3b-180418 S4_0079 | 289,5      | 490,7212                 |
| Ca3b-180418 S4_0080 | 290        | 568,1606                 |
| Ca3b-180418 S4_0081 | 290,5      | 572,8451                 |
| Ca3b-180418 S4_0082 | 291        | 469,0619                 |
| Ca3b-180418 S4_0083 | 291,5      | 641,0688                 |
| Ca3b-180418 S4_0084 | 292        | 1184,084                 |
| Ca3b-180418 S4_0085 | 292,5      | 1970,46                  |
| Ca3b-180418 S4_0086 | 293        | 1434,16                  |
| Ca3b-180418 S4_0087 | 293,5      | 1028,849                 |
| Ca3b-180418 S4_0088 | 294        | 748,5292                 |
| Ca3b-180418 S4_0089 | 294,5      | 592,485                  |
| Ca3b-180418 S4_0090 | 295        | 563,4737                 |
| Ca3b-180418 S4_0091 | 295,5      | 1435,762                 |
| Ca3b-180418 S4_0092 | 296        | 2170,55                  |
| Ca3b-180418 S4_0093 | 296,5      | 625,8131                 |
| Ca3b-180418 S4_0094 | 297        | 413,5742                 |
| Ca3b-180418 S4_0095 | 297,5      | 275,4309                 |
| Ca3b-180418 S4_0096 | 298        | 381,278                  |
| Ca3b-180418 S4_0097 | 298,5      | 938,8288                 |
| Ca3b-180418 S4_0098 | 299        | 635,9732                 |
| Ca3b-180418 S4_0099 | 299,5      | 398,6407                 |
| Ca3b-180418 S4_0100 | 300        | 280,2785                 |
| Ca3b-180418 S4_0101 | 300,5      | 281,0063                 |
| Ca3b-180418 S4_0102 | 301        | 199,0924                 |
| Ca3b-180418 S4_0103 | 301,5      | 155,5175                 |
| Ca3b-180418 S4_0104 | 302        | 216,4003                 |
| Ca3b-180418 S4_0105 | 302,5      | 277,3063                 |
| Ca3b-180418 S4_0106 | 303        | 397,0263                 |
| Ca3b-180418 S4_0107 | 303,5      | 463,8975                 |
| Ca3b-180418 S4_0108 | 304        | 501,6754                 |
| Ca3b-180418 S4_0109 | 304,5      | 961,9521                 |
| Ca3b-180418 S4_0110 | 305        | 1326,443                 |
| Ca3b-180418 S4_0111 | 305,5      | 972,6755                 |
| Ca3b-180418 S4_0112 | 306        | 598,4367                 |
| Ca3b-180418 S4_0113 | 306,5      | 432,493                  |
| Ca3b-180418 S4_0114 | 307        | 402,1198                 |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof. (cm) | SM (10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|------------|--------------------------|
| Ca3b-180418 S4_0115 | 307,5      | 468,3059                 |
| Ca3b-180418 S4_0116 | 308        | 773,2694                 |
| Ca3b-180418 S4_0117 | 308,5      | 438,0026                 |
| Ca3b-180418 S4_0118 | 309        | 319,7178                 |
| Ca3b-180418 S4_0119 | 309,5      | 321,7652                 |
| Ca3b-180418 S4_0120 | 310        | 352,8693                 |
| Ca3b-180418 S4_0121 | 310,5      | 335,1014                 |
| Ca3b-180418 S4_0122 | 311        | 356,3535                 |
| Ca3b-180418 S4_0123 | 311,5      | 484,0255                 |
| Ca3b-180418 S4_0124 | 312        | 699,6348                 |
| Ca3b-180418 S4_0125 | 312,5      | 662,0164                 |
| Ca3b-180418 S4_0126 | 313        | 559,614                  |
| Ca3b-180418 S4_0127 | 313,5      | 669,4212                 |
| Ca3b-180418 S4_0128 | 314        | 586,79                   |
| Ca3b-180418 S4_0129 | 314,5      | 780,634                  |
| Ca3b-180418 S4_0130 | 315        | 875,2649                 |
| Ca3b-180418 S4_0131 | 315,5      | 510,2981                 |
| Ca3b-180418 S4_0132 | 316        | 843,6602                 |
| Ca3b-180418 S4_0133 | 316,5      | 2528,117                 |
| Ca3b-180418 S4_0134 | 317        | 1392,683                 |
| Ca3b-180418 S4_0135 | 317,5      | 948,9933                 |
| Ca3b-180418 S4_0136 | 318        | 1796,17                  |
| Ca3b-180418 S4_0137 | 318,5      | 2683,073                 |
| Ca3b-180418 S4_0138 | 319        | 1081,461                 |
| Ca3b-180418 S4_0139 | 319,5      | 636,4119                 |
| Ca3b-180418 S4_0140 | 320        | 653,6859                 |
| Ca3b-180418 S4_0141 | 320,5      | 986,3899                 |
| Ca3b-180418 S4_0142 | 321        | 1387,218                 |
| Ca3b-180418 S4_0143 | 321,5      | 1559,205                 |
| Ca3b-180418 S4_0144 | 322        | 3133,243                 |
| Ca3b-180418 S4_0145 | 322,5      | 7324,705                 |
| Ca3b-180418 S4_0146 | 323        | 7166,711                 |
| Ca3b-180418 S4_0147 | 323,5      | 7088,76                  |
| Ca3b-180418 S4_0148 | 324        | 5413,683                 |
| Ca3b-180418 S4_0149 | 324,5      | 4425,13                  |
| Ca3b-180418 S4_0150 | 325        | 1781,879                 |
| Ca3b-180418 S4_0151 | 325,5      | 1697,303                 |
| Ca3b-180418 S4_0152 | 326        | 3312,999                 |
| Ca3b-180418 S4_0153 | 326,5      | 9754,283                 |
| Ca3b-180418 S4_0154 | 327        | 7699,826                 |
| Ca3b-180418 S4_0155 | 327,5      | 5874,7                   |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S4_0156 | 328           | 6387,912                    |
| Ca3b-180418 S4_0157 | 328,5         | 12515,71                    |
| Ca3b-180418 S4_0158 | 329           | 17434,65                    |
| Ca3b-180418 S4_0159 | 329,5         | 12193,8                     |
| Ca3b-180418 S4_0160 | 330           | 3666,831                    |
| Ca3b-180418 S4_0161 | 330,5         | 4117,266                    |
| Ca3b-180418 S4_0162 | 331           | 3241,713                    |
| Ca3b-180418 S4_0163 | 331,5         | 1870,252                    |
| Ca3b-180418 S4_0164 | 332           | 484,219                     |
| Ca3b-180418 S4_0165 | 332,5         | 459,1411                    |
| Ca3b-180418 S4_0166 | 333           | 662,246                     |
| Ca3b-180418 S4_0167 | 333,5         | 711,1932                    |
| Ca3b-180418 S4_0168 | 334           | 430,874                     |
| Ca3b-180418 S4_0169 | 334,5         | 348,9761                    |
| Ca3b-180418 S4_0170 | 335           | 337,7763                    |
| Ca3b-180418 S4_0171 | 335,5         | 308,0935                    |
| Ca3b-180418 S4_0172 | 336           | 577,3062                    |
| Ca3b-180418 S5_0003 | 336,5         | 498,1522                    |
| Ca3b-180418 S5_0004 | 337           | 227,838                     |
| Ca3b-180418 S5_0005 | 337,5         | 314,0403                    |
| Ca3b-180418 S5_0006 | 338           | 705,069                     |
| Ca3b-180418 S5_0007 | 338,5         | 1343,384                    |
| Ca3b-180418 S5_0008 | 339           | 3354,017                    |
| Ca3b-180418 S5_0009 | 339,5         | 5908,211                    |
| Ca3b-180418 S5_0010 | 340           | 5317,827                    |
| Ca3b-180418 S5_0011 | 340,5         | 1313,067                    |
| Ca3b-180418 S5_0012 | 341           | 1316,546                    |
| Ca3b-180418 S5_0013 | 341,5         | 970,2022                    |
| Ca3b-180418 S5_0014 | 342           | 334,2004                    |
| Ca3b-180418 S5_0015 | 342,5         | 346,951                     |
| Ca3b-180418 S5_0016 | 343           | 155,313                     |
| Ca3b-180418 S5_0017 | 343,5         | 138,9608                    |
| Ca3b-180418 S5_0018 | 344           | 172,2312                    |
| Ca3b-180418 S5_0019 | 344,5         | 162,4906                    |
| Ca3b-180418 S5_0020 | 345           | 167,9513                    |
| Ca3b-180418 S5_0021 | 345,5         | 223,6452                    |
| Ca3b-180418 S5_0022 | 346           | 512,1473                    |
| Ca3b-180418 S5_0023 | 346,5         | 742,4541                    |
| Ca3b-180418 S5_0024 | 347           | 859,0489                    |
| Ca3b-180418 S5_0025 | 347,5         | 1746,713                    |
| Ca3b-180418 S5_0026 | 348           | 832,9539                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S5_0027 | 348,5         | 493,8372                    |
| Ca3b-180418 S5_0028 | 349           | 242,7716                    |
| Ca3b-180418 S5_0029 | 349,5         | 143,7559                    |
| Ca3b-180418 S5_0030 | 350           | 184,3333                    |
| Ca3b-180418 S5_0031 | 350,5         | 199,0551                    |
| Ca3b-180418 S5_0032 | 351           | 182,0083                    |
| Ca3b-180418 S5_0033 | 351,5         | 179,558                     |
| Ca3b-180418 S5_0034 | 352           | 256,4327                    |
| Ca3b-180418 S5_0035 | 352,5         | 336,0166                    |
| Ca3b-180418 S5_0036 | 353           | 649,6607                    |
| Ca3b-180418 S5_0037 | 353,5         | 1570,37                     |
| Ca3b-180418 S5_0038 | 354           | 644,1214                    |
| Ca3b-180418 S5_0039 | 354,5         | 361,9229                    |
| Ca3b-180418 S5_0040 | 355           | 418,9928                    |
| Ca3b-180418 S5_0041 | 355,5         | 985,2363                    |
| Ca3b-180418 S5_0042 | 356           | 1677,137                    |
| Ca3b-180418 S5_0043 | 356,5         | 3409,321                    |
| Ca3b-180418 S5_0044 | 357           | 3166,827                    |
| Ca3b-180418 S5_0045 | 357,5         | 2305,459                    |
| Ca3b-180418 S5_0046 | 358           | 3237,44                     |
| Ca3b-180418 S5_0047 | 358,5         | 5389,597                    |
| Ca3b-180418 S5_0048 | 359           | 3170,395                    |
| Ca3b-180418 S5_0049 | 359,5         | 1256,101                    |
| Ca3b-180418 S5_0050 | 360           | 451,4315                    |
| Ca3b-180418 S5_0051 | 360,5         | 539,5747                    |
| Ca3b-180418 S5_0052 | 361           | 594,7113                    |
| Ca3b-180418 S5_0053 | 361,5         | 252,2876                    |
| Ca3b-180418 S5_0054 | 362           | 181,7719                    |
| Ca3b-180418 S5_0055 | 362,5         | 258,0163                    |
| Ca3b-180418 S5_0056 | 363           | 260,1921                    |
| Ca3b-180418 S5_0057 | 363,5         | 246,4727                    |
| Ca3b-180418 S5_0058 | 364           | 267,1561                    |
| Ca3b-180418 S5_0059 | 364,5         | 297,7806                    |
| Ca3b-180418 S5_0060 | 365           | 314,5318                    |
| Ca3b-180418 S5_0061 | 365,5         | 403,9537                    |
| Ca3b-180418 S5_0062 | 366           | 443,9167                    |
| Ca3b-180418 S5_0063 | 366,5         | 552,5171                    |
| Ca3b-180418 S5_0064 | 367           | 1016,972                    |
| Ca3b-180418 S5_0065 | 367,5         | 1050,218                    |
| Ca3b-180418 S5_0066 | 368           | 2428,635                    |
| Ca3b-180418 S5_0067 | 368,5         | 3081,556                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S5_0068 | 369           | 1215,537                    |
| Ca3b-180418 S5_0069 | 369,5         | 529,8989                    |
| Ca3b-180418 S5_0070 | 370           | 516,2254                    |
| Ca3b-180418 S5_0071 | 370,5         | 190,3909                    |
| Ca3b-180418 S5_0072 | 371           | 137,0624                    |
| Ca3b-180418 S5_0073 | 371,5         | 68,5086                     |
| Ca3b-180418 S5_0074 | 372           | 64,70645                    |
| Ca3b-180418 S5_0075 | 372,5         | 213,7665                    |
| Ca3b-180418 S5_0076 | 373           | 295,3103                    |
| Ca3b-180418 S5_0077 | 373,5         | 267,7069                    |
| Ca3b-180418 S5_0078 | 374           | 181,2744                    |
| Ca3b-180418 S5_0079 | 374,5         | 201,9721                    |
| Ca3b-180418 S5_0080 | 375           | 195,586                     |
| Ca3b-180418 S5_0081 | 375,5         | 191,1864                    |
| Ca3b-180418 S5_0082 | 376           | 182,0798                    |
| Ca3b-180418 S5_0083 | 376,5         | 162,4923                    |
| Ca3b-180418 S5_0084 | 377           | 235,4061                    |
| Ca3b-180418 S5_0085 | 377,5         | 502,7995                    |
| Ca3b-180418 S5_0086 | 378           | 251,6814                    |
| Ca3b-180418 S5_0087 | 378,5         | 120,2331                    |
| Ca3b-180418 S5_0088 | 379           | 129,0696                    |
| Ca3b-180418 S5_0089 | 379,5         | 150,5062                    |
| Ca3b-180418 S5_0090 | 380           | 254,5125                    |
| Ca3b-180418 S5_0091 | 380,5         | 222,9883                    |
| Ca3b-180418 S5_0092 | 381           | 108,0697                    |
| Ca3b-180418 S5_0093 | 381,5         | 77,21775                    |
| Ca3b-180418 S5_0094 | 382           | 80,73498                    |
| Ca3b-180418 S5_0095 | 382,5         | 84,92731                    |
| Ca3b-180418 S5_0096 | 383           | 124,8083                    |
| Ca3b-180418 S5_0097 | 383,5         | 170,6232                    |
| Ca3b-180418 S5_0098 | 384           | 90,79811                    |
| Ca3b-180418 S5_0099 | 384,5         | 161,7868                    |
| Ca3b-180418 S5_0100 | 385           | 571,9729                    |
| Ca3b-180418 S5_0101 | 385,5         | 488,2517                    |
| Ca3b-180418 S5_0102 | 386           | 382,6455                    |
| Ca3b-180418 S5_0103 | 386,5         | 1575,947                    |
| Ca3b-180418 S5_0104 | 387           | 2443,755                    |
| Ca3b-180418 S5_0105 | 387,5         | 516,8772                    |
| Ca3b-180418 S5_0106 | 388           | 230,1116                    |
| Ca3b-180418 S5_0107 | 388,5         | 353,9801                    |
| Ca3b-180418 S5_0108 | 389           | 412,3677                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S5_0109 | 389,5         | 755,0862                    |
| Ca3b-180418 S5_0110 | 390           | 865,041                     |
| Ca3b-180418 S5_0111 | 390,5         | 353,3623                    |
| Ca3b-180418 S5_0112 | 391           | 419,7332                    |
| Ca3b-180418 S5_0113 | 391,5         | 1439,656                    |
| Ca3b-180418 S5_0114 | 392           | 1142,92                     |
| Ca3b-180418 S5_0115 | 392,5         | 953,9947                    |
| Ca3b-180418 S5_0116 | 393           | 2140,554                    |
| Ca3b-180418 S5_0117 | 393,5         | 1230,784                    |
| Ca3b-180418 S5_0118 | 394           | 688,0859                    |
| Ca3b-180418 S5_0119 | 394,5         | 1212,03                     |
| Ca3b-180418 S5_0120 | 395           | 446,428                     |
| Ca3b-180418 S5_0121 | 395,5         | 482,9715                    |
| Ca3b-180418 S5_0122 | 396           | 1101,51                     |
| Ca3b-180418 S5_0123 | 396,5         | 953,5643                    |
| Ca3b-180418 S5_0124 | 397           | 640,3338                    |
| Ca3b-180418 S5_0125 | 397,5         | 356,1565                    |
| Ca3b-180418 S5_0126 | 398           | 481,3876                    |
| Ca3b-180418 S5_0127 | 398,5         | 847,2786                    |
| Ca3b-180418 S5_0128 | 399           | 247,6246                    |
| Ca3b-180418 S5_0129 | 399,5         | 178,3902                    |
| Ca3b-180418 S5_0130 | 400           | 238,1391                    |
| Ca3b-180418 S5_0131 | 400,5         | 395,0413                    |
| Ca3b-180418 S5_0132 | 401           | 590,9923                    |
| Ca3b-180418 S5_0133 | 401,5         | 737,3974                    |
| Ca3a-180418 S5_0068 | 402           | 4749,924                    |
| Ca3a-180418 S5_0069 | 402,5         | 3846,182                    |
| Ca3a-180418 S5_0070 | 403           | 1214,447                    |
| Ca3a-180418 S5_0071 | 403,5         | 659,2542                    |
| Ca3a-180418 S5_0072 | 404           | 166,275                     |
| Ca3a-180418 S5_0073 | 404,5         | 163,2903                    |
| Ca3a-180418 S5_0074 | 405           | 299,1345                    |
| Ca3a-180418 S5_0075 | 405,5         | 871,5463                    |
| Ca3a-180418 S5_0076 | 406           | 955,8542                    |
| Ca3a-180418 S5_0077 | 406,5         | 1310,603                    |
| Ca3a-180418 S5_0078 | 407           | 4550,704                    |
| Ca3a-180418 S5_0079 | 407,5         | 3480,356                    |
| Ca3a-180418 S5_0080 | 408           | 1645,481                    |
| Ca3a-180418 S5_0081 | 408,5         | 599,6196                    |
| Ca3a-180418 S5_0082 | 409           | 361,2331                    |
| Ca3a-180418 S5_0083 | 409,5         | 513,6355                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3a-180418 S5_0084 | 410           | 272,5366                    |
| Ca3a-180418 S5_0085 | 410,5         | 300,6657                    |
| Ca3a-180418 S5_0086 | 411           | 505,9178                    |
| Ca3a-180418 S5_0087 | 411,5         | 450,7213                    |
| Ca3a-180418 S5_0088 | 412           | 763,1509                    |
| Ca3a-180418 S5_0089 | 412,5         | 153,7405                    |
| Ca3a-180418 S5_0090 | 413           | 140,7918                    |
| Ca3a-180418 S5_0091 | 413,5         | 262,7928                    |
| Ca3a-180418 S5_0092 | 414           | 264,4051                    |
| Ca3a-180418 S5_0093 | 414,5         | 58,38363                    |
| Ca3a-180418 S5_0094 | 415           | 45,48515                    |
| Ca3a-180418 S5_0095 | 415,5         | 84,79926                    |
| Ca3a-180418 S5_0096 | 416           | 70,52699                    |
| Ca3a-180418 S5_0097 | 416,5         | 64,84169                    |
| Ca3a-180418 S5_0098 | 417           | 79,04574                    |
| Ca3a-180418 S5_0099 | 417,5         | 93,27814                    |
| Ca3a-180418 S5_0100 | 418           | 170,3174                    |
| Ca3a-180418 S5_0101 | 418,5         | 234,7414                    |
| Ca3a-180418 S5_0102 | 419           | 423,5511                    |
| Ca3a-180418 S5_0103 | 419,5         | 1630,808                    |
| Ca3a-180418 S5_0104 | 420           | 2029,9                      |
| Ca3a-180418 S5_0105 | 420,5         | 606,3416                    |
| Ca3a-180418 S5_0106 | 421           | 307,752                     |
| Ca3a-180418 S5_0107 | 421,5         | 261,8248                    |
| Ca3a-180418 S5_0108 | 422           | 451,2448                    |
| Ca3a-180418 S5_0109 | 422,5         | 623,5102                    |
| Ca3a-180418 S5_0110 | 423           | 625,1967                    |
| Ca3a-180418 S5_0111 | 423,5         | 362,3244                    |
| Ca3a-180418 S5_0112 | 424           | 184,0957                    |
| Ca3a-180418 S5_0113 | 424,5         | 121,5483                    |
| Ca3a-180418 S5_0114 | 425           | 160,8933                    |
| Ca3a-180418 S5_0115 | 425,5         | 152,6033                    |
| Ca3a-180418 S5_0116 | 426           | 116,5652                    |
| Ca3a-180418 S5_0117 | 426,5         | 88,42775                    |
| Ca3a-180418 S5_0118 | 427           | 60,31228                    |
| Ca3a-180418 S5_0119 | 427,5         | 52,05082                    |
| Ca3a-180418 S5_0120 | 428           | 59,00443                    |
| Ca3a-180418 S5_0121 | 428,5         | 94,99565                    |
| Ca3a-180418 S5_0122 | 429           | 202,4778                    |
| Ca3a-180418 S5_0123 | 429,5         | 789,3674                    |
| Ca3b-180418 S6_0021 | 430           | 232,772                     |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S6_0022 | 430,5         | 1196,238                    |
| Ca3b-180418 S6_0023 | 431           | 1152,575                    |
| Ca3b-180418 S6_0024 | 431,5         | 373,5382                    |
| Ca3b-180418 S6_0025 | 432           | 206,1622                    |
| Ca3b-180418 S6_0026 | 432,5         | 274,9103                    |
| Ca3b-180418 S6_0027 | 433           | 160,5154                    |
| Ca3b-180418 S6_0028 | 433,5         | 215,3687                    |
| Ca3b-180418 S6_0029 | 434           | 237,1802                    |
| Ca3b-180418 S6_0030 | 434,5         | 133,3122                    |
| Ca3b-180418 S6_0031 | 435           | 83,65338                    |
| Ca3b-180418 S6_0032 | 435,5         | 41,99505                    |
| Ca3b-180418 S6_0033 | 436           | 32,64324                    |
| Ca3b-180418 S6_0034 | 436,5         | 38,61961                    |
| Ca3b-180418 S6_0035 | 437           | 56,41567                    |
| Ca3b-180418 S6_0036 | 437,5         | 75,56938                    |
| Ca3b-180418 S6_0037 | 438           | 108,6135                    |
| Ca3b-180418 S6_0038 | 438,5         | 172,6933                    |
| Ca3b-180418 S6_0039 | 439           | 107,1839                    |
| Ca3b-180418 S6_0040 | 439,5         | 56,24828                    |
| Ca3b-180418 S6_0041 | 440           | 57,58562                    |
| Ca3b-180418 S6_0042 | 440,5         | 97,85794                    |
| Ca3b-180418 S6_0043 | 441           | 155,372                     |
| Ca3b-180418 S6_0044 | 441,5         | 226,1215                    |
| Ca3b-180418 S6_0045 | 442           | 148,6776                    |
| Ca3b-180418 S6_0046 | 442,5         | 187,6546                    |
| Ca3b-180418 S6_0047 | 443           | 208,1741                    |
| Ca3b-180418 S6_0048 | 443,5         | 227,9959                    |
| Ca3b-180418 S6_0049 | 444           | 291,4292                    |
| Ca3b-180418 S6_0050 | 444,5         | 176,3278                    |
| Ca3b-180418 S6_0051 | 445           | 61,90211                    |
| Ca3b-180418 S6_0052 | 445,5         | 31,45757                    |
| Ca3b-180418 S6_0053 | 446           | 40,65234                    |
| Ca3b-180418 S6_0054 | 446,5         | 47,86557                    |
| Ca3b-180418 S6_0055 | 447           | 24,05581                    |
| Ca3b-180418 S6_0056 | 447,5         | 24,69078                    |
| Ca3b-180418 S6_0057 | 448           | 38,52411                    |
| Ca3b-180418 S6_0058 | 448,5         | 61,68833                    |
| Ca3b-180418 S6_0059 | 449           | 105,2737                    |
| Ca3b-180418 S6_0060 | 449,5         | 208,4244                    |
| Ca3b-180418 S6_0061 | 450           | 264,5938                    |
| Ca3b-180418 S6_0062 | 450,5         | 166,6637                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S6_0063 | 451           | 48,93069                    |
| Ca3b-180418 S6_0064 | 451,5         | 56,14861                    |
| Ca3b-180418 S6_0065 | 452           | 95,1546                     |
| Ca3b-180418 S6_0066 | 452,5         | 142,0883                    |
| Ca3b-180418 S6_0067 | 453           | 95,74137                    |
| Ca3b-180418 S6_0068 | 453,5         | 90,43727                    |
| Ca3b-180418 S6_0069 | 454           | 110,2146                    |
| Ca3b-180418 S6_0070 | 454,5         | 116,8369                    |
| Ca3b-180418 S6_0071 | 455           | 313,1991                    |
| Ca3b-180418 S6_0072 | 455,5         | 936,7832                    |
| Ca3b-180418 S6_0073 | 456           | 326,3832                    |
| Ca3b-180418 S6_0074 | 456,5         | 63,14578                    |
| Ca3b-180418 S6_0075 | 457           | 38,61522                    |
| Ca3b-180418 S6_0076 | 457,5         | 41,21872                    |
| Ca3b-180418 S6_0077 | 458           | 41,85947                    |
| Ca3b-180418 S6_0078 | 458,5         | 79,54685                    |
| Ca3b-180418 S6_0079 | 459           | 64,96829                    |
| Ca3b-180418 S6_0080 | 459,5         | 95,97852                    |
| Ca3b-180418 S6_0081 | 460           | 180,6005                    |
| Ca3b-180418 S6_0082 | 460,5         | 206,3746                    |
| Ca3b-180418 S6_0083 | 461           | 170,65                      |
| Ca3b-180418 S6_0084 | 461,5         | 383,5253                    |
| Ca3b-180418 S6_0085 | 462           | 671,1797                    |
| Ca3b-180418 S6_0086 | 462,5         | 1044,802                    |
| Ca3b-180418 S6_0087 | 463           | 1389,334                    |
| Ca3b-180418 S6_0088 | 463,5         | 480,617                     |
| Ca3b-180418 S6_0089 | 464           | 272,3184                    |
| Ca3b-180418 S6_0090 | 464,5         | 614,194                     |
| Ca3b-180418 S6_0091 | 465           | 2682,04                     |
| Ca3b-180418 S6_0092 | 465,5         | 1494,971                    |
| Ca3b-180418 S6_0093 | 466           | 434,1713                    |
| Ca3b-180418 S6_0094 | 466,5         | 418,9623                    |
| Ca3b-180418 S6_0095 | 467           | 167,6302                    |
| Ca3b-180418 S6_0096 | 467,5         | 164,9471                    |
| Ca3b-180418 S6_0097 | 468           | 180,8123                    |
| Ca3b-180418 S6_0098 | 468,5         | 313,0158                    |
| Ca3b-180418 S6_0099 | 469           | 983,536                     |
| Ca3b-180418 S6_0100 | 469,5         | 2783,634                    |
| Ca3b-180418 S6_0101 | 470           | 1088,012                    |
| Ca3b-180418 S6_0102 | 470,5         | 164,1242                    |
| Ca3b-180418 S6_0103 | 471           | 91,31145                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S6_0104 | 471,5         | 85,33656                    |
| Ca3b-180418 S6_0105 | 472           | 123,6807                    |
| Ca3b-180418 S6_0106 | 472,5         | 335,9347                    |
| Ca3b-180418 S6_0107 | 473           | 437,7449                    |
| Ca3b-180418 S6_0108 | 473,5         | 229,3926                    |
| Ca3b-180418 S6_0109 | 474           | 122,2314                    |
| Ca3b-180418 S6_0110 | 474,5         | 85,20192                    |
| Ca3b-180418 S6_0111 | 475           | 95,09664                    |
| Ca3b-180418 S6_0112 | 475,5         | 208,8077                    |
| Ca3b-180418 S6_0113 | 476           | 366,1976                    |
| Ca3b-180418 S6_0114 | 476,5         | 772,1964                    |
| Ca3b-180418 S6_0115 | 477           | 592,9468                    |
| Ca3b-180418 S6_0116 | 477,5         | 347,6036                    |
| Ca3b-180418 S6_0117 | 478           | 175,6066                    |
| Ca3b-180418 S6_0118 | 478,5         | 177,5717                    |
| Ca3b-180418 S6_0119 | 479           | 121,328                     |
| Ca3b-180418 S6_0120 | 479,5         | 149,054                     |
| Ca3b-180418 S6_0121 | 480           | 191,9971                    |
| Ca3b-180418 S6_0122 | 480,5         | 273,9782                    |
| Ca3b-180418 S6_0123 | 481           | 334,8119                    |
| Ca3b-180418 S6_0124 | 481,5         | 428,6672                    |
| Ca3b-180418 S6_0125 | 482           | 200,4801                    |
| Ca3b-180418 S6_0126 | 482,5         | 132,3849                    |
| Ca3b-180418 S6_0127 | 483           | 78,75167                    |
| Ca3b-180418 S6_0128 | 483,5         | 67,47626                    |
| Ca3b-180418 S6_0129 | 484           | 58,8772                     |
| Ca3b-180418 S6_0130 | 484,5         | 77,35004                    |
| Ca3b-180418 S6_0131 | 485           | 137,5364                    |
| Ca3b-180418 S6_0132 | 485,5         | 70,69434                    |
| Ca3b-180418 S6_0133 | 486           | 64,72865                    |
| Ca3b-180418 S6_0134 | 486,5         | 58,06335                    |
| Ca3b-180418 S6_0135 | 487           | 55,39814                    |
| Ca3b-180418 S6_0136 | 487,5         | 67,89297                    |
| Ca3b-180418 S6_0137 | 488           | 84,40755                    |
| Ca3b-180418 S6_0138 | 488,5         | 134,6822                    |
| Ca3b-180418 S6_0139 | 489           | 242,4438                    |
| Ca3b-180418 S6_0140 | 489,5         | 166,9881                    |
| Ca3b-180418 S6_0141 | 490           | 148,4701                    |
| Ca3b-180418 S6_0142 | 490,5         | 218,5379                    |
| Ca3b-180418 S6_0143 | 491           | 495,5993                    |
| Ca3b-180418 S6_0144 | 491,5         | 838,1483                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof. (cm) | SM (10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|------------|--------------------------|
| Ca3b-180418 S6_0145 | 492        | 947,2763                 |
| Ca3b-180418 S6_0146 | 492,5      | 1541,742                 |
| Ca3b-180418 S6_0147 | 493        | 1855,834                 |
| Ca3b-180418 S6_0148 | 493,5      | 2659,942                 |
| Ca3b-180418 S6_0149 | 494        | 728,9165                 |
| Ca3b-180418 S6_0150 | 494,5      | 124,4241                 |
| Ca3b-180418 S6_0151 | 495        | 99,30164                 |
| Ca3b-180418 S6_0152 | 495,5      | 160,0735                 |
| Ca3b-180418 S6_0153 | 496        | 482,7479                 |
| Ca3b-180418 S6_0154 | 496,5      | 693,0374                 |
| Ca3b-180418 S6_0155 | 497        | 375,5618                 |
| Ca3b-180418 S6_0156 | 497,5      | 162,5957                 |
| Ca3b-180418 S6_0157 | 498        | 115,6068                 |
| Ca3b-180418 S6_0158 | 498,5      | 96,42118                 |
| Ca3b-180418 S6_0159 | 499        | 85,80979                 |
| Ca3b-180418 S6_0160 | 499,5      | 94,40479                 |
| Ca3b-180418 S6_0161 | 500        | 115,5442                 |
| Ca3b-180418 S6_0162 | 500,5      | 126,7443                 |
| Ca3b-180418 S6_0163 | 501        | 178,2962                 |
| Ca3b-180418 S6_0164 | 501,5      | 174,9618                 |
| Ca3b-180418 S6_0165 | 502        | 151,8006                 |
| Ca3b-180418 S6_0166 | 502,5      | 184,8117                 |
| Ca3b-180418 S6_0167 | 503        | 410,9144                 |
| Ca3b-180418 S6_0168 | 503,5      | 345,4388                 |
| Ca3b-180418 S6_0169 | 504        | 178,7931                 |
| Ca3b-180418 S6_0170 | 504,5      | 126,5024                 |
| Ca3b-180418 S6_0171 | 505        | 100,0386                 |
| Ca3b-180418 S6_0172 | 505,5      | 84,77886                 |
| Ca3b-180418 S6_0173 | 506        | 106,5398                 |
| Ca3b-180418 S6_0174 | 506,5      | 162,7399                 |
| Ca3b-180418 S7      | 507        | 993,1049                 |
| Ca3b-180418 S7_0001 | 507,5      | 465,0438                 |
| Ca3b-180418 S7_0002 | 508        | 487,8208                 |
| Ca3b-180418 S7_0003 | 508,5      | 635,5565                 |
| Ca3b-180418 S7_0004 | 509        | 834,2043                 |
| Ca3b-180418 S7_0005 | 509,5      | 455,4808                 |
| Ca3b-180418 S7_0006 | 510        | 316,1854                 |
| Ca3b-180418 S7_0007 | 510,5      | 575,6749                 |
| Ca3b-180418 S7_0008 | 511        | 2001,811                 |
| Ca3b-180418 S7_0009 | 511,5      | 1199,34                  |
| Ca3b-180418 S7_0010 | 512        | 538,9835                 |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof. (cm) | SM (10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|------------|--------------------------|
| Ca3b-180418 S7_0011 | 512,5      | 279,9684                 |
| Ca3b-180418 S7_0012 | 513        | 239,8775                 |
| Ca3b-180418 S7_0013 | 513,5      | 317,0202                 |
| Ca3b-180418 S7_0014 | 514        | 610,2451                 |
| Ca3b-180418 S7_0015 | 514,5      | 509,2626                 |
| Ca3b-180418 S7_0016 | 515        | 373,9373                 |
| Ca3b-180418 S7_0017 | 515,5      | 476,0687                 |
| Ca3b-180418 S7_0018 | 516        | 821,5454                 |
| Ca3b-180418 S7_0019 | 516,5      | 665,6695                 |
| Ca3b-180418 S7_0020 | 517        | 626,8903                 |
| Ca3b-180418 S7_0021 | 517,5      | 617,9196                 |
| Ca3b-180418 S7_0022 | 518        | 645,9341                 |
| Ca3b-180418 S7_0023 | 518,5      | 922,5998                 |
| Ca3b-180418 S7_0024 | 519        | 751,5202                 |
| Ca3b-180418 S7_0025 | 519,5      | 751,1171                 |
| Ca3b-180418 S7_0026 | 520        | 988,7699                 |
| Ca3b-180418 S7_0027 | 520,5      | 1100,072                 |
| Ca3b-180418 S7_0028 | 521        | 777,6033                 |
| Ca3b-180418 S7_0029 | 521,5      | 1943,749                 |
| Ca3b-180418 S7_0030 | 522        | 3975,531                 |
| Ca3b-180418 S7_0031 | 522,5      | 5137,686                 |
| Ca3b-180418 S7_0032 | 523        | 6389,793                 |
| Ca3b-180418 S7_0033 | 523,5      | 2266,046                 |
| Ca3b-180418 S7_0034 | 524        | 777,6856                 |
| Ca3b-180418 S7_0035 | 524,5      | 672,1005                 |
| Ca3b-180418 S7_0036 | 525        | 687,5631                 |
| Ca3b-180418 S7_0037 | 525,5      | 986,0264                 |
| Ca3b-180418 S7_0038 | 526        | 474,3897                 |
| Ca3b-180418 S7_0039 | 526,5      | 275,5668                 |
| Ca3b-180418 S7_0040 | 527        | 347,2073                 |
| Ca3b-180418 S7_0041 | 527,5      | 195,3521                 |
| Ca3b-180418 S7_0042 | 528        | 183,6943                 |
| Ca3b-180418 S7_0043 | 528,5      | 190,5501                 |
| Ca3b-180418 S7_0044 | 529        | 183,5183                 |
| Ca3b-180418 S7_0045 | 529,5      | 245,9027                 |
| Ca3b-180418 S7_0046 | 530        | 337,4635                 |
| Ca3b-180418 S7_0047 | 530,5      | 490,4306                 |
| Ca3b-180418 S7_0048 | 531        | 480,0823                 |
| Ca3b-180418 S7_0049 | 531,5      | 257,4933                 |
| Ca3b-180418 S7_0050 | 532        | 294,0769                 |
| Ca3b-180418 S7_0051 | 532,5      | 582,6755                 |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S7_0052 | 533           | 516,7762                    |
| Ca3b-180418 S7_0053 | 533,5         | 323,2823                    |
| Ca3b-180418 S7_0054 | 534           | 442,5593                    |
| Ca3b-180418 S7_0055 | 534,5         | 1106,786                    |
| Ca3b-180418 S7_0056 | 535           | 1286,186                    |
| Ca3b-180418 S7_0057 | 535,5         | 1593,307                    |
| Ca3b-180418 S7_0058 | 536           | 1273,449                    |
| Ca3b-180418 S7_0059 | 536,5         | 1876,816                    |
| Ca3b-180418 S7_0060 | 537           | 3004,633                    |
| Ca3b-180418 S7_0061 | 537,5         | 3097,468                    |
| Ca3b-180418 S7_0062 | 538           | 2269,727                    |
| Ca3b-180418 S7_0063 | 538,5         | 879,2537                    |
| Ca3b-180418 S7_0064 | 539           | 604,3366                    |
| Ca3b-180418 S7_0065 | 539,5         | 394,9713                    |
| Ca3b-180418 S7_0066 | 540           | 231,212                     |
| Ca3b-180418 S7_0067 | 540,5         | 263,1698                    |
| Ca3b-180418 S7_0068 | 541           | 297,1356                    |
| Ca3b-180418 S7_0069 | 541,5         | 372,7341                    |
| Ca3b-180418 S7_0070 | 542           | 546,9114                    |
| Ca3b-180418 S7_0071 | 542,5         | 934,7059                    |
| Ca3b-180418 S7_0072 | 543           | 1044,077                    |
| Ca3b-180418 S7_0073 | 543,5         | 2294,224                    |
| Ca3b-180418 S7_0074 | 544           | 7892,525                    |
| Ca3b-180418 S7_0075 | 544,5         | 9254,44                     |
| Ca3b-180418 S7_0076 | 545           | 6823,68                     |
| Ca3b-180418 S7_0077 | 545,5         | 3211,101                    |
| Ca3b-180418 S7_0078 | 546           | 2640,655                    |
| Ca3b-180418 S7_0079 | 546,5         | 2235,504                    |
| Ca3b-180418 S7_0080 | 547           | 2483,102                    |
| Ca3b-180418 S7_0081 | 547,5         | 2410,567                    |
| Ca3b-180418 S7_0082 | 548           | 1520,732                    |
| Ca3b-180418 S7_0083 | 548,5         | 570,6391                    |
| Ca3b-180418 S7_0084 | 549           | 161,5188                    |
| Ca3b-180418 S7_0085 | 549,5         | 194,811                     |
| Ca3b-180418 S7_0086 | 550           | 372,9614                    |
| Ca3b-180418 S7_0087 | 550,5         | 313,6637                    |
| Ca3b-180418 S7_0088 | 551           | 149,2541                    |
| Ca3b-180418 S7_0089 | 551,5         | 151,4524                    |
| Ca3b-180418 S7_0090 | 552           | 138,5133                    |
| Ca3b-180418 S7_0091 | 552,5         | 135,4564                    |
| Ca3b-180418 S7_0092 | 553           | 152,8632                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S7_0093 | 553,5         | 208,6705                    |
| Ca3b-180418 S7_0094 | 554           | 275,0746                    |
| Ca3b-180418 S7_0095 | 554,5         | 739,5402                    |
| Ca3b-180418 S7_0096 | 555           | 1792,635                    |
| Ca3b-180418 S7_0097 | 555,5         | 644,1429                    |
| Ca3b-180418 S7_0098 | 556           | 174,8088                    |
| Ca3b-180418 S7_0099 | 556,5         | 183,6782                    |
| Ca3b-180418 S7_0100 | 557           | 420,0555                    |
| Ca3b-180418 S7_0101 | 557,5         | 341,5381                    |
| Ca3b-180418 S7_0102 | 558           | 239,975                     |
| Ca3b-180418 S7_0103 | 558,5         | 221,6504                    |
| Ca3b-180418 S7_0104 | 559           | 199,4001                    |
| Ca3b-180418 S7_0105 | 559,5         | 276,4116                    |
| Ca3b-180418 S7_0106 | 560           | 885,0616                    |
| Ca3b-180418 S7_0107 | 560,5         | 3312,988                    |
| Ca3b-180418 S7_0108 | 561           | 1062,781                    |
| Ca3b-180418 S7_0109 | 561,5         | 348,1815                    |
| Ca3b-180418 S7_0110 | 562           | 789,4878                    |
| Ca3b-180418 S7_0111 | 562,5         | 961,7189                    |
| Ca3b-180418 S7_0112 | 563           | 304,6415                    |
| Ca3b-180418 S7_0113 | 563,5         | 291,6063                    |
| Ca3b-180418 S7_0114 | 564           | 342,8094                    |
| Ca3b-180418 S7_0115 | 564,5         | 555,9782                    |
| Ca3b-180418 S7_0116 | 565           | 242,7618                    |
| Ca3b-180418 S7_0117 | 565,5         | 238,361                     |
| Ca3b-180418 S7_0118 | 566           | 285,5694                    |
| Ca3b-180418 S7_0119 | 566,5         | 360,5368                    |
| Ca3b-180418 S7_0120 | 567           | 396,517                     |
| Ca3b-180418 S7_0121 | 567,5         | 459,589                     |
| Ca3b-180418 S7_0122 | 568           | 969,7047                    |
| Ca3b-180418 S7_0123 | 568,5         | 601,6602                    |
| Ca3b-180418 S7_0124 | 569           | 374,4182                    |
| Ca3b-180418 S7_0125 | 569,5         | 141,8565                    |
| Ca3b-180418 S7_0126 | 570           | 152,7013                    |
| Ca3b-180418 S7_0127 | 570,5         | 178,1308                    |
| Ca3b-180418 S7_0128 | 571           | 229,275                     |
| Ca3b-180418 S7_0129 | 571,5         | 318,1687                    |
| Ca3b-180418 S7_0130 | 572           | 276,8037                    |
| Ca3b-180418 S7_0131 | 572,5         | 341,8227                    |
| Ca3b-180418 S7_0132 | 573           | 589,4344                    |
| Ca3b-180418 S7_0133 | 573,5         | 363,5383                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S7_0134 | 574           | 395,5518                    |
| Ca3b-180418 S7_0135 | 574,5         | 346,9081                    |
| Ca3b-180418 S7_0136 | 575           | 400,1503                    |
| Ca3b-180418 S7_0137 | 575,5         | 542,6344                    |
| Ca3b-180418 S7_0138 | 576           | 591,181                     |
| Ca3b-180418 S7_0139 | 576,5         | 1047,76                     |
| Ca3b-180418 S7_0140 | 577           | 4109,939                    |
| Ca3b-180418 S7_0141 | 577,5         | 2387,511                    |
| Ca3b-180418 S7_0142 | 578           | 734,5439                    |
| Ca3b-180418 S7_0143 | 578,5         | 1599,833                    |
| Ca3b-180418 S7_0144 | 579           | 552,6004                    |
| Ca3b-180418 S7_0145 | 579,5         | 304,9464                    |
| Ca3b-180418 S7_0146 | 580           | 375,3246                    |
| Ca3b-180418 S7_0147 | 580,5         | 525,0471                    |
| Ca3b-180418 S7_0148 | 581           | 1017,357                    |
| Ca3b-180418 S7_0149 | 581,5         | 3191,393                    |
| Ca3b-180418 S7_0150 | 582           | 7295,146                    |
| Ca3b-180418 S7_0151 | 582,5         | 5027,802                    |
| Ca3b-180418 S7_0152 | 583           | 2437,012                    |
| Ca3b-180418 S7_0153 | 583,5         | 668,9811                    |
| Ca3b-180418 S7_0154 | 584           | 319,4955                    |
| Ca3b-180418 S7_0155 | 584,5         | 437,5003                    |
| Ca3b-180418 S7_0156 | 585           | 784,93                      |
| Ca3b-180418 S7_0157 | 585,5         | 877,1941                    |
| Ca3b-180418 S7_0158 | 586           | 1229,287                    |
| Ca3b-180418 S7_0159 | 586,5         | 1131,654                    |
| Ca3b-180418 S7_0160 | 587           | 1825,683                    |
| Ca3b-180418 S7_0161 | 587,5         | 2771,072                    |
| Ca3b-180418 S7_0162 | 588           | 1493,8                      |
| Ca3b-180418 S7_0163 | 588,5         | 541,109                     |
| Ca3b-180418 S7_0164 | 589           | 628,6766                    |
| Ca3b-180418 S7_0165 | 589,5         | 269,1982                    |
| Ca3b-180418 S7_0166 | 590           | 201,4259                    |
| Ca3b-180418 S7_0167 | 590,5         | 223,5501                    |
| Ca3b-180418 S7_0168 | 591           | 231,7878                    |
| Ca3b-180418 S7_0169 | 591,5         | 313,4127                    |
| Ca3b-180418 S7_0170 | 592           | 719,1817                    |
| Ca3b-180418 S7_0171 | 592,5         | 1597,984                    |
| Ca3b-180418 S8      | 593           | 2005,178                    |
| Ca3b-180418 S8_0001 | 593,5         | 3831,006                    |
| Ca3b-180418 S8_0002 | 594           | 4021,953                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S8_0003 | 594,5         | 6324,176                    |
| Ca3b-180418 S8_0004 | 595           | 4801,803                    |
| Ca3b-180418 S8_0005 | 595,5         | 1077,865                    |
| Ca3b-180418 S8_0006 | 596           | 3852,774                    |
| Ca3b-180418 S8_0007 | 596,5         | 4056,372                    |
| Ca3b-180418 S8_0008 | 597           | 616,8093                    |
| Ca3b-180418 S8_0009 | 597,5         | 444,8012                    |
| Ca3b-180418 S8_0010 | 598           | 463,981                     |
| Ca3b-180418 S8_0011 | 598,5         | 482,4739                    |
| Ca3b-180418 S8_0012 | 599           | 306,498                     |
| Ca3b-180418 S8_0013 | 599,5         | 251,4588                    |
| Ca3b-180418 S8_0014 | 600           | 100,5193                    |
| Ca3b-180418 S8_0015 | 600,5         | 76,50581                    |
| Ca3b-180418 S8_0016 | 601           | 69,71167                    |
| Ca3b-180418 S8_0017 | 601,5         | 99,32621                    |
| Ca3b-180418 S8_0018 | 602           | 105,0993                    |
| Ca3b-180418 S8_0019 | 602,5         | 130,183                     |
| Ca3b-180418 S8_0020 | 603           | 401,1417                    |
| Ca3b-180418 S8_0021 | 603,5         | 1096,8                      |
| Ca3b-180418 S8_0022 | 604           | 791,1484                    |
| Ca3b-180418 S8_0023 | 604,5         | 387,8092                    |
| Ca3b-180418 S8_0024 | 605           | 841,6834                    |
| Ca3b-180418 S8_0025 | 605,5         | 1542,36                     |
| Ca3b-180418 S8_0026 | 606           | 2240,268                    |
| Ca3b-180418 S8_0027 | 606,5         | 1829,747                    |
| Ca3b-180418 S8_0028 | 607           | 1436,956                    |
| Ca3b-180418 S8_0029 | 607,5         | 1014,436                    |
| Ca3b-180418 S8_0030 | 608           | 223,0432                    |
| Ca3b-180418 S8_0031 | 608,5         | 33,98703                    |
| Ca3b-180418 S8_0032 | 609           | 8,918022                    |
| Ca3b-180418 S8_0033 | 609,5         | 19,47421                    |
| Ca3b-180418 S8_0034 | 610           | 10,1777                     |
| Ca3b-180418 S8_0035 | 610,5         | 28,61747                    |
| Ca3b-180418 S8_0036 | 611           | 123,199                     |
| Ca3b-180418 S8_0037 | 611,5         | 88,97037                    |
| Ca3b-180418 S8_0038 | 612           | 69,14268                    |
| Ca3b-180418 S8_0039 | 612,5         | 24,06187                    |
| Ca3b-180418 S8_0040 | 613           | 26,63972                    |
| Ca3b-180418 S8_0041 | 613,5         | 29,30036                    |
| Ca3b-180418 S8_0042 | 614           | 55,74504                    |
| Ca3b-180418 S8_0043 | 614,5         | 66,86382                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S8_0044 | 615           | 58,75735                    |
| Ca3b-180418 S8_0045 | 615,5         | 96,32325                    |
| Ca3b-180418 S8_0046 | 616           | 92,82734                    |
| Ca3b-180418 S8_0047 | 616,5         | 116,4073                    |
| Ca3b-180418 S8_0048 | 617           | 130,1954                    |
| Ca3b-180418 S8_0049 | 617,5         | 75,09017                    |
| Ca3b-180418 S8_0050 | 618           | 52,51245                    |
| Ca3b-180418 S8_0051 | 618,5         | 55,17312                    |
| Ca3b-180418 S9      | 619           | 3510,459                    |
| Ca3b-180418 S9_0001 | 619,5         | 10418,08                    |
| Ca3b-180418 S9_0002 | 620           | 12558,31                    |
| Ca3b-180418 S9_0003 | 620,5         | 10554,05                    |
| Ca3b-180418 S9_0004 | 621           | 8643                        |
| Ca3b-180418 S9_0005 | 621,5         | 8469,242                    |
| Ca3b-180418 S9_0006 | 622           | 2598,268                    |
| Ca3b-180418 S9_0007 | 622,5         | 834,0763                    |
| Ca3b-180418 S9_0008 | 623           | 319,7195                    |
| Ca3b-180418 S9_0009 | 623,5         | 177,7207                    |
| Ca3b-180418 S9_0010 | 624           | 800,1786                    |
| Ca3b-180418 S9_0011 | 624,5         | 616,4732                    |
| Ca3b-180418 S9_0012 | 625           | 162,9429                    |
| Ca3b-180418 S9_0013 | 625,5         | 434,17                      |
| Ca3b-180418 S9_0014 | 626           | 448,185                     |
| Ca3b-180418 S9_0015 | 626,5         | 229,4567                    |
| Ca3b-180418 S9_0016 | 627           | 250,7141                    |
| Ca3b-180418 S9_0017 | 627,5         | 752,1439                    |
| Ca3b-180418 S9_0018 | 628           | 1267,375                    |
| Ca3b-180418 S9_0019 | 628,5         | 335,7533                    |
| Ca3b-180418 S9_0020 | 629           | 204,2521                    |
| Ca3b-180418 S9_0021 | 629,5         | 340,0033                    |
| Ca3b-180418 S9_0022 | 630           | 539,1873                    |
| Ca3b-180418 S9_0023 | 630,5         | 360,0904                    |
| Ca3b-180418 S9_0024 | 631           | 569,1933                    |
| Ca3b-180418 S9_0025 | 631,5         | 2604,164                    |
| Ca3b-180418 S9_0026 | 632           | 8616,962                    |
| Ca3b-180418 S9_0027 | 632,5         | 7791,809                    |
| Ca3b-180418 S9_0028 | 633           | 4831,884                    |
| Ca3b-180418 S9_0029 | 633,5         | 421,6777                    |
| Ca3b-180418 S9_0030 | 634           | 254,4623                    |
| Ca3b-180418 S9_0031 | 634,5         | 134,8928                    |
| Ca3b-180418 S9_0032 | 635           | 148,9121                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S9_0033 | 635,5         | 281,3567                    |
| Ca3b-180418 S9_0034 | 636           | 987,7761                    |
| Ca3b-180418 S9_0035 | 636,5         | 1395,943                    |
| Ca3b-180418 S9_0036 | 637           | 574,7338                    |
| Ca3b-180418 S9_0037 | 637,5         | 346,0657                    |
| Ca3b-180418 S9_0038 | 638           | 496,328                     |
| Ca3b-180418 S9_0039 | 638,5         | 369,4502                    |
| Ca3b-180418 S9_0040 | 639           | 1766,988                    |
| Ca3b-180418 S9_0041 | 639,5         | 5615,319                    |
| Ca3b-180418 S9_0042 | 640           | 7255,502                    |
| Ca3b-180418 S9_0043 | 640,5         | 6198,818                    |
| Ca3b-180418 S9_0044 | 641           | 755,6678                    |
| Ca3b-180418 S9_0045 | 641,5         | 228,7304                    |
| Ca3b-180418 S9_0046 | 642           | 211,0095                    |
| Ca3b-180418 S9_0047 | 642,5         | 217,0979                    |
| Ca3b-180418 S9_0048 | 643           | 207,2883                    |
| Ca3b-180418 S9_0049 | 643,5         | 288,1533                    |
| Ca3b-180418 S9_0050 | 644           | 301,5015                    |
| Ca3b-180418 S9_0051 | 644,5         | 326,7545                    |
| Ca3b-180418 S9_0052 | 645           | 635,6974                    |
| Ca3b-180418 S9_0053 | 645,5         | 477,757                     |
| Ca3b-180418 S9_0054 | 646           | 336,4066                    |
| Ca3b-180418 S9_0055 | 646,5         | 591,1431                    |
| Ca3b-180418 S9_0056 | 647           | 434,4922                    |
| Ca3b-180418 S9_0057 | 647,5         | 711,0651                    |
| Ca3b-180418 S9_0058 | 648           | 552,4804                    |
| Ca3b-180418 S9_0059 | 648,5         | 519,5041                    |
| Ca3b-180418 S9_0060 | 649           | 2436,151                    |
| Ca3b-180418 S9_0061 | 649,5         | 3495,08                     |
| Ca3b-180418 S9_0062 | 650           | 791,7283                    |
| Ca3b-180418 S9_0063 | 650,5         | 1258,041                    |
| Ca3b-180418 S9_0064 | 651           | 673,5656                    |
| Ca3b-180418 S9_0065 | 651,5         | 693,5843                    |
| Ca3b-180418 S9_0066 | 652           | 1468,038                    |
| Ca3b-180418 S9_0067 | 652,5         | 4336,967                    |
| Ca3b-180418 S9_0068 | 653           | 5346,922                    |
| Ca3b-180418 S9_0069 | 653,5         | 3662,682                    |
| Ca3b-180418 S9_0070 | 654           | 4517,905                    |
| Ca3b-180418 S9_0071 | 654,5         | 4703,183                    |
| Ca3b-180418 S9_0072 | 655           | 3861,511                    |
| Ca3b-180418 S9_0073 | 655,5         | 4072,569                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S9_0074 | 656           | 3501,986                    |
| Ca3b-180418 S9_0075 | 656,5         | 3865,198                    |
| Ca3b-180418 S9_0076 | 657           | 3742,976                    |
| Ca3b-180418 S9_0077 | 657,5         | 1813,989                    |
| Ca3b-180418 S9_0078 | 658           | 1414,053                    |
| Ca3b-180418 S9_0079 | 658,5         | 444,0279                    |
| Ca3b-180418 S9_0080 | 659           | 181,6201                    |
| Ca3b-180418 S9_0081 | 659,5         | 196,2749                    |
| Ca3b-180418 S9_0082 | 660           | 260,5556                    |
| Ca3b-180418 S9_0083 | 660,5         | 140,988                     |
| Ca3b-180418 S9_0084 | 661           | 321,5982                    |
| Ca3b-180418 S9_0085 | 661,5         | 201,3876                    |
| Ca3b-180418 S9_0086 | 662           | 159,164                     |
| Ca3b-180418 S9_0087 | 662,5         | 149,3966                    |
| Ca3b-180418 S9_0088 | 663           | 437,8491                    |
| Ca3b-180418 S9_0089 | 663,5         | 1646,182                    |
| Ca3b-180418 S9_0090 | 664           | 621,9516                    |
| Ca3b-180418 S9_0091 | 664,5         | 194,8329                    |
| Ca3b-180418 S9_0092 | 665           | 225,3733                    |
| Ca3b-180418 S9_0093 | 665,5         | 218,9272                    |
| Ca3b-180418 S9_0094 | 666           | 515,97                      |
| Ca3b-180418 S9_0095 | 666,5         | 527,3307                    |
| Ca3b-180418 S9_0096 | 667           | 237,809                     |
| Ca3b-180418 S9_0097 | 667,5         | 663,7847                    |
| Ca3b-180418 S9_0098 | 668           | 538,2747                    |
| Ca3b-180418 S9_0099 | 668,5         | 903,4425                    |
| Ca3b-180418 S9_0100 | 669           | 1679,932                    |
| Ca3b-180418 S9_0101 | 669,5         | 740,2798                    |
| Ca3b-180418 S9_0102 | 670           | 2345,446                    |
| Ca3b-180418 S9_0103 | 670,5         | 925,7362                    |
| Ca3b-180418 S9_0104 | 671           | 341,2068                    |
| Ca3b-180418 S9_0105 | 671,5         | 119,1528                    |
| Ca3b-180418 S9_0106 | 672           | 102,0246                    |
| Ca3b-180418 S9_0107 | 672,5         | 268,154                     |
| Ca3b-180418 S9_0108 | 673           | 1266,885                    |
| Ca3b-180418 S9_0109 | 673,5         | 1882,694                    |
| Ca3b-180418 S9_0110 | 674           | 3159,156                    |
| Ca3b-180418 S9_0111 | 674,5         | 1855,102                    |
| Ca3b-180418 S9_0112 | 675           | 218,4988                    |
| Ca3b-180418 S9_0113 | 675,5         | 186,9324                    |
| Ca3b-180418 S9_0114 | 676           | 397,3652                    |

