

**Universidad Nacional de Río Negro**  
**Sede Alto Valle – Valle Medio**  
**Trabajo Final de la Licenciatura en Geología**

**FÁBRICA MAGNÉTICA Y PETROLOGÍA DEL COMPLEJO  
VOLCÁNICO-PLUTÓNICO HUINGANCÓ, PÉRMICO DE LA  
CORDILLERA DEL VIENTO, ANDES NEUQUINOS**

Autor: Sebastián Pernich

Directora: Claudia Zaffarana

Co-Director: Darío Orts

- 2021 -

## ÍNDICE

---

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| <b>1.0</b>  | <b>RESUMEN .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2.0</b>  | <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>3.0</b>  | <b>INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>4.0</b>  | <b>MARCO GEOLÓGICO.....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>5.0</b>  | <b>METODOLOGÍA .....</b>  | <b>10</b> |
|             | 5.1. TRABAJOS DE GABINETE PREVIOS A LAS CAMPAÑAS .....  | 10        |
|             | 5.2. TRABAJOS DE CAMPO Y ESTUDIO DE ASM.....  | 10        |
|             | 5.3. BASE TEÓRICA DEL MÉTODO DE ASM .....   | 11        |
|             | 5.4. PETROGRAFÍA, GEOCROLOGÍA Y GEOQUÍMICA.....   | 14        |
| <b>6.0</b>  | <b>RESULTADOS.....</b>  | <b>16</b> |
|             | 6.1. ESTUDIO DE IMÁGENES SATELITALES Y CARACTERÍSTICAS MESOSCÓPICAS.....  | 16        |
|             | 6.2. AFLORAMIENTOS DE LA ROCA DE CAJA DE LOS INTRUSIVOS DEL CVPH .....  | 17        |
|             | 6.3. LAS FACIES INTRUSIVAS DEL COMPLEJO VOLCÁNICO PLUTÓNICO HUINGANCÓ .....   | 20        |
|             | 6.3.1. <i>Petrografía y microestructuras de los intrusivos del CVPH</i> .....                                       | 22        |
|             | 6.4. AFLORAMIENTOS DE DIQUES ANDESÍTICOS, DACITAS ANFIBÓLICAS Y DIQUES APLÍTICOS COMO FACIES TARDÍAS DEL CVPH ..... | 25        |
|             | 6.5. ANISOTROPÍA DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA.....  | 27        |
|             | 6.5.1. <i>Fábrica magnética de la roca de caja del CVPH</i> .....   | 28        |
|             | 6.5.2. <i>Fábrica magnética de los intrusivos del CVPH</i> .....  | 29        |
|             | 6.5.3. <i>Relación entre la deformación de estado sólido y la fábrica magnética</i> .....                           | 31        |
|             | 6.5.4. <i>Mapeo de las foliaciones y lineaciones magnéticas de los intrusivos</i> .....                             | 34        |
|             | 6.5.5. <i>Fábrica magnética de las facies tardías del CVPH</i> .....  | 36        |
|             | 6.6. GEOQUÍMICA Y GEOCROLOGÍA.....  | 37        |
|             | 6.6.1. <i>Geoquímica de elementos mayoritarios</i> .....  | 38        |
|             | 6.6.2. <i>Geoquímica de elementos traza</i> .....   | 40        |
|             | 6.7. NUEVA EDAD U-Pb LA-ICP-MS DE LA FACIES GRANODIORITA DEL CVPH.....  | 43        |
| <b>7.0</b>  | <b>DISCUSION .....</b>  | <b>44</b> |
|             | 7.1. RELACIÓN ENTRE FÁBRICA MAGNÉTICA, DEFORMACIÓN REGIONAL Y ALTERACIÓN HIDROTHERMAL.....                          | 44        |
|             | 7.2. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA EDAD, PROCESOS PETROGENÉTICOS Y LA FUENTE DE LOS MAGMAS DEL CVPH.....         | 46        |
| <b>8.0</b>  | <b>CONCLUSIONES .....</b>   | <b>52</b> |
| <b>9.0</b>  | <b>AGRADECIMIENTOS.....</b>   | <b>53</b> |
| <b>10.0</b> | <b>REFERENCIAS.....</b>   | <b>54</b> |
| <b>11.0</b> | <b>ANEXO I: DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE LAS MUESTRAS.....</b>   | <b>59</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 11.1. MONZOGRANITO CVPH .....                  | 59        |
| 11.2. GRANODIORITA CVPH.....                   | 59        |
| 11.3. DIQUES ANDESÍTICOS.....                  | 61        |
| <b>12.0 APENDICE DE TABLAS Y FIGURAS .....</b> | <b>63</b> |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Tabla de sitios de ASM con su ubicación, secciones delgadas, parámetros escalares de ASM, parámetros direccionales de ASM y sitios con deformación de estado sólido. Km: susceptibilidad magnética media. K <sub>1</sub> , K <sub>2</sub> y K <sub>3</sub> : ejes mayor, medio y menor, respectivamente, de la elipse de anisotropía de susceptibilidad magnética. L: lineación magnética. F: foliación magnética. P: grado de anisotropía. Pj: grado de anisotropía corregido por Jelinek (1981). T: parámetro de forma. K <sub>1</sub> dec, K <sub>1</sub> inc: declinación e inclinación magnética del eje K <sub>1</sub> (misma correspondencia para K <sub>2</sub> y para K <sub>3</sub> ). K <sub>11</sub> , K <sub>22</sub> son los semiejes de la elipse de confianza del eje K <sub>1</sub> . K <sub>33</sub> y K <sub>12</sub> son los semiejes de la elipse de confianza del eje K <sub>2</sub> y K <sub>23</sub> y K <sub>13</sub> son los semiejes de la elipse de confianza de los ejes K <sub>13</sub> . AT: Deformación de estado sólido de alta temperatura. BTM: Deformación de estado sólido de baja temperatura moderada. BTI: Deformación de baja temperatura intensa. .... | 15 |
| Tabla 2: Análisis químicos de rocas del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó, de las facies monzogranito y granodiorita, tomados de Llambías et al. (2007), Llambías (1986) y de este trabajo.....  | 40 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Mapa estructural regional modificado de Giacosa et al. (2014) que muestra la ubicación de la Cordillera del Viento en el sector interno de la Faja Plegada y Corrida de Chos Malal, y al este de la Fosa de Loncopué. El área rectangular blanca representa la ubicación del área de estudio y del mapa geológico confeccionado en este trabajo (Figura 3). El área comprendida dentro de las líneas discontinuas rojas corresponden a la provincia geológica de la Cordillera Principal, dentro de la cual se indica la ubicación de la Precordillera Neuquina Norte (modificado de Ramos et al., 2011b). .... | 4  |
| Figura 2: Cuadro estratigráfico de las unidades del área de estudio. Modificado de Zannettini et al. (2001); Rovere et al. (2004); Llambías et al. (2007), Sagripanti et al. (2014), Giacosa et al. (2014) y Zappettini et al. (2018). 6  | 6  |
| Figura 3: A) Mapa Geológico del área de estudio con la ubicación de la sección estructural de la Figura 4B, basado en Zannettini et al. (2001); Rovere et al. (2004); Llambías et al. (2007), Sagripanti et al. (2014), Giacosa et al. (2014) y Zappettini et al. (2018). ....  | 7  |
| Figura 4: A) Fotografía panorámica de la Cordillera del Viento vista hacia el este desde la ruta provincial N°43, al oeste del río Neuquén. La línea continua roja corresponde al contacto intrusivo del CVPH sobre el Grupo Andacollo al igual que la línea continua negra. En línea discontinua negra se indica la discordancia Huárpica. B) Sección estructural del estadio deformacional del Cretácico Tardío-Paleoceno con la ubicación de la Figura 3 en sombreado blanco (basado en Rojas Vera et al., 2015). ....   | 8  |
| Figura 5: Grado de acoplamiento entre la fábrica magmática de un plutón y su roca de caja, junto con las posibles causas del mismo (Tomada de Paterson et al., 1998). ....  | 12 |
| Figura 6: Esquema de la relación entre los elipsoides de petrofábrica y elipsoides de magnetofábrica (Borradaile y Jackson 2010). ....  | 12 |
| Figura 7: Distintos tipos de magnetismo según las orientaciones de sus momentos magnéticos en ausencia de un campo magnético aplicado (Modificado de Nédélec y Bouchez 2011). A) Magnetismo de minerales paramagnéticos. B) Magnetismo de minerales diamagnéticos. C) Magnetismo de minerales ferromagnéticos puros. D) Magnetismo de minerales ferrimagnéticos. E) Magnetismo de minerales antiferromagnéticos. ....   | 14 |
| Figura 8: Composiciones RGB de la imagen ASTER del área de estudio, en particular las unidades del CVPH con la ubicación de los sitios de observación (círculos rojos) y los sitios de ASM. A) Composición RGB 431 donde se observan los contrastes de unidades en distintos colores y tonalidades. B) Composición RGB 7414. ....   | 17 |

Figura 9: A) Fotografía tomada en sentido oeste de una veta de cuarzo bandeado, con su núcleo masivo, intruyendo a la Formación Arroyo del Torreón, sobre la ladera sur del arroyo Manzano, cercanías al contacto con la facies monzogranito del CVPH. B) Contacto intrusivo entre la facies monzogranito y la Formación Huaraco. .... 19

Figura 10: Afloramiento de la Formación Huaraco sobre la ladera norte al arroyo Huaraco (37°11'31.3" S/ 70°36'43.4" O). A) Estratificación  $S_0$  N71°/24°E dentro de areniscas, vista en planta. B) Ondulas asimétricas donde se muestra la dirección de la paleocorriente N186°, con una flecha de color negro. .... 20

Figura 11: Afloramientos de la facies granodiorita del CVPH. A) Vista hacia el oeste sobre el arroyo Rahuecó de la facies granodiorita. B) Contacto neto de un dique aplítico cuarzo-feldespático que intruye a la facies granodiorita (sobre arroyo Huingancó). C) Contacto sinuoso entre la dacita anfibólica y la facies granodiorita, sobre el arroyo Huaraco. D) Enclaves microgranulares máficos de diversos tamaños inmersos en la granodiorita marcando una dirección de foliación magmática (sobre arroyo Huaraco). .... 21

Figura 12: Afloramientos de la facies monzogranito del CVPH sobre el arroyo Manzano. A) Vista hacia el este de la facies monzogranito, las formaciones Huaraco y Cordillera del Viento. B) Contacto con la Formación Huaraco. C) Dique andesítico intruyendo al monzogranito. D) Dique aplítico intruyendo al monzogranito, sitio CPH2. 22

Figura 13: Petrografía de la facies granodiorita del CVPH. A) Cristales de cuarzo con bordes aserrados (Sitio CHP7). B) Cristales de cuarzo, clorita y anfíboles (Sitio CHP18). C) Cristal de cuarzo con extinción tipo tablero de ajedrez rodeado de feldespatos potásicos y cristales de plagioclasa reemplazados a sericita (Sitio CHP9). D) Cristal de plagioclasa alterándose a sericita, rodeado de cristales de cuarzo (Sitio CHP7). E) Cristales de cuarzo de menor tamaño en comparación al resto de los minerales con contactos poligonales (Sitio CHP17). F) Textura de exsolución tipo mirmequítica, donde las partes elongadas más claras corresponden a cuarzo (Sitio CHP11). .... 23

Figura 14: Petrografía de la facies monzogranito del CVPH (Sitio CPH3). A) Cristal de plagioclasa deformado, evidenciado en el cambio de orientación de sus maclas. B) Poligonización de cristales de cuarzo. C) Grupos de minerales máficos alterados a clorita y de minerales opacos rodeados de cristales de cuarzo y feldespatos alcalinos. D) Subgranos de cuarzo con textura poligonal y cristal de microclino con textura perfitica. .... 24

Figura 15: Diagrama ternario QAP de clasificación de rocas plutónicas de la facies intrusiva del CVPH. Una sola muestra de la facies tardía (diques andesíticos) es ploteada dentro del campo de basalto/andesita, por lo que no se muestra en esta figura. .... 25

Figura 16: Petrografía de los diques andesíticos del CVPH (Sitio CPH10). A) Cristal de calcita con un cristal de epidoto en su esquina inferior izquierda. B) Textura subofítica, donde se observan las tablillas de plagioclasas y cristales de clorita. C) Grupos de epidoto. D) Cristales de ortopiroxenos. .... 27

Figura 17: Diagramas de parámetros escalares de la facies temprana (formaciones Arroyo del Torreón, Huaraco y La Premia). A) Diagrama de grado de anisotropía corregida  $P_j$  versus la susceptibilidad media  $K_m$ . B) Diagrama de parámetro de forma  $T$  versus el grado de anisotropía corregida  $P_j$ . .... 28

Figura 18: Proyecciones estereográficas de las fábricas magnéticas de la facies temprana (formaciones Arroyo del Torreón, Huaraco y La Premia). .... 29

Figura 19: Diagramas de parámetros escalares de la facies intrusiva del CVPH. A) Diagrama de grado de anisotropía corregida  $P_j$  versus la susceptibilidad media  $K_m$ . B) Diagrama de parámetro de forma  $T$  versus el grado de anisotropía corregida  $P_j$ . AT: Deformación de estado sólido de alta temperatura. BTM: Deformación de estado sólido de baja temperatura moderada. BTI: Deformación de estado sólido de baja temperatura intensa. .... 30

Figura 20: Proyecciones estereográficas y diagramas de parámetros escalares ( $K_m$ ,  $P_j$  y  $T$ ) de las fábricas magnéticas de los sitios de la facies granodiorita ordenadas según el tipo de deformación de estado sólido que presentan. Posible microestructura: AT=Posible microestructura de deformación de estado sólido de alta temperatura. Posible microestructura: BTM=Posible microestructura de deformación de estado sólido de baja temperatura moderada. .... 33

Figura 21: Proyecciones estereográficas y diagramas de parámetros escalares ( $K_m$ ,  $P_j$  y  $T$ ) de las fábricas magnéticas de los sitios de la facies monzogranito ordenadas según el tipo de deformación de estado sólido que presentan. Posible microestructura: BTM=Posible microestructura de deformación de estado sólido de baja temperatura moderada. .... 34

Figura 22: Mapas de datos direccionales de ASM del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó y su roca de caja. A) Mapa de foliaciones magnéticas. B) Mapa de lineaciones magnéticas. .... 35

Figura 23: Diagramas de parámetros escalares de las facies tardías del CVPH. A) Diagrama de grado de anisotropía corregida  $P_j$  versus la susceptibilidad media  $K_m$ . B) Diagrama de parámetro de forma  $T$  versus el grado de anisotropía corregida  $P_j$ . .....37

Figura 24: Proyecciones estereográficas y diagramas de parámetros escalares ( $K_m$ ,  $P_j$  y  $T$ ) de las fábricas magnéticas de la facies tardía del CVPH (diques andesíticos y dacitas anfibólicas). .....37

Figura 25: Diagramas de clasificación de las muestras del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó. A: Diagrama de clasificación TAS con la ubicación aproximada del Grupo Choiyoi (Rocher et al., 2015), donde se observa una correspondencia. B: Diagrama de clasificación según (Peccerillo y Taylor 1976). C: Diagrama de clasificación en base a la relación  $FeO_t/MgO$  vs.  $SiO_2$ , según Miyashiro (1974). D-K: Diagramas bivariados de elementos mayoritarios versus el contenido de  $SiO_2$ . Los valores están expresados en porcentajes en peso de óxidos. ....39

Figura 26: Diagrama de clasificación  $Nb/Y-Zr/TiO_2$  de Winchester y Floyd (1977). .....41

Figura 27: A: Diagrama de variación de REE normalizado al condrito de Sun y McDonough (1989). B: Diagrama de variación multielementos normalizado al manto primitivo de Sun y McDonough (1989). .....42

Figura 28: Diagramas de relaciones de elementos traza seleccionados. A: La relación descendiente de  $Eu/Eu^*$  sugiere fraccionamiento de plagioclasa. B: La disminución en la relación  $Dy/Yb$  vs.  $SiO_2$  sugiere fraccionamiento de anfíbol. ....42

Figura 29: A) Diagrama de concordia de Tera-Wasserburg para la relación  $^{207}Pb/^{206}Pb$  vs  $^{238}U/^{206}Pb$  de todas las muestras, donde se marcan en las elipses rojas las muestras seleccionadas y filtradas para el ploteo de la concordia. B) Detalle de la Concordia de la Figura 29A de Tera-Wasserburg para la relación  $^{207}Pb/^{206}Pb$  vs  $^{238}U/^{206}Pb$  de las muestras filtradas, con la elipse celeste correspondiente a la concordia obtenida de  $283,4 \pm 1,4$  Ma. C) Media ponderada de las edades  $^{206}Pb/^{238}U$  de los spots de los circones usados en la Concordia. ....43

Figura 30: Mapa de la provincia magmática Choiyoi (marcada en negro) y el arco magmático pérmico (marcado en rojo), donde se puede observar la ubicación relativa del Complejo Plutónico Volcánico Huingancó (este trabajo y Llambías et al., 2007), los Granitoides Mamil Choique (López De Luchi y Cerredo, 2008), el Complejo La Esperanza (Martínez Dopico et al., 2019) y las unidades de la Cordillera Frontal (Rocher et al., 2015). Modificado de (Navarrete et al., 2019) y Rocher et al. (2015). ....48

Figura 31: Diagramas para la clasificación tectónica de la fuente magmática de las rocas del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó, Complejo La Esperanza, Granitoides de Mamil Choique y del Grupo Choiyoi. A: Diagrama de Pearce et al. (1984). Se observa una correspondencia mayoritaria con los granitos de arco (VAG+syn-COLG), con escasas muestras dentro del campo de los granitos de intraplaca (WPG). B: Diagrama de Whalen et al. (1987), donde las muestras son ploteadas tanto dentro del campo de los granitos tipo I y S como dentro de los granitos tipo A. Las rocas del Complejo Huingancó son ploteadas dentro del campo de los granitos tipo I y S. ....49

Figura 32: Proporciones de elementos traza de la facies granodiorita del CVPH, las volcanitas del Grupo Choiyoi, los plutones pérmicos del Complejo La Esperanza y los plutones carboníferos-pérmicos de Mamil Choique. En los diagramas A, B y C se plotearon las unidades de composiciones intermedias. A) Diagrama de  $Ba/La$  vs.  $Th/La$ . B) Diagrama de  $Th/Hf$  vs.  $Ta/Hf$ . C) Diagrama  $La/Ta$  vs.  $SiO_2$  de todas las facies. Los diagramas son tomados de Kay et al. (2006). .....51

Figura 33: Diagramas de discriminación entre rocas de arco o de Slab Failure. A) Diagramas de clasificación de Hildebrand et al. (2018). B) Diagramas de clasificación de Whalen y Hildebrand (2019). .....52

Figura 34: Parámetros escalares y direccionales de ASM de cada sitio, por muestra.  $K_m$ : susceptibilidad magnética promedio.  $L$ : lineación magnética.  $F$ : foliación magnética.  $P$ : grado de anisotropía.  $P_j$ : grado de anisotropía corregido por Jelinek (1981).  $T$ : parámetro de forma.  $K_1$  dec,  $K_1$  inc: declinación e inclinación magnética del eje  $K_1$  (misma correspondencia para  $K_2$  y para  $K_3$ ).  $K_{11}$ ,  $K_{22}$  son los semiejes de la elipse de confianza del eje  $K_1$ .  $K_{33}$  y  $K_{12}$  son los semiejes de la elipse de confianza del eje  $K_2$  y  $K_{23}$  y  $K_{13}$  son los semiejes de la elipse de confianza de los ejes  $K_{13}$ . ....65

## 1.0 RESUMEN

El anticlinal Cordillera del Viento es un alto estructural ubicado en la Precordillera Neuquina Norte, formado durante la orogenia andina y que en su núcleo se exponen rocas ígneas y sedimentarias de ciclos orogénicos previos. Las distintas fases diastóricas dieron lugar a una variada actividad magmática, deformación y discordancias erosivas de primer orden representadas en la estratigrafía de la zona. Dentro de este contexto geológico complejo, en el flanco occidental de la Cordillera del Viento, afloran rocas del basamento paleozoico, emplazadas en una etapa de pos-orogénesis a finales del ciclo Gondwánico, del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó que está integrado por una facies granodiorita, una facies monzogranito, ignimbritas de la Formación La Premia y domos subvolcánicos riolíticos, diques andesíticos y dacitas anfibólicas. Los plutones del Complejo Plutónico Volcánico Huingancó intruyen a las volcanitas de la Formación Arroyo del Torreón y a las sedimentitas de la Formación Huaraco, ambas carboníferas y agrupadas dentro del Grupo Andacollo. En este trabajo se obtuvo una nueva datación U-Pb LA-ICP-MS en circones de las granodioritas del CVPH de  $283,4 \pm 1,4$  Ma que representa su edad de cristalización y que coincide con las edades previas disponibles para esta unidad en la bibliografía.

Con respecto a las fábricas de ASM de los plutones del CVPH, los sitios con deformación de estado sólido de alta temperatura son los que representan la fábrica original adquirida durante el emplazamiento de los plutones, ya que esta deformación está asociada al propio enfriamiento de los intrusivos. Las deformaciones de estado sólido de baja temperatura moderada e intensa que modificaron ligeramente sus fábricas magnéticas de los plutones de las dos facies se atribuyen a la orogenia Andina. Los mecanismos generadores de espacio para los plutones fueron principalmente el emplazamiento a la manera de diques amalgamados y stoping, sin producir deformación dúctil de la roca de caja. La alteración hidrotermal de los diques andesíticos de las facies tardías del Complejo Plutónico Volcánico Huingancó parece ser de edad pérmica, dado que la fábrica magnética de los diques es normal, o sea que la foliación magnética es paralela a las paredes de los diques.

Los intrusivos del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó son granitos calcoalcalinos de un ambiente de subducción, debido a la señal geoquímica dada con anomalías negativas de Nb y Ta, a la anomalía positiva de Pb y a enriquecimientos en Cs, K, La y Rb. La relación Ba/La < 20 es compatible con una fuente de tipo de intraplaca. Las relaciones Th/La altas de alrededor de 0,6 son compatibles con contaminación cortical en la fuente de los magmas.

La diferencia de más de 30 Ma entre las granodioritas y los monzogranitos del CVPH sugiere una evolución de facies que no se dio en su nivel de emplazamiento sino más bien a nivel de la fuente de los magmas. Primero se emplazó la facies granodiorita la cual experimentó mezcla de magmas máficos y félsicos en su fuente evidenciada por la presencia de enclaves microgranulares máficos en la facies granodiorita. Luego el magma restante en la cámara

magmática más profunda se hizo más félsico para luego ascender y emplazarse como la facies monzogranito alrededor de la facies granodiorita. El proceso de inyección de magma máfico continuó luego de la cristalización de la facies monzogranito evidenciado por la intrusión de diques andesíticos de la facies tardía del CVPH. Una subducción continua para finales del ciclo Gondwánico parece ser el modelo más acorde para el ambiente tectónico de estas rocas.

## 2.0 ABSTRACT

The Cordillera del Viento anticline is a structural high located in the northern part of the Neuquén Precordillera, formed during the Andean orogeny and whose core contains igneous and sedimentary rocks from previous orogenic cycles. The different diastrophic phases gave rise to a varied magmatic activity, deformation and first-order erosive unconformities represented in the stratigraphy of the area. Within this complex geological context, on the western flank of the Cordillera del Viento, rocks of the Paleozoic basement were formed post-orogenically with respect to the Gondwanic cycle. These post-orogenic rocks are known as the Huingancó Plutonic Volcanic Complex, which is integrated by a granodiorite facies, a monzogranite facies, ignimbrites of the La Premia Formation and subvolcanic rhyolitic domes, andesitic dikes and amphibole dacites. The plutons of the Huinganco Volcanic Plutonic Complex intrude the volcanites of the Arroyo del Torreón Formation and the sedimentites of the Huaraco Formation, both carboniferous and grouped within the Andacollo Group. In this work, a new U-Pb LA-ICP-MS dating was obtained in zircons of the granodiorites of the CVPH, which represents their age of crystallization and wich coincides with the previous ages available for this unit in the bibliography.

With respect to the ASM fabrics of the Huingancó Plutonic Volcanic Complex plutons, the sites with high-temperature solid-state deformation are those that represent the original fabrics acquired during the emplacement of the plutons, since this deformation is associated with the cooling of the intrusives itself. The moderate and intense low-temperature solid-state deformations that slightly modified the magnetic fabric of the plutons of the granodiorites and monzogranites of the Huingancó Plutonic Volcanic Complex are attributed to the Andean orogeny. The space-generating mechanisms for the plutons were stoping and diking of amalgamated pulses. No ductile deformation was produced in the host rock. The hydrothermal alteration of the andesitic dikes of the late facies of the Huingancó Volcanic Plutonic Complex seems to be of Permian age, since the magnetic fabric of the dikes is normal, that is, the magnetic foliation is parallel to the dikes walls.

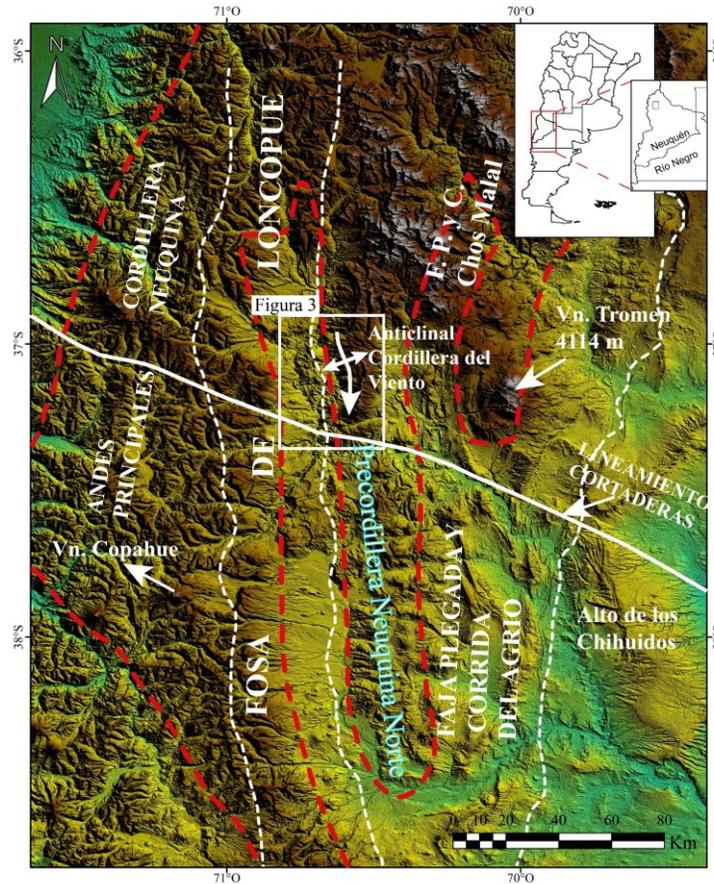
The intrusives of the Huingancó Plutonic Volcanic Complex are calcalkaline granites from a subduction environment, due to the geochemical signature given by negative Nb and Ta anomalies, the positive Pb anomaly and enrichments in Cs, K, La and Rb. The Ba / La <20 ratio is compatible with an intraplate source. High Th / La ratios of around 0.6 are compatible with crustal contamination at the source of the magmas.

The difference of more than 30 My between the granodiorites and the monzogranites of the Huingancó Plutonic Volcanic Complex suggests a facies evolution that did not occur at the site level but rather at the level of the magma source. First, the granodiorite facies was emplaced, which experienced mafic and felsic magma mingling and mixing at the source, as is evidenced by the presence of mafic microgranular enclaves. Then the remaining magma in the deepest magma chamber became more felsic and then rose and emplaced as the monzogranite facies around the granodiorite facies. The mafic magma injection process continued after the crystallization of the monzogranite facies evidenced by the intrusion of andesitic dikes of the late Huingancó Plutonic Volcanic Complex facies. A continuous subduction towards the end of the Gondwanic cycle seems to be the most suitable model for the tectonic environment of these rocks.

### 3.0 INTRODUCCIÓN

Conocer la estructura interna de los sistemas conformados por un plutón y su roca de caja permite realizar inferencias sobre las condiciones de deformación que experimentaron los plutones durante su emplazamiento. Determinar las foliaciones y lineaciones de un plutón puede ser dificultoso, porque frecuentemente se presentan como cuerpos aparentemente isotropos. Sin embargo, por más que parezcan ser homogéneos, los plutones nunca son isotropos (Bouchez 1997), ya que siempre registran una fábrica adquirida durante la etapa magmática a submagmática. El momento de adquisición de la fábrica puede precisarse mediante el estudio de las microestructuras presentes en el plutón, las cuales se clasifican como adquiridas durante la etapa magmática o durante la deformación de estado sólido de alta o de baja temperatura (por ej., Paterson et al., 1998). El método de anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM), que permite conocer las foliaciones y lineaciones de rocas débilmente deformadas, como las rocas ígneas intrusivas, es particularmente útil para complementar los estudios estructurales en los plutones (Bouchez 1997).

Este trabajo releva la estructura interna de los granitos del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó mediante el método de ASM y técnicas de geología estructural tradicional (estudios estructurales a meso y microescala). El Complejo Volcánico Plutónico Huingancó (CVPH) aflora en la Cordillera del Viento, en los Andes Neuquinos (**Figura 1**). Se trata de un conjunto de rocas intrusivas y extrusivas del Pérmico Inferior-Triásico Inferior (**Figura 2**; Llambías et al., 2007; Sato et al., 2008; Ramos et al., 2011a; Hervé et al., 2013) emplazadas en la etapa post-orogénica con respecto a la orogenia Gondwánica (Llambías et al., 2007). La fase intrusiva del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó corresponde a granodioritas y monzogranitos que intruyen a las ignimbritas y tobas de la Formación La Premia (Llambías et al., 2007; Giacosa et al., 2014). La facies extrusiva del CVPH está compuesta por las tobas e ignimbritas de la Formación La Premia, asignada a este complejo por Llambías et al. (2007). La roca de caja de los intrusivos son las lutitas y areniscas de la Formación Huaraco, las tobas de la Formación Arroyo del Torreón (ambas de edad carbonífera e integrantes del Grupo Andacollo) y la Formación La Premia (Llambías et al., 2007; Giacosa et al., 2014).



**Figura 1:** Mapa estructural regional modificado de Giacosa et al. (2014) que muestra la ubicación de la Cordillera del Viento en el sector interno de la Faja Plegada y Corrida de Chos Malal, y al este de la Fosa de Loncopué. El área rectangular blanca representa la ubicación del área de estudio y del mapa geológico confeccionado en este trabajo (**Figura 3**). El área comprendida dentro de las líneas discontinuas rojas corresponden a la provincia geológica de la Cordillera Principal, dentro de la cual se indica la ubicación de la Precordillera Neuquina Norte (modificado de Ramos et al., 2011b).

La Cordillera del Viento constituye el núcleo de un anticlinal formado durante la orogenia andina donde se preservan evidencias del ciclo orogénico Gondwanico (Paleozoico Tardío) y del ciclo orogénico Andino (Jurásico). El relevamiento de la estructura interna de los granitos paleozoicos agrega una pieza más al rompecabezas estructural que es la Cordillera del Viento, que pasó por muchas fases de deformación sucesivas (Giacosa et al., 2014). Este estudio apunta también a determinar si los intrusivos del CVPH fueron afectados por la orogenia Andina.

En este trabajo se presenta, además, una nueva edad LA-ICP-MS U/Pb para una muestra de la facies granodiorita (CPH16) que se realizó en el Laboratorio LA.TE.ANDES S.A., una empresa privada-publica (GEOMAP-CONICET), así como datos geoquímicos de dos muestras de la facies granodiorita, que se complementan con los publicados anteriormente por Llambias

(1986) y Llambías et al. (2007). La caracterización geoquímica de los intrusivos del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó permite dilucidar aspectos genéticos de los mismos, como la profundidad de emplazamiento, fuente del magma parental y relaciones entre ambas facies. Como las rocas intrusivas pérmicas presentes en la Cordillera del Viento pertenecen a la provincia magmática Choiyoi (Llambías et al., 2007), en el presente trabajo se realiza una comparación de sus datos geoquímicos con los de las rocas plutónicas y volcánicas de dicha provincia.

#### 4.0 MARCO GEOLÓGICO

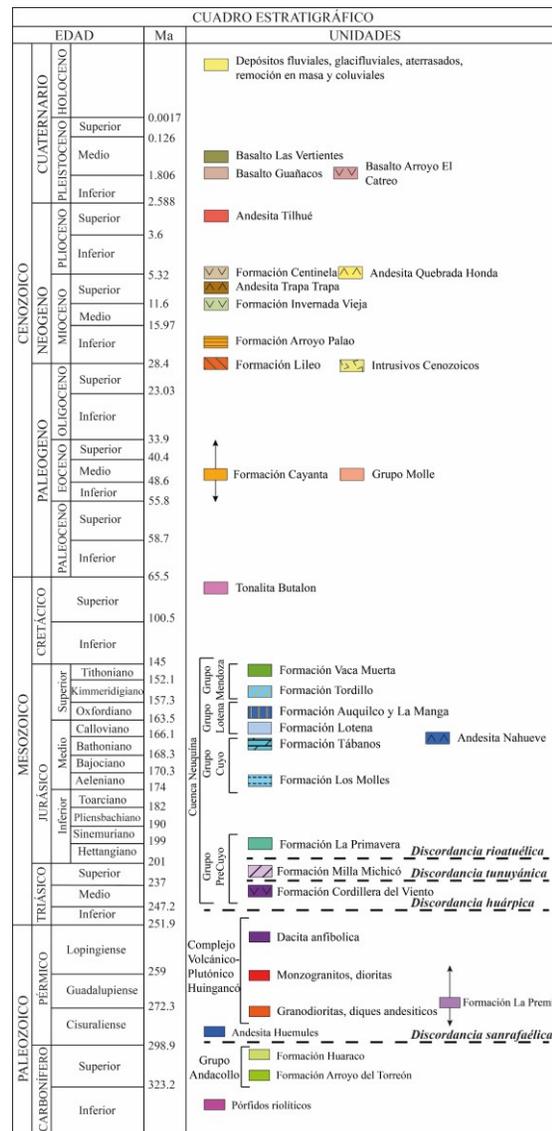
El área de estudio está ubicada en el flanco occidental del anticlinal Cordillera del Viento, entre las latitudes 36° 45' S y 37° 20' S en la provincia geológica de la Precordillera Neuquina Norte (Llambías et al., 2007; Ramos et al., 2011b; Giacosa et al., 2014). La Cordillera del Viento está separada de la Cordillera Principal al oeste por la Fosa de Loncopué, de aproximadamente 40 km de ancho, al este por la faja plegada y corrida de Chos Malal y al sur por el Lineamiento Cortaderas (**Figura 1**). Este anticlinal Cordillera del Viento se formó durante la Orogenia Andina en el Cretácico Tardío (Giacosa et al., 2014), constituyendo un alto estructural que preserva las rocas paleozoicas y mesozoicas que son objeto de estudio en este trabajo.

Las rocas más antiguas de la región corresponden al Grupo Andacollo (Rovere et al., 2004), el cual está compuesto por la Formación Arroyo del Torreón del Carbonífero Inferior (326±3 Ma; Hervé et al., 2013) y por la Formación Huaraco del Carbonífero Superior. La Formación Arroyo del Torreón está constituida por tobas dacíticas, riolíticas y andesíticas gris verdosas, rojizas y castañas, seguidas en discordancia angular por las arcilitas arenosas, lutitas, arcilitas y limolitas verde oscuras a negras de la Formación Huaraco (Rovere et al., 2004). Estas unidades son intruidas por pórfidos riolíticos con una edad de 327,9±2 Ma (Suarez et al., 2008).

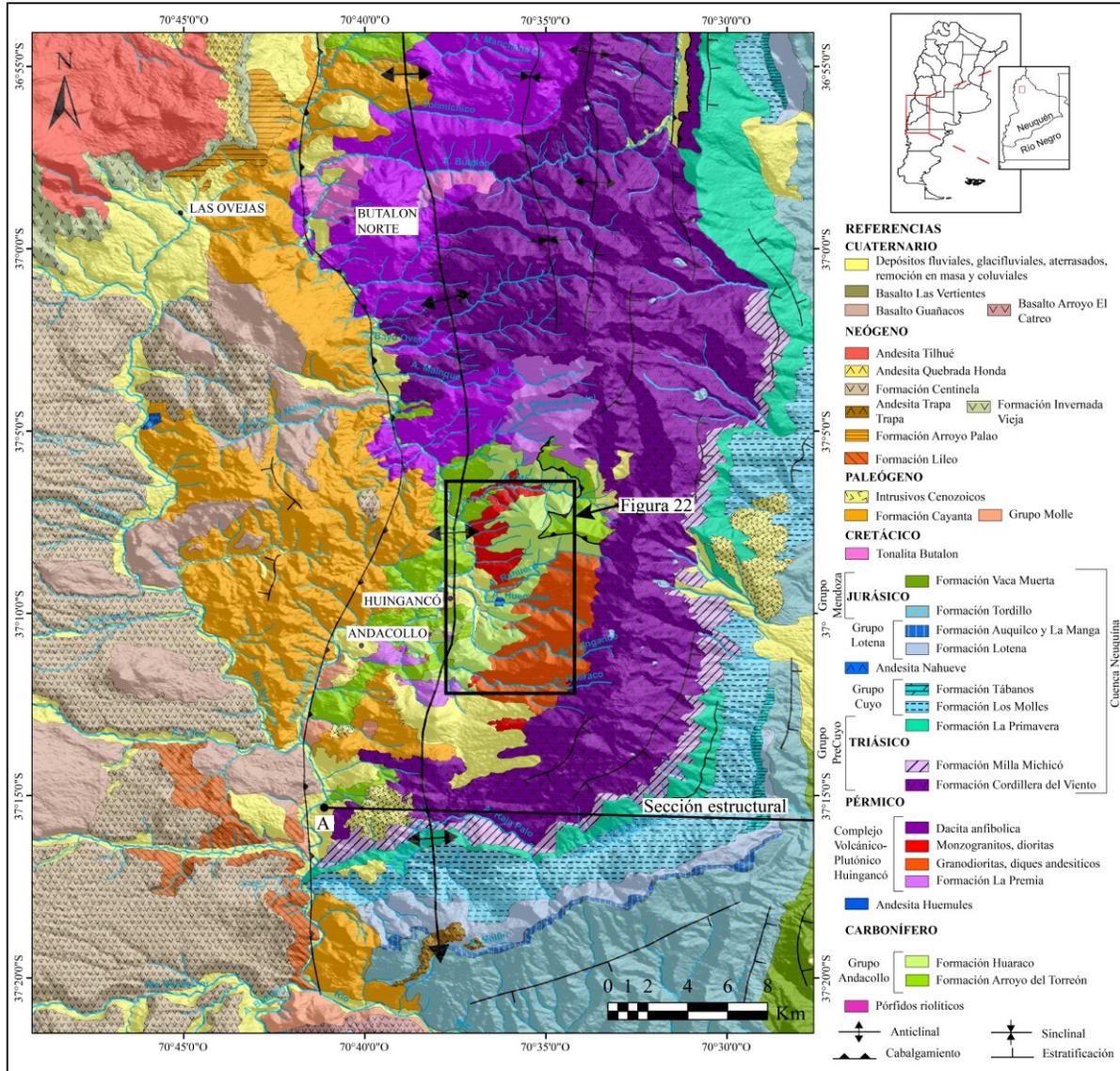
El Grupo Andacollo está intruido por el Complejo Volcánico Plutónico Huingancó (CVPH), un grupo de rocas ígneas intrusivas y extrusivas acotadas estratigráficamente entre el Pérmico Inferior y el Triásico Inferior (Llambías et al., 2007; **Figura 2**). El CVPH está expuesto en las cercanías de las localidades de Andacollo y Huingancó (**Figura 3**) y está compuesto por tres unidades (Llambías et al., 2007 incluyen los pórfidos riolíticos dentro del CVPH, pero como Suarez et al., 2008 les asignan una edad carbonífera inferior, en este trabajo no se las asigna al CVPH): 1) facies monzogranito, con una edad de 259±9 Ma (Sato et al., 2008); 2) facies granodiorita con dos edades U-Pb SHRIMP en circones de U-Pb SHRIMP 289±1 Ma (Sato et al., 2008), y 282,5±2.0 Ma (Hervé et al., 2013) con diques andesíticos que Llambías et al. (2007) asocian a la intrusión de esta facies (estos autores los describen como diques máficos pero en este trabajo se los clasifica como diques andesíticos; véase **capítulo 6.4**); y 3) ignimbritas y tobas gris verdosas a violetas de la Formación La Premia, con una edad U-Pb de 281,8±2,1 Ma (Suárez et al., 2008). Llambías et al. (2007) reconocieron xenolitos de un basamento metamórfico en la facies granodiorita. Las ignimbritas de la Formación La Premia se apoyan en discordancia angular de bajo ángulo sobre el Grupo Andacollo (**Figura 2** y **Figura 3**; Llambías et al., 2007). Ambos conjuntos están separados por la Discordancia San

Rafael (**Figura 2** y **Figura 4**). Los domos riolíticos tienen reducido tamaño (aproximadamente 2 km<sup>2</sup>) e intruyen a las rocas del Grupo Andacollo pero sin evidencias de relación con las facies monzogranito y/o granodiorita (Sato et al., 2008). Los diques andesíticos se reconocieron intruyendo a las facies monzogranito y granodiorita, así como también domos dacíticos que intruyen a ambas facies.

