



ESCUELA DE
GEOLOGÍA

**ESTRATIGRAFÍA Y PETROGRAFÍA DE LA FORMACIÓN ALTOS DE
HUALMAPU (JURÁSICO MEDIO – SUPERIOR), EN EL ÁREA DE SAN
VICENTE DE TAGUA TAGUA, CHILE CENTRAL (34°25' S y 34°30' S)**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

CRISTOBAL FELIPE ALBORNOZ PAVEZ

Profesor Guía:

Dr. Christian Salazar Soto

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

Dr. Matías Peña Gómez

Dr. Eduardo Morgado Bravo

SANTIAGO DE CHILE

2022

RESUMEN

La Formación Altos de Hualmapu asignada al Jurásico Medio – Jurásico Superior (Aaleniano - Kimmeridgiano) se distribuye dentro la Cordillera de la Costa de Chile central y representa la reactivación del arco magmático, donde en el área de San Vicente de Tagua Tagua (SVTT) (34°25' S y 34°30' S), se exhibe en el sector de El Niche y abarca parte del cordón norte de la laguna Tagua Tagua. En este trabajo se realiza una revisión detallada de la unidad para explicar la variabilidad litológica y la evolución de sus ambientes deposicionales, donde se reconocen 8 litofacies correspondientes a una unidad volcánica y volcanoclástica, dispuestas en 4 asociaciones de facies indicativas de un ambiente de depositación según su distancia al centro eruptivo.

Las litofacies tienen una potencia aproximada de 1000 metros y se encuentran conformadas por lavas andesíticas (mA), brechas de toba lapillítica (mbT) y tobas de variables composición (mIT, mcrT, mviT y vviT), con restringidos niveles sedimentarios de areniscas (Sh) y conglomerados (Gh) integrados principalmente por componentes volcánicos, los cuales es posible considerar que los primeros fundidos generados de alta temperatura y baja viscosidad resultaron en la formación de lavas y brechas andesíticas del primer miembro (M1) en el sector de los cerros El Niche y Silleta producto de un volcanismo fisural. Por otro lado, fundidos de mayor permanencia en la corteza, desarrollaron un volcanismo explosivo que derivó en la formación de depósitos de flujos piroclásticos o ignimbritas de bajo grado del segundo tramo (M3 y M5) de facies medias a distales del centro eruptivo, los que forman parte de un ambiente interpretado como un contexto de cuenca de intra-arco debido a la elevada potencia de las sucesiones volcánicas y la escasa distancia a la que estas se depositan desde el o los focos eruptivos.

El volcanismo proximal al comienzo de la unidad se asociaría a un arco volcánico activo generado a partir de la reactivación de la subducción en el margen continental sudamericano, el cual pareciera migrar hacia el este o disminuir su actividad efusiva durante el Jurásico Superior debido a una mayor presencia de depósitos piroclásticos medios a distales en la zona media a superior de la unidad, presentando un importante evento eruptivo en el esquema estratigráfico de la cuenca de SVTT y en el contexto regional permite delinear con mayor precisión la evolución del volcanismo Jurásico en la Cordillera de la Costa.

Palabras claves: Estratigrafía, litofacies, arco volcánico, Ciclo Andino, intra-arco.

ABSTRACT

The Altos de Hualmapu Formation of Middle Jurassic - Upper Jurassic age (Aalenian - Kimmeridgian) is distributed within the Coastal Range of central Chile and represents the reactivation of the magmatic arc, where around San Vicente de Tagua Tagua (SVTT) (34°25' S and 34°30' S), it is exhibited in the El Niche sector and covers part of the northern cordon of the Tagua Tagua lagoon. In this work, a detailed review of the unit is carried out to explain the lithological variability and the evolution of its depositional environments, where 8 lithofacies corresponding to a volcanic and volcanoclastic unit are recognized, arranged in 4 facies associations indicative of a depositional environment according to their distance to the eruptive center.

The lithofacies are approximately 1000 meters thick and are composed of andesitic lavas (mA), lapillitic tuff breccias (mbT) and tuffs of variable composition (mIT, mcrT, mviT and vviT), with restricted sedimentary levels of sandstones (Sh) and conglomerates (Gh) mainly composed of volcanic components, which it is possible to consider that the first melts generated with high temperature and low viscosity resulted in the formation of lavas and andesitic breccias of the first member (M1) in the sector of El Niche and Silleta hills product of a fissural volcanism. On the other hand, melts of greater permanence in the crust, developed an explosive volcanism that resulted in the formation of pyroclastic flow deposits or low-grade ignimbrites of the second section (M3 and M5) of medium to distal facies of the eruptive center, which are part of an environment interpreted as an intra-arc basin context due to the high power of the volcanic successions and the short distance at which these are deposited from the eruptive focus or foci.

The proximal volcanism at the beginning of the unit would be associated with an active volcanic arc generated from the reactivation of subduction on the South American continental margin, which seems to migrate eastward or decrease its effusive activity during the Upper Jurassic due to a greater presence of medium to distal pyroclastic deposits in the middle to upper zone of the unit, presenting an important eruptive event in the stratigraphic scheme of the SVTT basin and in the regional context allows to delineate more precisely the evolution of Jurassic volcanism in the Coastal Cordillera.

Key words: Stratigraphy, lithofacies, volcanic arc, Andean cycle, intra-arc.

SOLO USO ACADÉMICO

Dedicado a mi familia, mis padres, hermana y Rocío, por el apoyo incondicional durante todo el proceso.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer en primer lugar al profesor Dr. Christian Salazar, por darme la oportunidad de formar parte de sus memoristas, por considerarme de manera profesional y posicionarse como profesor guía de esta memoria de título. Agradecerle tanto por lo entregado durante el último año como por las experiencias y oportunidades previas, las cuales me permitieron llegar a este punto.

Agradecer a la comisión evaluadora los profesores Dr. Matías Peña y Dr. Eduardo Morgado por las enseñanzas y correcciones constructivas en las reuniones, al igual que su paciencia y apoyo.

Quiero agradecer a mis compañeros de terreno y zona de estudio, al Coke, la Mari y el Coipo Andino, por la compañía brindada en las caminatas eternas bajo el sol. Quiero dar las gracias también al Lukas, Juancho y la Cata, quienes nos brindaron ayuda y orientación en las campañas de terreno. Agradecer también a los miembros de la Fundación Añañuca y todos los que trabajan para el museo MELT, por darnos alojamiento en nuestras campañas de terreno, comida y por integrarnos como parte de su equipo en San Vicente.

A mi mamá, papá y hermana, que siempre me apoyaron y me alentaron a seguir el sueño de ser un profesional. Al Loki que me hacía compañía durante las noches de trabajo y estudios. Agradecer especialmente a Rocío, quien amo y que estuvo incondicionalmente a mi lado apoyándome e inspirándome.

Agradecer a mis compañeros y panitas de geología, Geo Mahuida, Andes rock, al Sopapo, Seba, pipeño, fem, Javi Soto, Eli, Agatha y muchos más con quienes compartí terrenos y el día a día en la universidad.

Por último, pero no menos importante, a mis amigos de toda la vida: Ariel, Mena, Nico, Tuto y Troncoso con quienes sigo compartiendo nuevas experiencias y alegrías.

INDICE DE CONTENIDO

1.	Introducción	10
1.1.	Antecedentes generales.....	10
1.2.	Problemática	12
1.3.	Hipótesis de estudio.....	13
1.4.	Objetivo General	14
1.4.1.	Objetivos específicos.....	14
1.5.	Metodología	14
1.5.1.	Metodología Especifica.....	15
1.6.	Ubicación y Accesos	17
2.	Marco Geológico	18
2.1.	Cuencas sedimentarias.....	18
2.1.1.	Cuencas de ante arco.....	20
2.1.2.	Cuencas de intra-arco	20
2.1.3.	Cuencas de tras arco.....	21
2.2.	Marco Geotectónico	22
2.2.1.	Marco Morfoestructural	24
2.3.	Geología Regional	25
2.4.	Geología Local	27
2.4.1.	Rocas estratificadas	27
2.4.2.	Cuerpos Intrusivos.....	29
2.4.3.	Depósitos y unidades Cenozoica.....	29
2.4.	Estratigrafía Formación Altos de Hualmapu	32
3.	Formación Altos de Hualmapu en el área de San Vicente de Tagua Tagua .	36

3.1. Definición y Distribución	36
3.2 Litofacies y análisis de facies	37
3.2.1 Litofacies Volcánica.....	37
3.2.2 Litofacies Piroclásticas	38
3.2.3 Litofacies Sedimentarias	44
3.3 Asociaciones de facies y ambiente deposicional.....	46
3.3.2 Depósitos volcánicos y piroclásticos de distancia proximal a media de foco eruptivo (FVM):	47
3.3.3 Depósitos piroclásticos de distancia media de foco eruptivo (FPM):.....	47
3.3.4 Depósitos clásticos distales del foco eruptivo (FCD):.....	48
4. Discusiones	50
4.1. Comparación de la formación en San Vicente versus columna tipo Hualañé-Curepto	50
4.2. Correlaciones regionales e interpretación de cuenca de intra-arco	53
5. Conclusiones	55
6. Referencias	57
7. Anexos	60
7.1. Diagramas y tablas de clasificación petrográfica	60
9.3 Base de datos de la campaña 2022.....	64
9.4 Descripciones petrográficas de la Formación Altos de Hualmapu.....	67

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de facies volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias para la Formación Alto de Hualmapu. 37

Tabla 2: Asociaciones de facies para la Formación Altos de Hualmapu.

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Representación global a durante el Jurásico (Gradstein et al., 2020).....	11
Figura 2: Eventos de fragmentación asociados al sistema Jurásico: a) Centro dispersor a comienzos del Jurásico que inicia la fragmentación de Pangea; b) en el Jurásico temprano que fragmenta el Gondwana (Mpodozis & Ramos, 2008).....	12
Figura 3: Modelo conceptual que muestra la subducción con velocidad de retroceso negativa de la trinchera y su estado tensional: A) Sistema arco - cuenca de tras arco. Este ambiente tectónico fue donde ocurrió la depositación de la Formación Lo Prado entre los 33°S y 34 durante el Jurásico - Cretácico temprano B) Sistema de intra-arco. Este contexto tectónico ocurre la depositación de Formación Altos de Hualmapu y Formación La Lajuela 34°S y 36°S Durante el Jurásico - Cretácico (Mpodozis & Ramos,2008).	13
Figura 4: A) Mapa de Chile, en gris la Región del Libertador General Bernardo O’Higgins; B) Ruta de acceso al área de estudio desde Santiago; C) Área de estudio y sus localidades (Estrella roja indica la ubicación del Museo escolar laguna de Tagua Tagua (MELT)).....	18
Figura 5: Características generales de las cuencas asociadas a una zona de subducción y sus principales componentes. (Busby & Ingersoll, 1995)	19
Figura 6: Ciclo Tectónico Andino, sus divisiones y eventos tectónicos (Charrier et al. 2009).	23
Figura 7: Morfoestructuras principales en el margen andino entre los 32°S y 35°S (Fariás et al., 2008).	25
Figura 8: Mapa de geología regional desde los 31°S a 37°S. Se delimita la zona de estudio en recuadro negro. (Charrier et al., 2014).	26
Figura 9: Mapa geológico del área de estudio (Arbea & Pincheira, 2021).....	31
Figura 10: Sección tipo de la Fm. Altos de Hualmapu (Bravo,2001)	34
Figura 11: Columna generalizada de Formación Alto de Hualmapu en SVTT. En observaciones se indica el número de muestra a la cual se asocia cada uno de los niveles descritos con anterioridad (Arbea & Pincheira, 2021).	35
Figura 12: Vista este-oeste del sector Cuchipuy - La Muralla de la distribución de la Formación Alto de Hualmapu (Arriagada, en prep.).....	36
Figura 13: A) Litofacies volcánica (mA): A.1) Afloramiento de lavas andesíticas porfídicas en el sector del cerro el Niche. A.2) Muestra de mano de lava andesítica porfídica (AH06). A.3) Nicoles paralelos A.4) Nicoles cruzados de lámina delgada (AH08) de lava andesítica. B) Afloramiento de brecha piroclástica en el sector cerro el Niche.	39
Figura 14: C.1) Afloramiento de tobas lapillíticas en el sector Pukara. C.2) Lamina delgada de tobas de lapilli líticas (AH77). D.1) Afloramiento de toba vítrea en el sector de Pukara. D.2) Muestra de mano de toba vítrea (AH71).	41
Figura 15: G.1) Afloramiento de tobas cristalinas en el sector San Marcos. G.2) Lamina delgada de toba cristalina (AH65). H.1) Afloramiento de tobas vítreas soldadas en el sector de Pukara - Cuchipuy. H.2) Muestras de mano de tobas vítreas soldadas (AH52 - 54 - 57).....	43

Figura 16: E.1) Afloramiento de sucesión arenisca-conglomerado en el sector de Pukara. **E.2)** Lamina delgada de arenisca feldespática en nicoles paralelos y cruzado (AH37). **F.1)** Afloramiento de sucesión arenisca - conglomerado en el sector Pukara. **F.2)** Acercamiento al afloramiento de conglomerado en la parada AH45-C en el sector Pukara.45

Figura 17: Columna estratigráfica generalizada de la Formación Altos de Hualmapu.49

Figura 18: Modelo de distribución de facies volcánicas para la Formación Alto de Hualmapu en la zona de estudio (Vessel & Davies, 1981; Bogie & Mackenzie, 1998; Selles et al. 2015).50

Figura 19: Correlación para la Formación Alto de Hualmapu. En **(A)** se presenta la columna tipo para dicha unidad en la Cordillera de la Costa entre los 35°00' y 35°30' (Bravo, 2001). En **(B)** se presenta la columna estratigráfica generalizada para la Formación Alto de Hualmapu en el presente estudio.52

Figura 20: Modelo evolución tectono-magmática esquemática durante el Jurásico Medio en el Sur de Chile Central (Basado en Rossel et al., 2020).54

Figura 21: Modelo de ambiente de depositación de la Formación Altos de Hualmapu durante el Jurásico Medio al Superior (Aaleniano - Kimmeridgiano) en el área de San Vicente de Tagua Tagua (rectángulo rojo); (Basado en Howell et al.,2005).56

SOLO USO ACADÉMICO

1. Introducción

El siguiente trabajo presenta un estudio geológico dentro de un área determinada con el fin de identificar y resolver una problemática que permita aportar con nuevos antecedentes e información asociada a la estratigrafía en detalle de la Formación Altos de Hualmapu y su ambiente de depositación.

La zona de estudio comprende los alrededores de la localidad San Vicente de Tagua Tagua (SVTT) (34°20'- 34°30'S y 71°10'- 71°60'O), perteneciente a la provincia del Cachapoal, de la región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile central. En donde esta comuna y las localidades adyacentes forman parte la franja oriental de la Cordillera de la Costa. Geológicamente está circundada por rocas de edad mesozoica de composición variable y erosionada por un sistema de ríos que migran de este a oeste. El área ha sido abordada anteriormente en el marco de otras finalidades académicas para el desarrollo de Proyectos de Investigación Aplicada desde el año 2017, por lo que es un área con una superficie conocida y explorada de forma previa.

Los resultados obtenidos para este estudio serán un aporte en cuanto a conocimiento científico y geológico para la región y comuna de SVTT, donde dicha información podrá llegar a la comunidad mediante el Museo Escolar Laguna de Tagua Tagua (MELT).

1.1. Antecedentes generales

Durante el Jurásico Medio, el supercontinente Pangea comienza a dividirse en Laurasia y Gondwana siendo separadas vía marítima por el mar de Tetis (Fig.1) tras un primer evento dispersor conocido como CAMP (*Provincia magmática del Atlántico central*), asociada a potentes niveles basálticos que acompañaron a la formación de una serie de cuencas de rift de edad triásica de amplia extensión en norte América y norte de África (Olsen, 1997 in Mpodozis & Ramos, 2008). Donde el clímax de la actividad basáltica alcalina de intraplaca ocurrió durante el Hetangiano - Sinemuriano, aproximadamente a los 200 Ma, y sus consecuencias se extienden a América del Sur, alcanzando diversos sectores de la plataforma sudamericana e inclusive los Andes de Bolivia, Argentina y Chile (Mpodozis & Ramos, 2008).

Tras la separación de Laurasia de Gondwana, se generó una nueva anomalía calórica (punto caliente) ubicada en el hemisferio sur, que fragmentó el supercontinente de Gondwana (Cox, 1988 *in* Mpodozis & Ramos, 2008) constituyendo, durante el Pliensbachiano el centro dispersor del Karoo (Fig.2) a partir del cual se inició la separación entre el Gondwana Occidental y el Oriental abriendo el Océano Índico (Duncan *et al.* 1997 *in* Mpodozis & Ramos, 2008). Este evento, ocurrido entre los 183 y 179 Ma (Jourdan *et al.*, 2005 *in* Mpodozis & Ramos, 2008), tuvo una fuerte influencia en los procesos del margen occidental sudamericano, iniciando la subducción que es la responsable de controlar los regímenes tectónicos extensionales que afectan a lo largo del margen continental hasta finales del Cretácico Temprano (Charrier *et al.* 2007, Charrier *et al.* 2014, Vásquez *et al.* 2011).

La subducción tuvo lugar bajo un régimen extensional probablemente asociado con una velocidad negativa de retroceso de la trinchera “roll-back” (Navarrete *et al.* 2019), que condujo a la formación de un arco magmático a lo largo de la Cordillera de la Costa desde el sur del Perú hasta Chile central y hacia el este, el desarrollo de las cuencas de tras arco extensionales de Arequipa, Tarapacá y Neuquén (Mpodozis & Ramos, 2008). La ocurrencia de volcanismo asociado a subducción está registrada en los productos volcánicos e intrusivos asociados aflorantes a lo largo de la Cordillera de la Costa desde el sur del Perú (Grupo Chocolate, Sempere *et al.* 2002), hasta por lo menos, la latitud de San Fernando (~34°S) en Chile Central, las cuales presentan afinidades geoquímicas calco alcalinas de arco, que habrían evolucionado en presencia de una corteza relativamente delgada (Oliveros *et al.* 2007).



Figura 1: Representación global a durante el Jurásico (Gradstein *et al.*, 2020).

En la zona de estudio se tienen registros de esta evolución del ciclo andino a partir del Mesozoico temprano (e.g. Charrier *et al.* 2007, Vásquez *et al.* 2011, Charrier *et al.* 2014) en donde las unidades presentes en este trabajo corresponden principalmente a unidades volcánicas de edad Jurásico Medio - Superior, las cuales son intruidas posteriormente por cuerpos plutónicos de edad Cretácico Inferior tardío a Cretácico Superior temprano (Martin *et al.* 1999, Lucassen *et al.* 2004 in Vásquez *et al.* 2011, Godoy *et al.*, 2009).

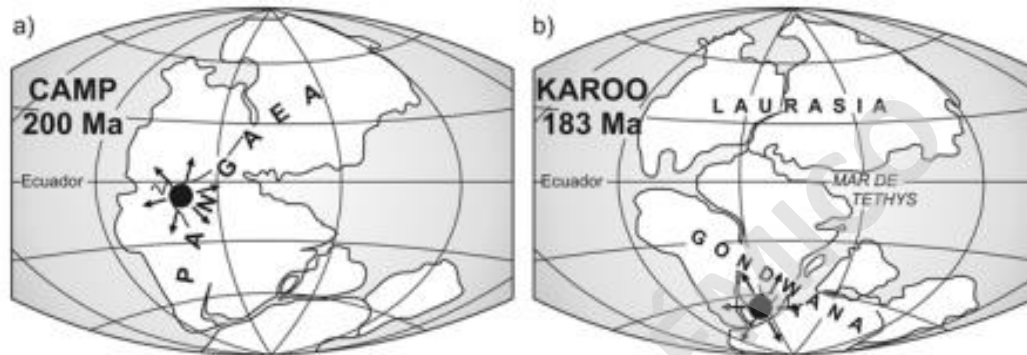


Figura 2: Eventos de fragmentación asociados al sistema Jurásico: **a)** Centro dispersor a comienzos del Jurásico que inicia la fragmentación de Pangea; **b)** en el Jurásico temprano que fragmenta el Gondwana (Mpodozis & Ramos, 2008).

1.2. Problemática

La comuna de San Vicente y sus alrededores han registrado una variedad de ambientes sedimentarios durante el Jurásico y Cretácico, las cuales responderían a cambios en las condiciones de depositación, tales como ciclos de transgresión y regresión, además de un arco magmático que ha migrado y variado en estos períodos. Donde los registros litológicos pertenecientes a la carta geológica regional de Rancagua - San Vicente (Godoy *et al.* 2009) y San Fernando - Curicó Contreras & Schilling (2012), indican que las unidades litológicas en el área de estudio pertenecerían a la cuenca de ante arco Lo Prado (Fig.3a) asignada al Jurásico Superior y Cretácico Inferior representada por la Formación Lo Prado. Esta configuración de cuenca para el área de estudio difiere a lo propuesto por Bravo (2001), Franzese & Spalletti (2001) y Mpodozis & Ramos (2008), además de estudios inéditos recientes de Zúñiga (2017), Pincheira (2021) y Arbea (2021), quienes postulan que el arco volcánico del Jurásico medio favoreció el desarrollo de cuencas extensionales de intra-arco (Fig.3b) en la zona central de la cordillera de la Costa hasta los 34°S.

En lo que respecta a este estudio, los registros litológicos de la formación Altos de Hualmapu (Morel 1981, Bravo 2001) alcanzarían sus límites hasta el sector de Hualañé (35° S), es decir, aproximadamente 95 km al sur de la zona de estudio. Por lo que siguen siendo difusas las relaciones de contacto entre las formaciones que sobre yacen y subyacen a la Formación Alto de Hualmapu, además de su estratigrafía detallada y la extensión de esta Unidad, existiendo dudas si el arco del Jurásico Medio al Superior permite el desarrollo de cuencas de ante o intra-arco en el área de San Vicente de Tagua Tagua.

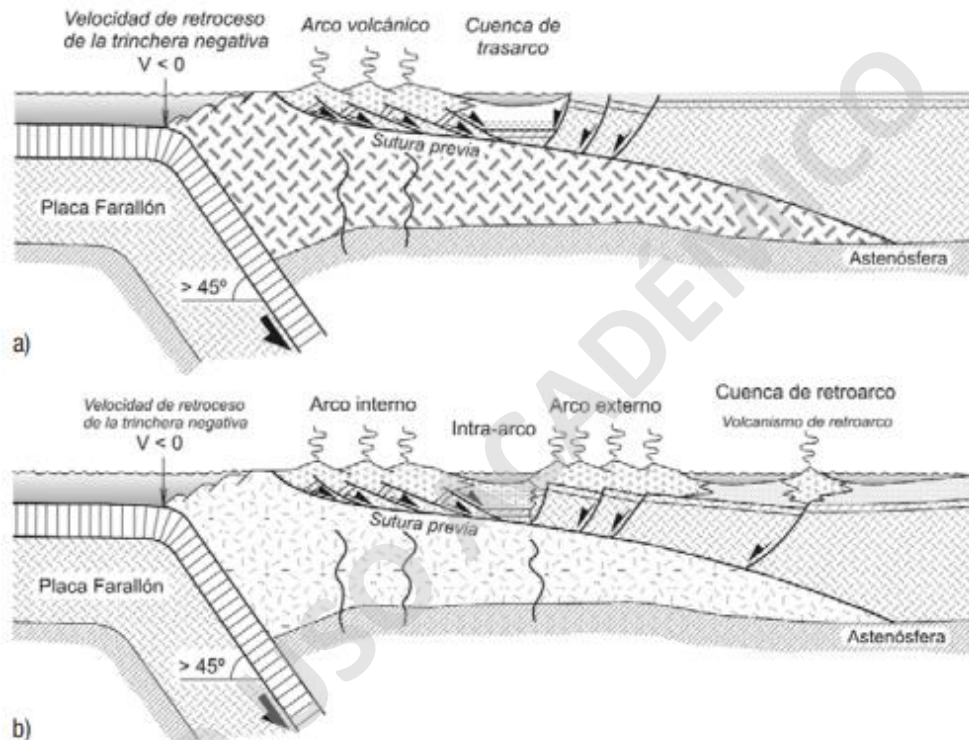


Figura 3: Modelo conceptual que muestra la subducción con velocidad de retroceso negativa de la trinchera y su estado tensional: A) Sistema arco - cuenca de tras arco. Este ambiente tectónico fue donde ocurrió la depositación de la Formación Lo Prado entre los 33°S y 34°S durante el Jurásico - Cretácico temprano B) Sistema de intra-arco. Este contexto tectónico ocurre la depositación de Formación Altos de Hualmapu y Formación La Lajuela 34°S y 36°S Durante el Jurásico - Cretácico (Mpodozis & Ramos,2008).