continuación

**Tabla 3a.** Continuación

| n° medición         | Prof.<br>(cm) | SM<br>(10 <sup>-6</sup> SI) |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Ca3b-180418 S9_0115 | 676,5         | 876,9619                    |
| Ca3b-180418 S9_0116 | 677           | 331,462                     |
| Ca3b-180418 S9_0117 | 677,5         | 221,166                     |
| Ca3b-180418 S9_0118 | 678           | 187,5588                    |
| Ca3b-180418 S9_0119 | 678,5         | 222,7594                    |
| Ca3b-180418 S9_0120 | 679           | 663,9802                    |
| Ca3b-180418 S9_0121 | 679,5         | 2729,984                    |
| Ca3b-180418 S9_0122 | 680           | 890,3176                    |
| Ca3b-180418 S9_0123 | 680,5         | 117,388                     |
| Ca3b-180418 S9_0124 | 681           | 334,4242                    |
| Ca3b-180418 S9_0125 | 681,5         | 1449,541                    |
| Ca3b-180418 S9_0126 | 682           | 1972,733                    |
| Ca3b-180418 S9_0127 | 682,5         | 565,5745                    |
| Ca3b-180418 S9_0128 | 683           | 346,1489                    |
| Ca3b-180418 S9_0129 | 683,5         | 647,1618                    |
| Ca3b-180418 S9_0130 | 684           | 1035,469                    |
| Ca3b-180418 S9_0131 | 684,5         | 260,5558                    |
| Ca3b-180418 S9_0132 | 685           | 382,3929                    |
| Ca3b-180418 S9_0133 | 685,5         | 211,2622                    |
| Ca3b-180418 S9_0134 | 686           | 161,8231                    |