Las rocas del CVPH fueron afectadas por la deformación de la fase diastrófica Huárpica y cubiertas en discordancia erosiva por las secuencias de lavas bimodales andesíticas y riolíticas y flujos piroclásticos del Triásico Superior de la Formación Cordillera del Viento y las volcanitas básicas de la Formación Milla Michicó (Llambías et al., 2007).



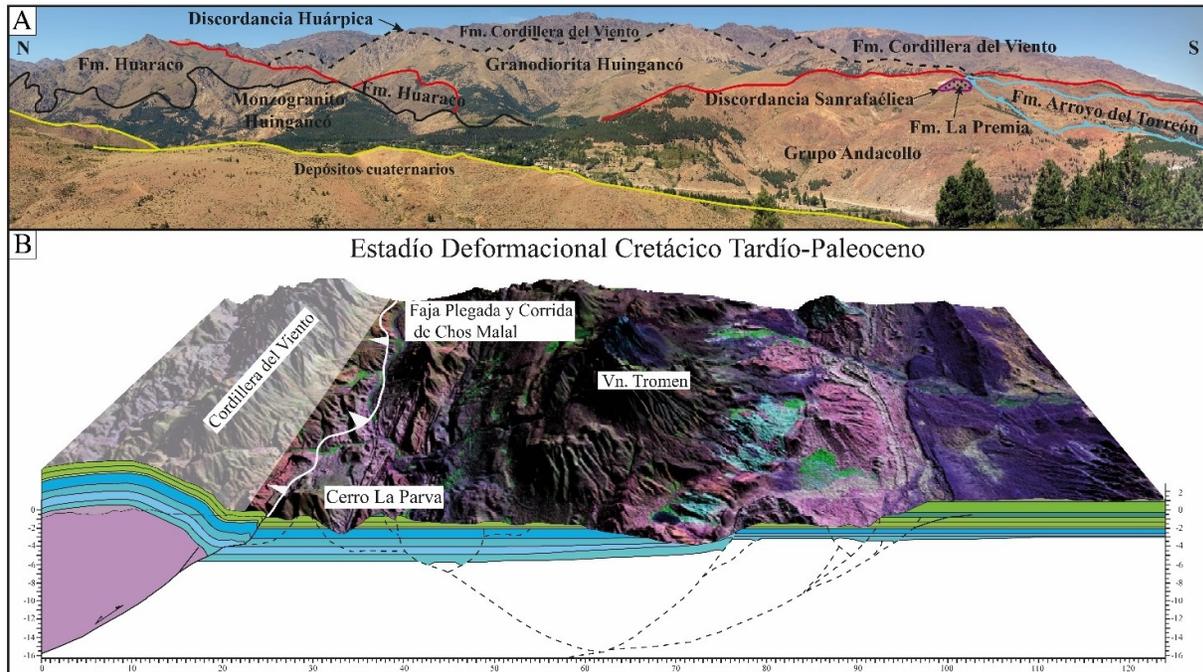
**Figura 2:** Cuadro estratigráfico de las unidades del área de estudio. Modificado de Zannettini et al. (2001); Rovere et al. (2004); Llambías et al. (2007), Sagripanti et al. (2014), Giacosa et al. (2014) y Zappettini et al. (2018).



**Figura 3:** A) Mapa Geológico del área de estudio con la ubicación de la sección estructural de la **Figura 4B**, basado en Zannettini et al. (2001); Rovere et al. (2004); Llambías et al. (2007), Sagripanti et al. (2014), Giacosa et al. (2014) y Zappettini et al. (2018).

Las volcanitas del Grupo Choiyoi representan los depósitos volcánicos provenientes del arco magmático Permo-Triásico emplazado en el margen occidental de Gondwana (por ej., Rocher et al., 2015 y referencias allí señaladas). El magmatismo del Grupo Choiyoi está comprendido entre la fase orogénica San Rafael, que produjo el plegamiento y fallamiento de las unidades pre-pérmicas y labró la discordancia homónima (discordancia Sanrafaélica; **Figura 2** y **Figura 4A**), y la fase extensional Huárpica de edad Triásica (Sato et al., 2015). Las rocas del Complejo

Volcánico Plutónico Huingancó corresponden a la fase intrusiva del Grupo Choiyoi y son los representantes de dicho grupo en el área de estudio.



**Figura 4:** A) Fotografía panorámica de la Cordillera del Viento vista hacia el este desde la ruta provincial N°43, al oeste del río Neuquén. La línea continua roja corresponde al contacto intrusivo del CVPH sobre el Grupo Andacollo al igual que la línea continua negra. En línea discontinua negra se indica la discordancia Huárpica. B) Sección estructural del estadio deformacional del Cretácico Tardío-Paleoceno con la ubicación de la **Figura 3** en sombreado blanco (basado en Rojas Vera et al., 2015).

Durante el Mesozoico se acumularon las secuencias sedimentarias de la Cuenca Neuquina que corresponden a los grupos Pre Cuyo, Cuyo, Lotena y Mendoza, que son los únicos que afloran en la zona de estudio (Turienzo et al., 2014; **Figura 3**). El grupo Pre Cuyo (o ciclo Precuyano) se desarrolló durante la etapa de rifting entre el Triásico Medio al Triásico Superior-Jurásico Inferior, asociado al desmembramiento de Gondwana (Turienzo et al., 2014). Este grupo está representado en el área de estudio por las formaciones Cordillera del Viento, Milla Michicó y La Primavera (Rovere et al., 2004; Leanza 2009 y Turienzo et al., 2014). La Formación Cordillera del Viento consta de una secuencia sinrift de basaltos, mantos andesíticos, ignimbritas riolíticas y filones capa depositados durante el Triásico medio a superior (Llambías et al., 2007; Turienzo et al., 2014). Esta unidad se apoya sobre las secuencias paleozoicas inferiores mediante la Discordancia Huarpica (**Figura 2** y **Figura 4A**; Howell et al., 2005). La Formación Milla Michicó (Triásico Superior-Jurásico Inferior) está compuesta por mantos estratificados basálticos y andesíticos y se encuentra acotada entre las discordancias Tunuyánica y Rioatuélica (Llambías et al., 2007). Luego se apoyan las

secuencias volcanoclasticas marinas y basaltos de la Formación La Primavera de edad Jurásico Inferior (Rovere et al., 2004).

El Grupo Cuyo está representado en la región por las formaciones Los Molles y Tábanos (**Figura 3**). Durante el Jurásico Medio se depositaron las turbiditas y pelitas negras marinas de la Formación Los Molles. La Formación Tábanos es la última unidad que integra al Grupo Cuyo en la zona de estudio, y consta de una secuencia de calizas, pelitas y evaporitas de edad Jurásico Medio (**Figura 2**; Rovere et al., 2004).

Sobre el Grupo Cuyo se ubica el Grupo Lotena, representado en la región por las formaciones Lotena, La Manga y Auquilco (Jurásico Medio-Jurásico Superior; **Figura 2**; Rovere et al., 2004). La Formación Lotena está compuesta por depósitos fluviales en su base, pasando a pelitas gris oscuras a verdes, arcillitas y limolitas verdosas de ambiente marino somero (Rovere et al., 2004). Sobre esta secuencia se depositaron las calizas grises azuladas e intercalaciones de areniscas de la Formación La Manga, la cual se encuentra cubierta por las areniscas yesíferas y calizas de la Formación Auquilco (**Figura 2**). Debido al escaso espesor que presentan las formaciones La Manga y Auquilco en la región, Rovere et al. (2004) agruparon a ambas unidades en el par Formación La Manga+Auquilco. Sobre el Grupo Lotena se ubica el Grupo Mendoza (**Figura 2**; Howell et al., 2005). Este grupo está representado en la zona por las areniscas rojizas de la Formación Tordillo (Jurásico Superior); y las pelitas negras bituminosas de la Formación Vaca Muerta (Jurásico Superior-Cretácico Inferior; Howell et al., 2005).

Las unidades de edad paleógena expuestas en la región, corresponden a depósitos volcánicos andesíticos y rocas plutónicas (**Figura 3** y **Figura 2**). Estas unidades son el Grupo Molle, Formación Lileo y Formación Cayanta (Rovere et al., 2004). En el área de estudio las volcanitas andesíticas de edad Eocena de la Formación Cayanta se ubican sobre el Grupo Andacollo mediante discordancia (Stoll 1957; Jordan et al., 2001; Sánchez et al., 2018; **Figura 3**). Las sedimentitas y calizas de la Formación Arroyo Palao, de edad Neógena se depositaron en discordancia sobre los depósitos volcánicos de la Formación Lileo (Rovere et al., 2004). Suprayaciendo a esta última formación se encuentran las tobas y aglomerados volcánicos de la Formación Invernada Vieja (Rovere et al., 2004). Luego por encima se ubican las andesitas y brechas andesíticas de la Andesita Trapa Trapa, sobre la cual apoyan las andesitas y basaltos de la Formación Centinela de edad Mioceno Superior (Rovere et al., 2004; Leanza et al., 2011). Suprayaciendo a esta unidad se encuentra la Andesita Tilhué, un conjunto de Intrusivos cenozoicos (Llambías et al., 2007), y la Andesita Quebrada Honda de edad Mioceno Superior.

El Distrito Minero Andacollo comprende los antiguos distritos mineros de Milla Michicó y Malal Caballo, con una superficie de 220 km<sup>2</sup>, ubicado sobre el flanco occidental de la Cordillera del Viento, al este de la localidad de Andacollo (Dicaro et al., 2020). Este distrito corresponde a un conjunto de vetas mineralizadas propias de un sistema epitermal (Giacosa 2011 ;Dicaro et al., 2020). Los fluidos hidrotermales responsables de la mineralización económica de Au y Ag

(principalmente) están asociados tanto a la intrusión de los pórfidos riolíticos y dacíticos y al plutonismo Cretácico (Giacosa 2011). La mineralización epitermal de este distrito es responsable de una intensa zona de alteración propilítica, silícica, argílica y sericítica, aunque las dos últimas están presentes en menor medida. Las zonas de alteración están afectando a las rocas del Grupo Andacollo (roca de caja), y a los plutones pérmicos del CVPH, principalmente (Giacosa 2011 ;Dicaro et al., 2020).

Los depósitos cuaternarios presentes en la zona de estudio corresponden a coladas basálticas y tobas andesíticas del Basalto El Catreo, Basalto Guañacos y Basalto Las Vertientes; y depósitos sedimentarios continentales, glaciafluviales, aluviales y de remoción en masa, más modernos (**Figura 3**; Rovere et al., 2004).

## 5.0 METODOLOGÍA

### 5.1. Trabajos de gabinete previos a las campañas

Se realizó la recopilación bibliográfica de las unidades de interés y del área de estudio. Luego se procedió a interpretar imágenes satelitales ASTER para precisar el mapeo de las unidades pertinentes a este trabajo (véase **capítulo 6.1**). Las imágenes ASTER son de acceso libre y fueron obtenidas desde la página web del USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). El procesamiento de estas se llevó a cabo mediante el software ENVI 4.7. Los mapas mostrados en este trabajo fueron realizados en conjunto con el software Global Mapper 17 y ArcGIS 10.3. Se utilizó la imagen AST\_L1T\_00312162007145207\_20150522100203\_7226 corregida a radiancia y se generaron las composiciones RGB 4:3:1 y 7:4:14 (véase **capítulo 6.1**).

### 5.2. Trabajos de campo y estudio de ASM

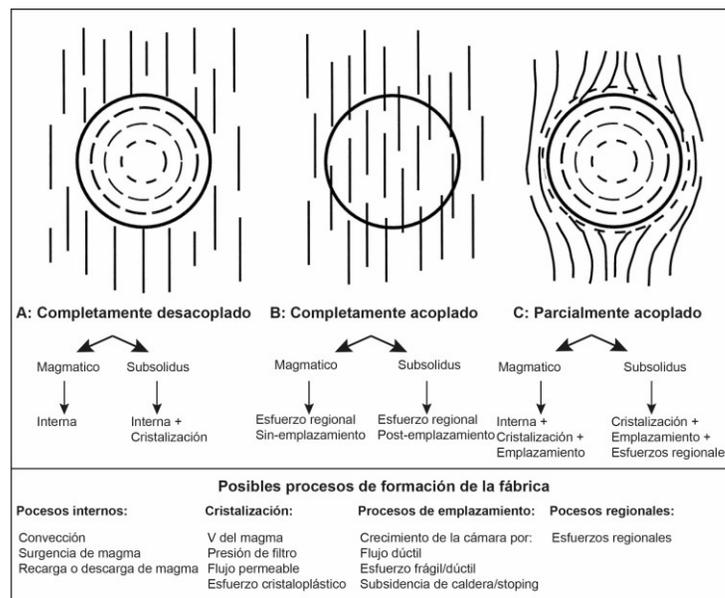
La obtención de los cilindros testigo necesarios para el estudio de ASM se llevó a cabo en tres campañas, durante el mes de febrero de 2018, el mes de noviembre de 2019 y durante febrero de 2020. Los cilindros testigo fueron obtenidos mediante una perforadora portátil y un orientador magnético mediante el cual los cilindros son retirados orientados. La ubicación de los cilindros testigo se muestra en la **Tabla 1**. Además, se generó un relevamiento geológico de las unidades de estudio y de estructuras aflorantes en el flanco occidental de la Cordillera del Viento. Los datos de relevamiento geológico obtenidos en las campañas fueron procesados para el desarrollo del mapa geológico con el objetivo de mapear con el mayor detalle posible las unidades y estructuras regionales y de interés del área de estudio.

Idealmente el muestreo para los estudios de ASM en plutones se llevan a cabo según grillas con estaciones de muestreo de 1 km x 1 km (Bouchez 1997). De esta forma se puede realizar un mapa de foliaciones y lineaciones detallado tanto dentro como fuera del plutón. Debido a las características del afloramiento de los intrusivos del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó, a la escarpada pendiente de la Cordillera del Viento y dificultades de acceso a los afloramientos, en este trabajo se realizó un muestreo lo más homogéneo posible, principalmente siguiendo caminos y el cauce de arroyos. En cada uno de los 27 sitios de

muestreo de ASM se tomaron un mínimo de 5 cilindros orientados, mediante una perforadora portátil adaptada, dando un total de 139 cilindros. La preparación de los cilindros testigo (rebanado a cilindros de 2,2 cm de largo) se realizó en el Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG) de la localidad de General Roca, Río Negro. Las mediciones de ASM se realizaron en el IGEBA (Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, usando un susceptibilímetro Kappabridge MFK-1B. La medición de los cilindros de ASM constituyó la pasantía profesional supervisada (PPS) del autor de este trabajo final de licenciatura. El procesamiento de los datos de ASM se llevó a cabo mediante el software Anisoft 4.2 de la empresa Agico (<https://www.agico.com/text/software/anisoft/anisoft.php>).

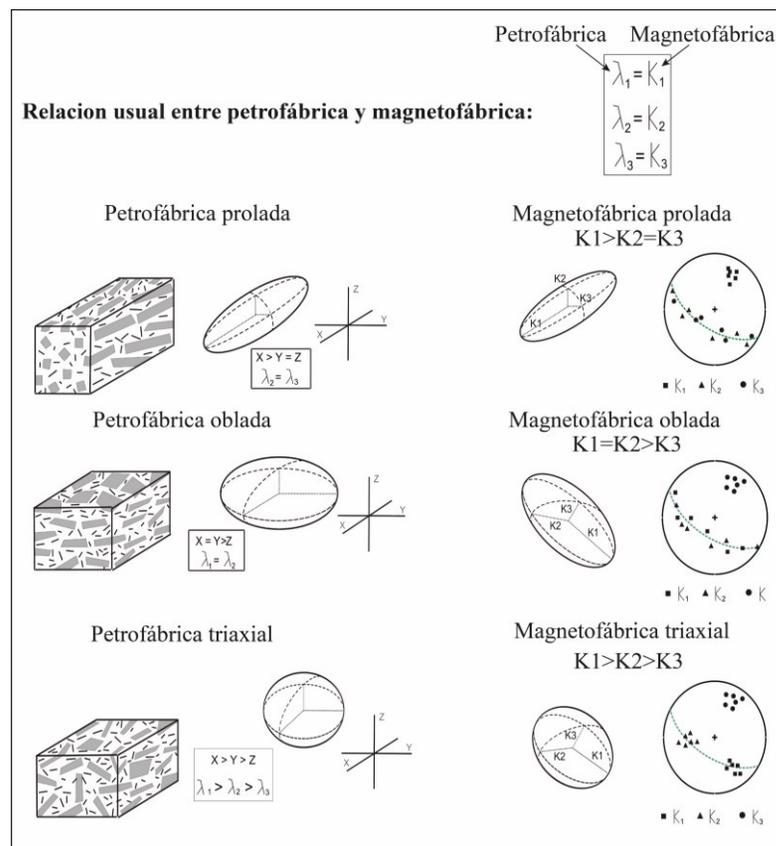
### 5.3. Base teórica del método de ASM

Según Paterson et al. (1998) las fábricas de los plutones pueden separarse en tres grupos, las fábricas tipo “cebolla” o “capas de cebolla” con orientaciones paralelas a subparalelas con respecto al margen del plutón, que son asociadas a intrusivos de forma circular a elípticos y se dice en este caso que la fábrica del plutón se encuentra desacoplada de su roca de caja (**Figura 5A**). Un segundo tipo de fábrica magmática es aquella en la cual la fábrica del intrusivo coincide con la propia de su roca hospedante, y en este caso se dice que las fábricas están acopladas (**Figura 5B**). Una tercera fabrica es una combinación de las dos anteriores y está representada en la **Figura 5C**. Como las rocas plutónicas pueden presentar una combinación de estos tres tipos de fábricas descriptos, para determinar el patrón de fábrica magmática propia del intrusivo se debe realizar una comparación estructural de la fábrica dentro del plutón y de la fábrica de su roca de caja y con las orientaciones de estructuras regionales (Paterson et al., 1998).



**Figura 5:** Grado de acoplamiento entre la fábrica magmática de un plutón y su roca de caja, junto con las posibles causas del mismo (Tomada de Paterson et al., 1998).

Las fábricas de los cuerpos graníticos también pueden ser magmática pura, de deformación en estado sólido de alta temperatura o de deformación en estado sólido de baja temperatura (Paterson et al., 1989). Como señalara Bouchez (1997), el método de ASM puede detectar fábricas bien definidas aún en cuerpos aparentemente isótropos. La lineación magnética está representada por la orientación del eje de máxima susceptibilidad magnética  $K_1$  y el eje de susceptibilidad mínima  $K_3$  representa el polo de la foliación magnética. Por lo tanto, la utilidad del método de ASM se basa en trazar una correlación entre los ejes del elipsoide de susceptibilidad magnética que representan una fábrica magnética ( $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$ ) y los ejes del elipsoide de deformación ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  y  $\lambda_3$ ; **Figura 6**; por ej., Borradaile y Jackson 2010). Así, a magnetofábricas proladadas se le suelen asociar petrofábricas proladadas, y a magnetofábricas aplastadas u obladadas se le suelen asociar petrofábricas obladadas (**Figura 6**). El método de ASM es particularmente útil para determinar la lineación de las rocas plutónicas, ya que la lineación magmática es muy difícil de observar a ojo desnudo en los plutones. La lineación magnética de origen magmático se suele interpretar, usualmente, como la dirección de flujo del magma (por ej. Bouchez 1997).



**Figura 6:** Esquema de la relación entre los elipsoides de petrofábrica y elipsoides de magnetofábrica (Borradaile y Jackson 2010).

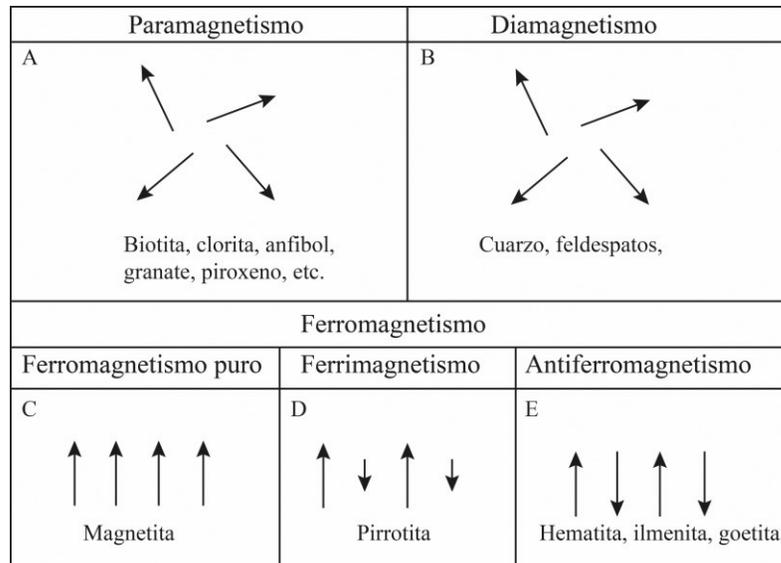
La anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) determina la fábrica magnética de una roca mediante la orientación preferencial de los minerales portadores de la anisotropía magnética de las rocas. Se recurre a la propiedad de las rocas de adquirir una magnetización ( $M$ ) a partir de un campo inducido ( $H$ ). Este método está basado en la medición de la susceptibilidad magnética  $K$  de una muestra cilíndrica en distintas direcciones y en la relación entre la magnetización y el campo magnético inducido, donde  $M = K \times H$ .

La susceptibilidad magnética es una propiedad intrínseca del material que varía con la dirección de observación, y por ende se describe matemáticamente como un tensor que puede ser representado gráficamente como un elipsoide cuyos ejes  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$  corresponden a los ejes de susceptibilidad máxima, intermedia y mínima (véase Porquet et al., 2017 y las referencias allí citadas). Los ejes del elipsoide de anisotropía de susceptibilidad magnética son, matemáticamente, los autovectores que diagonalizan al tensor de susceptibilidad magnética. La susceptibilidad magnética promedio  $K_m$  es el promedio del módulo de los vectores  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$ :  $K_m = (K_1 + K_2 + K_3)/3$ .

La forma del elipsoide de susceptibilidad magnética está reflejada mediante el parámetro de forma, mientras que el parámetro  $P_j$  refleja la intensidad de la deformación e indica el grado de anisotropía de la fábrica, y se define como  $P_j = \sqrt{\{2[(n_1 - n)^2 + (n_2 - n)^2 + (n_3 - n)^2]}\}$  y  $n = (n_1 + n_2 + n_3)/3$ , donde  $n_1$ ,  $n_2$  y  $n_3$  son los logaritmos de las susceptibilidades  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$ , respectivamente (Jelinek 1981).

El ASM depende del comportamiento de los minerales y existen tres tipos de respuestas de los minerales cuando se los somete a campos magnéticos bajos: paramagnéticos, ferromagnéticos y diamagnéticos (Tauxe 2005). Los minerales paramagnéticos poseen una susceptibilidad magnética débilmente positiva debido a la presencia de hierro en la estructura de los silicatos, como la biotita, el anfíbol y cloritas, estas últimas producto de la alteración de las biotitas y anfíboles en rocas ígneas plutónicas. Los minerales diamagnéticos, son el cuarzo, los feldespatos, los sulfuros, etc., minerales que en respuesta a un campo magnético aplicado adquieren una magnetización de intensidad débil y en dirección opuesta al campo magnético aplicado (Bouchez 1997). El tercer grupo de minerales, los minerales ferromagnéticos, tienen la capacidad de adquirir magnetismo remanente, como lo son la magnetita, ilmenita, hematita y pirrotina. La magnetita y la pirrotina tienen una susceptibilidad magnética altamente positiva.

La susceptibilidad magnética total de las rocas está dada por el comportamiento de los minerales magnéticos presentes en la roca (para-, dia- y ferromagnéticos), aunque los minerales ferromagnéticos suelen ser los que más aportan a la susceptibilidad magnética total de las rocas (Tauxe 2005). Tanto los minerales paramagnéticos como diamagnéticos pierden el magnetismo cuando el campo magnético se apaga, por eso adquieren una magnetización de tipo inducida. Esto no ocurre con los minerales ferromagnéticos, que poseen un magnetismo tanto en presencia como en ausencia de un campo magnético aplicado, por eso su magnetización es de tipo remanente (o sea que perdura, como su nombre lo indica, véase la **Figura 7**).



**Figura 7:** Distintos tipos de magnetismo según las orientaciones de sus momentos magnéticos en ausencia de un campo magnético aplicado (Modificado de Nédélec y Bouchez 2011). A) Magnetismo de minerales paramagnéticos. B) Magnetismo de minerales diamagnéticos. C) Magnetismo de minerales ferromagnéticos puros. D) Magnetismo de minerales ferrimagnéticos. E) Magnetismo de minerales antiferromagnéticos.

Como se menciona anteriormente, la ASM de una roca depende directamente de su composición mineralógica. Las abundancias relativas de los minerales con hierro en su estructura impactarán en el valor de la Km total de la roca, de modo que la roca resultante tendrá un valor de Km similar al del mineral magnético predominante. Así, a las rocas con un valor de  $Km < 4 \times 10^{-4}$  se las denomina *paramagnéticas*, mientras que, a priori, a rocas cuya Km tenga valores mayores a ese umbral se las denomina como rocas *ferromagnéticas* (Bouchez 2000).

#### 5.4. Petrografía, geocronología y geoquímica

Las descripciones petrográficas y de afloramientos de las rocas del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó y su roca de caja, se llevaron a cabo en los 27 sitios para estudios de ASM que se tomaron, de los cuales se confeccionaron 18 secciones delgadas pertenecientes a las muestras recolectadas del CVPH (**Tabla 1**). Los porcentajes modales de los minerales se estimaron visualmente en las secciones delgadas mediante el conteo de las modas mineralógicas. Se realizaron análisis de microestructuras en las secciones delgadas de las facies monzogranito y granodiorita del CVPH, con el fin de determinar si estas rocas presentan evidencias de deformación en estado sólido de alta o de baja temperatura.

La edad LA-ICP-MS U/Pb de una muestra de la facies granodiorita (CPH16) se realizó en el Laboratorio LA.TE.ANDES S.A., una empresa mixta estatal-privada (GEOMAP-CONICET). Los datos geocronológicos fueron procesados mediante el complemento para Microsoft Excel,

Isoplot 4.15. Con respecto a los análisis químicos, los elementos mayoritarios y traza de roca total fueron determinados en el Acme Analytical Laboratories (Acmelabs), Vancouver, Canadá, con el código de procedimiento LF200. Los elementos mayoritarios y minoritarios fueron determinados mediante ICP-OES (Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy), y los elementos traza (Ba, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sr, Ta, Th, U, V, Zr, Y y REEs) mediante ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry).

| Sitio | Corte delgado | GPS                           | Litología              | N  | Km                     | K1    | K2    | K3    | L     | F     | P     | Pj    | T      | K1d   | K1i  | C1d  | C1i  | K2d   | K2i  | C2d  | C2i  | K3d   | K3i  | C3d  | C3i  | Deformación de estado sólido |
|-------|---------------|-------------------------------|------------------------|----|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------------------------------|
| CPH1  | CPH1          | 37°7'49,7" S / 70°37'22,9" O  | Monzogranito CVPH      | 6  | 0.631x10 <sup>-4</sup> | 1.011 | 1.006 | 0.983 | 1.004 | 1.023 | 1.028 | 1.03  | 0.68   | 171.2 | 62.1 | 61   | 22.3 | 288.9 | 13.8 | 61.3 | 12.3 | 25.1  | 23.7 | 25.3 | 14.5 | AT                           |
| CPH2  | CPH2          | 37°6'47,3" S / 70°36'49" O    | Monzogranito CVPH      | 8  | 0.545x10 <sup>-4</sup> | 1.009 | 1.003 | 0.988 | 1.006 | 1.016 | 1.022 | 1.022 | 0.457  | 215.7 | 38.1 | 44.4 | 10.1 | 321.1 | 18.6 | 46.5 | 14.6 | 71.4  | 46   | 29.6 | 8.1  | AT                           |
| CPH3  | CPH3          | 37°6'50,4" S / 70°37'3,2" O   | Monzogranito CVPH      | 9  | 0.406x10 <sup>-4</sup> | 1.004 | 1.001 | 0.996 | 1.003 | 1.005 | 1.008 | 1.008 | 0.205  | 197.7 | 23   | 50.5 | 21.2 | 317.5 | 49.5 | 52.1 | 27.1 | 92.8  | 31.3 | 34.7 | 22   | BTI                          |
| CPH4  | CPH4          | 37°8'31,9" S / 70°36'33,8" O  | Monzogranito CVPH      | 6  | 3.97x10 <sup>-4</sup>  | 1.012 | 1.002 | 0.986 | 1.01  | 1.015 | 1.026 | 1.026 | 0.187  | 248.1 | 57.1 | 32.8 | 9.6  | 92.3  | 30.5 | 34.2 | 20.6 | 355.6 | 11   | 24.9 | 13.3 | BTI                          |
| CPH5  | CPH5          | 37°10'46" S / 70°35'15" O     | Granodiorita CVPH      | 11 | 5.16x10 <sup>-4</sup>  | 1.008 | 0.998 | 0.994 | 1.01  | 1.003 | 1.013 | 1.014 | -0.498 | 188.2 | 27.7 | 22.9 | 18.6 | 64.3  | 46.8 | 52.9 | 18.6 | 296   | 30.2 | 53.1 | 21.5 | AT                           |
| CPH6  | CPH6          | 37°10'53,3" S / 70°34'56,4" O | Granodiorita CVPH      | 10 | 11.5x10 <sup>-4</sup>  | 1.005 | 1.003 | 0.992 | 1.002 | 1.012 | 1.014 | 1.015 | 0.698  | 359.9 | 36.4 | 70.6 | 34   | 174.6 | 53.5 | 70.5 | 25.6 | 268   | 2.5  | 36.9 | 25.6 | -                            |
| CPH7  | CPH7          | 37°11'7,6" S / 70°34'37" O    | Granodiorita CVPH      | 10 | 14.7x10 <sup>-4</sup>  | 1.007 | 1.033 | 0.99  | 1.005 | 1.013 | 1.017 | 1.018 | 0.46   | 206.3 | 12   | 50.9 | 19.1 | 296.4 | 0.2  | 50.4 | 38.5 | 27.2  | 78   | 39.7 | 19.7 | BTM                          |
| CPH8  | CPH8          | 37°9'43,8" S / 70°35'31,7" O  | Granodiorita CVPH      | 10 | 6.13x10 <sup>-4</sup>  | 1.017 | 1     | 0.983 | 1.017 | 1.017 | 1.034 | 1.034 | 0.012  | 217.7 | 63.1 | 21   | 8.2  | 310.4 | 1.3  | 21   | 6.7  | 41.1  | 26.9 | 19.2 | 9.5  | BTM                          |
| CPH9  | CPH9          | 37°9'46" S / 70°35'26,6" O    | Granodiorita CVPH      | 9  | 49x10 <sup>-4</sup>    | 1.014 | 1     | 0.986 | 1.014 | 1.014 | 1.028 | 1.028 | 0.018  | 215.8 | 76.5 | 13.5 | 11.8 | 347.1 | 9    | 14   | 10.9 | 78.6  | 9.9  | 16.4 | 6.8  | -                            |
| CPH10 | CPH10         | 37°9'46" S / 70°35'25,6" O    | Dique andesítico CVPH  | 8  | 5.98x10 <sup>-4</sup>  | 1.006 | 1.002 | 0.993 | 1.004 | 1.009 | 1.013 | 1.013 | 0.412  | 341.1 | 85.8 | 18.9 | 2.1  | 233   | 1.3  | 18.9 | 6.7  | 142.9 | 4    | 6.9  | 1.7  | -                            |
| CPH11 | CPH11         | 37°9'51,7" S / 70°35'24,9" O  | Granodiorita CVPH      | 11 | 43x10 <sup>-4</sup>    | 1.018 | 1     | 0.983 | 1.018 | 1.017 | 1.035 | 1.035 | -0.029 | 320.2 | 73.7 | 14.6 | 5.8  | 185.4 | 11.7 | 18.6 | 12.4 | 93.1  | 11.3 | 19.3 | 6.6  | AT                           |
| CPH12 | CPH12         | 37°9'51,7" S / 70°35'24,9" O  | Dique andesítico CVPH  | 10 | 52.9x10 <sup>-4</sup>  | 1.042 | 0.994 | 0.964 | 1.048 | 1.031 | 1.081 | 1.081 | -0.208 | 177.3 | 1.9  | 5.8  | 2.7  | 273.1 | 71.8 | 8.9  | 2.7  | 86.6  | 18.1 | 8.6  | 3.5  | -                            |
| CPH13 | CPH13         | 37°9'5,8" S / 70°35'40,4" O   | Granodiorita CVPH      | 9  | 0.291x10 <sup>-4</sup> | 1.005 | 0.999 | 0.996 | 1.006 | 1.003 | 1.009 | 1.01  | -0.362 | 163.1 | 60.2 | 17.2 | 5.5  | 46.3  | 14.5 | 35   | 14.7 | 309.2 | 25.4 | 35.2 | 9.8  | AT                           |
| CPH14 | -             | 37°9'5,8" S / 70°35'36,8" O   | Fm. Huaraco            | 9  | 44.6x10 <sup>-4</sup>  | 0.814 | 0.794 | 0.725 | 1.026 | 1.094 | 1.122 | 1.129 | 0.557  | 47.8  | 24.6 | 33.9 | 3.3  | 283.1 | 51.2 | 44.1 | 5    | 151.8 | 27.9 | 35.2 | 3.2  | -                            |
| CPH15 | CPH15         | 37°11'38,7" S / 70°36'33,5" O | Granodiorita CVPH      | 11 | 4.38x10 <sup>-4</sup>  | 1.01  | 0.998 | 0.992 | 1.012 | 1.005 | 1.018 | 1.018 | -0.384 | 315   | 54.4 | 22.4 | 10.9 | 108.7 | 32.7 | 34.3 | 21.9 | 206.9 | 12.6 | 34.4 | 9.6  | BTM                          |
| CPH16 | CPH16         | 37°11'57,9" S / 70°36'2,3" O  | Granodiorita CVPH      | 15 | 63.9x10 <sup>-4</sup>  | 1.024 | 1.006 | 0.97  | 1.018 | 1.038 | 1.056 | 1.058 | 0.344  | 305.6 | 74.7 | 36.4 | 15.3 | 144.8 | 14.5 | 37.2 | 21.2 | 53.6  | 4.8  | 23.8 | 14.9 | BTM                          |
| CPH17 | CPH17         | 37°11'57,2" S / 70°35'46,6" O | Granodiorita CVPH      | 11 | 74.2x10 <sup>-4</sup>  | 1.012 | 1.001 | 0.987 | 1.011 | 1.014 | 1.025 | 1.025 | 0.122  | 136.1 | 66.3 | 25.5 | 19.4 | 321.2 | 23.6 | 43.6 | 25.4 | 230.3 | 1.9  | 44.6 | 13.8 | BTI                          |
| CPH18 | CPH18         | 37°11'57,1" S / 70°35'39" O   | Granodiorita CVPH      | 10 | 129x10 <sup>-4</sup>   | 1.012 | 1.006 | 0.983 | 1.006 | 1.023 | 1.029 | 1.031 | 0.585  | 355.4 | 2.9  | 64.7 | 16.5 | 198.7 | 86.8 | 64.7 | 16   | 85.5  | 1.3  | 19.6 | 13.2 | BTM                          |
| CPH19 | CPH19         | 37°11'50,8" S / 70°36'26,7" O | Granodiorita CVPH      | 10 | 4.63x10 <sup>-4</sup>  | 1.017 | 1.006 | 0.977 | 1.011 | 1.03  | 1.041 | 1.043 | 0.471  | 21.9  | 49.3 | 19.3 | 7.9  | 130.7 | 15.4 | 19.9 | 10.3 | 232.5 | 36.5 | 11.6 | 7.9  | -                            |
| CPH20 | CPH20         | 37°11'50,8" S / 70°36'16,3" O | Dique andesítico CVPH  | 12 | 415x10 <sup>-4</sup>   | 1.012 | 0.995 | 0.993 | 1.017 | 1.003 | 1.02  | 1.021 | -0.716 | 252.8 | 69.9 | 13.3 | 7    | 346.2 | 1.3  | 55.5 | 11.3 | 76.7  | 20   | 55.6 | 6.3  | -                            |
| AN1   | -             | 37°10'48,2" S / 70°37'23,9" O | Fm. Huaraco            | 6  | 0.981x10 <sup>-4</sup> | 1.002 | 1.001 | 0.997 | 1.001 | 1.004 | 1.005 | 1.005 | 0.566  | 237.1 | 4.4  | 50.1 | 22.9 | 331   | 42   | 52.8 | 20   | 142.2 | 47.7 | 37   | 18.9 | -                            |
| AN2   | -             | 37°10'50,1" S / 70°37'32,4" O | Fm. Arroyo del Torreón | 6  | 0.756x10 <sup>-4</sup> | 1.002 | 1     | 0.998 | 1.002 | 1.002 | 1.004 | 1.004 | 0.147  | 266   | 20   | 49.2 | 12.3 | 161.3 | 34.8 | 50.9 | 34.5 | 20.1  | 48.3 | 39.3 | 11.6 | -                            |
| AN3   | -             | 37°10'36,6" S / 70°37'34,9" O | Fm. La Premia          | 6  | 2.14x10 <sup>-4</sup>  | 1.006 | 1.002 | 0.992 | 1.003 | 1.011 | 1.014 | 1.015 | 0.518  | 235.2 | 42   | 33   | 4    | 29.5  | 45   | 32.9 | 5.6  | 133.1 | 13.2 | 6    | 4.5  | -                            |
| AN4   | -             | 37°10'44,8" S / 70°37'40,3" O | Dacita anfibólica CVPH | 6  | 119x10 <sup>-4</sup>   | 1.018 | 1.011 | 0.97  | 1.007 | 1.043 | 1.05  | 1.054 | 0.714  | 260.1 | 55.2 | 21.2 | 11.2 | 69.5  | 34.3 | 21.4 | 7.9  | 162.9 | 5    | 11.3 | 8.3  | -                            |
| AN5   | -             | 37°11'50,5" S / 70°36'57,6" O | Granodiorita CVPH      | 6  | 0.424x10 <sup>-4</sup> | 1.003 | 0.999 | 0.997 | 1.004 | 1.002 | 1.006 | 1.006 | -0.463 | 79.4  | 9.7  | 45.7 | 42.1 | 329.8 | 63   | 59.1 | 45.3 | 174   | 24.9 | 61.3 | 26.2 | -                            |
| AN6   | -             | 37°11'50,7" S / 70°36'55,6" O | Dacita anfibólica CVPH | 6  | 211x10 <sup>-4</sup>   | 1.012 | 0.998 | 0.99  | 1.015 | 1.008 | 1.023 | 1.023 | -0.288 | 215.2 | 23.3 | 13.7 | 4.7  | 328.3 | 42.3 | 22.2 | 6.2  | 105   | 38.6 | 19.5 | 5.3  | -                            |
| AN6-b | -             | 37°11'50,7" S / 70°36'55,6" O | Monzogranito CVPH      | 6  | 1.02x10 <sup>-4</sup>  | 1.006 | 1.002 | 0.992 | 1.004 | 1.01  | 1.013 | 1.014 | 0.446  | 329   | 76.4 | 55.4 | 37.1 | 66.7  | 1.9  | 56.9 | 40.4 | 157.1 | 13.4 | 46   | 37.2 | -                            |

**Tabla 1:** Tabla de sitios de ASM con su ubicación, secciones delgadas, parámetros escalares de ASM, parámetros direccionales de ASM y sitios con deformación de estado sólido. Km: susceptibilidad magnética media. K1, K2 y K3: ejes mayor, medio y menor, respectivamente, de la elipse de anisotropía de susceptibilidad magnética. L: lineación magnética. F: foliación magnética. P: grado de anisotropía. Pj: grado de anisotropía corregido por Jelinek (1981). T: parámetro de forma. K<sub>1</sub> dec, K<sub>1</sub> inc: declinación e inclinación magnética del eje K<sub>1</sub> (misma correspondencia para K<sub>2</sub> y para K<sub>3</sub>). K<sub>11</sub>, K<sub>22</sub> son los semiejes de la elipse de confianza del eje K<sub>1</sub>. K<sub>33</sub> y K<sub>12</sub> son los semiejes de la elipse de confianza del eje K<sub>2</sub> y K<sub>23</sub> y K<sub>13</sub> son los semiejes de la elipse de confianza de los ejes K<sub>13</sub>. AT: Deformación de estado sólido de alta temperatura. BTM: Deformación de estado sólido de baja temperatura moderada. BTI: Deformación de baja temperatura intensa.