1.3. Hipótesis de estudio

El volcanismo del Jurásico Medio - Superior (Aaleniano - Kimmeridgiano) representa la reactivación del arco volcánico asociado al proceso de retroceso de la fosa y al cambio del ángulo de subducción (roll-back), generando una cuenca intra-arco y su volcanismo asociado en el margen oriental de la actual cordillera de la Costa, en el área de San Vicente de Tagua Tagua y sus alrededores.

1.4. Objetivo General

Comprender en detalle la Formación Altos de Hualmapu en el margen oriental de la Cordillera de la Costa, en Chile Central (entre 34° 25 S y 34° 30 S), aportando nuevos antecedentes que permitan definir la variabilidad de facies volcánicas presentes en la cuenca del Cachapoal.

1.4.1. Objetivos específicos

- Estudiar la petrografía mediante la caracterización y descripción macroscópica y microscópica de muestras de mano y corte transparente respectivamente.
- Realizar levantamiento estratigráfico a detalle mediante la elaboración de columnas estratigráficas.
- Analizar las facies volcánicas y sus asociaciones para determinar el ambiente de depositación.
- Identificar relaciones de contacto entre las unidades que la sub y sobre yacen a la Formación Altos de Hualmapu.
- Analizar química de roca total de unidades volcánicas presentes en el área de estudio.

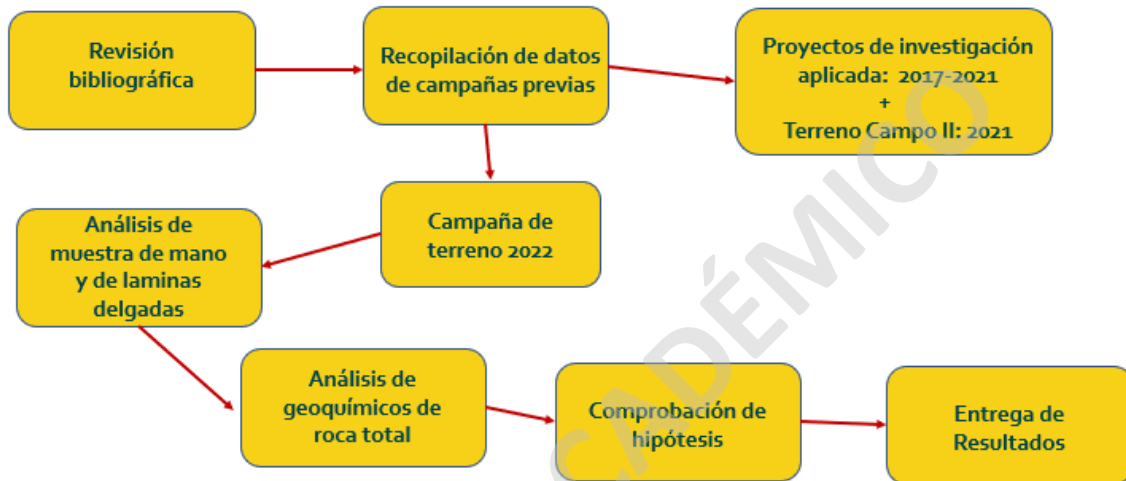
1.5. Metodología

El presente trabajo de investigación aplicada se divide en 3 etapas, las cuales corresponden en primera instancia a la revisión bibliográfica y agrupación de datos recolectados en campañas previas (2017-2021), la campaña de terreno como segunda etapa, donde se recolectaron las muestras para su posterior análisis e interpretación de datos en la última y tercera etapa.

En la etapa inicial se realiza una revisión bibliográfica de la geología del área de estudio y sus alrededores, la evolución tectónica y paleogeográfica del margen andino occidental desde el Mesozoico, además de integrar los resultados de los proyectos de investigación aplicada realizados en el área de San Vicente desde el año 2017, además del terreno realizado el año 2021 con el curso Geología de Campo de la Universidad Mayor.

La segunda etapa consistió en la campaña de terreno que tuvo una duración de 18 días entre las fechas del 10 de enero al 28 de enero del 2022, en la cual se recorrió el área de estudio y se recolectaron un total de 98 muestras para ser caracterizadas.

En la tercera y última etapa, se analizan los datos recolectados en terreno los cuales consisten en las muestras de mano y láminas delgadas, se analizan los resultados de la química de elementos mayores, menores y traza y se relacionan con la información recopilada de la bibliografía, para así generar columnas estratigráficas, modelos de facies y sus asociaciones propuestas en el presente trabajo.



1.5.1. Metodología Específica

Dentro de los métodos y materiales utilizados para llevar a cabo un correcto análisis de las muestras de roca y de los datos obtenidos en terreno, se hablará de las distintas herramientas y metodologías en los diferentes tópicos dentro de la investigación, como son descripción y clasificación de rocas, la realización de columnas estratigráficas, métodos geoquímicos y el análisis de facies determinar los distintos ambientes de depositación de las unidades presentes.

- **Descripción y Clasificación Petrográfica**

Para la clasificación y descripción petrográfica de los cortes transparentes y muestras de mano, se siguen como guías los manuales de clasificación y descripción realizados por International Union of Geological Science (IUGS) y British Geological Survey (BGS), esto con el fin de mantener una unificación y orden en los nombres de rocas.

Rocas ígneas y piroclásticas: Para este tipo de litología se utilizan las tablas de clasificación para rocas volcánicas y piroclásticas recomendadas por la subcomisión de rocas ígneas de las IUGS en el texto *Igneous Rocks: A classification and Glossary Terms* (2002), donde se encuentran los diagramas QAPF (Streckeisen 1978), esquemas para la clasificación de rocas piroclásticas realizadas por Schmidt (1981) y Fisher & Schminke (1984).

Se realiza un estudio de alrededor de 10 láminas delgadas provenientes de muestras de la campaña de terreno, en donde la descripción y clasificación se lleva a cabo en los laboratorios de la Universidad Mayor, utilizando microscopios ópticos modelo Nikon E200 con cámara integrada. Las láminas delgadas corresponden a muestras de rocas volcánicas de las unidades presentes en el área de estudio, donde el método de selección de muestras para obtener cortes transparentes consistió en su posición dentro de la columna estratigráfica, textura y dificultad de clasificación y descripción a nivel macroscópico junto a nivel de alteración que presentaba la muestra.

- **Columnas Estratigráficas**

Las columnas estratigráficas de este trabajo son digitalizadas mediante el programa Adobe Illustrator CC 2019. La simbología utilizada en este trabajo corresponde a la disponible en el programa SedLog y utilizando como base los estándares cartográficos para mapas geológicos del Servicio Geológico Nacional Estadounidense (USGS 2006), Nichols (2009) y simbologías adaptadas para este estudio.

- **Facies y Ambiente de depositación**

Para la definición e interpretación de litofacies de las unidades estudiadas se organizan en tres grupos de acuerdo con sus características genéticas, composicionales, texturales y litológicas: aquellas compuestas por rocas de origen volcánico, piroclástico y sedimentario (clástico). Para las dos primeras se utilizan como referencia los trabajos de Vessel & Davies (1981), Fisher & Schminke (1984), Cas & Wright (1988) y Branney & Kokelar (2002) mientras que para las litologías sedimentarias clásticas se utilizan los trabajos de Einsele (1992), Reading (1996) y Miall (2006).

1.6. Ubicación y Accesos

El área de estudio se encuentra ubicada en la comuna de San Vicente de Tagua Tagua y sus alrededores, ubicada en la Provincia del Cachapoal, VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Específicamente, se encuentra limitada por las coordenadas 34°21' S - 71°15' O y 34°32' S - 70°57' O, abarcando una pequeña porción del margen oriental de la Cordillera de la Costa, aproximadamente 510 km² (fig. 4). Las principales vías de acceso desde Santiago corresponden a la Ruta 5 Sur, por la cual se deben recorrer 122 km en dirección sur hasta la localidad de Pelequén, en donde se debe tomar la Ruta 66 en dirección oeste durante 19 km para llegar a la ciudad de San Vicente de Tagua Tagua. Desde este punto se tiene acceso en múltiples direcciones a los caminos públicos y privados que llevan a los afloramientos, en los cordones montañosos y cerros que rodean esta localidad.

Los afloramientos en esta zona se encuentran restringidos debido a una gran acumulación de material coluvial y aluvial en las laderas del relieve correspondiente a la Cordillera de la Costa, junto con una abundante cubierta vegetal. Una gran parte se encuentra en terrenos privados, mientras que el resto se ubica generalmente en los costados de las rutas públicas que rodean los cordones montañosos.

SOLO USO ACADÉMICO

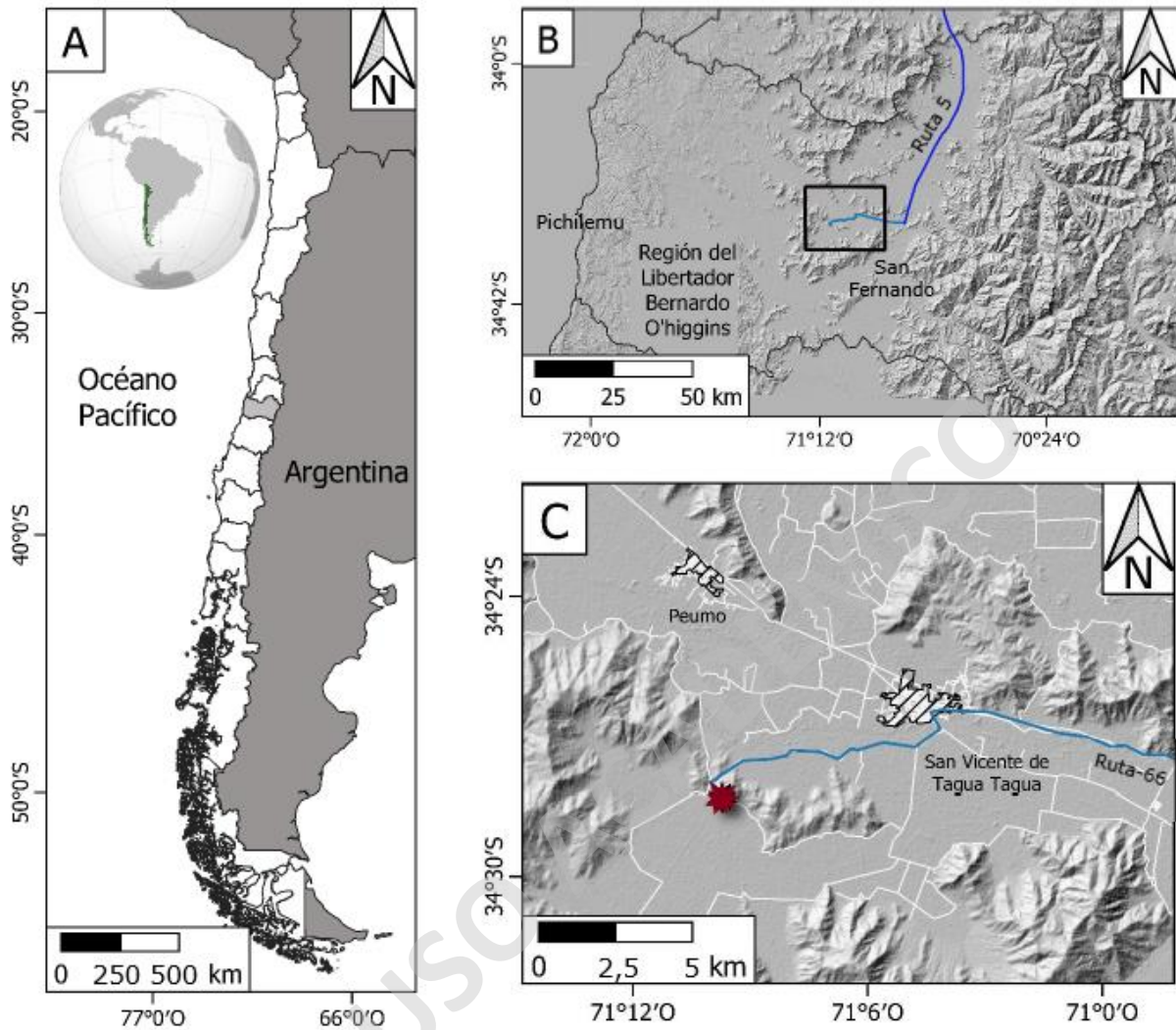


Figura 4: A) Mapa de Chile, en gris la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins; B) Ruta de acceso al área de estudio desde Santiago; C) Área de estudio y sus localidades (Estrella roja indica la ubicación del Museo escolar laguna de Tagua Tagua (MELT)).

2. Marco Geológico

2.1. Cuencas sedimentarias

Las cuencas sedimentarias se desarrollan en contextos divergentes, intraplaca, convergentes, transformados, híbridos y diversos. Donde dentro de cada contexto existen diversas variantes, que dependen del tipo o tipos de corteza subyacente, de la posición estructural y del aporte de sedimentos. La subsidencia de las cuencas sedimentarias es el resultado de (1) el adelgazamiento de la corteza (2) el engrosamiento de la litosfera del manto (3) la carga sedimentaria y volcánica (4) la carga tectónica (5) la carga subcortical (6) el flujo astenosférico y (7) la densificación de la corteza.

Las cuencas varían enormemente en tamaño, vida útil y potencial de preservación: las cuencas de corta vida formadas en entornos tectónicos activos, especialmente en corteza oceánica, tienen un bajo potencial de preservación, y las cuencas de larga vida formadas en entornos intraplaca tienen el mayor potencial de preservación (Busby & Ingersoll, 1995).

Los emplazamientos de las cuencas sedimentarias en entornos convergentes incluyen fosas, taludes de fosas, taludes de trincheras, antearcos, intra-arco, tras arcos y retro arcos como se puede observar en la figura 5. El complejo comportamiento dinámico de los sistemas arco-trinchera da lugar a diversas configuraciones para las cuencas relacionadas con el arco. Lo más notable es el régimen general de tensiones del sistema arco-trinchera, con la consiguiente respuesta a lo largo y detrás del arco magmático (Dickinson & Seely, 1979; Dewey, 1980 *in* Busby & Azor, 2011). Varios parámetros determinan el comportamiento de este sistema, pero los factores más importantes parecen ser (1) la tasa de convergencia, (2) la edad de la placa subductada y (3) el ángulo de subducción.

La distinción entre las cuencas de ante arco, intra-arco y tras arco no siempre está clara, muchas cuencas de tras arco se forman por rifting dentro de la plataforma del arco (Marsaglia, 1995), y fueron cuencas intra-arco en sus primeras etapas. Además, los escenarios de ante arco, intra-arco y tras arco cambian temporalmente y se superponen entre sí debido tanto a la evolución gradual como a la reorganización repentina de los sistemas arco-trinchera como colisiones, la reorganización de las placas y la cinemática de las placas.

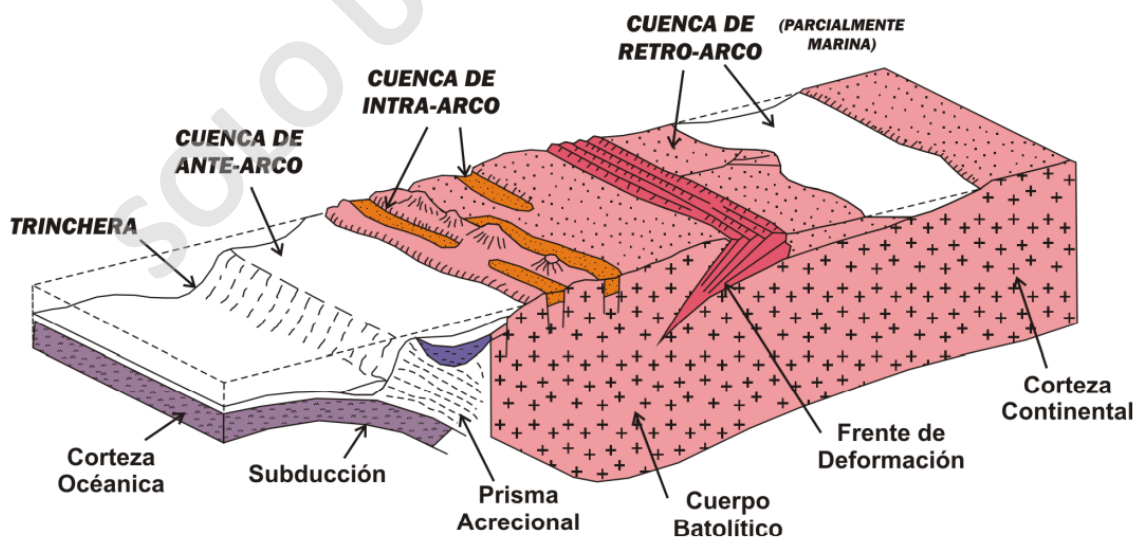


Figura 5: Características generales de las cuencas asociadas a una zona de subducción y sus principales componentes. (Busby & Ingersoll, 1995)

2.1.1. Cuencas de ante arco

Los factores que controlan la geometría del ante arco incluyen (1) el emplazamiento inicial (2) el espesor del sedimento en la placa subductada (3) la tasa de suministro de sedimento a la zanja (4) la tasa de suministro de sedimento al área del ante arco (5) la tasa y orientación de la subducción, y (6) el tiempo transcurrido desde el inicio de la subducción (Dickinson & Seely, 1979 en Busby & Ingersoll, 1995). La distancia entre el arco y la fosa tiende a extenderse con el tiempo debido a la acumulación progresiva en la fosa (acreción) y la migración del arco magmático luego del inicio de la subducción. La acumulación progresiva es especialmente rápida donde se generan gruesos niveles de sedimentos, mientras que el resultado de la abertura de la distancia arco – fosa es la tendencia general de las cuencas de antearco, de extenderse con el tiempo.

Las cuencas de antearco se pueden dividir en los siguientes tipos: (1) intra masivo (transicional a intra-arco), (2) acrecionario (pendiente de la fosa), (3) residual (yaciendo sobre la corteza oceánica o de transición atrapada detrás de la fosa una vez se inicia la subducción), (4) constructivo (que yace a través del límite del macizo del arco y el complejo de subducción) y (5) compuesto (combinaciones de los ajustes anteriores). Las cuencas residuales y constructivas tienden a evolucionar a cuencas compuestas, comúnmente, esta tendencia evolutiva es acompañado de la conmatación y somerización de las cuencas de antearco.

2.1.2. Cuencas de intra-arco

El origen de las cuencas dentro de los arcos magmáticos (volcano-plutónicos), es en general poco conocido, en gran parte debido a la escasez de estudios que integren la volcanología, la sedimentología y el análisis de cuencas (Ingersoll, 1988 en Busby e Ingersoll, 1995). El gran impedimento para estudiar este tipo de cuencas es debido a que los arcos se caracterizan por un alto flujo de calor con gradientes geotérmicos pronunciados y un intenso magmatismo, que comúnmente están sujetos a un acortamiento de la corteza en algún momento de su historia, por lo tanto, se requiere “ver a través” de las superimposiciones de alteración hidrotermal, metamorfismo y deformación.

Las cuencas intra-arco se definen como gruesas acumulaciones volcánico-volcanoclásticas y otras acumulaciones sedimentarias a lo largo de la plataforma del arco, formada por volcanes superpuestos o solapados. La presencia de rocas volcánicas proximales al centro eruptivo y de intrusiones afines es fundamental para el reconocimiento de las cuencas intra-arco en el registro geológico, ya que el material volcanoclástico derivado del arco volcánico puede esparcirse por el antearco, el tras arco y otras cuencas.

Existen al menos tres tipos principales de depocentros para acumulaciones volcánicas y sedimentarias dentro de los arcos. Primero los depocentros pueden ocurrir en regiones bajas entre volcanes y a lo largo de sus flancos, aunque estos tienen un alto potencial de conservación solo por debajo del nivel del mar (es decir, generalmente en arcos oceánicos). En segundo lugar, los depocentros con un alto potencial de conservación pueden formarse cuando el eje del volcanismo se desplaza a una nueva posición en una plataforma oceánica, por lo que se crea una nueva región baja entre la cadena activa y la cadena abandonada. Tanto el primer como el segundo tipo de cuenca intra-arco se denominan “cuencas limitadas por volcanes”. El tercer tipo se denomina “cuencas limitadas por fallas”, estas son cuencas que subsiden rápidamente producto de las estructuras tectónicas, en lugar de las características volcánicas constructivas que explican el relieve a lo largo de los márgenes de la cuenca. Las cuencas delimitadas por fallas ocurren en ambos arcos continentales y arcos oceánicos (Busby & Ingersoll, 1995)

2.1.3. Cuencas de tras arco

Existen dos tipos cuencas de tras arco: (1) cuencas oceánicas detrás de los arcos intra oceánicos y (2) cuencas continentales detrás de las áreas de márgenes continentales que carecen de cinturones de cabalgamiento de ante arco. Muchas cuencas de tras arco son de origen extensional y se forman por ruptura y expansión del fondo marino. Estos comúnmente se originan a través de la ruptura del arco, ya sea a lo largo de su eje (intra-arco) o inmediatamente al frente o atrás de su eje.

Muchas cuencas de tras arco no son extensivas, y se forman bajo regímenes de deformación neutral. El tipo más común de cuenca de tras arco no extensional consiste en antiguas cuencas oceánicas atrapadas durante la reorganización de las placas (ej. Mar de Bering). Además, las cuencas de tras arco se desarrollan en la corteza continental. (ej. La plataforma Sunda de Indonesia). Las cuencas oceánicas modernas de tras arco pueden distinguirse de otras cuencas oceánicas petrológicamente o por sus posiciones detrás de sistemas de fosas activas o inactivas (Taylor y Karner, 1983 en Busby e Ingersoll, 1995). Es poco probable que tales características diagnósticas se conserven en antiguas cuencas de tras arco, que comúnmente experimentan modificaciones metamórficas y estructurales durante el emplazamiento en zonas orogénicas. La naturaleza y el momento de la disposición de sedimentos sobre las secciones de ofiolita han demostrado ser más diagnósticas para determinar la configuración original de la tectónica de placas (ej. Tanner y Rex, 1979; Sharp, 1980; Hopson *et al.*, 1981; Kimbrough, 1984; Busby-Spera, 1988a; Robertson, 1989 *in* Busby e Ingersoll, 1998).