**Tabla 3b.** Datos de contenido de agua, materia orgánica y carbonatos, registro de la laguna Carirriñe

| Profundidad (cm) | Contenido de agua (%) | Materia orgánica (%) | Carbonatos (%) |
|------------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| 0-1              | 73,15                 | 28,57                | 2,99           |
| 1-2              | 72,44                 | 30,70                | 2,34           |
| 2-3              | 76,35                 | 34,04                | 2,46           |
| 3-4              | 78,69                 | 35,71                | 3,36           |
| 4-5              | 80,50                 | 43,35                | 2,46           |
| 5-6              | 80,77                 | 44,17                | 1,94           |
| 6-7              | 80,88                 | 44,98                | 3,35           |
| 7-8              | 79,45                 | 41,56                | 1,73           |
| 8-9              | 77,66                 | 37,74                | 1,89           |
| 9-10             | 70,03                 | 29,65                | 1,45           |
| 10-11            | 80,80                 | 49,33                | 2,22           |
| 11-12            | 81,22                 | 48,28                | 2,46           |
| 12-13            | 80,98                 | 48,83                | 2,35           |
| 13-14            | 81,29                 | 48,17                | 2,09           |
| 14-15            | 82,53                 | 50,00                | 1,53           |
| 15-16            | 82,45                 | 44,34                | 1,89           |
| 16-17            | 82,31                 | 48,94                | 2,13           |
| 17-18            | 81,65                 | 46,45                | 1,42           |
| 18-19            | 81,03                 | 45,32                | 1,48           |
| 19-20            | 79,24                 | 41,09                | 1,49           |
| 20-21            | 78,85                 | 35,78                | 1,29           |
| 21-22            | 82,20                 | 51,49                | 0,00           |
| 22-23            | 82,21                 | 49,20                | 0,00           |
| 23-24            | 82,85                 | 50,00                | 0,00           |
| 24-25            | 82,30                 | 48,35                | 0,25           |
| 25-26            | 82,59                 | 48,08                | 0,25           |
| 26-27            | 83,61                 | 49,29                | 0,29           |
| 27-28            | 83,68                 | 50,13                | 0,57           |
| 28-29            | 83,88                 | 50,87                | 1,20           |
| 29-30            | 84,24                 | 51,41                | 0,91           |
| 30-31            | 84,50                 | 52,40                | 0,58           |
| 31-32            | 83,68                 | 49,87                | 1,23           |
| 32-33            | 80,57                 | 41,67                | 1,47           |
| 33-34            | 82,81                 | 45,60                | 0,52           |
| 34-35            | 81,95                 | 44,55                | 0,45           |
| 35-36            | 81,50                 | 42,42                | 1,01           |
| 36-37            | 80,41                 | 42,45                | 0,94           |
| 37-38            | 78,14                 | 36,27                | 0,00           |
| 38-39            | 82,56                 | 46,94                | 0,51           |
| 39-40            | 83,37                 | 48,26                | 0,58           |
| 40-41            | 82,42                 | 45,76                | 1,21           |

continuación

**Tabla 3b.** Continuación

| Profundidad (cm) | Contenido de agua (%) | Materia orgánica (%) | Carbonatos (%) |
|------------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| 41-42            | 80,47                 | 40,78                | 0,86           |
| 42-43            | 77,64                 | 33,76                | 0,21           |
| 43-44            | 78,84                 | 37,39                | 0,00           |
| 44-45            | 74,58                 | 29,82                | 0,00           |
| 45-46            | 70,32                 | 22,25                | 0,00           |
| 46-47            | 77,81                 | 32,77                | 0,00           |
| 47-48            | 78,23                 | 34,73                | 0,00           |
| 48-49            | 70,65                 | 24,72                | 0,00           |
| 49-50            | 80,34                 | 42,61                | 0,00           |
| 50-51            | 80,97                 | 44,61                | 0,00           |
| 51-52            | 80,67                 | 42,05                | 0,00           |
| 55.5-54.5        | 65,75                 | 19,76                | —              |
| 65.5-64.5        | 64,12                 | 18,64                | —              |
| 80.5-79.5        | 79,88                 | 40,58                | —              |
| 95.5-94.5        | 77,31                 | 43,21                | —              |
| 114.5-113.5      | 79,30                 | 44,21                | —              |
| 125.5-124.5      | 81,52                 | 42,13                | —              |
| 149.5-148.5      | 71,91                 | 23,38                | —              |
| 183.5-182.5      | 81,36                 | 38,52                | —              |
| 202.5-201.5      | 74,65                 | 25,53                | —              |
| 221.5-220.5      | 81,48                 | 43,02                | —              |
| 232.5-231.5      | 79,66                 | 42,72                | —              |
| 242.5-241.5      | 76,82                 | 36,92                | —              |
| 265-264          | 72,47                 | 26,39                | —              |
| 275-274          | 78,72                 | 37,79                | —              |
| 285-284          | 77,96                 | 39,30                | —              |
| 300-299          | 62,65                 | 16,43                | —              |
| 312-311          | 76,65                 | 36,08                | —              |
| 334-333          | 70,09                 | 28,70                | —              |
| 345-344          | 78,76                 | 41,88                | —              |
| 354-353          | 76,33                 | 32,05                | —              |
| 364-363          | 78,85                 | 41,07                | —              |
| 373-372          | 80,34                 | 45,24                | —              |
| 379-378          | 76,53                 | 33,16                | —              |
| 390-389          | 76,88                 | 29,46                | —              |
| 396-395          | 74,97                 | 23,89                | —              |
| 401-400          | 77,77                 | 26,87                | —              |
| 405.5-404.5      | 79,04                 | 26,79                | —              |
| 413-412          | 75,81                 | 27,30                | —              |
| 417-416          | 80,95                 | 40,00                | —              |
| 425.5-424.5      | 80,28                 | 36,76                | —              |

continuación

**Tabla 3b.** Continuación

| Profundidad<br>(cm) | Contenido de agua<br>(%) | Materia orgánica<br>(%) | Carbonatos<br>(%) |
|---------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|
| 442.5-441.5         | 79,68                    | 30,94                   | —                 |
| 450.5-449.5         | 78,50                    | 32,12                   | —                 |
| 456.5-455.5         | 79,70                    | 30,04                   | —                 |
| 473.2-472.5         | 76,18                    | 24,87                   | —                 |
| 482.5-481.5         | 81,07                    | 29,24                   | —                 |
| 488.5-487.5         | 81,76                    | 28,10                   | —                 |
| 499.5-498.5         | 83,13                    | 42,32                   | —                 |
| 517-516             | 68,69                    | 21,26                   | —                 |
| 533-532             | 71,91                    | 23,71                   | —                 |
| 542-541             | 76,04                    | 31,89                   | —                 |
| 553-552             | 79,52                    | 37,50                   | —                 |
| 565-564             | 77,61                    | 33,33                   | —                 |
| 574-573             | 68,87                    | 21,93                   | —                 |
| 591-590             | 77,77                    | 37,75                   | —                 |
| 601-600             | 76,46                    | 31,72                   | —                 |
| 627-626             | 76,43                    | 31,01                   | —                 |
| 645-644             | 71,27                    | 21,77                   | —                 |
| 653-652             | 67,63                    | 18,09                   | —                 |
| 668-667             | 74,10                    | 26,42                   | —                 |
| 682-681             | 74,58                    | 28,46                   | —                 |

### ANEXO 3

**Tabla 1.** Análisis químicos de elementos mayores por microsonda de electrones (EMPA) sobre vitroclastos de las tefras preservadas en la laguna Huaca Mamuil. Promedio  $\pm$  1 desviación estándar, basado en *n* análisis.

| Sample       | Sample no.                 | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO         | MgO          | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n           |
|--------------|----------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-------------|
| <b>HM-T1</b> |                            |                  |                                |                  |             |              |             |             |                   |                  |                               |             |             |
| Población-1  | HMT 1-01                   | 71,8             | 12,36                          | 1,01             | 5,37        | 0,61         | 0,12        | 1,56        | 4,16              | 2,73             | 0,23                          | 0,05        |             |
|              | HMT 1-02                   | 71,41            | 12,34                          | 1,36             | 5,33        | 0,64         | 0,12        | 1,63        | 4,09              | 2,74             | 0,29                          | 0,06        |             |
|              | <i>Promedio</i>            | <b>71,6</b>      | <b>12,35</b>                   | <b>1,19</b>      | <b>5,35</b> | <b>0,63</b>  | <b>0,12</b> | <b>1,6</b>  | <b>4,13</b>       | <b>2,73</b>      | <b>0,26</b>                   | <b>0,05</b> | <b>2</b>    |
|              | <i>Desviación estándar</i> | <b>0,27</b>      | <b>0,02</b>                    | <b>0,25</b>      | <b>0,03</b> | <b>0,02</b>  | <b>0</b>    | <b>0,05</b> | <b>0,05</b>       | <b>0,01</b>      | <b>0,04</b>                   | <b>0</b>    |             |
| Población-2  | HMT 1-03                   | 65,95            | 14,03                          | 0,75             | 7,06        | 2,06         | 0,18        | 4,42        | 3,96              | 1,29             | 0,14                          | 0,17        |             |
|              | HMT 1-04                   | 66,32            | 13,94                          | 1,02             | 6,59        | 1,68         | 0,12        | 4,21        | 4,29              | 1,44             | 0,27                          | 0,13        |             |
|              | HMT 1-08                   | 65,07            | 14,97                          | 1,08             | 6,53        | 1,72         | 0,14        | 4,65        | 4,36              | 1,07             | 0,25                          | 0,17        |             |
|              | HMT 1-09                   | 65,17            | 15,28                          | 0,86             | 5,7         | 1,77         | 0,2         | 4,64        | 4,75              | 1,22             | 0,26                          | 0,16        |             |
|              | HMT 1-10                   | 64,91            | 15,15                          | 0,9              | 5,86        | 1,64         | 0,07        | 4,96        | 4,86              | 1,21             | 0,32                          | 0,12        |             |
|              |                            | <i>Promedio</i>  | <b>65,48</b>                   | <b>14,67</b>     | <b>0,92</b> | <b>6,35</b>  | <b>1,77</b> | <b>0,14</b> | <b>4,57</b>       | <b>4,44</b>      | <b>1,25</b>                   | <b>0,25</b> | <b>0,15</b> |
|              | <i>Desviación estándar</i> | <b>0,62</b>      | <b>0,64</b>                    | <b>0,13</b>      | <b>0,56</b> | <b>0,17</b>  | <b>0,05</b> | <b>0,28</b> | <b>0,37</b>       | <b>0,13</b>      | <b>0,06</b>                   | <b>0,02</b> |             |
| Población-3  | HMT 1-05                   | 57,8             | 12,92                          | 1,55             | 11,08       | 4,04         | 0,19        | 7,6         | 3,23              | 1,23             | 0,32                          | 0,06        |             |
|              | HMT 1-06                   | 57,39            | 13,16                          | 1,64             | 11,11       | 4,32         | 0,33        | 7,33        | 3,07              | 1,23             | 0,41                          | 0,02        |             |
|              | HMT 1-07                   | 57,01            | 12,78                          | 1,91             | 11,06       | 4,23         | 0,17        | 7,88        | 3,39              | 1,21             | 0,32                          | 0,03        |             |
|              | HMT 1-11                   | 54,98            | 13,58                          | 1,68             | 11,11       | 4,86         | 0,17        | 8,74        | 3,54              | 1                | 0,3                           | 0,05        |             |
|              | HMT 1-13                   | 55,5             | 13,84                          | 1,53             | 11,22       | 4,93         | 0,13        | 8,59        | 3,04              | 1,02             | 0,18                          | 0,02        |             |
|              | HMT 1-14                   | 56,12            | 13,68                          | 1,21             | 10,84       | 4,78         | 0,22        | 8,71        | 3,1               | 1,01             | 0,32                          | 0,02        |             |
|              | HMT 1-15                   | 56,29            | 13,51                          | 1,49             | 10,87       | 4,63         | 0,16        | 8,41        | 3,25              | 1,04             | 0,33                          | 0,02        |             |
|              |                            | <i>Promedio</i>  | <b>56,44</b>                   | <b>13,35</b>     | <b>1,57</b> | <b>11,04</b> | <b>4,54</b> | <b>0,2</b>  | <b>8,18</b>       | <b>3,23</b>      | <b>1,1</b>                    | <b>0,31</b> | <b>0,03</b> |
|              | <i>Desviación estándar</i> | <b>1,02</b>      | <b>0,4</b>                     | <b>0,21</b>      | <b>0,14</b> | <b>0,34</b>  | <b>0,07</b> | <b>0,57</b> | <b>0,18</b>       | <b>0,11</b>      | <b>0,07</b>                   | <b>0,02</b> |             |
| <b>HM-T3</b> |                            |                  |                                |                  |             |              |             |             |                   |                  |                               |             |             |
| Población-1  | HTM 3-01                   | 70,81            | 13,78                          | 0,82             | 3,86        | 0,69         | 0,16        | 2,14        | 4,79              | 2,64             | 0,2                           | 0,12        |             |
|              | HTM 3-02                   | 70,57            | 14,15                          | 0,75             | 4,34        | 0,59         | 0,14        | 2,02        | 4,54              | 2,71             | 0,04                          | 0,13        |             |
|              | HTM 3-04                   | 69,94            | 14,58                          | 0,96             | 4,26        | 0,65         | 0,09        | 2,3         | 4,28              | 2,69             | 0,12                          | 0,12        |             |
|              | HTM 3-05                   | 71,28            | 13,74                          | 0,79             | 4,04        | 0,54         | 0,14        | 1,94        | 4,54              | 2,72             | 0,13                          | 0,15        |             |
|              | HTM 3-13                   | 70,84            | 13,82                          | 0,72             | 4,01        | 0,69         | 0,08        | 2,23        | 4,74              | 2,65             | 0,08                          | 0,13        |             |
|              | HTM 3-14                   | 70,75            | 13,79                          | 0,91             | 4,15        | 0,64         | 0,15        | 2,29        | 4,43              | 2,61             | 0,13                          | 0,15        |             |
|              | HTM 3-15                   | 70,61            | 13,84                          | 0,67             | 4,18        | 0,69         | 0,14        | 2,38        | 4,67              | 2,56             | 0,13                          | 0,13        |             |
|              | HTM 3-18                   | 72,86            | 13,67                          | 0,77             | 3,51        | 0,52         | 0,11        | 1,28        | 4,42              | 2,64             | 0,07                          | 0,15        |             |
|              | HTM 3-19                   | 71               | 13,75                          | 0,78             | 4,09        | 0,75         | 0,17        | 1,9         | 4,68              | 2,55             | 0,17                          | 0,16        |             |
|              | HTM 3-20                   | 71,59            | 13,69                          | 0,2              | 3,97        | 0,56         | 0,15        | 2,21        | 4,74              | 2,62             | 0,1                           | 0,18        |             |
|              |                            | <i>Promedio</i>  | <b>71,03</b>                   | <b>13,88</b>     | <b>0,74</b> | <b>4,04</b>  | <b>0,63</b> | <b>0,13</b> | <b>2,07</b>       | <b>4,58</b>      | <b>2,64</b>                   | <b>0,12</b> | <b>0,14</b> |
|              | <i>Desviación estándar</i> | <b>0,78</b>      | <b>0,28</b>                    | <b>0,21</b>      | <b>0,23</b> | <b>0,08</b>  | <b>0,03</b> | <b>0,32</b> | <b>0,17</b>       | <b>0,06</b>      | <b>0,05</b>                   | <b>0,02</b> |             |
| Población-2  | HTM 3-07                   | 57,28            | 13,83                          | 1,46             | 10,2        | 4,82         | 0,18        | 7,87        | 3,1               | 1                | 0,25                          | 0,01        |             |
|              | HTM 3-11                   | 54,22            | 13,8                           | 1,36             | 12,38       | 4,95         | 0,16        | 8,78        | 3,01              | 1,02             | 0,3                           | 0,02        |             |

continuación

**Tabla 1.** Continuación

| Sample                     | Sample no. | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
|                            | HTM 3-12   | 54,53            | 13,82                          | 1,94             | 11,71        | 4,93        | 0,19        | 8,55        | 3                 | 0,99             | 0,29                          | 0,04        |           |
|                            | HTM 3-16   | 55,65            | 13,5                           | 1,25             | 11,61        | 4,78        | 0,15        | 8,92        | 2,82              | 0,96             | 0,32                          | 0,03        |           |
|                            | HTM 3-17   | 55,6             | 13,47                          | 1,68             | 11,47        | 4,59        | 0,25        | 8,71        | 2,91              | 1                | 0,3                           | 0,02        |           |
|                            | HTM 3-06   | 57,13            | 13,45                          | 1,87             | 10,75        | 4,44        | 0,14        | 7,66        | 3,09              | 1,12             | 0,34                          | 0,02        |           |
|                            | HTM 3-08   | 56,29            | 13,44                          | 1,96             | 10,77        | 4,4         | 0,22        | 8,43        | 3,03              | 1,15             | 0,29                          | 0,03        |           |
|                            | HTM 3-09   | 57,19            | 12,82                          | 2,06             | 11,32        | 3,99        | 0,14        | 7,4         | 3,27              | 1,38             | 0,39                          | 0,04        |           |
|                            | HTM 3-10   | 56,55            | 12,96                          | 2,21             | 11,25        | 3,95        | 0,25        | 7,61        | 3,34              | 1,44             | 0,42                          | 0,03        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>56,05</b>     | <b>13,46</b>                   | <b>1,76</b>      | <b>11,27</b> | <b>4,54</b> | <b>0,18</b> | <b>8,22</b> | <b>3,06</b>       | <b>1,12</b>      | <b>0,32</b>                   | <b>0,02</b> | <b>9</b>  |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>1,14</b>      | <b>0,36</b>                    | <b>0,33</b>      | <b>0,64</b>  | <b>0,38</b> | <b>0,04</b> | <b>0,58</b> | <b>0,16</b>       | <b>0,18</b>      | <b>0,05</b>                   | <b>0,01</b> |           |
| <b>HM-T5</b>               |            |                  |                                |                  |              |             |             |             |                   |                  |                               |             |           |
| Población-1                | HMT 5-01   | 69,75            | 14,48                          | 0,86             | 3,71         | 0,92        | 0,16        | 1,83        | 4,7               | 3,32             | 0,17                          | 0,11        |           |
|                            | HMT 5-02   | 69,5             | 14,27                          | 0,9              | 4,07         | 0,93        | 0,14        | 1,76        | 4,72              | 3,44             | 0,15                          | 0,12        |           |
|                            | HMT 5-03   | 68,69            | 14,63                          | 0,83             | 4,03         | 0,93        | 0,18        | 2,19        | 4,86              | 3,41             | 0,18                          | 0,08        |           |
|                            | HMT 5-10   | 68,69            | 14,27                          | 0,89             | 4,45         | 0,92        | 0,13        | 2,38        | 4,75              | 3,17             | 0,22                          | 0,13        |           |
|                            | HMT 5-11   | 69,06            | 14,58                          | 0,98             | 4,01         | 0,97        | 0,08        | 2,39        | 4,63              | 3,04             | 0,14                          | 0,13        |           |
|                            | HMT 5-12   | 68,78            | 14,64                          | 0,81             | 4,1          | 0,85        | 0,04        | 2,42        | 4,95              | 3,08             | 0,19                          | 0,14        |           |
|                            | HMT 5-13   | 70,07            | 14,38                          | 1                | 3,73         | 0,88        | 0,15        | 1,72        | 4,46              | 3,36             | 0,15                          | 0,09        |           |
|                            | HMT 5-14   | 69,7             | 14,68                          | 1                | 3,84         | 0,78        | 0,13        | 1,9         | 4,45              | 3,3              | 0,13                          | 0,09        |           |
|                            | HMT 5-15   | 69,23            | 14,42                          | 1,16             | 3,87         | 0,88        | 0,08        | 2,25        | 4,6               | 3,28             | 0,15                          | 0,09        |           |
|                            | HMT 5-16   | 68,52            | 14,81                          | 0,92             | 3,94         | 0,91        | 0,13        | 2,35        | 4,93              | 3,22             | 0,12                          | 0,16        |           |
|                            | HMT 5-17   | 69,32            | 14,53                          | 0,52             | 4,19         | 0,9         | 0,1         | 2,21        | 4,5               | 3,36             | 0,24                          | 0,13        |           |
|                            | HMT 5-18   | 68,83            | 14,61                          | 1,24             | 3,83         | 0,88        | 0,14        | 2,37        | 4,48              | 3,35             | 0,16                          | 0,11        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>69,18</b>     | <b>14,53</b>                   | <b>0,92</b>      | <b>3,98</b>  | <b>0,9</b>  | <b>0,12</b> | <b>2,15</b> | <b>4,67</b>       | <b>3,28</b>      | <b>0,17</b>                   | <b>0,11</b> | <b>12</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,5</b>       | <b>0,17</b>                    | <b>0,18</b>      | <b>0,21</b>  | <b>0,05</b> | <b>0,04</b> | <b>0,27</b> | <b>0,18</b>       | <b>0,13</b>      | <b>0,04</b>                   | <b>0,02</b> |           |
| Población-2                | HMT 5-04   | 56,19            | 14,95                          | 1,04             | 9,07         | 5,18        | 0,2         | 9,36        | 2,91              | 0,78             | 0,27                          | 0,04        |           |
|                            | HMT 5-05   | 55,52            | 15,24                          | 1,27             | 9,06         | 5,16        | 0,17        | 9,41        | 2,97              | 0,94             | 0,26                          | 0           |           |
|                            | HMT 5-06   | 56,01            | 15,02                          | 1,21             | 9,03         | 5,1         | 0,26        | 9,13        | 3,07              | 0,86             | 0,29                          | 0,02        |           |
|                            | HMT 5-07   | 54,87            | 15,1                           | 1,4              | 9,66         | 5,35        | 0,17        | 9,25        | 3,29              | 0,75             | 0,13                          | 0,02        |           |
|                            | HMT 5-08   | 54,96            | 15                             | 1,41             | 9,46         | 5,56        | 0,2         | 9,63        | 2,96              | 0,67             | 0,13                          | 0           |           |
|                            | HMT 5-09   | 54,66            | 15,18                          | 0,9              | 10,09        | 5,29        | 0,19        | 9,65        | 3,16              | 0,72             | 0,15                          | 0,03        |           |
|                            | HMT 5-19   | 55,71            | 14,73                          | 1,07             | 10,23        | 5,02        | 0,18        | 9,04        | 2,97              | 0,85             | 0,18                          | 0,03        |           |
|                            | HMT 5-20   | 55,42            | 14,75                          | 1,27             | 9,99         | 5,15        | 0,14        | 9,01        | 3,12              | 0,88             | 0,27                          | 0,01        |           |
|                            | HMT 5-21   | 56,15            | 13,78                          | 1,24             | 10,78        | 5,08        | 0,17        | 8,85        | 3,07              | 0,74             | 0,12                          | 0,03        |           |
|                            | HMT 5-22   | 56,41            | 13,95                          | 1,09             | 10,17        | 5,13        | 0,18        | 8,95        | 3,1               | 0,79             | 0,2                           | 0,03        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>55,59</b>     | <b>14,77</b>                   | <b>1,19</b>      | <b>9,75</b>  | <b>5,2</b>  | <b>0,19</b> | <b>9,23</b> | <b>3,06</b>       | <b>0,8</b>       | <b>0,2</b>                    | <b>0,02</b> | <b>10</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,61</b>      | <b>0,51</b>                    | <b>0,16</b>      | <b>0,6</b>   | <b>0,16</b> | <b>0,03</b> | <b>0,28</b> | <b>0,11</b>       | <b>0,08</b>      | <b>0,07</b>                   | <b>0,01</b> |           |
| <b>HM-T7</b>               |            |                  |                                |                  |              |             |             |             |                   |                  |                               |             |           |
| Población-1                | HMT7-01    | 71,42            | 13,35                          | 0,63             | 4,12         | 0,63        | 0,16        | 2,25        | 4,49              | 2,71             | 0,13                          | 0,11        |           |
|                            | HMT7-02    | 69,96            | 14,16                          | 0,8              | 4,29         | 0,67        | 0,14        | 2,21        | 4,65              | 2,82             | 0,14                          | 0,15        |           |
|                            | HMT7-05    | 69,07            | 14,54                          | 0,72             | 4,17         | 0,93        | 0,15        | 2,41        | 4,33              | 3,3              | 0,25                          | 0,14        |           |
|                            | HMT7-06    | 68,27            | 14,42                          | 0,89             | 4,64         | 0,86        | 0,16        | 2,53        | 4,65              | 3,34             | 0,14                          | 0,11        |           |
|                            | HMT7-10    | 68,62            | 14,55                          | 0,63             | 4,35         | 1,01        | 0,13        | 2,41        | 4,84              | 3,2              | 0,15                          | 0,11        |           |