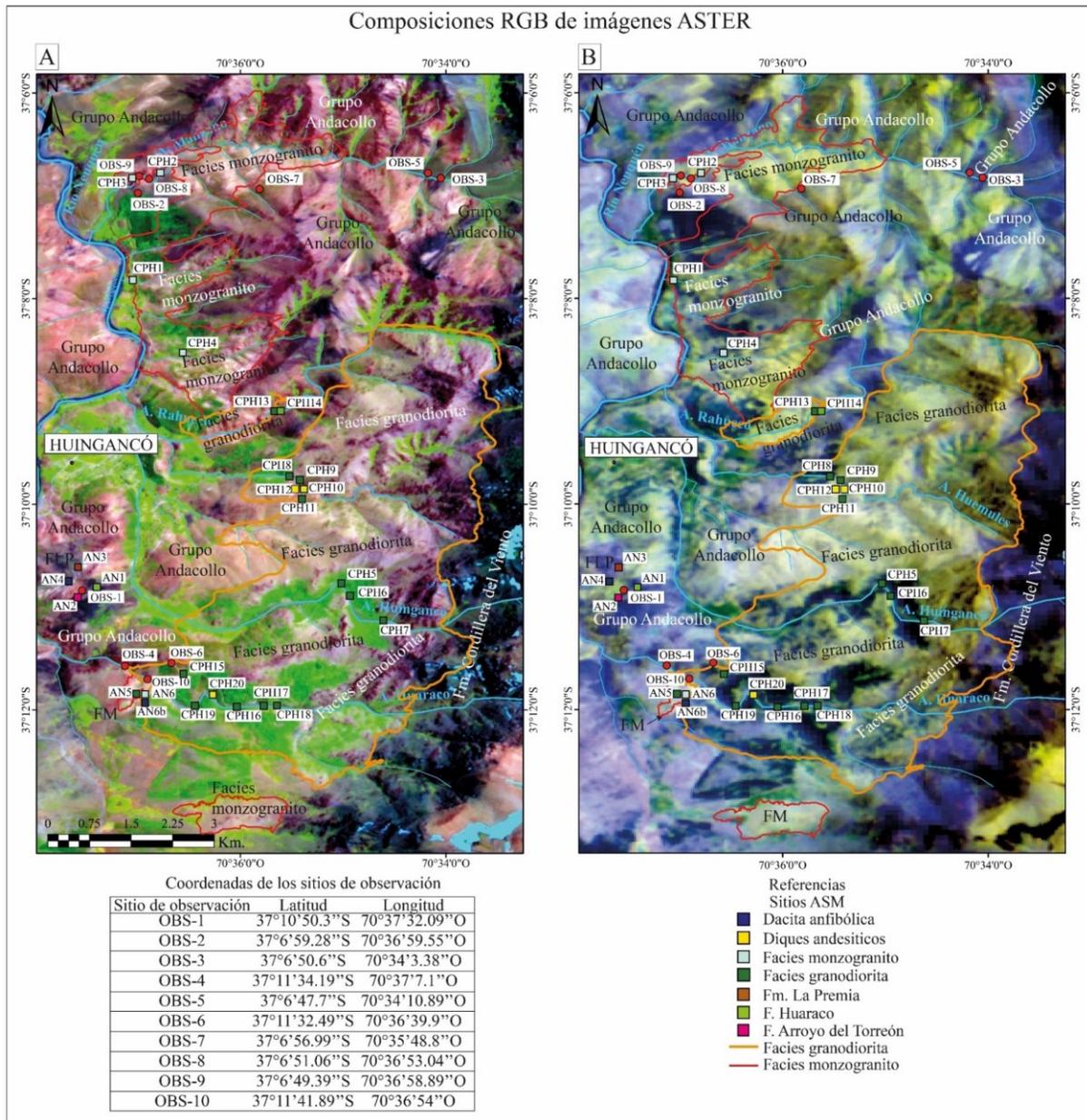
## 6.0 RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de este trabajo, comenzando por las observaciones de imágenes satelitales y de campo, así como por las caracterizaciones petrográficas. Luego se continúa con el estudio de ASM en el CVPH, y en su roca de caja. Por último, se presenta una nueva datación U-Pb de la facies granodiorita del CVPH, así como un sucinto estudio geoquímico de dos muestras de la misma facies, integrado con los análisis geoquímicos de la bibliografía.

### 6.1. Estudio de imágenes satelitales y características mesoscópicas

A fines de identificar las distintas unidades del CVPH aflorantes en la zona de estudio, se realizaron dos composiciones RGB sobre la imagen ASTER (**Figura 8**). La composición RGB 4:3:1 se utilizó para resaltar las distintas unidades litológicas, observándose al este del área de estudio en color negro la Formación Cordillera del Viento, en tonalidades rosadas responden a la Formación Huaraco y en algunos casos la Formación Arroyo del Torreón (**Figura 8A**). La facies granodiorita se observa con tonalidades rosadas oscuras a claras y la facies monzogranito presenta una reflectancia alta en las tres bandas, observándose de color blanco a rosado claro (**Figura 8A**). La Formación La Premio se observa de color violeta oscuro (**Figura 8A**).

La composición RGB 7:4:14 se utilizó para diferenciar las unidades de diferente contenido de  $\text{SiO}_2$ : las tonalidades amarillas están indicando litologías con mayor contenido en sílice a aquellas de tonalidades azules a negras, que corresponden a litologías con bajo contenido de sílice (**Figura 8B**). En la composición RGB 7:4:14 la Formación Cordillera del Viento, que posee bajo contenido en sílice, se observa en color azul oscuro a negro. La Formación Huaraco, caracterizada por un alto contenido de sílice, se la observa con tonalidades amarillas, mientras que la Formación Arroyo del Torreón se observa con tonalidades azules oscuras a violetas, por su bajo contenido de sílice (**Figura 8B**). La facies granodiorita del CVPH se observa con un color amarillo claro mientras que la facies monzogranito, más ácida, se observa con un color amarillo más intenso (**Figura 8B**). La Formación La Premio tiene tonalidades azul oscuras a violetas (**Figura 8B**).



**Figura 8:** Composiciones RGB de la imagen ASTER del área de estudio, en particular las unidades del CVPH con la ubicación de los sitios de observación (círculos rojos) y los sitios de ASM. A) Composición RGB 431 donde se observan los contrastes de unidades en distintos colores y tonalidades. B) Composición RGB 7414.

## 6.2. Afloramientos de la roca de caja de los intrusivos del CVPH

Se realizaron estudios de ASM en 27 sitios de rocas del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó, de los cuales 4 pertenecen a la roca de caja de los intrusivos del CVPH (2 sitios de la Formación Huaraco, 1 sitio de la Formación Arroyo del Torreón y 1 sitio de la Formación

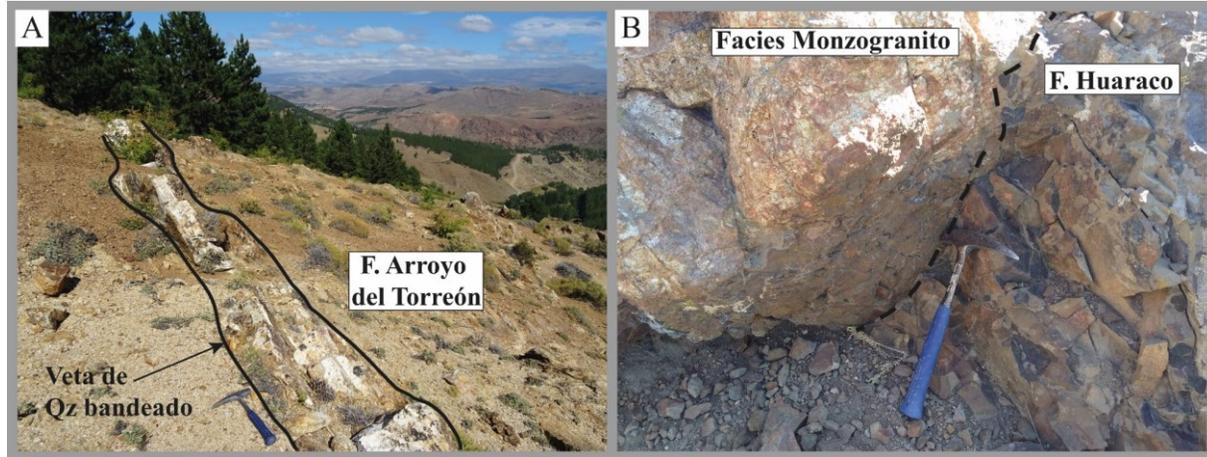
La Premia). Los nombres de los sitios, litología y ubicación se muestran en la **Tabla 1** y en la **Figura 8**.

En el sur del cerro San Pedro, ubicado al sur de la localidad de Huigancó, dentro del Distrito Minero Andacollo y sobre la ladera sur del Arroyo Manzano (punto de observación OBS-1; **Figura 8**) se reconocieron a las formaciones Arroyo del Torreón y Huaracó. La Formación Arroyo del Torreón aflora como tobas de color blanco a pardo, cuarzo feldespáticas e ignimbritas silíceas, que presentan una intensa alteración silícica, así como sus fiammes desvitrificados a argilominerales. Por su parte, la Formación Huaraco, que es la roca de caja más extendida del CVPH, está conformada en su mayor parte por areniscas silicificadas de aspecto masivo. El contacto entre las dos formaciones es tectónico mediante una falla inversa, a la cual se le asocia un pliegue anticlinal de rumbo NE-SO dentro de la Formación Huaraco.

En la ladera sur del arroyo Manzano, en cercanías a la desembocadura con el río Neuquén, la Formación Arroyo del Torreón es intruida por la facies monzogranito del CVPH (punto de observación OBS-2; **Figura 8**). En esta localidad la Formación Arroyo el Torreón está compuesta por tobas y areniscas con alteración silícica y que son intruidas por vetas de cuarzo bandeado y masivo y venillas de cuarzo asociadas a éstas (**Figura 9A**).

Aguas arriba sobre el Arroyo Manzano la Formación Arroyo del Torreón está presente como una intercalación de tobas y areniscas (punto de observación OBS-3; **Figura 8**). Las tobas presentan una intensa silicificación, al igual que las areniscas, las cuales además poseen porfiroblastos de muscovita. Dentro del Distrito Minero Andacollo, precisamente en el sitio de ASM AN2, esta unidad está representada por ignimbritas de color pardo, con fenocristales de plagioclasa y cuarzo, y con fiammes desvitrificados a argilominerales de color verde. En este sitio se tomó una foliación S0 en base a la orientación de los fiammes de orientación NE-SO subhorizontal ( $AzN53^{\circ}/14^{\circ} O$ ).

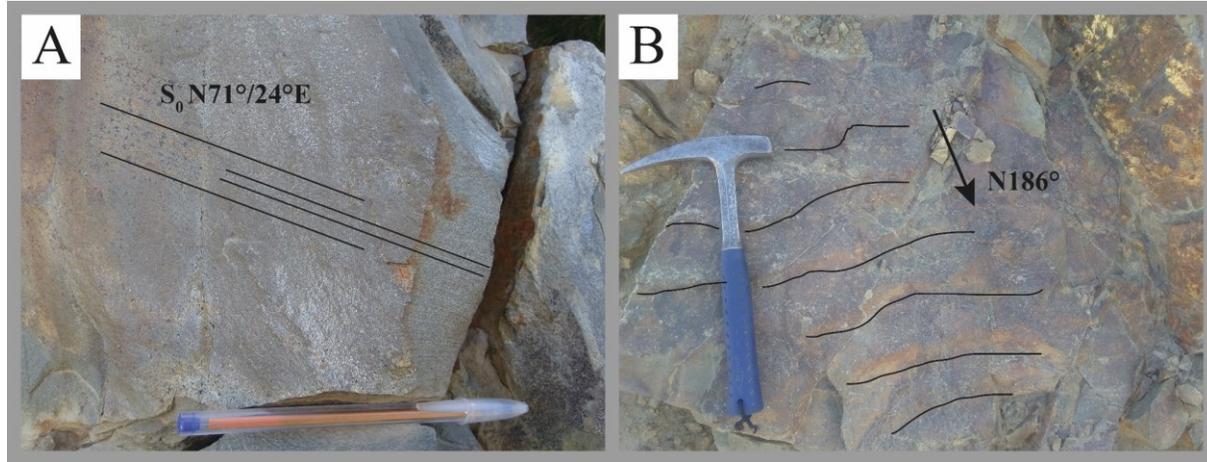
Las areniscas silicificadas masivas de la Formación Huaraco fueron observadas y muestreadas para ASM en dos sitios: el CPH14 y el sitio AN1 (**Tabla 1**). Por otra parte, se pudieron hacer observaciones estructurales de la Formación Huaraco sobre los arroyos Huaraco y Manzano, y al sur de la localidad de Andacollo (sitios de observación OBS-4 y OBS-5, y sitio AN1, respectivamente; OBS-4 y OBS-5). Las coordenadas del sitio AN1 están en la **Tabla 1** (**Figura 8**). Sobre el arroyo Huaraco, en el contacto cercano al sitio AN6-b, (coordenadas en la **Tabla 1**) las sedimentitas de la Formación Huaraco presentan un metamorfismo de contacto evidenciado por la presencia de porfiroblastos de muscovita y una intensa silicificación que solo se encuentra en cercanías al contacto con la facies monzogranito del CVPH (**Figura 9B**).



**Figura 9:** A) Fotografía tomada en sentido oeste de una veta de cuarzo bandeado, con su núcleo masivo, intruyendo a la Formación Arroyo del Torreón, sobre la ladera sur del arroyo Manzano, cercanías al contacto con la facies monzogranito del CVPH. B) Contacto intrusivo entre la facies monzogranito y la Formación Huaraco.

En el punto de observación OBS-6 (**Figura 8**), se observó una estratificación  $S_0$  de la Formación Huaraco de rumbo ENE-OSO e inclinación moderada a baja hacia el SE ( $S_0 = Az71^\circ/24^\circ$  con la regla de la mano derecha, **Figura 10A**) y ondulas asimétricas que indicaban una paleocorriente de orientación ~N-S ( $Az186^\circ$ , **Figura 10B**). En el sitio AN1 (coordenadas en la **Tabla 1**) la Formación Huaraco presenta una estratificación tabular de la cual se pudo obtener un  $S_0$  de rumbo NO-SE e inclinación moderada ( $S_0 = Az125^\circ/35^\circ O$ ). En el sitio de muestreo CPH14 (coordenada en la **Tabla 1**) también se observó una estratificación  $S_0$ , en este caso de rumbo N-S e inclinación subvertical ( $S_0 = Az5^\circ/75^\circ E$ ).

En las cercanías del arroyo Manzano (OBS-7; **Figura 8**) las sedimentitas de la Formación Huaraco son intruídas por la facies monzogranito del CVPH (**Figura 12B**) y poseen un metamorfismo de contacto al igual que en el sitio AN6-b (coordenadas en la **Tabla 1**), pero de menor intensidad. Venillas de cuarzo son observadas tanto en este afloramiento como en el sitio AN6-b.



**Figura 10:** Afloramiento de la Formación Huaraco sobre la ladera norte al arroyo Huaraco ( $37^{\circ}11'31.3''$  S /  $70^{\circ}36'43.4''$  O). A) Estratificación  $S_0$   $N71^{\circ}/24^{\circ}E$  dentro de areniscas, vista en planta. B) Ondulas asimétricas donde se muestra la dirección de la paleocorriente  $N186^{\circ}$ , con una flecha de color negro.

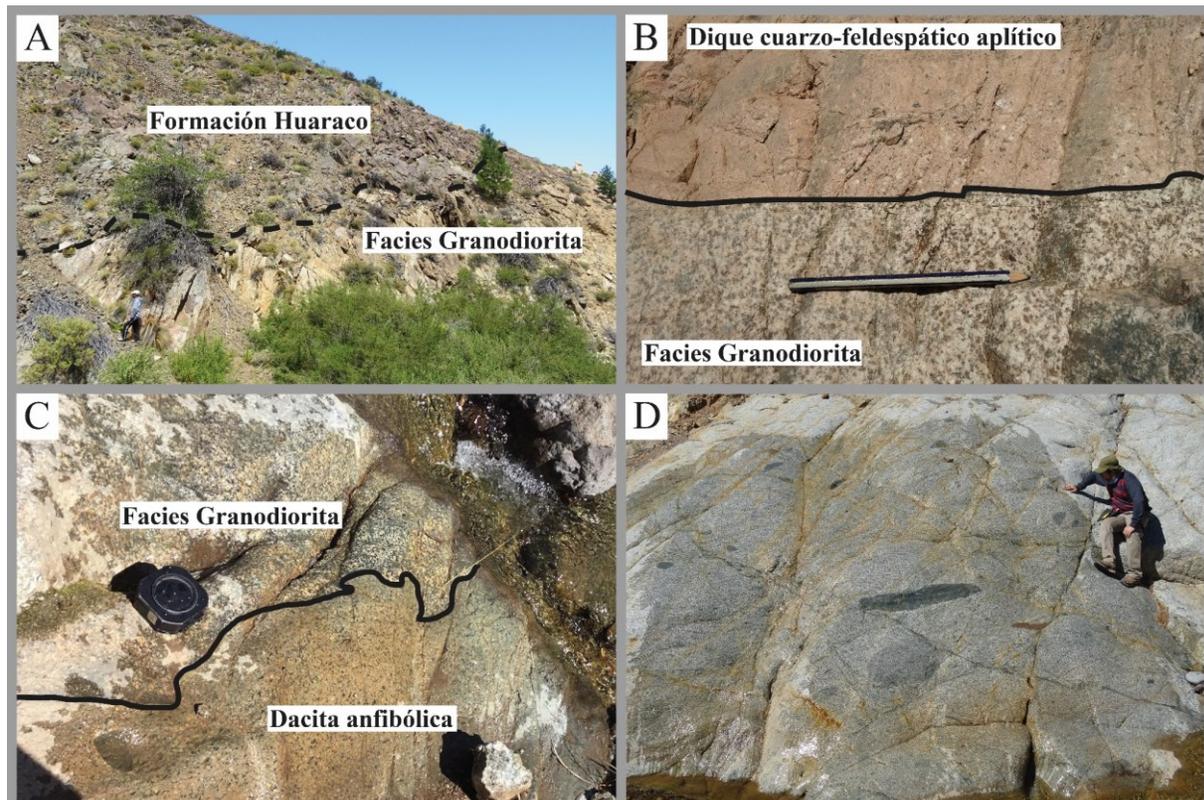
La Formación La Premia, que se apoya en discordancia sobre el Grupo Andacollo, forma parte de las rocas volcánicas del CVPH. Giacosa et al., (2014) reconocieron a esta unidad como parte de la roca de caja de las facies intrusivas del CVPH. Su edad de  $281,8 \pm 2,1$  Ma (Suárez et al., 2008) también confirma esta relación temporal entre las ignimbritas y los intrusivos (véase **capítulo 4.0**). En el cerro San Pedro Sur (Distrito Minero Andacollo) se reconoció un afloramiento de la ignimbrita silíceo violeta de la Formación La Premia y se tomó 1 sitio para el estudio de ASM (sitio AN3; **Tabla 1**). Composicionalmente la ignimbrita de la Formación La Premia consta de fenocristales de plagioclasa y cuarzo, litoclastos de tobas y lutitas, y fiammes, que le otorgan una textura porfírica. A escala de afloramiento se observa una intensa alteración de los fenocristales y los fiammes a argilominerales de color verde. En el sitio AN3 la ignimbrita es intruida por venillas de epidoto y cuarzo. Se tomó una foliación  $S_0$  en base a la orientación de los fiammes, con una orientación NO-SE subhorizontal ( $AzN155^{\circ}/16^{\circ}$  O)

### 6.3. Las facies intrusivas del Complejo Volcánico Plutónico Huigancó

El estudio mediante imágenes satelitales ASTER permitió determinar que los plutones del CVPH tienen una forma más o menos globosa, con aproximadamente 6-7 km de ancho en sentido E-O y 10-12 km de largo en sentido N-S (**Figura 8**). El ancho total de los afloramientos pérmicos no se puede apreciar bien debido a que están cubiertos hacia el este por las unidades jurásicas de la Formación Cordillera del Viento (véase la foto de la **Figura 4**).

En las imágenes satelitales se puede observar que los plutones del CVPH tienen zonalidad inversa, ya que las facies más máficas están ubicadas en el centro de la intrusión, mientras que las félsicas se ubican hacia los bordes (**Figura 8B**).

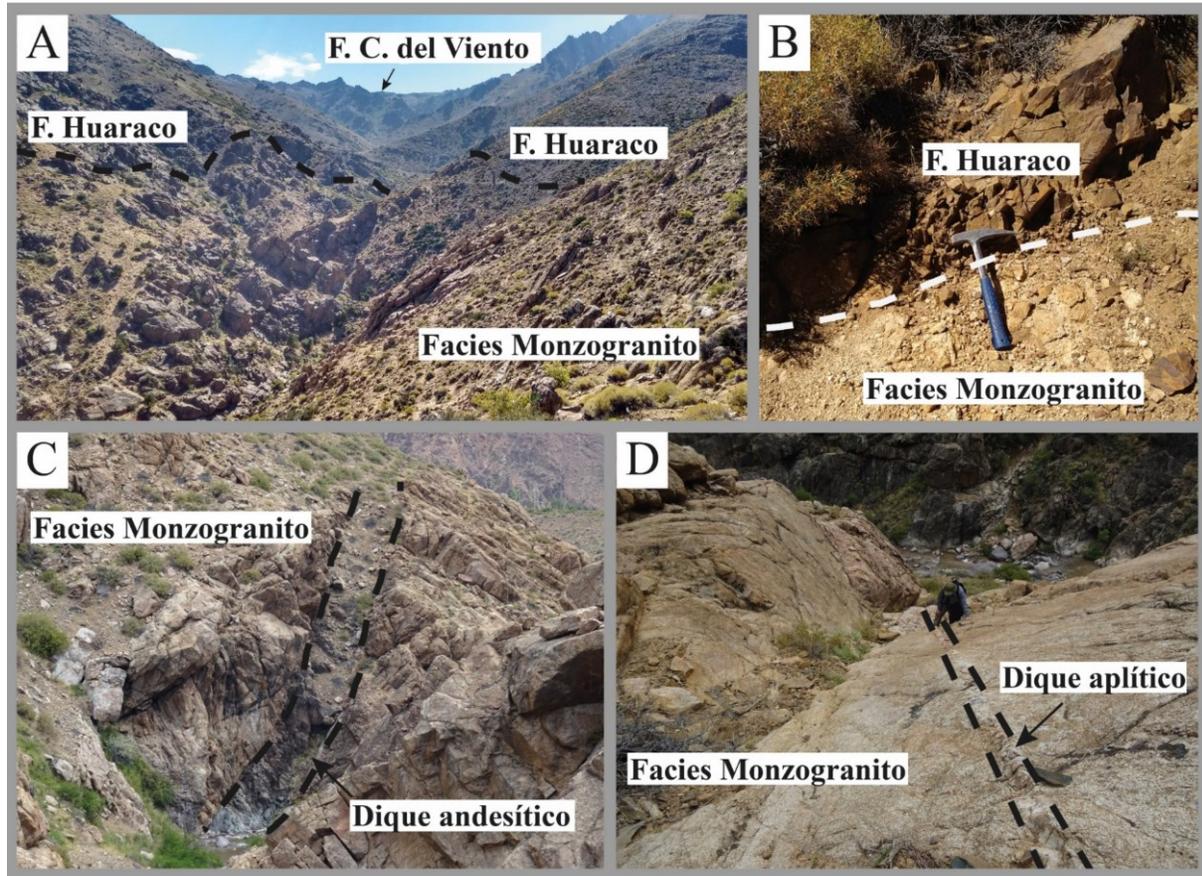
La facies granodiorita del CVPH aflora entre los arroyos Rahuecó y Huaraco y sobre las quebradas que estos atraviesan (**Figura 11A**). En el arroyo Rahuecó, el contacto entre las granodioritas y su roca de caja, la Formación Huaraco, es neto. Sobre el arroyo Huingancó se pudo apreciar que la facies granodiorita se encuentra a su vez intruida por un dique cuarzo-feldespático aplítico asociado a la facies monzogranito (**Figura 8; Figura 11B**). Hacia el sur, sobre el arroyo Huaraco se observa nuevamente aflorante a la facies granodiorita (**Figura 8**). Sobre el arroyo Huingancó se observaron enclaves microgranulares máficos elongados definiendo foliación magmática de rumbo ONO-ESE subverticales ( $Az17^\circ/84^\circ O$ ) y xenolitos de la roca de caja (**Figura 11D**).



**Figura 11:** Afloramientos de la facies granodiorita del CVPH. A) Vista hacia el oeste sobre el arroyo Rahuecó de la facies granodiorita. B) Contacto neto de un dique aplítico cuarzo-feldespático que intruye a la facies granodiorita (sobre arroyo Huingancó). C) Contacto sinuoso entre la dacita anfibólica y la facies granodiorita, sobre el arroyo Huaraco. D) Enclaves microgranulares máficos de diversos tamaños inmersos en la granodiorita marcando una dirección de foliación magmática (sobre arroyo Huaraco).

La facies monzogranito aflora sobre el arroyo Manzano, y hacia el sur de este. Sobre el arroyo Manzano la facies monzogranito tiene como roca de caja a la Formación Huaraco, y el contacto entre ambas unidades es neto (**Figura 12A y B**). En las localidades donde aflora y donde fueron relevados los sitios para análisis de ASM, no se observó que esta facies presentara una orientación preferencial de sus minerales.

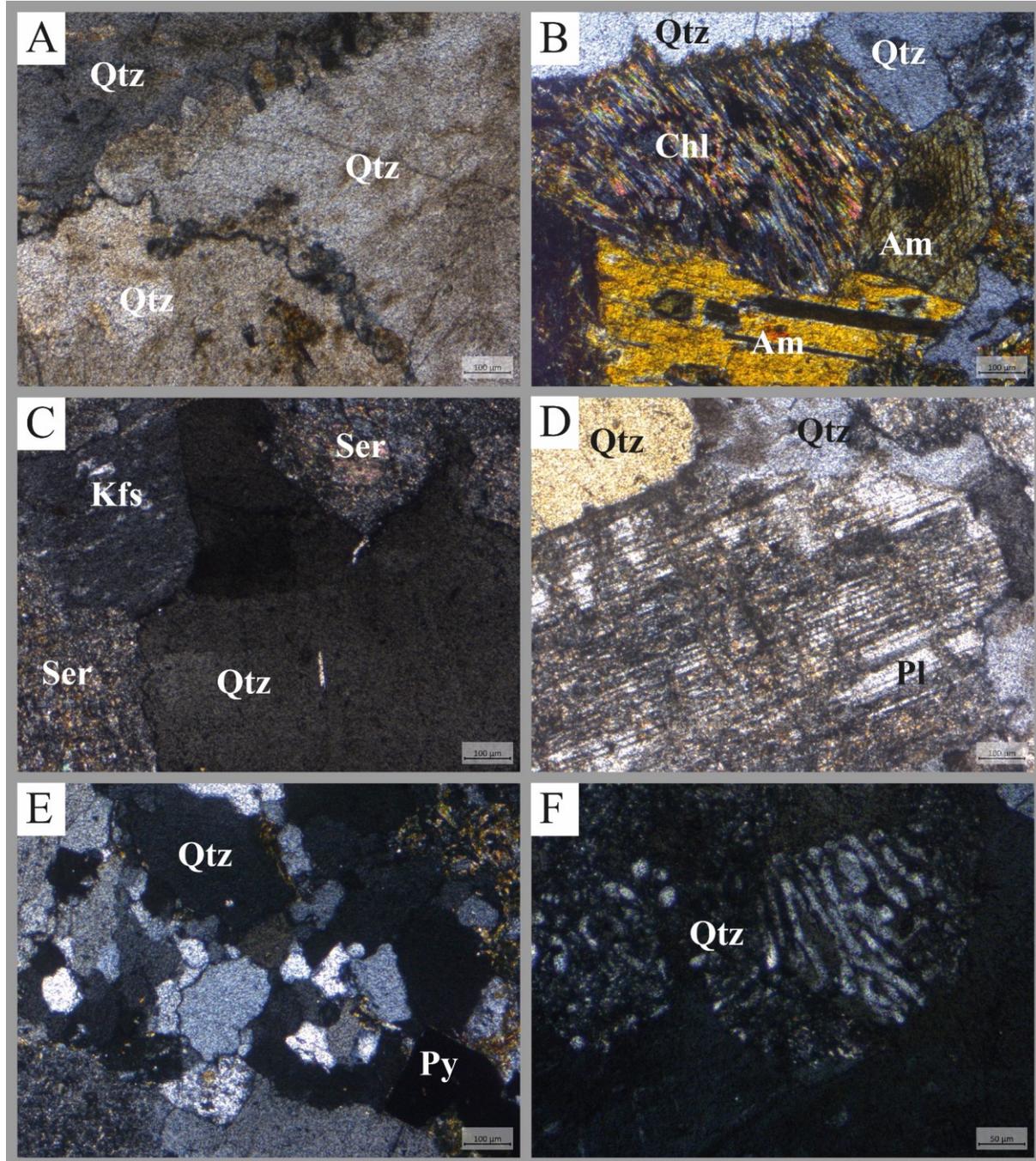
De los 27 sitios de ASM del CVPH, 5 pertenecen a la facies monzogranito y 13 a la facies granodiorita. La ubicación de los mismos se presenta en la **Figura 8** y en la **Tabla 1**.



**Figura 12:** Afloramientos de la facies monzogranito del CVPH sobre el arroyo Manzano. A) Vista hacia el este de la facies monzogranito, las formaciones Huaraco y Cordillera del Viento. B) Contacto con la Formación Huaraco. C) Dique andesítico intruyendo al monzogranito. D) Dique aplítico intruyendo al monzogranito, sitio CPH2.

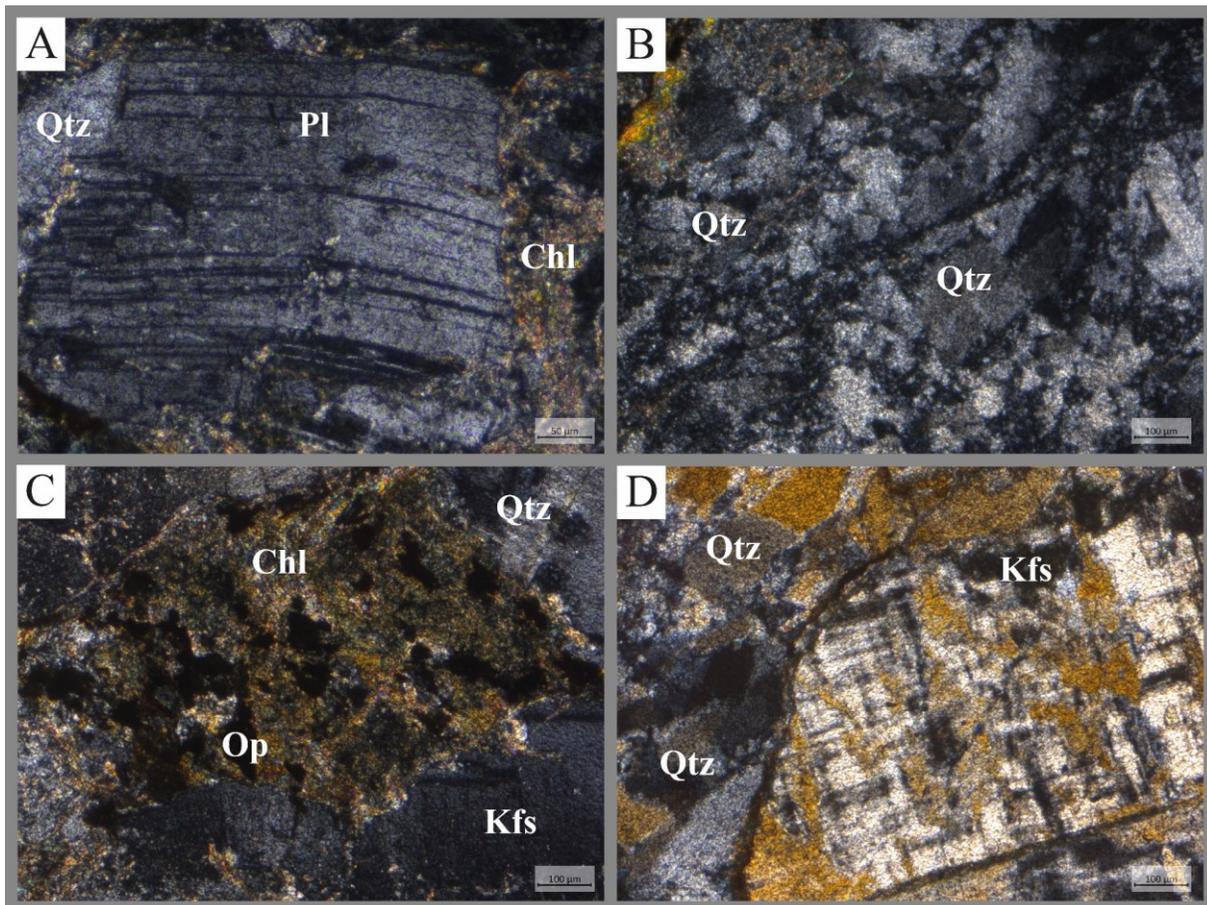
### 6.3.1. Petrografía y microestructuras de los intrusivos del CVPH

Petrográficamente la facies granodiorita del CVPH está compuesta por cuarzo (26%) (**Figura 13A**), plagioclasa alterada a sericita (30%) (**Figura 13D**), microclino (10%) y minerales máficos como anfíbol, biotita, clorita, magnetita y localmente titanita (34%); aunque en los sitios correspondientes al arroyo Huíngancó presentan como accesorio cristales de piritita. Los cristales de anfíbol, biotitas y magnetitas usualmente se encuentran formando grumos, y aparecen alterados a clorita (**Figura 13B**). El cuarzo también se presenta como aglomeraciones de cristales de menor tamaño entre cristales de mayor tamaño de la misma especie mineral, producidos por recristalización (**Figura 13E**). El sitio CPH9 posee venillas de cristales subhedrales a anhedrales de calcita.