2.2. Marco Geotectónico

Dentro de la evolución geológica del margen occidental sudamericano han ocurrido diversos ciclos tectónicos los cuales se han diferenciado por discordancias que han evidenciado cambios paleogeográficos, variaciones tectónicas y cambios litológicos. El cambio entre estos ciclos se debe a cambios en la dinámica e interacción entre las placas tectónicas a nivel global, las cuales van dando configuración a márgenes pasivos o activos en función de estas interacciones. El margen occidental sudamericano ha representado un constante margen activo, desde el Jurásico Inferior tardío al presente, constituyendo de esta manera al Ciclo Andino (Charrier *et al.*, 2007). Este ciclo se caracteriza en Chile por el desarrollo de un arco magmático asociado a una subducción continua que ha ido migrando hacia el este (Charrier *et al.*, 2014).

Este extenso ciclo (Fig.5) se puede dividir en 2 periodos, debido al régimen tectónico dominante y cambios paleogeográficos: Periodo Temprano desarrollado desde el Pliensbachiano al Cretácico Temprano tardío (Primera etapa del ciclo andino), caracterizado por la dominancia de una tectónica extensional; Periodo Tardío desde el Cretácico Tardío temprano al presente (Segunda y Tercera etapa del ciclo andino), caracterizado por la dominancia de tectónica compresiva (Charrier *et al.*, 2014).

Para esta investigación se profundizará en el Periodo Temprano debido a que en este período ocurre la actividad volcánica que genera la deposición de la Formación Altos de Hualmapu, en un contexto donde dominó una tectónica extensiva, y adicional a esto se destaca un adelgazamiento cortical, desarrollo de un arco volcánico ligeramente oblicuo a la costa Pacífica actual y el desarrollo de extensas cuencas tanto de intra (o ante) y tras – arco con orientaciones NNW (Ramos, 2010; Charrier *et al.*, 2014). Se ha postulado para este periodo una velocidad baja de retroceso de la trinchera (“trench roll-back velocity”) (Ramos, 2010) lo que conlleva a una subducción empinada y el desarrollo paleogeográfico característico de esta zona.

Charrier *et al.* (2014), divide este periodo en 2 etapas diferenciables por el desarrollo de 2 pulsos volcánicos lo cuales difieren en posición (migra hacia el este) y 2 ciclos de transgresión-regresión (T-R) identificables de mejor manera en el tras arco. La primera etapa comienza en el Sinemuriano tardío – Pliensbachiano y culmina en el Kimmeridgiano caracterizándose por una actividad magmática intensa junto al desarrollo del primer evento T-R (Charrier *et al.*, 2014).

EDAD	ERA	PERIODO	CICLO TECTONICO	ETAPAS	SUBETAPAS	EVENTOS TECTONICOS
10	CENOZOICO	NEOGENO	A N D I N O	Tercera	Segunda	Orogenia Pehuenche Extensión
					Primera	
50	PALEOGENO	Segunda		Segunda	Orogenia K-T Extensión	
				Primera		Orogenia Peruana Extensión
100	MESOZOICO	CRETACICO		Primera	Segunda	
					Primera	Subsistencia tectónica Emersión de la cuenca
150	JURASICO			Primera	Extensión Subsistencia termal Subsistencia tectónica	
200						

Figura 6: Ciclo Tectónico Andino, sus divisiones y eventos tectónicos (Charrier *et al.* 2009).

Esta etapa finaliza con una subsidencia tectónica y termal llevando al desarrollo de la segunda etapa desde el Kimmeridgiano al Albiano – Aptiano donde se destaca una menor actividad en el arco y el segundo evento T-R en el tras arco (Franzese *et al.*, 2001; Charrier *et al.*, 2014). Durante la primera etapa comienzan a formarse estos depocentros con dirección NNW a lo largo del margen asociados a un arco volcánico activo ubicado en el sector costero actual, algunos de los depósitos de este periodo que indican esta fuerte actividad magmática son las formaciones Ajial (Thomas, 1958), Horqueta (Piracés, 1976) y Altos de Hualmapu (Morel, 1981).

En la segunda etapa este magmatismo disminuye, evidenciado por una mayor presencia de sucesiones siliciclásticas y carbonáticas como las Formaciones Lo Prado (Thomas, 1958) y La Lajuela (Bravo, 2001). Ambas formaciones debido a su estratigrafía y posición relativa han sido correlacionadas a lo largo del tiempo, asignándolas a depósitos de una cuenca de ante – arco conocido como la cuenca Lo Prado que se ubica en el flanco oeste del arco volcánico homónimo (Charrier *et al.*, 2007). Estas formaciones son sobre yacidas en sus localidades tipo aparentemente en conformidad la Formación Veta Negra (Piracés, 1976 *in* Charrier *et al.*, 2007) y Estratos de El Laurel (Bravo, 2001).

2.2.1 Marco Morfoestructural

El dominio estructural en Chile Central (32° - 35° S) es dividido principalmente en cinco zonas morfoestructurales las que de oeste a este corresponden a Cordillera de la Costa, Depresión Central, Cordillera Principal, Cordillera Frontal y tras arco, orientados en dirección NNE - SSW tras el cambio de orientación producido por el oroclino del Maipo (Farías *et al.*, 2008, 2010) (Fig. 6). Para esta investigación se profundizará en las tres primeras y principales morfo estructuras presentes en el área de estudio.

La Cordillera de la Costa se compone de cordones montañosos continuos compuestos por el basamento metamórfico e intrusivo del Paleozoico, el que se encuentra cubierto por depósitos del Mioceno tardío al presente. Además, hacia el oriente, está formada por sucesiones estratificadas del Jurásico tardío al Cretácico tardío con manteos hacia el este e intruidos por granitos del Cretácico (Thomas, 1958).

La Depresión Central está formada por una capa cuaternaria e ignimbrítica entre dos cordones montañosos, su basamento corresponde a rocas Mesozoicas en su lado occidental y Cenozoicas en su lado oriental, sobre el cual se presenta una morfología de red fluvial en donde algunas cumbres llegan a la superficie formando cerros aislados constituidas mayormente por rocas intrusivas (Araneda *et al.*, 2000 en Farías *et al.*, 2008).

La Cordillera Principal se compone de rocas con intensa deformación, poseen edades Mesozoicas en la zona oriental y Cenozoicas en la zona central y occidental, constituyendo en los sectores centrales y orientales a la faja plegada y corrida de esta región producida por las múltiples etapas de extensión - contracción en la evolución andina de Chile central (Farias *et al.*, 2008).

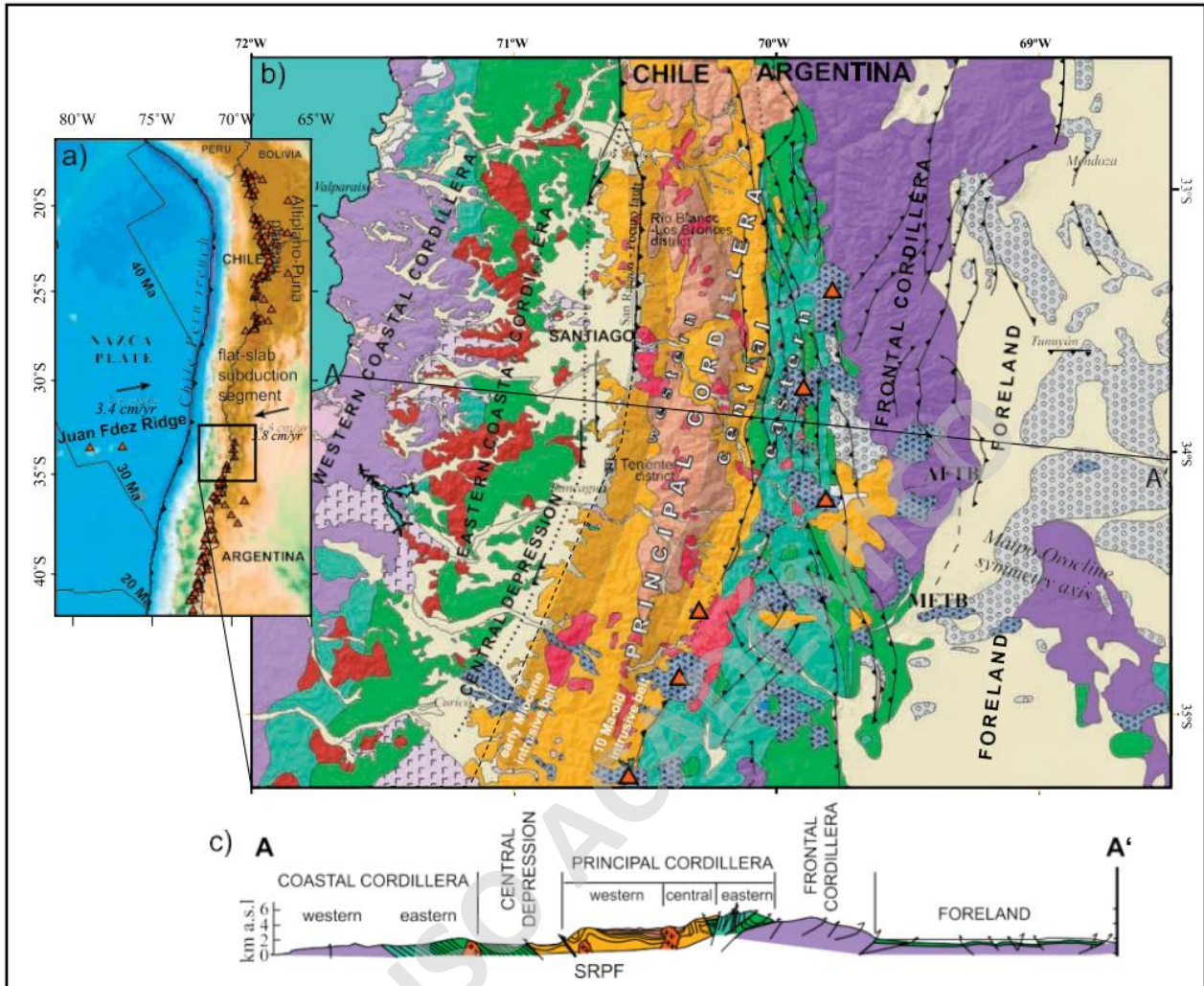


Figura 7: Morfoestructuras principales en el margen andino entre los 32°S y 35°S (Fariás et al., 2008).

2.3. Geología Regional

Dentro de la geología regional asociada al área de estudio, la cual se encuentra compuesta por unidades que comprenden edades desde el Paleozoico tardío al Cenozoico temprano, que se distribuyen en franjas irregulares de orientación NNE a NS dependiendo de la latitud, prácticamente continuas entre los 33° 50' y 35° 00' S (Charrier *et al.* 2007). Al oeste, en el sector occidental de la Cordillera de la Costa, se presentan las unidades de mayor edad, correspondientes a complejos acrecionarios del Paleozoico tardío y cuerpos intrusivos de edad similar que los limitan por el este. Sobre estos se depositan en algunos casos de manera erosiva sucesiones sedimentarias siliciclásticas y volcánicas de edad Triásica Superior a Jurásica Superior temprana, las cuales evidencian episodios alternados de transtensión y transpresión a lo largo de estructuras de rumbo NW, las cuales controlaron la construcción del arco magmático

(Vásquez *et al*, 2011; Charrier *et al.*, 2014). Sobre estas se disponen generalmente de manera discordante, ya en el margen oriental de la Cordillera de la Costa, sucesiones sedimentarias siliciclásticas y volcánicas de edad Jurásico Superior tardío a Cretácico Inferior tardío, las cuales se encuentran subyaciendo de manera discordante a las unidades volcánicas del Cretácico Superior a Neógeno medio, las que predominan en el sector occidental de la Cordillera Principal. Cuerpos intrusivos mayores y menores de edad Cretácica Inferior tardía a Superior temprana se encuentran intruyendo las unidades Jurásicas y Cretácicas (Fig.8). Sobre yaciendo a las unidades mencionadas previamente se presentan depósitos de material semi a no consolidados de origen coluvial, aluvial y fluvial, de edad Pleistoceno a Holoceno, predominantemente en las laderas de los cordones montañosos y fondo de valle (Charrier *et al.* 2007, Godoy *et al.* 2009, Contreras & Schilling, 2012).

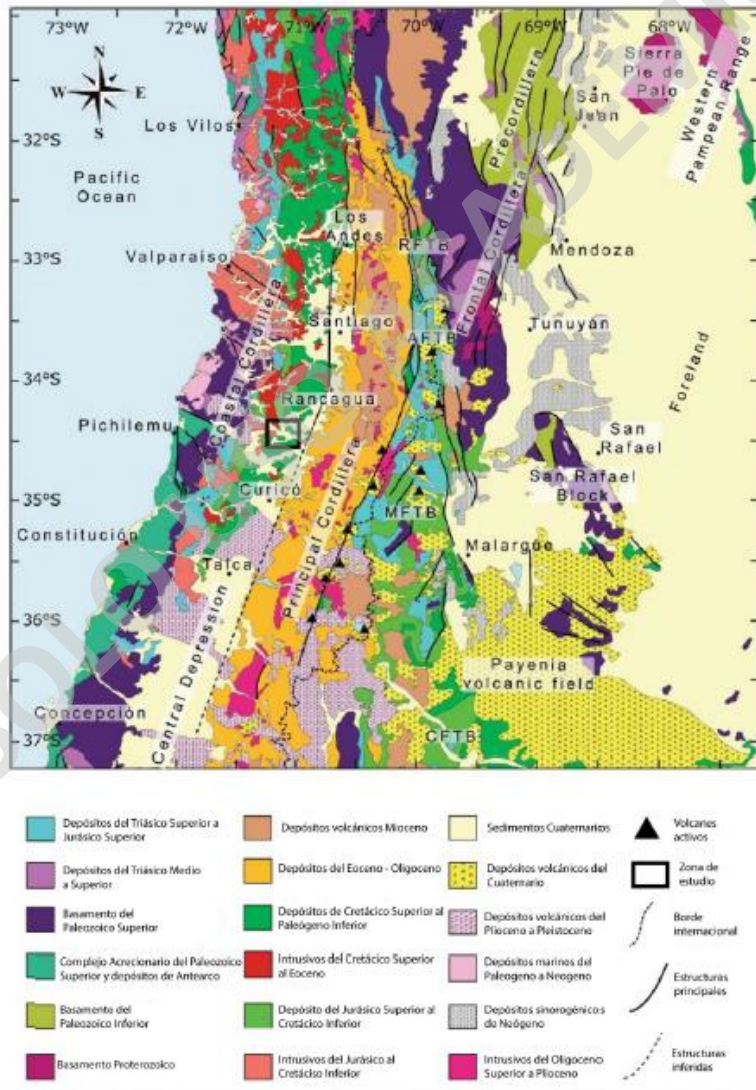


Figura 8: Mapa de geología regional desde los 31°S a 37°S. Se delimita la zona de estudio en recuadro negro. (Charrier *et al.*, 2014).

Dentro de las unidades litoestratigráficas que se pueden identificar como parte de los depósitos más antiguos cercanos al sector de estudio, correspondientes a depósitos principalmente marinos y volcánicos de la cuenca de ante arco Lo Prado que afloran en la cordillera costera según trabajos realizados por Godoy *et al.* 2009 y Contreras & Schilling 2012 son:

Formación Lo Prado (Titoniano-Hauteriviano): Definida por Thomas (1958) en el sector de Cuesta de Lo Prado donde alcanza un espesor de 1050 m según este mismo autor. Con posterioridad, ha sido dividida en 2 miembros por Piracés (1976) y en 3 miembros por Wall *et al.* (1996). Corresponde a una formación sedimentaria marina y volcánica continental teniendo un espesor en el área de estudio de 1500 m. Se correlaciona con la Formación la Lajuela (Muñoz & Karzulovic, 1958 in Charrier & Lillo, 1973) dentro de la zona de San Vicente de Tagua Tagua.

Formación Las Chilcas (Barremiano-Albiano): Definida por Thomas (1958) en la localidad de Las Chilcas, donde su espesor máximo alcanza 7000 m. Corresponde a una secuencia volcánica-sedimentaria de origen predominantemente continental. Aflora como una franja NS a NE-SO a lo largo del borde oriental de la Cordillera de la Costa, donde se presenta intruida por granitos del Cretácico Superior (Godoy *et al.*, 2009).

2.4. Geología Local

2.4.1. Rocas estratificadas

Las unidades estratificadas que han sido identificadas en las localidades adyacentes a la zona de estudio corresponden de acuerdo con lo propuesto por Zúñiga (2017), Soto (2018), Carrizo (2021), Pincheira (2021), Arbea (2021), entre otros (fig.8).

Formación Rincón de Núñez: Unidad definida por Corvalán (1976) en las cercanías de la localidad de Hualañé, posteriormente enmendada por Morel (1981), asignada al Hettangiano – Aaleniano superior a Bajociano inferior de acuerdo con su contenido fósil, posición estratigráfica y dataciones radiométricas de U-Pb (Morel, 1981; Rossel *et al.* 2020). Se encuentra sobre yaciendo de manera pseudoconcordante sobre la Formación Estero La Higuera (Corvalán, 1976) y sobre ella se presenta en discordancia erosiva a aparentemente concordante dependiendo de la latitud, la Formación Alto de Hualmapu (Morel, 1981). Corresponde a una unidad sedimentaria clástica y niveles volcánicos subordinados hacia el techo, presentando potentes niveles de areniscas y conglomerados cuarcíferos, lutitas, junto con escasas tobas y lavas, evidenciando ambientes marino somero a profundo que evoluciona abruptamente a volcánico continental activo, medio a proximal. Presenta una potencia estimada promedio de hasta 1950 m y se

correlaciona lito y cronoestratigráficamente con la Formación Laguna de Tilicura, definida también por Corvalán (1976) en el sector de Vichuquén – Tilicura.

Formación Altos de Hualmapu: Definida por Morel (1981) en las cercanías de la localidad de Curepto, se estima que posee una edad Bajociano medio a superior – Kimmeridgiano de acuerdo con su posición estratigráfica, dataciones radiométricas a rocas volcánicas cuerpos subvolcánicos que la conforman (Bravo, 2001; Rossel *et al.* 2020). Se presenta de manera discordante erosiva a pseudoconcordante sobre la Fm. Rincón de Núñez y subyace de manera aparentemente discordante erosiva a pseudoconcordante a la Formación La Lajuela (Bravo, 2001) aunque en su localidad tipo el techo no ha sido observado. Presenta litologías volcánicas y volcanoclásticas con intercalaciones subordinadas de niveles sedimentarios clásticos, predominando las lavas andesíticas porfídicas a afaníticas y tobas líticas, con escasos conglomerados y areniscas, evidenciando un ambiente volcánico continental activo, proximal a medio. Presenta una potencia de al menos 2280 m y se correlaciona cronoestratigráficamente y parcialmente de manera litoestratigráfica con la Formación Horqueta enmendada por Piracés (1976) en el sector de la Cordillera de la Costa de la V Región (Bravo, 2001).

Formación La Lajuela: Definida informalmente por Muñoz Cristi & Karzulovic (1958) en la Cuesta La Lajuela, posteriormente Vergara (1969) y Charrier & Lillo (1973) realizan definiciones formales de esta unidad. Bravo (2001) subdivide la sección superior de la unidad entonces definida como Estratos La Lajuela como Formación La Lajuela. Se le asigna una edad Titoniano – Hauteriviano en base a su contenido fósil de ammonites y bivalvos, posición estratigráfica y dataciones a cuerpos plutónicos que la intruyen (Bravo 2001; Zúñiga, 2017; Soto 2018). Se presenta de manera aparentemente concordante con rocas volcánicas asignables a la Fm. Alto de Hualmapu (Bravo 2001) y de la misma manera subyace a la unidad Estratos de El Laurel (Bravo 2001). Presenta litologías sedimentarias clásticas y evaporíticas fosilíferas, y en menor medida volcánicas y volcanoclásticas en su zona tipo (Bravo 2001, Zúñiga 2017, Carrizo 2021) evidenciando un ambiente marino somero y continental volcánico activo, principalmente proximal. Se estima una potencia de máximo 4100 m, la cual se ve reducida por Zúñiga (2017) a 1600 m aproximadamente. Se correlaciona cronoestratigráficamente y parcialmente de manera litoestratigráfica con la Formación Lo Prado.

Estratos de Corcolén: Esta unidad propuesta por Pincheira (2021) la cual correspondería a la unión de dos unidades informales cretácicas documentadas por Bravo (2001), que serían Estratos de El Laurel e Ignimbritas del Cerro Caupolicán, se presenta en el sector oriental del área de estudio sobre yaciendo la Fm. La Lajuelas y se estima que fue depositada durante el

Albiano temprano a medio de acuerdo con las dataciones U-Pb que se disponen para lavas de este sector (Godoy et al. 2009), corresponde a una unidad litoestratigráfica volcánica y volcanoclástica perteneciente a una sucesión de lavas andesíticas porfídicas que se intercalan con riolitas fluidales, tobas cristalinas riolíticas y tobas líticas con escasos niveles de brechas de toba lapillítica. Se presentan, además, escasas intercalaciones sedimentarias de conglomerados y arcosas líticas tanto en la base como hacia el techo de la formación, donde su potencia se ha estimado en 1545 m.

2.4.2. Cuerpos Intrusivos

Los cuerpos intrusivos que se encuentran intruyendo las rocas mesozoicas identificadas en el área de estudio y las localidades adyacentes corresponden a los siguientes (Fig.8), de acuerdo con lo propuesto por Godoy *et. al.* (2009) y Contreras & Schilling (2012):

Complejo Hipabisal La Leona: definida por Godoy et al. (2009), hace referencia a una serie de cuerpos de composición diorítica con textura porfídica, y de gabros de clinopiroxeno y olivino. Se encuentra en contacto e intruyendo a lo que se ha determinado como Unidad Corcolén. Dataciones radiométricas de K-Ar en roca total entregan una edad de 100 ± 3 Ma., sin embargo, se ha determinado una edad de 90 – 83 Ma en la carta de San Fernando - Curicó mediante dataciones radiométricas K-Ar y $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ (Contreras & Schilling 2012) por lo que son necesarios más registros para lograr definir una edad concreta.

Complejo Plutónico Alhué: definido por Wall et al. (1996). Este se encuentra compuesto por tonalitas, granodioritas, dioritas y monzogranitos. Se encuentra intruyendo y desarrollando metamorfismo de contacto en parte de las rocas de la Formación Alto de Hualmapu y Formación La Lajuela. Dataciones radiométricas de K-Ar y Ar-Ar realizadas en el área de estudio y alrededores entregan un rango de edades de entre 98 y 83 Ma (Godoy *et al.* 2009, Contreras & Schilling 2012).

2.4.3. Depósitos y unidades Cenozoica

Los depósitos y unidades de edad Cenozoica que se presentan en el área de estudio y alrededores de acuerdo con Godoy et al. (2009) corresponden a las siguientes (Fig.7):

Depósitos Fluviales Antiguos: Corresponden a gravas clasto-soportadas, imbricadas y granodecipientes que se encuentran formando niveles aterrazados en los costados del Río Cachapoal y bancos arenáceos de potencia decimétrica, presentes en mayor abundancia hacia el oeste (Godoy *et al.* 2009).

Formación Laguna Tagua Tagua: Definida por Varela (1976), corresponde a una sucesión de sedimentos semiconsolidados ubicados en la Cuenca de Tagua Tagua, se encuentra compuesta de base a techo por gravas arenosas, limos carbonosos, arcillas y arenas de grano fino representando un ambiente lacustre con una marcada variabilidad litológica. Presenta contenido fósil de moluscos en sus niveles inferiores (Varela 1976 *in* Godoy *et al.* 2009) y de gonfotéridos, caballos, ciervos, aves y peces en estos y hacia los niveles superiores (Covacevich 1971, Casamiquela 1976 *in* Godoy *et al.* 2009).