continuación

**Tabla 1.** Continuación

| Sample                     | Sample no. | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
|                            | HMT7-11    | 68,63            | 14,23                          | 0,88             | 4,24         | 1           | 0,14        | 2,49        | 4,8               | 3,31             | 0,18                          | 0,1         |           |
|                            | HMT7-15    | 68,68            | 14,36                          | 1,12             | 4,1          | 0,91        | 0,03        | 2,44        | 4,68              | 3,35             | 0,21                          | 0,14        |           |
|                            | HMT7-16    | 69,77            | 14,51                          | 0,57             | 3,87         | 0,8         | 0,09        | 2,22        | 4,67              | 3,29             | 0,08                          | 0,12        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>69,3</b>      | <b>14,26</b>                   | <b>0,78</b>      | <b>4,22</b>  | <b>0,85</b> | <b>0,12</b> | <b>2,37</b> | <b>4,64</b>       | <b>3,16</b>      | <b>0,16</b>                   | <b>0,12</b> | <b>8</b>  |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>1,04</b>      | <b>0,39</b>                    | <b>0,18</b>      | <b>0,22</b>  | <b>0,14</b> | <b>0,05</b> | <b>0,12</b> | <b>0,16</b>       | <b>0,25</b>      | <b>0,05</b>                   | <b>0,02</b> |           |
| Población-2                | HMT7-03    | 57,93            | 14,78                          | 1,67             | 10,33        | 3,12        | 0,24        | 6,9         | 3,68              | 1,11             | 0,2                           | 0,05        |           |
|                            | HMT7-04    | 59,24            | 14,41                          | 1,46             | 10,03        | 2,86        | 0,23        | 6,54        | 3,84              | 1,12             | 0,21                          | 0,06        |           |
|                            | HMT7-08    | 57,9             | 13,99                          | 1,38             | 10,32        | 3,98        | 0,16        | 7,15        | 3,62              | 1,09             | 0,3                           | 0,09        |           |
|                            | HMT7-09    | 58,56            | 13,73                          | 1,32             | 10,32        | 3,76        | 0,17        | 7,21        | 3,43              | 1,2              | 0,26                          | 0,05        |           |
|                            | HMT7-12    | 57,97            | 13,12                          | 1,25             | 11,25        | 3,72        | 0,24        | 7,48        | 3,51              | 1,1              | 0,3                           | 0,06        |           |
|                            | HMT7-13    | 57,65            | 13,06                          | 1,75             | 11,36        | 3,62        | 0,21        | 7,13        | 3,6               | 1,25             | 0,32                          | 0,05        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>58,21</b>     | <b>13,85</b>                   | <b>1,47</b>      | <b>10,6</b>  | <b>3,51</b> | <b>0,21</b> | <b>7,07</b> | <b>3,61</b>       | <b>1,14</b>      | <b>0,27</b>                   | <b>0,06</b> | <b>6</b>  |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,59</b>      | <b>0,69</b>                    | <b>0,2</b>       | <b>0,56</b>  | <b>0,43</b> | <b>0,04</b> | <b>0,32</b> | <b>0,14</b>       | <b>0,06</b>      | <b>0,05</b>                   | <b>0,02</b> |           |
| <b>HM-T9</b>               | HMT 9-01   | 55,35            | 13,72                          | 2,12             | 12,84        | 3,16        | 0,18        | 6,48        | 3,7               | 1,87             | 0,47                          | 0,11        |           |
|                            | HMT 9-02   | 55,98            | 13,1                           | 1,7              | 12,64        | 3,14        | 0,24        | 6,84        | 3,88              | 1,89             | 0,47                          | 0,11        |           |
|                            | HMT 9-03   | 55,68            | 13,45                          | 1,86             | 12,57        | 3,19        | 0,23        | 6,7         | 3,95              | 1,82             | 0,48                          | 0,08        |           |
|                            | HMT 9-04   | 55,09            | 14,79                          | 1,53             | 12,04        | 2,88        | 0,22        | 7,24        | 3,97              | 1,77             | 0,39                          | 0,1         |           |
|                            | HMT 9-05   | 54,74            | 13,6                           | 2,11             | 12,79        | 3,2         | 0,32        | 6,93        | 3,79              | 1,94             | 0,5                           | 0,09        |           |
|                            | HMT 9-06   | 56,04            | 13,67                          | 1,83             | 12,51        | 3,16        | 0,3         | 6,85        | 3,43              | 1,82             | 0,29                          | 0,1         |           |
|                            | HMT 9-07   | 54,88            | 14,2                           | 1,87             | 12,63        | 3,25        | 0,24        | 6,83        | 3,77              | 1,78             | 0,45                          | 0,11        |           |
|                            | HMT 9-08   | 55,33            | 13,24                          | 2,27             | 12,25        | 3,11        | 0,18        | 6,18        | 4,24              | 2,55             | 0,56                          | 0,09        |           |
|                            | HMT 9-09   | 55,33            | 13,57                          | 2,11             | 13,05        | 3,14        | 0,32        | 6,55        | 3,14              | 2,28             | 0,41                          | 0,1         |           |
|                            | HMT 9-10   | 54,21            | 13,69                          | 2,31             | 13,07        | 3,2         | 0,29        | 6,87        | 4,09              | 1,76             | 0,43                          | 0,08        |           |
|                            | HMT 9-11   | 54,63            | 13,69                          | 2,24             | 12,82        | 3,33        | 0,25        | 6,82        | 3,77              | 1,85             | 0,5                           | 0,1         |           |
|                            | HMT 9-12   | 55,38            | 13,56                          | 2,07             | 12,58        | 3,15        | 0,23        | 7           | 3,68              | 1,8              | 0,43                          | 0,12        |           |
|                            | HMT 9-13   | 55,62            | 13,62                          | 2,19             | 12,05        | 3,35        | 0,27        | 7,14        | 3,52              | 1,76             | 0,38                          | 0,1         |           |
|                            | HMT 9-14   | 54,76            | 13,48                          | 2,24             | 13,19        | 3,29        | 0,29        | 6,61        | 3,57              | 2,03             | 0,45                          | 0,1         |           |
|                            | HMT 9-15   | 54,8             | 13,71                          | 2,42             | 12,34        | 3,14        | 0,26        | 6,92        | 3,98              | 1,88             | 0,45                          | 0,12        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>55,19</b>     | <b>13,67</b>                   | <b>2,06</b>      | <b>12,63</b> | <b>3,18</b> | <b>0,25</b> | <b>6,8</b>  | <b>3,77</b>       | <b>1,92</b>      | <b>0,44</b>                   | <b>0,1</b>  | <b>15</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,52</b>      | <b>0,39</b>                    | <b>0,25</b>      | <b>0,35</b>  | <b>0,11</b> | <b>0,04</b> | <b>0,27</b> | <b>0,28</b>       | <b>0,22</b>      | <b>0,06</b>                   | <b>0,01</b> |           |
| <b>HM-T13</b>              | HTM 13-02  | 56,16            | 14,8                           | 1,95             | 8,35         | 5,44        | 0,2         | 9,3         | 2,84              | 0,79             | 0,16                          | 0,01        |           |
|                            | HTM 13-03  | 55,91            | 14,56                          | 1,33             | 9,3          | 5,31        | 0,19        | 9,53        | 2,9               | 0,74             | 0,2                           | 0,02        |           |
|                            | HTM 13-04  | 55,61            | 14,8                           | 1,5              | 9,13         | 5,28        | 0,18        | 9,41        | 3,23              | 0,68             | 0,17                          | 0,02        |           |
|                            | HTM 13-07  | 55,5             | 15,06                          | 1,38             | 9,53         | 5,09        | 0,2         | 9,12        | 3,14              | 0,8              | 0,17                          | 0           |           |
|                            | HTM 13-08  | 55,69            | 14,83                          | 1,02             | 9,63         | 5,29        | 0,12        | 9,23        | 3,25              | 0,71             | 0,19                          | 0,04        |           |
|                            | HTM 13-09  | 55,57            | 14,67                          | 1,42             | 9,33         | 5,18        | 0,2         | 9,5         | 3,14              | 0,78             | 0,2                           | 0,02        |           |
|                            | HTM 13-10  | 56,44            | 13,45                          | 1,67             | 10,2         | 5,12        | 0,2         | 8,89        | 2,94              | 0,86             | 0,22                          | 0,02        |           |
|                            | HTM 13-11  | 55,43            | 13,57                          | 1,64             | 10,9         | 5,17        | 0,25        | 9           | 2,95              | 0,81             | 0,26                          | 0,01        |           |
|                            | HTM 13-12  | 55,55            | 15,02                          | 1,36             | 9,79         | 5,5         | 0,16        | 9,63        | 2,01              | 0,78             | 0,18                          | 0,02        |           |
|                            | HTM 13-13  | 56,06            | 14,98                          | 1,05             | 9,33         | 5,23        | 0,22        | 9,1         | 3                 | 0,8              | 0,22                          | 0,01        |           |
|                            | HTM 13-14  | 55,72            | 14,81                          | 1,53             | 9,59         | 5,28        | 0,09        | 8,91        | 3,15              | 0,71             | 0,18                          | 0,03        |           |

continuación

**Tabla 1.** Continuación

| Sample                     | Sample no. | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
|                            | HTM 13-15  | 55,84            | 15,04                          | 1,01             | 9,54         | 5,08        | 0,22        | 9,09        | 3,23              | 0,7              | 0,19                          | 0,05        |           |
|                            | HTM 13-16  | 54,46            | 16,13                          | 0,93             | 7,5          | 6,31        | 0,23        | 10,64       | 3,23              | 0,43             | 0,14                          | 0,01        |           |
|                            | HTM 13-17  | 56,47            | 12,3                           | 2,57             | 13,47        | 2,97        | 0,24        | 6,89        | 3,12              | 1,46             | 0,45                          | 0,06        |           |
|                            | HTM 13-18  | 56,02            | 13,09                          | 2,31             | 12,21        | 3,47        | 0,19        | 7,63        | 3,28              | 1,35             | 0,4                           | 0,05        |           |
|                            | HTM 13-20  | 55,01            | 14,87                          | 1,41             | 9,13         | 5,72        | 0,2         | 9,72        | 3,18              | 0,57             | 0,18                          | 0,02        |           |
|                            | HTM 13-21  | 55,39            | 14,89                          | 1,14             | 9,8          | 5,33        | 0,22        | 9,17        | 3,23              | 0,68             | 0,12                          | 0,01        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>55,7</b>      | <b>14,52</b>                   | <b>1,48</b>      | <b>9,81</b>  | <b>5,1</b>  | <b>0,2</b>  | <b>9,1</b>  | <b>3,05</b>       | <b>0,8</b>       | <b>0,21</b>                   | <b>0,02</b> | <b>17</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,49</b>      | <b>0,91</b>                    | <b>0,45</b>      | <b>1,37</b>  | <b>0,77</b> | <b>0,04</b> | <b>0,82</b> | <b>0,3</b>        | <b>0,25</b>      | <b>0,09</b>                   | <b>0,02</b> |           |
| <b>HM-T14</b>              |            |                  |                                |                  |              |             |             |             |                   |                  |                               |             |           |
| Población-1                | HMT14-13   | 63,72            | 15,85                          | 0,76             | 6,44         | 1,83        | 0,17        | 5,08        | 4,79              | 1                | 0,26                          | 0,11        |           |
|                            | HMT14-14   | 62,9             | 15,88                          | 0,85             | 7,04         | 2,07        | 0,12        | 5,06        | 4,55              | 1,12             | 0,28                          | 0,13        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>63,31</b>     | <b>15,86</b>                   | <b>0,81</b>      | <b>6,74</b>  | <b>1,95</b> | <b>0,15</b> | <b>5,07</b> | <b>4,67</b>       | <b>1,06</b>      | <b>0,27</b>                   | <b>0,12</b> | <b>2</b>  |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,58</b>      | <b>0,03</b>                    | <b>0,06</b>      | <b>0,42</b>  | <b>0,17</b> | <b>0,04</b> | <b>0,01</b> | <b>0,17</b>       | <b>0,09</b>      | <b>0,02</b>                   | <b>0,02</b> |           |
| Población-2                | HMT14-02   | 54,9             | 14,42                          | 1,78             | 10,54        | 4,93        | 0,21        | 8,8         | 3,21              | 0,89             | 0,29                          | 0,02        |           |
|                            | HMT14-03   | 55,79            | 13,94                          | 1,36             | 10,58        | 4,46        | 0,22        | 9,21        | 3,17              | 0,92             | 0,33                          | 0,02        |           |
|                            | HMT14-04   | 55,91            | 14,05                          | 1,27             | 10,44        | 5,02        | 0,16        | 8,84        | 3,01              | 0,94             | 0,34                          | 0,02        |           |
|                            | HMT14-05   | 55,08            | 14,9                           | 1,79             | 9,97         | 4,71        | 0,13        | 9           | 3,06              | 1                | 0,33                          | 0,03        |           |
|                            | HMT14-06   | 55,83            | 14,62                          | 1,78             | 9,32         | 4,87        | 0,19        | 8,88        | 3,42              | 0,86             | 0,22                          | 0,02        |           |
|                            | HMT14-07   | 55,83            | 14,76                          | 1,31             | 9,99         | 5,02        | 0,19        | 8,76        | 2,99              | 0,95             | 0,18                          | 0,03        |           |
|                            | HMT14-08   | 56,12            | 14,11                          | 1,43             | 10,36        | 4,77        | 0,18        | 8,81        | 3,04              | 0,96             | 0,21                          | 0,02        |           |
|                            | HMT14-09   | 55,39            | 14,46                          | 1,37             | 10,35        | 4,94        | 0,25        | 8,99        | 3,09              | 0,88             | 0,24                          | 0,03        |           |
|                            | HMT14-10   | 55,44            | 14,78                          | 1,63             | 9,74         | 4,97        | 0,23        | 8,84        | 3,13              | 0,89             | 0,32                          | 0,03        |           |
|                            | HMT14-11   | 55,49            | 14,21                          | 1,28             | 10,44        | 4,93        | 0,29        | 8,91        | 3,16              | 1                | 0,27                          | 0,04        |           |
|                            | HMT14-12   | 55,32            | 14,31                          | 1,5              | 10,37        | 4,93        | 0,22        | 9           | 3,2               | 0,88             | 0,24                          | 0,03        |           |
|                            | HMT14-15   | 54,58            | 14,61                          | 1,77             | 10,42        | 5,04        | 0,18        | 8,98        | 3,18              | 0,89             | 0,36                          | 0           |           |
|                            | HMT14-16   | 55,9             | 14,52                          | 1,18             | 10,17        | 4,81        | 0,24        | 8,79        | 3,13              | 0,96             | 0,28                          | 0,01        |           |
|                            | HMT14-17   | 55,09            | 14,39                          | 1,42             | 10,38        | 5,06        | 0,15        | 9,01        | 3,19              | 0,93             | 0,35                          | 0,03        |           |
|                            | HMT14-18   | 55,99            | 14,32                          | 1,21             | 10,44        | 4,82        | 0,23        | 8,6         | 3,16              | 0,95             | 0,26                          | 0,03        |           |
|                            | HMT14-19   | 54,76            | 14,66                          | 1,75             | 10,26        | 4,7         | 0,19        | 9,17        | 3,33              | 0,92             | 0,21                          | 0,05        |           |
|                            | HMT14-20   | 55,01            | 14,46                          | 1,89             | 10,16        | 4,88        | 0,18        | 9,06        | 3,14              | 0,95             | 0,22                          | 0,05        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>55,44</b>     | <b>14,44</b>                   | <b>1,51</b>      | <b>10,23</b> | <b>4,87</b> | <b>0,2</b>  | <b>8,92</b> | <b>3,15</b>       | <b>0,93</b>      | <b>0,27</b>                   | <b>0,03</b> | <b>17</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,47</b>      | <b>0,27</b>                    | <b>0,24</b>      | <b>0,32</b>  | <b>0,15</b> | <b>0,04</b> | <b>0,15</b> | <b>0,11</b>       | <b>0,04</b>      | <b>0,06</b>                   | <b>0,01</b> |           |

|                         | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO          | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          |
|-------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|
| <b>Glass Standard</b>   |                  |                                |                  |              |             |             |              |                   |                  |                               |             |
| Glass, Basalt NMNH      | <b>50,91</b>     | <b>14,12</b>                   | <b>2,11</b>      | <b>11,6</b>  | <b>6,75</b> | <b>0,22</b> | <b>11,26</b> | <b>2,52</b>       | <b>0,18</b>      | <b>0,29</b>                   | <b>0,03</b> |
| 111240-52 VG-2 standard | <b>50,76</b>     | <b>13,92</b>                   | <b>1,48</b>      | <b>10,83</b> | <b>7,43</b> | <b>0,18</b> | <b>12,15</b> | <b>2,75</b>       | <b>0,18</b>      | <b>0,3</b>                    | <b>0,02</b> |
| Glass, Rhyolite NMNH    | <b>77,23</b>     | <b>12,3</b>                    | <b>0,16</b>      | <b>1,2</b>   | <b>0,04</b> | <b>0,08</b> | <b>0,48</b>  | <b>3,35</b>       | <b>5,04</b>      | <b>0,01</b>                   | <b>0,12</b> |
| 72854 VG-568 standard   | <b>76,72</b>     | <b>12,52</b>                   | <b>0,29</b>      | <b>1,42</b>  | <b>0,08</b> | <b>0,06</b> | <b>0,42</b>  | <b>3,53</b>       | <b>4,87</b>      | <b>0</b>                      | <b>0,1</b>  |

**Tabla 2.** Análisis químicos de elementos mayores por microsonda de electrones (EMPA) sobre vitroclastos de las tefras preservadas en el Lago Huechulafquen. Promedio  $\pm$  1 desviación estándar, basado en  $n$  análisis.

| Muestra     | n° muestra                 | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO          | CaO          | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl           | $n$       |
|-------------|----------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------------|------------------|-------------------------------|--------------|-----------|
| <b>H-T1</b> |                            |                  |                                |                  |              |             |              |              |                   |                  |                               |              |           |
|             | HT 1 - 04                  | 56,72            | 13,14                          | 2                | 12,5         | 2,78        | 0,26         | 6,07         | 3,58              | 2,4              | 0,46                          | 0,09         |           |
|             | HT 1 - 05                  | 56,77            | 12,72                          | 2,38             | 12,94        | 2,98        | 0,3          | 5,95         | 3,04              | 2,36             | 0,46                          | 0,1          |           |
|             | HT 1 - 06                  | 57,09            | 12,3                           | 2,5              | 13           | 2,96        | 0,2          | 6,2          | 3,08              | 2,16             | 0,41                          | 0,12         |           |
|             | HT 1 - 07                  | 56,28            | 13,74                          | 2,28             | 12,68        | 3,1         | 0,25         | 5,08         | 3,28              | 2,65             | 0,57                          | 0,09         |           |
|             | HT 1 - 08                  | 55,4             | 13,39                          | 2,68             | 12,21        | 2,97        | 0,29         | 7,06         | 2,98              | 2,45             | 0,46                          | 0,11         |           |
|             | HT 1 - 09                  | 56,24            | 13,37                          | 2,59             | 11,94        | 3,07        | 0,19         | 5,74         | 3,65              | 2,65             | 0,47                          | 0,09         |           |
|             | HT 1 - 10                  | 55,92            | 13,24                          | 2,59             | 12,64        | 2,92        | 0,25         | 6,15         | 3,47              | 2,16             | 0,54                          | 0,12         |           |
|             | HT 1 - 11                  | 56,53            | 13,29                          | 2,3              | 12,02        | 2,92        | 0,19         | 6,2          | 3,73              | 2,16             | 0,55                          | 0,11         |           |
|             | HT 1 - 12                  | 56,87            | 13,09                          | 2,4              | 11,93        | 2,77        | 0,24         | 6,48         | 3,38              | 2,14             | 0,58                          | 0,12         |           |
|             | HT 1 - 13                  | 56,13            | 13,07                          | 2,46             | 12,51        | 2,89        | 0,18         | 6,51         | 3,46              | 2,15             | 0,53                          | 0,09         |           |
|             | HT 1 - 14                  | 55,87            | 12,89                          | 2,35             | 12,51        | 2,93        | 0,3          | 6,58         | 3,72              | 2,26             | 0,49                          | 0,1          |           |
|             | HT 1 - 16                  | 56,97            | 12,61                          | 2,41             | 11,97        | 2,79        | 0,25         | 6,58         | 3,64              | 2,06             | 0,61                          | 0,11         |           |
|             | <i>Promedio</i>            | <b>56,4</b>      | <b>13,07</b>                   | <b>2,41</b>      | <b>12,4</b>  | <b>2,92</b> | <b>0,24</b>  | <b>6,22</b>  | <b>3,42</b>       | <b>2,3</b>       | <b>0,51</b>                   | <b>0,1</b>   | <b>12</b> |
|             | <i>Desviación estándar</i> | <b>0,51</b>      | <b>0,39</b>                    | <b>0,18</b>      | <b>0,38</b>  | <b>0,11</b> | <b>0,04</b>  | <b>0,5</b>   | <b>0,27</b>       | <b>0,2</b>       | <b>0,06</b>                   | <b>0,01</b>  |           |
| <b>H-T2</b> |                            |                  |                                |                  |              |             |              |              |                   |                  |                               |              |           |
|             | HT 2-11                    | 56,98            | 15,04                          | 1,32             | 9,5          | 4,4         | 0,19         | 7,66         | 3,53              | 1,11             | 0,22                          | 0,07         |           |
|             | HT 2-12                    | 57,18            | 14,44                          | 1,59             | 9,31         | 4,52        | 0,21         | 7,64         | 3,64              | 1,12             | 0,3                           | 0,05         |           |
|             | HT 2-14                    | 56,34            | 14,74                          | 1,76             | 9,65         | 4,5         | 0,31         | 7,66         | 3,45              | 1,3              | 0,25                          | 0,04         |           |
|             | HT 2-15                    | 56,77            | 15,57                          | 1,15             | 8,83         | 4,47        | 0,24         | 7,92         | 3,86              | 1,03             | 0,16                          | 0,02         |           |
|             | HT 2-16                    | 57,58            | 15,17                          | 1,21             | 8,83         | 4,2         | 0,19         | 7,59         | 3,84              | 1,16             | 0,2                           | 0,03         |           |
|             | <i>Promedio</i>            | <b>56,97</b>     | <b>14,99</b>                   | <b>1,4</b>       | <b>9,23</b>  | <b>4,42</b> | <b>0,23</b>  | <b>7,69</b>  | <b>3,66</b>       | <b>1,14</b>      | <b>0,22</b>                   | <b>0,04</b>  | <b>5</b>  |
|             | <i>Desviación estándar</i> | <b>0,465</b>     | <b>0,43</b>                    | <b>0,263</b>     | <b>0,381</b> | <b>0,13</b> | <b>0,051</b> | <b>0,129</b> | <b>0,183</b>      | <b>0,101</b>     | <b>0,053</b>                  | <b>0,016</b> |           |
| <b>H-T3</b> |                            |                  |                                |                  |              |             |              |              |                   |                  |                               |              |           |
|             | HT3 - 02                   | 58,72            | 15,07                          | 0,88             | 8,73         | 3,85        | 0,18         | 7,35         | 3,77              | 1,14             | 0,28                          | 0,04         |           |
|             | HT3 - 03                   | 57,89            | 14,51                          | 1,45             | 9,38         | 3,96        | 0,21         | 7,26         | 3,99              | 1,1              | 0,18                          | 0,05         |           |
|             | HT3 - 04                   | 57,29            | 13,63                          | 1,79             | 10,58        | 3,88        | 0,22         | 7,33         | 3,89              | 1,12             | 0,21                          | 0,05         |           |
|             | HT3 - 05                   | 58,79            | 14,84                          | 1,07             | 8,59         | 3,88        | 0,16         | 7,26         | 4,03              | 1,11             | 0,24                          | 0,04         |           |
|             | HT3 - 06                   | 58,99            | 14,6                           | 1,08             | 8,46         | 3,86        | 0,2          | 7,44         | 3,95              | 1,1              | 0,28                          | 0,04         |           |
|             | HT3 - 07                   | 58,98            | 13,04                          | 1,65             | 9,96         | 3,87        | 0,21         | 6,98         | 3,56              | 1,41             | 0,3                           | 0,05         |           |
|             | HT3 - 08                   | 58,25            | 12,89                          | 1,79             | 10,75        | 3,58        | 0,14         | 7            | 3,9               | 1,37             | 0,29                          | 0,04         |           |
|             | HT3 - 09                   | 57,46            | 14,2                           | 1,46             | 9,86         | 4,46        | 0,24         | 7,48         | 3,55              | 1,04             | 0,23                          | 0,03         |           |
|             | HT3 - 10                   | 58,27            | 14,5                           | 1,01             | 9,08         | 4,36        | 0,22         | 7,44         | 3,79              | 1,04             | 0,25                          | 0,04         |           |
|             | HT3 - 11                   | 57,73            | 15,06                          | 1,57             | 8,71         | 4,19        | 0,2          | 7,57         | 3,74              | 1,02             | 0,17                          | 0,05         |           |
|             | HT3 - 12                   | 58,06            | 14,59                          | 1,71             | 8,83         | 4,17        | 0,11         | 7,61         | 3,71              | 1,01             | 0,18                          | 0,02         |           |
|             | HT3 - 13                   | 57,48            | 14,87                          | 1,24             | 9,26         | 4,29        | 0,17         | 7,38         | 3,94              | 1,11             | 0,23                          | 0,03         |           |
|             | HT3 - 14                   | 58,64            | 14,64                          | 1,09             | 8,7          | 4,41        | 0,18         | 7,34         | 3,67              | 1,13             | 0,14                          | 0,06         |           |
|             | HT3 - 15                   | 58,48            | 14,69                          | 1,27             | 8,94         | 3,89        | 0,17         | 7,34         | 3,84              | 1,09             | 0,25                          | 0,04         |           |
|             | HT3 - 16                   | 57,89            | 14,61                          | 1,43             | 8,96         | 4,1         | 0,19         | 7,46         | 4,03              | 1,06             | 0,23                          | 0,04         |           |

continuación

**Tabla 2.** Continuación

| Muestra                                    | n° muestra | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO          | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | <i>n</i>  |
|--|------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
| <i>Promedio</i>                            |            | <b>58,19</b>     | <b>14,38</b>                   | <b>1,36</b>      | <b>9,25</b>  | <b>4,05</b> | <b>0,19</b> | <b>7,35</b>  | <b>3,82</b>       | <b>1,12</b>      | <b>0,23</b>                   | <b>0,04</b> | <b>15</b> |
| <i>Desviación estándar</i>                 |            | <b>0,56</b>      | <b>0,67</b>                    | <b>0,3</b>       | <b>0,72</b>  | <b>0,26</b> | <b>0,03</b> | <b>0,18</b>  | <b>0,16</b>       | <b>0,12</b>      | <b>0,05</b>                   | <b>0,01</b> |           |
| <b>H-T5</b>                                | HT 5-1     | 61,62            | 14,79                          | 1,69             | 7,55         | 2,3         | 0,13        | 5,12         | 4,14              | 2,3              | 0,3                           | 0,07        |           |
|  | HT 5-3     | 62,19            | 14,41                          | 1,43             | 8,2          | 2,49        | 0,21        | 5,16         | 3,97              | 1,62             | 0,26                          | 0,07        |           |
|  | HT 5-4     | 62,52            | 14,61                          | 1,08             | 7,58         | 2,55        | 0,19        | 5,35         | 4,13              | 1,6              | 0,34                          | 0,06        |           |
|  | HT 5-7     | 61,48            | 15,06                          | 1,04             | 8,16         | 2,36        | 0,15        | 5,75         | 4,3               | 1,44             | 0,22                          | 0,03        |           |
|  | HT 5-8     | 59,55            | 15,04                          | 1,59             | 8,69         | 2,68        | 0,21        | 5,75         | 4,57              | 1,57             | 0,26                          | 0,11        |           |
|  | HT 5-9     | 61,24            | 14,45                          | 1,51             | 7,99         | 2,57        | 0,13        | 5,91         | 4,31              | 1,66             | 0,13                          | 0,09        |           |
|  | HT 5-12    | 59,35            | 14,16                          | 1,64             | 8,82         | 3,24        | 0,28        | 6,13         | 4,47              | 1,6              | 0,27                          | 0,04        |           |
|  | HT 5-13    | 61,06            | 13,69                          | 1,19             | 9,12         | 3,05        | 0,26        | 5,47         | 4,19              | 1,58             | 0,33                          | 0,07        |           |
|  | HT 5-14    | 60,28            | 14,55                          | 1,43             | 8,4          | 2,95        | 0,21        | 5,92         | 4,38              | 1,55             | 0,32                          | 0,02        |           |
|  | HT 5-15    | 61,38            | 13,95                          | 1,16             | 8,66         | 2,73        | 0,17        | 5,66         | 4,23              | 1,66             | 0,36                          | 0,05        |           |
|  | HT 5-16    | 62,28            | 13,29                          | 1,23             | 8,46         | 2,76        | 0,21        | 5,56         | 4,32              | 1,5              | 0,31                          | 0,07        |           |
| <i>Promedio</i>                            |            | <b>61,18</b>     | <b>14,36</b>                   | <b>1,36</b>      | <b>8,33</b>  | <b>2,7</b>  | <b>0,2</b>  | <b>5,62</b>  | <b>4,27</b>       | <b>1,64</b>      | <b>0,28</b>                   | <b>0,06</b> | <b>11</b> |
| <i>Desviación estándar</i>                 |            | <b>1,06</b>      | <b>0,55</b>                    | <b>0,23</b>      | <b>0,5</b>   | <b>0,29</b> | <b>0,05</b> | <b>0,32</b>  | <b>0,17</b>       | <b>0,23</b>      | <b>0,07</b>                   | <b>0,02</b> |           |
| <b>H-T7</b>                                |            |                  |                                |                  |              |             |             |              |                   |                  |                               |             |           |
|  | HT 7-3     | 55,29            | 15,1                           | 1,28             | 9,32         | 5,11        | 0,15        | 9,16         | 3,54              | 0,81             | 0,21                          | 0,03        |           |
|  | HT 7-4     | 55,93            | 14,43                          | 1,61             | 10,36        | 5,2         | 0,19        | 7,76         | 3,51              | 0,78             | 0,21                          | 0,03        |           |
|  | HT 7-8     | 53,06            | 14,6                           | 1,03             | 10,22        | 6,04        | 0,21        | 10,47        | 3,24              | 0,86             | 0,24                          | 0,02        |           |
|  | HT 7-9     | 53,41            | 14,51                          | 1,34             | 10,42        | 5,51        | 0,23        | 10,12        | 3,44              | 0,82             | 0,21                          | 0,01        |           |
| <i>Promedio</i>                            |            | <b>54,42</b>     | <b>14,66</b>                   | <b>1,31</b>      | <b>10,08</b> | <b>5,46</b> | <b>0,19</b> | <b>9,38</b>  | <b>3,43</b>       | <b>0,82</b>      | <b>0,22</b>                   | <b>0,02</b> | <b>4</b>  |
| <i>Desviación estándar</i>                 |            | <b>1,4</b>       | <b>0,3</b>                     | <b>0,24</b>      | <b>0,51</b>  | <b>0,42</b> | <b>0,04</b> | <b>1,21</b>  | <b>0,13</b>       | <b>0,03</b>      | <b>0,02</b>                   | <b>0,01</b> |           |
|  |            |                  |                                |                  |              |             |             |              |                   |                  |                               |             |           |
|  |            | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO          | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          |           |
| <b>Glass Standard</b>                      |            |                  |                                |                  |              |             |             |              |                   |                  |                               |             |           |
| Glass, Basalt NMNH 111240-52 VG-2 standard |            | <b>50,91</b>     | <b>14,12</b>                   | <b>2,11</b>      | <b>11,6</b>  | <b>6,75</b> | <b>0,22</b> | <b>11,26</b> | <b>2,52</b>       | <b>0,18</b>      | <b>0,29</b>                   | <b>0,03</b> |           |
|  |            | <b>50,76</b>     | <b>13,92</b>                   | <b>1,48</b>      | <b>10,83</b> | <b>7,43</b> | <b>0,18</b> | <b>12,15</b> | <b>2,75</b>       | <b>0,18</b>      | <b>0,3</b>                    | <b>0,02</b> |           |
| Glass, Rhyolite NMNH 72854 VG-568 standard |            | <b>77,23</b>     | <b>12,3</b>                    | <b>0,16</b>      | <b>1,2</b>   | <b>0,04</b> | <b>0,08</b> | <b>0,48</b>  | <b>3,35</b>       | <b>5,04</b>      | <b>0,01</b>                   | <b>0,12</b> |           |
|  |            | <b>76,72</b>     | <b>12,52</b>                   | <b>0,29</b>      | <b>1,42</b>  | <b>0,08</b> | <b>0,06</b> | <b>0,42</b>  | <b>3,53</b>       | <b>4,87</b>      | <b>0</b>                      | <b>0,1</b>  |           |