**Figura 13:** Petrografía de la facies granodiorita del CVPH. A) Cristales de cuarzo con bordes aserrados (Sitio CHP7). B) Cristales de cuarzo, clorita y anfíboles (Sitio CHP18). C) Cristal de cuarzo con extinción tipo tablero de ajedrez rodeado de feldespato potásico y cristales de plagioclasa reemplazados a sericita (Sitio CHP9). D) Cristal de plagioclasa alterándose a sericita, rodeado de cristales de cuarzo (Sitio CHP7). E) Cristales de cuarzo de menor tamaño en comparación al resto de los minerales con contactos poligonales (Sitio CHP17). F) Textura de exsolución tipo mirmequítica, donde las partes elongadas más claras corresponden a cuarzo (Sitio CHP11).

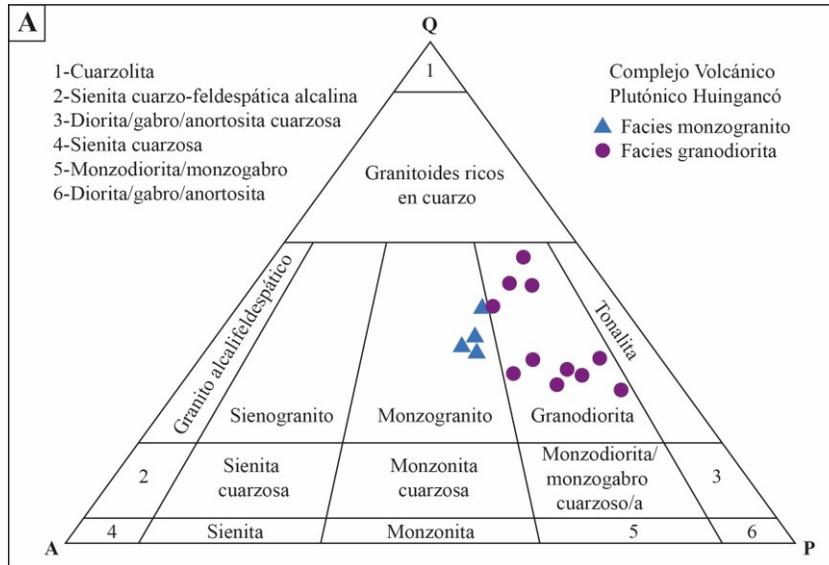
Petrográficamente la facies monzogranito está compuesta por cuarzo (38%), plagioclasa (33%), microclino (23%) y muscovita. Los minerales máficos están alterados a clorita y de forma local algunos sitios poseen epidoto. En algunos casos las plagioclasas se encuentran deformadas evidenciado por sus maclas curvadas o combadas y con bordes adelgazados (**Figura 14A**). En ciertas regiones se observan cristales de cuarzo de menor tamaño formados por recristalización (**Figura 14B**). Los cristales de biotitas están completamente reemplazados por clorita y se encuentran en grumos junto con minerales opacos (**Figura 14C**). En general la plagioclasa está alterada a sericita. En algunos casos el microclino presenta textura perfitica (**Figura 14D**).



**Figura 14:** Petrografía de la facies monzogranito del CVPH (Sitio CPH3). A) Cristal de plagioclasa deformado, evidenciado en el cambio de orientación de sus maclas. B) Poligonización de cristales de cuarzo. C) Grupos de minerales máficos alterados a clorita y de minerales opacos rodeados de cristales de cuarzo y feldespato alcalino. D) Subgranos de cuarzo con textura poligonal y cristal de microclino con textura perfitica.

Los porcentajes modales de la facies intrusiva del CVPH fueron ploteados dentro en un diagrama ternario QAP para rocas plutónicas (**Figura 15**). Una sola muestra correspondiente

a un dique andesítico (facies tardía) fue planteada en un diagrama ternario QAP, y se encuentra dentro del campo de basalto/andesita.



**Figura 15:** Diagrama ternario QAP de clasificación de rocas plutónicas de la facies intrusiva del CVPH. Una sola muestra de la facies tardía (diques andesíticos) es planteada dentro del campo de basalto/andesita, por lo que no se muestra en esta figura.

Todas las rocas intrusivas del CVPH que fueron analizadas, independientemente de la facies a la que pertenezcan, presentan evidencia de deformación en estado sólido, y se las agruparon en tres grupos: rocas con deformación de alta temperatura, rocas con deformación de baja temperatura moderada y rocas con deformación de baja temperatura intensa (**Tabla 1**). Las rocas con deformación de estado sólido de alta temperatura presentan cristales de cuarzo con extinción tipo tablero de ajedrez, microclino con maclas deformadas y migración de borde de grano de alta temperatura en cristales de cuarzo (**Figura 13C**; Passchier y Trouw 2006).

La deformación moderada de estado sólido de baja temperatura se evidencia por la presencia de bordes aserrados en cristales de cuarzo (**Figura 13A**), de subgranos de cuarzo, principalmente en los bordes de los cristales de cuarzo de mayor tamaño (**Figura 13E** y **Figura 14B**). También son frecuentes las microtexturas mirmequíticas en los bordes de las plagioclasas (**Figura 13F**). Cuando los subgranos de cuarzo se organizan en bandas, como en los sitios CPH3, CPH4 y CPH16 (**Tabla 1**) se advierte que la intensidad de la deformación aumentó.

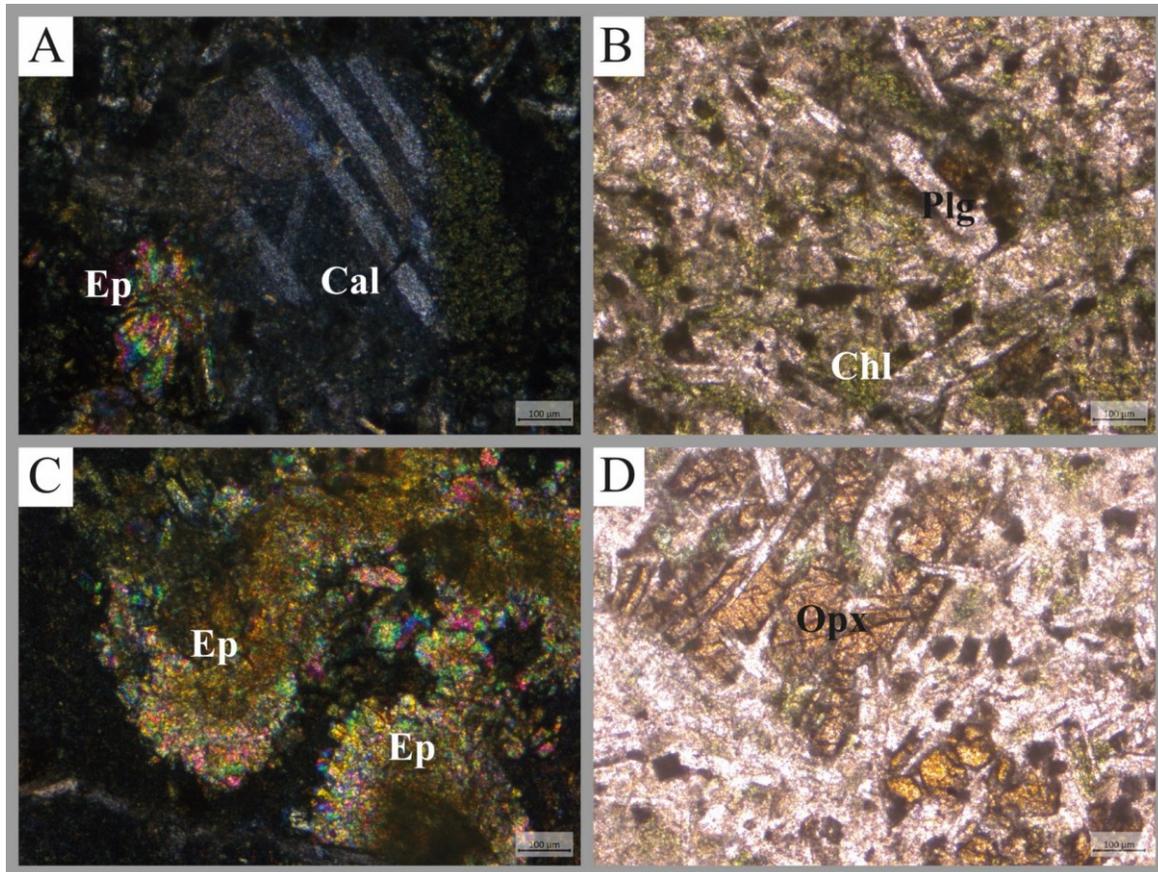
#### 6.4. Afloramientos de diques andesíticos, dacitas anfibólicas y diques aplíticos como facies tardías del CVPH

Las facies tardías del CVPH están constituidas por diques andesíticos, dacitas anfibólicas y diques aplíticos, ya que intruyen a las facies monzogranito y granodiorita. Para el estudio de ASM se tomaron 3 sitios de los diques andesíticos y 2 de las dacitas anfibólicas (**Tabla 1**).

En las localidades estudiadas sobre el cauce del arroyo Huingancó, la facies granodiorita CVPH está atravesada por diques andesíticos con anchos entre 1 m a 15-20 m y por vetas de cuarzo de unos pocos centímetros. También se observan venillas de epidoto y pirita relleno de diaclasas y de forma diseminada solo en el afloramiento de la granodiorita sobre el arroyo Huingancó.

Los diques andesíticos intruyen tanto a las granodioritas como a los monzogranitos del CVPH y se los observaron entre los arroyos Manzano y Huingancó (sitios de ASM CPH5, CPH8, CPH10, CPH12, CPH16, CPH18 y CPH20; y sitios de observación OBS-8 y OBS-9; **Figura 8**). En el arroyo Manzano se observó un dique andesítico que intruye al monzogranito con una orientación aparente ONO-ESE subvertical (sitio de observación OBS-8, **Figura 8** y **Figura 12C**) y diques aplíticos con orientación NO-SE subverticales (N330°/67°E, sitio de observación OBS-9; **Figura 8** y **Figura 12D**). Los diques andesíticos que intruyen a la facies granodiorita son subverticales y tienen orientaciones N-S (N11°/64°O en sitio CPH5 y N7°/85°E en sitio CPH10), E-O (N233°/84°O en el sitio CPH20) y NE-SO (N40°/73°E en sitio CPH16 y N100°/85°E en sitio CPH18). Los contactos de estos diques con las facies monzogranito y granodiorita son irregulares, con espesor variable entre 10 cm y 10 m.

Petrográficamente están compuestos por plagioclasa como mineral primario (en su mayoría alteradas a sericita), minerales máficos (ortopiroxeno, clorita, epidoto), minerales opacos y cristales de calcita (**Figura 16A-D**). Los cristales opacos y máficos están en su mayoría alterados a clorita. En general los diques presentan una textura traquítica, aunque el sitio CPH10 tiene una textura subofítica. La asociación mineral es propia de una alteración propilítica (clorita-sericita-epidoto) y se observa en todos los sitios de diques andesíticos. Los sitios de ASM de estos diques fueron tomados en los arroyos Huemules y Huaraco (sitios de ASM CPH10, CPH12 y CPH20).



**Figura 16:** Petrografía de los diques andesíticos del CVPH (Sitio CPH10). A) Cristal de calcita con un cristal de epidoto en su esquina inferior izquierda. B) Textura subofítica, donde se observan las tablillas de plagioclasas y cristales de clorita. C) Grumos de epidoto. D) Cristales de ortopiroxenos.

Se observaron diques aplíticos que también intruyen a la facies granodiorita en el sitio CPH6, con una orientación N-S e inclinación subvertical a moderada ( $N356^{\circ}/65^{\circ}O$ ). También se observó un stock de una dacita anfibólica que intruye a la facies granodiorita del CVPH con un contacto sinuoso (**Figura 11C**) y que poseen una lineación magmática (definida por cristales elongados de anfíboles) de orientación N-S con buzamiento moderado hacia el oeste ( $N0^{\circ}/56^{\circ}O$  sitio de observación OBS-10; **Figura 8**).

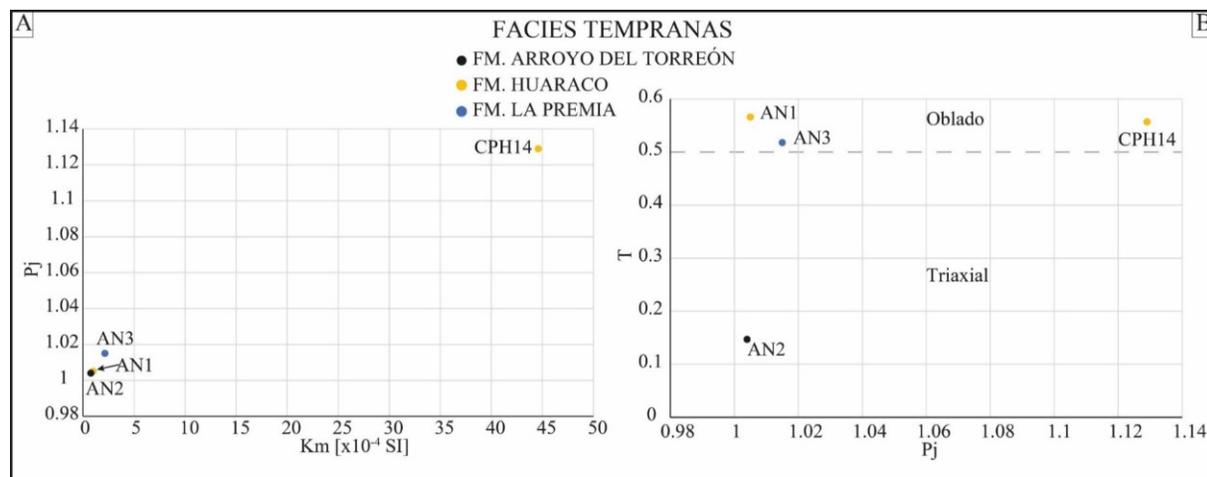
### 6.5. Anisotropía de susceptibilidad magnética

El resumen de los sitios, su cantidad de muestras y los principales parámetros de ASM a nivel sitio se muestra en la **Tabla 1**. El estudio de ASM se aborda siempre mirando primero los parámetros escalares del AMS, que tienen que ver con la forma del elipsoide ( $K_m$ ,  $P_j$ ,  $T$ , relación entre los diferentes parámetros entre sí), y luego se describen los parámetros vectoriales (foliación y lineación magnética, tanto a nivel sitio como en el mapa). Los datos de ASM se van a mostrar por unidades: primero las rocas de caja de los intrusivos del CVPH,

luego los intrusivos (facies granodiorita y monzogranito) y por último las facies tardías del CVPH (diques andesíticos y dacitas anfibólicas).

### 6.5.1. Fábrica magnética de la roca de caja del CVPH

Las sedimentitas de la Formación Huaraco tienen un  $K_m$  de  $22.79 \times 10^{-4}$  y no se observa correlación positiva entre  $P_j$  y  $K_m$ , y la forma de los elipsoides es oblada con  $T > 0$  (**Figura 17A y B**). La baja susceptibilidad magnética media de la ignimbrita de la Formación La Premia ( $K_m = 2.14 \times 10^{-4}$ ) se corresponde con su carácter ácido. El elipsoide de susceptibilidad magnética de la Formación La Premia es oblado (con un valor del parámetro de forma  $T = 0.518$ ; **Figura 17B**). La ignimbrita de la Formación Arroyo del Torreón tiene un  $K_m$  de  $0.756 \times 10^{-4}$  y la forma del elipsoide es triaxial, con un valor del parámetro de forma  $T = 0.147$  (**Figura 17B**).



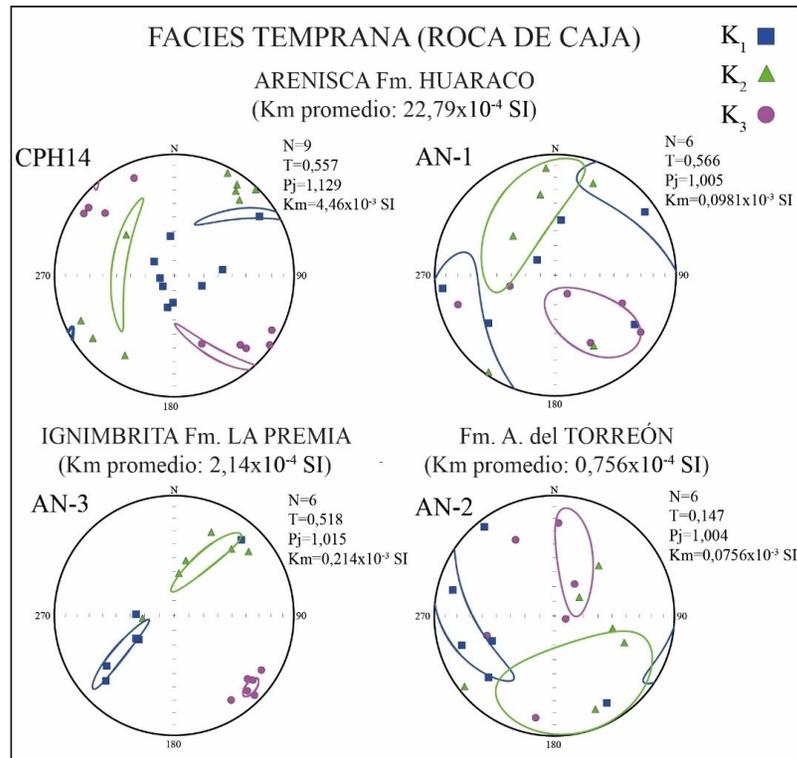
**Figura 17:** Diagramas de parámetros escalares de la facies temprana (formaciones Arroyo del Torreón, Huaraco y La Premia). A) Diagrama de grado de anisotropía corregida  $P_j$  versus la susceptibilidad media  $K_m$ . B) Diagrama de parámetro de forma  $T$  versus el grado de anisotropía corregida  $P_j$ .

La orientación de las fábricas magnéticas de la Formación Huaraco no coinciden con los datos estructurales medidos en el campo. La fábrica magnética en el sitio AN1 tiene una orientación NNE-SSO de inclinación subvertical, mientras que la estratificación  $S_0$  medida en el mismo sitio tiene una orientación NO-SE de inclinación moderada. Lo mismo ocurre para el sitio CPH14 donde la fábrica magnética tiene una orientación NE-SO de inclinación subvertical y una foliación  $S_0$  N-S subvertical. Se infiere, entonces, que la fábrica magnética es una fábrica críptica, o sea que los minerales magnéticos detectan una deformación no registrada por la forma de los minerales. La orientación del  $K_1$  aparece distribuida en una guirlanda en el sitio AN1, dado que la forma del elipsoide de ASM es oblada ( $T = 0.704$  en ese sitio, muy oblado, véase la **Tabla 1; Figura 17B y Figura 18**).

La Formación La Premia presenta una foliación magnética de rumbo NE-SO e inclinación subvertical, con una lineación de buzamiento intermedio hacia su  $S_0$  e inclinación subvertical

(**Figura 18**). Los sitios de las formaciones La Premia y Huaraco ubicados dentro del Distrito Minero Andacollo, muestran coherencia en sus lineaciones, teniendo las dos unidades un rumbo NE-SO (sitios AN1 y AN3; véase **capítulo 6.5.4**; **Figura 18**).

La Formación Arroyo del Torreón posee una fábrica dispersa, poco definida, de tipo subhorizontal y con rumbo NO-SE a E-O y con una lineación magnética marcada por el eje de susceptibilidad máxima  $K_1$  de buzamiento intermedio hacia el SO con inclinación moderada (**Figura 18**).



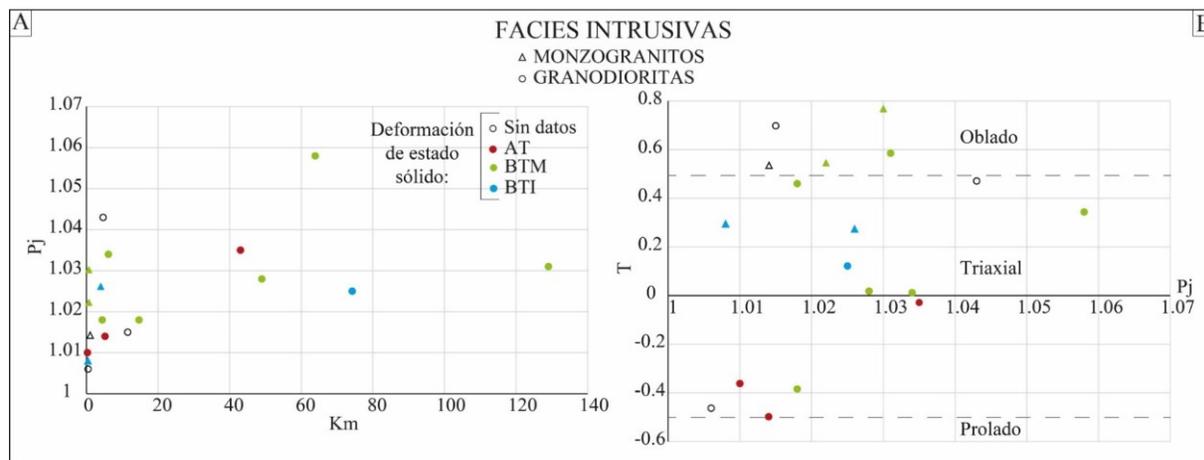
**Figura 18:** Proyecciones estereográficas de las fábricas magnéticas de la facies temprana (formaciones Arroyo del Torreón, Huaraco y La Premia).

### 6.5.2. *Fábrica magnética de los intrusivos del CVPH*

La facies monzogranito del Complejo Volcánico Plutónico Huigancó tiene una susceptibilidad magnética media ( $K_m$ ) de  $1.314 \times 10^{-4}$ , lo que lo sitúa dentro de los granitos paramagnéticos según la clasificación de Bouchez (2000). La facies granodiorita posee una  $K_m$  de  $31.25 \times 10^{-4}$ , un orden de magnitud mayor que los monzogranitos, por lo que se la clasifica como ferromagnética según el criterio de Bouchez (2000). En aspectos generales a nivel sitio se observa una débil correlación directa entre el grado de anisotropía  $P_j$  y la susceptibilidad media  $K_m$  (**Figura 19A** y **Figura 20**), sobre todo en la facies granodiorita, que son las rocas de mayores valores de  $K_m$ . Por lo tanto, se infiere que el grado de anisotropía de las rocas está débilmente controlado por la cantidad de magnetita presente en las mismas. Si se tiene en

cuenta, además, la influencia de las diferentes microtexturas de deformación de estado sólido que se reconocieron en corte delgado (deformación en estado sólido de alta temperatura, de baja temperatura moderada y de baja temperatura intensa, abreviadas respectivamente como AT, BTM y BTI en la **Figura 19**), se observa que existe algo de correlación entre los valores de  $P_j$  y la deformación de estado sólido. En este sentido, se observa que los sitios con deformación de estado sólido de alta temperatura en general tienen un Km menor que los que presentan deformación de baja temperatura moderada o intensa (**Figura 19A**). En el gráfico de Km vs.  $P_j$  se observa que el sitio con mayor valor de  $P_j$  ( $P_j=1.058$ , sitio CPH16) tiene deformación de estado sólido de baja temperatura.

Con respecto a la forma de los elipsoides de ASM, que está descripta por el parámetro T, los sitios de las facies intrusivas son en su mayoría triaxiales, independientemente del tipo de deformación en estado sólido que posean, pero los sitios de la facies monzogranito se destacan por tener valores más altos de T (T entre 0.498 y 0.69, **Tabla 1**), o sea que las granodioritas tienen mayor tendencia a tener elipsoides oblatos, mientras que la facies monzogranitos tienen valores de T más bajos, comprendidos entre los 0.187 y 0.68, es decir que sus elipsoides son más bien triaxiales, o incluso oblatos (**Tabla 1** y **Figura 19B**). Hay que tener en cuenta que cuando los elipsoides son triaxiales, se pueden sacar buenos datos de foliación y de lineación magnética. Cuando son prolados, eso significa que el dato de lineación magnética está mejor definido que el dato de la foliación magnética, y cuando son oblatos, se obtiene un dato de foliación mejor determinado que el dato de lineación magnética.



**Figura 19:** Diagramas de parámetros escalares de la facies intrusiva del CVPH. A) Diagrama de grado de anisotropía corregida  $P_j$  versus la susceptibilidad media Km. B) Diagrama de parámetro de forma T versus el grado de anisotropía corregida  $P_j$ . AT: Deformación de estado sólido de alta temperatura. BTM: Deformación de estado sólido de baja temperatura moderada. BTI: Deformación de estado sólido de baja temperatura intensa.

### 6.5.3. *Relación entre la deformación de estado sólido y la fábrica magnética*

Hasta aquí se describieron los parámetros de ASM a nivel sitio, que se presentaron en los gráficos  $P_j$  vs.  $K_m$  y  $T$  vs.  $P_j$  de la **Figura 19**. Sin embargo, es interesante mostrar la relación que existe dentro de cada sitio entre los parámetros  $P_j$ ,  $K_m$  y  $T$  cuestión que se presenta en la **Figura 20** y la **Figura 21**.

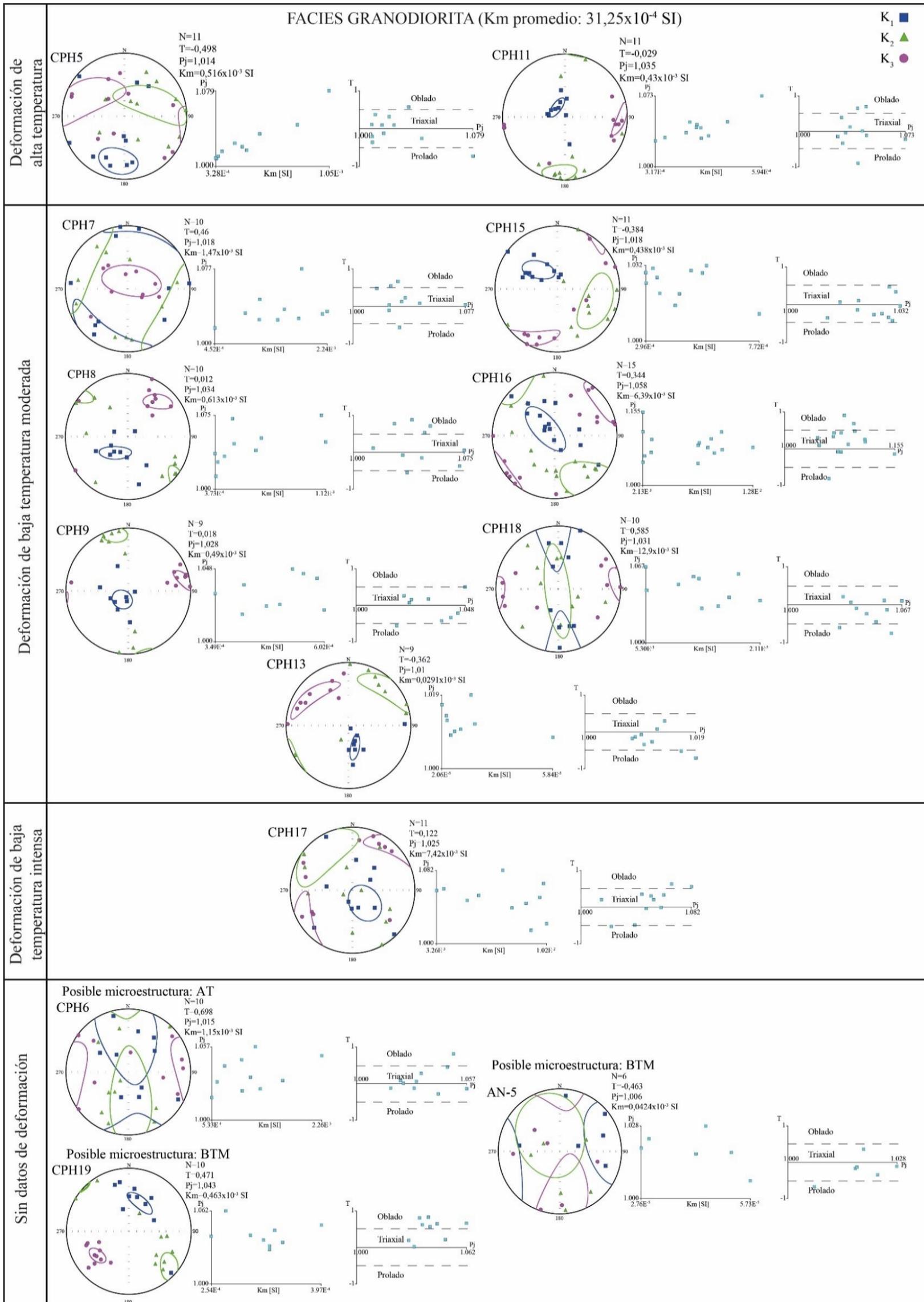
En primer lugar, en la facies granodiorita, en la **Figura 20**, se puede observar que las rocas con deformación de estado sólido alta temperatura de los sitios CPH5 y CPH11 presentan una relación directa entre  $K_m$  y  $P_j$ , evidenciando que el  $P_j$  o grado de deformación de los cilindros de ese sitio está influenciado por el contenido de magnetita de las rocas, y no por la deformación en estado sólido de las mismas. Eso es coherente con la deformación de estado sólido de alta temperatura, prácticamente de tipo magmática, adquirida durante el enfriamiento de las rocas. Además, son sitios que presentan buenos agrupamientos de sus ejes de anisotropía, máxima, intermedia y mínima ( $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$ ), por lo que se puede obtener fábricas magnéticas bien definidas en los dos casos. Para el sitio CPH5, la fábrica es prolada, dada por un buen agrupamiento de los ejes  $K_1$  y por la distribución de los ejes  $K_2$  y  $K_3$  en una guirnalda (parámetro  $T=0.498$ , es decir prácticamente oblado; **Figura 20** y **Tabla 1**). En el caso del sitio CPH11, se tiene un elipsoide triaxial con buenos agrupamientos de los tres ejes de anisotropía, y un valor de  $T$  mucho más bajo y cercano a cero ( $T=-0.029$ ; **Figura 20** y **Tabla 1**).

Continuando con la facies granodiorita, en la misma **Figura 20** se observa que dentro de los sitios que tienen deformación de baja temperatura de grado moderado (sitios CPH7, CPH8, CPH9, CPH15, CPH16, CPH18 y CPH13), la relación entre  $K_m$  y  $P_j$  es menos clara. Ya no hay relaciones directas tan claras como en el caso de los sitios que presentaban solamente evidencias microestructurales de deformación de alta temperatura. Esto sugiere que cuando la deformación de estado sólido de las rocas es mayor, el efecto de la magnetita sobre el  $P_j$  ya no es tan evidente, probablemente porque parte de la magnetita se altera durante la deformación, pasando a hematita, lo que provoca que baje la susceptibilidad magnética de la roca en general. Con respecto a la forma de los elipsoides, la mayor parte de estos son triaxiales, con valores de  $T$  cercanos a cero. Los elipsoides de susceptibilidad magnética están bastante bien definidos, con buenos agrupamientos de los tres ejes  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$ , salvo algunas excepciones, como la del sitio CPH18, que tiene un agrupamiento de ejes bastante pobre.

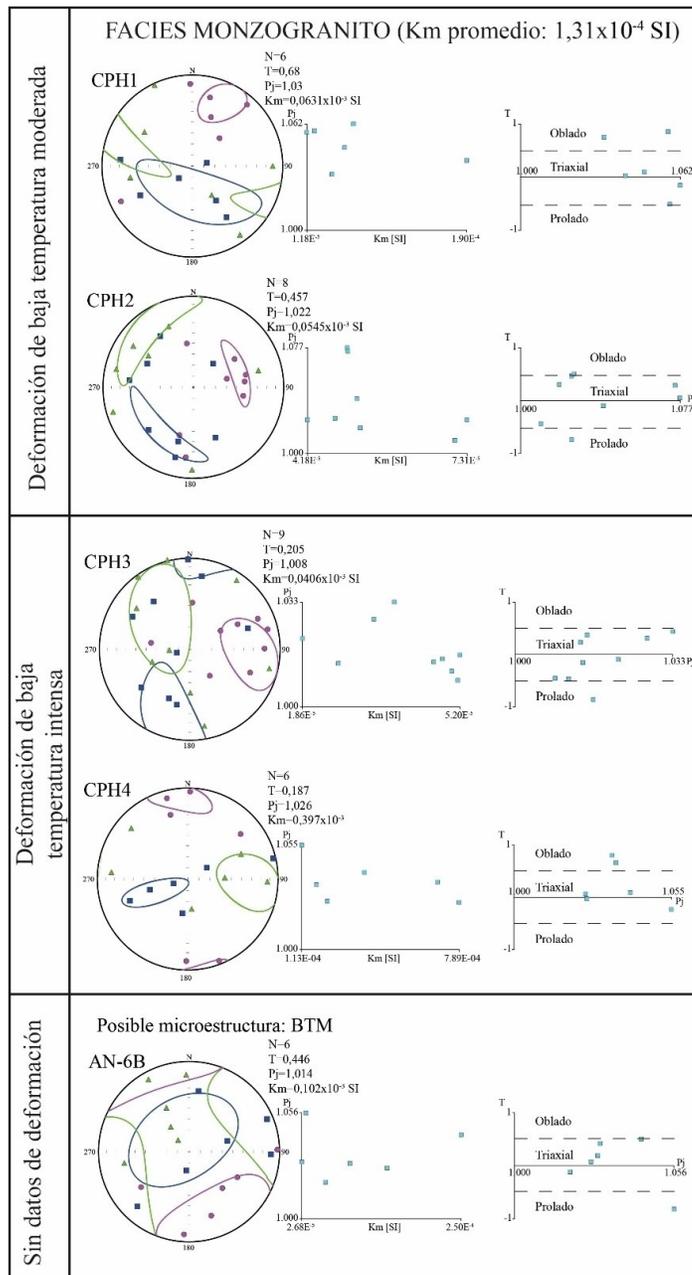
Siguiendo con esta descripción de los elipsoides de ASM individuales de las rocas de la facies granodiorita de acuerdo con la intensidad de la deformación de estado sólido, queda describir la fábrica del sitio CPH17, que tiene microestructuras que evidencian una intensa deformación de estado sólido de baja temperatura. En este caso, se observa que no hay relación directa entre  $P_j$  y  $K_m$ , de hecho, la relación es inversa (a más  $P_j$ , menor  $K_m$ ), lo que muestra que probablemente la magnetita pase a hematita durante la deformación (**Figura 20**). El elipsoide de ASM es triaxial, pero está pobremente definido, dado que se observa una alta dispersión en los ejes  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$  de este sitio.

En el caso de la facies monzogranito, presentada en la **Figura 21**, se puede observar algo parecido a lo descrito para la facies granodiorita. En esta facies no se observaron sitios con solamente deformación de alta temperatura, sino que se tienen sitios con deformación de baja temperatura moderada e intensa. Todos estos sitios presentan gráficos Km vs Pj en los que no hay relación alguna entre estos parámetros. Además, los elipsoides de ASM tienden a estar, por lo general, poco definidos. Los valores de T son bajos y cercanos a cero, dado que son en su mayoría elipsoides de tipo triaxial.

Hay tres sitios de la facies granodiorita (CPH6, CPH19 y AN-5) y un sitio de la facies monzogranito (AN-6b) de los cuales no se tienen datos microestructurales, dado que no se llegó a hacer el corte delgado a tiempo debido a la pandemia de COVID19. Sin embargo, se puede inferir cuáles serían sus características microestructurales teniendo en cuenta lo descrito en los párrafos anteriores. De los tres sitios de la facies granodiorita que no poseen información microestructural, el sitio CPH6 presenta una correlación positiva entre Km vs. Pj por lo que se infiere que posee una deformación de alta temperatura (**Figura 20**). En los sitios CPH19 y AN-5 no se observa una correlación positiva entre estos dos parámetros por lo que, posiblemente estos posean una deformación de estado sólido de baja temperatura moderada (**Figura 20**). Con respecto al sitio AN-6b de la facies monzogranito, este no presenta una buena correlación entre Km vs Pj y sus ejes están dispersos por lo que, se le atribuye una deformación de estado sólido de baja temperatura moderada (**Figura 21**).



**Figura 20:** Proyecciones estereográficas y diagramas de parámetros escalares (Km, Pj y T) de las fábricas magnéticas de los sitios de la facies granodiorita ordenadas según el tipo de deformación de estado sólido que presentan. Posible microestructura: AT=Posible microestructura de deformación de estado sólido de alta temperatura. Posible microestructura: BTM=Posible microestructura de deformación de estado sólido de baja temperatura moderada.