Depósitos Aluviales de Piedemonte y Quebradas: Corresponden a sedimentos semiconsolidados compuestos por bloques, gravas, arenas y escasos limos, generalmente clasto-soportados y mal estratificados. Se ubican a los pies de laderas, en quebradas y cursos de agua menores y forman conos de deyección, los cuales se encuentran presentes en gran medida en este sector de la Cordillera de la Costa. Se incluyen depósitos de flujos de detritos que corresponden a material matriz soportado (Godoy *et al.* 2009).

Depósitos Aluviales: Corresponden a sedimentos mal consolidados conformados por gravas clasto-soportadas, arenas, limos y arcillas. Se encuentran formando abanicos coalescentes a la salida de cursos fluviales mayores desde zonas con mayor elevación como la Cordillera de la Costa y Cordillera Principal (Godoy *et al.* 2009).

Depósitos Aluviales de Valle: Corresponden a sedimentos de mal a nula consolidación conformados por gravas, arenas, limos y arcillas, ampliamente presentes en las áreas topográficas de menor elevación de la zona de estudio (Godoy *et al.* 2009).

Depósitos de Remoción en Masa: Corresponden a sedimentos mal seleccionados, con mala consolidación, conformados principalmente por maicillo. Se ubican al pie de laderas y a lo largo de cursos fluviales (Godoy *et al.* 2009).

Depósitos Fluviales: Corresponden a sedimentos no consolidados compuestos por gravas, bolones y lentes arenosos, los cuales presentan estratificación planar y cruzada. También se presentan escasos limos con fina laminación. Se ubican en las planicies fluviales cercanas a cauces de ríos activos en la actualidad y/o durante el Holoceno (Godoy *et al.* 2009).

GEOLOGÍA DEL ÁREA DE SAN VICENTE DE TAGUA TAGUA

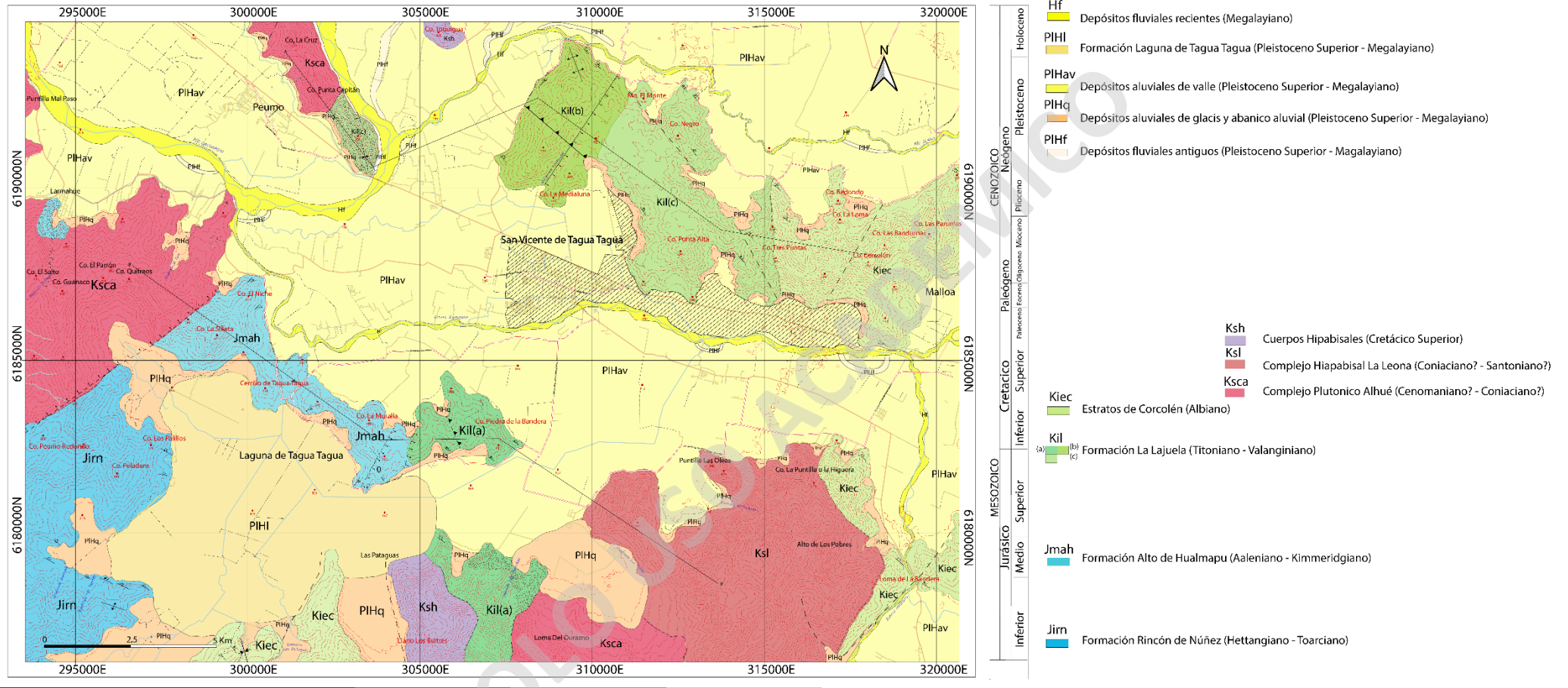


Figura 9: Mapa geológico del área de estudio (Arbea & Pincheira, 2021).

2.4. Estratigrafía Formación Altos de Hualmapu

Esta unidad es definida por Morel (1981), en el sector de Hualañé (~35° S), corresponde principalmente a una sucesión de lavas andesíticas porfídicas y afaníticas de piroxeno, brechas andesíticas, intercaladas con tobas y rocas sedimentarias marinas. A pesar de que esta formación no ha sido descrita para la zona de estudio, su base se podría correlacionar con las unidades litológicas ubicadas un kilómetro al Oeste de la localidad de Lolol, correspondiente a una discordancia de erosión de areniscas calcáreas fosilíferas y areniscas gruesas a conglomerádicas ubicadas sobre rocas graníticas posiblemente correspondientes al Basamento Paleozoico (Bravo, 2001).

La sección tipo de la formación fue definida por Bravo (2001), quien unió la sección inferior descrita por Morel (1981) y los miembros superiores de la unidad definidos por Bravo (2001) al sur del río Mataquito, definiendo una unidad de 3.680 m de espesor (Fig.9).

De techo a base la sección tipo está constituida por:

Techo: Andesitas porfídicas rojizas de Estratos de El Laurel.

M5, 900 m: Andesitas porfídicas gris verdosas con fenocristales de plagioclasa y escasos piroxenos, intercalados con tobas vítreas y ocasionales tobas líticas. Destacan intercalaciones de niveles de brechas auto clásticas y brechas líticas con matriz de ceniza.

M4, >600m: Andesita porfídica de hornblenda gris parduzca, con alteración en la masa fundamental de clorita-epidota. Se presenta como bancos estratificados potentes de entre 10 y 20 m.

Contacto por falla

M3, >250m: Tobas cristalinas de composición dacítica y andesítica junto a brechas tobáceas cristalinas principalmente con escasos fragmentos de andesitas.

Contacto por falla

M2, 1100m: Andesitas porfídicas de piroxeno amigdaloidales y vesiculares, con fenocristales de plagioclasa mayoritariamente y escasos fenocristales de piroxeno. Presencia de alteración a epidota, sericita y clorita.

M1, 650m: Andesitas de clinopiroxeno con fenocristales de plagioclasa mayoritariamente y en menor proporción fenocristales de clinopiroxeno. Estos se intercalan con niveles de tobas cristalinas con principalmente cristales de plagioclasa, además se intercalan con niveles potentes de hasta 40 m de tobas brechosas con clastos de andesita porfídica. En la zona media de este miembro se encuentra un potente banco de 180 m de areniscas líticas finas a gruesas.

Discordancia erosiva (?)

Base: Areniscas y limolitas de la Formación Rincón de Núñez.

Edad: La edad de esta unidad se encuentra acotada por su relación con la Formación Rincón de Núñez, la cual, en base a antecedentes paleontológicos, Morel (1981) le asignó la edad del Toarciano, por lo que la edad máxima para la Formación Altos de Hualmapu es del Aaleniano. Para la edad mínima se utilizaron dataciones K/Ar a intrusivos que cortan a esta Formación a los cuales se les determinó una edad de cristalización entre Caloviano - Hetangiano (188 ± 20 Ma), Oxfordiano y Bajociano (165 ± 5 y 175 ± 5 Ma) (Corvalán & Dávila, 1964; Gana & Hervé, 1983 in Bravo, 2001).

Sin embargo, por si sola esta información es poca para la determinación de una edad mínima para la Formación Altos de Hualmapu, por lo que en base a antecedentes paleontológicos de la Formación suprayacente se determina una edad mínima del Titoniano. Los antecedentes crono y litoestratigráficos expuestos anteriormente permiten asociar la depositación de esta Formación a la primera subetapa del Periodo Temprano del Ciclo Andino, asociándolos además a depósitos del arco volcánico de esta primera etapa.

Ambiente deposicional: Las rocas presentes en esta unidad son principalmente de carácter continental donde la presencia predominante de lavas andesíticas y tobas tanto líticas como cristalinas y vítreas, reflejan un ambiente volcánico activo. Las areniscas y conglomerados que se encuentran formando parte de esta formación en niveles muy escasos, se caracterizan por tener una componente volcánica importante, por lo que las facies volcánicas presentes varían entre proximales a distales del foco eruptivo según los componentes y características de las rocas.

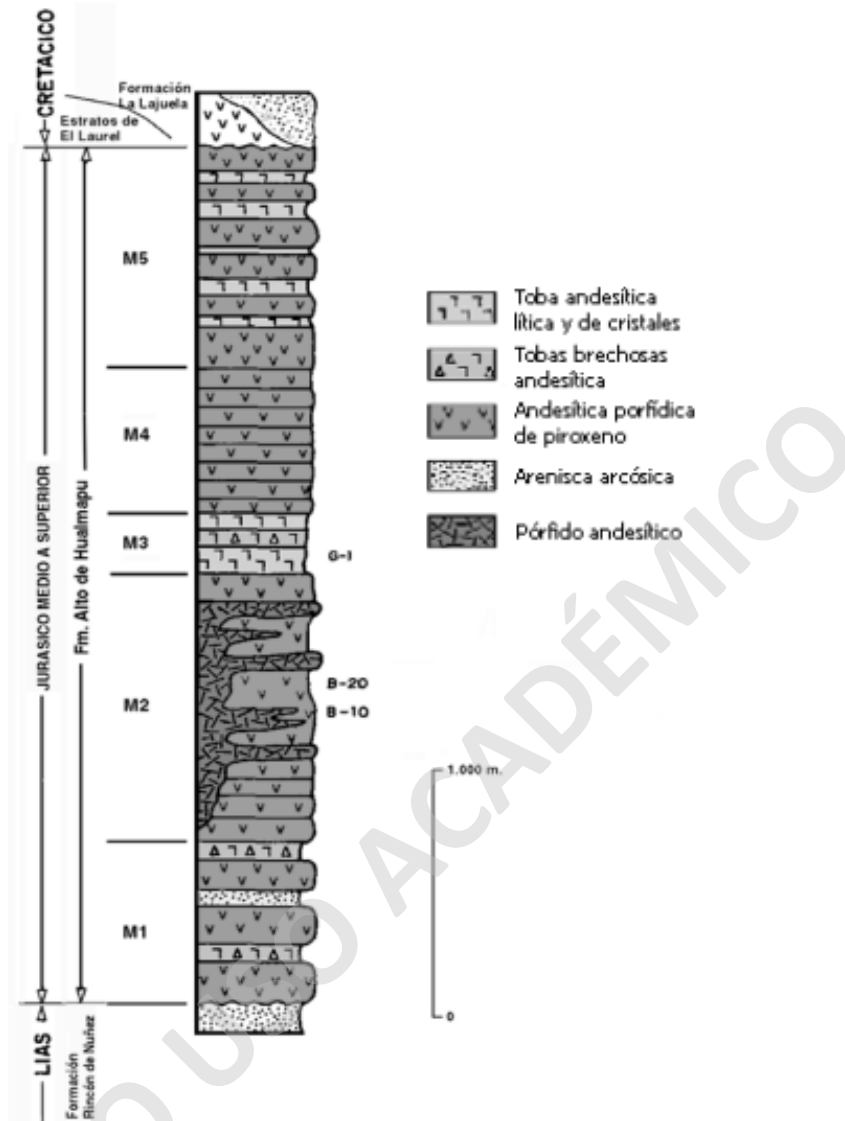


Figura 10: Sección tipo de la Fm. Altos de Hualmapu (Bravo,2001)

El sector de SVTT ha sido estudiado previamente por las campañas elaboradas por Soto (2018) en el sector de la Muralla, donde se levantó la estratigrafía de la sección Lomas La Muralla con una potencia de 888 m; Arbea & Pincheira (2021), realizaron descripciones generales de la Formación Altos de Hualmapu, definiéndola con una potencia de 2445 m incluyendo tramos cubiertos (fig.10), cuyos datos sirvieron de complemento a los resultados obtenidos en este trabajo.

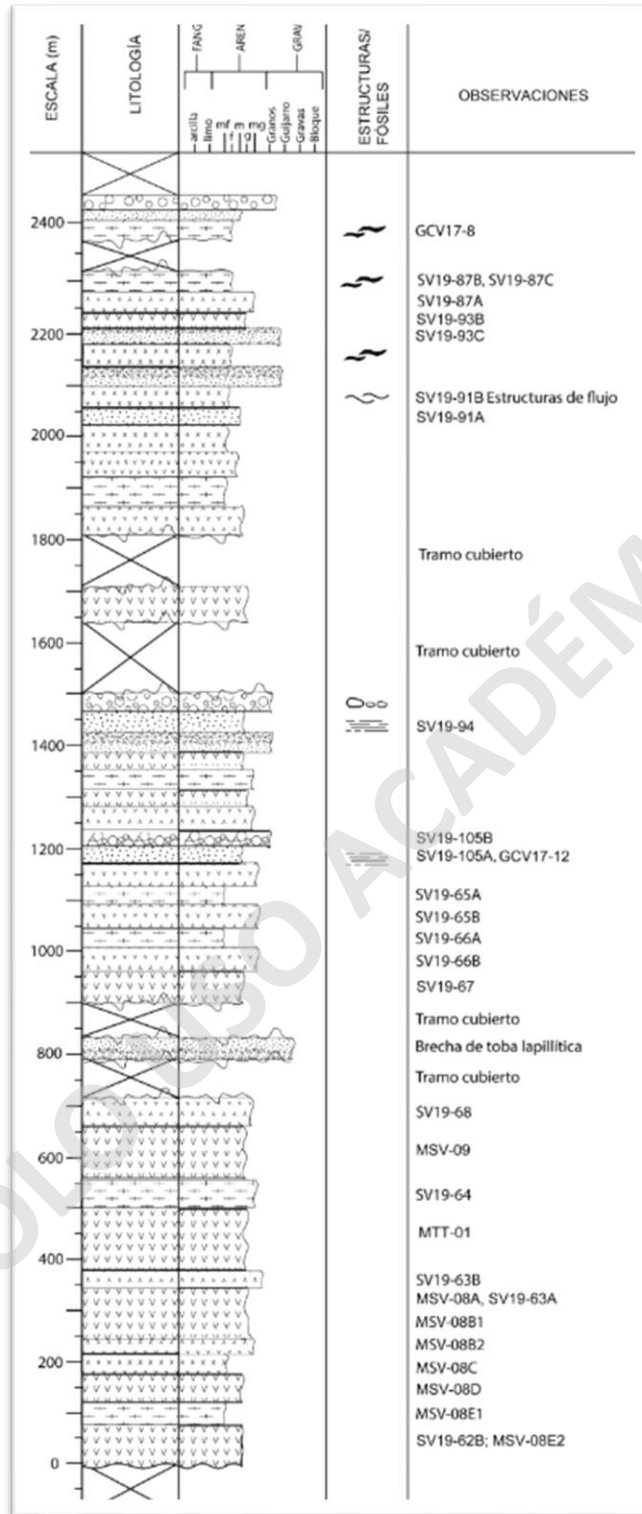


Figura 11: Columna generalizada de Formación Alto de Hualmapu en SVTT. En observaciones se indica el número de muestra a la cual se asocia cada uno de los niveles descritos con anterioridad (Arbea & Pincheira, 2021).

3. Formación Altos de Hualmapu en el área de San Vicente de Tagua Tagua

3.1. Definición y Distribución

La unidad litoestratigráfica corresponde a una sucesión volcánica y volcanoclástica compuesta por lavas andesíticas porfídicas y afaníticas de piroxenos y anfíbol que se intercalan con tobas de ceniza, tobas de lapilli y lapillitas de variable composición, donde destacan hacia el techo tobas vítreas soldadas. Se presentan, además, escasos niveles de areniscas medias y conglomerados en los niveles medios y superiores de la formación.

Los unidad se dispone en la zona central hacia el oeste del área de estudio presentando una orientación N20E/25SE, abarcando los cerros del sector de El Niche y Cerrillo de Tagua Tagua, siguiendo hacia el este por Loma La Muralla, en la localidad de Santa Inés, donde el techo de esta formación se pone en contacto por discordancia angular con la Formación La Lajuela.



Figura 12: Vista este-oeste del sector Cuchipuy - La Muralla de la distribución de la Formación Alto de Hualmapu (Arriagada, en prep.).

3.2 Litofacies y análisis de facies

Se han reconocido 8 litofacies principalmente volcánicas y volcanoclásticas a partir de los afloramientos expuestos en SVTT, donde cada litofacies representa un evento individual de depositación basado en sus texturas, granulometría y composición, se realiza su interpretación de ambiente correspondiente. Además, se pueden agrupar en asociaciones o ensamblajes de litofacies, característicos de ambientes deposicionales particulares (Miall, 2016). Las principales características de estas litofacies se resumen en la Tabla 2:

Facies	Litología	Textura	Granulometría	Selección	Estructuras	Geometría y potencia	Interpretación	Código de muestras
Volcánicas								
mA	Andesita	Afaníticas y porfídicas	Grano grueso a fino	-	Masiva	Niveles tabulares metricos potentes	Flujo de lava, central a proximal de foco eruptivo	AH01-09, AH14, AH20, AH22, AH28, AH32, AH40 Y AH82
Piroclásticas								
mlbT	Brecha de toba lapillítica	Piroclástica	Bloque a lapilli	Pobre a moderado	Masiva	Niveles tabulares metricos potentes	Deposito de flujo piroclástico violento, proximal a foco eruptivo	TT-66 (Soto, 2018)
miT	Lapillita liticas/ Toba litica de lapilli	Piroclástica	Lapilli	Moderada a buena	Estructuras de flujo	Niveles tabulares metricos potentes		AH9B, AH21, AH24, AH33, AH24-L, AH37-TL, AH38, AH44, AH(48-49)-L, AH50, AH56, AH58, AH63, AH73, AH75, AH79, AH86
mcrT	Toba cristalina	Piroclástica	Lapilli a ceniza	Moderada a buena	Estructuras de flujo	Niveles tabulares metricos a centimetricos	Deposito piroclástico de flujo y caída, proximal a medio de foco eruptivo	AH10, AH12, AH18, AH26, AH29, AH34-C, AH36, AH37-TC, AH39, AH47, AH49-C, AH65-66, AH71-C, AH74, AH76, AH78, AH80, AH83, AH85, AH87
mvIT	Toba vitrea	Piroclástica	Ceniza	Buena a muy buena	Estructuras de flujo, desarrollo de amigdalas	Niveles tabulares metricos a centimetricos	Deposito piroclástico de caída, medio a distal del foco eruptivo	AH11, AH15, AH34-V, AH48-V, AH57, AH61, AH84
vvIT	Toba vitrea soldada	Piroclástica	Ceniza	Buena a muy buena	Estructuras de flujo, presencia de fiammes	Niveles tabulares metricos a centimetricos	Deposito piroclástico de caída, proximal al foco eruptivo	AH25, AH42, AH46, AH52, AH70
Sedimentarias								
Sh	Arenisca	Clástica	Arena gruesa a limo	Moderada	Laminacion plano-parallelas, matriz soportada (aporte volcanico)	Nivel tabular acotado de pocos metros	Deposito fluvial asociado a ambiente volcanico continental, medio a distal del foco eruptivo	AH37-A, AH47-A, (SV-105A)
Gh	Conglomerado	Clástica	Guijarro a grava	Pobre a moderado	Clasto a matriz soportado, algunos clastos presentan imbricacion	Nivel tabular acotado de pocos metros		AH45-C, (SV-105B)

Tabla 1: Clasificación de facies volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias para la Formación Alto de Hualmapu.

3.2.1 Litofacies Volcánica

Esta litofacies se dispone en niveles probablemente tabulares de potencias mayores a 2 m y en algunos casos decamétricas. Sus relaciones de contacto solo logran ser observadas en escasos puntos debido a la cubierta coluvial y vegetal, en donde se presentan en contacto concordante con brechas de toba lapillíticas y tobas vítreas masivas que conforman las facies mlbT y mvIT respectivamente. Se presenta mayoritariamente en la zona basal de la columna generalizada de la Formación Alto de Hualmapu, con escasa presencia en la zona media a superior.

mA: Facies de andesitas porfídicas y afaníticas masivas

Las andesitas de esta formación están aparentemente concentradas en la base de la unidad intercaladas con las brechas volcánicas andesíticas, se caracterizan por ser de colores verdosos y grises oscuros, presentando texturas que varían de porfídicas a afaníticas, donde se evidencia el desarrollo de texturas micro porfídicas, cumulo porfídicas, poikilitica, pilotaxítica e intergranular, siendo estas dos últimas principalmente en las andesitas afaníticas. En algunos casos también presentan vesículas y amígdalas. Los fenocristales principales son de plagioclasas, piroxenos, anfíboles y escasos feldespatos potásicos. Las muestras en general se encuentran alteradas a epidota y clorita principalmente, y en menor medida por sericita. El metamorfismo de contacto que se puede identificar en algunas de estas rocas es dado a la presencia de biotita alterando a fenocristales. El porcentaje de minerales opacos corresponde al 5% - 10%.

Interpretación: A partir de la mineralogía primaria de la roca es posible determinar que las rocas clasifican como Andesitas - basálticas porfídicas variando a afaníticas hacia el techo, lo cual se interpretan como coladas de lavas que fluyen a partir de un centro eruptivo cercano hacia la cuenca en las zonas cercanas (Vessel & Davies, 1981; McPhie *et al.*, 1993).

3.2.2 Litofacies Piroclásticas

Estas litofacies están soportadas por matriz tamaño ceniza, son mono a oligomíticas (2-3 litologías dominantes) y están formadas principalmente por cristales y clastos de tamaño lapilli a bloque. Los clastos se componen de líticos volcánicos porfídicos a afaníticos menores, y piroclastos juveniles alterados interpretados como accesorios. Cuando están alterados, los líticos volcánicos son de color verde-gris oscuro (clorita y epidota), y su matriz suelen presentar cristales de plagioclasa y máficos (piroxenos y anfíboles).