**Tabla 3.** Análisis químicos de elementos mayores por microsonda de electrones (EMPA) sobre vitroclastos de las tefras preservadas en la laguna Carirriñe. Promedio  $\pm$  1 desviación estándar, basado en  $n$  análisis.

| Muestra                    | n° muestra | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
| <b>C-T1</b>                | CT1 - 3    | 70,76            | 16,27                          | 0,51             | 3,04         | 0,51        | 0,21        | 2,07        | 4,14              | 2,21             | 0,13                          | 0,15        |           |
|                            | CT1 - 6    | 70,86            | 15,78                          | 0,49             | 2,83         | 0,73        | 0,13        | 2,24        | 4,32              | 2,34             | 0,1                           | 0,16        |           |
|                            | CT1 - 7    | 71,44            | 15,13                          | 0,73             | 3,34         | 0,38        | 0,26        | 2,3         | 3,89              | 2,15             | 0,24                          | 0,15        |           |
|                            | CT1 - 8    | 70,73            | 15,54                          | 0,73             | 3,12         | 0,66        | 0           | 2,62        | 3,98              | 2,35             | 0,12                          | 0,15        |           |
|                            | CT1 - 10   | 71,1             | 15,78                          | 0,6              | 2,94         | 0,64        | 0,3         | 2,07        | 3,83              | 2,42             | 0,14                          | 0,17        |           |
|                            | CT1 - 12   | 72,75            | 14,93                          | 0,57             | 2,65         | 0,43        | 0,16        | 2,1         | 3,79              | 2,33             | 0,13                          | 0,15        |           |
|                            | CT1 - 14   | 72,7             | 15,2                           | 0,63             | 2,92         | 0,48        | 0,08        | 1,8         | 3,64              | 2,28             | 0,13                          | 0,15        |           |
|                            | CT1 - 15   | 73,05            | 14,01                          | 0,12             | 3,02         | 0,54        | 0,14        | 2,53        | 3,87              | 2,02             | 0,54                          | 0,17        |           |
|                            | CT1 - 16   | 71,6             | 14,56                          | 0,18             | 3,8          | 0,68        | 0,18        | 2,37        | 3,61              | 2,15             | 0,67                          | 0,19        |           |
|                            | CT1 - 17   | 72,08            | 15,3                           | 0,11             | 3,21         | 0,8         | 0,17        | 2,44        | 3,35              | 1,96             | 0,44                          | 0,14        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>71,71</b>     | <b>15,25</b>                   | <b>0,47</b>      | <b>3,09</b>  | <b>0,59</b> | <b>0,16</b> | <b>2,25</b> | <b>3,84</b>       | <b>2,22</b>      | <b>0,26</b>                   | <b>0,16</b> | <b>10</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,88</b>      | <b>0,65</b>                    | <b>0,24</b>      | <b>0,32</b>  | <b>0,14</b> | <b>0,09</b> | <b>0,25</b> | <b>0,28</b>       | <b>0,15</b>      | <b>0,21</b>                   | <b>0,02</b> |           |
| <b>C-T5</b>                | CT5 - 1    | 53,42            | 15,05                          | 1,5              | 11,23        | 5,63        | 0,17        | 9,23        | 2,74              | 0,79             | 0,2                           | 0,04        |           |
|                            | CT5 - 2    | 54,17            | 14,27                          | 1,49             | 10,26        | 5,95        | 0,22        | 9,41        | 3,18              | 0,8              | 0,21                          | 0,03        |           |
|                            | CT5 - 3    | 53,61            | 15,77                          | 1,18             | 10,31        | 5,52        | 0,09        | 9,9         | 2,69              | 0,71             | 0,19                          | 0,03        |           |
|                            | CT5 - 4    | 53,65            | 16,51                          | 1,1              | 9,67         | 5,27        | 0,08        | 9,83        | 3,03              | 0,63             | 0,2                           | 0,03        |           |
|                            | CT5 - 5    | 53,81            | 14,99                          | 1,49             | 11,15        | 4,74        | 0,04        | 9,26        | 3,49              | 0,75             | 0,26                          | 0,02        |           |
|                            | CT5 - 6    | 54,01            | 14,78                          | 1,35             | 10,26        | 5,77        | 0,26        | 9,24        | 3,24              | 0,83             | 0,23                          | 0,04        |           |
|                            | CT5 - 7    | 53,7             | 15,94                          | 1,21             | 9,77         | 5,85        | 0,08        | 10,25       | 2,3               | 0,62             | 0,25                          | 0,03        |           |
|                            | CT5 - 8    | 52,71            | 15,95                          | 1,15             | 9,88         | 6,37        | 0,19        | 10,26       | 2,69              | 0,58             | 0,18                          | 0,04        |           |
|                            | CT5 - 9    | 54               | 14,49                          | 1,45             | 10,66        | 5,77        | 0,07        | 9,57        | 3,05              | 0,67             | 0,26                          | 0,02        |           |
|                            | CT5 - 10   | 54               | 15,3                           | 1,34             | 10,01        | 5,63        | 0,17        | 9,56        | 3,11              | 0,67             | 0,18                          | 0,04        |           |
|                            | CT5 - 11   | 53,73            | 15,72                          | 1,11             | 9,47         | 6,44        | 0,1         | 9,86        | 2,78              | 0,56             | 0,22                          | 0,01        |           |
|                            | CT5 - 12   | 53,05            | 15,69                          | 1,19             | 9,78         | 6,07        | 0,24        | 10,07       | 3,04              | 0,65             | 0,2                           | 0,03        |           |
|                            | CT5 - 13   | 53,65            | 16,05                          | 1,14             | 9,77         | 5,58        | 0,18        | 9,92        | 2,75              | 0,73             | 0,2                           | 0,03        |           |
|                            | CT5 - 14   | 53,62            | 15,84                          | 1,3              | 9,64         | 5,79        | 0,17        | 9,75        | 2,92              | 0,74             | 0,19                          | 0,04        |           |
|                            | CT5 - 15   | 53,56            | 15,89                          | 1,29             | 10,04        | 5,33        | 0,17        | 9,68        | 3,14              | 0,61             | 0,26                          | 0,04        |           |
|                            | CT5 - 16   | 53,7             | 16,08                          | 1,18             | 9,94         | 4,98        | 0,33        | 10,1        | 2,75              | 0,75             | 0,17                          | 0,03        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>53,65</b>     | <b>15,52</b>                   | <b>1,28</b>      | <b>10,11</b> | <b>5,67</b> | <b>0,16</b> | <b>9,74</b> | <b>2,93</b>       | <b>0,69</b>      | <b>0,21</b>                   | <b>0,03</b> | <b>16</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,37</b>      | <b>0,63</b>                    | <b>0,14</b>      | <b>0,52</b>  | <b>0,45</b> | <b>0,08</b> | <b>0,34</b> | <b>0,28</b>       | <b>0,08</b>      | <b>0,03</b>                   | <b>0,01</b> |           |
| <b>C-T8</b>                | CT8 - 1    | 72,33            | 13,41                          | 0,52             | 4,16         | 0,42        | 0,14        | 1,93        | 4,11              | 2,82             | 0,01                          | 0,14        |           |
|                            | CT8 - 2    | 71,95            | 12,62                          | 0,58             | 4,18         | 0,5         | 0,26        | 1,81        | 4,49              | 3,37             | 0,09                          | 0,15        |           |
|                            | CT8 - 3    | 73,04            | 12,95                          | 0,41             | 4,24         | 0,34        | 0,19        | 1,82        | 3,64              | 3,17             | 0,05                          | 0,17        |           |
|                            | CT8 - 4    | 72,91            | 13,89                          | 0,53             | 3,95         | 0,43        | 0,04        | 1,91        | 3,23              | 2,87             | 0,09                          | 0,15        |           |
|                            | CT8 - 5    | 72,67            | 13,43                          | 0,61             | 4,02         | 0,36        | 0,11        | 1,89        | 3,83              | 2,82             | 0,08                          | 0,18        |           |
|                            | CT8 - 6    | 71,17            | 14,17                          | 0,56             | 4,19         | 0,51        | 0,14        | 1,92        | 4,01              | 2,98             | 0,15                          | 0,22        |           |
|                            | CT8 - 7    | 72,77            | 13,34                          | 0,49             | 4,22         | 0,4         | 0,05        | 1,95        | 3,55              | 2,96             | 0,08                          | 0,18        |           |

continuación

**Tabla 3.** Continuación

| Muestra      | n° muestra                 | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO         | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|--------------|----------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
|              | CT8 - 8                    | 71,68            | 14,04                          | 0,47             | 4,26        | 0,39        | 0,17        | 1,79        | 3,79              | 3,2              | 0,04                          | 0,16        |           |
|              | CT8 - 9                    | 71,96            | 13,59                          | 0,37             | 4,26        | 0,2         | 0,09        | 1,88        | 4,46              | 2,92             | 0,12                          | 0,13        |           |
|              | CT8 - 10                   | 72,53            | 12,64                          | 0,42             | 4,62        | 0,33        | 0,04        | 1,79        | 4,46              | 2,95             | 0,05                          | 0,16        |           |
|              | CT8 - 11                   | 73,03            | 13,32                          | 0,59             | 4,27        | 0,19        | 0,02        | 1,9         | 3,4               | 3,05             | 0,09                          | 0,14        |           |
|              | CT8 - 12                   | 71,46            | 14,19                          | 0,51             | 4,43        | 0,4         | 0,18        | 1,98        | 3,55              | 3,04             | 0,1                           | 0,15        |           |
|              | CT8 - 13                   | 71,91            | 13,25                          | 0,33             | 4,47        | 0,31        | 0,15        | 2,01        | 4,17              | 3,1              | 0,13                          | 0,16        |           |
|              | CT8 - 14                   | 72,2             | 13,3                           | 0,47             | 4,47        | 0,45        | 0,18        | 1,94        | 3,74              | 3,08             | 0                             | 0,19        |           |
|              | CT8 - 15                   | 72,29            | 13,61                          | 0,48             | 4,04        | 0,68        | 0,21        | 1,85        | 3,83              | 2,79             | 0,06                          | 0,15        |           |
|              | CT8 - 16                   | 73,29            | 13,13                          | 0,55             | 3,92        | 0,38        | 0,18        | 2,02        | 3,43              | 2,93             | 0,01                          | 0,18        |           |
|              | CT8 - 17                   | 70,97            | 13,6                           | 0,57             | 4,18        | 0,31        | 0,12        | 1,8         | 5,19              | 2,99             | 0,13                          | 0,15        |           |
|              | CT8 - 18                   | 72,15            | 13,47                          | 0,53             | 4,38        | 0,34        | 0,26        | 1,81        | 3,84              | 2,94             | 0,1                           | 0,18        |           |
|              | CT8 - 19                   | 72,21            | 13,38                          | 0,42             | 4           | 0,34        | 0,06        | 2,04        | 4,02              | 3,24             | 0,12                          | 0,16        |           |
|              | CT8 - 20                   | 71,59            | 13,56                          | 0,51             | 4,59        | 0,32        | 0,18        | 1,92        | 4,04              | 3,06             | 0,03                          | 0,19        |           |
|              | CT8 - 21                   | 73,81            | 12,43                          | 0,45             | 4,33        | 0,24        | 0,12        | 2,02        | 3,28              | 3,12             | 0,07                          | 0,15        |           |
|              | CT8 - 22                   | 71,87            | 13,29                          | 0,52             | 4,54        | 0,22        | 0,11        | 1,86        | 4,15              | 3,16             | 0,09                          | 0,19        |           |
|              | CT8 - 23                   | 71,83            | 13,72                          | 0,38             | 4,91        | 0,38        | 0,07        | 1,87        | 3,65              | 2,8              | 0,14                          | 0,24        |           |
|              | CT8 - 24                   | 72,74            | 12,93                          | 0,54             | 4,31        | 0,41        | 0,28        | 2,02        | 3,51              | 2,94             | 0,14                          | 0,19        |           |
|              | CT8 - 25                   | 71,7             | 13,32                          | 0,41             | 4,41        | 0,34        | 0,14        | 1,85        | 4,61              | 2,95             | 0,07                          | 0,19        |           |
|              | CT8 - 26                   | 72,46            | 13                             | 0,48             | 4,14        | 0,3         | 0,29        | 1,93        | 4,18              | 2,93             | 0,11                          | 0,18        |           |
|              | CT8 - 27                   | 72,35            | 13,91                          | 0,42             | 4,22        | 0,14        | 0,06        | 2,04        | 3,5               | 3,11             | 0,06                          | 0,17        |           |
|              | CT8 - 28                   | 71,4             | 13,22                          | 0,5              | 4,34        | 0,34        | 0,25        | 2           | 4,76              | 2,96             | 0,1                           | 0,14        |           |
|              | CT8 - 29                   | 71,85            | 12,79                          | 0,48             | 4,17        | 0,26        | 0,11        | 1,89        | 5,2               | 2,97             | 0,08                          | 0,19        |           |
|              | CT8 - 30                   | 72,62            | 13,13                          | 0,54             | 4,39        | 0,13        | 0,01        | 1,99        | 4,03              | 2,94             | 0,04                          | 0,17        |           |
|              | CT8 - 32                   | 70,29            | 14,01                          | 0,51             | 3,91        | 0,35        | 0,09        | 2,08        | 5,39              | 3,09             | 0,09                          | 0,18        |           |
|              | CT8 - 33                   | 71               | 14,19                          | 0,44             | 4,3         | 0,35        | 0           | 1,82        | 4,59              | 3,03             | 0,12                          | 0,16        |           |
|              | CT8 - 34                   | 70,92            | 14,44                          | 0,6              | 4,5         | 0,33        | 0,1         | 2,02        | 3,79              | 3,01             | 0,11                          | 0,16        |           |
|              | CT8 - 35                   | 70,71            | 13,59                          | 0,4              | 4,7         | 0,4         | 0           | 1,99        | 4,82              | 3,21             | 0,04                          | 0,15        |           |
|              | CT8 - 36                   | 70,6             | 13,27                          | 0,54             | 4,41        | 0,5         | 0,07        | 2,02        | 5,21              | 3,11             | 0,08                          | 0,2         |           |
|              | CT8 - 38                   | 71,08            | 13,75                          | 0,47             | 4,52        | 0,54        | 0,27        | 1,93        | 3,97              | 3,26             | 0,05                          | 0,15        |           |
|              | CT8 - 39                   | 69,83            | 14,11                          | 0,55             | 4,35        | 0,37        | 0,2         | 1,93        | 5,11              | 3,28             | 0,1                           | 0,16        |           |
|              | CT8 - 40                   | 70,13            | 13,96                          | 0,56             | 4,7         | 0,38        | 0,22        | 2           | 4,76              | 3,05             | 0,08                          | 0,17        |           |
|              | CT8 - 41                   | 69,68            | 14,41                          | 0,52             | 4,3         | 0,51        | 0,14        | 2,08        | 4,58              | 3,54             | 0,08                          | 0,18        |           |
|              | <i>Promedio</i>            | <b>71,82</b>     | <b>13,5</b>                    | <b>0,49</b>      | <b>4,31</b> | <b>0,36</b> | <b>0,13</b> | <b>1,93</b> | <b>4,15</b>       | <b>3,05</b>      | <b>0,08</b>                   | <b>0,17</b> | <b>39</b> |
|              | <i>Desviación estándar</i> | <b>0,97</b>      | <b>0,5</b>                     | <b>0,07</b>      | <b>0,22</b> | <b>0,11</b> | <b>0,08</b> | <b>0,08</b> | <b>0,59</b>       | <b>0,16</b>      | <b>0,04</b>                   | <b>0,02</b> |           |
| <b>C-T10</b> | CT10 - 1                   | 77,33            | 13,07                          | 0,1              | 1,26        | 0,27        | 0,1         | 1,2         | 3,2               | 3,29             | 0,09                          | 0,07        |           |
|              | CT10 - 2                   | 77,67            | 12,81                          | 0,05             | 1,41        | 0,16        | 0,16        | 1,26        | 3,02              | 3,35             | 0,04                          | 0,07        |           |
|              | CT10 - 3                   | 77,7             | 12,47                          | 0,12             | 1,43        | 0,39        | 0,11        | 1,19        | 3,14              | 3,25             | 0,1                           | 0,09        |           |
|              | CT10 - 4                   | 77,77            | 12,51                          | 0,09             | 1,48        | 0,25        | 0,05        | 1,26        | 3,22              | 3,21             | 0,07                          | 0,09        |           |

continuación

**Tabla 3.** Continuación

| Muestra                    | n° muestra | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
|                            | CT10 - 5   | 77,87            | 12,59                          | 0,06             | 1,64         | 0,31        | 0,05        | 1,2         | 3,18              | 2,94             | 0,09                          | 0,08        |           |
|                            | CT10 - 6   | 77,54            | 12,89                          | 0,1              | 1,26         | 0,24        | 0,02        | 1,18        | 3,31              | 3,29             | 0,08                          | 0,08        |           |
|                            | CT10 - 7   | 77               | 13,72                          | 0,12             | 0,89         | 0,11        | 0,05        | 1,81        | 3,58              | 2,59             | 0,08                          | 0,06        |           |
|                            | CT10 - 8   | 78,22            | 12,63                          | 0,04             | 1,17         | 0,2         | 0,01        | 1,19        | 3,32              | 3,11             | 0,01                          | 0,09        |           |
|                            | CT10 - 9   | 77,3             | 13,1                           | 0,1              | 1,28         | 0,19        | 0           | 1,22        | 3,49              | 3,23             | 0,03                          | 0,07        |           |
|                            | CT10 - 10  | 77,39            | 12,47                          | 0,09             | 1,22         | 0,15        | 0,15        | 1,12        | 4,02              | 3,27             | 0,05                          | 0,08        |           |
|                            | CT10 - 11  | 77,6             | 12,76                          | 0,06             | 1,14         | 0,28        | 0,08        | 1,21        | 3,52              | 3,11             | 0,12                          | 0,11        |           |
|                            | CT10 - 12  | 76,88            | 13,27                          | 0,07             | 1,38         | 0,26        | 0,06        | 1,22        | 3,44              | 3,26             | 0,06                          | 0,11        |           |
|                            | CT10 - 14  | 78,15            | 12,84                          | 0,04             | 1,28         | 0,08        | 0,09        | 1,26        | 3,18              | 2,95             | 0,03                          | 0,09        |           |
|                            | CT10 - 15  | 76,5             | 13,23                          | 0,12             | 1,15         | 0,21        | 0,09        | 1,12        | 4,06              | 3,35             | 0,08                          | 0,09        |           |
|                            | CT10 - 16  | 76,86            | 13,56                          | 0,12             | 1,24         | 0,3         | 0,08        | 1,22        | 3,24              | 3,26             | 0,05                          | 0,08        |           |
|                            | CT10 - 17  | 77,79            | 13,36                          | 0,17             | 1,26         | 0,13        | 0,07        | 1,27        | 2,86              | 2,91             | 0,11                          | 0,08        |           |
|                            | CT10 - 18  | 78,43            | 12,81                          | 0,11             | 1,26         | 0,18        | 0,15        | 1,19        | 2,59              | 3,21             | 0                             | 0,07        |           |
|                            | CT10 - 19  | 78,57            | 12,98                          | 0,06             | 1,1          | 0,12        | 0           | 1,11        | 2,63              | 3,27             | 0,05                          | 0,11        |           |
|                            | CT10 - 20  | 76,97            | 13,21                          | 0,05             | 1,14         | 0,27        | 0,2         | 1,19        | 3,56              | 3,27             | 0,04                          | 0,08        |           |
|                            | CT10 - 21  | 77,45            | 13,51                          | 0,08             | 1,23         | 0,33        | 0,1         | 1,09        | 3,05              | 3,02             | 0,06                          | 0,08        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>77,55</b>     | <b>12,99</b>                   | <b>0,09</b>      | <b>1,26</b>  | <b>0,22</b> | <b>0,08</b> | <b>1,23</b> | <b>3,28</b>       | <b>3,16</b>      | <b>0,06</b>                   | <b>0,08</b> | <b>20</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,55</b>      | <b>0,37</b>                    | <b>0,03</b>      | <b>0,16</b>  | <b>0,08</b> | <b>0,06</b> | <b>0,15</b> | <b>0,38</b>       | <b>0,19</b>      | <b>0,03</b>                   | <b>0,01</b> |           |
| <b>C-T12</b>               | CT12-1     | 58,79            | 13,73                          | 1,96             | 11,46        | 2,36        | 0,14        | 5,45        | 3,92              | 1,34             | 0,74                          | 0,11        |           |
|                            | CT12-2     | 58,74            | 13,7                           | 2,15             | 11,42        | 2,17        | 0,26        | 5,82        | 3,55              | 1,55             | 0,57                          | 0,09        |           |
|                            | CT12-3     | 59,55            | 13,17                          | 2,27             | 11,37        | 1,87        | 0,16        | 5,85        | 3,16              | 1,84             | 0,66                          | 0,11        |           |
|                            | CT12-4     | 58,4             | 13,33                          | 2,08             | 12,11        | 2,1         | 0,19        | 5,97        | 3,42              | 1,67             | 0,62                          | 0,11        |           |
|                            | CT12-6     | 58,8             | 12,71                          | 2,26             | 12,62        | 2,38        | 0,2         | 5,74        | 2,85              | 1,67             | 0,64                          | 0,13        |           |
|                            | CT12-7     | 58,28            | 14,78                          | 1,89             | 10,59        | 2,28        | 0,21        | 6,21        | 3,84              | 1,33             | 0,5                           | 0,09        |           |
|                            | CT12-8     | 58,3             | 13,2                           | 2,11             | 11,72        | 2,75        | 0,29        | 5,96        | 3,65              | 1,32             | 0,6                           | 0,1         |           |
|                            | CT12-9     | 58,33            | 13,6                           | 2,1              | 11,35        | 2,53        | 0,21        | 6,05        | 3,59              | 1,51             | 0,64                          | 0,11        |           |
|                            | CT12-10    | 58,82            | 13,06                          | 2,11             | 11,35        | 2,37        | 0,2         | 5,75        | 4,01              | 1,54             | 0,67                          | 0,12        |           |
|                            | CT12-11    | 57,73            | 13,74                          | 2,06             | 11,88        | 2,49        | 0,26        | 5,72        | 3,85              | 1,56             | 0,59                          | 0,12        |           |
|                            | CT12-12    | 57,82            | 13,15                          | 2,21             | 11,82        | 2,57        | 0,26        | 5,77        | 4,26              | 1,45             | 0,61                          | 0,08        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>58,5</b>      | <b>13,47</b>                   | <b>2,11</b>      | <b>11,61</b> | <b>2,35</b> | <b>0,22</b> | <b>5,85</b> | <b>3,64</b>       | <b>1,53</b>      | <b>0,62</b>                   | <b>0,11</b> | <b>11</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,51</b>      | <b>0,54</b>                    | <b>0,12</b>      | <b>0,52</b>  | <b>0,24</b> | <b>0,05</b> | <b>0,2</b>  | <b>0,4</b>        | <b>0,16</b>      | <b>0,06</b>                   | <b>0,01</b> |           |
| <b>C-T13</b>               | CT13 - 2   | 69,3             | 15,55                          | 0,83             | 3,8          | 0,8         | 0,11        | 2,93        | 4,47              | 1,96             | 0,15                          | 0,12        |           |
|                            | CT13 - 3   | 68,39            | 15,6                           | 0,93             | 3,84         | 1           | 0,36        | 3,58        | 4,02              | 1,99             | 0,19                          | 0,11        |           |
|                            | CT13 - 4   | 68,76            | 15,22                          | 0,85             | 4,31         | 1,33        | 0,07        | 3,62        | 3,61              | 1,84             | 0,24                          | 0,15        |           |
|                            | CT13 - 5   | 68,92            | 15,25                          | 0,92             | 4,4          | 1,2         | 0,13        | 3,3         | 3,68              | 1,79             | 0,29                          | 0,13        |           |
|                            | CT13 - 6   | 68,34            | 15,73                          | 0,77             | 4,34         | 1,3         | 0,2         | 3,29        | 3,77              | 1,93             | 0,19                          | 0,13        |           |
|                            | CT13 - 7   | 67,97            | 15,54                          | 0,76             | 4,9          | 1,23        | 0,33        | 3,97        | 3,15              | 1,77             | 0,27                          | 0,12        |           |
|                            | CT13 - 8   | 66,8             | 15,7                           | 1,01             | 4,12         | 1,65        | 0,06        | 3,49        | 5,25              | 1,57             | 0,23                          | 0,13        |           |