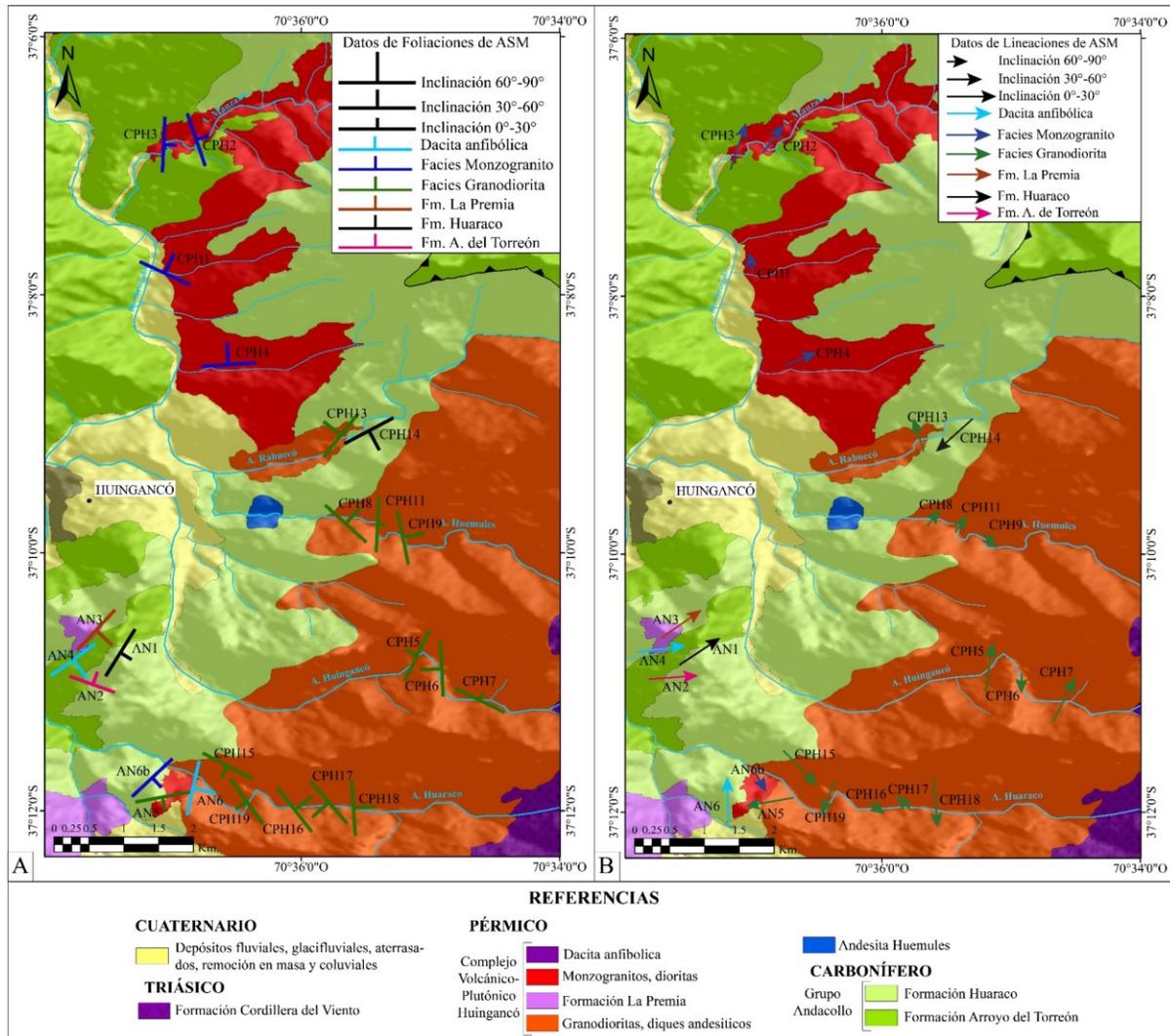


**Figura 21:** Proyecciones estereográficas y diagramas de parámetros escalares (Km, Pj y T) de las fábricas magnéticas de los sitios de la facies monzogranito ordenadas según el tipo de deformación de estado sólido que presentan. Posible microestructura: BTM=Posible microestructura de deformación de estado sólido de baja temperatura moderada.

#### 6.5.4. Mapeo de las foliaciones y lineaciones magnéticas de los intrusivos

Cuando se plotean los datos de foliación y lineación magnética en un mapa, se puede observar que la facies monzogranito presenta en general, foliaciones magnéticas de orientaciones

variables, entre NNE-SSO a E-O y con inclinaciones variables (**Figura 21** y **Figura 22-A**). En cercanías al distrito minero de Andacollo, un sitio de la facies monzogranito (sitio AN6-b, **Figura 21**) presenta una foliación magnética con orientación discordante NO-SE e inclinación moderada (**Figura 22-A**), cabe destacar que en ese sitio la facies monzogranito está intruida por una dacita anfibólica.



**Figura 22:** Mapas de datos direccionales de ASM del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó y su roca de caja. A) Mapa de foliaciones magnéticas. B) Mapa de lineaciones magnéticas.

Por su parte, la facies granodiorita posee una foliación magnética de orientaciones predominantemente NO-SE, con algunos sitios con orientaciones N-S y un sitio NO-SE (sitio AN5), cercano al sitio AN6-b de la facies monzogranito que también presentaba una

orientación NO-SE (**Figura 20** y **Figura 22-A**). Las inclinaciones de las foliaciones magnéticas de la facies granodiorita varían entre moradas a subverticales (**Figura 20** y **Figura 22-A**).

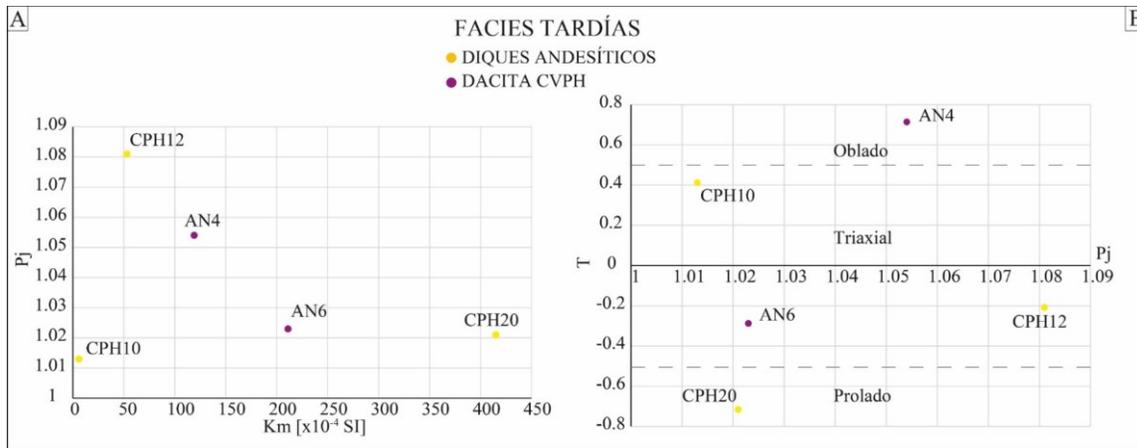
Al norte de la localidad de Huingancó la facies monzogranito posee una lineación magnética de rumbos NE-SO y N-S con inclinaciones variables (sitios CPH1, CPH2, CPH3 y CPH4) mientras que en el sitio AN6-b posee una orientación NO-SE con inclinación subvertical (**Figura 22-B**). En el caso de la facies granodiorita sus lineaciones varían entre N-S, NE-SO y NO-SE, con buzamientos variables (**Figura 22-B**). Un sitio de una dacita anfibólica (sitio AN4) muestra coherencia en su lineación con los sitios cercanos de las formaciones Huaraco y La Premio (sitios AN1 y AN3), siendo las dos unidades con rumbo NE-SO, ubicadas dentro del Distrito Minero Andacollo en la **Figura 22-B**.

#### **6.5.5. Fábrica magnética de las facies tardías del CVPH**

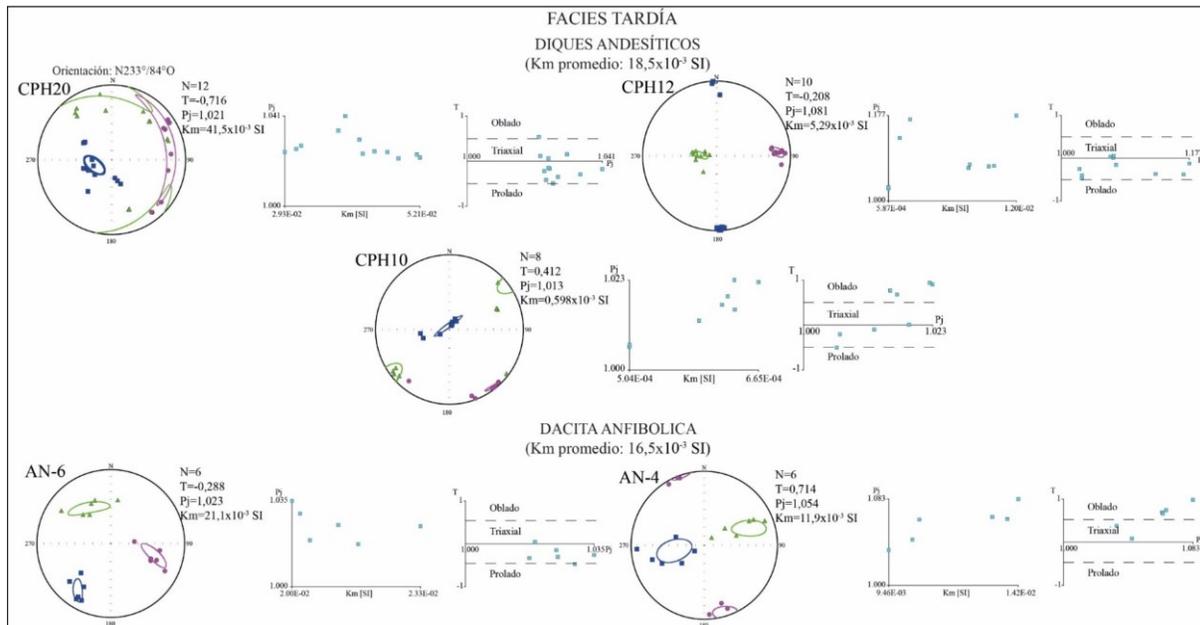
Dentro de las facies tardías del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó, los diques andesíticos tienen un valor de  $Km$  de  $157.96 \times 10^{-4}$  y las dacitas anfibólicas del poseen una  $Km$  de  $165 \times 10^{-4}$ , o sea que ambas son rocas ferromagnéticas (**Figura 23A** y **Tabla 1**). Los diques andesíticos tienen un parámetro  $T$  con valores entre  $-0.716$  y  $0.412$  y un grado de anisotropía  $P_j$  entre  $1.081$  y  $1.013$ , por lo que los elipsoides de ASM poseen formas, en su mayoría, triaxiales, aunque pocos sitios tienen elipsoides oblados (**Figura 23B**; **Tabla 1**). Las dacitas anfibólicas tienen valores de  $T$  entre  $-0.288$  y  $0.717$  y un grado de anisotropía  $P_j$   $1.023-1.054$ , lo que da como resultado, en el gráfico de  $T$  versus  $P_j$ , elipsoides de ASM de forma triaxial en el caso del sitio AN6 a oblada en el caso del sitio AN4 (**Figura 23B**).

Los diques andesíticos que intruyen a la facies granodiorita (sitios CPH10 y CPH12, **Tabla 1**), tienen una foliación magnética de inclinación subvertical de rumbo N-S con un sitio NO-SE. Los diques andesíticos tienen lineaciones de rumbos entre N-S y NE-SO e inclinaciones variables (sitios CPH10, CPH12 y CPH20, **Figura 24** y **Figura 22-B**). Como la fábrica magnética de los diques es subparalela a las paredes del dique, la misma es de tipo normal (véase la discusión en la sección 7.1).

Los intrusivos dacíticos tienen una orientación de su foliación magnética de rumbo NE-SO e inclinaciones moderadas a altas (**Figura 24** y **Figura 22-A**) y lineaciones magnéticas de rumbo entre N-S a NE-SO y buzamiento bajo o alto (sitios AN4 y AN6 respectivamente; **Figura 24** y **Figura 22-B**).



**Figura 23:** Diagramas de parámetros escalares de las facies tardías del CVPH. A) Diagrama de grado de anisotropía corregida  $P_j$  versus la susceptibilidad media  $K_m$ . B) Diagrama de parámetro de forma  $T$  versus el grado de anisotropía corregida  $P_j$ .



**Figura 24:** Proyecciones estereográficas y diagramas de parámetros escalares ( $K_m$ ,  $P_j$  y  $T$ ) de las fábricas magnéticas de la facies tardía del CVPH (diques andesíticos y dacitas anfibólicas).

## 6.6. Geoquímica y Geocronología

En esta sección se presentan los resultados del análisis químico de dos muestras de la facies granodiorita del CVPH y se las integra a las muestras presentadas por Llambías (1986) y por Llambías et al., (2007). De esta manera, en esta sección se analizan los datos geoquímicos disponibles de las facies intrusivas del CVPH. Además, se presenta una edad LA-ICP-MS U/Pb de una muestra del sitio CPH15 de la facies granodiorita.

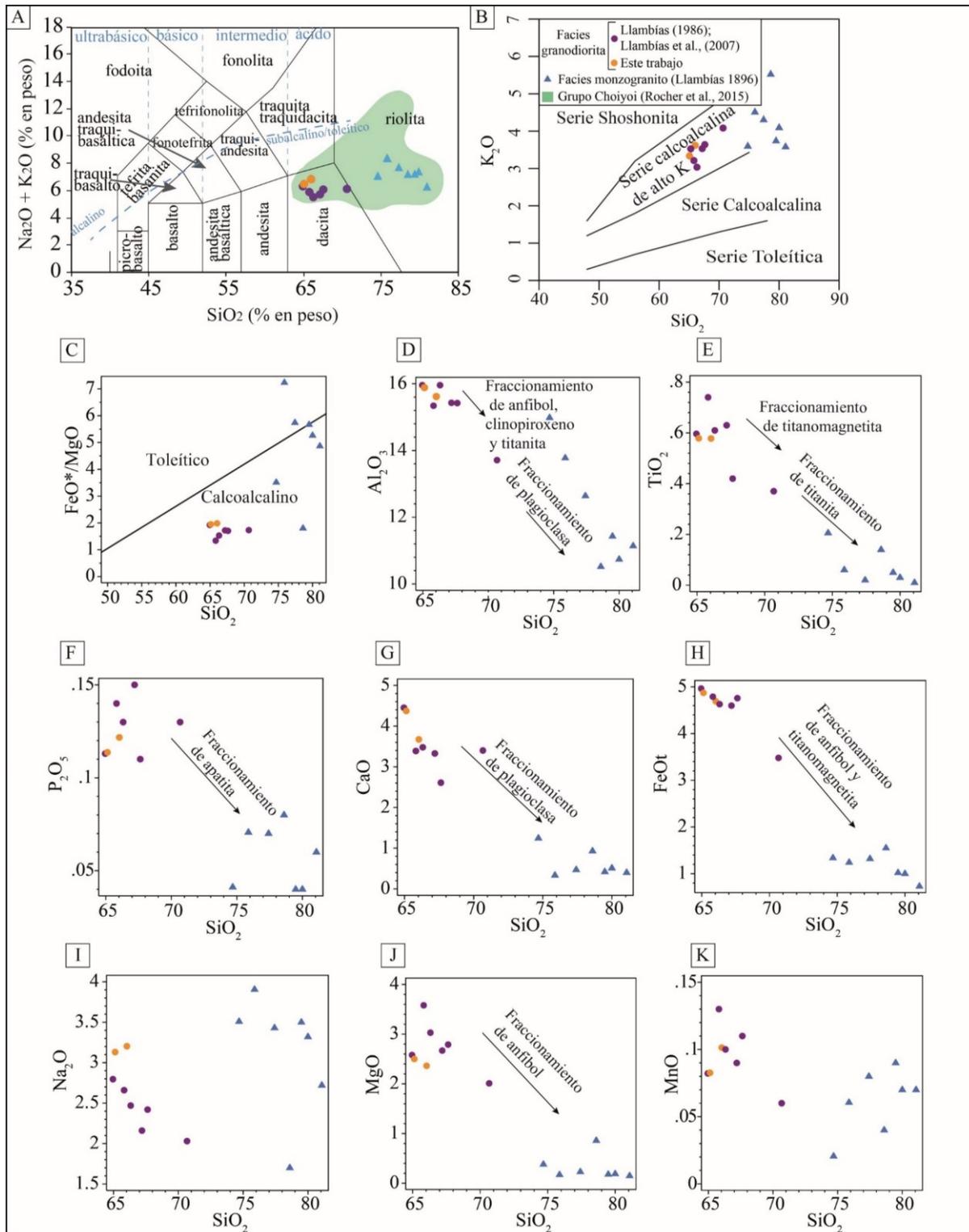
### 6.6.1. *Geoquímica de elementos mayoritarios*

Las rocas de la suite plutónica del CVPH tienen un rango de sílice de 63.02 a 79.4%, y según el diagrama TAS se clasifican como rocas subalcalinas (**Figura 25A**). De esas rocas, las más máficas corresponden a granodioritas, mientras que las más félsicas son monzogranitos (véase la **sección 6.3.1**). El rango total de sílice de las rocas intrusivas del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó está dentro del campo de las rocas de la provincia magmática Choiyoi según Rocher et al. (2015).

Según el diagrama de Peccerillo y Taylor (1976), las facies intrusivas del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó corresponden a rocas de la serie calcoalcalina de contenido alto de potasio (**Figura 25B**). En el diagrama FeOt/MgO vs. SiO<sub>2</sub> de Miyashiro (1974) para la clasificación de series de rocas, se observa que la facies granodiorita corresponde a la serie calcoalcalina, mientras que la facies monzogranito posee un comportamiento más disperso, con mayoría de muestras dentro del campo calcoalcalino pero solo dos dentro del campo toleítico (**Figura 25C**).

En los diagramas tipo Harker (**Figura 25D-K**), se observa que las granodioritas y los monzogranitos describen una tendencia lineal de evolución, donde las granodioritas son las rocas menos evolucionadas y los monzogranitos las más diferenciadas. Se observan tendencias de decrecimiento para el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, FeO total y MgO, con el aumento de la sílice. El MnO vs. SiO<sub>2</sub> presenta un patrón negativo en las muestras más máficas, pero a partir del 75% de SiO<sub>2</sub> se observa un patrón de enriquecimiento. La tendencia de decrecimiento del TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con la sílice puede explicarse a través del fraccionamiento de apatita, hornblenda, y titanomagnetita y titanita.

Los monzogranitos tienen una composición peraluminosa, con un índice de saturación de alúmina (ASI) entre 0.98 y 1.33. Las granodioritas tienen una composición fuertemente peraluminosa con un índice de saturación de alúmina (ASI) entre 0.95 y 2.17 (**Tabla 2**).



**Figura 25:** Diagramas de clasificación de las muestras del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó. A: Diagrama de clasificación TAS con la ubicación aproximada del Grupo Choyoi (Rocher et al., 2015), donde se observa una correspondencia. B: Diagrama de clasificación según (Peccerillo y Taylor 1976). C: Diagrama de clasificación en base a la relación FeOt/MgO

vs. SiO<sub>2</sub>, según Miyashiro (1974). D-K: Diagramas bivariados de elementos mayoritarios versus el contenido de SiO<sub>2</sub>. Los valores están expresados en porcentajes en peso de óxidos.

| Autor                            | Llambias et al. (2007) |          |          | Llambias (1986) |       |       |       |      |       |        |       |       |       |          | Este trabajo |  |
|----------------------------------|------------------------|----------|----------|-----------------|-------|-------|-------|------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|--------------|--|
|                                  | CLL30                  | CLL31    | CLL32    | 1               | 2     | 7     | 21    | 30   | 5     | 27     | 31    | 35    | 3     | CPH6     | CPH17        |  |
| SiO <sub>2</sub>                 | 72.58                  | 72.19    | 63.21    | 64.58           | 64.4  | 65.38 | 69.58 | 77.9 | 79.42 | 79.8   | 76.7  | 77.74 | 63.02 | 65.12    |              |  |
| TiO <sub>2</sub>                 | 0.2                    | 0.06     | 0.58     | 0.61            | 0.59  | 0.72  | 0.41  | 0.36 | 0.05  | 0.03   | 0.01  | 0.02  | 0.14  | 0.56     | 0.57         |  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 14.56                  | 13.65    | 15.53    | 14.83           | 15.52 | 15.01 | 14.91 | 13.5 | 11.2  | 10.66  | 10.97 | 12.52 | 10.4  | 15.37    | 15.4         |  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 1.3                    | 1.23     | 4.83     | 1.93            | 2.31  | 1.95  | 0.77  | 0.58 | 0.45  | 0.1    | 0.64  | 0.16  | 0.57  | 5.24     | 5.14         |  |
| FeO                              |                        |          |          | 2.68            | 2.42  | 2.93  | 3.91  | 2.9  | 0.59  | 0.9    | 0.14  | 1.16  | 1.02  |          |              |  |
| MnO                              | 0.02                   | 0.06     | 0.08     | 0.09            | 0.1   | 0.13  | 0.11  | 0.06 | 0.09  | 0.07   | 0.07  | 0.08  | 0.04  | 0.05     | 0.1          |  |
| MgO                              | 0.37                   | 0.17     | 2.51     | 2.57            | 2.95  | 3.5   | 2.7   | 1.98 | 0.18  | 0.19   | 0.15  | 0.23  | 0.85  | 2.42     | 2.33         |  |
| CaO                              | 1.21                   | 0.33     | 4.33     | 3.2             | 3.38  | 3.32  | 2.52  | 3.35 | 0.41  | 0.51   | 0.39  | 0.47  | 0.92  | 4.23     | 3.62         |  |
| Na <sub>2</sub> O                | 3.41                   | 3.87     | 2.72     | 2.08            | 2.4   | 2.6   | 2.34  | 2    | 3.43  | 3.3    | 2.68  | 3.4   | 1.58  | 3.03     | 3.16         |  |
| K <sub>2</sub> O                 | 3.49                   | 4.46     | 3.41     | 3.4             | 2.95  | 3.15  | 3.52  | 4.02 | 3.66  | 4.06   | 3.52  | 4.26  | 5.46  | 3.23     | 3.23         |  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>    | 0.04                   | 0.07     | 0.11     | 0.14            | 0.13  | 0.14  | 0.11  | 0.13 | 0.04  | 0.04   | 0.06  | 0.07  | 0.08  | 0.011    | 0.11         |  |
| LOI                              | 2.53                   | 0.91     | 1.89     | 3.07            | 2.26  | 1.5   | 2.66  | 1.33 | 1.26  | 0.72   | 0.51  | 0.77  | 2.1   | 1.3      |              |  |
| Total                            | 99.72                  | 99.99    | 99.21    | 99.74           | 99.81 | 99.61 | 99.35 | 99.9 | 99.62 | 100.12 | 99.46 | 99.87 | 99.9  | 99.47    | 100.51       |  |
| Elementos traza (ppm)            |                        |          |          |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       |          |              |  |
| Cs                               | 10.7                   | 5.1      | 6.1      |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 8        | 3.4          |  |
| Rb                               | 142                    | 200      | 172      |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 151.8    | 159.9        |  |
| Ba                               | 842                    | 406      | 481      |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 356      | 460          |  |
| Th                               | 16                     | 10.1     | 16.5     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 18.9     | 18.1         |  |
| U                                | 3.53                   | 2.44     | 3.94     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 5.5      | 4.4          |  |
| Nb                               | 6.4                    | 12.8     | 8.1      |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 10.3     | 9.1          |  |
| Sr                               | 106                    | 45       | 208      |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 173.9    | 211.5        |  |
| Hf                               | 3.6                    | 2.2      | 3.8      |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 4.1      | 5.6          |  |
| Zr                               | 116                    | 47       | 117      |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 125.7    | 173.2        |  |
| Y                                | 18.4                   | 28.6     | 28.1     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 32.2     | 24.6         |  |
| V                                | 16                     | <5       | 103      |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 101      | 100          |  |
| Cr                               | <20                    | <20      | <20      |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 41       | 41           |  |
| Co                               | 10                     |          | 32       | 30              |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 13.7     | 12.6         |  |
| Ni                               | <20                    | <20      | <20      |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | <20      | <20          |  |
| Ga                               | 14                     | 16       | 17       |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 16.6     | 16.8         |  |
| Tl                               | 1.41                   | 0.91     | 0.71     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | -        | -            |  |
| Pb                               | 8                      | 22       | 15       |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | -        | -            |  |
| Sc                               | 5                      | 4        | 16       |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 14       | 14           |  |
| Be                               | -                      | -        | -        |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 2        | 2            |  |
| Sn                               | -                      | -        | -        |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 4        | 4            |  |
| Ta                               | -                      | -        | -        |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 1.2      | 1            |  |
| W                                | -                      | -        | -        |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 2.1      | 0.7          |  |
| Tierras raras (ppm)              |                        |          |          |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       |          |              |  |
| La                               | 39.9                   | 12       | 27.1     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 29.3     | 29.6         |  |
| Ce                               | 72.4                   | 27.5     | 60.2     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 69.9     | 66.8         |  |
| Pr                               | 7.11                   | 3.22     | 7.15     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 9.7      | 8.27         |  |
| Nd                               | 22                     | 13.2     | 26.7     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 34.4     | 29.7         |  |
| Sm                               | 3.65                   | 3.27     | 5.61     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 7.32     | 6            |  |
| Eu                               | 0.8                    | 0.35     | 1.06     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 0.95     | 0.97         |  |
| Gd                               | 3.21                   | 3.38     | 5.13     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 6.2      | 4.54         |  |
| Tb                               | 0.48                   | 0.68     | 0.8      |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 0.97     | 0.76         |  |
| Dy                               | 2.81                   | 4.46     | 4.73     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 5.58     | 4.29         |  |
| Ho                               | 0.55                   | 0.86     | 0.91     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 1.12     | 0.87         |  |
| Er                               | 1.79                   | 2.56     | 2.63     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 3.37     | 2.61         |  |
| Tm                               | 0.293                  | 0.448    | 0.403    |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 0.55     | 0.38         |  |
| Yb                               | 1.99                   | 2.92     | 2.55     |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 3.21     | 2.62         |  |
| Lu                               | 0.312                  | 0.409    | 0.358    |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 0.51     | 0.37         |  |
| Indices/Relaciones               |                        |          |          |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       |          |              |  |
| ΣREE                             | 157.295                | 75.257   | 145.331  |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 173.08   | 157.78       |  |
| FeO*/MgO                         | 3.514                  | 7.235    | 1.924    |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 2.165    | 2.206        |  |
| Zr*0.0001/TiO <sub>2</sub>       | 0.058                  | 0.078    | 0.020    |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 0.022    | 0.030        |  |
| Ba/La                            | 21.103                 | 33.833   | 17.749   |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 12.150   | 15.541       |  |
| Th/La                            | 0.401                  | 0.842    | 0.609    |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 0.645    | 0.611        |  |
| Th/Hf                            | 4.444                  | 4.591    | 4.342    |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 4.610    | 3.232        |  |
| Ta/Hf                            |                        |          |          |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 0.293    | 0.179        |  |
| La/ta                            |                        |          |          |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 24.417   | 29.600       |  |
| Eu/Eu*                           | 0.712                  | 0.321    | 0.602    |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 0.430    | 0.567        |  |
| La <sub>n</sub> /Sm <sub>n</sub> | 6.82643                | 2.291642 | 3.01661  |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 2.4996   | 3.08073      |  |
| Sm <sub>n</sub> /Yb <sub>n</sub> | 1.99528                | 1.218229 | 2.39324  |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 2.48068  | 2.49123      |  |
| Dy/Yb                            | 1.412                  | 1.527    | 1.855    |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 1.738    | 1.637        |  |
| 10000*Ga/Al                      | 0.000096               | 0.000117 | 0.000109 |                 |       |       |       |      |       |        |       |       |       | 0.000108 | 0.000109     |  |

**Tabla 2:** Análisis químicos de rocas del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó, de las facies monzogranito y granodiorita, tomados de Llambías et al. (2007), Llambias (1986) y de este trabajo.

### 6.6.2. Geoquímica de elementos traza

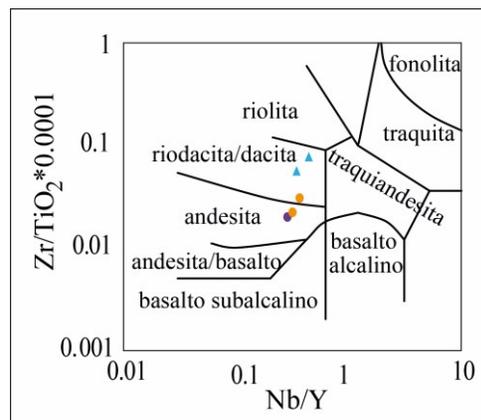
Según la clasificación de Winchester y Floyd (1977) en base a elementos inmóviles (Nb/Y-Zr/TiO<sub>2</sub>) las rocas del CVPH son ploteadas en los campos de riodacita/dacita y andesita, para las facies monzogranito y granodiorita, respectivamente (**Figura 26**). En el diagrama de tierras raras normalizadas al condrito de Sun y McDonough (1989) (**Figura 27A**) la sumatoria de tierras raras (*Rare Earth Elements*=REE) se mantiene relativamente constante en todas las

muestras (145-173 ppm) con una muestra de la facies monzogranito con una sumatoria anómala de 75 ppm (muestra CLL31; **Tabla 2**). La anomalía negativa de Eu está presente en todas las muestras de ambas facies, siendo más importante en la facies de composición más ácida (**Figura 27A**).

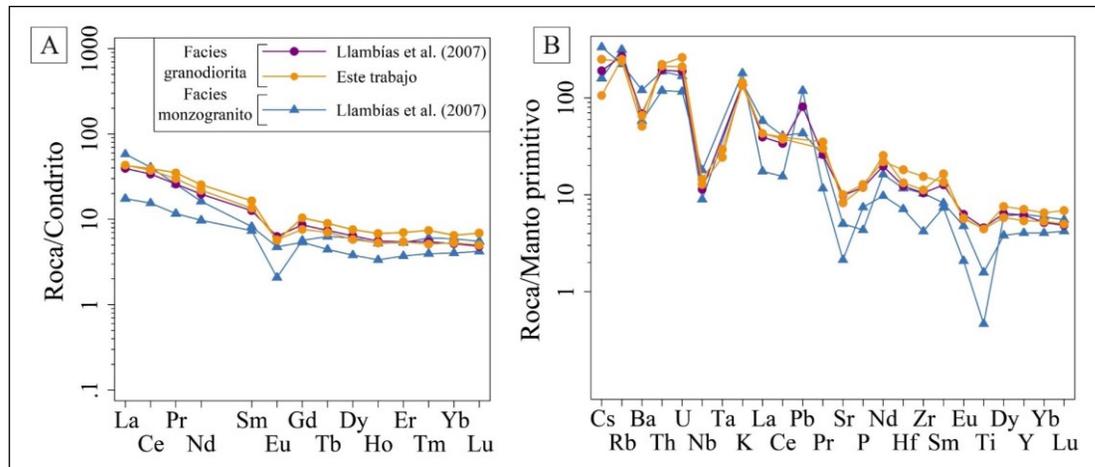
En la facies granodiorita, las tierras raras livianas generan un patrón de pendiente moderada ligeramente enriquecidas ( $La_N/Sm_N=2.4-3.08$ , **Tabla 2; Figura 27A**), y las tierras raras pesadas con una pendiente relativamente plana, mostrando poca variación en las concentraciones ( $Sm_N/Yb_N=2.39-2.49$ , **Tabla 2; Figura 27A**). Su anomalía de Eu es negativa ( $Eu/Eu^*=0.60-0.43$ , **Tabla 2; Figura 27A**).

En contraste, las dos muestras de Llambías et al., (2007) de la facies monzogranito presentan dos patrones de REE distintos entre sí, con una muestra con pendiente alta de las tierras raras pesadas y mayor enriquecimiento en las tierras raras livianas y anomalías de Eu moderada (muestra CLL30;  $La_N/Sm_N=6.8$ ,  $Sm_N/Yb_N=1.99$  y  $Eu/Eu^*=0.71$ ; **Tabla 2**) y otra muestra con anomalía negativa de Eu más negativa, menor enriquecimiento en tierras raras livianas y una pendiente más moderada en las tierras raras pesadas (muestra CLL31;  $La_N/Sm_N=2.3$ ,  $Sm_N/Yb_N=1.2$  y  $Eu/Eu^*=0.32$ , **Tabla 2; Figura 27A**).

En el diagrama multielemental normalizado al manto primitivo de Sun y McDonough (1989) (**Figura 27B**) se observan concentraciones altas en U, Rb y Th en ambas facies. En general se observan concentraciones altas en elementos de gran radio iónico como Cs y Rb, con anomalías negativas de Ba, Nb y Ta, rasgos típicos de series de rocas orogénicas (Wilson 1989). Las concentraciones de elementos de alto potencial iónico son relativamente bajas, con anomalías negativas importantes en Ti y Sr para las facies monzogranito, a diferencia de la facies granodiorita que posee anomalías negativas más bajas. Esto se asocia al fraccionamiento de titanomagnetita y de plagioclasa más importante en los monzogranitos que en las granodioritas. La anomalía negativa de P relativamente menor en la facies granodiorita a comparación con la facies monzogranito, se asocia al fraccionamiento de apatita en las granodioritas.



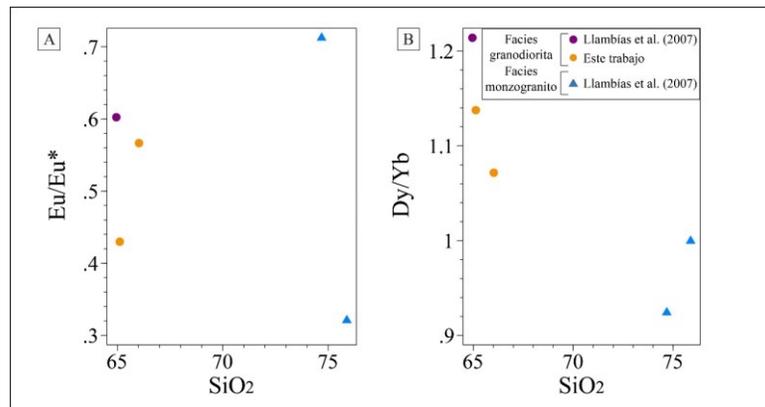
**Figura 26:** Diagrama de clasificación Nb/Y-Zr/TiO<sub>2</sub> de Winchester y Floyd (1977).



**Figura 27:** A: Diagrama de variación de REE normalizado al condrito de Sun y McDonough (1989). B: Diagrama de variación multielementos normalizado al manto primitivo de Sun y McDonough (1989).

Las características geoquímicas del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó son coherentes con rocas calcoalcalinas, de magmas típicos de ambientes de subducción. Según la baja relación Sm/Yb que presentan las rocas de las dos facies (1.21-2.49, **Tabla 2**) la fuente de los magmas no estuvo sujeta a presiones altas o a altas profundidades, y teniendo en cuenta las altas concentraciones en los elementos U, K, Ba, Rb y Th esto sugiere una contaminación cortical, por lo que se asocian estos intrusivos a un emplazamiento en la corteza superior.

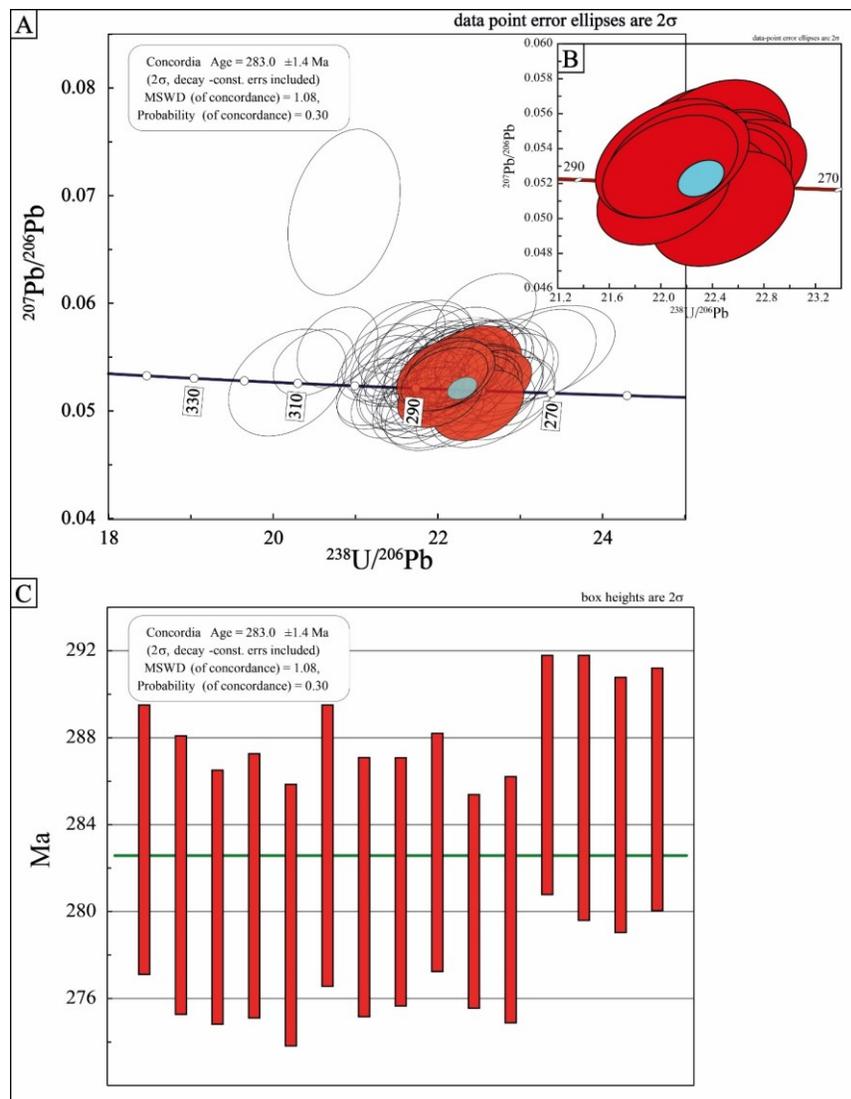
En la **Figura 28A y B** se grafican las relaciones de  $Eu/Eu^*$  vs  $SiO_2$  y  $Dy/Yb$  vs  $SiO_2$ , respectivamente. En general se observa una tendencia negativa en la relación  $Eu/Eu^*$  con respecto a  $SiO_2$ , lo que estaría reflejando un fraccionamiento de plagioclasa en las facies ácidas (**Figura 28A**). La relación inversa entre la relación  $Dy/Yb$  y  $SiO_2$  indica fraccionamiento de anfíbol en todas las facies (**Figura 28B**).



**Figura 28:** Diagramas de relaciones de elementos traza seleccionados. A: La relación descendiente de  $Eu/Eu^*$  sugiere fraccionamiento de plagioclasa. B: La disminución en la relación  $Dy/Yb$  vs.  $SiO_2$  sugiere fraccionamiento de anfíbol.

### 6.7. Nueva edad U-Pb LA-ICP-MS de la facies granodiorita del CVPH

Para el filtrado se tomaron los datos con concordancia menor al 5% (es decir, datos que están entre 95% y 105% de concordancia) y con un valor de Rho XY menor a 0.03 (relación entre los errores  $2\sigma$ ). Para la muestra del sitio CPH16 se obtuvo una edad de  $283,4 \pm 1,4$  Ma (Kunguriense, Pérmico Inferior; **Figura 29A-C**) según el diagrama de Tera-Wasserburg, la cual es coherente con las edades reportadas por Sato et al. (2008) para esta facies. La relación Th/U es útil para discriminar, en primera instancia, el proceso de crecimiento de los zircones (metamórficos:  $Th/U < 0.07$ ; magmáticos:  $Th/U > 0.5$ ). Los zircones estudiados en la muestra CPH16 tienen valores en general de Th/U mayores a 0.5, lo que indica que estos son zircones magmáticos (Wang et al. 2011; Kirkland et al. 2015; Hoskin y Schaltegger 2018).