Las rocas piroclásticas se agruparon en 5 facies para las cuales fueron utilizados los esquemas para la clasificación de rocas piroclásticas realizadas por Schmidt (1981) y Fisher & Schmike (1984):

(mlbT): Brecha piroclástica:

Corresponden a brechas de tobas líticas masivas de tonalidades violáceas y grisáceas con fragmentos líticos de tamaño lapilli a bloque. Se disponen en niveles de potencia métrica de al menos 2 m sin techo ni base claros, presentando relaciones de contacto concordantes en aquellos puntos que logran ser observadas, asociándose principalmente con andesitas que

conforman la facies mA. Esta facies se distribuye de manera poco frecuente en la zona media y superior de la columna generalizada de esta unidad.

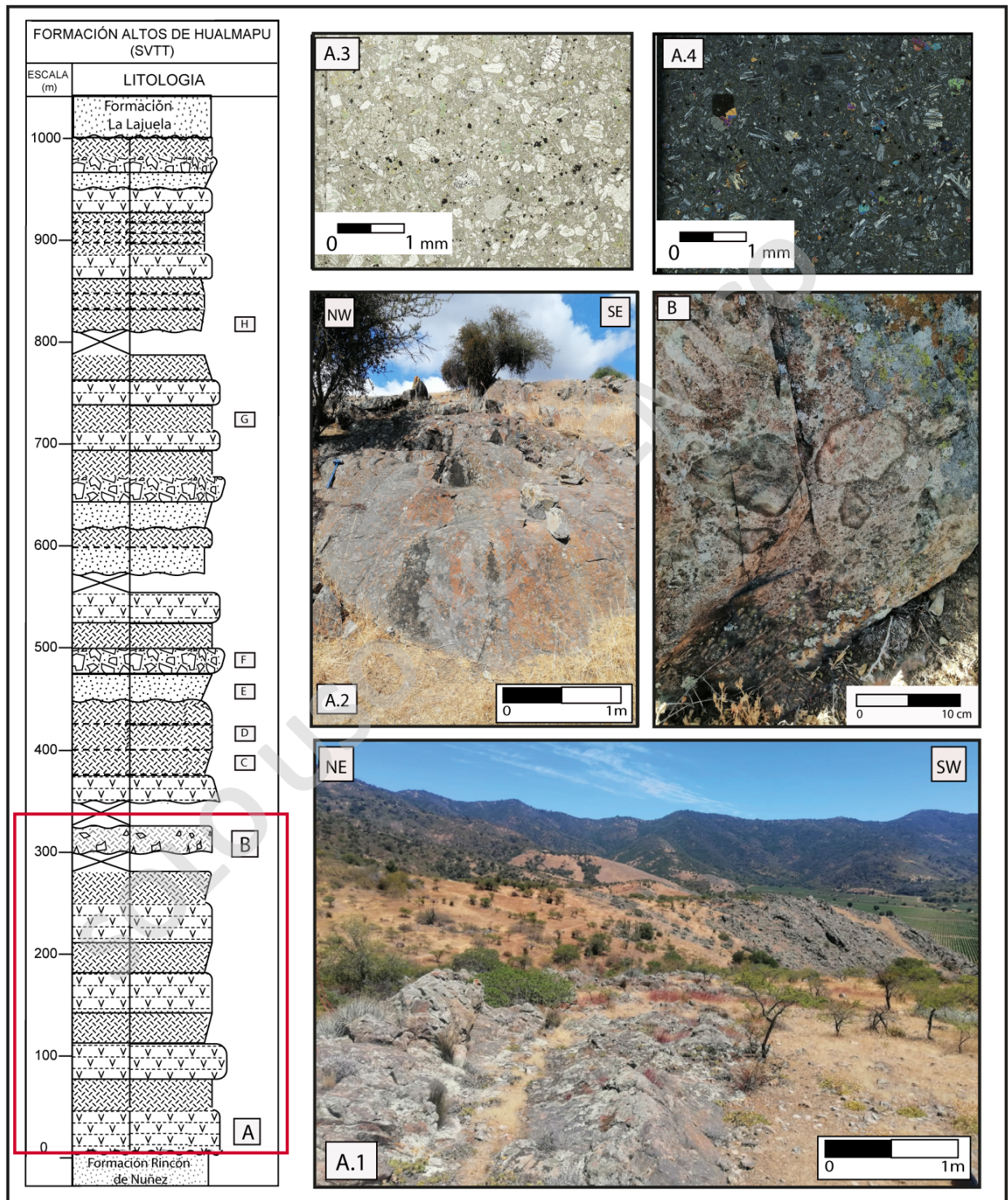


Figura 13: A) Litofacies volcánica (mA): **A.1)** Vista general de los afloramientos **A.2)** Afloramiento de lavas andesíticas porfídicas en el sector del cerro el Niche. **A.3)** Nícoles paralelos **A.4)** Nícoles cruzados de lámina delgada (AH08) de lava andesítica. **B)** Afloramiento de brecha piroclástica en el sector cerro el Niche.

Interpretación: Esta facies clasto-soportada mal seleccionadas puede ser asociada debido a la presencia de los fragmentos de rocas subangulosos de tamaño lapilli a bloque como brecha producto de una erupción explosiva violenta (Cas & Wright, 1987; McPhie *et al.*, 1993).

(mIT): Tobas lapillíticas

Corresponden a rocas matriz-soportadas con textura piroclástica y con diversos colores predominando las verdosas, violáceas y moradas oscuras. En general, granulométricamente corresponden a tobas de lapilli líticas o lapillitas. Algunas de las muestras presentan estructuras de flujo. Presentan epidota y clorita (<5%) como minerales de alteración más evidentes. Esta facies se dispone en niveles métricos, generalmente de 1 a al menos 3 m de potencia. Presenta relaciones de contacto observadas concordantes con andesitas y tobas vítreas principalmente, las cuales conforman las facies mA y mviT respectivamente. Esta facies se presenta a lo largo de toda la columna generalizada de la Formación Alto de Hualmapu con una mayor presencia en el tramo medio de esta.

Interpretación: Esta facies gracias a las estructuras de flujo se puede asociar a corrientes de densidad piroclásticas concentradas, las cuales se forman por el desplome gravitacional de domos de lavas, colapso o emisión continua de una columna eruptiva o por erupciones laterales (Cas & Wright, 1987; McPhie *et al.*, 1993; Druitt, 1998).

(mviT): Tobas vítreas masivas

Corresponden a rocas con textura piroclástica, fragmental y en algunos casos vesicular, que en general suelen ser de colores morados oscuros a claros con tonalidades verdosas, rojizas y gris oscuras. La matriz es predominantemente vítrea conformada también por microcristales de plagioclasa según el análisis microscópico. Parte de las muestras analizadas presentan estructuras de flujo y fiammes compuestas por vidrio y pequeños cristales de plagioclasa. En algunas de las muestras macroscópicas se ha evidenciado la presencia de pirolusita (<2%) y hematita (~3%). Se ha identificado la presencia de calcedonia (<5%) como mineral de alteración y algunas de las muestras se encuentran afectadas por metamorfismo de contacto. Esta facies se dispone en niveles de potencia métrica de un máximo de al menos 5 m, presentan contactos concordantes en aquellos afloramientos en donde se permite, en los cuales se asocian a tobas lapillíticas y lavas andesíticas que conforman las facies mIT y mA respectivamente. Esta facies se distribuye a lo largo de toda la columna generalizada de la Formación Alto de Hualmapu, mayormente en la zona media de esta.

Interpretación: Esta facies matriz-soportada, pobremente seleccionada y con escaso contenido de cristales puede asociarse a corrientes de densidad piroclástica diluida, las cuales se forman por el desplome gravitacional de domos de lavas, colapso o emisión continua de una columna eruptiva o por erupciones laterales (Cas & Wright, 1987; McPhie *et al.*, 1993; Druitt, 1998).

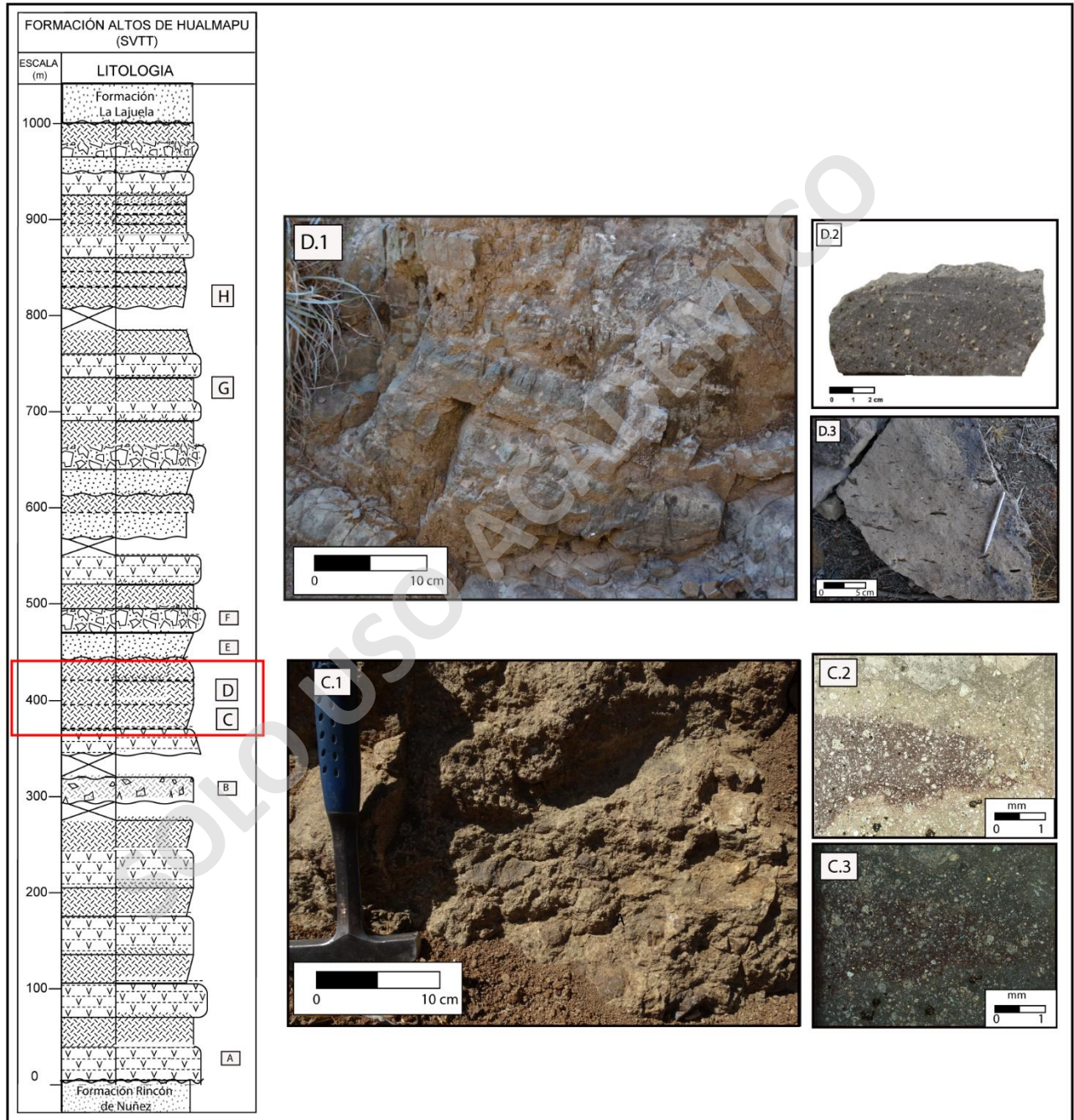


Figura 14: C.1) Afloramiento de tobas lapilíticas en el sector Pukara. C.2) Lamina delgada de tobas de lapilli líticas (AH77). C.3) Lamina delgada de tobas de lapilli líticas nicoles cruzados D.1) Afloramiento de toba vítrea en el sector de Pukara. D.2) Muestra de mano de toba vítrea (AH71). D.3) Muestra de toba vítrea en el sector La Muralla.

(mcrT): Tobas cristalinas masivas

Corresponden a rocas matriz-soportadas de textura piroclástica. Presentan variados colores siendo los más predominantes los colores verdosos y morados oscuros con tonalidades pardo amarillento. Granulométricamente corresponden en general a tobas de lapilli. Se expone clorita y epidota como minerales de alteración. Dado a que algunas plagioclasas se encuentran fragmentadas en algunas muestras, también se considera la presencia de textura fragmental. Esta facies se dispone en niveles decimétricos a métricos, con potencias máximas de 1,5 m aproximadamente. Debido a la cubierta vegetal y coluvial presenta contacto concordante únicamente con areniscas correspondientes a la facies Sh y cubierto con lapillitas y andesitas porfídicas que conforman las facies mIT y mA respectivamente. Esta facies se presenta en la zona basal y superior de la columna generalizada, con una mayor presencia en esta última.

Interpretación: Esta facies matriz-soportada masivos con ausencia de estructuras, los fragmentos líticos incluyen andesita con texturas variables y son frecuentes los cristales rotos de plagioclasa, piroxeno y minerales opacos se pueden asociar a depósitos de caída de tefra (Vessel & Davies, 1981; Cas & Wright, 1987; McPhie et al., 1993).

(vviT): Tobas vítreas soldadas

Esta facies consiste en tobas vítreas de tonalidades violáceas a blanquecinas en su mayoría, masivas, con matriz de ceniza en donde se presentan fiammes, estructuras de flujo y escasos líticos de composición de tamaño lapilli. Se disponen en niveles aparentemente tabulares de potencias métricas, presentando contactos aparentemente concordantes con lapillitas que conforman mIT. Se presentan predominantemente en el tramo superior de la columna generalizada de la Formación Alto de Hualmapu.

Interpretación: Esta facies matriz-soportada, pobremente seleccionada, con escaso contenido de cristales y presencia de estructuras de flujo en conjunto de fiammes puede asociarse a corrientes de densidad piroclástica diluida, las cuales se forman por el desplome gravitacional de domos de lavas, colapso o emisión continua de una columna eruptiva o por erupciones laterales (McPhie et al., 1993; Druitt, 1998; Schmidt & Schmincke, 2002).

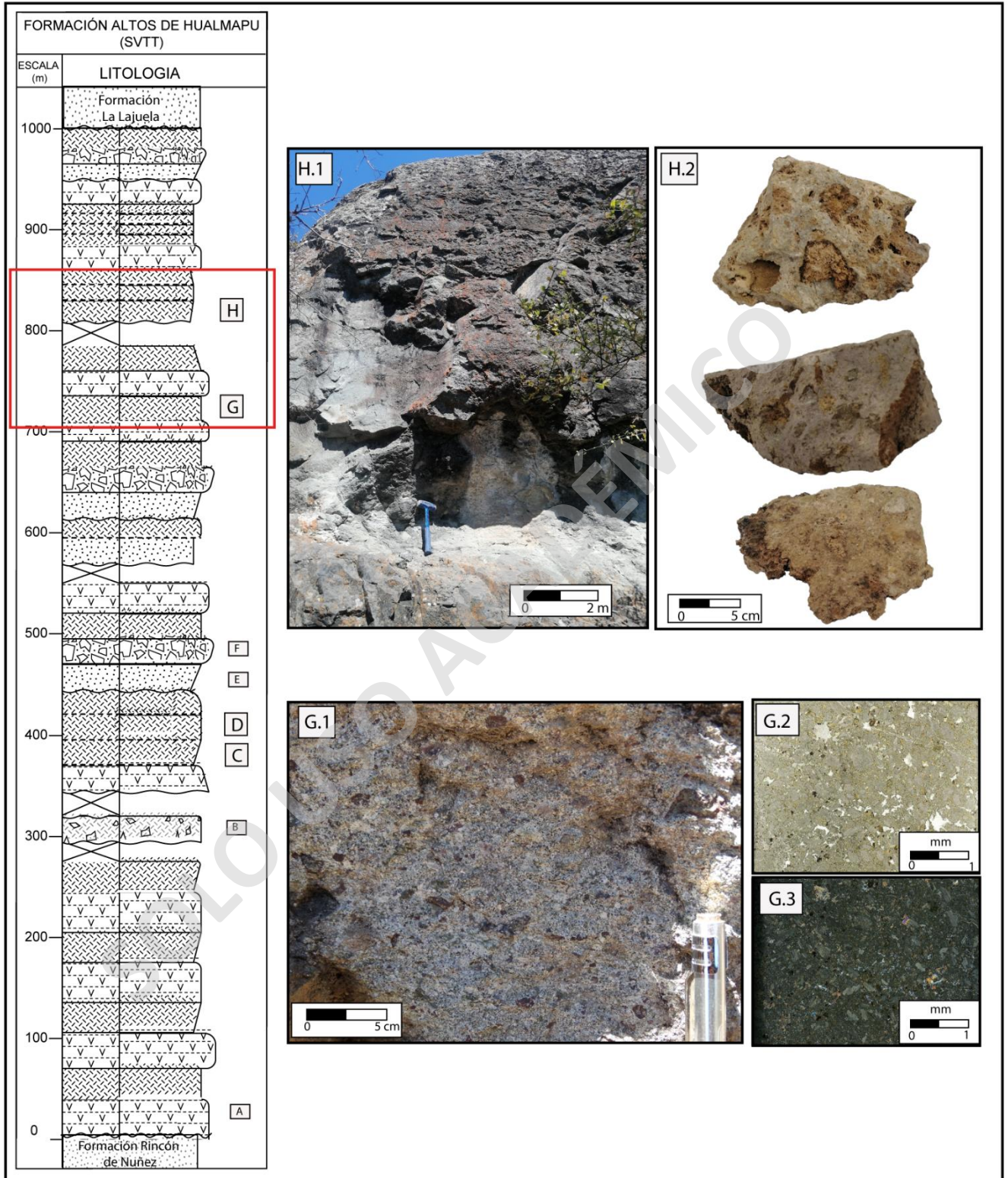


Figura 15: **G.1)** Afloramiento de tobas cristalinas en el sector San Marcos. **G.2)** Lamina delgada de toba cristalina (AH65). **G.3)** Lamina delgada en nicols cruzados. **H.1)** Afloramiento de tobas vítreas soldadas en el sector de Pukara - Cuchipuy. **H.2)** Muestras de mano de tobas vítreas soldadas (AH52 - 54 - 57).

3.2.3 Litofacies Sedimentarias

Para estas facies fueron utilizados los esquemas para la clasificación de rocas sedimentarias clásticas de acuerdo con el tamaño de grano de Wentworth (1922) modificado por Hallsworth & Knox (1999), y se clasificaron según lo propuesto por Miall et al. (1996) y Reading, 1996.

(Sh): Areniscas medias con estratificación paralela

Corresponden a rocas matriz-soportadas a clasto-soportadas, de textura clástica y de colores verdosos y grises claro. Se caracterizan por tener un buen grado de selección, por ser maduras texturalmente y submaduras composicionalmente. Presentan una componente volcánica importante, evidenciada tanto en la matriz, con la presencia de vidrio volcánico, como también en los fragmentos líticos que las conforman. Algunas de estas rocas presentan desarrollo de laminación plano-paralela y en general se encuentran alteradas por clorita-epidota. El análisis microscópico permitió identificar la presencia de circones en algunas muestras. Esta facies se dispone en niveles centimétricos a métricos, generalmente de hasta 1 a 1,5 m de potencia. Se presenta generalmente asociada a conglomerados clasto soportados que conforman la facies Gh, con los cuales presenta un contacto concordante. Esta facies se distribuye en la zona media y superior de la columna generalizada de la Formación Alto de Hualmapu.

Interpretación: Esta facies de textura clástica matriz-soportada, bien seleccionada, con clastos redondeados y buena esfericidad, en conjunto a las estructuras de laminación plano-paralela permiten asociar la facie a un ambiente fluvial (Miall et al., 1996). Estos sedimentos volcanoclásticos se interpretan representan el retrabajo del material piroclástico primario (McPhie et al., 1993; Reading, 1996).

(Gh): Conglomerados de grano medio imbricados

Corresponden a conglomerados matriz-soportados predominantemente y de colores verdosos con tonalidades grises oscuras. Presentan una selección mala a moderada y se caracterizan por ser submaduros a maduros texturalmente y submaduros composicionalmente. Granulométricamente corresponden a conglomerados medios con clastos tamaño guijarro. Esta facies presenta leve imbricación hacia el W. Se disponen en niveles de potencia de máximo 1 m aproximadamente, los cuales poseen relaciones de contacto concordantes con areniscas medias que conforman la facies Sh. Esta facies se distribuye en la zona media y en el techo de la columna generalizada de la Formación Alto de Hualmapu.

Interpretación: Esta facies de textura clástica matriz-soportada, bien seleccionada, con clastos redondeados y buena esfericidad, en conjunto a las estructuras de laminación plano-paralela y clastos imbricados permiten asociar la facies a un ambiente fluvial (Miall et al., 1996). Estos sedimentos volcanoclásticos se interpretan como resedimentados cuando no hay evidencias de transporte piroclástico primario (McPhie et al., 1993; Reading, 1996).

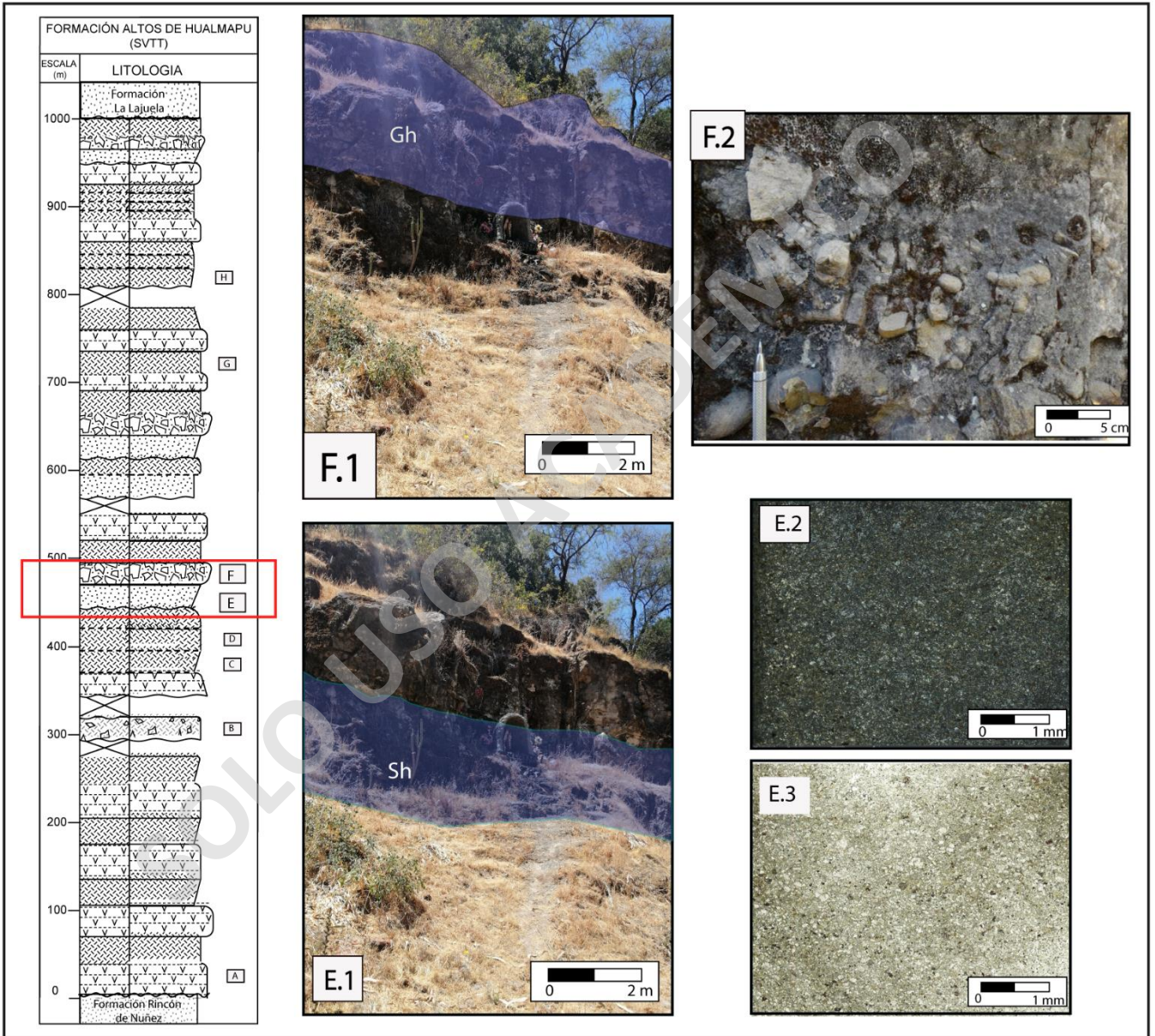


Figura 16: E.1) Afloramiento de sucesión arenisca-conglomerado en el sector de Pukara. E.2) Lamina delgada de arenisca feldespática en nicoles paralelos G.3) y cruzado (AH37). F.1) Afloramiento de sucesión arenisca - conglomerado en el sector Pukara. F.2) Acercamiento al afloramiento de conglomerado en la parada AH45-C en el sector Pukara.