continuación

**Tabla 3. Continuación**

| Muestra                    | n° muestra | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
|                            | CT13 - 9   | 66,48            | 16,35                          | 1                | 4,33         | 1,46        | 0,12        | 3,84        | 4,2               | 1,76             | 0,37                          | 0,1         |           |
|                            | CT13 - 10  | 69,12            | 16,15                          | 0,94             | 3,87         | 1,23        | 0,08        | 3,45        | 3                 | 1,79             | 0,25                          | 0,13        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>68,23</b>     | <b>15,68</b>                   | <b>0,89</b>      | <b>4,21</b>  | <b>1,24</b> | <b>0,16</b> | <b>3,49</b> | <b>3,9</b>        | <b>1,82</b>      | <b>0,24</b>                   | <b>0,12</b> | <b>9</b>  |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,99</b>      | <b>0,37</b>                    | <b>0,09</b>      | <b>0,35</b>  | <b>0,25</b> | <b>0,11</b> | <b>0,31</b> | <b>0,69</b>       | <b>0,13</b>      | <b>0,06</b>                   | <b>0,01</b> |           |
| <b>C-T17</b>               |            |                  |                                |                  |              |             |             |             |                   |                  |                               |             |           |
| Población-1                | CT17 - 9   | 69,3             | 14,66                          | 0,68             | 4,45         | 0,7         | 0,16        | 1,75        | 5,03              | 2,97             | 0,18                          | 0,12        |           |
|                            | CT17 - 10  | 69,18            | 15,53                          | 0,67             | 4,23         | 0,65        | 0,13        | 1,79        | 4,82              | 2,72             | 0,16                          | 0,12        |           |
|                            | CT17 - 14  | 70,21            | 15,1                           | 0,95             | 4,49         | 0,24        | 0,09        | 1,63        | 3,79              | 3,11             | 0,24                          | 0,15        |           |
|                            | CT17 - 15  | 70,65            | 14,87                          | 0,93             | 4,42         | 0,24        | 0,09        | 1,61        | 3,74              | 3,06             | 0,24                          | 0,14        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>69,83</b>     | <b>15,04</b>                   | <b>0,81</b>      | <b>4,4</b>   | <b>0,46</b> | <b>0,12</b> | <b>1,7</b>  | <b>4,34</b>       | <b>2,96</b>      | <b>0,2</b>                    | <b>0,13</b> | <b>4</b>  |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,71</b>      | <b>0,37</b>                    | <b>0,15</b>      | <b>0,12</b>  | <b>0,25</b> | <b>0,03</b> | <b>0,09</b> | <b>0,67</b>       | <b>0,17</b>      | <b>0,04</b>                   | <b>0,01</b> |           |
| Población-2                | CT17 - 2   | 63,06            | 15,9                           | 1,1              | 8,5          | 1,38        | 0,17        | 3,72        | 3,49              | 2,19             | 0,33                          | 0,15        |           |
|                            | CT17 - 3   | 63,25            | 15,03                          | 1,07             | 8            | 1,7         | 0,3         | 3,69        | 4,3               | 2,2              | 0,31                          | 0,15        |           |
|                            | CT17 - 13  | 63,75            | 15,76                          | 1,11             | 7,83         | 1,55        | 0,3         | 3,81        | 3,45              | 1,97             | 0,34                          | 0,14        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>63,36</b>     | <b>15,56</b>                   | <b>1,09</b>      | <b>8,11</b>  | <b>1,54</b> | <b>0,26</b> | <b>3,74</b> | <b>3,75</b>       | <b>2,12</b>      | <b>0,33</b>                   | <b>0,14</b> | <b>3</b>  |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,36</b>      | <b>0,47</b>                    | <b>0,02</b>      | <b>0,35</b>  | <b>0,16</b> | <b>0,07</b> | <b>0,06</b> | <b>0,48</b>       | <b>0,14</b>      | <b>0,02</b>                   | <b>0,01</b> |           |
| Población-3                | CT17 - 1   | 59,94            | 14,21                          | 2,26             | 10,48        | 1,91        | 0,28        | 4,36        | 3,33              | 2,17             | 0,95                          | 0,12        |           |
|                            | CT17 - 5   | 59,05            | 13,98                          | 2,1              | 11,91        | 2,27        | 0,31        | 5,41        | 2,33              | 2,08             | 0,44                          | 0,12        |           |
|                            | CT17 - 6   | 58,04            | 14,09                          | 1,92             | 12,7         | 2,47        | 0,23        | 5,21        | 2,74              | 2,04             | 0,46                          | 0,1         |           |
|                            | CT17 - 11  | 60,44            | 14,69                          | 2,18             | 9,71         | 1,64        | 0,32        | 4,01        | 3,59              | 2,15             | 1,12                          | 0,14        |           |
|                            | CT17 - 12  | 60,44            | 12,85                          | 2,48             | 11,6         | 1,28        | 0,3         | 3,77        | 4,92              | 1,52             | 0,68                          | 0,15        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>59,58</b>     | <b>13,97</b>                   | <b>2,19</b>      | <b>11,28</b> | <b>1,91</b> | <b>0,29</b> | <b>4,55</b> | <b>3,38</b>       | <b>1,99</b>      | <b>0,73</b>                   | <b>0,13</b> | <b>5</b>  |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>1,03</b>      | <b>0,68</b>                    | <b>0,21</b>      | <b>1,19</b>  | <b>0,48</b> | <b>0,04</b> | <b>0,73</b> | <b>0,99</b>       | <b>0,27</b>      | <b>0,3</b>                    | <b>0,02</b> |           |
| <b>C-T28</b>               |            |                  |                                |                  |              |             |             |             |                   |                  |                               |             |           |
|                            | CT28 - 1   | 53,82            | 15,11                          | 1,59             | 11,86        | 4,88        | 0,19        | 8,03        | 3,23              | 0,95             | 0,29                          | 0,05        |           |
|                            | CT28 - 2   | 53,15            | 14,81                          | 1,61             | 12,28        | 4,88        | 0           | 8,53        | 3,35              | 1,06             | 0,27                          | 0,07        |           |
|                            | CT28 - 3   | 52,81            | 15,19                          | 1,23             | 11,63        | 6,05        | 0,21        | 8,49        | 3,33              | 0,84             | 0,18                          | 0,03        |           |
|                            | CT28 - 4   | 52,96            | 16,43                          | 1,27             | 11,75        | 5,56        | 0,1         | 8,36        | 2,49              | 0,8              | 0,25                          | 0,03        |           |
|                            | CT28 - 5   | 53,52            | 14,95                          | 1,22             | 11,26        | 6,34        | 0,27        | 8,66        | 2,78              | 0,72             | 0,24                          | 0,04        |           |
|                            | CT28 - 6   | 53,25            | 14,48                          | 1,6              | 11,94        | 6,62        | 0,14        | 8,07        | 2,66              | 0,94             | 0,26                          | 0,05        |           |
|                            | CT28 - 7   | 54,41            | 14,18                          | 1,78             | 11,84        | 5,23        | 0,28        | 8,15        | 2,79              | 1                | 0,3                           | 0,03        |           |
|                            | CT28 - 8   | 53,37            | 13,99                          | 1,82             | 12,97        | 5,12        | 0,22        | 8,1         | 2,93              | 1,08             | 0,35                          | 0,05        |           |
|                            | CT28 - 9   | 52,59            | 15,16                          | 1,41             | 11,75        | 5,57        | 0,24        | 8,85        | 3,33              | 0,8              | 0,27                          | 0,03        |           |
|                            | CT28 - 10  | 52,66            | 15,35                          | 1,3              | 11,53        | 5,83        | 0,33        | 8,54        | 3,37              | 0,81             | 0,25                          | 0,02        |           |
|                            | CT28 - 11  | 53,15            | 15,39                          | 1,44             | 11,27        | 5,69        | 0,17        | 8,42        | 3,36              | 0,85             | 0,22                          | 0,04        |           |
|                            | CT28 - 12  | 52,5             | 14,74                          | 1,73             | 12,51        | 5,19        | 0,27        | 8,24        | 3,42              | 1,07             | 0,29                          | 0,04        |           |
|                            | CT28 - 13  | 54,16            | 13,98                          | 1,73             | 12,23        | 5,02        | 0,3         | 8,09        | 3,21              | 0,97             | 0,28                          | 0,02        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>53,26</b>     | <b>14,9</b>                    | <b>1,52</b>      | <b>11,91</b> | <b>5,54</b> | <b>0,21</b> | <b>8,35</b> | <b>3,1</b>        | <b>0,91</b>      | <b>0,27</b>                   | <b>0,04</b> | <b>13</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,59</b>      | <b>0,67</b>                    | <b>0,22</b>      | <b>0,49</b>  | <b>0,55</b> | <b>0,09</b> | <b>0,26</b> | <b>0,32</b>       | <b>0,12</b>      | <b>0,04</b>                   | <b>0,01</b> |           |

continuación

**Tabla 3.** Continuación

| Muestra                    | n° muestra      | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO         | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n           |
|----------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-------------|
| <b>C-T31</b>               | CT31 - 1        | 54,98            | 14,46                          | 1,76             | 11,92       | 4,1         | 0,18        | 7,85        | 3,21              | 1,23             | 0,24                          | 0,07        |             |
|                            | CT31 - 2        | 54,3             | 14,94                          | 1,45             | 12,53       | 4,31        | 0,36        | 7,48        | 3,22              | 1,1              | 0,27                          | 0,04        |             |
|                            | CT31 - 3        | 56,86            | 15,78                          | 1,44             | 10,74       | 3,69        | 0,16        | 6,52        | 3,25              | 1,27             | 0,27                          | 0,04        |             |
|                            | CT31 - 4        | 56,59            | 15,57                          | 1,53             | 10,86       | 3,28        | 0,07        | 6,74        | 3,63              | 1,38             | 0,3                           | 0,06        |             |
|                            | CT31 - 5        | 54,18            | 15,62                          | 1,54             | 11,74       | 4,31        | 0,16        | 7,41        | 3,71              | 0,99             | 0,29                          | 0,04        |             |
|                            | CT31 - 6        | 54,45            | 14,74                          | 1,53             | 12          | 4,54        | 0,08        | 7,39        | 3,64              | 1,2              | 0,35                          | 0,05        |             |
|                            | CT31 - 7        | 54,58            | 14,71                          | 1,65             | 11,73       | 4,4         | 0,34        | 7,54        | 3,71              | 1,05             | 0,26                          | 0,04        |             |
|                            | CT31 - 8        | 54,53            | 15,23                          | 1,61             | 12,3        | 3,82        | 0,16        | 8,12        | 2,84              | 1,1              | 0,23                          | 0,05        |             |
|                            | CT31 - 9        | 56,09            | 15,59                          | 1,68             | 10,94       | 3,65        | 0,1         | 7,09        | 3,2               | 1,28             | 0,33                          | 0,06        |             |
|                            | CT31 - 10       | 55,27            | 16,14                          | 1,28             | 11,27       | 3,78        | 0,1         | 7,08        | 3,52              | 1,19             | 0,32                          | 0,04        |             |
|                            | CT31 - 11       | 56,17            | 15,31                          | 1,37             | 11,7        | 4,01        | 0,25        | 7           | 2,76              | 1,09             | 0,28                          | 0,06        |             |
|                            | CT31 - 12       | 56,31            | 15,39                          | 1,43             | 11,12       | 3,75        | 0,12        | 7,4         | 3,07              | 1,21             | 0,13                          | 0,06        |             |
|                            | CT31 - 13       | 55,85            | 13,95                          | 1,74             | 12,54       | 3,36        | 0,19        | 7,04        | 3,77              | 1,25             | 0,27                          | 0,06        |             |
|                            | CT31 - 14       | 54,31            | 14,43                          | 1,79             | 12,87       | 4,14        | 0,38        | 7,62        | 2,99              | 1,13             | 0,27                          | 0,08        |             |
|                            | CT31 - 15       | 55,36            | 14,18                          | 1,55             | 12,62       | 4,21        | 0,36        | 7,57        | 2,79              | 1,03             | 0,29                          | 0,04        |             |
|                            | CT31 - 17       | 55,36            | 14,78                          | 1,66             | 12,02       | 4,17        | 0,27        | 7,65        | 2,78              | 1,03             | 0,26                          | 0,03        |             |
|                            | CT31 - 18       | 54,06            | 15,04                          | 1,61             | 12,42       | 4,2         | 0,26        | 7,72        | 3,15              | 1,2              | 0,31                          | 0,05        |             |
|                            | CT31 - 19       | 54,14            | 14,69                          | 1,63             | 12,94       | 4,36        | 0,21        | 7,62        | 3,02              | 1,05             | 0,3                           | 0,05        |             |
|                            | <i>Promedio</i> |                  | <b>55,19</b>                   | <b>15,03</b>     | <b>1,57</b> | <b>11,9</b> | <b>4,01</b> | <b>0,21</b> | <b>7,38</b>       | <b>3,24</b>      | <b>1,15</b>                   | <b>0,28</b> | <b>0,05</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |                 | <b>0,93</b>      | <b>0,59</b>                    | <b>0,14</b>      | <b>0,7</b>  | <b>0,36</b> | <b>0,1</b>  | <b>0,4</b>  | <b>0,35</b>       | <b>0,11</b>      | <b>0,05</b>                   | <b>0,01</b> |             |
| <b>C-T40</b>               | CT40 - 2        | 54,15            | 11,78                          | 2,44             | 14,45       | 3,36        | 0,37        | 7,27        | 3,88              | 1,63             | 0,57                          | 0,11        |             |
|                            | CT40 - 3        | 55,07            | 12,17                          | 2,26             | 14,47       | 3,12        | 0,45        | 6,93        | 3,07              | 1,79             | 0,54                          | 0,12        |             |
|                            | CT40 - 4        | 54,57            | 12,74                          | 2,15             | 13,71       | 3,59        | 0,24        | 7,14        | 3,72              | 1,62             | 0,43                          | 0,09        |             |
|                            | CT40 - 5        | 54,73            | 12,8                           | 2,49             | 13,76       | 3,37        | 0,19        | 7,22        | 3,3               | 1,64             | 0,41                          | 0,09        |             |
|                            | CT40 - 6        | 54,6             | 13,05                          | 2,16             | 13,88       | 3,52        | 0,28        | 6,97        | 3,47              | 1,61             | 0,37                          | 0,09        |             |
|                            | CT40 - 7        | 54,83            | 12,59                          | 2,25             | 14,13       | 3,13        | 0,14        | 7,57        | 3,3               | 1,59             | 0,4                           | 0,08        |             |
|                            | CT40 - 8        | 54,28            | 12,83                          | 2,01             | 14,16       | 3,54        | 0,35        | 7,13        | 3,45              | 1,64             | 0,53                          | 0,09        |             |
|                            | CT40 - 11       | 54,09            | 13,1                           | 2,3              | 14,2        | 3,3         | 0,31        | 7,27        | 3,37              | 1,56             | 0,43                          | 0,07        |             |
|                            | CT40 - 12       | 55,37            | 13,22                          | 2,26             | 13,23       | 3,47        | 0,32        | 6,86        | 3,03              | 1,72             | 0,46                          | 0,06        |             |
|                            | CT40 - 16       | 54,77            | 12,94                          | 2,29             | 13,6        | 3,75        | 0,24        | 7,31        | 2,98              | 1,53             | 0,47                          | 0,12        |             |
|                            | CT40 - 17       | 54,26            | 13,19                          | 2,14             | 13,77       | 3,81        | 0,17        | 7,24        | 3,18              | 1,67             | 0,46                          | 0,11        |             |
|                            | CT40 - 18       | 53,86            | 13,04                          | 2,03             | 13,92       | 3,78        | 0,23        | 7,13        | 3,74              | 1,75             | 0,42                          | 0,1         |             |
|                            | CT40 - 19       | 54,51            | 12,98                          | 2,14             | 13,76       | 3,67        | 0,36        | 7,48        | 3                 | 1,61             | 0,42                          | 0,07        |             |
|                            | CT40 - 20       | 55,29            | 12,57                          | 2,24             | 13,52       | 3,34        | 0,18        | 7,29        | 3,33              | 1,71             | 0,41                          | 0,1         |             |
|                            | CT40 - 21       | 53,88            | 13,48                          | 2,27             | 13,89       | 3,75        | 0,26        | 7,07        | 3,15              | 1,72             | 0,42                          | 0,11        |             |
| CT40 - 22                  | 53,87           | 13,27            | 2,25                           | 13,7             | 3,92        | 0,26        | 7,17        | 3,47        | 1,53              | 0,47             | 0,09                          |             |             |
| CT40 - 23                  | 54,72           | 13,55            | 2,38                           | 13,66            | 3,32        | 0,16        | 7,15        | 2,97        | 1,57              | 0,44             | 0,09                          |             |             |

continuación

**Tabla 3.** Continuación

| Muestra                    | n° muestra | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
| <i>Promedio</i>            |            | <b>54,52</b>     | <b>12,9</b>                    | <b>2,24</b>      | <b>13,87</b> | <b>3,51</b> | <b>0,27</b> | <b>7,19</b> | <b>3,32</b>       | <b>1,64</b>      | <b>0,45</b>                   | <b>0,09</b> | <b>17</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,47</b>      | <b>0,45</b>                    | <b>0,13</b>      | <b>0,33</b>  | <b>0,24</b> | <b>0,09</b> | <b>0,18</b> | <b>0,28</b>       | <b>0,08</b>      | <b>0,05</b>                   | <b>0,02</b> |           |
| <b>C-T44</b>               | CT44 - 1   | 63,87            | 15,85                          | 1,18             | 6,9          | 1,15        | 0,23        | 3,66        | 4,62              | 2,13             | 0,33                          | 0,09        |           |
|                            | CT44 - 2   | 63,3             | 15,12                          | 0,85             | 7,85         | 1,97        | 0,27        | 3,04        | 5,15              | 2,05             | 0,26                          | 0,14        |           |
|                            | CT44 - 3   | 65,11            | 14,95                          | 1,19             | 8,09         | 1,46        | 0,1         | 3,36        | 3,21              | 2,08             | 0,32                          | 0,12        |           |
|                            | CT44 - 4   | 64,2             | 14,84                          | 1,31             | 8,59         | 1,59        | 0,18        | 3,5         | 3,17              | 2,19             | 0,3                           | 0,13        |           |
|                            | CT44 - 5   | 67,53            | 13,66                          | 1,4              | 7,58         | 0,77        | 0,1         | 2,43        | 3,18              | 2,75             | 0,46                          | 0,15        |           |
|                            | CT44 - 6   | 67,08            | 13                             | 1,35             | 8,25         | 1,17        | 0,24        | 2,29        | 3,48              | 2,61             | 0,4                           | 0,13        |           |
|                            | CT44 - 7   | 65,28            | 15,78                          | 1,18             | 6,55         | 1,05        | 0,15        | 3,64        | 4,07              | 1,84             | 0,32                          | 0,13        |           |
|                            | CT44 - 8   | 64,81            | 15,83                          | 0,93             | 7,26         | 1,3         | 0,22        | 3,63        | 3,74              | 1,86             | 0,29                          | 0,12        |           |
|                            | CT44 - 9   | 63,73            | 15,83                          | 1,06             | 7,2          | 1,45        | 0           | 3,68        | 4,02              | 2,67             | 0,28                          | 0,08        |           |
|                            | CT44 - 10  | 62,57            | 16,14                          | 1,08             | 7,87         | 1,64        | 0,18        | 3,63        | 3,4               | 2,98             | 0,4                           | 0,11        |           |
|                            | CT44 - 11  | 64,88            | 16,05                          | 0,96             | 7,24         | 1,16        | 0,23        | 3,52        | 3,61              | 1,83             | 0,38                          | 0,13        |           |
|                            | CT44 - 12  | 65,59            | 15,34                          | 0,93             | 7,21         | 1,54        | 0,1         | 3,66        | 3,16              | 2,04             | 0,35                          | 0,09        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>64,83</b>     | <b>15,2</b>                    | <b>1,12</b>      | <b>7,55</b>  | <b>1,35</b> | <b>0,17</b> | <b>3,34</b> | <b>3,73</b>       | <b>2,25</b>      | <b>0,34</b>                   | <b>0,12</b> | <b>12</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>1,45</b>      | <b>0,98</b>                    | <b>0,18</b>      | <b>0,6</b>   | <b>0,32</b> | <b>0,08</b> | <b>0,49</b> | <b>0,63</b>       | <b>0,4</b>       | <b>0,06</b>                   | <b>0,02</b> |           |
| <b>C-T47</b>               | CT47 - 1   | 68,27            | 14,85                          | 1,02             | 6,03         | 0,83        | 0,12        | 2,91        | 3,11              | 2,53             | 0,19                          | 0,15        |           |
|                            | CT47 - 2   | 66,87            | 14,74                          | 0,81             | 5,97         | 0,96        | 0,29        | 2,55        | 4,92              | 2,52             | 0,19                          | 0,18        |           |
|                            | CT47 - 3   | 68,32            | 14                             | 0,88             | 6,31         | 0,89        | 0,18        | 2,77        | 3,48              | 2,76             | 0,25                          | 0,16        |           |
|                            | CT47 - 4   | 68,36            | 13,79                          | 1,12             | 6,2          | 1,06        | 0,24        | 2,74        | 3,35              | 2,72             | 0,25                          | 0,17        |           |
|                            | CT47 - 5   | 67,34            | 13,75                          | 0,9              | 7,05         | 0,76        | 0,14        | 2,81        | 4,44              | 2,48             | 0,2                           | 0,12        |           |
|                            | CT47 - 6   | 67,37            | 13,84                          | 0,91             | 6,8          | 0,84        | 0,18        | 3,01        | 3,88              | 2,72             | 0,3                           | 0,16        |           |
|                            | CT47 - 7   | 69,09            | 13,95                          | 0,85             | 6,09         | 0,69        | 0,21        | 2,97        | 3,21              | 2,61             | 0,19                          | 0,16        |           |
|                            | CT47 - 8   | 68,08            | 14,16                          | 0,87             | 6,35         | 0,79        | 0,19        | 2,87        | 3,79              | 2,44             | 0,32                          | 0,15        |           |
|                            | CT47 - 9   | 67,99            | 14,14                          | 1,05             | 6,4          | 0,93        | 0,15        | 2,7         | 3,59              | 2,65             | 0,27                          | 0,15        |           |
|                            | CT47 - 10  | 67,7             | 14,27                          | 1,01             | 6,27         | 0,96        | 0,03        | 2,74        | 4,1               | 2,56             | 0,22                          | 0,14        |           |
|                            | CT47 - 11  | 68,07            | 14,08                          | 0,77             | 6,22         | 0,76        | 0,35        | 2,8         | 3,81              | 2,75             | 0,23                          | 0,13        |           |
|                            | CT47 - 12  | 67,89            | 14,36                          | 0,93             | 6,2          | 0,75        | 0,1         | 2,85        | 3,89              | 2,6              | 0,27                          | 0,15        |           |
|                            | CT47 - 13  | 68               | 14,15                          | 1,2              | 6,37         | 0,93        | 0,18        | 2,8         | 3,52              | 2,57             | 0,16                          | 0,12        |           |
|                            | CT47 - 14  | 68,1             | 14,21                          | 0,94             | 6,46         | 0,87        | 0,12        | 2,75        | 3,66              | 2,56             | 0,2                           | 0,14        |           |
|                            | CT47 - 15  | 68,45            | 14,24                          | 1,11             | 6,7          | 0,91        | 0,15        | 2,96        | 2,7               | 2,4              | 0,23                          | 0,15        |           |
|                            | CT47 - 16  | 69,01            | 13,83                          | 1,01             | 6,65         | 0,78        | 0,22        | 2,9         | 2,66              | 2,56             | 0,23                          | 0,16        |           |
|                            | CT47 - 17  | 68               | 14,67                          | 0,98             | 5,71         | 0,85        | 0,11        | 2,99        | 3,36              | 2,87             | 0,27                          | 0,2         |           |
|                            | CT47 - 18  | 67,41            | 13,97                          | 0,88             | 6,88         | 1,07        | 0,18        | 2,93        | 3,69              | 2,63             | 0,2                           | 0,17        |           |
|                            | CT47 - 19  | 69,21            | 13,05                          | 0,86             | 6,52         | 0,54        | 0,25        | 2,27        | 4,08              | 2,81             | 0,27                          | 0,16        |           |
|                            | CT47 - 20  | 69,73            | 14,76                          | 0,64             | 5,28         | 0,56        | 0,04        | 2,18        | 3,85              | 2,76             | 0,08                          | 0,12        |           |
|                            | CT47 - 21  | 67,86            | 14,8                           | 0,92             | 6,19         | 0,87        | 0,19        | 2,88        | 3,44              | 2,53             | 0,21                          | 0,12        |           |

continuación

**Tabla 3.** Continuación

| Muestra                    | n° muestra | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO         | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
| <i>Promedio</i>            |            | <b>68,15</b>     | <b>14,17</b>                   | <b>0,94</b>      | <b>6,32</b> | <b>0,84</b> | <b>0,17</b> | <b>2,78</b> | <b>3,64</b>       | <b>2,62</b>      | <b>0,22</b>                   | <b>0,15</b> | <b>21</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,68</b>      | <b>0,43</b>                    | <b>0,13</b>      | <b>0,4</b>  | <b>0,14</b> | <b>0,07</b> | <b>0,22</b> | <b>0,52</b>       | <b>0,13</b>      | <b>0,05</b>                   | <b>0,02</b> |           |
| <b>C-T50</b>               |            |                  |                                |                  |             |             |             |             |                   |                  |                               |             |           |
|                            | CT50 - 2   | 67,7             | 13,52                          | 1,46             | 7,69        | 0,61        | 0,21        | 2,55        | 3,19              | 2,63             | 0,31                          | 0,13        |           |
|                            | CT50 - 4   | 64,95            | 15,33                          | 0,95             | 7,43        | 1,47        | 0,28        | 3,69        | 3,25              | 2,26             | 0,26                          | 0,13        |           |
|                            | CT50 - 5   | 64,96            | 15,8                           | 0,95             | 7,28        | 1,22        | 0,09        | 3,88        | 3,69              | 1,7              | 0,32                          | 0,1         |           |
|                            | CT50 - 6   | 65,05            | 14,41                          | 1,22             | 8,56        | 1,71        | 0,14        | 3,48        | 2,85              | 2,08             | 0,35                          | 0,16        |           |
|                            | CT50 - 7   | 65,85            | 14,37                          | 0,93             | 8,01        | 1,73        | 0,18        | 3,17        | 3,07              | 2,22             | 0,35                          | 0,12        |           |
|                            | CT50 - 8   | 66,21            | 14,71                          | 1,22             | 7,51        | 1,52        | 0,32        | 3,55        | 2,63              | 1,88             | 0,35                          | 0,1         |           |
|                            | CT50 - 10  | 64,82            | 15,84                          | 1,09             | 6,5         | 1,25        | 0,14        | 3,3         | 3,52              | 3,12             | 0,34                          | 0,09        |           |
|                            | CT50 - 11  | 65,72            | 14,73                          | 1,05             | 7,36        | 1,32        | 0,23        | 3,68        | 3,51              | 2,02             | 0,28                          | 0,09        |           |
|                            | CT50 - 12  | 63,44            | 16,63                          | 0,83             | 6,58        | 1,62        | 0,16        | 3,99        | 4,39              | 1,94             | 0,35                          | 0,09        |           |
|                            | CT50 - 13  | 66,7             | 14,34                          | 1,15             | 7,28        | 1,39        | 0,06        | 2,76        | 3,55              | 2,26             | 0,42                          | 0,11        |           |
|                            | CT50 - 14  | 65,19            | 16,4                           | 0,94             | 6,36        | 1,02        | 0,1         | 3,72        | 4,17              | 1,71             | 0,27                          | 0,11        |           |
|                            | CT50 - 15  | 64,57            | 16,22                          | 1,01             | 6,43        | 1,2         | 0,21        | 3,73        | 4,35              | 1,87             | 0,28                          | 0,13        |           |
|                            | CT50 - 16  | 64,19            | 15,51                          | 1,02             | 6,64        | 1,57        | 0,24        | 3,91        | 4,68              | 1,85             | 0,27                          | 0,11        |           |
|                            | CT50 - 17  | 66,4             | 14,48                          | 0,86             | 6,36        | 1,14        | 0,24        | 3,78        | 4,27              | 2,04             | 0,37                          | 0,06        |           |
|                            | CT50 - 18  | 69,5             | 12,69                          | 1,22             | 7           | 0,61        | 0,2         | 1,82        | 3,05              | 3,35             | 0,47                          | 0,08        |           |
|                            | CT50 - 19  | 69,22            | 13,23                          | 1,25             | 7,27        | 0,34        | 0,19        | 1,94        | 2,47              | 3,59             | 0,39                          | 0,12        |           |
|                            | CT50 - 20  | 68,51            | 14,09                          | 1,25             | 6,95        | 0,56        | 0,29        | 2,35        | 2,79              | 2,64             | 0,43                          | 0,14        |           |
|                            | CT50 - 21  | 67,15            | 14,12                          | 1,51             | 7,52        | 0,89        | 0,18        | 2,61        | 2,94              | 2,57             | 0,37                          | 0,14        |           |
|                            | CT50 - 22  | 66,29            | 14,6                           | 1,25             | 7,89        | 0,94        | 0,22        | 3,04        | 2,96              | 2,28             | 0,36                          | 0,16        |           |
|                            | CT50 - 23  | 65,2             | 15,37                          | 1,14             | 7,58        | 0,94        | 0,26        | 3,2         | 3,68              | 2,17             | 0,31                          | 0,14        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>66,08</b>     | <b>14,82</b>                   | <b>1,11</b>      | <b>7,21</b> | <b>1,15</b> | <b>0,2</b>  | <b>3,21</b> | <b>3,45</b>       | <b>2,31</b>      | <b>0,34</b>                   | <b>0,12</b> | <b>20</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>1,65</b>      | <b>1,06</b>                    | <b>0,19</b>      | <b>0,6</b>  | <b>0,41</b> | <b>0,07</b> | <b>0,66</b> | <b>0,64</b>       | <b>0,53</b>      | <b>0,06</b>                   | <b>0,03</b> |           |
| <b>C-T53</b>               |            |                  |                                |                  |             |             |             |             |                   |                  |                               |             |           |
| Población-1                |            |                  |                                |                  |             |             |             |             |                   |                  |                               |             |           |
|                            | CT53 - 1   | 64,86            | 14,9                           | 1,19             | 6,32        | 2,06        | 0,15        | 4,89        | 3,69              | 1,5              | 0,35                          | 0,08        |           |
|                            | CT53 - 2   | 64,06            | 15,48                          | 1,22             | 5,91        | 2,3         | 0,32        | 4,98        | 3,9               | 1,35             | 0,39                          | 0,1         |           |
|                            | CT53 - 3   | 64,6             | 14,79                          | 1,27             | 5,63        | 2,18        | 0,07        | 4,82        | 4,65              | 1,51             | 0,38                          | 0,09        |           |
|                            | CT53 - 4   | 67,39            | 13,68                          | 1,62             | 5,82        | 1,03        | 0,1         | 3,12        | 4,37              | 2,31             | 0,42                          | 0,15        |           |
|                            | CT53 - 5   | 68,97            | 13,29                          | 1,52             | 5,64        | 0,89        | 0,22        | 2,54        | 3,53              | 2,78             | 0,45                          | 0,17        |           |
|                            | CT53 - 6   | 67,61            | 13,12                          | 1,58             | 6,74        | 1,28        | 0,21        | 3,81        | 3,14              | 1,9              | 0,48                          | 0,14        |           |
|                            | CT53 - 7   | 69               | 12,28                          | 1,56             | 6,65        | 0,9         | 0,16        | 3,41        | 3,38              | 2,03             | 0,54                          | 0,1         |           |
|                            | CT53 - 8   | 64,09            | 13,89                          | 1,7              | 7,51        | 1,19        | 0,12        | 3,9         | 5,05              | 1,96             | 0,46                          | 0,13        |           |
|                            | CT53 - 10  | 64,86            | 14,35                          | 1,27             | 6,99        | 2,03        | 0,09        | 4,83        | 3,55              | 1,61             | 0,32                          | 0,09        |           |
|                            | CT53 - 11  | 63,21            | 15,31                          | 1,16             | 6,85        | 2,11        | 0,14        | 4,79        | 4,51              | 1,54             | 0,3                           | 0,08        |           |
|                            | CT53 - 16  | 66,1             | 16,15                          | 1,04             | 4,58        | 0,6         | 0,21        | 4,14        | 5,09              | 1,6              | 0,38                          | 0,1         |           |
|                            | CT53 - 17  | 65,98            | 16,11                          | 1,05             | 4,5         | 0,61        | 0,2         | 4,69        | 4,92              | 1,53             | 0,33                          | 0,09        |           |
|                            | CT53 - 18  | 63,2             | 14,83                          | 1,21             | 7,13        | 2,19        | 0,25        | 5,06        | 4,13              | 1,46             | 0,41                          | 0,11        |           |