**Figura 29:** A) Diagrama de concordia de Tera-Wasserburg para la relación  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  vs  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  de todas las muestras, donde se marcan en las elipses rojas las muestras seleccionadas y filtradas para el ploteo de la concordia. B) Detalle de la Concordia de la **Figura**

**29A** de Tera-Wasserburg para la relación  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  vs  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  de las muestras filtradas, con la elipse celeste correspondiente a la concordia obtenida de  $283,4 \pm 1,4$  Ma. C) Media ponderada de las edades  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  de los spots de los circones usados en la Concordia.

## 7.0 DISCUSION

En esta sección se presentan las discusiones del presente trabajo, yendo de aspectos particulares a más generales. Primero se discuten los resultados de ASM del CVPH y su roca de caja, luego se continua por las implicancias de la nueva edad presentada en este trabajo y por último se discuten los resultados de las características geoquímicas y de emplazamiento del CVPH en el contexto de los modelos propuestos por diversos autores para la evolución del margen occidental de Gondwana durante el Permo-Triásico.

### 7.1. Relación entre fábrica magnética, deformación regional y alteración hidrotermal

En las fábricas magnéticas de las rocas estudiadas se observó que los elipsoides de ASM de las rocas con deformación de estado sólido de alta temperatura presentan fábricas magnéticas que muestran una relación directa entre el grado de anisotropía  $P_j$  y la  $K_m$  y sus elipsoides de ASM tienen buenos agrupamientos de sus ejes de susceptibilidad magnética máxima, intermedia y mínima (fábricas de tipo no perturbado). Esta relación directa sugiere que el parámetro  $P_j$  (grado de deformación) está controlado por la presencia de magnetita, y no por la deformación en estado sólido (la deformación real, sería) que presentan las rocas. Esto es así porque la deformación de estado sólido de alta temperatura se atribuye al propio enfriamiento de los intrusivos del CVPH. Los sitios que presentan este tipo de fábrica estarían registrando, entonces, una deformación magmática paleozoica, coetánea con el emplazamiento de los magmas del CVPH.

Sin embargo, las deformaciones de baja temperatura y de baja temperatura más intensa son probablemente muy posteriores al emplazamiento de los plutones, y pueden estar vinculadas a procesos tectónicos como la orogenia Andina, teniendo en cuenta que el área de estudio está ubicada en el sector interno de la Faja Plegada y Corrida de Chos Malal (Giacosa et al., 2014). Lo que apoya esta teoría es que la deformación de baja temperatura dispersa los elipsoides de ASM, porque la fábrica magnética se hace menos definida, y se rompen las características magmáticas dadas por el  $P_j$  gobernado por el  $K_m$ . En esos sitios, el  $P_j$  pasa a no tener relación alguna con el  $K_m$ , o incluso a tener una tendencia negativa con la  $K_m$ , evidenciando que, probablemente, parte de la magnetita pase a ser hematita durante la deformación de estado sólido.

Los intrusivos del CVPH intruyen en el Pérmico Temprano, a la fábrica plegada del Grupo Andacollo, deformado durante la orogenia San Rafael, por lo que su intrusión se produjo durante un colapso orogénico y su emplazamiento pudo haberse dado luego del cese de los esfuerzos principales (Llambías et al., 2007). Eso puede explicar, al menos en parte, el hecho que, cuando se plotean en un mapa, las foliaciones magnéticas de las facies monzogranito y

granodiorita no muestran una orientación preferencial, sino que más bien oscilan entre N-S a NO-SE (**Figura 22**). La dispersión de las fábricas también se puede deber al hecho de tener fábricas sobreimpuestas, probablemente paleozoicas en su origen pero que exhiben una recristalización posterior.

Con respecto a la relación entre los intrusivos y su roca de caja, se observa que en los sitios donde se observó esta relación, que son los sitios CPH13 y CPH14 de la facies granodiorita y de la Formación Huaraco, respectivamente, tienen sus foliaciones magnéticas con rumbos similares, comportamiento que permite inferir que ambos están parcialmente acoplados. Sin embargo, el sitio AN1 de la Formación Huaraco que fue tomado lejos de los intrusivos, tiene una foliación magnética con rumbo muy similar al sitio CPH14 (**Figura 22-A**) por lo que, el rumbo de este último no se correspondería a la intrusión de la facies granodiorita sino más bien que es propia de las areniscas de la Formación Huaraco.

Como se detalló anteriormente, en general las foliaciones magnéticas son subverticales, al igual que las lineaciones (**Figura 22**). Ahora bien, considerando que las facies intrusivas del CVPH se emplazaron en la corteza superior, sería de esperarse que las foliaciones y lineaciones magnéticas sean subhorizontales (a la manera de lacolitos) y no subverticales. Un ejemplo de esto son los intrusivos permo-triásicos del Complejo La Esperanza, que se emplazaron en la corteza superior, y que poseen foliaciones magnéticas subhorizontales (Martínez Dopico et al., 2017). Teniendo esto en cuenta, es posible que las fábricas magnéticas subverticales de los intrusivos pérmicos del CVPH hayan sido inicialmente subhorizontales, pero que hoy en día el bloque esté tectónicamente rotado, de forma que en la actualidad las observemos así. La rotación de bloques podría haberse producido durante la exhumación del basamento paleozoico durante el Cretácico, que además dio origen al anticlinal Cordillera del Viento (Giacosa et al., 2014).

Con respecto a la fábrica de los diques andesíticos, se vio que las mismas son subverticales y con orientaciones NE-SO a N-S y con sitios donde las paredes de los diques son subparalelas a las fábricas magnéticas, es decir, estos diques andesíticos tienen una fábrica normal de acuerdo con el criterio de Rochette et al., (1992). Cabe recordar que estos diques presentan una intensa alteración propilítica (**Figura 16**), por lo que dicha alteración debió ser coetánea o inmediatamente posterior a la intrusión de los diques, dado que, en caso contrario la alteración habría modificado la fábrica magnética original de la roca. Esta alteración pudo haber sido de tipo deutérica, estando asociada a los propios fluidos de los magmas andesíticos de los diques.

La facies granodiorita está atravesada por diques andesíticos con anchos entre 1 m a 15-20 m y por vetas de cuarzo de unos pocos centímetros. También se observaron venillas de epidoto y pirita rellenas de diacclasas y de forma diseminada, solo en el afloramiento de la granodiorita sobre el arroyo Huigancó (sitio CPH16 y CPH19), en mayor cercanía al Distrito Minero Andacollo. La facies granodiorita exhibe una asociación mineral característica de una

alteración propilítica, la cual se la atribuye a un sistema epitermal, en este caso, del Distrito Minero Andacollo (Pons et al., 2019).

## 7.2. Algunas consideraciones sobre la edad, procesos petrogenéticos y la fuente de los magmas del CVPH

La facies granodiorita del CVPH cuenta con una nueva edad de cristalización U-Pb en circón de  $283,4 \pm 1,4$  Ma, muy consistente con la edad U-Pb SHRIMP en circón de  $283 \pm 1$  Ma reportada por Sato et al. (2008) y con la edad U-Pb SHRIMP de  $282,5 \pm 2,0$  Ma de Hervé et al. (2013) para esta facies, mientras que la facies monzogranito fue datada por la misma metodología en  $258,5 \pm 9,4$  Ma (Sato et al., 2008). En las imágenes de la **Figura 8** se aprecia (al igual que en la **Figura 1**) como los intrusivos del CVPH forman una zonación inversa, con la facies monzogranito rodeando a la facies granodiorita, creando ambas unidades una forma globosa (**Figura 8**). La dacita anfibólica del sitio de ASM AN6 parece ser de edad Pérmica, debido a la relación de contacto con su roca de caja (intruye en contacto sinuoso a la facies granodiorita), sin embargo, la dacita anfibólica del sitio AN4 no posee una relación de contacto tan clara con las unidades del Grupo Andacollo, por lo que podría no corresponder al mismo evento de intrusión que la dacita del sitio AN6, y en consiguiente, no ser de edad Pérmica. Si bien Llambías et al. (2007) mencionan que los diques andesíticos no cortan a las secuencias triásicas de la Formación Cordillera del Viento y que los asocian a la intrusión de la facies granodiorita, no debe descartarse la posibilidad de que estos diques pertenezcan a un evento posterior al CVPH.

Según la baja relación Sm/Yb que presentan las rocas intrusivas de las dos facies del CVPH (1.21-2.49, **Tabla 2**) la fuente de los magmas no estuvo sujeta a presiones altas o a altas profundidades. Esto es coherente con lo expuesto por Llambías et al. (2007), que mencionan que las rocas expuestas corresponden a la cúpula, al techo de las cámaras magmáticas.

El bajo nivel de acople que se observó en la fábrica de las rocas de caja con la fábrica de los granitos del CVPH (ver ítem anterior) también es consistente con la presencia de procesos de tipo frágil como por ejemplo stoping como generadores de espacio para el emplazamiento de los plutones. La presencia de metamorfismo de contacto en las tobas y areniscas de las formaciones Arroyo del Torreón y Huaraco, que presentan porfiroblastos de muscovita y una intensa silicificación, también evidencia que las condiciones de emplazamiento del CVPH eran someras, con contraste térmico alto entre los plutones y su roca hospedante.

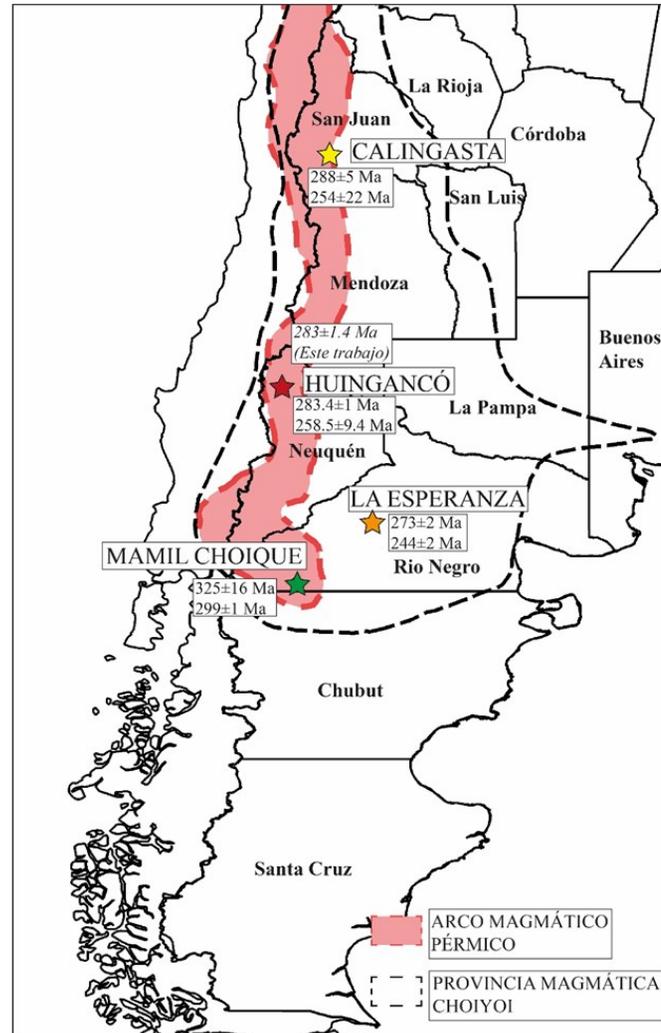
Las altas concentraciones de elementos traza como U, K, Ba, Rb y Th (**Figura 27B**) sugieren contaminación cortical en la fuente de los magmas del CVPH. Datos Lu-Hf de la facies granodiorita del CVPH con valores de  $\epsilon_{Hf}$  entre 0 a -2 sugieren que las fuentes de los magmas residieron en la corteza por cierto tiempo, es decir, tienen una importante componente cortical, si bien los magmas del CVPH serían un poco más juveniles que el resto de los granitos Gondwánicos (Hervé et al., 2013). La facies granodiorita posee además inclusiones metamórficas de pocos centímetros, lo que evidencia la presencia de contaminación a partir de un basamento metamórfico no expuesto (Llambías et al., 2007).

Otro aspecto importante para considerar es que, si bien se observan tendencias lineales en los diagramas tipo Harker de la **Figura 25**, el magma parental de la facies granodiorita no puede haber evolucionado hacia la facies monzogranito por procesos de cristalización fraccionada que ocurran al nivel de emplazamiento de los magmas. La diferencia de ~30 millones de años que existe entre las dos facies que componen el plutón, que es superior a los 100.000 años (que usualmente toma la diferenciación en pulsos en los plutones por cristalización fraccionada; Spera 1980, Weinberg y Podladchikov 1994, Clemens 1998 y Hawkesworth et al., 2004), sugiere que dicha evolución tuvo que haber ocurrido al nivel de la fuente de los magmas. La presencia de enclaves máficos microgranulares en las granodioritas también sugiere que, a nivel de la fuente de los magmas, pulsos de composición más máfica se agregaban a un magma hospedante más félsico. El mecanismo de emplazamiento de los plutones tuvo lugar, probablemente, a la manera de diques amalgamados (por ej. Glazner et al., 2004).

Desde un punto de vista más general, todas las rocas de la Provincia Magmática Choiyoi muestran una evolución que va de rocas intermedias más antiguas a rocas ácidas más jóvenes (Rocher et al., 2015). En el caso del CVPH, también se ve la misma progresión de edades, ya que la facies granodiorita es aproximadamente 30 Ma más vieja que la facies monzogranito. Diferentes autores han explicado esta variación composicional como debida a diferentes factores (por delaminación litosférica, slab-rollback acompañado de un hundimiento del manto subcontinental litosférico o por descratonización; véase un resumen de las teorías propuestas en Oliveros et al., 2020). Además, frecuentemente las rocas intermedias de la Provincia Magmática Choiyoi tienen una fuente más compatible con ambiente de subducción, mientras que las rocas ácidas más jóvenes tendrían una fuente más compatible con un ambiente de intraplaca (Rocher et al., 2015).

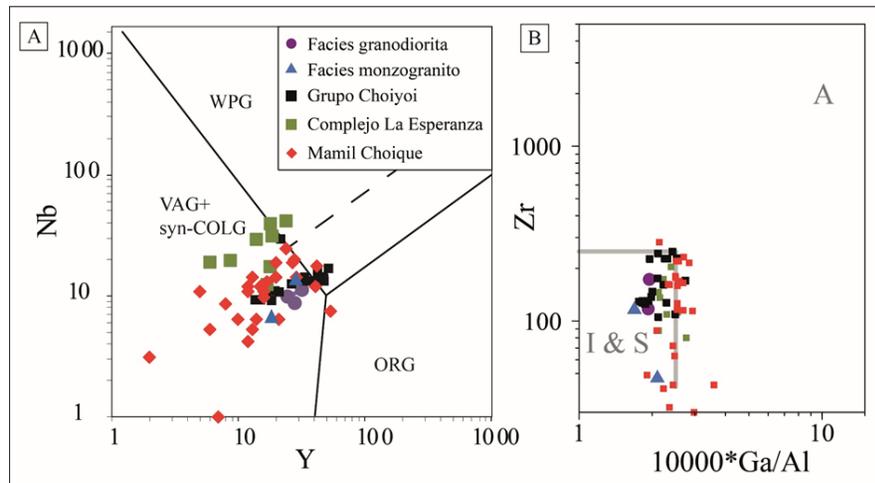
Recientemente, Oliveros et al. (2020) postularon que el magmatismo de finales del Ciclo Gondwánico y previo al Ciclo Andino, fue predominantemente producido por subducción, según las características geoquímicas de las rocas ígneas del Carbonífero tardío al Jurásico tardío. Las características geoquímicas del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó, con anomalías negativas de Nb, Ta, así como picos positivos en Pb, y enriquecimiento en elementos de alto radio iónico como Cs, K, La y Rb (**Figura 27A y B**) son coherentes con rocas calcoalcalinas típicas de ambientes de subducción. Esto concuerda con lo propuesto por Oliveros et al. (2020), que postulan un margen de tipo convergente para las rocas del Pérmico de Gondwana.

Para refinar la caracterización de la fuente de los magmas, se plotearon en diferentes diagramas tectónicos las rocas del CVPH. En dichos diagramas se incluyeron, a modo comparación, las rocas de los intrusivos carboníferos del Complejo Mamil Choique (López De Luchi y Cerredo, 2008) y pérmicos del Complejo La Esperanza (Martínez Dopico et al., 2019) (**Figura 30**). También se realizaron comparaciones con las rocas del Grupo Choiyoi de  $288\pm 5$  Ma (facies Choiyoi Inferior) y de  $254\pm 22$  Ma (facies Choiyoi Superior) Ma que afloran en la Cordillera Frontal de San Juan (Rocher et al., 2015) (**Figura 30**).



**Figura 30:** Mapa de la provincia magmática Choiyoi (marcada en negro) y el arco magmático pérmico (marcado en rojo), donde se puede observar la ubicación relativa del Complejo Plutónico Volcánico Huingancó (este trabajo y Llambías et al., 2007), los Granitoides Mamil Choique (López De Luchi y Cerredo, 2008), el Complejo La Esperanza (Martínez Dopico et al., 2019) y las unidades de la Cordillera Frontal (Rocher et al., 2015). Modificado de (Navarrete et al., 2019) y Rocher et al. (2015).

Según el diagrama de Pearce et al. (1984) la facies granodiorita del CVPH queda dentro del campo de los granitos de arco (**Figura 31A**) con una ligera cercanía a los granitos de intraplaca. En el diagrama propuesto por Whalen et al. (1987), las muestras plotean dentro del campo de los granitos tipo I y S (**Figura 31B**). Tanto las rocas ácidas como las intermedias del CVPH no plotean en el campo de rocas alcalinas, sino que están comprendidas dentro de las suites orogénicas de arco a sin-colisionales.



**Figura 31:** Diagramas para la clasificación tectónica de la fuente magmática de las rocas del Complejo Volcánico Plutónico Huingancó, Complejo La Esperanza, Granitoides de Mamil Choique y del Grupo Choiyoi. A: Diagrama de Pearce et al. (1984). Se observa una correspondencia mayoritaria con los granitos de arco (VAG+syn-COLG), con escasas muestras dentro del campo de los granitos de intraplaca (WPG). B: Diagrama de Whalen et al. (1987), donde las muestras son ploteadas tanto dentro del campo de los granitos tipo I y S como dentro de los granitos tipo A. Las rocas del Complejo Huingancó son ploteadas dentro del campo de los granitos tipo I y S.

Se realizaron también algunos ploteos de relaciones de elementos traza de Kay et al. (2006) (**Figura 32**) para precisar si la fuente de los magmas del CVPH es más de tipo de arco o de intraplaca. Este análisis permite concluir que el CVPH tiene características mixtas entre ambos ambientes tectónicos, si bien las características de arco son más preponderantes. Hay que tener en cuenta que para entrar en los diagramas que tipifican el tipo de fuente se eligieron las muestras más máficas de todas las suites que se están comparando, o sea las muestras que, en todos los casos, tienen menos del 70% de sílice, para evitar lo más posible que los efectos del fraccionamiento de minerales interfiera en la firma geoquímica original de la fuente de los magmas. En el único diagrama en el que se plotearon todas las muestras disponibles, tanto ácidas como intermedias, fue en el diagrama La/Ta vs. SiO<sub>2</sub>, ya que la sílice aparece como discriminante (**Figura 32C**).

De esta manera, se encontró que la facies granodiorita del CVPH tiene una relación de Ba/La < 20 (12.15 < Ba/La < 17.74) al igual que los plutones del Complejo La Esperanza (12.93 < Ba/La < 15.9), en cambio las muestras del Grupo Choiyoi en la Cordillera Frontal poseen una relación Ba/La mayor (23.75 < Ba/La < 29.5; **Figura 32A y Tabla 2**). La facies granodiorita del CVPH es la unidad con la relación Th/La más alta (0.6 < Th/La < 0.64; **Tabla 2**), similar a la del Complejo La Esperanza (0.56 < Th/La < 0.57; **Tabla 2**), lo que la ubica en el campo de rocas sujetas a contaminación cortical en su fuente (**Figura 32A**).

En el gráfico de las relaciones Th/Hf vs. Ta/Hf (**Figura 32B**) todas las unidades permo-triásicas tienen relaciones Th/Hf y Ta/Hf consistentes a magmas de arco (la facies granodiorita del CVPH con relaciones  $3.23 < \text{Th/Hf} < 4.6$  y  $0.17 < \text{Ta/Hf} < 0.21$ , el Grupo Choiyoi en la Cordillera Frontal con  $2 < \text{Th/Hf} < 2.8$  y  $0.14 < \text{Ta/Hf} < 0.2$  y el Complejo La Esperanza con  $4.37 < \text{Th/Hf} < 5.18$  y  $0.21 < \text{Ta/Hf} < 0.24$ ).

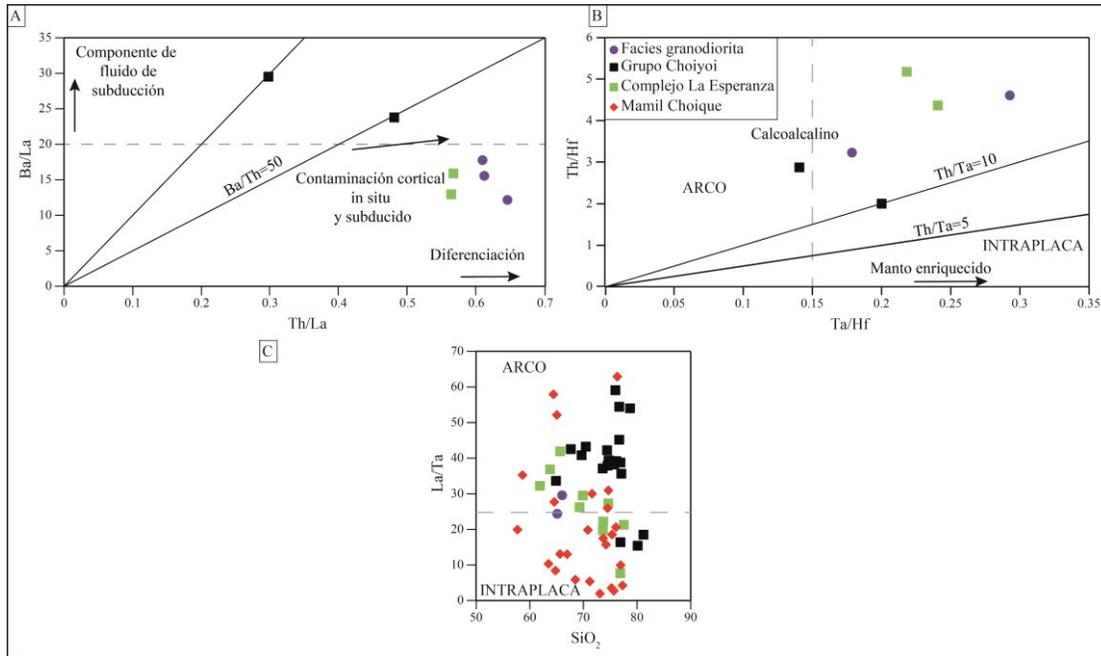
Los gráficos expuestos más arriba indican que la fuente de los magmas del CVPH parece ser compatible con un ambiente de subducción, pero con influencia de ambiente tectónico extensional también, como indican sus relaciones de La/Ta levemente superiores a 20 ( $24.4 < \text{La/Ta} < 29.6$ , **Figura 32C**). El Grupo Choiyoi en la Cordillera Frontal tiene relaciones La/Ta variables, pero la mayoría de sus muestras presenta valores mayores a 25, por lo que tendría una fuente más compatible con magmas de arco ( $33.6 < \text{La/Ta} < 42.55$ , **Figura 32C**). El Complejo La Esperanza y Mamil Choique tienen relaciones La/Ta más dispersas, pero con una tendencia hacia los magmas de intraplaca dada su posición geográfica hacia el E y SE, respectivamente, respecto de la trinchera y eje del arco magmático representado por la Cordillera Frontal y su extensión austral en Neuquén ( $32.23 < \text{La/Ta} < 41.9$  y  $5.87 < \text{La/Ta} < 57.94$  respectivamente, **Figura 32C**).

Por último, es interesante probar cómo plotan las rocas del CVPH en los diagramas de clasificación tectónica de Hildebrand et al. (2018) y Whalen y Hildebrand (2019), que distinguen, dentro de los campos de granitos de arco magmático a granitos sin-colisionales, a los granitos que se generan cuando la losa subducida se rompe (proceso de slab breakoff) luego de una colisión, o de un proceso de subducción horizontal.

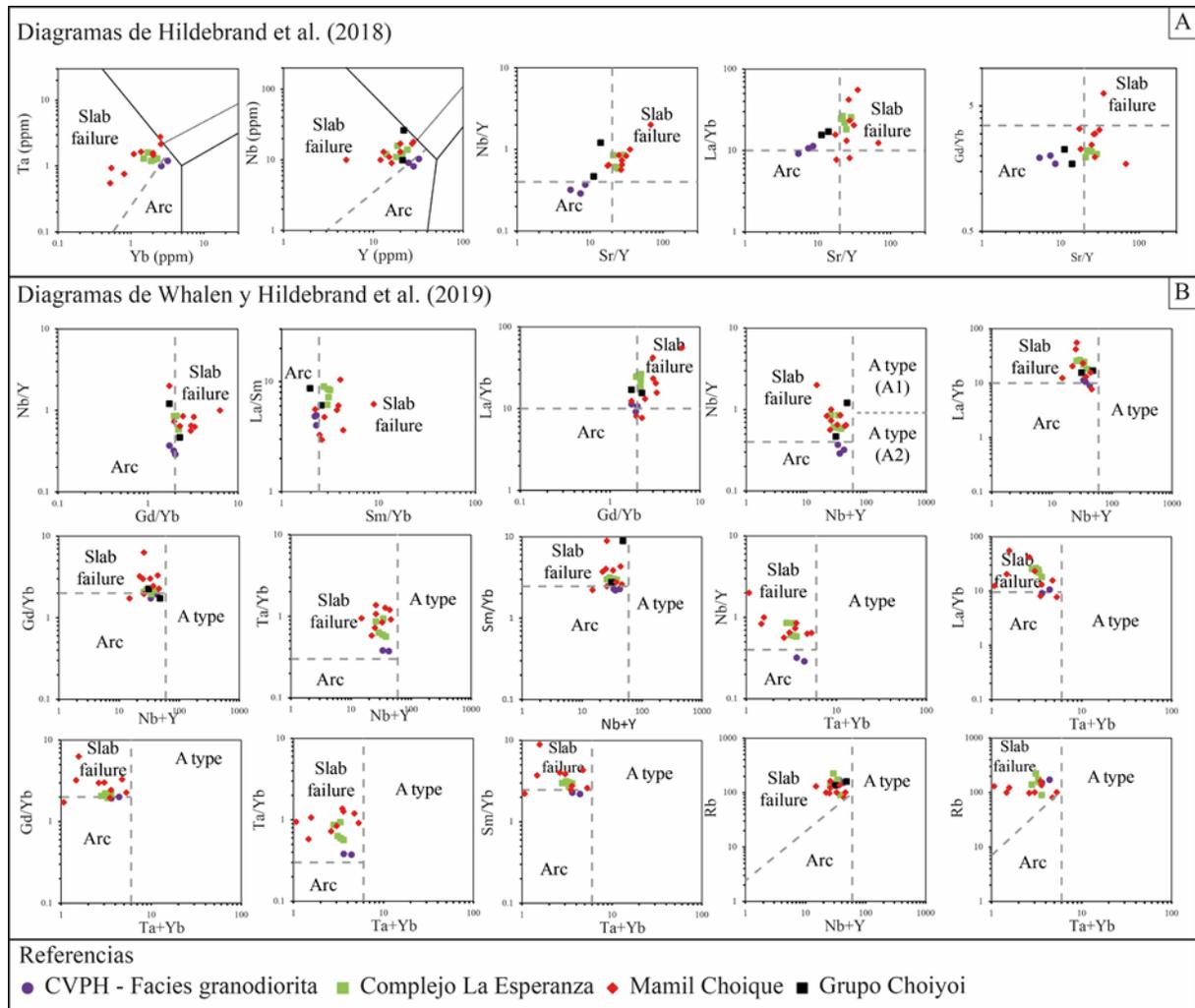
Para utilizar estos diagramas, hay que tener en cuenta que las muestras a plotear deben tener un contenido de sílice menor al 70%, así como un índice ASI menor a 1.1 (Whalen y Hildebrand 2019). Las rocas de la facies granodiorita del CVPH, que son las únicas que pasan estos criterios de validación, corresponden predominantemente a magmas de arco (**Figura 33**). En cambio, las muestras del Complejo La Esperanza y del Complejo Mamil Choique que pasan los criterios de validación de Whalen y Hildebrand (2019) tienen una firma geoquímica propia de magmas de slab-failure o ruptura de la losa. El Grupo Choiyoi de la Cordillera Frontal tiene un comportamiento transicional entre magmas de arco y de slab-failure o ruptura de la losa (**Figura 33**). Es posible que las unidades analizadas que tienen una signatura de slab-failure, como en el caso de La Esperanza y del Complejo Mamil Choique, en realidad estén reflejando su componente de magma de astenosfera, debiéndose a la inyección del manto astenosférico durante el slab-rollback acaecido durante el Pérmico medio (del Rey et al., 2016), en contraposición de un slab-failure o slab break-off que es más propio de plutones post colisionales (Whalen y Hildebrand 2019).

Las rocas de la parte occidental de la Provincia Magmática Choiyoi, más cercanos a la trinchera, como en el caso del CVPH y del Grupo Choiyoi en la Cordillera Frontal no son compatibles con los campos de slab-failure, o son parcialmente compatibles con estos campos (en el caso de las rocas de la Cordillera Frontal), lo que apoyaría un origen de subducción para

esta parte de la provincia magmática, apoyando la teoría de Oliveros et al. (2020). En cambio, las rocas del Complejo La Esperanza y el Complejo Mamil Choique, probablemente por su ubicación más oriental, más alejada de la paleotrinchera, sí reflejan este proceso, probablemente porque la losa oceánica subducida se haya roto luego del proceso de amalgamamiento de Gondwana durante el Pérmico Tardío, cualquiera sea la configuración de placas propuesta para este período.



**Figura 32:** Proporciones de elementos traza de la facies granodiorita del CVPH, las volcanitas del Grupo Choiyoi, los plutones pérmicos del Complejo La Esperanza y los plutones carboníferos-pérmicos de Mamil Choique. En los diagramas A, B y C se plotearon las unidades de composiciones intermedias. A) Diagrama de Ba/La vs. Th/La. B) Diagrama de Th/Hf vs. Ta/Hf. C) Diagrama La/Ta vs. SiO<sub>2</sub> de todas las facies. Los diagramas son tomados de Kay et al. (2006).



**Figura 33:** Diagramas de discriminación entre rocas de arco o de Slab Failure. A) Diagramas de clasificación de Hildebrand et al. (2018). B) Diagramas de clasificación de Whalen y Hildebrand (2019).

## 8.0 CONCLUSIONES

- La fábrica magnética de los plutones con deformación de alta temperatura es de tipo magmático y probablemente represente las características originales de emplazamiento.
- La fábrica de estado sólido está sobrepuesta, probablemente sea Andina. Las deformaciones de estado sólido que presentan los intrusivos del CVPH se deben a la deformación Andina (exhumación del basamento paleozoico durante el Cretácico), lo que modificó ligeramente sus fábricas magnéticas.
- La dispersión que se ve en las fábricas magnéticas en planta puede deberse a diversos factores: ya sea porque reflejan procesos de la cámara magmática, o porque estamos viendo la superposición de deformaciones paleozoicas y andinas.

- La alteración propilítica de los diques andesíticos fue coetánea o inmediatamente posterior a su intrusión, ya que estos diques poseen fábricas magnéticas normales.
- La nueva edad U-Pb en circón de  $283,4 \pm 1,4$  Ma para la facies granodiorita es concordante con las edades presentadas en la bibliografía por diversos autores.
- Las facies monzogranito y granodiorita del CVPH muestran características geoquímicas de magmas formados en un ambiente de subducción por fusión de corteza y manto. También se observan características de intraplaca en la fuente de los magmas más evolucionados, aunque las características de subducción parecen ser más evidentes.
- Durante toda la historia de evolución del CVPH, una inyección de magmas máficos tuvo lugar en la cámara magmática más profunda, lo que originó los enclaves máficos microgranulares de la facies granodiorita y la intrusión de los diques andesíticos luego de emplazarse la facies monzogranito.
- Se observó falta de acoplamiento y de deformación dúctil en la roca de caja de los intrusivos, lo que sugiere que el stoping fue un posible proceso generador de espacio para los plutones del CVPH.

## 9.0 AGRADECIMIENTOS

Muchas personas son las que estuvieron brindando su apoyo durante todos mis años de estudio. Quiero agradecer a mi Directora Claudia Zaffarana y a mi Co-Director Darío Orts por todo su apoyo e instrucción durante la realización de este Trabajo Final de Licenciatura.

A Víctor Ruiz González de la Universidad de Buenos Aires por instruirme en la medición de los sitios ASM en Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGeBA). A Carla Puigdomenech de la Universidad de Buenos Aires por la medición de un porcentaje de sitios de ASM en el IGeBA. A Sebastián Assis del Instituto de Geociencias de la Universidade de Brasilia, por su ayuda e instrucción para el procesamiento de los datos geocronológicos.

A los Jurados, el Dr. Pablo González, la Dra. Josefina Pons y la Lic. Cecilia Cábana (todos integrantes del IIPG), cuyos aportes ayudaron significativamente a mejorar el presente trabajo final de licenciatura.

Al proyecto PI de la Universidad Nacional de Río Negro (UNRN) 40A-631 con el cual se solventó este Trabajo Final de Licenciatura. Al Concejo Interuniversitario Nacional (CIN) por haberme otorgado por un año la Beca CIN en el cual se desarrolló en partes, la temática del presente trabajo. A la Universidad Nacional de Río Negro que me permitió estudiar la Licenciatura en Geología.

A todos mis compañeros y amigos que conocí y que estuvieron durante toda mi trayectoria por la Licenciatura en Geología, que, gracias a ellos, mi pasaje por la universidad fue inolvidable.

A toda la gente que tuvo el agrado de conocer gracias a viajes, congresos y actividades con otras universidades como la UBA, UNPSJB y UNSJ.

Finalmente, a mi familia, que gracias a su soporte y apoyo incondicional pude estudiar y recibirme de la Licenciatura en Geología.

## 10.0 REFERENCIAS

- Borradaile, G. J., y Jackson, M. 2010. Structural geology, petrofabrics and magnetic fabrics (AMS, AARM, AIRM). *Journal of Structural Geology*, 32(10), 1519–1551. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2009.09.006>
- Bouchez, J.-L. 2000. Anisotropie de susceptibilité magnétique et fabrique des granites. *Comptes Rendus de l'Académie Des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 330(1), 1–14. [https://doi.org/10.1016/s1251-8050\(00\)00120-8](https://doi.org/10.1016/s1251-8050(00)00120-8)
- Bouchez, J. L. 1997. *Granite is Never Isotropic: An Introduction to AMS Studies of Granitic Rocks*. 95–112. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-1717-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-017-1717-5_6)
- Passchier, C. W. y Trouw, R. A. J. 2005. *Microtectonics*. Springer Science & Business Media <https://doi.org/10.1007/978-3-662-08734-3>
- Clemens, J. D. 1998. Observations on the origins and ascent mechanisms of granitic magmas. *Journal of the Geological Society*, 155(5), 843–851. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.155.5.0843>
- del Rey, A., Deckart, K., Arriagada, C., y Martínez, F. 2016. Resolving the paradigm of the late Paleozoic–Triassic Chilean magmatism: Isotopic approach. *Gondwana Research*, 37, 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.06.008>
- Dicaro, S., Giacosa, R. E., Greco, G., Pons, M. J. y Gonzalez, S. N. 2020. Nuevas evidencias sobre la evolución tectónica del sistema de vetas Ag-Au San Pedro, Distrito Minero Andacollo, Neuquén. *XII Congreso Argentino de Geología Económica*.
- Giacosa, R. 2011. Geología estructural de los sistemas vetiformes del cerro Las Minas, Distrito Minero Andacollo, Cordillera del Viento, Provincia del Neuquen. *SEGEMAR*.
- Giacosa, R., Allard, J., Foix, N., y Heredia, N. 2014. Stratigraphy, structure and geodynamic evolution of the Paleozoic rocks in the Cordillera del Viento (37° S latitude, Andes of Neuquén, Argentina). *Journal of Iberian Geology*, 40(2), 331–348. [https://doi.org/10.5209/rev\\_JIGE.2014.v40.n2.45301](https://doi.org/10.5209/rev_JIGE.2014.v40.n2.45301)
- Glazner, A. F., Bartley, J. M., Coleman, D. S., Gray, W., y Taylor, R. Z. 2004. Are plutons assembled over millions of years by amalgamation from small magma chambers? *GSA Today*, 14(4–5), 4–11. [https://doi.org/10.1130/1052-5173\(2004\)014<0004:APAOMO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/1052-5173(2004)014<0004:APAOMO>2.0.CO;2)
- Hawkesworth, C., George, R., Turner, S., y Zellmer, G. 2004. Time scales of magmatic processes. *Earth and Planetary Science Letters*, 218(1–2), 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(03\)00634-4](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00634-4)

- Hervé, F., Calderón, M., Fanning, C. M., Pankhurst, R. J., y Godoy, E. 2013. Provenance variations in the Late Paleozoic accretionary complex of central Chile as indicated by detrital zircons. *Gondwana Research*, 23(3), 1122–1135. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.06.016>
- Hildebrand, R. S., Whalen, J. B., y Bowring, S. A. 2018. Resolving the crustal composition paradox by 3.8 billion years of slab failure magmatism and collisional recycling of continental crust. *Tectonophysics*, 734–735(March), 69–88. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.04.001>
- Hoskin, P. W. O., y Schaltegger, U. 2018. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1), 27–62. <https://doi.org/10.1515/9781501509322-005>
- Howell, J. A., Schwarz, E., Spalletti, L. A., y Veiga, G. D. 2005. The Neuquén Basin: An overview. *Geological Society Special Publication*, 252, 1–14. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2005.252.01.01>
- Jelinek, V. 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, 79(3–4), 63–67. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90110-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90110-4)
- Jordan, T. E., Matthew Burns, W., Veiga, R., Pángaro, F., Copeland, P., Kelley, S., y Mpodozis, C. 2001. Extension and basin formation in the southern Andes caused by increased convergence rate: A mid-Cenozoic trigger for the Andes. *Tectonics*, 20(3), 308–324. <https://doi.org/10.1029/1999TC001181>
- Kay, S. M., Burns, W. M., Copeland, P., y Mancilla, O. 2006. Upper Cretaceous to Holocene magmatism and evidence for transient Miocene shallowing of the Andean subduction zone under the northern Neuquén Basin. *Special Paper of the Geological Society of America*, 407(02), 19–60. [https://doi.org/10.1130/2006.2407\(02\)](https://doi.org/10.1130/2006.2407(02))
- Kirkland, C. L., Smithies, R. H., Taylor, R. J. M., Evans, N., y McDonald, B. 2015. Zircon Th/U ratios in magmatic environs. *Lithos*, 212–215, 397–414. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.11.021>
- Leanza, H. A. 2009. Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según observaciones de superficie. *Revista Del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie*, 11(2), 145–184. <https://doi.org/10.22179/REVMACN.11.257>
- Leanza, H. A., Zanettini, J. C. M., y Rodríguez, M. F. 2011. *Mapa geológico de la Provincia del Neuquén*. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Llambias, E. 1986. *Intrusivos Permicos del Sur de la Cordillera del Viento, Provincia del Neuquen* (p. 11). p. 11. Asociación Geológica Argentina, Revista XLI.
- Llambías, E. J., Leanza, H. A., y Carbone, O. 2007. Evolución Tectono-magmática durante el pérmico al Jurásico temprano en la Cordillera del Viento (37°05'S - 37°15'S): Nuevas evidencias geológicas y geoquímicas Del Inicio de la Cuenca Neuquina. *Revista de La Asociacion Geologica Argentina*, 62(2), 217–235.