3.3 Asociaciones de facies y ambiente deposicional

Las rocas presentes en esta unidad son principalmente de carácter continental donde la presencia predominante de lavas andesíticas y tobas tanto líticas como cristalinas y vítreas, reflejan un ambiente volcánico activo. Las areniscas y conglomerados que se encuentran formando parte de esta formación en niveles muy escasos, se caracterizan por tener una componente volcánica importante, como lo refleja la lámina delgada de la muestra AH37 (fig.15 - E.1 y E.2), correspondiente a una arenisca volcánica dado al importante aporte volcánico en la matriz.

3.3.1 Depósitos volcánicos y piroclásticos de proximales a foco eruptivo (FVP):

Esta asociación de facies corresponde a lavas andesíticas masivas (mA), tobas líticas (mIT), tobas cristalinas masivas (mcrT), vítreas masivas (mviT) y soldadas (vviT) de manera escasa, las cuales presentaron tamaño lapilli de sus componentes y tonalidades variadas en donde predominan las grisáceas, violáceas y verdosas oscuras. Se presenta de manera continua a lo largo de los primeros 950 m de la columna generalizada, con presencia más acotada en el tramo restante. Las principales características de esta asociación son la predominancia de niveles de lavas y el grado de autobrechificación de estas.

Interpretación: De acuerdo con la interpretación que presenta Vessel & Davies (1981) sobre la distancia que alcanzan los elementos que conforman estas litofacies desde el foco eruptivo, la potencia que presentan, la mala selección, presencia de fiammes, fragmentos líticos tamaño lapilli y/o bloques y bandeamiento por flujo en tobas vítreas y la ausencia de otras estructuras sedimentarias, es considerado característico de un ambiente volcánico proximal a un foco eruptivo. Se considera para esto una distancia aproximada de 2 a 5 km desde el centro eruptivo al utilizar como referencia el modelo de Selles et al. (2015), en donde se depositan potentes coladas de lava, corrientes de densidad piroclástica concentrada y diluida, además de depósitos de caída de tefra en menor medida, los cuales podrían provenir de erupciones distales y que presentan mayor potencia y temperaturas al momento de su depositación a una menor distancia del foco eruptivo, lo que favorece la generación de fiammes en tobas vítreas soldadas.

3.3.2 Depósitos volcánicos y piroclásticos de distancia proximal a media de foco eruptivo (FVM):

Estas asociaciones de facies predominan las tobas líticas (mlT) y tobas vítreas soldadas (vviT), ambas masivas, de tonalidades azuladas, violáceas y verdosas, las cuales se presentan intercaladas a lo largo de la asociación ubicada en la zona superior de la columna generalizada junto con niveles acotados de lavas andesíticas (mA) y tobas cristalinas (mcrT).

Interpretación: Las características de esta intercalación, donde la presencia de fragmentos líticos, ausencia de estructuras y de otras litofacies indicativas, puede ser un indicador de una zona “transicional” la cual comprende partes de una zona proximal y media, en presencia de un volcanismo explosivo, pero con baja generación de productos volcánicos efusivos como lavas, al utilizar como referencia la interpretación y modelo de Vessel & Davies (1981). Se considera para este caso una distancia de 5 a 10 km (Selles et al. 2015) desde el foco eruptivo, la cual podría llegar a ser menor considerando una actividad explosiva poco efusiva en donde hay una alta ocurrencia de flujos piroclásticos por colapso de la columna eruptiva y domos, junto con una posterior depositación por caída del material más fino.

3.3.3 Depósitos piroclásticos de distancia media de foco eruptivo (FPM):

Esta asociación de facies corresponde principalmente a tobas líticas (mlT), tobas vítreas (mviT) masivas y niveles menores de tobas cristalinas (mcrT) con sus componentes mayormente tamaño ceniza. Estas se presentan de tonalidades grises, violáceas y verdosas. Se presentan de manera escasa en el tramo medio y en el tramo superior de la columna generalizada de la unidad.

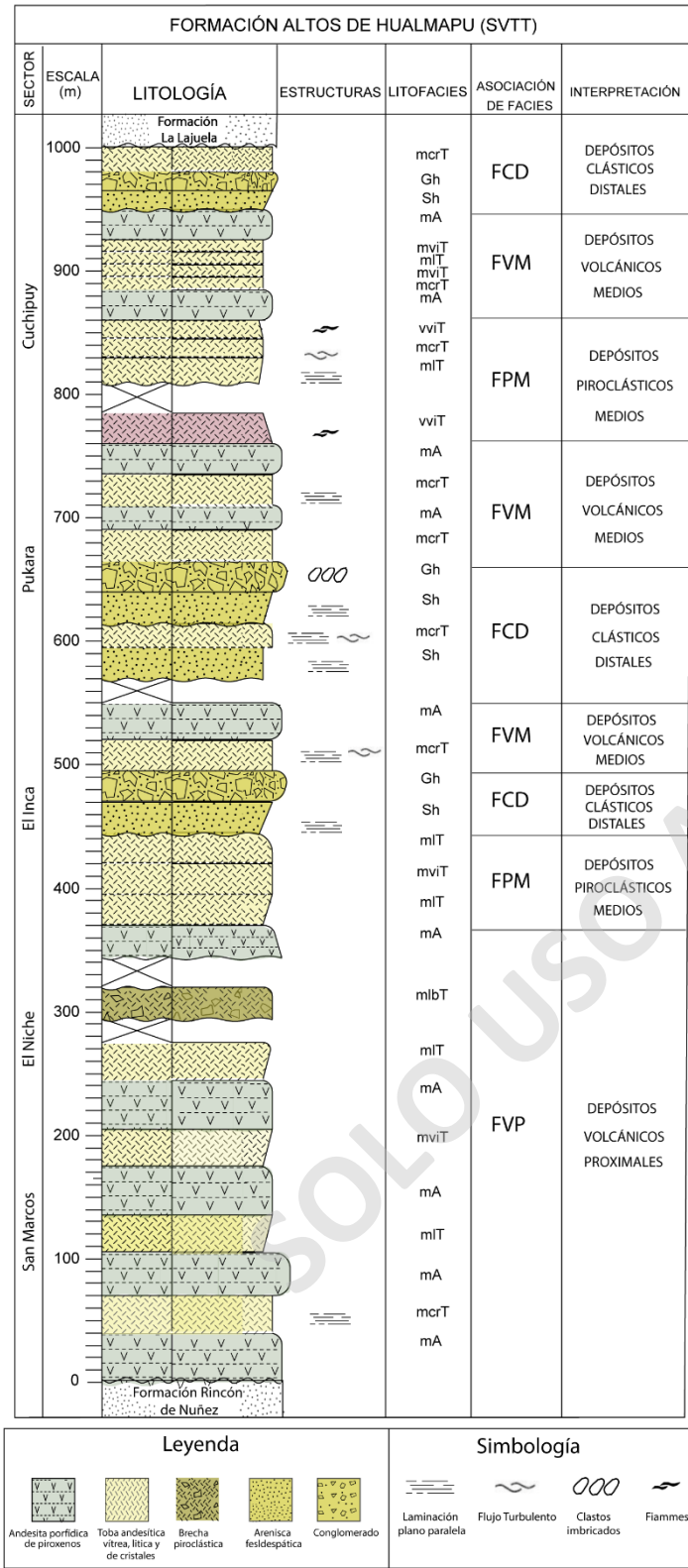
Interpretación: Las características de la facies, la presencia de fragmentos líticos en proporciones mayores a un 10 a 15% junto con la interpretación realizada por Vessel & Davies (1981) son un indicador de una zona “media” desde el foco eruptivo. Se considera para esto una distancia de 8 a 15 km aproximadamente desde este de acuerdo con los modelos empíricos (Selles et al. 2015), en donde se presenta un sector afectado por eventos piroclásticos de caída y de flujos en menor medida, junto con procesos volcano-sedimentarios como flujos laháricos, la cual excede la distancia media de alcance de las lavas andesíticas que comprenden las facies más proximales, se asocian a facies medias al foco eruptivo, al estar en ausencia de productos volcánicos efusivos como las lavas andesíticas.

3.3.4 Depósitos clásticos distales del foco eruptivo (FCD):

Esta asociación de facies corresponde a areniscas (Sh) con estratificación paralela y conglomerados (Gh) con leve imbricación, de tonalidades pardas a verdosas, las cuales se presentan en conjunto con pequeños niveles de tobas cristalinas (mcrT). Las rocas piroclásticas depositadas mucho más allá de la base de un volcán tienden a tener una mayor continuidad lateral que las de las zonas interiores y se ajustan más a los criterios estratigráficos convencionales, ya que predominan los epiclásticos. Esta se presenta de manera muy acotada en al menos tres puntos de la columna generalizada de la unidad.

Interpretación: La escasa potencia con base erosiva, imbricación, presencia de estratificación y limitación con facies volcánicas proximales del volcán son representativas de una zona epiclástica distal a un foco eruptivo activo o inactivo. Se considera para este caso una distancia mayor a 15 km de acuerdo con los modelos empíricos (Selles *et al.* 2015), en donde actúan procesos de retrabajo de fragmentos líticos de origen volcánico y piroclástico generando acotados cursos fluviales encauzados en el material volcánico depositado previamente. Pueden incorporarse la presencia de niveles de tobas de ceniza subordinados depositados por procesos de caída producto tanto de erupciones distales.

La figura 17, muestra la distribución de las facies y la asociación de facies que se han determinado en este estudio, dentro de la columna estratigráfica generalizada para esta unidad en San Vicente.



Asociación de Facies	Litofacies	Ambiente deposicional
Litofacies volcánicas y piroclásticas Proximales (FVP)	mA, mlbT, mIT, mcrT, viT, (mvIT)	Coladas de lavas y corrientes de densidad piroclástica (caída de tefra en menor medida)
Litofacies volcánicas y piroclásticas de distancia proximal a media (FVM)	mA, mIT, mcrT, viT	Coladas de lavas y Corrientes de densidad piroclástica concentrada y diluida
Litofacies piroclásticas de distancia media (FPM)	mIT, mvIT	Depósitos de caída de tefra
Litofacies clásticas de distancia distal (FCD)	Sh, Gh, mcrT, (mIT)	Depositos Fluviales y de caída de tefra

Figura 17: Columna y asociación de facies para la Formación Altos de Hualmapu

Debido a la ausencia de estos niveles piroclásticos asociados a las litofacies clásticas se interpreta un volcanismo apaciguado o muy distal de la ubicación de estas.

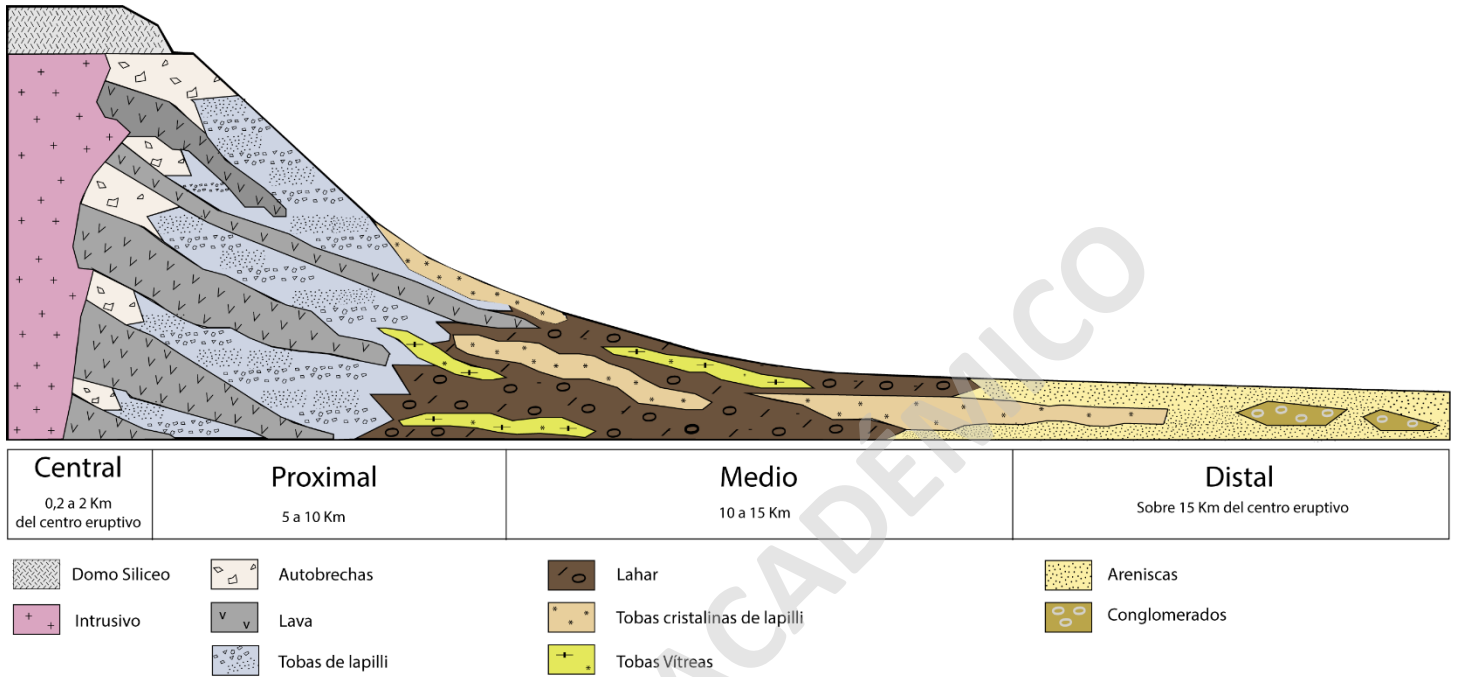


Figura 18: Modelo de distribución de facies volcánicas para la Formación Alto de Hualmapu en la zona de estudio (Vessel & Davies, 1981; Bogie & Mackenzie, 1998; Selles *et al.* 2015).

4. Discusiones

4.1. Comparación de la formación en San Vicente versus columna tipo Hualañé-Curepto

Las unidades estudiadas tienen una tendencia clara en términos texturales y composicionales de origen volcánico. La estratigrafía realizada ha determinado la presencia de la Formación Altos de Hualmapu en el área de San Vicente (SVTT) sobreyaciendo aparentemente en discordancia angular a la Formación Rincón de Núñez y subyace de igual forma a la Formación La Lajuela. Esta disposición entre dichas unidades litoestratigráficas es coincidente con la descripción de la columna tipo donde ha sido definida la Formación Alto de Hualmapu en el sector de Hualañé, a ~98 km de la zona de estudio (Morel, 1981 & Bravo, 2001).

La Formación Alto de Hualmapu dentro de SVTT presenta asociaciones de facies que evidencian la reactivación del arco magmático, generando variaciones propias de un ambiente volcánico proximal a distal del foco eruptivo. Estas se encuentran compuestas por potentes

sucesiones de depósitos de facies gruesas (mA, mlbT y mcrT) de composición andesítica - dacítica asignadas a un ambiente volcánico exclusivamente proximal en un primer tramo (FVP-FVM), y por niveles piroclásticos y volcánicos (mlT, mviT y vviT) con mayor predominancia de depósitos de flujo y caída asignados a ambientes volcánicos medios a distales en un segundo tramo (FPM - FCD), lo cual coincide con lo propuesto también por Rossel et al. (2020). Este arco habría generado un relieve moderado que debido a la subsidencia termal y erosión posteriormente habría disminuido. Los depósitos epiclásticos que se intercalan con los flujos piroclásticos son de composición casi exclusivamente volcánica y representan el retrabajo del material piroclástico primario. Presentan una mala selección y angulosidad de sus clastos, lo cual es consistente con un escaso transporte y rápida depositación que derivó en la casi nula alteración de los minerales, pero llevó a la disgregación de los fragmentos de tobas poco diagenizadas. Esta interdigitación en los depósitos evidencia una simultaneidad entre la actividad volcánica y los agentes exógenos que retrabajaron y acumularon el material originalmente depositado.

Soto (2018) realiza la estratigrafía del sector Loma la Muralla y posteriormente Arbea & Pincheira (2021) describen de forma general la Formación Altos de Hualmapu en la zona, donde estimaron una potencia aproximada de 2400 metros, la cual podría estar sobrestimado debido a las evidencias de deformación antiformal halladas entre el sector de Pucara y Cuchipuy detallado en el trabajo de Arriagada (*in prep.*).

Las rocas de la Formación Altos de Hualmapu se depositaron sobre areniscas de la Formación Rincón de Núñez, y se encuentran cubiertas por areniscas de la Formación La Lajuela. En base a las relaciones estratigráficas de contacto y el contenido fósil presente tanto para la formación que la subyace y sobre yace respectivamente a esta unidad en la zona de estudio, se propone una edad relativa de Aaleniano – Kimmeridgiano.

Al correlacionar las secuencias descritas en este trabajo, con la sección tipo definida por Bravo (2001) al sur del río Mataquito en el sector de Hualañé - Curepto (35° S), es posible identificar los miembros: M1, M3 y M5, en el sector de San Vicente (SVTT), ausentándose los potentes niveles de andesitas del miembro M2 y M4 (fig. 18), los cuales fueron aparentemente acuñaándose hacia el norte del río Mataquito.

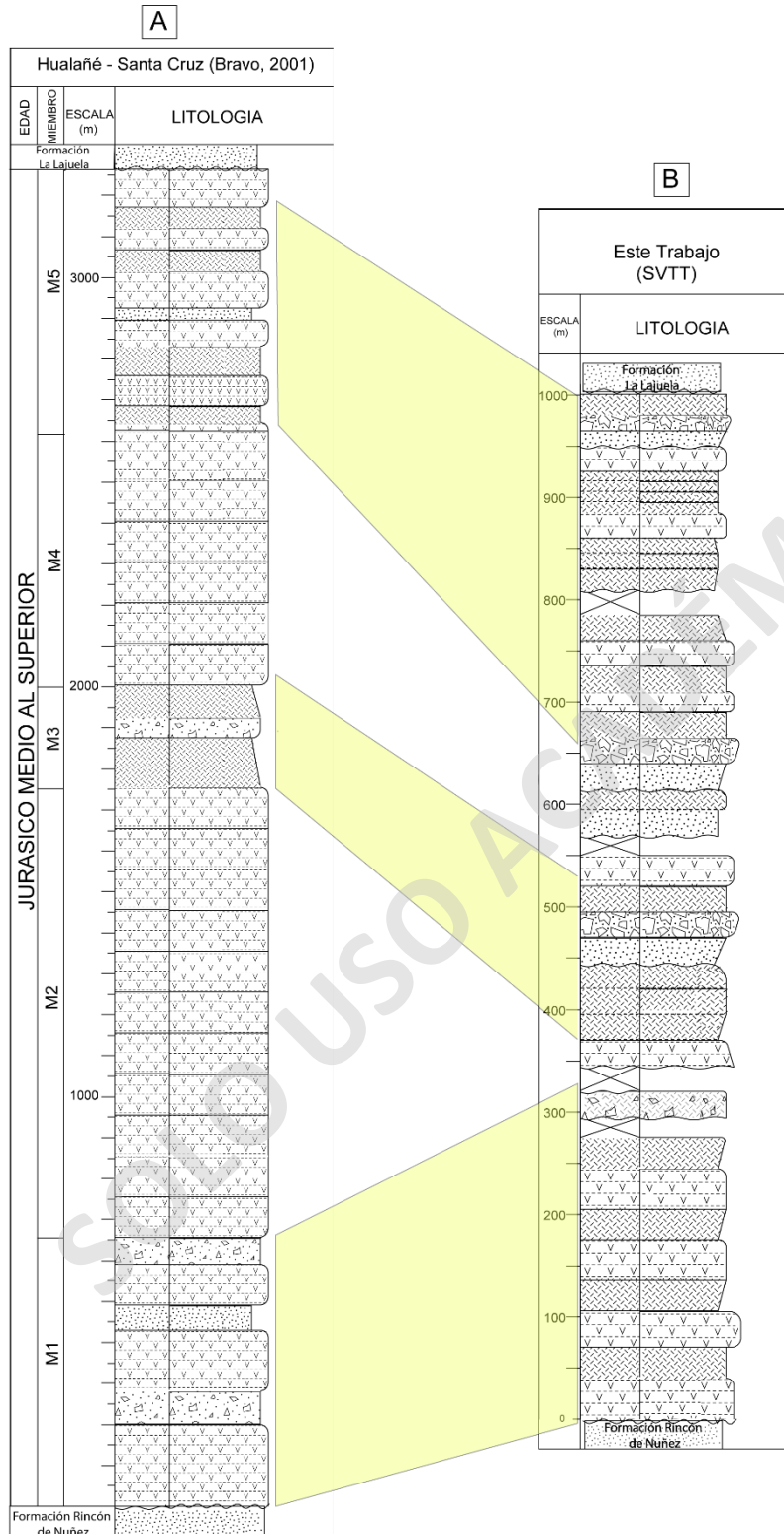


Figura 19: Correlación para la Formación Alto de Hualmapu. En **(A)** se presenta la columna tipo para dicha unidad en la Cordillera de la Costa entre los 35°00' y 35°30' (Bravo, 2001). En **(B)** se presenta la columna estratigráfica generalizada para la Formación Alto de Hualmapu en el presente estudio.