continuación

**Tabla 3.** Continuación

| Muestra                    | n° muestra | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO         | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
|                            | CT53 - 19  | 63,61            | 14,62                          | 1,28             | 7,31        | 2,18        | 0,12        | 5,07        | 3,97              | 1,41             | 0,32                          | 0,09        |           |
|                            | CT53 - 20  | 63,97            | 15,02                          | 1,26             | 6,61        | 2,08        | 0,29        | 4,88        | 3,86              | 1,56             | 0,38                          | 0,09        |           |
|                            | CT53 - 21  | 63,83            | 15,13                          | 1,27             | 6,44        | 2,19        | 0,12        | 5,11        | 3,89              | 1,59             | 0,34                          | 0,09        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>65,33</b>     | <b>14,56</b>                   | <b>1,33</b>      | <b>6,29</b> | <b>1,61</b> | <b>0,17</b> | <b>4,38</b> | <b>4,1</b>        | <b>1,73</b>      | <b>0,39</b>                   | <b>0,11</b> | <b>16</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>1,95</b>      | <b>1,07</b>                    | <b>0,2</b>       | <b>0,89</b> | <b>0,65</b> | <b>0,07</b> | <b>0,8</b>  | <b>0,61</b>       | <b>0,38</b>      | <b>0,06</b>                   | <b>0,03</b> |           |
| Población-2                | CT53 - 14  | 62,52            | 15,22                          | 1,37             | 7,44        | 2,5         | 0,15        | 5,46        | 3,49              | 1,44             | 0,3                           | 0,1         |           |
|                            | CT53 - 15  | 60,82            | 18,89                          | 0,69             | 4,32        | 1,31        | 0,11        | 7,77        | 4,94              | 0,78             | 0,26                          | 0,12        |           |
|                            | CT53 - 22  | 61,17            | 16,84                          | 1,37             | 6,52        | 2,32        | 0,21        | 5,03        | 4,83              | 1,33             | 0,3                           | 0,09        |           |
|                            | CT53 - 23  | 60,51            | 16,52                          | 1,4              | 6,86        | 2,34        | 0,22        | 5,18        | 5,02              | 1,46             | 0,4                           | 0,11        |           |
|                            | CT53 - 24  | 62,64            | 15,8                           | 1,35             | 7,2         | 2,7         | 0,16        | 5,19        | 3,09              | 1,32             | 0,41                          | 0,12        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>61,53</b>     | <b>16,65</b>                   | <b>1,24</b>      | <b>6,47</b> | <b>2,23</b> | <b>0,17</b> | <b>5,73</b> | <b>4,27</b>       | <b>1,26</b>      | <b>0,33</b>                   | <b>0,11</b> | <b>5</b>  |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,99</b>      | <b>1,4</b>                     | <b>0,31</b>      | <b>1,25</b> | <b>0,54</b> | <b>0,05</b> | <b>1,16</b> | <b>0,91</b>       | <b>0,28</b>      | <b>0,07</b>                   | <b>0,01</b> |           |
| <b>C-T55</b>               | CT55-2     | 69,59            | 14,64                          | 1,04             | 4,67        | 1,22        | 0,15        | 2,6         | 3,03              | 2,54             | 0,37                          | 0,16        |           |
|                            | CT55-3     | 65,19            | 15,05                          | 1,29             | 5,69        | 1,56        | 0,18        | 3,99        | 4,8               | 1,8              | 0,37                          | 0,1         |           |
|                            | CT55-4     | 65,65            | 16,05                          | 0,9              | 5,45        | 1,31        | 0,17        | 4,16        | 4,15              | 1,66             | 0,4                           | 0,1         |           |
|                            | CT55-5     | 66,8             | 14,14                          | 1,12             | 6,73        | 1,07        | 0,08        | 3,45        | 4,01              | 2,01             | 0,43                          | 0,17        |           |
|                            | CT55-8     | 63,94            | 19,64                          | 0,63             | 2,58        | 0,33        | 0,03        | 5,48        | 5,89              | 1,16             | 0,26                          | 0,05        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>66,23</b>     | <b>15,91</b>                   | <b>0,99</b>      | <b>5,02</b> | <b>1,1</b>  | <b>0,12</b> | <b>3,94</b> | <b>4,38</b>       | <b>1,83</b>      | <b>0,37</b>                   | <b>0,11</b> | <b>5</b>  |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>2,14</b>      | <b>2,2</b>                     | <b>0,25</b>      | <b>1,55</b> | <b>0,46</b> | <b>0,06</b> | <b>1,06</b> | <b>1,06</b>       | <b>0,51</b>      | <b>0,06</b>                   | <b>0,05</b> |           |
| <b>C-T61</b>               |            |                  |                                |                  |             |             |             |             |                   |                  |                               |             |           |
| Población-1                | CT61 - 1   | 63,57            | 12,68                          | 1,69             | 9,56        | 1,73        | 0,18        | 3,97        | 4,19              | 1,83             | 0,49                          | 0,09        |           |
|                            | CT61 - 3   | 63,2             | 13,37                          | 1,69             | 9,56        | 1,39        | 0,27        | 3,74        | 4,1               | 2,16             | 0,44                          | 0,08        |           |
|                            | CT61 - 4   | 64,71            | 11,84                          | 1,79             | 9,66        | 1,19        | 0,23        | 3,6         | 3,77              | 2,5              | 0,61                          | 0,11        |           |
|                            | CT61 - 5   | 64,32            | 12,9                           | 1,93             | 8,94        | 1,3         | 0,19        | 3,46        | 3,86              | 2,44             | 0,55                          | 0,09        |           |
|                            | CT61 - 13  | 63,76            | 12,74                          | 1,65             | 9,39        | 1,67        | 0,21        | 3,8         | 3,91              | 2,4              | 0,42                          | 0,06        |           |
|                            |            | <b>63,91</b>     | <b>12,71</b>                   | <b>1,75</b>      | <b>9,42</b> | <b>1,46</b> | <b>0,22</b> | <b>3,72</b> | <b>3,97</b>       | <b>2,27</b>      | <b>0,5</b>                    | <b>0,09</b> | <b>5</b>  |
|                            |            | <b>0,6</b>       | <b>0,56</b>                    | <b>0,11</b>      | <b>0,28</b> | <b>0,23</b> | <b>0,03</b> | <b>0,19</b> | <b>0,17</b>       | <b>0,27</b>      | <b>0,08</b>                   | <b>0,02</b> |           |
| Población-2                | CT61 - 2   | 62,6             | 13,78                          | 1,75             | 9,37        | 1,78        | 0,32        | 4,35        | 3,57              | 1,95             | 0,42                          | 0,11        |           |
|                            | CT61 - 6   | 62,83            | 14,59                          | 1,78             | 7,79        | 0,85        | 0,23        | 4,44        | 5,61              | 1,41             | 0,4                           | 0,07        |           |
|                            | CT61 - 8   | 60,62            | 12,84                          | 2,02             | 11,45       | 2,28        | 0,21        | 4,71        | 3,6               | 1,75             | 0,43                          | 0,09        |           |
|                            | CT61 - 9   | 60,94            | 13,03                          | 1,88             | 10,98       | 1,87        | 0,3         | 5,01        | 3,6               | 1,84             | 0,46                          | 0,08        |           |
|                            | CT61 - 10  | 60,12            | 12,69                          | 1,87             | 11,54       | 2,15        | 0,24        | 4,57        | 4,47              | 1,75             | 0,52                          | 0,08        |           |
|                            | CT61 - 11  | 62,75            | 12,11                          | 1,71             | 10,7        | 1,79        | 0,18        | 4,04        | 4,05              | 2,14             | 0,44                          | 0,1         |           |
|                            | CT61 - 12  | 62,51            | 12,42                          | 1,65             | 10,82       | 1,71        | 0,05        | 4,2         | 3,92              | 2,11             | 0,54                          | 0,09        |           |
|                            | CT61 - 14  | 60,27            | 15,62                          | 1,26             | 8,27        | 2,07        | 0,24        | 5,33        | 4,93              | 1,45             | 0,48                          | 0,07        |           |
|                            | CT61 - 15  | 58,45            | 17,8                           | 1,71             | 9,51        | 1,87        | 0,2         | 3,74        | 4,07              | 2,07             | 0,51                          | 0,09        |           |
|                            | CT61 - 17  | 60,42            | 16,23                          | 1,34             | 7,86        | 1,19        | 0,17        | 5,17        | 5,57              | 1,58             | 0,37                          | 0,1         |           |
|                            | CT61 - 18  | 62,57            | 13,41                          | 1,87             | 9,12        | 1,59        | 0,22        | 4,08        | 4,75              | 1,81             | 0,49                          | 0,09        |           |

continuación

**Tabla 3.** Continuación

| Muestra                    | n° muestra | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
| <i>Promedio</i>            |            | <b>61,28</b>     | <b>14,05</b>                   | <b>1,71</b>      | <b>9,77</b>  | <b>1,74</b> | <b>0,21</b> | <b>4,51</b> | <b>4,38</b>       | <b>1,81</b>      | <b>0,46</b>                   | <b>0,09</b> | <b>11</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>1,45</b>      | <b>1,81</b>                    | <b>0,23</b>      | <b>1,41</b>  | <b>0,41</b> | <b>0,07</b> | <b>0,5</b>  | <b>0,75</b>       | <b>0,25</b>      | <b>0,05</b>                   | <b>0,01</b> |           |
| <b>C-T62</b>               | CT62 - 1   | 51,91            | 13,63                          | 2,31             | 14,92        | 3,57        | 0,28        | 6,89        | 3,87              | 1,97             | 0,55                          | 0,11        |           |
|                            | CT62 - 2   | 52,75            | 14,05                          | 2,31             | 14,48        | 3,16        | 0,24        | 6,61        | 3,8               | 1,9              | 0,58                          | 0,11        |           |
|                            | CT62 - 3   | 52,3             | 13,39                          | 2,22             | 14,61        | 3,5         | 0,26        | 6,91        | 3,92              | 2,17             | 0,63                          | 0,09        |           |
|                            | CT62 - 4   | 51,12            | 13,76                          | 2,4              | 14,89        | 3,49        | 0,37        | 6,92        | 4,54              | 1,86             | 0,54                          | 0,11        |           |
|                            | CT62 - 5   | 51,71            | 13,69                          | 2,23             | 14,57        | 3,72        | 0,35        | 6,69        | 4,52              | 1,76             | 0,67                          | 0,09        |           |
|                            | CT62 - 6   | 52,82            | 13,99                          | 2,25             | 14,59        | 3,13        | 0,22        | 6,98        | 3,52              | 1,87             | 0,52                          | 0,11        |           |
|                            | CT62 - 7   | 53,3             | 13,64                          | 2,16             | 14,38        | 3,28        | 0,31        | 6,7         | 3,52              | 2,04             | 0,53                          | 0,12        |           |
|                            | CT62 - 8   | 52,76            | 13,41                          | 2,08             | 14,15        | 3,27        | 0,22        | 6,61        | 4,74              | 2,08             | 0,57                          | 0,11        |           |
|                            | CT62 - 9   | 53,23            | 13,44                          | 2,3              | 14,36        | 3,16        | 0,18        | 6,82        | 3,89              | 2,04             | 0,47                          | 0,11        |           |
|                            | CT62 - 10  | 53,83            | 12,67                          | 2,28             | 15,1         | 2,89        | 0,2         | 6,62        | 3,26              | 2,29             | 0,74                          | 0,12        |           |
|                            | CT62 - 11  | 53,18            | 13,4                           | 2,38             | 14,2         | 2,86        | 0,42        | 6,31        | 3,89              | 2,49             | 0,75                          | 0,13        |           |
|                            | CT62 - 12  | 52,39            | 13,48                          | 2,23             | 14,75        | 3,5         | 0,36        | 6,68        | 3,91              | 1,92             | 0,63                          | 0,15        |           |
|                            | CT62 - 13  | 51,69            | 14,24                          | 2,22             | 14,61        | 3,65        | 0,21        | 6,67        | 4,03              | 1,99             | 0,57                          | 0,11        |           |
|                            | CT62 - 14  | 51,4             | 13,36                          | 2,24             | 15,02        | 3,89        | 0,22        | 6,89        | 4,31              | 2,06             | 0,5                           | 0,11        |           |
|                            | CT62 - 15  | 52,71            | 12,42                          | 2,64             | 15,07        | 3,07        | 0,24        | 6,17        | 4,24              | 2,6              | 0,73                          | 0,11        |           |
|                            | CT62 - 16  | 51,65            | 14,07                          | 2,52             | 14,55        | 3,14        | 0,27        | 6,15        | 4,33              | 2,64             | 0,56                          | 0,13        |           |
|                            | CT62 - 17  | 51,63            | 14,33                          | 2,6              | 14,54        | 3,53        | 0,18        | 6,52        | 4,01              | 1,93             | 0,6                           | 0,12        |           |
|                            | CT62 - 18  | 51,96            | 14,02                          | 2,35             | 14,24        | 3,2         | 0,29        | 6,9         | 4,34              | 2,03             | 0,52                          | 0,14        |           |
|                            | CT62 - 19  | 51,79            | 15,02                          | 2,15             | 14,02        | 3,03        | 0,29        | 6,99        | 4,32              | 1,69             | 0,59                          | 0,12        |           |
|                            | CT62 - 20  | 51,71            | 13,86                          | 2,49             | 14,72        | 3,28        | 0,32        | 6,73        | 4,05              | 2,17             | 0,55                          | 0,12        |           |
|                            | CT62 - 21  | 52,99            | 13,63                          | 2,33             | 13,88        | 3,45        | 0,19        | 6,8         | 3,87              | 2,14             | 0,62                          | 0,1         |           |
|                            | CT62 - 22  | 52,02            | 13,87                          | 2,16             | 14,87        | 3,68        | 0,37        | 6,76        | 3,6               | 1,94             | 0,64                          | 0,11        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>52,31</b>     | <b>13,7</b>                    | <b>2,31</b>      | <b>14,57</b> | <b>3,34</b> | <b>0,27</b> | <b>6,7</b>  | <b>4,02</b>       | <b>2,07</b>      | <b>0,59</b>                   | <b>0,11</b> | <b>22</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0,73</b>      | <b>0,54</b>                    | <b>0,15</b>      | <b>0,34</b>  | <b>0,28</b> | <b>0,07</b> | <b>0,24</b> | <b>0,37</b>       | <b>0,25</b>      | <b>0,08</b>                   | <b>0,01</b> |           |
| <b>C-T63</b>               | CT63-1     | 53,97            | 12,73                          | 2,51             | 14,19        | 3,28        | 0,28        | 7,2         | 3,17              | 2,02             | 0,52                          | 0,13        |           |
|                            | CT63-2     | 55,52            | 12,76                          | 2,07             | 13,06        | 2,73        | 0,21        | 7,32        | 3,48              | 2,22             | 0,5                           | 0,13        |           |
|                            | CT63-3     | 56,22            | 13,06                          | 1,59             | 12,94        | 2,96        | 0,21        | 6,75        | 3,41              | 2,22             | 0,55                          | 0,08        |           |
|                            | CT63-4     | 56,75            | 13,49                          | 2,09             | 11,71        | 3           | 0,32        | 6,62        | 3,43              | 1,95             | 0,53                          | 0,1         |           |
|                            | CT63-5     | 55,96            | 13,51                          | 2,24             | 12,47        | 3,28        | 0,18        | 6,74        | 3,1               | 1,95             | 0,46                          | 0,11        |           |
|                            | CT63-6     | 55,54            | 13,22                          | 2,43             | 12,93        | 3,14        | 0,27        | 7,19        | 3,08              | 1,57             | 0,54                          | 0,09        |           |
|                            | CT63-7     | 56,27            | 13,25                          | 2,27             | 11,5         | 2,79        | 0,34        | 6,3         | 3,94              | 2,77             | 0,47                          | 0,1         |           |
|                            | CT63-9     | 55,65            | 13,01                          | 2,25             | 12,42        | 2,99        | 0,25        | 6,93        | 3,88              | 1,95             | 0,58                          | 0,09        |           |
|                            | CT63-10    | 55,59            | 13,01                          | 2,28             | 12,94        | 3,05        | 0,27        | 6,56        | 3,77              | 2                | 0,42                          | 0,1         |           |
|                            | CT63-11    | 56,11            | 13,32                          | 1,84             | 12,2         | 3,1         | 0,26        | 6,8         | 3,79              | 2,04             | 0,46                          | 0,09        |           |
|                            | CT63-15    | 56,46            | 13,3                           | 2,23             | 11,84        | 2,98        | 0,34        | 6,61        | 3,67              | 2,06             | 0,44                          | 0,08        |           |

continuación

**Tabla 3.** Continuación

| Muestra                                    | n° muestra | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO          | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|--|------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
|  | CT63-16    | 54,87            | 13,58                          | 2,13             | 13,07        | 3,28        | 0,34        | 6,82         | 3,41              | 1,83             | 0,53                          | 0,13        |           |
|  | CT63-17    | 55,96            | 13,19                          | 2,62             | 12,55        | 3,06        | 0,13        | 6,59         | 3,34              | 2,06             | 0,44                          | 0,07        |           |
| <i>Promedio</i>                            |            | <b>55,76</b>     | <b>13,19</b>                   | <b>2,2</b>       | <b>12,6</b>  | <b>3,05</b> | <b>0,26</b> | <b>6,8</b>   | <b>3,5</b>        | <b>2,05</b>      | <b>0,5</b>                    | <b>0,1</b>  | <b>13</b> |
| <i>Desviación estándar</i>                 |            | <b>0,72</b>      | <b>0,27</b>                    | <b>0,27</b>      | <b>0,71</b>  | <b>0,17</b> | <b>0,07</b> | <b>0,29</b>  | <b>0,29</b>       | <b>0,27</b>      | <b>0,05</b>                   | <b>0,02</b> |           |
| <b>C-T64</b>                               | CT64-1     | 58,9             | 16,2                           | 1,2              | 7,8          | 3,4         | 0,2         | 7,6          | 3,7               | 0,9              | 0,2                           | 0           |           |
|  | CT64-2     | 59               | 14,7                           | 1,1              | 9            | 4           | 0,2         | 7,2          | 3,6               | 1,1              | 0,2                           | 0,1         |           |
|  | CT64-3     | 57,5             | 15,3                           | 1,3              | 9            | 4           | 0,1         | 7,6          | 4,1               | 1,1              | 0,1                           | 0           |           |
|  | CT64-4     | 58,3             | 15                             | 1,2              | 9,1          | 3,8         | 0,1         | 7,3          | 3,8               | 1                | 0,3                           | 0           |           |
|  | CT64-5     | 58,9             | 14,5                           | 1,1              | 8,6          | 4           | 0,2         | 7,4          | 3,9               | 1,2              | 0,2                           | 0           |           |
|  | CT64-6     | 58,8             | 14,7                           | 1,1              | 8,9          | 4           | 0,2         | 7,2          | 3,6               | 1,2              | 0,3                           | 0           |           |
|  | CT64-7     | 58,5             | 14,7                           | 1,2              | 8,8          | 4,1         | 0,2         | 7,2          | 3,9               | 1,1              | 0,2                           | 0           |           |
|  | CT64-9     | 57,5             | 12,4                           | 1,7              | 12,2         | 3,6         | 0,2         | 7,1          | 3,1               | 1,8              | 0,3                           | 0,1         |           |
|  | CT64-10    | 58,1             | 13,8                           | 1,7              | 12,1         | 2,5         | 0,2         | 6,1          | 4,1               | 1                | 0,3                           | 0,1         |           |
|  | CT64-11    | 58,3             | 14,6                           | 1,2              | 9            | 4,2         | 0,2         | 7,5          | 3,6               | 1,1              | 0,2                           | 0           |           |
|  | CT64-12    | 58,1             | 15                             | 1,1              | 8,7          | 4,2         | 0,2         | 7,8          | 3,7               | 1                | 0,2                           | 0           |           |
|  | CT64-13    | 57,4             | 15                             | 1,8              | 8,6          | 4,4         | 0,2         | 7,6          | 3,8               | 1,1              | 0,2                           | 0           |           |
|  | CT64-14    | 58,4             | 15                             | 1,3              | 8,8          | 4           | 0,2         | 7,3          | 3,7               | 1                | 0,2                           | 0           |           |
|  | CT64-15    | 57,7             | 14,7                           | 2,1              | 8,6          | 4           | 0,2         | 7,4          | 4,1               | 1                | 0,1                           | 0           |           |
| <i>Promedio</i>                            |            | <b>58,3</b>      | <b>14,7</b>                    | <b>1,4</b>       | <b>9,2</b>   | <b>3,9</b>  | <b>0,2</b>  | <b>7,3</b>   | <b>3,8</b>        | <b>1,1</b>       | <b>0,2</b>                    | <b>0</b>    | <b>14</b> |
| <i>Desviación estándar</i>                 |            | <b>0,56</b>      | <b>0,82</b>                    | <b>0,32</b>      | <b>1,27</b>  | <b>0,46</b> | <b>0,03</b> | <b>0,39</b>  | <b>0,25</b>       | <b>0,2</b>       | <b>0,06</b>                   | <b>0,01</b> |           |
|  |            | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO          | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          |           |
| <b>Glass Standard</b>                      |            |                  |                                |                  |              |             |             |              |                   |                  |                               |             |           |
| Glass, Basalt NMNH 111240-52               |            | <b>50,91</b>     | <b>14,12</b>                   | <b>2,11</b>      | <b>11,6</b>  | <b>6,75</b> | <b>0,22</b> | <b>11,26</b> | <b>2,52</b>       | <b>0,18</b>      | <b>0,29</b>                   | <b>0,03</b> |           |
| VG-2 standard                              |            | <b>50,76</b>     | <b>13,92</b>                   | <b>1,48</b>      | <b>10,83</b> | <b>7,43</b> | <b>0,18</b> | <b>12,15</b> | <b>2,75</b>       | <b>0,18</b>      | <b>0,3</b>                    | <b>0,02</b> |           |
| Glass, Rhyolite NMNH 72854 VG-568 standard |            | <b>77,23</b>     | <b>12,3</b>                    | <b>0,16</b>      | <b>1,2</b>   | <b>0,04</b> | <b>0,08</b> | <b>0,48</b>  | <b>3,35</b>       | <b>5,04</b>      | <b>0,01</b>                   | <b>0,12</b> |           |
|  |            | <b>76,72</b>     | <b>12,52</b>                   | <b>0,29</b>      | <b>1,42</b>  | <b>0,08</b> | <b>0,06</b> | <b>0,42</b>  | <b>3,53</b>       | <b>4,87</b>      | <b>0</b>                      | <b>0,1</b>  |           |

**Tabla 4.** Análisis de elementos mayores por microsonda de electrones (EMPA) de las tefras preservadas en superficie. Promedio  $\pm$  1 desviación estándar, basado en n análisis.