- López De Luchi, M. G., y Cerredo, M. E. 2008. Geochemistry of the Mamil Choique granitoids at Rio Chico, Río Negro, Argentina: Late Paleozoic crustal melting in the North Patagonian Massif. *Journal of South American Earth Sciences*, 25(4), 526–546. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2007.05.004>
- Martínez Dopico, C. I., Antonio, P. Y. J., Rapalini, A. E., López de Luchi, M. G., y Grillo Vidal, C. 2021. Reconciling Patagonia with Gondwana in early Paleozoic? Paleomagnetism of the Valcheta granites, NE North Patagonian Massif. *Journal of South American Earth Sciences*, 106(June 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102970>
- Martínez Dopico, C. I., López de Luchi, M. G., Rapalini, A. E., Fanning, C. M., y Antonio, P. Y. J. 2019. Geochemistry and geochronology of the shallow-level La Esperanza magmatic system (Permian-Triassic), Northern Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences*, 96(May), 102347. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102347>
- Martínez Dopico, C. I., López de Luchi, M. G., Rapalini, A. E., Wemmer, K., Fanning, C. M., y Basei, M. A. S. 2017. Emplacement and temporal constraints of the Gondwanan intrusive complexes of northern Patagonia: La Esperanza plutono-volcanic case. *Tectonophysics*, 712–713, 249–269. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.05.015>
- Miyashiro, A. 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, Vol. 274, pp. 321–355. <https://doi.org/10.2475/ajs.274.4.321>
- Navarrete, C., Gianni, G., Encinas, A., Márquez, M., Kamerbeek, Y., Valle, M., y Folguera, A. 2019. Triassic to Middle Jurassic geodynamic evolution of southwestern Gondwana: From a large flat-slab to mantle plume suction in a rollback subduction setting. *Earth-Science Reviews*, 194(May), 125–159. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.05.002>
- Nédélec, A., y Bouchez, J.-L. 2011. *Granites: Petrology, structure, geological setting and metallogeny* (Vol. 1). Retrieved from [http://www.vaincrelamuco.org/sites/default/files/registre\\_francais\\_de\\_la\\_mucoviscidose\\_-\\_bilan\\_2015\\_v4.pdf](http://www.vaincrelamuco.org/sites/default/files/registre_francais_de_la_mucoviscidose_-_bilan_2015_v4.pdf)
- Oliveros, V., Vásquez, P., Creixell, C., Lucassen, F., Ducea, M. N., Ciocca, I., González, J., Espinoza, M., Salazar, E., Coloma, F. y Kasemann, S. A. 2020. Lithospheric evolution of the Pre- and Early Andean convergent margin, Chile. *Gondwana Research*, 80, 202–227. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.11.002>
- Paterson, S. R., Kenneth Fowler Jr., T., Schmidt, K. L., Yoshinobu, A. S., Yuan, E. S., y Miller, R. B. 1998. Interpreting magmatic fabric patterns in plutons. *Lithos*, 44, 53–82. <https://doi.org/10.1002/anie.198505761>
- Paterson, S. R., Vernon, R. H., y Tobisch, O. T. 1989. A review of criteria for the identification of magmatic and tectonic foliations in granitoids. *Journal of Structural Geology*, 11(3), 349–363. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(89\)90074-6](https://doi.org/10.1016/0191-8141(89)90074-6)
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W., y Tindle, A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4), 956–983. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>

- Peccerillo, A., y Taylor, S. R. 1976. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(1), 63–81. <https://doi.org/10.1007/BF00384745>
- Pons, A., D'Annunzio, M. C., Strazzere, L., y Cocola, M. A. 2019. Características metalogenéticas de la veta Buena Vista, distrito minero Andacollo, Neuquén, Argentina. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 76(3), 254–262.
- Porquet, M., Pueyo, E. L., Román-Berdiel, T., Olivier, P., Longares, L. A., Cuevas, J., Ramajo, J., Antolín, B., Aranguren, A., Auréjac, J. B., Bouchez, J. L., Casas, A. M., Denéle, Y., Gleizes, G., Hilaro, A., Izquierdo-Llavall, E., Leblanc, D., Oliva-Urcia, B., Santana, V., Tubía, J. M. y Vegas, N. 2017. Anisotropy of magnetic susceptibility of the Pyrenean granites. *Journal of Maps*, 13(2), 438–448. <https://doi.org/10.1080/17445647.2017.1302364>
- Ramos, Víctor A., Mosquera, A., Folguera, A., y García Morabito, E. 2011. Evolución Tectónica De Los Andes Y Del Engolfamiento Neuquino Adyacente. *Relatorio Del XVIII Congreso Geológico Argentino*, (1976), 335–348.
- Ramos, Victor A, Scientific, N., Folguera, A., y Scientific, N. 2011. *Las provincias geológicas del Neuquén*. (July).
- Rocher, S., Vallecillo, G., De Machuca, B. C., y Alasino, P. 2015. El Grupo Choiyoi (Pérmico temprano-medio) en la Cordillera Frontal de Calingasta, San Juan, Argentina: Volcanismo de arco asociado a extensión. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32(3), 415–432.
- Rochette, P., Jackson, M., y Aubourg, C. 1992. Rock Magnetism and the Interpretation of Magnetic Susceptibility. *Reviews of Geophysics*, 30(92), 209–226.
- Rojas Vera, E. A., Mescua, J., Folguera, A., Becker, T. P., Sagripanti, L., Fennell, L., Orts, D. y Ramos, V. A. 2015. Evolution of the Chos Malal and Agrío fold and thrust belts, Andes of Neuquén: Insights from structural analysis and apatite fission track dating. *Journal of South American Earth Sciences*, 64(April 2016), 418–433. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.10.001>
- Rovere, E., Caselli, A. T., Hugo, C., Leanza, H., Folguera, A., Escosteguy, L., Geuna, S., González, R., Colombino, J. E. y Danieli, J. 2004. Hoja Geológica Andacollo (3772-IV), Provincia de Neuquén. *Programa Nacional de Cartas Geológicas de La República Argentina, Escala 1:250000*, 104.
- Sagripanti, L., Folguera, A., Giménez, M., Rojas Vera, E. A., Fabiano, J. J., Molnar, N., Fennell, L. y Ramos, V. A. 2014. Geometry of Middle to Late Triassic extensional deformation pattern in the Cordillera del Viento (Southern Central Andes): A combined field and geophysical study. *Journal of Iberian Geology*, 40(2), 349–366. [https://doi.org/10.5209/rev\\_jige.2014.v40.n2.45305](https://doi.org/10.5209/rev_jige.2014.v40.n2.45305)
- Sánchez, N. P., Coutand, I., Turienzo, M., Lebinson, F., Araujo, V., y Dimieri, L. 2018. Tectonic Evolution of the Chos Malal Fold-and-Thrust Belt (Neuquén Basin, Argentina) From (U-Th)/He and Fission Track Thermochronometry. *Tectonics*, 37(7), 1907–1929. <https://doi.org/10.1029/2018TC004981>

- Sato, A M, Llambías, E. J., Basei, M. A. S., y Castro, C. E. 2015. Three stages in the Late Paleozoic to Triassic magmatism of southwestern Gondwana , and the relationships with the volcanogenic events in coeval basins. *Journal of South American Earth Sciences*, 63, 48–69. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.07.005>
- Sato, Ana María, Llambías, E. J., Basei, M. A. S., y Leanza, H. A. 2008. THE PERMIAN CHOIYOI CYCLE IN CORDILLERA DEL VIENTO ( PRINCIPAL CORDILLERA , ARGENTINA ): OVER 25 Ma OF MAGMATIC ACTIVITY. *VI South American Symposium on Isotope Geology*, (April 2016), 3–6.
- Spera, F. 1980. Thermal Evolution in Plutons. A Parameterized Approach. *Science*, 207(January), 299–302.
- Stoll, W. C. 1957. *Geología y Depósitos Minerales de Andacollo. Provincia de Neuquén.pdf*. Ministerio de Comercio e Industria de la Nación. Dirección Nacional de Minería.
- Sun, S. S., y McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. *Geological Society Special Publication*, 42(1), 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Tauxe, L. 2005. *Lectures in Paleomagnetism*. Online <http://earthref.org/MAGIC/books/Tauxe/2005/>
- Turienzo, M., Sánchez, N., Dimieri, L., Lebinson, F., y Araujo, V. 2014. Tectonic repetitions of the Early Cretaceous Agrio Formation in the Chos Malal fold-and-thrust belt, Neuquén Basin, Argentina: Geometry, kinematics and structural implications for Andean building. *Journal of South American Earth Sciences*, 53, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.04.004>
- Wang, X., Griffin, W. I., Chen, J., Huang, P., y Li, X. 2011. U and Th contents and Th/U ratios of zircon in felsic and mafic magmatic rocks: improved zircon-melt distribution coefficients. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 85(1), 68–70.
- Weinberg, R. F., y Podladchikov, Y. 1994. Diapiric ascent of magmas through power law crust and mantle. *Journal of Geophysical Research*, 99(B5), 9543–9559. <https://doi.org/10.1029/93JB03461>
- Whalen, J. B., Currie, K. L., y Chappell, B. W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95(4), 407–419. <https://doi.org/10.1007/BF00402202>
- Whalen, J. B., y Hildebrand, R. S. 2019. Trace element discrimination of arc, slab failure, and A-type granitic rocks. *Lithos*, 348–349(August), 105179. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.105179>
- Wilson, M. 1989. Igneous petrogenesis. In *Geochimica et Cosmochimica Acta* (Vol. 61). <https://doi.org/10.1180/minmag.1989.053.372.15>
- Winchester, J. A., y Floyd, P. A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20(C), 325–343. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(77\)90057-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(77)90057-2)

Zannettini, J. C. M., Santamaria, G. R., y Leanza, H. 2001. Hoja Geologica Las Ovejas - 3772-II. *Programa Nacional de Cartas Geológicas de La República Argentina, Escala 1:250000*, 66.

Zappettini, E. O., Lagorio, S. L., Dalponte, M., Orestes, J., y Belousova, E. 2018. Evidencias de magmatismo precuciano (Pliensbachiano - Toarciano) en el norte de la Cordillera del Viento, provincia del Neuquén: caracterización geoquímica, isotópica e implicancias tectónicas. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 75(4), 533–558.

## **11.0 ANEXO I: DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE LAS MUESTRAS**

### **11.1. Monzogranito CVPH**

#### Muestra CHP1

La muestra está compuesta por cuarzo (36%), plagioclasa (35%), microclino (23%) y máficos (6%). Los máficos corresponden a muscovitas y cloritas, las últimas por alteración posiblemente de biotitas preexistentes. Presenta textura granosa media. Plagioclasas con maclas con deformación en estado sólido. Cristales de microclinos con alteración a sericita. Venillas de recristalización de cuarzo.

#### Muestra CPH2

Compuesta por cuarzo (39%), plagioclasa (34%), microclino (22%), máficos (4%) y opacos (1%). Los máficos corresponden a muscovitas y cloritas. Textura granosa media. Plagioclasas con alteración a sericita.

#### Muestra CPH3

Posee cristales de cuarzo (36%), plagioclasa (32%), microclino (24%), máficos (7%) y opacos (1%). Los minerales máficos son cristales de muscovita y epidoto. Textura granosa media. Intensa alteración a sericita de plagioclasas. Muscovitas y cloritas en clots. Algunas plagioclasas muestran evidencia de deformación en estado sólido: maclas deformadas.

#### Muestra CPH4

Compuesta por cuarzo (43%), plagioclasa (31%), microclino (18%) y máficos (8%). Máficos corresponden a clorita, muscovita y epidoto. Textura granosa fina a media.

### **11.2. Granodiorita CVPH**

#### Muestra CPH5

Compuesta por cuarzo (34%), plagioclasa (26%), microclino (26%), máficos (13%) y opacos (1%). Máficos de muscovita. Los cristales opacos corresponden a magnetitas. Minerales máficos y opacos alterados a clorita. Textura granosa hipidiomorfa media a fina. Cristales

de cuarzo con texturas mirmequiticas, evidencia de deformación de alta temperatura. Clots de cloritas y magnetitas.

#### Muestra CPH6

Compuesta por máficos (41%), cuarzo (33%), plagioclasa (20%), microclino (5%) y epidoto (1%). Los minerales máficos anfíbol y biotita. Textura granosa media a fina. Los minerales de anfíboles, biotitas y cloritas están presentes en agregados o clots, donde la clorita está presente como alteración de los otros dos minerales. Plagioclasas con alteración a sericita y con sineusis. Cloritas como pseudomorfos de anfíboles. Cuarzos con deformación de alta temperatura y con extinción tipo tablero de ajedrez.

#### Muestra CPH7

Compuesta por plagioclasas (34%), cuarzo (25%), máficos (36%), microclino (4%), y opacos (1%). Los minerales máficos son biotitas, epidoto y anfíboles. Textura granoblástica. Máficos y minerales opacos alterados a clorita. Plagioclasas alteradas a sericita. Algunos cristales de cuarzo con bordes poligonales: recristalización estática. Agregados de grano fino de cristales de cuarzo, evidencia de deformación en estado sólido (recristalización de cuarzo).

#### Muestra CPH8

Compuesta por máficos (31%), plagioclasas (30%), cuarzo (23%), microclino (15%) y opacos (1%). Los minerales máficos son anfíboles, biotitas, epidoto y titanita. Anfíboles, magnetitas y cloritas en clots. Clorita como alteración de los minerales máficos y opacos. Plagioclasas alteradas a sericita.

#### Muestra CPH9

Compuesto por máficos (33%), plagioclasas (30%), cuarzo (24%), microclino (12%) y opacos (1%). Máficos integrados por anfíbol y epidoto. Calcita en venillas y en cristales subhedrales. Microclinos con mirmequiticas. Máficos y opacos alterados a clorita. Alteración propilítica. Textura granosa media.

#### Muestra CPH11

Compuesta por máficos (40%), plagioclasa (30%), cuarzo (19%), microclino (10%), y opacos (1%). Máficos integrados por anfíbol, epidoto y biotita. Máficos y opacos alterados a clorita. Textura granosa inequigranular.

#### Muestra CPH13

Compuesta por cuarzo (35%), máficos (29%), plagioclasa (25%), microclino (10%) y opacos (1%). Máficos integrados por epidoto, muscovita y biotita. Plagioclasas alteradas a sericita.

Máficos y opacos alterados a clorita. Feldespatos con pertitas y exsolución hipersolbus. Textura granosa media. Cuarzos con alteración tipo tablero de ajedrez.

#### Muestra CPH15

Compuesta por plagioclasa (50%), cuarzo (25%), máficos (17%), microclino (7%) y opacos (1%). Máficos integrados por biotita, epidoto y anfíbol. Cloritas como pseudomorfismo de anfíboles. Textura granosa equigranular.

#### Muestra CPH16

Compuesta por máficos (41%), plagioclasa (30%), cuarzo (20%), microclino (8%) y opacos (1%). Máficos integrados por anfíbol, y epidoto. Textura Granosa Hipidiomorfa. Clorita en agregados, comúnmente alrededor de anfíboles y magnetitas, como alteración de estos. Mineral accesorio de epidota.

#### Muestra CPH17

Compuesto por máficos (34%), cuarzo (33%), plagioclasa (25%), microclino (7%) y opacos (1%). Máficos integrados por biotita, anfíbol y epidoto. Venillas de cuarzo y epidoto. Textura granosa inequigranular.

#### Muestra CPH18

Compuesta por máficos (47%), plagioclasa (28%), cuarzo (17%), microclino (7%) y opacos (1%). Máficos integrados por anfíbol, biotita y epidoto. Plagioclasas alteradas a sericita. Máficos y opacos alterados a clorita. Textura granosa inequigranular.

### **11.3. Diques andesíticos**

#### Muestra CPH10

Compuesta por plagioclasa, clorita y ortopiroxenos. Tablillas de plagioclasas alteradas a sericita. Calcita tanto en venillas como en clots subhedrales. Minerales accesorios de magnetita y titanita. Minerales de alteración como calcita y epidoto. Alteración propilítica. Textura subofítica. Dique dolerítico/andesítico.

#### Muestra CPH12

Compuesta por clorita (39%), plagioclasa (35%), máficos (15%), calcita (10%) y opacos (1%). Textura traquítica, de grano fino, plagioclasas con alteración, y con una orientación preferente (fabrica lineal). Calcita en venillas y en agregados de cristales. Alteración propilítica. La asociación mineral, ausencia de cuarzo y feldespato potásico y la textura que posee, permiten clasificar la roca como una Andesita.



### Muestra CPH20

Compuesto por máficos (74%), plagioclasa (19%), microclino (4%), cuarzo (2%) y opacos (1%). Máficos integrados por clorita, magnetita y epidoto. Textura traquítica, de grano fino equigranular. Clorita está concentrada rodeando magnetitas, como alteración de estas últimas, y en plagioclasas. Dique andesítico.

## 12.0 APENDICE DE TABLAS Y FIGURAS

| Sitio   | Especimenes            | Unidad               | Km                     | L     | F     | P      | Pj    | T      | K1d   | K1i  | K2d   | K2i  | K3d       | K3i       | K11       | K22                        | K33                        | K12                        | K23                        | K13                        |
|---------|------------------------|----------------------|------------------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|------|-------|------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| CPH1    | CPH1-1A                | Monzogranito<br>CVPH | 0.118x10 <sup>-4</sup> | 1.004 | 1.023 | 1.028  | 1.03  | 0.68   | 171.2 | 62.1 | 288.9 | 13.8 | 25.1      | 23.7      | 0.9937916 | 1.011605                   | 0.9946037                  | -96.42322x10 <sup>-4</sup> | -72.72949x10 <sup>-4</sup> | -0.0226237                 |
|         | CPH1-1B                |                      | 0.203x10 <sup>-4</sup> | 1.042 | 1.013 | 1.055  | 1.058 | -0.514 | 275   | 21.2 | 147.2 | 57.6 | 14.6      | 23.2      | 0.9806181 | 1.025446                   | 0.9939361                  | -57.3162x10 <sup>-4</sup>  | -150.3823x10 <sup>-4</sup> | -33.20176x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH1-2                 |                      | 0.635x10 <sup>-4</sup> | 1.035 | 1.025 | 1.062  | 1.062 | -0.157 | 145.4 | 52   | 304.3 | 36.1 | 41.9      | 10.3      | 0.9923047 | 0.990166                   | 1.017529                   | -181.2931x10 <sup>-4</sup> | 67.31122x10 <sup>-4</sup>  | -172.5544x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH1-3                 |                      | 0.397x10 <sup>-4</sup> | 1.004 | 1.026 | 1.03   | 1.032 | 0.753  | 240.8 | 34.2 | 145.5 | 7.7  | 44.5      | 54.7      | 1.003546  | 1.004997                   | 0.9914566                  | -32.03303x10 <sup>-4</sup> | -99.12908x10 <sup>-4</sup> | -94.10885x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH1-4                 |                      | 0.539x10 <sup>-4</sup> | 1.021 | 1.026 | 1.048  | 1.048 | 0.104  | 77.9  | 76.6 | 334.5 | 3.2  | 243.7     | 13        | 0.9967459 | 0.9830021                  | 1.020252                   | -94.0193x10 <sup>-4</sup>  | 96.77588x10 <sup>-4</sup>  | 34.69662x10 <sup>-4</sup>  |
| CPH1-5  | 1.90x10 <sup>-4</sup>  | 1.019                | 1.021                  | 1.041 | 1.041 | 0.031  | 228.1 | 73.7   | 90.8  | 12.1 | 358.5 | 10.7 | 0.9813711 | 1.001111  | 1.017518  | 12.87059x10 <sup>-4</sup>  | -38.0497x10 <sup>-4</sup>  | -72.05824x10 <sup>-4</sup> |                            |                            |
| CPH2    | CPH2-1                 | Monzogranito<br>CVPH | 0.731x10 <sup>-4</sup> | 1.006 | 1.017 | 1.024  | 1.025 | 0.465  | 276.2 | 29.8 | 181   | 9    | 75.9      | 58.6      | 1.003378  | 1.003953                   | 0.9926684                  | -16.11982x10 <sup>-4</sup> | -101.0383x10 <sup>-4</sup> | -15.68238x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH2-2A                |                      | 0.497x10 <sup>-4</sup> | 1.026 | 1.047 | 1.074  | 1.075 | 0.287  | 226.4 | 32.4 | 337.4 | 29.4 | 99.6      | 43.4      | 1.014486  | 0.9929246                  | 0.9925898                  | 130.8892x10 <sup>-4</sup>  | -305.8446x10 <sup>-4</sup> | -43.05907x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH2-2B                |                      | 0.707x10 <sup>-4</sup> | 1.007 | 1.003 | 1.009  | 1.01  | -0.436 | 296.8 | 42.3 | 186   | 21.4 | 76.7      | 40.1      | 0.9993102 | 1.00011                    | 1.000589                   | -18.43888x10 <sup>-4</sup> | -42.87598x10 <sup>-4</sup> | 12.20018x10 <sup>-4</sup>  |
|         | CPH2-3                 |                      | 0.471x10 <sup>-4</sup> | 1.006 | 1.019 | 1.025  | 1.026 | 0.509  | 194.7 | 21.6 | 304   | 39.8 | 83.5      | 42.4      | 1.008854  | 0.9945504                  | 0.9965593                  | 1.626768x10 <sup>-4</sup>  | -95.98514x10 <sup>-4</sup> | -30.25259x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH2-4A                |                      | 0.51x10 <sup>-4</sup>  | 1.022 | 1.018 | 1.04   | 1.04  | -0.092 | 156.1 | 39.3 | 252.4 | 7.6  | 351.4     | 49.7      | 1.002301  | 1.000625                   | 0.9970735                  | -37.02779x10 <sup>-4</sup> | 55.70047x10 <sup>-4</sup>  | -182.3745x10 <sup>-4</sup> |
| CPH2-4B | 0.522x10 <sup>-4</sup> | 1.006                | 1.012                  | 1.019 | 1.019 | 0.306  | 39.9  | 62     | 282.4 | 13.8 | 186.2 | 23.9 | 0.9928029 | 1.002309  | 1.004888  | -3.814631x10 <sup>-4</sup> | 21.80964x10 <sup>-4</sup>  | 64.31233x10 <sup>-4</sup>  |                            |                            |
| CPH2-5  | 0.418x10 <sup>-4</sup> | 1.02                 | 1.003                  | 1.023 | 1.025 | -0.733 | 326.9 | 33.5   | 76.4  | 26.9 | 196.3 | 44.5 | 1.002617  | 0.998429  | 0.998954  | -66.21316x10 <sup>-4</sup> | -44.85899x10 <sup>-4</sup> | 89.3845x10 <sup>-4</sup>   |                            |                            |
| CPH3    | CPH3-1                 | Monzogranito<br>CVPH | 0.516x10 <sup>-4</sup> | 1.006 | 1.002 | 1.008  | 1.008 | -0.454 | 299.4 | 27.9 | 34.8  | 10   | 142.7     | 60.1      | 0.9995396 | 1.002035                   | 0.9984254                  | -16.83698x10 <sup>-4</sup> | -26.6808x10 <sup>-4</sup>  | 19.31166x10 <sup>-4</sup>  |
|         | CPH3-2A                |                      | 0.382x10 <sup>-4</sup> | 1.009 | 1.023 | 1.032  | 1.033 | 0.445  | 9.4   | 19.7 | 250.3 | 53.6 | 110.9     | 29.2      | 1.009857  | 0.9899278                  | 1.000215                   | 69.02456x10 <sup>-4</sup>  | -84.08801x10 <sup>-4</sup> | 61.09851x10 <sup>-4</sup>  |
|         | CPH3-2B                |                      | 0.483x10 <sup>-4</sup> | 1.005 | 1.01  | 1.015  | 1.015 | 0.374  | 358.9 | 1.4  | 264.8 | 71.6 | 89.4      | 18.3      | 1.006323  | 0.9928692                  | 1.000808                   | -1.810625x10 <sup>-4</sup> | -29.59795x10 <sup>-4</sup> | 0.7625337x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH3-3A                |                      | 0.263x10 <sup>-4</sup> | 1.005 | 1.008 | 1.013  | 1.013 | 0.236  | 322.5 | 34.4 | 179.2 | 49.5 | 65.9      | 18.7      | 1.001991  | 0.9961921                  | 1.001817                   | -44.09657x10 <sup>-4</sup> | -37.08029x10 <sup>-4</sup> | 8.728713x10 <sup>-4</sup>  |
|         | CPH3-3B                |                      | 0.189x10 <sup>-4</sup> | 1.012 | 1.01  | 1.021  | 1.021 | -0.097 | 231.9 | 32.4 | 324   | 3    | 62.1      | 57.4      | 1.001714  | 1.002394                   | 0.9958916                  | 28.15287x10 <sup>-4</sup>  | -78.12768x10 <sup>-4</sup> | -54.39554x10 <sup>-4</sup> |
| CPH3-4A | 0.465x10 <sup>-4</sup> | 1.008                | 1.006                  | 1.014 | 1.014 | -0.152 | 193.1 | 37.8   | 306.7 | 27.4 | 62.5  | 10.0 | 1.003297  | 0.9968411 | 0.9998618 | -2.999616x10 <sup>-4</sup> | -34.36615x10 <sup>-4</sup> | -51.03505x10 <sup>-4</sup> |                            |                            |
| CPH3-4B | 0.338x10 <sup>-4</sup> | 1.009                | 1.018                  | 1.027 | 1.027 | 0.314  | 70.3  | 32.1   | 169.2 | 13.9 | 279.4 | 54.3 | 1.003309  | 1.002798  | 0.9938929 | 30.4111x10 <sup>-4</sup>   | 0.0119779                  | 0.4833195x10 <sup>-4</sup> |                            |                            |
| CPH3-5A | 0.520x10 <sup>-4</sup> | 1.013                | 1.001                  | 1.014 | 1.016 | -0.86  | 203   | 40.9   | 104.2 | 10   | 3.2   | 47.4 | 1.001907  | 0.997034  | 1.001059  | 27.31925x10 <sup>-4</sup>  | -26.18477x10 <sup>-4</sup> | -66.01518x10 <sup>-4</sup> |                            |                            |
| CPH3-5B | 0.503x10 <sup>-4</sup> | 1.008                | 1.003                  | 1.011 | 1.011 | -0.464 | 255.3 | 78     | 345.7 | 0.1  | 75.7  | 12   | 0.9982052 | 0.9961129 | 1.005682  | -5.671736x10 <sup>-4</sup> | -0.0020982                 | -5.456503x10 <sup>-4</sup> |                            |                            |
| CPH4    | CPH4-1                 | Monzogranito<br>CVPH | 1.76x10 <sup>-4</sup>  | 1.003 | 1.028 | 1.031  | 1.034 | 0.812  | 76.6  | 3.2  | 172.7 | 62   | 344.9     | 27.8      | 0.9882838 | 1.009492                   | 1.002224                   | 60.60268x10 <sup>-4</sup>  | 31.16423x10 <sup>-4</sup>  | -0.0109418                 |
|         | CPH4-2                 |                      | 3.83x10 <sup>-4</sup>  | 1.018 | 1.022 | 1.041  | 1.041 | 0.097  | 252.6 | 76.5 | 92.6  | 12.7 | 1.6       | 4.5       | 0.9796518 | 1.002056                   | 1.018292                   | -3.164125x10 <sup>-4</sup> | -40.08768x10 <sup>-4</sup> | -29.40017x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH4-3A                |                      | 6.96x10 <sup>-4</sup>  | 1.006 | 1.028 | 1.033  | 1.036 | 0.664  | 188.4 | 58.9 | 311.3 | 18.1 | 49.8      | 24.4      | 0.9992495 | 0.9940838                  | 1.006667                   | -109.0817x10 <sup>-4</sup> | -81.63316x10 <sup>-4</sup> | -90.39725x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH4-3B                |                      | 2.24x10 <sup>-4</sup>  | 1.013 | 1.012 | 1.026  | 1.026 | -0.026 | 254.4 | 54.2 | 65.9  | 35.5 | 158.8     | 4         | 0.9894444 | 1.002294                   | 1.008262                   | 52.7194x10 <sup>-4</sup>   | -62.94398x10 <sup>-4</sup> | -86.99024x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH4-4                 |                      | 7.89x10 <sup>-4</sup>  | 1.012 | 1.013 | 1.025  | 1.025 | 0.068  | 59    | 70.1 | 274.3 | 16.5 | 18.1      | 10.9      | 0.988193  | 1.001503                   | 1.010304                   | 3.733863x10 <sup>-4</sup>  | 32.36325x10 <sup>-4</sup>  | 43.5179x10 <sup>-4</sup>   |
| CPH4-5  | 1.13x10 <sup>-4</sup>  | 1.033                | 1.021                  | 1.055 | 1.055 | -0.23  | 249.6 | 32.2   | 89.4  | 56.2 | 345.5 | 9.2  | 0.9800626 | 1.015337  | 1.004601  | 125.7309x10 <sup>-4</sup>  | -0.0132495                 | -83.17016x10 <sup>-4</sup> |                            |                            |
| CPH5    | CPH5-1A                | Granodiorita<br>CVPH | 10.5x10 <sup>-4</sup>  | 1.062 | 1.01  | 1.073  | 1.079 | -0.722 | 177   | 23.5 | 310   | 57.4 | 77.3      | 21.2      | 1.033616  | 0.9750657                  | 0.9913187                  | -44.49086x10 <sup>-4</sup> | -19.65584x10 <sup>-4</sup> | -230.3842x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH5-1B                |                      | 6.06x10 <sup>-4</sup>  | 1.007 | 1.025 | 1.032  | 1.034 | 0.569  | 196.2 | 19.6 | 47.2  | 67.5 | 29.0      | 10.7      | 1.008829  | 0.9852872                  | 1.005884                   | 93.52472x10 <sup>-4</sup>  | 36.53555x10 <sup>-4</sup>  | -36.52727x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH5-2A                |                      | 3.31x10 <sup>-4</sup>  | 1.004 | 1.005 | 1.008  | 1.008 | 0.104  | 217.9 | 19.7 | 23.9  | 69.7 | 126.3     | 4.5       | 1.00074   | 0.9985855                  | 1.000674                   | 37.5962x10 <sup>-4</sup>   | -10.15086x10 <sup>-4</sup> | -7.17939x10 <sup>-4</sup>  |
|         | CPH5-2B                |                      | 3.68x10 <sup>-4</sup>  | 1.007 | 1.008 | 1.016  | 1.016 | 0.09   | 39    | 38.4 | 236.1 | 50.3 | 135.8     | 8.5       | 0.9988365 | 0.9981616                  | 1.003002                   | 62.50911x10 <sup>-4</sup>  | 13.19101x10 <sup>-4</sup>  | 35.62284x10 <sup>-4</sup>  |
|         | CPH5-3                 |                      | 4.5x10 <sup>-4</sup>   | 1.011 | 1.013 | 1.024  | 1.024 | 0.09   | 176.8 | 58.1 | 84.9  | 1.2  | 354.1     | 31.9      | 0.9945167 | 1.000578                   | 1.004905                   | 7.779273x10 <sup>-4</sup>  | 8.687551x10 <sup>-4</sup>  | -106.3887x10 <sup>-4</sup> |
| CPH5-4A | 3.32x10 <sup>-4</sup>  | 1.005                | 1.003                  | 1.009 | 1.009 | -0.211 | 311.3 | 4.6    | 43.5  | 26.1 | 212.1 | 63.5 | 1.001162  | 1.002128  | 0.9967105 | -28.7581x10 <sup>-4</sup>  | 4.067991x10 <sup>-4</sup>  | 14.19154x10 <sup>-4</sup>  |                            |                            |
| CPH5-4B | 3.28x10 <sup>-4</sup>  | 1.006                | 1.003                  | 1.009 | 1.009 | -0.359 | 244.3 | 2.9    | 150.3 | 53.8 | 336.5 | 36   | 0.9985301 | 1.003463  | 0.9980069 | 29.72502x10 <sup>-4</sup>  | 2.553382x10 <sup>-4</sup>  | -13.44776x10 <sup>-4</sup> |                            |                            |
| CPH5-5A | 4.97x10 <sup>-4</sup>  | 1.007                | 1.013                  | 1.02  | 1.021 | 0.318  | 20.6  | 42.4   | 124.8 | 15.1 | 229.7 | 43.7 | 1.002508  | 0.9985574 | 0.9989347 | -21.64095x10 <sup>-4</sup> | 62.26479x10 <sup>-4</sup>  | 74.2703x10 <sup>-4</sup>   |                            |                            |
| CPH5-5B | 3.45x10 <sup>-4</sup>  | 1.003                | 1.007                  | 1.011 | 1.011 | 0.374  | 181.7 | 64.3   | 27    | 23.6 | 292.7 | 9.8  | 1.000893  | 0.9953058 | 1.003801  | 25.25528x10 <sup>-4</sup>  | 10.8452x10 <sup>-4</sup>   | -17.69749x10 <sup>-4</sup> |                            |                            |
| CPH5-6A | 8.46x10 <sup>-4</sup>  | 1.027                | 1.016                  | 1.043 | 1.043 | -0.259 | 204.4 | 29     | 110.9 | 6.2  | 9.9   | 60.2 | 1.009488  | 0.9995898 | 0.9909228 | 70.26947x10 <sup>-4</sup>  | -58.17466x10 <sup>-4</sup> | -168.5013x10 <sup>-4</sup> |                            |                            |
| CPH5-6B | 5.25x10 <sup>-4</sup>  | 1.009                | 1.007                  | 1.017 | 1.017 | -0.125 | 170.2 | 26.6   | 72.7  | 14.6 | 316.9 | 59.1 | 1.005571  | 0.9986085 | 0.9958204 | -3.08572x10 <sup>-4</sup>  | 28.2114x10 <sup>-4</sup>   | -60.37944x10 <sup>-4</sup> |                            |                            |
| CPH6    | CPH6-1A                | Granodiorita<br>CVPH | 22.6x10 <sup>-4</sup>  | 1.004 | 1.041 | 1.045  | 1.05  | 0.808  | 196   | 55.7 | 348.3 | 31.1 | 86.2      | 13        | 1.012816  | 0.9745263                  | 1.012658                   | -20.86106x10 <sup>-4</sup> | -91.53105x10 <sup>-4</sup> | -24.84749x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH6-1B                |                      | 16.6x10 <sup>-4</sup>  | 1.014 | 1.016 | 1.031  | 1.031 | 0.059  | 37.1  | 32.1 | 213.5 | 57.8 | 306.1     | 1.6       | 1.001552  | 0.9938981                  | 1.004455                   | 124.66669x10 <sup>-4</sup> | 42.46674x10 <sup>-4</sup>  | 48.76477x10 <sup>-4</sup>  |
|         | CPH6-2A                |                      | 10.1x10 <sup>-4</sup>  | 1.01  | 1.012 | 1.023  | 1.023 | 0.079  | 156.4 | 54.3 | 314.1 | 33.6 | 51.2      | 10.6      | 0.9989632 | 0.9940766                  | 1.00696                    | -69.42306x10 <sup>-4</sup> | 2.691556x10 <sup>-4</sup>  | -58.49827x10 <sup>-4</sup> |
|         | CPH6-2B                |                      | 12.2x10 <sup>-4</sup>  | 1.032 | 1.024 | 1.056  | 1.057 | -0.144 | 345.1 | 9    | 221   | 74.2 | 17.1      | 12.9      | 1.02494   | 0.9783006                  | 0.9967598                  | -124.8359x10 <sup>-4</sup> | -61.65762x10 <sup>-4</sup> | 36.26314x10 <sup>-4</sup>  |
|         | CPH6-3A                |                      | 13x10 <sup>-4</sup>    | 1.012 | 1.012 | 1.024  | 1.024 | 0.009  | 118.7 | 10.1 | 213   | 23.1 | 6.8       | 64.6      | 1.000503  | 1.008826                   | 0.9906707                  | -50.97948x10 <sup>-4</sup> | 12.37281x10 <sup>-4</sup>  | -55.6653x10 <sup>-4</sup>  |
| CPH6-3B | 11.4x10 <sup>-4</sup>  | 1.012                | 1.021                  | 1.033 | 1.033 | 0.271  | 325.6 | 62.8   | 142.7 | 27.1 | 233.3 | 1.2  | 0.9972442 | 0.9905542 | 1.0122    |                            |                            |                            |                            |                            |