5.2. Correlaciones regionales e interpretación de cuenca de intra-arco

Para la discusión sobre el posible tipo de cuenca que se generó durante el periodo Jurásico en la zona de estudio, es necesario en primer lugar reconocer la posición del arco magmático y sus migraciones. Según los trabajos recopilatorios de Navarrete *et al.*, (2019) y Rossel *et al.*, (2020), se reconoce al menos dos episodios de la actividad del arco magmático durante el Jurásico Inferior a nivel regional entre los ~ 34°S y 39°S, con un primer evento de pulsos entre los ~ 200 – 195 Ma y los ~185 – 180 Ma con afloramientos aislados de granitos alcalinos y de tipo S entre los 35°S y 36°S (Plutón La Estrella, Topocalma, Pichilemu y Constitución; Hervé *et al.*, 1988 y Vásquez *et al.*, 2011) y depósitos volcánicos y subvolcánicos de las Formaciones Cara Cura (36°S) y Milla Michico (37°S) en el oeste de Argentina (Tapia *et al.*, 2020; Rossel *et al.*, 2020). Para el Jurásico medio, desde el norte hasta el centro de Chile (~18-35°S), una notable asociación plutónico-volcánica continua constituye la mayor parte de la Cordillera de la Costa a lo largo de al menos 2500 km, compuesta por cuerpos batolíticos y secuencias volcánicas gruesas (>8000 m) correspondientes a las formaciones La Negra (18°S), Ajial y Horqueta (32-34°S) que forman la Cordillera de la Costa (Buchelt & Téllez, 1988; Empanan & Pineda, 2000). Esta asociación magmática se caracteriza por ser de composición máfica a intermedia con tendencias mayoritariamente calco alcalinas (Vergara *et al.*, 1995; Kramer *et al.*, 2005; Lucassen *et al.*, 2006;) emplazadas principalmente bajo un régimen tectónico extensional a transtensional (Grocott & Taylor, 2002; Scheuber & González, 1999), pero con eventos transtensionales periódicos menores (Creixell *et al.*, 2011; Ring *et al.*, 2012). Por lo que la posición del arco con relación a la Cuenca de San Vicente de Tagua Tagua es proximal, inmediatamente hacia el oeste. Por otra parte, la arquitectura de la cuenca de San Vicente de Tagua Tagua estaba limitada por fallas, con una apertura y depocentro hacia el este (Arriagada, *in prep.*).

La presencia de esta unidad volcanoclástica (mA, mlbT, mlT, mcrT y mviT) en la zona de estudio indicaría un importante cambio en el ambiente depositacional, donde existe una dominancia de productos volcánicos y volcanoclásticos los cuales se asociarían a un arco volcánico activo generado a partir de la reactivación de la subducción en el margen continental sudamericano y un arco magmático en posición de Cordillera de la Costa en los inicios del Ciclo Tectónico Andino I (Charrier *et al.* 2014). Esto implica una transición a un ambiente continental con el paulatino cese de regresiones y transgresiones marinas, en conjunto con el probable cierre de la cuenca que dio origen a la Formación Rincón de Núñez (Rebolledo, *in prep.*), donde el dominio de sedimentación marina durante el Triásico – Jurásico Inferior, comienza a desaparecer.

Dentro de los factores críticos para identificar el tipo de cuenca intra-arco es la presencia de rocas volcánicas próximas al foco eruptivo y/o intrusiones relacionadas, además, toda cuenca posicionada inmediatamente delante o detrás del frente volcánico activo, pero en la plataforma de arco, es una cuenca de intra-arco (Busby & Azor, 2011).

Se interpreta un contexto de cuenca de intra-arco debido a la elevada potencia de las sucesiones volcánicas y la escasa distancia a la que estas se depositan desde el o los focos eruptivos (fig.20). El volcanismo proximal al comienzo de la unidad evidencia una presencia del arco en la zona de estudio, el cual pareciera migrar hacia el este o disminuir su actividad efusiva durante el Jurásico Superior debido a una mayor presencia de depósitos piroclásticos medios a distales en la zona media a superior de la unidad, lo cual es propuesto también por Rossel *et al.* (2020). Este proceso va acompañado de una importante extensión en la cuenca debido a una subsidencia tectónica y termal (Franzese *et. al*, 2001; Charrier *et al.*, 2014), la cual permite generar el espacio de acomodación necesario para depositar y preservar el material generado. Además, existe el registro de cuencas de tras arco en este periodo hacia el este del área de estudio donde se estaría depositando la cuenca Neuquina (Charrier *et al.* 2007).

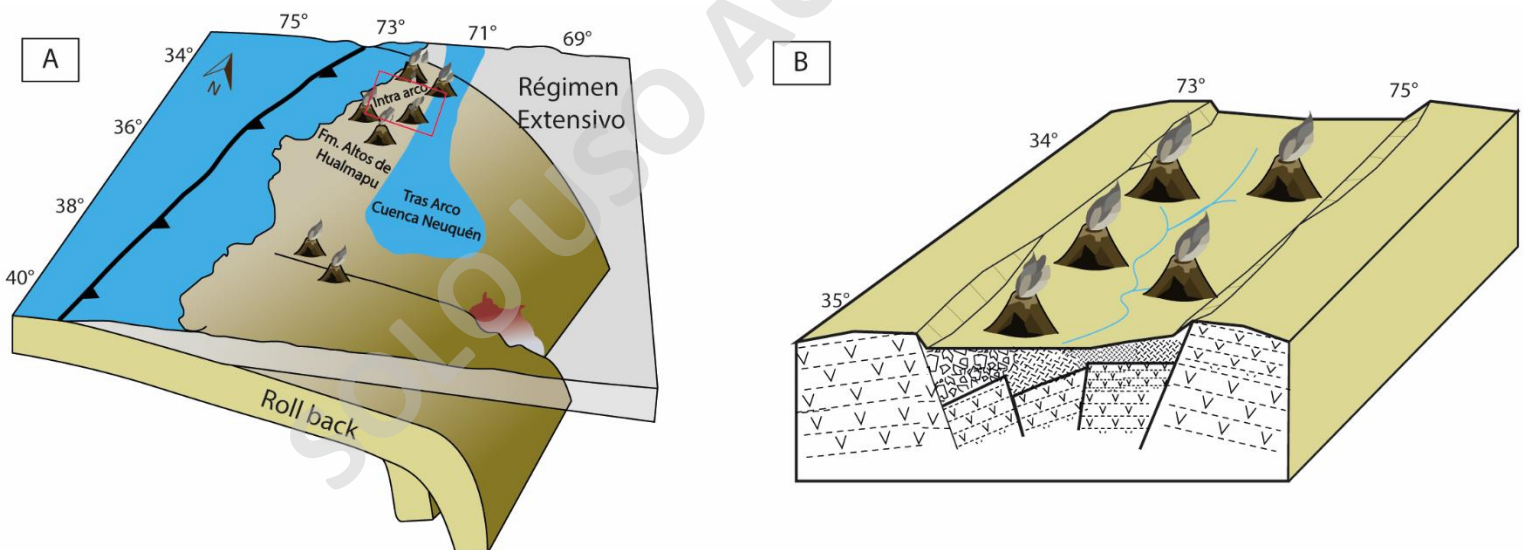


Figura 20: A) Modelo evolución tectono-magmática esquemática durante el Jurásico Medio en el Sur de Chile Central (Basado en Rossel *et al.*, 2020). **B)** Modelo ambiente de deposición de la Formación Altos de Hualmapu.

5. Conclusiones

El margen occidental sudamericano presenta evidencias de una subducción bajo condiciones extensionales continuas, las cuales generaron una serie de cuencas de antearco, intra-arco y tras arco con componentes de rift, las que durante el Pliensbachiano se encontraban paralelas al arco magmático activo. Debido a efectos de la extensión continua, estas cuencas se encontraban interconectadas por un “mar interior” que desembocó finalmente en la cuenca de Neuquén. La Formación Alto de Hualmapu marca un cambio importante en el ambiente depositacional en SVTT, donde existe una dominancia de productos volcánicos y epiclásticos los cuales se asociarían a un arco volcánico activo generado a partir de la reactivación de la subducción en el margen continental sudamericano y un arco magmático en posición de Cordillera de la Costa en los inicios del Ciclo Tectónico Andino I. Esto implica una transición a un ambiente continental con el paulatino cese de regresiones y transgresiones marinas, en conjunto con el probable cierre de la cuenca marina que dio origen a la Formación Rincón de Núñez.

La generación de una nueva cuenca de intra-arco a partir del Jurásico Medio evidenciado en la Formación Altos de Hualmapu, la cual sufre una expansión hacia el este generando potentes depósitos volcánicos y piroclásticos en el área de estudio (fig.21), depositados en depresiones producidas gracias a subsidencias termales en un contexto tectónico transtensional en el arco y al este de él sin descartar eventos compresivos locales.

Bajo el marco tectónico regional mencionado, es posible considerar que los primeros fundidos generados de alta temperatura y baja viscosidad resultaron en la generación de lavas y brechas andesíticas del primer miembro (M1) en el sector de los cerros El Niche y Silleta producto de un aparente volcanismo fisural. Por otro lado, fundidos de mayor permanencia en la corteza, desarrollaron un volcanismo explosivo que derivó en la formación de depósitos de flujos piroclásticos o ignimbritas de bajo grado del segundo tramo (M3 y M5) de facies medias a distales del centro eruptivo. Las facies volcánicas y volcanoclásticas de la Formación Alto de Hualmapu representan un importante evento eruptivo en el esquema estratigráfico de la cuenca de SVTT y en el contexto regional permite delinear con mayor precisión la evolución del volcanismo Jurásico en la Cordillera de la Costa.

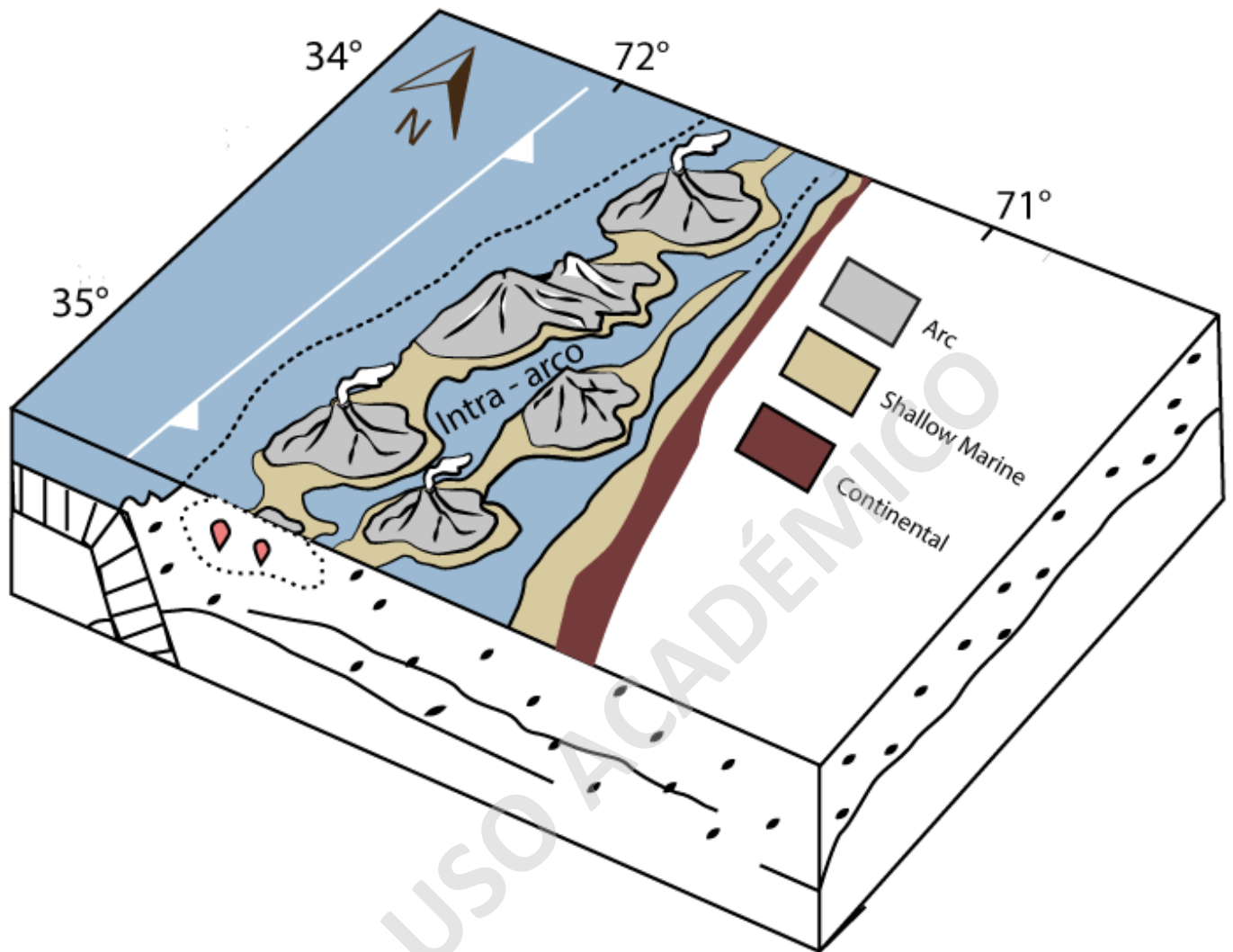


Figura 21: Modelo de ambiente de depositación de la Formación Altos de Hualmapu durante el Jurásico Medio al Superior (*Aaleniano - Kimmeridgiano*) en el área de San Vicente de Tagua Tagua (rectángulo rojo); (Basado en Howell et al., 2005).

6. Referencias

- Arbea, J. (2021). Tectono - estratigrafía del mesozoico en el área de San Vicente de Tagua Tagua, (entre 34°21'S - 71°15'O Y 34°32'S - 70°57'O), Cordillera de la Costa, Chile central, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Memoria de título, Universidad del Desarrollo, Facultad de Ingeniería, Geología.
- Boyce, D., Charrier, R., & Farías, M. (2020). The first Andean compressive tectonic phase: sedimentologic and structural analysis of mid-Cretaceous deposits in the Coastal Cordillera, Central Chile(32°50'S).
- Branney, M.J. & Kokelaar, P. (2003). Pyroclastic Density Currents and the Sedimentation of Ignimbrites. Geological Society Memoir, p. 152. The Geological Society.
- Bravo, P. (2001). Geología del borde oriental de la Cordillera de la Costa entre los Ríos Mataquito y Maule, VII Región. Memoria de título, Universidad de Chile, Departamento de Geología, p.106.
- Carey, S., 1999. Volcaniclastic sedimentation around island arcs. In: Sigurdsson, H. (Ed.), The Encyclopedia of Volcanoes. Elsevier, pp. 627–642.
- Cas, R., Wright, J. (1988). Volcanic Successions, Modern and Ancient. London, Chapman & Hall. P. 528.
- Cas, R.A.F., Wright, J.V., 1996. Volcanic Successions: Modern and Ancient. A Geological Approach to Processes, Products and Successions. Chapman & Hall, London, p. 528.
- Charrier, R & Lillo, F. (1973). Geología regional y geoquímica del drenaje de las provincias de O'Higgins y Colchagua. Instituto de Investigación de Recursos Naturales, 81 pp.
- Charrier, R., Pinto, L., & Rodríguez, M. P. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. The geology of Chile, p. 21-114. The Geological Society
- Charrier, R. Farías, M. & MaksaeV, V. (2009). Evolución tectónica, paleogeográfica y metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile norte y central e implicaciones para las regiones adyacentes de Bolivia y Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 65(1),05-35
- Charrier, R., Ramos, V., Tapia, F., & Sagripanti, L. (2014). Tectono-stratigraphic evolution of the Andean Orogen between 31 and 37° S (Chile and Western Argentina). Geological Society, London, Special Publications 399, p. 49.
- Contreras, J.P., & Schilling, M. (2012). Geología del área San Fernando – Curicó, Regiones del Libertador General Bernardo O'Higgins y del Maule. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica p. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Corvalán, J. (1976). El Triásico y Jurásico de Vichuquén - Tilicura y de Hualañé, Provincia de Curicó. Implicaciones paleogeográficas. Primer Congreso Geológico Chileno, Santiago de Chile 1976, 138-154.
- Davidson, J., Turner, S. & Plank, T. (2013). Dy/Dy*: Variations arising from Mantle Sources and Petrogenetic processes. Journal of Petrology, 54, 525-537.
- Defant, M.J. and Drummond, M.S. (1990). Derivation of some modern arc magmas by melting of Young subducted lithosphere. Nature 347, 662-665
- Farías, M., Charrier, R., Carretier, S., Martinod, J., Fock, A., Campbell, D., Cáceres, J. & Comte, D. (2008). Late Miocene high and rapid surface uplift and its erosional response in the Andes of central Chile (33°–35° S). Tectonics, 27(1). <https://doi.org/10.1029/2006TC002046>
- Farías, M., Comte, D., Charrier, R., Martinod, J., David, C., Tassara, A., Tapia, F. & Fock, A., (2010). Crustal-scale structural architecture in central Chile based on seismicity and surface geology: Implications for Andean Mountain building, Tectonics, 29.

Fisher, R.V., 1961. Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. *Geol. Soc. Am. Bull.* 72, 1409.

Fisher, R.V., 1966. Rocks composed of volcanic fragments and their classification. *Earth Sci. Rev.* 1, 287–298.

Fisher, R.V., Schmincke, H.-U., 1984. *Pyroclastic Rocks*. Springer, Berlin, p. 472. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-74864-6>.

Fock, A. (2005). Cronología y tectónica de la exhumación en el Neógeno de Los Andes de Chile central entre los 33° y los 34°S. Tesis de Magister en Ciencias mención Geología. Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago, Chile. p. 169.

Godoy, E., Schilling, M., Solari, M. & Fock, A. (2009). Geología del Área Rancagua-San Vicente de Tagua Tagua, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica N° 118: 50 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago

Irvine, T. & Baragar, W. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian journal of earth sciences*, 8(5), 523-548.

Le Maitre, R. W., Dudek, P., Keller, A., Lameyre, J., Le Bas, J., Sabine, M. J., & Zanettin, A. R. (1989). A classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Sub commission on the Systematics of Igneous Rocks. International Union of Geological Sciences.

Marsaglia, K.M. (1995) Interarc and backarc basins, in Busby, C.J., and Ingersoll, R.V., eds., *Tectonics of sedimentary basins*. Oxford, Blackwell Science, 299–329.

McPhie, J.; Doyle, M.; Allen (1993). *Volcanic Textures: A Guide to the Interpretation of Textures in Volcanic Rocks*.

Morel, R. (1981). Geología del sector norte de la Hoja de Gualleco entre los 35°00' y 35°10' latitud sur. Provincia de Talca, VII Región, Chile. Memoria de Título, Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica, p.204.

Mpodozis, C. & Ramos, V. (2008). Tectónica jurásica en Argentina y Chile: extensión, subducción oblicua, rifting, ¿deriva y colisiones? *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63(4),481-497.

Muñoz, M. Tapia, F. Persico, M. Benoit, M. Charrier, R. Farías, M. Rojas, A. (2018). Extensional tectonics during Late Cretaceous evolution of the Southern Central Andes: Evidence from the Chilean main range at ~35°S, *Tectonophysics*, Volume 744, Pages 93 - 117.

Nasi, C & Thiele, R. (1982). Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la cordillera de la costa, al sur del Río Maipo, entre Melipilla y Laguna de Acúleo (Chile central). *Revista Geológica de Chile*, 16, 81-99.

Pincheira, C. (2021). Estratigrafía y evolución de cuerpos intrusivos del Mesozoico en el área de San Vicente de Tagua Tagua (34°21'S-34°32'S y 71°15'O-70°57'O). Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Memoria de título, Universidad del Desarrollo, Facultad de Ingeniería, Geología.

Reading, H.G., 1996. *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*, third ed. Blackwell, Oxford, p. 689.

Rossel, P. Echaurren, A. Ducea, M. N. Maldonado, P. Llanos, K. (2020). Jurassic segmentation of the early Andean magmatic Province in southern central Chile (35– 39°S): Petrological constrain sand tectonic drivers, *Lithos*, Volumes 364–365.

Selles, A., Deffontaines, B., Hendrayana & Violette, S. (2015). The eastern flank of the Merapi volcano (Central Java, Indonesia): Architecture and implications of volcanoclastic deposits. *Journal of Asian Earth Sciences*, 108, 33-47.

Soto, P. (2018). Estratigrafía y paleontología del Jurásico Superior - Cretácico Inferior del cordón norte de la Laguna Tagua Tagua (entre 34°16'-71°10' y 34°30'-71°05') comuna de San Vicente de Tagua Tagua, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Memoria de Título, Universidad Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, p. 122.

Streckeisen, A. (1981). IUGS Sub commission on the Systematics of Igneous Rocks. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilite Rocks. *Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 141, 1-14.

Tapia, F. (2015). Evolución Tectónica y Configuración Actual de Los Andes Centrales del Sur (34°45' – 35°30'). Tesis de Doctorado, Universidad de Chile, Geología, p. 306.

Vergara, M. (1969). Rocas volcánicas y sedimentario-volcánicas, mesozoicas y cenozoicas en la latitud 34°30' S, Chile. *Universidad de Chile*, N° 32.

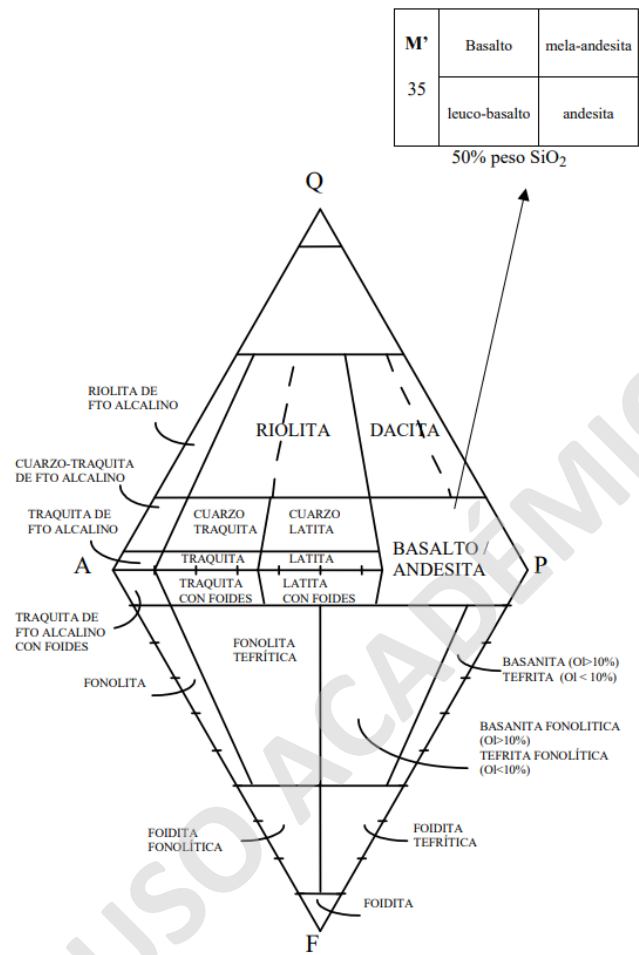
Vergara, M., Levi, B., Nystrom, J. & Cancino, A. (1995). Jurassic and Early Cretaceous island arcvolcanism, extension and subsidence in the Coast Range of central Chile. *GSA Bulletin*, 107, 1427-1440.

Vessel, R. & Davies, D.K. (1981). Nonmarine Sedimentation in an Active Fore Arc Basin. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, 31, 31-45.