| Muestra                    | n° muestra | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO         | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
| <b>LNN</b>                 | LNN - 1    | 66.86            | 15.96                          | 0.84             | 4.18        | 0.93        | 0.22        | 3.1         | 4.44              | 3.06             | 0.3                           | 0.12        |           |
|                            | LNN - 2    | 67.01            | 15.5                           | 0.86             | 4.28        | 1.11        | 0.09        | 3.06        | 4.56              | 3.16             | 0.22                          | 0.14        |           |
|                            | LNN - 3    | 66.26            | 15.73                          | 0.85             | 4.76        | 1.25        | 0.15        | 2.92        | 4.44              | 3.23             | 0.3                           | 0.12        |           |
|                            | LNN - 4    | 67.45            | 15.98                          | 1.01             | 3.49        | 1.11        | 0.1         | 2.66        | 4.55              | 3.26             | 0.3                           | 0.1         |           |
|                            | LNN - 5    | 65.48            | 15.37                          | 0.85             | 4.98        | 1.06        | 0.12        | 2.93        | 5.6               | 3.2              | 0.22                          | 0.18        |           |
|                            | LNN - 6    | 66.4             | 15.18                          | 0.94             | 4.79        | 1.14        | 0.05        | 3.25        | 4.66              | 3.2              | 0.23                          | 0.15        |           |
|                            | LNN - 7    | 67.13            | 14.74                          | 0.84             | 4.45        | 1.26        | 0.07        | 3.21        | 4.69              | 3.23             | 0.23                          | 0.15        |           |
|                            | LNN - 8    | 67.08            | 15                             | 0.96             | 4.68        | 1.05        | 0.15        | 3.1         | 4.33              | 3.21             | 0.3                           | 0.13        |           |
|                            | LNN - 9    | 66.93            | 14.85                          | 0.8              | 4.67        | 0.86        | 0.2         | 3.05        | 5.18              | 3.14             | 0.2                           | 0.12        |           |
|                            | LNN - 10   | 66.01            | 15.48                          | 0.74             | 4.52        | 1.11        | 0.27        | 3.16        | 5.15              | 3.14             | 0.31                          | 0.11        |           |
|                            | LNN - 11   | 66.2             | 15.57                          | 0.82             | 4.81        | 1.1         | 0.2         | 3.22        | 4.52              | 3.21             | 0.24                          | 0.11        |           |
|                            | LNN - 12   | 67.09            | 15.57                          | 0.77             | 5.03        | 1.22        | 0.08        | 3.08        | 3.76              | 3.06             | 0.18                          | 0.16        |           |
|                            | LNN - 13   | 66.69            | 15.84                          | 0.85             | 4.22        | 0.92        | 0.12        | 2.92        | 4.75              | 3.3              | 0.25                          | 0.14        |           |
|                            | LNN - 14   | 66.79            | 15.89                          | 0.9              | 4.58        | 1.28        | 0.18        | 3.22        | 3.78              | 2.96             | 0.27                          | 0.15        |           |
|                            | LNN - 15   | 67.25            | 15.37                          | 0.93             | 4.51        | 0.77        | 0.09        | 2.91        | 4.48              | 3.29             | 0.25                          | 0.13        |           |
|                            | LNN - 16   | 67.05            | 15.7                           | 0.69             | 4.21        | 1.08        | 0.21        | 3.12        | 4.44              | 3.18             | 0.2                           | 0.13        |           |
|                            | LNN - 17   | 66.27            | 15.88                          | 0.78             | 4.44        | 1.23        | 0.12        | 3.24        | 4.45              | 3.13             | 0.34                          | 0.12        |           |
|                            | LNN - 18   | 66.62            | 15.37                          | 0.81             | 5.18        | 1.1         | 0.18        | 3.24        | 3.98              | 3.16             | 0.23                          | 0.14        |           |
|                            | LNN - 19   | 66.14            | 15.49                          | 0.93             | 4.91        | 1.11        | 0.18        | 3.57        | 4.18              | 3.09             | 0.24                          | 0.17        |           |
|                            | LNN - 20   | 65.74            | 15.2                           | 0.79             | 5.23        | 1.45        | 0.24        | 3.25        | 4.51              | 3.16             | 0.25                          | 0.17        |           |
|                            | LNN - 21   | 66.13            | 15.86                          | 0.92             | 4.91        | 1.06        | 0.3         | 3.19        | 4.13              | 3.09             | 0.3                           | 0.12        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>66.6</b>      | <b>15.5</b>                    | <b>0.85</b>      | <b>4.61</b> | <b>1.1</b>  | <b>0.16</b> | <b>3.11</b> | <b>4.5</b>        | <b>3.16</b>      | <b>0.25</b>                   | <b>0.14</b> | <b>21</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>0.53</b>      | <b>0.36</b>                    | <b>0.08</b>      | <b>0.4</b>  | <b>0.15</b> | <b>0.07</b> | <b>0.18</b> | <b>0.44</b>       | <b>0.08</b>      | <b>0.04</b>                   | <b>0.02</b> |           |
| <b>LNF</b>                 | LNF - 1    | 69.54            | 15.06                          | 0.89             | 3.79        | 0.8         | 0.14        | 2.19        | 3.75              | 3.48             | 0.21                          | 0.16        |           |
|                            | LNF - 2    | 68.85            | 15.92                          | 0.97             | 3.5         | 0.55        | 0           | 2.31        | 3.94              | 3.57             | 0.19                          | 0.19        |           |
|                            | LNF - 3    | 70.73            | 15.77                          | 0.76             | 3.41        | 0.58        | 0.07        | 2.14        | 3.94              | 2.31             | 0.14                          | 0.15        |           |
|                            | LNF - 4    | 68.27            | 15.74                          | 0.78             | 3.85        | 0.93        | 0.1         | 2.8         | 4.02              | 3.13             | 0.24                          | 0.13        |           |
|                            | LNF - 5    | 67.28            | 16.48                          | 1.08             | 3.77        | 1           | 0.02        | 2.32        | 4.05              | 3.59             | 0.21                          | 0.19        |           |
|                            | LNF - 6    | 66.05            | 17.19                          | 0.94             | 4.76        | 0.99        | 0.05        | 3.09        | 4.26              | 2.24             | 0.17                          | 0.26        |           |
|                            | LNF - 7    | 70.55            | 16.16                          | 0.59             | 2.87        | 0.69        | 0.17        | 2.25        | 3.83              | 2.63             | 0.1                           | 0.16        |           |
|                            | LNF - 8    | 67.57            | 16.26                          | 0.72             | 4.38        | 1.06        | 0.1         | 2.87        | 4.38              | 2.3              | 0.24                          | 0.12        |           |
|                            | LNF - 9    | 67.89            | 15.85                          | 0.77             | 4.36        | 0.93        | 0.1         | 2.92        | 4.6               | 2.22             | 0.23                          | 0.14        |           |
|                            | LNF - 10   | 69.74            | 14.36                          | 1.19             | 4.83        | 0.54        | 0.15        | 1.83        | 4.23              | 2.73             | 0.24                          | 0.16        |           |
|                            | LNF - 11   | 69.15            | 15.5                           | 0.86             | 4.16        | 0.67        | 0.14        | 2.96        | 4.18              | 2.04             | 0.2                           | 0.14        |           |
|                            | LNF - 12   | 69.4             | 14.96                          | 0.67             | 4.47        | 0.69        | 0.16        | 2.87        | 4.21              | 2.27             | 0.16                          | 0.13        |           |
|                            | LNF - 13   | 68.55            | 15.87                          | 0.59             | 4.14        | 0.91        | 0.13        | 2.92        | 4.45              | 2.22             | 0.1                           | 0.12        |           |
|                            | LNF - 14   | 69.54            | 14.55                          | 0.69             | 4.16        | 0.93        | 0.15        | 2.29        | 4.85              | 2.56             | 0.15                          | 0.13        |           |
|                            | LNF - 15   | 69.52            | 15.27                          | 0.76             | 4.08        | 0.76        | 0.04        | 2.38        | 4.54              | 2.4              | 0.11                          | 0.14        |           |
|                            | LNF - 16   | 64.51            | 21.86                          | 0.74             | 3.36        | 0.64        | 0.2         | 2.4         | 3.55              | 2.42             | 0.13                          | 0.19        |           |
|                            | LNF - 17   | 68.73            | 16                             | 0.19             | 3.77        | 0.96        | 0           | 3.62        | 3.41              | 2.37             | 0.8                           | 0.17        |           |
|                            | LNF - 18   | 69.03            | 14.89                          | 0.24             | 3.82        | 0.96        | 0.07        | 3.53        | 4.17              | 2.24             | 0.9                           | 0.16        |           |

continuación

**Tabla 4.** Continuación

| Muestra                    | n° muestra | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO         | MgO         | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n         |
|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-----------|
|                            | LNF - 19   | 69.32            | 15.23                          | 0.15             | 4.54        | 0.85        | 0.14        | 3.31        | 3                 | 2.49             | 0.81                          | 0.18        |           |
|                            | LNF - 20   | 69.08            | 15.33                          | 0.19             | 3.68        | 0.89        | 0.14        | 3.39        | 4.04              | 2.3              | 0.79                          | 0.18        |           |
|                            | LNF - 21   | 70.83            | 14.05                          | 0.17             | 4.78        | 1.02        | 0.22        | 2.44        | 3.41              | 2.21             | 0.77                          | 0.12        |           |
|                            | LNF - 22   | 68.56            | 15.9                           | 0.17             | 4.51        | 1.01        | 0.05        | 2.22        | 3.69              | 3.04             | 0.7                           | 0.15        |           |
|                            | LNF - 23   | 72.13            | 15.11                          | 0.14             | 3.11        | 0.21        | 0.19        | 2.73        | 3.4               | 2.23             | 0.59                          | 0.16        |           |
|                            | LNF - 24   | 69.73            | 14.68                          | 0.14             | 4.2         | 0.8         | 0.21        | 2.19        | 4.33              | 2.91             | 0.69                          | 0.12        |           |
|                            | LNF - 25   | 69.92            | 14.49                          | 0.17             | 4.47        | 0.78        | 0.2         | 2.29        | 3.95              | 2.77             | 0.83                          | 0.12        |           |
|                            | LNF - 26   | 71.56            | 13.38                          | 0.21             | 4.84        | 0.67        | 0.1         | 2.68        | 3.46              | 2.06             | 0.92                          | 0.14        |           |
|                            | LNF - 27   | 68.77            | 15.29                          | 0.15             | 4.56        | 0.69        | 0.29        | 2.44        | 4.46              | 2.51             | 0.74                          | 0.09        |           |
|                            | LNF - 28   | 69.19            | 15.47                          | 0.17             | 4.68        | 0.61        | 0.17        | 2.29        | 3.85              | 2.83             | 0.61                          | 0.12        |           |
|                            | LNF - 29   | 69.3             | 15.02                          | 0.12             | 4.02        | 0.7         | 0.2         | 2.7         | 4.61              | 2.47             | 0.71                          | 0.14        |           |
|                            | LNF - 30   | 69.79            | 14.7                           | 0.15             | 3.97        | 0.91        | 0.17        | 2.65        | 4.24              | 2.58             | 0.73                          | 0.11        |           |
|                            | LNF - 31   | 69.88            | 15.26                          | 0.17             | 4.03        | 0.73        | 0.17        | 2.65        | 3.78              | 2.39             | 0.74                          | 0.19        |           |
|                            | LNF - 32   | 69.78            | 14.95                          | 0.17             | 4.07        | 0.89        | 0.16        | 2.72        | 3.79              | 2.58             | 0.74                          | 0.14        |           |
|                            | LNF - 33   | 69.81            | 15.03                          | 0.15             | 4.46        | 0.83        | 0.14        | 3.26        | 2.91              | 2.45             | 0.79                          | 0.18        |           |
|                            | LNF - 34   | 69.58            | 15.13                          | 0.18             | 3.62        | 0.87        | 0.13        | 3.35        | 3.9               | 2.26             | 0.77                          | 0.18        |           |
|                            | LNF - 35   | 71.32            | 13.85                          | 0.16             | 4.71        | 1           | 0.21        | 2.4         | 3.28              | 2.18             | 0.76                          | 0.12        |           |
|                            | LNF - 36   | 69.06            | 15.69                          | 0.17             | 4.44        | 0.99        | 0.05        | 2.19        | 3.56              | 3                | 0.69                          | 0.15        |           |
|                            | LNF - 37   | 72.59            | 14.91                          | 0.14             | 3.06        | 0.21        | 0.18        | 2.68        | 3.28              | 2.2              | 0.58                          | 0.16        |           |
|                            | LNF - 38   | 70.24            | 14.49                          | 0.14             | 4.13        | 0.79        | 0.21        | 2.16        | 4.18              | 2.86             | 0.68                          | 0.12        |           |
|                            | LNF - 39   | 70.42            | 14.31                          | 0.17             | 4.4         | 0.76        | 0.19        | 2.26        | 3.82              | 2.73             | 0.82                          | 0.11        |           |
|                            | LNF - 40   | 72.03            | 13.2                           | 0.2              | 4.77        | 0.66        | 0.1         | 2.63        | 3.34              | 2.02             | 0.9                           | 0.14        |           |
|                            | LNF - 41   | 69.27            | 15.1                           | 0.15             | 4.49        | 0.67        | 0.29        | 2.42        | 4.31              | 2.48             | 0.73                          | 0.09        |           |
|                            | LNF - 42   | 69.7             | 15.28                          | 0.17             | 4.6         | 0.6         | 0.17        | 2.25        | 3.71              | 2.79             | 0.6                           | 0.12        |           |
|                            | LNF - 43   | 69.82            | 14.83                          | 0.12             | 3.96        | 0.69        | 0.19        | 2.66        | 4.45              | 2.43             | 0.7                           | 0.13        |           |
|                            | LNF - 44   | 70.3             | 14.51                          | 0.15             | 3.91        | 0.89        | 0.17        | 2.61        | 4.09              | 2.54             | 0.72                          | 0.11        |           |
|                            | LNF - 45   | 70.37            | 15.07                          | 0.17             | 3.97        | 0.72        | 0.17        | 2.61        | 3.65              | 2.36             | 0.73                          | 0.18        |           |
|                            | LNF - 46   | 70.28            | 14.76                          | 0.17             | 4.01        | 0.87        | 0.16        | 2.68        | 3.66              | 2.54             | 0.73                          | 0.14        |           |
| <i>Promedio</i>            |            | <b>69.51</b>     | <b>15.28</b>                   | <b>0.39</b>      | <b>4.12</b> | <b>0.78</b> | <b>0.14</b> | <b>2.62</b> | <b>3.92</b>       | <b>2.54</b>      | <b>0.55</b>                   | <b>0.15</b> | <b>46</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |            | <b>1.44</b>      | <b>1.25</b>                    | <b>0.33</b>      | <b>0.49</b> | <b>0.19</b> | <b>0.07</b> | <b>0.41</b> | <b>0.44</b>       | <b>0.38</b>      | <b>0.28</b>                   | <b>0.03</b> |           |
| <b>CA</b>                  | CA - 1     | 49.49            | 15.53                          | 1.33             | 13.83       | 5.94        | 0.26        | 9.38        | 2.81              | 1.06             | 0.21                          | 0.14        |           |
|                            | CA - 2     | 49.72            | 15.09                          | 1.47             | 14.02       | 4.91        | 0.27        | 9.54        | 3.49              | 1.11             | 0.3                           | 0.09        |           |
|                            | CA - 3     | 50.18            | 15.24                          | 1.51             | 14.32       | 4.84        | 0.12        | 9.27        | 3.12              | 1.07             | 0.23                          | 0.09        |           |
|                            | CA - 4     | 50.04            | 15.47                          | 1.66             | 13.83       | 4.89        | 0.09        | 9.51        | 3.04              | 1.06             | 0.3                           | 0.11        |           |
|                            | CA - 5     | 49.98            | 15.01                          | 1.6              | 14.44       | 5.2         | 0.25        | 9.22        | 2.64              | 1.27             | 0.26                          | 0.12        |           |
|                            | CA - 6     | 50.36            | 14.89                          | 1.49             | 14.36       | 5.54        | 0.2         | 9.27        | 2.51              | 1.17             | 0.13                          | 0.09        |           |
|                            | CA - 7     | 50.5             | 14.46                          | 1.76             | 13.96       | 5.17        | 0.31        | 9.04        | 3.28              | 1.19             | 0.23                          | 0.1         |           |
|                            | CA - 8     | 51.76            | 13.59                          | 1.79             | 14.4        | 5.49        | 0.1         | 9.34        | 2.03              | 1.12             | 0.26                          | 0.12        |           |
|                            | CA - 9     | 50.44            | 15.12                          | 1.51             | 14.11       | 4.72        | 0.3         | 9.21        | 3.05              | 1.09             | 0.35                          | 0.09        |           |
|                            | CA - 10    | 50.54            | 14.85                          | 1.57             | 14.01       | 4.72        | 0.28        | 8.92        | 3.51              | 1.29             | 0.21                          | 0.11        |           |

continuación

**Tabla 4.** Continuación

| Muestra                    | n° muestra      | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO          | MnO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          | n           |
|----------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|-------------|
| <i>Promedio</i>            |                 | <b>50.3</b>      | <b>14.93</b>                   | <b>1.57</b>      | <b>14.13</b> | <b>5.14</b>  | <b>0.22</b> | <b>9.27</b> | <b>2.95</b>       | <b>1.14</b>      | <b>0.25</b>                   | <b>0.11</b> | <b>10</b>   |
| <i>Desviación estándar</i> |                 | <b>0.62</b>      | <b>0.56</b>                    | <b>0.14</b>      | <b>0.24</b>  | <b>0.41</b>  | <b>0.08</b> | <b>0.19</b> | <b>0.46</b>       | <b>0.08</b>      | <b>0.06</b>                   | <b>0.02</b> |             |
| <b>AÑ</b>                  | AN - 1          | 51.01            | 14.19                          | 2.56             | 15.4         | 3.3          | 0.25        | 6.85        | 3.73              | 1.99             | 0.62                          | 0.09        |             |
|                            | AN - 2          | 50.56            | 14.54                          | 2.46             | 15.54        | 3.26         | 0.36        | 6.7         | 4.02              | 1.82             | 0.63                          | 0.11        |             |
|                            | AN - 3          | 52.02            | 14.39                          | 2.43             | 14.8         | 3.2          | 0.39        | 6.91        | 3.14              | 2.04             | 0.55                          | 0.13        |             |
|                            | AN - 9          | 51.21            | 14.93                          | 2.25             | 15.55        | 3.15         | 0.17        | 7.08        | 3.36              | 1.75             | 0.47                          | 0.09        |             |
|                            | AN - 15         | 50.71            | 14.58                          | 2.42             | 15.19        | 3.53         | 0.25        | 6.65        | 4.19              | 1.91             | 0.5                           | 0.07        |             |
|                            | AN - 16         | 52.27            | 14.33                          | 2.38             | 14.89        | 3.47         | 0.2         | 6.96        | 2.91              | 1.86             | 0.62                          | 0.1         |             |
|                            | <i>Promedio</i> |                  | <b>52.52</b>                   | <b>14.92</b>     | <b>2.01</b>  | <b>13.74</b> | <b>3.77</b> | <b>0.23</b> | <b>7.03</b>       | <b>3.65</b>      | <b>1.61</b>                   | <b>0.44</b> | <b>0.08</b> |
| <i>Desviación estándar</i> |                 | <b>1.86</b>      | <b>0.76</b>                    | <b>0.46</b>      | <b>2</b>     | <b>0.58</b>  | <b>0.09</b> | <b>0.29</b> | <b>0.36</b>       | <b>0.41</b>      | <b>0.16</b>                   | <b>0.03</b> |             |
| <b>CU</b>                  | CU-4            | 70.7             | 15.92                          | 0.58             | 3.07         | 0.67         | 0.23        | 2.11        | 3.99              | 2.38             | 0.14                          | 0.21        |             |
|                            | CU-6            | 70.77            | 15.74                          | 0.59             | 3.17         | 0.82         | 0.19        | 2.06        | 4.11              | 2.24             | 0.17                          | 0.14        |             |
|                            | CU-7            | 72.63            | 15.09                          | 0.48             | 3.24         | 0.53         | 0.01        | 2.07        | 3.26              | 2.26             | 0.2                           | 0.22        |             |
|                            | CU-8            | 71.31            | 15.2                           | 0.79             | 3.32         | 0.69         | 0.12        | 1.97        | 3.94              | 2.31             | 0.18                          | 0.17        |             |
|                            | CU-9            | 71.02            | 15.76                          | 0.55             | 3.24         | 0.54         | 0.15        | 1.99        | 4.16              | 2.3              | 0.11                          | 0.17        |             |
|                            | CU-10           | 71.65            | 15.01                          | 0.67             | 3.17         | 0.65         | 0.18        | 1.85        | 4.05              | 2.49             | 0.12                          | 0.18        |             |
|                            | CU-13           | 72.38            | 15.11                          | 0.55             | 3.23         | 0.61         | 0.15        | 1.94        | 3.52              | 2.21             | 0.12                          | 0.17        |             |
|                            | CU-15           | 71.53            | 15.55                          | 0.47             | 2.78         | 0.49         | 0.19        | 1.86        | 4.4               | 2.49             | 0.07                          | 0.16        |             |
| <i>Promedio</i>            |                 | <b>71.5</b>      | <b>15.42</b>                   | <b>0.59</b>      | <b>3.15</b>  | <b>0.63</b>  | <b>0.15</b> | <b>1.98</b> | <b>3.93</b>       | <b>2.33</b>      | <b>0.14</b>                   | <b>0.18</b> | <b>8</b>    |
| <i>Desviación estándar</i> |                 | <b>0.71</b>      | <b>0.36</b>                    | <b>0.1</b>       | <b>0.17</b>  | <b>0.11</b>  | <b>0.07</b> | <b>0.1</b>  | <b>0.37</b>       | <b>0.11</b>      | <b>0.04</b>                   | <b>0.02</b> |             |

|   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO          | MgO         | MnO         | CaO          | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl          |
|---|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------|
| Glass Standard                                | <b>50.91</b>     | <b>14.12</b>                   | <b>2.11</b>      | <b>11.6</b>  | <b>6.75</b> | <b>0.22</b> | <b>11.26</b> | <b>2.52</b>       | <b>0.18</b>      | <b>0.29</b>                   | <b>0.03</b> |
| Glass, Basalt NMNH 111240-52<br>VG-2 standard | <b>50.79</b>     | <b>14.11</b>                   | <b>1.99</b>      | <b>11.78</b> | <b>7.15</b> | <b>0.12</b> | <b>11.29</b> | <b>2.41</b>       | <b>0.17</b>      | <b>0.15</b>                   | <b>0.05</b> |
| Glass, Rhyolite NMNH 72854<br>VG-568 standard | <b>77.23</b>     | <b>12.3</b>                    | <b>0.16</b>      | <b>1.2</b>   | <b>0.04</b> | <b>0.08</b> | <b>0.48</b>  | <b>3.35</b>       | <b>5.04</b>      | <b>0.01</b>                   | <b>0.12</b> |
|   | <b>77.14</b>     | <b>12.07</b>                   | <b>0.1</b>       | <b>1.14</b>  | <b>0.08</b> | <b>0.05</b> | <b>0.43</b>  | <b>3.8</b>        | <b>5.09</b>      | <b>0</b>                      | <b>0.1</b>  |

**Table 5.** Análisis químicos de elementos traza y tierras raras mediante ICP-MS de muestra total de las tefras de la laguna Huaca Mamuil, lago Huechulafquen, laguna Carirriñe y una muestra de superficie. Las concentraciones se expresan en ppm.

| Tefras | HM-T3  | HM-T5  | HM-T6  | HM-T7  | HM-T8  | HM-T9  | HM-T13 | H-T1   |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Rb     | 40,16  | 43,72  | 48,67  | 47,33  | 45,46  | 22,70  | 17,36  | 24,78  |
| Sr     | 252,75 | 469,13 | 459,40 | 469,65 | 510,69 | 662,83 | 483,30 | 637,89 |
| Y      | 58,83  | 48,66  | 54,62  | 53,21  | 51,86  | 40,84  | 42,20  | 39,80  |
| Zr     | 306,49 | 229,15 | 263,71 | 263,65 | 249,22 | 153,12 | 108,93 | 144,80 |
| Nb     | 9,20   | 9,41   | 9,76   | 9,94   | 9,57   | 6,75   | 2,82   | 6,14   |
| Cs     | 2,55   | 2,13   | 2,31   | 2,26   | 2,12   | 0,98   | 1,36   | 0,98   |
| Ba     | 556,82 | 477,60 | 446,04 | 438,90 | 430,16 | 316,95 | 180,14 | 309,77 |
| La     | 25,77  | 27,45  | 27,06  | 27,71  | 26,96  | 21,27  | 10,90  | 21,82  |
| Ce     | 40,41  | 42,60  | 49,36  | 49,48  | 47,76  | 36,83  | 19,81  | 35,99  |
| Pr     | 7,89   | 7,54   | 7,31   | 7,37   | 7,23   | 6,11   | 3,67   | 6,05   |
| Nd     | 39,39  | 36,18  | 34,32  | 34,22  | 33,55  | 31,06  | 20,24  | 30,58  |
| Sm     | 9,11   | 8,03   | 8,52   | 8,57   | 8,45   | 7,53   | 5,44   | 7,37   |
| Eu     | 1,65   | 1,75   | 1,81   | 1,80   | 1,82   | 1,69   | 1,23   | 1,63   |
| Gd     | 9,16   | 7,86   | 8,46   | 8,54   | 8,38   | 7,41   | 6,05   | 7,27   |
| Tb     | 1,74   | 1,43   | 1,56   | 1,53   | 1,49   | 1,33   | 1,17   | 1,29   |
| Dy     | 10,85  | 8,48   | 8,74   | 8,64   | 8,50   | 7,69   | 7,01   | 7,45   |
| Ho     | 2,34   | 1,81   | 1,95   | 1,94   | 1,86   | 1,63   | 1,52   | 1,56   |
| Er     | 6,52   | 4,91   | 5,33   | 5,26   | 5,19   | 4,32   | 4,06   | 4,16   |
| Tm     | 0,96   | 0,72   | 0,81   | 0,77   | 0,75   | 0,62   | 0,58   | 0,60   |
| Yb     | 6,36   | 4,70   | 5,13   | 5,03   | 4,87   | 3,96   | 3,66   | 3,81   |
| Lu     | 1,00   | 0,74   | 0,85   | 0,81   | 0,77   | 0,62   | 0,58   | 0,60   |
| Hf     | 8,88   | 7,10   | 6,56   | 6,45   | 6,09   | 5,18   | 3,86   | 4,89   |
| Ta     | 1,27   | 1,66   | 1,10   | 1,14   | 1,02   | 1,91   | 1,01   | 1,11   |
| Pb     | 48,15  | 51,55  | 24,74  | 24,32  | 23,70  | 20,95  | 17,85  | 35,46  |
| Th     | 6,91   | 7,32   | 7,75   | 7,66   | 7,33   | 6,38   | 1,98   | 5,98   |
| U      | 1,36   | 1,89   | 2,12   | 2,08   | 1,99   | 1,58   | 0,65   | 1,59   |

**Tabla 5.** Continuación

| Tefras | H-T3   | H-T4   | H-T5   | H-T6   | H-T7   | C-T63  | C-T64  | V-T1   | CA     |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Rb     | 16,17  | 25,45  | 24,60  | 29,51  | 25,15  | 29,16  | 18,42  | 21,26  | 17,71  |
| Sr     | 527,98 | 441,41 | 480,69 | 468,04 | 586,81 | 721,21 | 564,37 | 454,89 | 667,87 |
| Y      | 33,94  | 32,92  | 45,60  | 43,14  | 43,11  | 47,27  | 36,60  | 48,92  | 31,00  |
| Zr     | 120,84 | 69,71  | 148,14 | 112,23 | 129,19 | 140,00 | 99,43  | 125,29 | 87,66  |
| Nb     | 3,82   | 4,33   | 4,57   | 4,72   | 5,57   | 6,61   | 2,87   | 3,40   | 3,79   |
| Cs     | 0,99   | 1,09   | 1,36   | 1,48   | 1,18   | 1,09   | 1,10   | 1,52   | 1,05   |
| Ba     | 269,83 | 234,92 | 327,16 | 289,97 | 252,03 | 273,77 | 228,06 | 181,55 | 203,45 |
| La     | 13,21  | 12,98  | 16,64  | 16,35  | 17,52  | 21,40  | 12,39  | 11,35  | 13,96  |
| Ce     | 23,55  | 21,27  | 30,04  | 27,72  | 29,56  | 34,45  | 21,10  | 20,85  | 22,49  |
| Pr     | 4,21   | 3,61   | 5,50   | 4,78   | 5,04   | 5,87   | 3,78   | 3,90   | 3,82   |
| Nd     | 22,12  | 19,10  | 28,27  | 25,18  | 26,08  | 30,21  | 20,15  | 22,13  | 20,17  |
| Sm     | 5,64   | 5,11   | 7,18   | 6,82   | 7,06   | 8,07   | 5,20   | 6,67   | 5,34   |
| Eu     | 1,28   | 1,22   | 1,49   | 1,51   | 1,59   | 1,90   | 1,24   | 1,43   | 1,27   |
| Gd     | 5,93   | 5,34   | 7,60   | 6,92   | 7,18   | 8,02   | 5,58   | 7,33   | 5,33   |
| Tb     | 1,13   | 0,99   | 1,42   | 1,29   | 1,32   | 1,53   | 1,07   | 1,40   | 0,94   |
| Dy     | 6,64   | 5,67   | 8,46   | 7,36   | 7,30   | 7,99   | 6,31   | 8,09   | 5,25   |
| Ho     | 1,42   | 1,26   | 1,79   | 1,63   | 1,63   | 1,84   | 1,36   | 1,80   | 1,14   |
| Er     | 3,80   | 3,33   | 4,81   | 4,38   | 4,35   | 4,62   | 3,61   | 4,83   | 3,00   |
| Tm     | 0,55   | 0,49   | 0,69   | 0,64   | 0,65   | 0,79   | 0,53   | 0,70   | 0,43   |
| Yb     | 3,44   | 3,16   | 4,38   | 4,11   | 3,99   | 4,22   | 3,35   | 4,40   | 2,73   |
| Lu     | 0,54   | 0,51   | 0,68   | 0,65   | 0,66   | 0,79   | 0,53   | 0,70   | 0,43   |
| Hf     | 4,29   | 2,52   | 5,30   | 3,81   | 4,14   | 4,32   | 3,59   | 4,01   | 2,77   |
| Ta     | 0,85   | 2,41   | 0,73   | 1,07   | 1,12   | 1,14   | 0,83   | 0,46   | 0,60   |
| Pb     | 27,03  | 20,68  | 21,45  | 20,34  | 19,48  | 18,39  | 16,97  | 19,81  | 20,16  |
| Th     | 3,16   | 3,17   | 3,96   | 4,18   | 5,22   | 6,49   | 2,39   | 2,41   | 4,58   |
| U      | 0,96   | 0,73   | 1,08   | 1,19   | 1,46   | 1,82   | 0,71   | 0,83   | 1,47   |