| Sitio    | Especímenes                 | Unidad                | Km                     | L                     | F                     | P      | Pj     | T      | K1d    | K1i   | K2d   | K2i   | K3d       | K3i       | K11        | K22                       | K33                         | K12                        | K23                        | K13                         |
|----------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-----------|-----------|------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| CPH11    | Granodiorita<br>CVPH        | CPH11-1A              | 3.42x10 <sup>-4</sup>  | 1.02                  | 1.01                  | 1.03   | 1.03   | -0.339 | 275.6  | 68.6  | 160   | 9.6   | 66.7      | 18.9      | 0.9953239  | 0.9920015                 | 1.012675                    | -33.61221x10 <sup>-4</sup> | -93.25325x10 <sup>-4</sup> | -5.059314x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH11-1B              | 3.17x10 <sup>-4</sup>  | 1.015                 | 1.011                 | 1.027  | 1.027  | -0.146 | 280    | 66.6  | 184.4 | 2.4   | 93.3      | 23.2      | 0.9987032  | 0.9915651                 | 1.009732                    | 1.364669x10 <sup>-4</sup>  | -95.0344x10 <sup>-4</sup>  | 11.93175x10 <sup>-4</sup>   |
|          |                             | CPH11-2B              | 4.06x10 <sup>-4</sup>  | 1.006                 | 1.036                 | 1.043  | 1.046  | 0.697  | 170.4  | 53.9  | 354.2 | 36    | 262.9     | 1.8       | 1.01125    | 0.9749553                 | 1.013794                    | 46.88798x10 <sup>-4</sup>  | 16.03347x10 <sup>-4</sup>  | -28.8579x10 <sup>-4</sup>   |
|          |                             | CPH11-2C              | 4.35x10 <sup>-4</sup>  | 1.007                 | 1.031                 | 1.038  | 1.041  | 0.65   | 28.2   | 87.3  | 170.1 | 2.1   | 260.1     | 1.7       | 1.007087   | 0.9784027                 | 1.01451                     | -51.3877x10 <sup>-4</sup>  | 10.1248x10 <sup>-4</sup>   | 4.220438x10 <sup>-4</sup>   |
|          |                             | CPH11-3B              | 4.36x10 <sup>-4</sup>  | 1.009                 | 1.02                  | 1.029  | 1.03   | 0.389  | 296.4  | 69.6  | 190.3 | 5.9   | 98.3      | 19.5      | 1.003471   | 0.987398                  | 1.009131                    | 20.52395x10 <sup>-4</sup>  | -86.51386x10 <sup>-4</sup> | 21.54887x10 <sup>-4</sup>   |
|          |                             | CPH11-3C              | 4.55x10 <sup>-4</sup>  | 1.017                 | 1.015                 | 1.032  | 1.032  | -0.043 | 351.6  | 54.6  | 169.6 | 35.3  | 260.3     | 1         | 1.004488   | 0.9849883                 | 1.010524                    | -33.09858x10 <sup>-4</sup> | -8.966195x10 <sup>-4</sup> | 78.07072x10 <sup>-4</sup>   |
|          |                             | CPH11-4A              | 4.23x10 <sup>-4</sup>  | 1.034                 | 1.002                 | 1.036  | 1.041  | -0.895 | 5.7    | 66    | 106.7 | 4.9   | 198.8     | 23.4      | 0.9934621  | 0.9892059                 | 1.017332                    | 0.7617938x10 <sup>-4</sup> | 14.65414x10 <sup>-4</sup>  | 0.0131653                   |
|          |                             | CPH11-4B              | 4.25x10 <sup>-4</sup>  | 1.021                 | 1.022                 | 1.044  | 1.044  | 0.015  | 308.9  | 73.5  | 189.7 | 8.2   | 97.6      | 14.2      | 1.00039    | 0.9812974                 | 1.018313                    | 17.90386x10 <sup>-4</sup>  | -95.58801x10 <sup>-4</sup> | 43.09567x10 <sup>-4</sup>   |
|          |                             | CPH11-4C              | 3.97x10 <sup>-4</sup>  | 1.015                 | 1.02                  | 1.035  | 1.035  | 0.12   | 341.7  | 69.8  | 208.9 | 14.1  | 115.3     | 14.3      | 0.9996535  | 0.9867248                 | 1.013622                    | 64.14286x10 <sup>-4</sup>  | -57.08469x10 <sup>-4</sup> | 66.84347x10 <sup>-4</sup>   |
|          |                             | CPH11-5B              | 5.94x10 <sup>-4</sup>  | 1.044                 | 1.028                 | 1.073  | 1.073  | -0.228 | 277.9  | 68.8  | 20.1  | 4.7   | 111.8     | 20.7      | 0.9911486  | 0.9798057                 | 1.029046                    | 72.65398x10 <sup>-4</sup>  | -228.0795x10 <sup>-4</sup> | 53.15113x10 <sup>-4</sup>   |
| CPH11-5C | 5.04x10 <sup>-4</sup>       | 1.026                 | 1.02                   | 1.047                 | 1.047                 | -0.117 | 323.8  | 75.6   | 185.5  | 10.9  | 93.6  | 9.4   | 0.9990176 | 0.9793651 | 1.021617   | 4.649344x10 <sup>-4</sup> | -68.42589x10 <sup>-4</sup>  | 52.13724x10 <sup>-4</sup>  |                            |                             |
| CPH12    | Dique<br>andesítico<br>CVPH | CPH12-1A              | 6x10 <sup>-4</sup>     | 1.02                  | 1.007                 | 1.027  | 1.028  | -0.476 | 176.6  | 0.3   | 267.4 | 68.5  | 86.5      | 21.5      | 1.015578   | 0.9896891                 | 0.9947326                   | -15.57324x10 <sup>-4</sup> | -23.77187x10 <sup>-4</sup> | -2.526188x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH12-1B              | 5.87x10 <sup>-4</sup>  | 1.016                 | 1.009                 | 1.025  | 1.025  | -0.255 | 356.4  | 3.9   | 257.4 | 66.5  | 88.1      | 23.2      | 1.013271   | 0.9902123                 | 0.996517                    | -12.32592x10 <sup>-4</sup> | -77.41407x10 <sup>-4</sup> | -13.89946x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH12-1C              | 5.88x10 <sup>-4</sup>  | 1.019                 | 1.008                 | 1.028  | 1.029  | -0.402 | 357.1  | 0.3   | 266.1 | 72.5  | 17.5      | 10.5      | 1.015545   | 0.9889214                 | 0.9955335                   | -13.22902x10 <sup>-4</sup> | -23.35292x10 <sup>-4</sup> | -0.0340693x10 <sup>-4</sup> |
|          |                             | CPH12-2               | 77x10 <sup>-4</sup>    | 1.032                 | 1.035                 | 1.068  | 1.068  | 0.037  | 3.1    | 19.5  | 218.5 | 66.5  | 97.7      | 12.5      | 1.028518   | 0.9690136                 | 1.002468                    | 58.13647x10 <sup>-4</sup>  | -65.16046x10 <sup>-4</sup> | 111.1589x10 <sup>-4</sup>   |
|          |                             | CPH12-3A              | 78.3x10 <sup>-4</sup>  | 1.043                 | 1.031                 | 1.076  | 1.076  | -0.159 | 177.9  | 0.5   | 271.8 | 82.3  | 87.8      | 7.7       | 1.038556   | 0.9662833                 | 0.9951611                   | -26.71516x10 <sup>-4</sup> | -39.87697x10 <sup>-4</sup> | -5.423376x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH12-3B              | 95.2x10 <sup>-4</sup>  | 1.035                 | 1.036                 | 1.072  | 1.072  | 0.018  | 176.4  | 4.7   | 286.6 | 77.2  | 85.4      | 12.4      | 1.034065   | 0.9673001                 | 0.998635                    | -47.66114x10 <sup>-4</sup> | -70.83027x10 <sup>-4</sup> | -34.09089x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH12-3C              | 100x10 <sup>-4</sup>   | 1.033                 | 1.038                 | 1.072  | 1.073  | 0.06   | 177    | 1.6   | 274   | 77.2  | 86.6      | 12.7      | 1.034221   | 0.9665125                 | 0.9992666                   | -38.2982x10 <sup>-4</sup>  | -77.41407x10 <sup>-4</sup> | -13.89946x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH12-4B              | 25.2x10 <sup>-4</sup>  | 1.111                 | 1.049                 | 1.165  | 1.169  | -0.379 | 173.7  | 3.9   | 271.8 | 64.3  | 81.9      | 25.3      | 1.085048   | 0.9438808                 | 0.9710708                   | -170.2534x10 <sup>-4</sup> | -165.7364x10 <sup>-4</sup> | -97.43481x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH12-4C              | 15.9x10 <sup>-4</sup>  | 1.086                 | 1.039                 | 1.127  | 1.13   | -0.369 | 175.6  | 5.4   | 276.3 | 62.9  | 82.9      | 26.5      | 1.06665    | 0.9557513                 | 0.9775991                   | -98.98737x10 <sup>-4</sup> | -0.0138786                 | -97.0334x10 <sup>-4</sup>   |
|          |                             | CPH12-5               | 120x10 <sup>-4</sup>   | 1.096                 | 1.074                 | 1.177  | 1.177  | -0.124 | 179.8  | 4.4   | 280.2 | 66.9  | 88        | 22.6      | 1.085263   | 0.9331578                 | 0.9815793                   | -23.06696x10 <sup>-4</sup> | -241.7664x10 <sup>-4</sup> | -81.02681x10 <sup>-4</sup>  |
| CPH13    | Granodiorita<br>CVPH        | CPH13-1A              | 0.249x10 <sup>-4</sup> | 1.005                 | 1.004                 | 1.01   | 1.01   | -0.079 | 147.8  | 52.7  | 240.9 | 2.3   | 332.6     | 37.2      | 0.9989074  | 0.9996901                 | 1.00142                     | 2.816489x10 <sup>-4</sup>  | 22.8708x10 <sup>-4</sup>   | -39.68517x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH13-1B              | 0.270x10 <sup>-4</sup> | 1.007                 | 1.003                 | 1.01   | 1.01   | -0.334 | 163.6  | 64.4  | 70.5  | 1.5   | 339.8     | 25.6      | 0.9976923  | 0.9986786                 | 1.003629                    | 5.277122x10 <sup>-4</sup>  | -11.5955x10 <sup>-4</sup>  | -36.45532x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH13-2A              | 0.318x10 <sup>-4</sup> | 1.007                 | 1.004                 | 1.011  | 1.011  | -0.265 | 179.2  | 58.3  | 48.1  | 22.1  | 308.8     | 21.6      | 0.9995683  | 0.9968393                 | 1.003592                    | 17.08478x10 <sup>-4</sup>  | 11.41086x10 <sup>-4</sup>  | -40.66837x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH13-2B              | 0.221x10 <sup>-4</sup> | 1.005                 | 1.009                 | 1.013  | 1.014  | 0.293  | 139.1  | 73.1  | 20.3  | 8.3   | 288.1     | 14.6      | 1.000738   | 0.994232                  | 1.00503                     | 21.56845x10 <sup>-4</sup>  | 28.34765x10 <sup>-4</sup>  | -16.32221x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH13-3               | 0.306x10 <sup>-4</sup> | 1.015                 | 1.003                 | 1.017  | 1.019  | -0.706 | 157.3  | 68.5  | 29.4  | 13.6  | 295.3     | 16.3      | 0.9971806  | 0.9943168                 | 1.008503                    | 1.921898x10 <sup>-4</sup>  | 25.65259x10 <sup>-4</sup>  | -49.30126x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH13-4A              | 0.206x10 <sup>-4</sup> | 1.012                 | 1.004                 | 1.016  | 1.016  | -0.515 | 173.5  | 37.4  | 78.5  | 6.4   | 340.3     | 51.9      | 1.003414   | 0.9972445                 | 0.9993416                   | -3.929742x10 <sup>-4</sup> | 12.64236x10 <sup>-4</sup>  | -73.81454x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH13-4B              | 0.224x10 <sup>-4</sup> | 1.006                 | 1.007                 | 1.012  | 1.012  | 0.079  | 164.8  | 57.4  | 37.3  | 21.2  | 297.8     | 23.5      | 1.00064    | 0.9960912                 | 1.003268                    | 18.52312x10 <sup>-4</sup>  | 27.91049x10 <sup>-4</sup>  | -35.7274x10 <sup>-4</sup>   |
|          |                             | CPH13-5B              | 0.237x10 <sup>-4</sup> | 1.005                 | 1.004                 | 1.009  | 1.009  | -0.129 | 88.4   | 10.6  | 207.1 | 68.7  | 354.8     | 18.3      | 0.9963266  | 1.004245                  | 0.9994285                   | 4.286934x10 <sup>-4</sup>  | 9.693381x10 <sup>-4</sup>  | -10.73256x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH13-6A              | 0.584x10 <sup>-4</sup> | 1.005                 | 1.003                 | 1.008  | 1.008  | -0.175 | 144.9  | 85.2  | 1.5   | 39.1  | 27.3      | 2.9       | 0.9995515  | 0.9962835                 | 1.004165                    | 0.5947147x10 <sup>-4</sup> | -3.231064x10 <sup>-4</sup> | -3.231064x10 <sup>-4</sup>  |
|          |                             | CPH14                 | Formación<br>Huaraco   | CPH14-1A              | 3.56x10 <sup>-4</sup> | 1.014  | 1.021  | 1.035  | 1.035  | 0.211 | 260.5 | 80.2  | 28.1      | 6         | 118.9      | 7.7                       | 0.9976168                   | 0.9873013                  | 1.015082                   | 85.60228x10 <sup>-4</sup>   |
| CPH14-1B | 3.5x10 <sup>-4</sup>        | 1.016                 |                        | 1.03                  | 1.046                 | 1.047  | 0.295  | 227.1  | 79.4   | 35.3  | 10.4  | 125.7 | 2.1       | 0.9946344 | 0.9854354  | 1.019933                  | 0.0140549                   | -40.26222x10 <sup>-4</sup> | -13.68096x10 <sup>-4</sup> |                             |
| CPH14-2B | -0.0555x10 <sup>-4</sup>    | 1.708                 |                        | 1.238                 | 2.116                 | 2.164  | -0.429 | 55.5   | 14.8   | 308.9 | 47.2  | 157.8 | 39        | -1.116976 | -0.8010552 | -1.081968                 | 0.1994048                   | -0.0783334                 | 0.2966384                  |                             |
| CPH14-3A | 2.82x10 <sup>-4</sup>       | 1.004                 |                        | 1.011                 | 1.015                 | 1.016  | 0.489  | 354.2  | 63.3   | 232.2 | 1.5   | 136.1 | 21.6      | 0.9981771 | 0.9977642  | 1.004059                  | 48.16964x10 <sup>-4</sup>   | -28.53831x10 <sup>-4</sup> | 43.63931x10 <sup>-4</sup>  |                             |
| CPH14-3B | 3.15x10 <sup>-4</sup>       | 1.007                 |                        | 1.009                 | 1.016                 | 1.016  | 0.084  | 304.7  | 73.5   | 44.2  | 2.8   | 135   | 16.3      | 0.9967045 | 0.9969054  | 1.00639                   | 36.34583x10 <sup>-4</sup>   | -32.26945x10 <sup>-4</sup> | 27.31583x10 <sup>-4</sup>  |                             |
| CPH14-4A | 3.06x10 <sup>-4</sup>       | 1.019                 |                        | 1.014                 | 1.033                 | 1.033  | -0.153 | 110    | 69.9   | 243.8 | 14.2  | 337.4 | 13.9      | 0.9876073 | 0.9983178  | 1.014075                  | 38.38424x10 <sup>-4</sup>   | 69.14335x10 <sup>-4</sup>  | -50.0175x10 <sup>-4</sup>  |                             |
| CPH14-4B | 2.87x10 <sup>-4</sup>       | 1.016                 |                        | 1.008                 | 1.024                 | 1.024  | -0.36  | 83.3   | 56.6   | 215.5 | 22.2  | 311.8 | 23.6      | 0.9944513 | 0.9984562  | 1.007092                  | 36.65348x10 <sup>-4</sup>   | -9.542039x10 <sup>-4</sup> | -16.32221x10 <sup>-4</sup> |                             |
| CPH14-5A | 181x10 <sup>-4</sup>        | 1.03                  |                        | 1.04                  | 1.071                 | 1.072  | 0.14   | 182.1  | 68.1   | 41.7  | 19.3  | 308.1 | 10        | 0.9925511 | 0.9798391  | 1.02761                   | 190.3921x10 <sup>-4</sup>   | 29.96285x10 <sup>-4</sup>  | -172.7648x10 <sup>-4</sup> |                             |
| CPH14-5B | 201x10 <sup>-4</sup>        | 1.028                 |                        | 1.041                 | 1.07                  | 1.071  | 0.186  | 183    | 71.7   | 36.9  | 15.3  | 304.2 | 9.7       | 0.9944279 | 0.9774128  | 1.028159                  | 180.8247x10 <sup>-4</sup>   | 50.26399x10 <sup>-4</sup>  | -120.9899x10 <sup>-4</sup> |                             |
| CPH15    | Granodiorita<br>CVPH        | CPH15-1B              |                        | 5.34x10 <sup>-4</sup> | 1.019                 | 1.009  | 1.028  | 1.029  | -0.335 | 349.8 | 66.5  | 91.3  | 5         | 183.4     | 22.9       | 0.9919422                 | 0.9968928                   | 1.011165                   | -9.823007x10 <sup>-4</sup> | -10.17349x10 <sup>-4</sup>  |
| CPH15-1C |                             | 7.72x10 <sup>-4</sup> | 1.008                  | 1.004                 | 1.011                 | 1.012  | -0.351 | 306.6  | 1.1    | 41.8  | 77.8  | 216.3 | 12.1      | 0.9991204 | 1.003261   | 0.9985185                 | -52.90438x10 <sup>-4</sup>  | 3.218567x10 <sup>-4</sup>  | 6.898164x10 <sup>-4</sup>  |                             |
| CPH15-2A |                             | 2.97x10 <sup>-4</sup> | 1.015                  | 1.009                 | 1.024                 | 1.025  | -0.26  | 299.2  | 66.3   | 156.9 | 19.2  | 62.2  | 13.4      | 0.9966357 | 0.9932154  | 1.010149                  | -45.03717x10 <sup>-4</sup>  | -66.61936x10 <sup>-4</sup> | 18.08547x10 <sup>-4</sup>  |                             |
| CPH15-3B |                             | 3.26x10 <sup>-4</sup> | 1.01                   | 1.02                  | 1.03                  | 1.031  | 0.343  | 325.2  | 34.4   | 233.9 | 1.9   | 141.1 | 55.5      | 1.003992  | 1.002999   | 0.9930088                 | -0.3114803x10 <sup>-4</sup> | -84.18335x10 <sup>-4</sup> | 109.5974x10 <sup>-4</sup>  |                             |
| CPH15-3C |                             | 3.54x10 <sup>-4</sup> | 1.009                  | 1.011                 | 1.02                  | 1.02   | 0.111  | 288.7  | 41.2   | 19.7  | 1.1   | 111   | 48.8      | 1.000613  | 1.00106    | 0.9983268                 | 0.6927948x10 <sup>-4</sup>  | 93.12009x10 <sup>-4</sup>  | 33.86579x10 <sup>-4</sup>  |                             |
| CPH15-4B |                             | 4.37x10 <sup>-4</sup> | 1.011                  | 1.009                 | 1.02                  | 1.02   | -0.137 | 7      | 74.7   | 121   | 63    | 212.6 | 13.8      | 0.9941657 | 0.9967616  | 1.009073                  | -35.28772                   |                            |                            |                             |

| Sitio    | Especímenes            | Unidad                             | Km                     | L     | F     | P      | Pj    | T      | K1d   | K1i  | K2d   | K2i  | K3d       | K3i       | K11       | K22                        | K33                        | K12                         | K23                        | K13                        |
|----------|------------------------|------------------------------------|------------------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|------|-------|------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| CPH19    | CPH19-1A               | Granodiorita<br>CVPH               | 3.47x10 <sup>-4</sup>  | 1.003 | 1.029 | 1.032  | 1.035 | 0.809  | 344.7 | 60.1 | 131   | 25.6 | 228.1     | 14.4      | 0.9972878 | 0.993751                   | 1.008961                   | -0.0134101                  | 47.45629x10 <sup>-4</sup>  | 58.34772x10 <sup>-4</sup>  |
|          | CPH19-1A               |                                    | 3.37x10 <sup>-4</sup>  | 1.007 | 1.035 | 1.042  | 1.045 | 0.649  | 342.9 | 24.2 | 100.9 | 46.3 | 235.4     | 33.8      | 1.006889  | 0.9935192                  | 0.9995922                  | -126.9762x10 <sup>-4</sup>  | 120.9489x10 <sup>-4</sup>  | 115.6088x10 <sup>-4</sup>  |
|          | CPH19-2A               |                                    | 3.97x10 <sup>-4</sup>  | 1.019 | 1.03  | 1.049  | 1.05  | 0.219  | 66.7  | 53.9 | 327.4 | 6.7  | 232.6     | 35.3      | 0.9972405 | 0.996678                   | 1.006081                   | -69.367793x10 <sup>-4</sup> | 192.5487x10 <sup>-4</sup>  | 119.2801x10 <sup>-4</sup>  |
|          | CPH19-2B               |                                    | 17.3x10 <sup>-4</sup>  | 1.054 | 1.049 | 1.105  | 1.105 | -0.047 | 31.9  | 47.9 | 301   | 0.8  | 210.3     | 42        | 0.9958614 | 0.9978082                  | 1.006633                   | -3.55022x10 <sup>-4</sup>   | 256.5848x10 <sup>-4</sup>  | 425.1261x10 <sup>-4</sup>  |
|          | CPH19-3A               |                                    | 3.2x10 <sup>-4</sup>   | 1.016 | 1.016 | 1.032  | 1.032 | 0.025  | 34.3  | 36.2 | 138.4 | 18.4 | 250.1     | 48        | 1.00629   | 0.9970086                  | 0.9967011                  | 24.24279x10 <sup>-4</sup>   | 117.5117x10 <sup>-4</sup>  | 88.86195x10 <sup>-4</sup>  |
|          | CPH19-3B               |                                    | 3.22x10 <sup>-4</sup>  | 1.006 | 1.028 | 1.035  | 1.037 | 0.625  | 7.5   | 32.5 | 131.2 | 41   | 254.1     | 31.9      | 1.010094  | 0.9887159                  | 1.00119                    | -46.47446x10 <sup>-4</sup>  | 123.2217x10 <sup>-4</sup>  | 63.17005x10 <sup>-4</sup>  |
|          | CPH19-3C               |                                    | 3.3x10 <sup>-4</sup>   | 1.012 | 1.017 | 1.029  | 1.029 | 0.196  | 13.6  | 43.5 | 141.1 | 32.7 | 251.9     | 29        | 1.006363  | 0.9903191                  | 1.003318                   | -24.60944x10 <sup>-4</sup>  | 82.57361x10 <sup>-4</sup>  | 79.15221x10 <sup>-4</sup>  |
|          | CPH19-4                |                                    | 2.54x10 <sup>-4</sup>  | 1.003 | 1.033 | 1.036  | 1.04  | 0.828  | 134   | 6    | 31.8  | 63.4 | 227       | 25.8      | 0.9990178 | 0.997313                   | 1.003669                   | -146.5437x10 <sup>-4</sup>  | 95.520375x10 <sup>-4</sup> | 84.43004x10 <sup>-4</sup>  |
|          | CPH19-5A               |                                    | 2.73x10 <sup>-4</sup>  | 1.01  | 1.048 | 1.058  | 1.062 | 0.659  | 0.6   | 43.7 | 115.6 | 23.8 | 224.9     | 36.8      | 1.002357  | 0.997405                   | 1.000238                   | -146.9036x10 <sup>-4</sup>  | 156.1393x10 <sup>-4</sup>  | 204.835x10 <sup>-4</sup>   |
|          | CPH19-5B               |                                    | 3.06x10 <sup>-4</sup>  | 1.008 | 1.031 | 1.039  | 1.041 | 0.569  | 349.5 | 22   | 98    | 38.2 | 236.8     | 43.7      | 1.009476  | 0.9964743                  | 0.9940497                  | -84.6079x10 <sup>-4</sup>   | 119.9445x10 <sup>-4</sup>  | 110.9714x10 <sup>-4</sup>  |
| CPH20    | CPH20-1A               | Dique<br>andesítico<br>CVPH        | 465x10 <sup>-4</sup>   | 1.011 | 1.013 | 1.025  | 1.025 | 0.062  | 303.1 | 54.4 | 161.3 | 29.3 | 60.6      | 18.3      | 0.9988291 | 0.9943756                  | 1.006795                   | -69.33832x10 <sup>-4</sup>  | -78.89149x10 <sup>-4</sup> | 10.97949x10 <sup>-4</sup>  |
|          | CPH20-1B               |                                    | 444x10 <sup>-4</sup>   | 1.014 | 1.01  | 1.025  | 1.025 | -0.166 | 300.6 | 53.6 | 160.4 | 29.6 | 58.9      | 19.3      | 0.974953  | 0.9956973                  | 1.006807                   | -62.38849x10 <sup>-4</sup>  | -0.0086417                 | 18.7013x10 <sup>-4</sup>   |
|          | COH20-2A               |                                    | 383x10 <sup>-4</sup>   | 1.022 | 1.012 | 1.034  | 1.034 | -0.295 | 252.3 | 68.9 | 70.4  | 21.1 | 160.6     | 0.6       | 0.9865512 | 0.9979168                  | 1.015532                   | 44.54272x10 <sup>-4</sup>   | -69.9717x10 <sup>-4</sup>  | -21.0568x10 <sup>-4</sup>  |
|          | CPH20-2B               |                                    | 395x10 <sup>-4</sup>   | 1.024 | 1.017 | 1.041  | 1.041 | -0.177 | 270.4 | 68.3 | 72.6  | 20.8 | 164.9     | 6.1       | 0.9825028 | 0.9996629                  | 1.017834                   | 40.26693x10 <sup>-4</sup>   | -86.10729x10 <sup>-4</sup> | 17.00556x10 <sup>-4</sup>  |
|          | CPH20-3A               |                                    | 293x10 <sup>-4</sup>   | 1.014 | 1.01  | 1.025  | 1.025 | -0.142 | 252   | 58.8 | 45.6  | 28.5 | 142.1     | 11.7      | 0.9929792 | 0.9984338                  | 1.008587                   | 59.17422x10 <sup>-4</sup>   | -71.45152x10 <sup>-4</sup> | -2.880662x10 <sup>-4</sup> |
|          | CPH20-3B               |                                    | 312x10 <sup>-4</sup>   | 1.019 | 1.006 | 1.025  | 1.026 | -0.492 | 246.1 | 61.8 | 34    | 24.4 | 130.1     | 13.2      | 0.9941162 | 0.995901                   | 1.009983                   | 44.51866x10 <sup>-4</sup>   | -81.40055x10 <sup>-4</sup> | -22.34971x10 <sup>-4</sup> |
|          | CPH20-3C               |                                    | 320x10 <sup>-4</sup>   | 1.018 | 1.009 | 1.027  | 1.028 | -0.349 | 253.3 | 57.3 | 45.1  | 29.5 | 142.5     | 12.8      | 0.9921193 | 0.9986496                  | 1.009231                   | 54.10841x10 <sup>-4</sup>   | -90.04812x10 <sup>-4</sup> | -8.877376x10 <sup>-4</sup> |
|          | CPH20-4B               |                                    | 484x10 <sup>-4</sup>   | 1.005 | 1.016 | 1.021  | 1.022 | 0.533  | 217.1 | 45.8 | 352.9 | 34.9 | 100.6     | 23.5      | 1.004671  | 0.9917117                  | 1.003618                   | 35.11867x10 <sup>-4</sup>   | -70.9771x10 <sup>-4</sup>  | -8.762004x10 <sup>-4</sup> |
|          | CPH20-4C               |                                    | 418x10 <sup>-4</sup>   | 1.013 | 1.017 | 1.03   | 1.03  | 0.154  | 229.2 | 65.4 | 349.6 | 13.1 | 84.6      | 20.4      | 1.002254  | 0.9878985                  | 1.009848                   | -3.164721x10 <sup>-4</sup>  | -91.67503x10 <sup>-4</sup> | -36.55957x10 <sup>-4</sup> |
|          | CPH20-5A               |                                    | 424x10 <sup>-4</sup>   | 1.016 | 1.007 | 1.023  | 1.024 | -0.421 | 170.3 | 69.7 | 325   | 18.5 | 57.7      | 8.1       | 0.9967964 | 0.9921578                  | 1.011046                   | -32.55011x10 <sup>-4</sup>  | -1.225471x10 <sup>-4</sup> | -5.745272x10 <sup>-4</sup> |
| CPH20-5B | 521x10 <sup>-4</sup>   | 1.01                               | 1.012                  | 1.022 | 1.022 | 0.116  | 159.6 | 61.8   | 320.9 | 26.9 | 54.8  | 7.8  | 0.9987571 | 0.9930766 | 1.008166  | -63.44178x10 <sup>-4</sup> | 0.7550807x10 <sup>-4</sup> | -47.54472x10 <sup>-4</sup>  |                            |                            |
| CPH20-5C | 515x10 <sup>-4</sup>   | 1.014                              | 1.009                  | 1.023 | 1.023 | -0.22  | 164.4 | 66.2   | 321.5 | 22.1 | 54.9  | 8.3  | 0.9975162 | 0.9925904 | 1.009893  | -46.99959x10 <sup>-4</sup> | 3.557863x10 <sup>-4</sup>  | -57.49281x10 <sup>-4</sup>  |                            |                            |
| AN1      | AN1-1B                 | Formación<br>Huaraco               | 1.09x10 <sup>-4</sup>  | 1.009 | 1.009 | 1.018  | 1.018 | 0.049  | 263.3 | 6.6  | 354.9 | 13.2 | 147.4     | 75.2      | 0.9999481 | 1.008442                   | 0.9916094                  | 12.58228x10 <sup>-4</sup>   | -22.21929x10 <sup>-4</sup> | 18.39005x10 <sup>-4</sup>  |
|          | AN1-2A                 |                                    | 0.461x10 <sup>-4</sup> | 1.005 | 1.007 | 1.012  | 1.012 | 0.232  | 54.7  | 10.2 | 311.8 | 15.2 | 152.5     | 37        | 0.9987376 | 1.002829                   | 0.9984331                  | 39.4017x10 <sup>-4</sup>    | -9.544064x10 <sup>-4</sup> | 35.22835x10 <sup>-4</sup>  |
|          | AN1-2B                 |                                    | 0.614x10 <sup>-4</sup> | 1.001 | 1.009 | 1.01   | 1.011 | 0.832  | 234.3 | 32.2 | 349.2 | 33.7 | 112.8     | 39.7      | 1.002179  | 0.9985537                  | 0.9992672                  | 22.3305x10 <sup>-4</sup>    | -44.88531x10 <sup>-4</sup> | 15.28575x10 <sup>-4</sup>  |
|          | AN1-3A                 |                                    | 1.16x10 <sup>-4</sup>  | 1.002 | 1.001 | 1.004  | 1.004 | -0.342 | 121.9 | 23.6 | 227   | 20.1 | 256.6     | 58.2      | 1.000135  | 1.000727                   | 0.9991387                  | -9.665292x10 <sup>-4</sup>  | 12.44221x10 <sup>-4</sup>  | -3.388095x10 <sup>-4</sup> |
|          | AN1-4A                 |                                    | 1.16x10 <sup>-4</sup>  | 1.002 | 1.002 | 1.004  | 1.004 | 0.077  | 5.9   | 52.1 | 152   | 239  | 25.2      | 16.7      | 1.000641  | 0.9982624                  | 1.001097                   | -4.839411x10 <sup>-4</sup>  | 6.755595x10 <sup>-4</sup>  | 10.86197x10 <sup>-4</sup>  |
| AN1-5B   | 1.41x10 <sup>-4</sup>  | 1.003                              | 1.005                  | 1.009 | 1.009 | 0.246  | 310   | 73.8   | 214.2 | 1.7  | 123.7 | 16.1 | 0.9992816 | 0.9974303 | 1.003288  | 21.55945x10 <sup>-4</sup>  | -18.5387x10 <sup>-4</sup>  | 13.51777x10 <sup>-4</sup>   |                            |                            |
| AN2      | AN2-1A                 | Formación<br>Arroyo del<br>Torreón | 0.63x10 <sup>-4</sup>  | 1.002 | 1.004 | 1.006  | 1.006 | 0.286  | 284.2 | 13.9 | 55.4  | 69.4 | 190.4     | 14.9      | 0.9974017 | 1.002189                   | 1.004009                   | -10.4111x10 <sup>-4</sup>   | -2.913759x10 <sup>-4</sup> | 9.878919x10 <sup>-4</sup>  |
|          | AN2-2A                 |                                    | 1.2x10 <sup>-4</sup>   | 1.004 | 1.001 | 1.005  | 1.005 | -0.732 | 321.8 | 6.4  | 231.3 | 4.6  | 105.5     | 82.1      | 1.001276  | 1.000363                   | 0.9983605                  | -18.65772x10 <sup>-4</sup>  | -3.446567x10 <sup>-4</sup> | 3.593746x10 <sup>-4</sup>  |
|          | AN2-3A                 |                                    | 0.346x10 <sup>-4</sup> | 1.005 | 1.006 | 1.011  | 1.011 | 0.085  | 252.2 | 20.2 | 156.6 | 15   | 32.4      | 64.4      | 0.9999214 | 1.00411                    | 0.9959682                  | 8.089298x10 <sup>-4</sup>   | -28.68983x10 <sup>-4</sup> | -25.14868x10 <sup>-4</sup> |
|          | AN2-3B                 |                                    | 0.284x10 <sup>-4</sup> | 1.006 | 1.006 | 1.012  | 1.012 | 0.001  | 248.1 | 43.4 | 112   | 37.2 | 26        | 23.7      | 0.9955893 | 1.00261                    | 1.001801                   | 8.418987x10 <sup>-4</sup>   | -27.76753x10 <sup>-4</sup> | -31.98706x10 <sup>-4</sup> |
|          | AN2-4B                 |                                    | 1.14x10 <sup>-4</sup>  | 1.004 | 1.001 | 1.005  | 1.005 | -0.484 | 226.9 | 25.9 | 103.5 | 48.7 | 333       | 29.7      | 0.9988259 | 1.000592                   | 0.9995824                  | 18.8687x10 <sup>-4</sup>    | -0.888425x10 <sup>-4</sup> | -14.84176x10 <sup>-4</sup> |
| AN2-5A   | 0.933x10 <sup>-4</sup> | 1.004                              | 1.002                  | 1.006 | 1.006 | -0.225 | 148.9 | 16.3   | 42.3  | 44.3 | 253.6 | 41.2 | 1.001986  | 0.9992194 | 0.9987949 | -19.1332x10 <sup>-4</sup>  | 16.64691x10 <sup>-4</sup>  | -5.379011x10 <sup>-4</sup>  |                            |                            |
| AN3      | AN3-1A                 | Formación La<br>Premia             | 2.98x10 <sup>-4</sup>  | 1.005 | 1.015 | 1.02   | 1.021 | 0.49   | 41.7  | 16.7 | 262.6 | 68.4 | 135.8     | 13.4      | 0.9986342 | 0.9984793                  | 1.002886                   | 94.2395x10 <sup>-4</sup>    | -13.97669x10 <sup>-4</sup> | -34.70617x10 <sup>-4</sup> |
|          | AN3-2A                 |                                    | 1.74x10 <sup>-4</sup>  | 1.005 | 1.007 | 1.012  | 1.013 | 0.141  | 226.2 | 22.3 | 6.7   | 62   | 129.4     | 16.1      | 1.000136  | 0.9990929                  | 1.000801                   | 54.77505x10 <sup>-4</sup>   | -28.0506x10 <sup>-4</sup>  | -1.083867x10 <sup>-4</sup> |
|          | AN3-3A                 |                                    | 2.63x10 <sup>-4</sup>  | 1.001 | 1.008 | 1.009  | 1.01  | 0.714  | 271.9 | 64   | 50    | 19.9 | 146       | 16        | 0.9972556 | 1.000155                   | 1.002589                   | 32.81511x10 <sup>-4</sup>   | -16.40742x10 <sup>-4</sup> | 16.98145x10 <sup>-4</sup>  |
|          | AN3-3B                 |                                    | 1.56x10 <sup>-4</sup>  | 1.006 | 1.009 | 1.015  | 1.015 | 0.194  | 233.2 | 30.3 | 12.4  | 52.3 | 130.8     | 20.1      | 0.9992335 | 0.99993454                 | 1.001421                   | 59.67924x10 <sup>-4</sup>   | -42.3176x10 <sup>-4</sup>  | 2.933464x10 <sup>-4</sup>  |
|          | AN3-4A                 |                                    | 1.91x10 <sup>-4</sup>  | 1.003 | 1.012 | 1.015  | 1.016 | 0.56   | 235.8 | 60.8 | 41.4  | 28.4 | 134.7     | 6.1       | 0.9972918 | 0.997466                   | 1.005242                   | 62.08567x10 <sup>-4</sup>   | -20.68044x10 <sup>-4</sup> | 0.7637527x10 <sup>-4</sup> |
| AN3-5A   | 2.03x10 <sup>-4</sup>  | 1.012                              | 1.009                  | 1.021 | 1.021 | -0.155 | 239.3 | 59.4   | 24.4  | 25.8 | 122   | 15.1 | 0.9973727 | 0.9952506 | 1.007377  | 51.17148x10 <sup>-4</sup>  | -65.28777x10 <sup>-4</sup> | -15.61974x10 <sup>-4</sup>  |                            |                            |
| AN4      | AN4-1B                 | Dacita<br>anfíbólica               | 103x10 <sup>-4</sup>   | 1.02  | 1.024 | 1.044  | 1.044 | 0.086  | 231.7 | 57.9 | 62.6  | 31.6 | 329.6     | 4.9       | 0.9861841 | 0.9986423                  | 1.015174                   | 0.012725                    | -60.22793x10 <sup>-4</sup> | -72.21885x10 <sup>-4</sup> |
|          | AN4-2B                 |                                    | 106x10 <sup>-4</sup>   | 1.009 | 1.05  | 1.059  | 1.063 | 0.69   | 247   | 37.2 | 74.5  | 52.5 | 339.8     | 3.6       | 0.9719002 | 1.012066                   | 1.016034                   | 175.0637x10 <sup>-4</sup>   | -29.66283x10 <sup>-4</sup> | -45.08271x10 <sup>-4</sup> |
|          | AN4-3B                 |                                    | 94x10 <sup>-4</sup>    | 1.01  | 1.023 | 1.033  | 1.034 | 0.38   | 239.6 | 77.5 | 68.8  | 12.3 | 338.4     | 1.9       | 0.984366  | 1.001386                   | 1.013777                   | 78.6303x10 <sup>-4</sup>    | -15.83259x10 <sup>-4</sup> | -17.99101x10 <sup>-4</sup> |
|          | AN4-4A                 |                                    | 132x10 <sup>-4</sup>   | 1.008 | 1.052 | 1.06   | 1.066 | 0.742  | 254.7 | 27.3 | 52.1  | 60.8 | 159.6     | 9.6       | 0.971493  | 1.014003                   | 1.014504                   | 175.8852x10 <sup>-4</sup>   | -59.27553x10 <sup>-4</sup> | 69.62865x10 <sup>-4</sup>  |
|          | AN4-4B                 |                                    | 138x10 <sup>-4</sup>   | 1.01  | 1.049 | 1.06   | 1.064 | 0.661  | 286   | 56.9 | 63.6  | 25.7 | 163.3     | 19.4      | 0.9739301 | 1.011806                   | 1.014264                   | 108.3129x10 <sup>-4</sup>   | -86.71337x10 <sup>-</sup>  |                            |