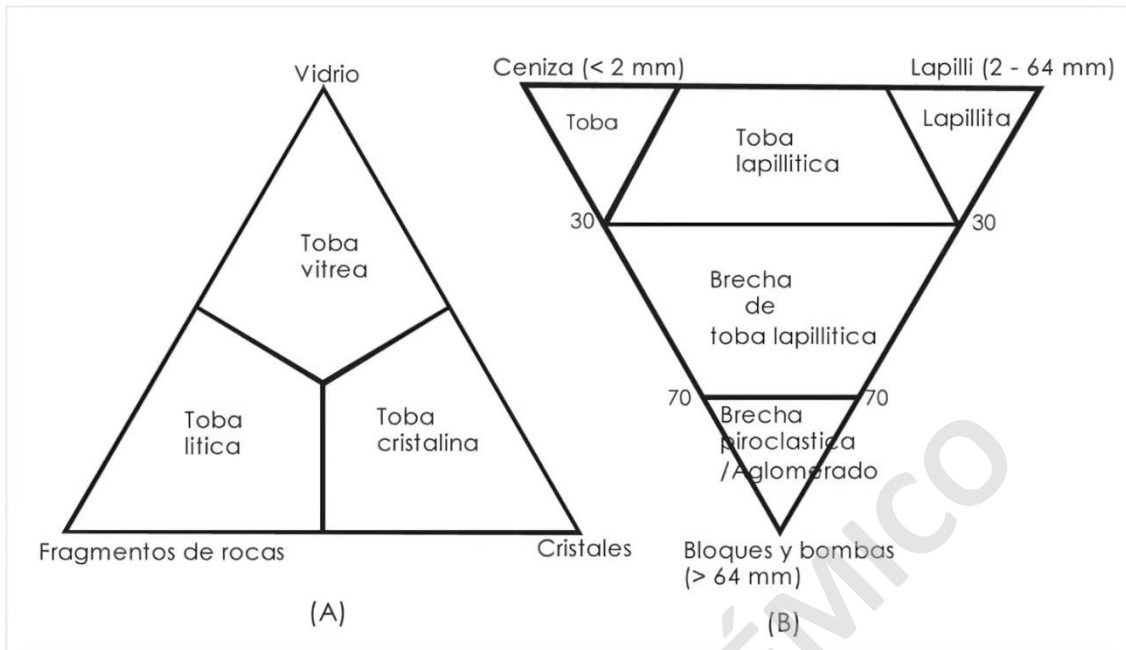
SOLO USO ACADÉMICO

7. Anexos

7.1. Diagramas y tablas de clasificación petrográfica



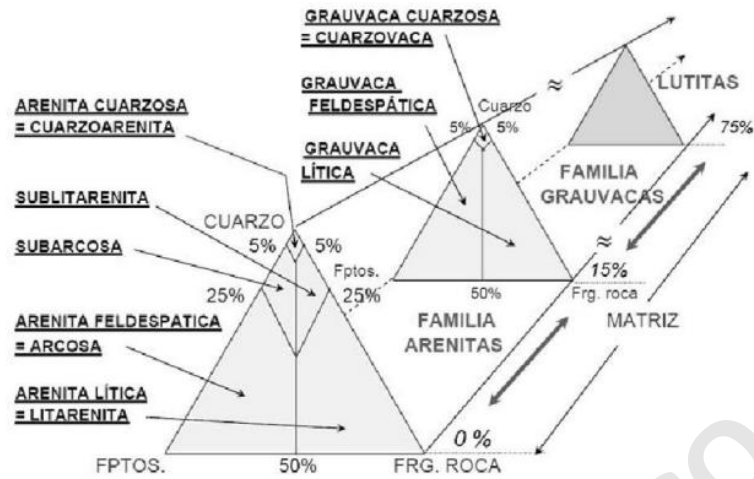
Anexo 1: Diagrama de clasificación de rocas ígneas extrusivas (Streckeisen, 1976).



Anexo 1.1: Diagrama de clasificación de rocas piroclásticas (Schmid, 1981).

Millimeters (mm)	Micrometers (μm)	Phi (ϕ)	Wentworth size class	Rock type	
4096		-12.0	Boulder	Conglomerate/ Breccia	
256		-8.0	Cobble		
64		-6.0	Pebble		
4		-2.0	Granule		
2.00		-1.0	Very coarse sand		
1.00		0.0	Coarse sand	Sandstone	
1/2	500	1.0	Medium sand		
1/4	250	2.0	Fine sand		
1/8	125	3.0	Very fine sand		
1/16	63	4.0	Coarse silt		
1/32	31	5.0	Medium silt	Siltstone	
1/64	15.6	6.0	Fine silt		
1/128	7.8	7.0	Very fine silt		
1/256	3.9	8.0	Clay	Mud	Claystone
0.00006	0.06	14.0			

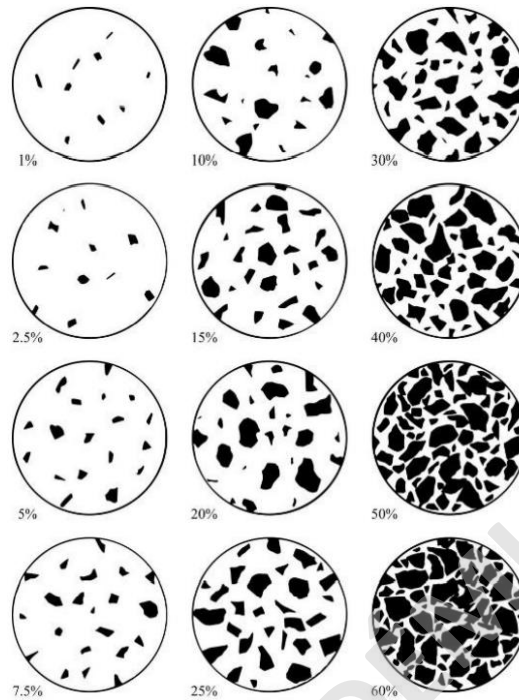
Anexo 1.2: Tabla de clasificación de rocas sedimentarias clásticas por granulometría (Wentworth 1922, modificado por Hallsworth & Knox 1999).



Anexo 1.3: Diagrama de clasificación de rocas siliciclásticas por composición (Pettijohn, 1973)

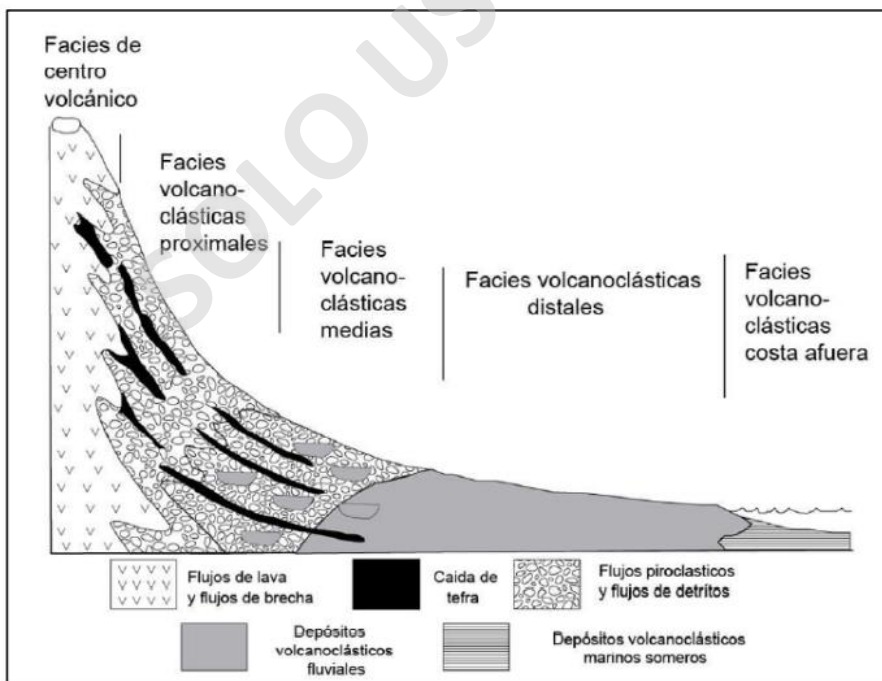
high sphericity						
low sphericity						
	0 very angular	1 angular	2 subangular	3 subrounded	4 rounded	5 well-rounded

Anexo 1.4: Tabla de clasificación de redondez y esfericidad de granos (Powers 1953, modificado por Tucker 1991 & Pettijohn et al. 1987).



Anexo 1.5: Estimación de porcentajes según componentes de roca, basado en Terry & Chillingar (1995).

9.2 Litofacies y ambientes de deposición



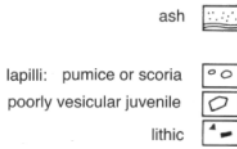
Anexo 2: Facies de rocas volcánicas y volcánico-clásticas (Vessel & Davies, 1981).

deposits from explosive magmatic and phreatomagmatic eruptions:

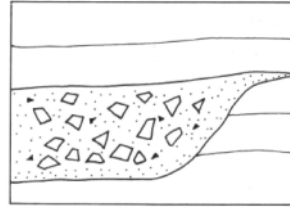
- composed of crystals, pumice or scoria clasts, other less vesicular juvenile clasts, lithic fragments
- pumice or scoria and other juvenile clasts show porphyritic texture, or are aphanitic
- abundant crystal fragments in matrix
- lithic clasts sparse to abundant

explosive magmatic

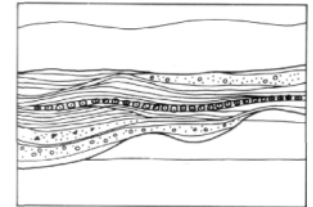
- abundant bubble-wall glass shards in matrix
- pumice or scoria clasts usually have wispy or ragged margins, and lenticular, platy or blocky shapes
- accretionary lapilli occur
- welded or non-welded



pyroclastic flow deposits:
block and ash flow deposit, or scoria and ash flow deposit



pyroclastic surge deposits:



Anexo 2.1: Características de depósitos piroclásticos (McPhie et al., 1993).

9.3 Base de datos de la campaña 2022

NOMBRE MUESTRA	COORD_ESTE	COORD_NORTE	LOCALIDAD	ALTURA	RUMBO	MANTEO
AH01	3444000	7117712	El Niche	455		
AH02	3444097	7117764	El Niche	438	N75E	10SE
AH03	3444117	7117754	El Niche	417		
AH04 - AH04B	3444253	7117990	El Niche	427	N20	7SE
AH05	3444367	7117984	El Niche	438		
AH06	3444441	7117978	El Niche	418	N10E	15SE
AH07	3444516	7117955	El Niche	412	EW	8S
AH08	3444559	7117921	El Niche	434		
AH09	3445510	7117567	San Marcos	285	N20E	25SE
AH09B	3445510	7117567	San Marcos	285	N5E	15SE
AH10	3445463	7117589	San Marcos	323	N28E	27SE
AH11	3445446	7117614	San Marcos	303	N55E	5SE
AH12	3445404	7117631	San Marcos	346		
AH13	3445363	7117649	San Marcos	345		
AH14	3445069	7117680	San Marcos	367		
AH15	3445712	7117570	San Marcos	276		
AH16	3445808	7117592	San Marcos	248		
AH17	3445822	7117614	San Marcos	237		
AH18	302164	6183930	El Inca	257	40/238;25/149 (D/dd)	
AH19	302226	6183918	El Inca	247	35/74 (D/dd)	
AH20	302259	6183938	El Inca	224		
AH21	302266	6183944	El Inca	236	20/341	
AH22	302274	6183946	El Inca	234		


NOMBRE MUESTRA	COORD_ESTE	COORD_NORTE	LOCALIDAD	ALTURA	RUMBO	MANTEO
AH23	302386	6183942	El Inca	240		
AH24	302519	6183824	El Inca	253		
AH25	302524	6183806	El Inca	250		
AH26	302526	6183808	El Inca	249		
AH27	302588	6183772	El Inca	286		
AH28	302501	6183714	El Inca	300		
AH29	302458	6183714	El Inca	298		
AH30	302353	6183763	El Inca	293		
AH31	302294	6183747	El Inca	280	20/009	
AH32	302237	6183754	El Inca	272		
AH33	302257	6183735	El Inca	273		
AH34-C	301957	6184175	El Inca	275		
AH34-V	301957	6184175	El Inca	275	20/241	
AH34-L	301957	6184175	El Inca	275	22/243	
AH35	301951	6184144	El Inca	273		
AH36	301953	6184206	El Inca	271		
AH37-A	301706	6184242	El Inca	237	10/116	
AH37-TL	301706	6184242	El Inca	235		
AH37-TC	301706	6184242	El Inca	239	15/009	
AH38	303056	6183615	El Inca	224		
AH39	301366	6184092	La Laguna	222		
AH40	301406	6184159	El Inca	224		
AH41	304071	6181472	Cuchipuy	202		
AH42	303558	6181275	Cuchipuy	202		
AH43	303414	6181203	Cuchipuy	213		
AH44	303055	6181292	Cuchipuy	199		
AH45-A	301682	6183263	Cuchipuy	188	N30W	5NE
AH45-C	301682	6183263	Cuchipuy	188		
AH46	303526	6181639	Pukara	269		
AH47	303725	6182148	Pukara	324		
AH48	303307	6182817	Pukara	412		
AH48	303307	6182817	Pukara	418		
AH49-v	303264	6182865	Pukara	428	20/119	
AH49-l	303264	6182865	Pukara	428	20/107	
AH49-c	303264	6182865	Pukara	428		

NOMBRE MUESTRA	COORD_ESTE	COORD_NORTE	LOCALIDAD	ALTURA	RUMBO	MANTEO
AH50	303248	6182945	Pukara	439		
AH51	303303	6183016	Pukara	443	15/128	
AH52	303312	6183039	Pukara	444	15/126	
AH53	303325	6183127	Pukara	460		
AH54	303443	6183285	Pukara	441		
AH55	303561	6183309	Pukara	419		
AH56	303606	6183260	Pukara	417		
AH57	303635	6183195	Pukara	405		
AH58	303597	6183040	Pukara	408		
AH59	303540	6183018	Pukara	409	25/279;35/291	
AH60	303571	6182821	Pukara	399		
AH61	303514	6182763	Pukara	392		
AH62	303507	6182712	Pukara	383		
AH63	303516	6182636	Pukara	381		
AH64	303539	6182540	Pukara	374		
AH65	303725	6182474	Pukara	354		
AH66	303772	6182484	Pukara	352		
AH67	304093	6182518	Pukara	351		
AH68	304147	6182428	Pukara	366		
AH69	304070	6182423	Pukara	375		
AH70	303825	6181992	Pukara	341		
AH71	303543	6181661	Pukara	273		
AH71	303543	6181661	Pukara	273		
AH72	303260	6181482	Pukara	236		
AH73	303181	6181417	Pukara	225		
AH74	304342	6182523	Cuchipuy	331		
AH75	304470	6182356	Cuchipuy	333		
AH76	304503	6182337	Cuchipuy	344		
AH77	304514	6182300	Cuchipuy	353		
AH78	304508	6182302	Cuchipuy	360		
AH79	304575	6182350	Cuchipuy	359		
AH80	304644	6182435	Cuchipuy	354		
AH81	304741	6182379	Cuchipuy	359		
AH82	304807	6182400	Cuchipuy	375		
AH83	304848	6182427	Cuchipuy	377		


AH84	304989	6182609	Cuchipuy	410		
AH85	305677	6182742	Cuchipuy	381		
AH86	304994	6182754	Cuchipuy	391		
AH87	304973	6182777	Cuchipuy	389	15/32;25/37;10/354	
AH88	300988	6183984	La Laguna	225	10/264	

Anexo 3: Tabla de los puntos de control de la campaña 2022.


9.4 Descripciones petrográficas de la Formación Altos de Hualmapu

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH01					
Coordenadas (E, N)					
3444000	7117712				
Textura					
Porfídica					
Índice de color					
leucocrático					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	35	5-3/<2	subhedral	Qz	-
Feld-K	5	<2	anhedral	A	12.50
Máficos	20	3-1mm	subhedral	P	87.50
Masa fundamental	40	-	-	Total	100
Observaciones					
Presenta gran contenido de Plg; máficos alterados a óxidos de Fe					
Nombre de roca					
Andesita - basáltica de Hbl					


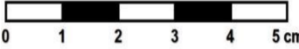
Anexo 4

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH02					
Coordenadas (E, N)					
3444097	7117764				
Textura					
Porfídica					
Índice de color					
mesocrática					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	30	5-3/<2	subhedral	Qz	-
Feld-K	10	3-1mm	anhedral	A	25
Máficos	20	3-1mm	subhedral	P	75
Masa fundamental	40	-	-	Total	100
Observaciones					
Máficos presentan familias de Hbl y Bt; presenta leve porosidad					
Nombre de roca					
Andesita de Hbl					

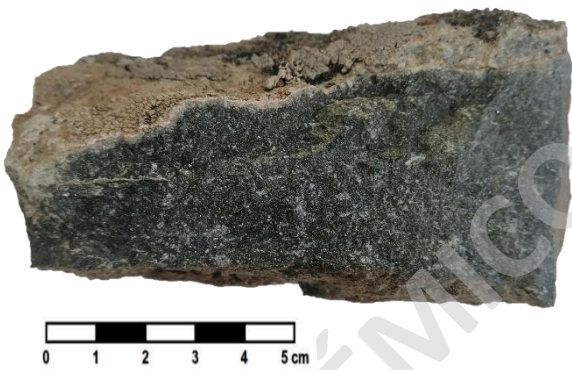
Anexo 4.1

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH03					
Coordenadas (E, N)					
3444117	7117754				
Textura					
porfídica					
Índice de color					
mesocrática					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	35	5-3/<2	subhedral	Qz	-
Feld-K	5	<2	anhedral	A	12.50
Máficos	20	3-1mm	subhedral	p	87.50
Masa fundamental	40	-	-	Total	100
Observaciones					
Nombre de roca					
Andesita de Hbl					


Anexo 4.2

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH04					
Coordenadas (E, N)					
3444253	7117990				
Textura					
porfídica					
Índice de color					
mesocrática					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	25	3-1mm	subhedral	Qz	-
Feld-K	5	<2	anhedral	A	16.67
Máficos	20	3-1mm	subhedral	p	83.33
Masa fundamental	50	-	-	Total	100
Observaciones					
aumento de contenido de máficos (Hbl-Bt)					
Nombre de roca					
Andesita de Hbl					


Anexo 4.3

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH05					
Coordenadas (E, N)					
3444367	7117984				
Textura					
porfídica					
Índice de color					
mesocrática					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	30	3-1mm	subhedral	Qz	-
Feld-K	5	<2	anhedral	A	14.29
Máficos	25	3-1mm	subhedral	p	85.71
Masa fundamental	40	-	-	Total	100
Observaciones					
Gran presencia de máficos (Hbl-Bt)					
Nombre de roca					
Andesita de Hbl					


Anexo 4.4

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH06					
Coordenadas (E, N)					
3444441	7117978				
Textura					
Porfídica					
Índice de color					
mesocrática					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	35	6-2 / <2	subhedral	Qz	-
Feld-K	5	<2	anhedral	A	12.50
Máficos	20	<2	subhedral	P	87.50
Masa fundamental	40	-	-	Total	100
Observaciones					
Alteración selectiva de máficos (Hbl-Bt) a Epidota (Se envió a geoquímica)					
Nombre de roca					
Andesita de Hbl					


Anexo 4.5

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH07					
Coordenadas (E, N)					
3444516	7117955				
Textura					
Porfídica					
Índice de color					
mesocrática					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	35	<2	subhedral	Qz	-
Feld-K	10	<2	anhedral	A	22.22
Máficos	20	3-1mm	subhedral	p	77.78
Masa fundamental	35	-	-	Total	100
Observaciones					
gran contenido de feldespatos tamaño fino (<1 mm); presenta óxidos de Fe					
Nombre de roca					
Andesita de Hbl					


Anexo 4.6

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH08					
Coordenadas (E, N)					
3444441	7117978				
Textura					
Porfídica					
Índice de color					
mesocrática					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	35	6-2 / <2	subhedral	Qz	-
Feld-K	5	<2	anhedral	A	12.50
Máficos	20	<2	subhedral	P	87.50
Masa fundamental	40	-	-	Total	100
Observaciones					
Alteración selectiva de máficos (Hbl-Bt) a Epidota (Se envió a geoquímica)					
Nombre de roca					
Andesita de Hbl					


Anexo 4.7

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH09					
Coordenadas (E, N)					
3445510	7117567				
Textura					
Porfídica					
Índice de color					
Mesocrática					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	30	6-2/<2	Subhedral	Qz	-
Feld-K	10	3-1	Anhedral	A	25
Máficos	15	<2	Subhedral	P	75
Masa fundamental	45	-	-	Total	100
Observaciones					
Presenta Plg macladas y óxidos de fe					
Nombre de roca					
Andesita de Hbl					


Anexo 4.8

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas				
Código muestra				
AH09-B				
Coordenadas (E, N)				
3445510	7117567			
Fábrica				
Matriz-soportado				
Textura				
Piroclástica				
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma	Redondez
Líticos	30	4 – 10	Subanguloso	Subredondeado
Cx	Plg	15	3 - 1 subhedral a euhedral	-
	Feld. A.	5	3 - 1 anhedral	-
	Máficos	10	< 2 subhedral	-
Matriz	40	-	vítrea	-
Total	100	-	-	-
Observaciones				
presenta estructura de flujo laminar y accidentales de erupciones previas				
Clasificación				
Toba lítica de lapilli de composición dacítica				


Anexo 4.9

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH10					
Coordenadas (E, N)					
3445463	7117589				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	8 – 3	Subanguloso	Subredondeado	
Cx	Plg	25	3 – 1	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	15	3 – 1	subhedral	-
Matriz	35	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
Clasificación					
Toba cristalina de lapilli de composición dacítica					


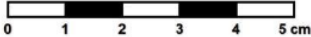
Anexo 4.10

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH11					
Coordenadas (E, N)					
3445446	7117614				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	10 – 30	Subanguloso	Subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	< 2	subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta fragmentos accesorios de lavas andesíticas de erupciones previas					
Clasificación					
Toba vítrea de composición andesítica					


Anexo 4.11

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH12					
Coordenadas (E, N)					
3445404	7117631				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	50 – 2	Subanguloso	Subredondeado	
Cx	Plg	20	3 – 1	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	15	3 - 1	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta fragmentos accidentales de erupciones previas (andesitas)					
Clasificación					
Toba cristalina de lapilli de composición dacítica					


Anexo 4.12

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH13					
Coordenadas (E, N)					
3445363	7117649				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	15	30 – 10	Subanguloso	Subredondeado	
Cx	Plg	25	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	15	< 2	anhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta fragmentos accesorios de lavas andesíticas de erupciones previas					
Clasificación					
Toba Cristalina de composición andesítica a Dacítica					


Anexo 4.13

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH14					
Coordenadas (E, N)					
3445069	7117680				
Textura					
porfídica					
Índice de color					
mesocrático					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	10	<2	subhedral	Qz	-
Feld-K	5	<2	anhedral	A	33.33
Máficos	25	<2	subhedral	p	66.67
Masa fundamental	55	-	-	Total	100
Observaciones					
bajo contenido de Plg (microcristalino), máficos destacan sobre una masa fundamental predominante.					
Nombre de roca					
Andesita de Hbl					


Anexo 4.14

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH15					
Coordenadas (E, N)					
3445712	7117570				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	5	3 - 5	Subanguloso	Subredondeado	
Cx	Plg	10	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	70	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
Clasificación					
Toba vítrea de composición andesítica					


Anexo 4.15

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas				
Código muestra				
AH16				
Coordenadas (E, N)				
3445808	7117592			
Fábrica				
Matriz-soportado				
Textura				
Piroclástica				
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez
Líticos	20	< 3	Subanguloso	Subredondeado
Cx	Plg	20	subhedral	-
	Feld. A.	5	Anhedral	-
	Máficos	10	Anhedral	-
Matriz	45	-	Vítrea	-
Total	100	-	-	-
Observaciones				
presenta alteración selectiva a feldespatos				
Clasificación				
Toba vítrea de composición andesítica a dacítica				


Anexo 4.16

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH17					
Coordenadas (E, N)					
3445822	7117614				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	10	< 3	Subanguloso	Subredondeado	
Cx	Plg	15	3 – 1	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Anhedral	-
Matriz	60	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta óxidos de Mn (pirolusita)					
Clasificación					
Toba vítrea de lapilli de composición dacítica					

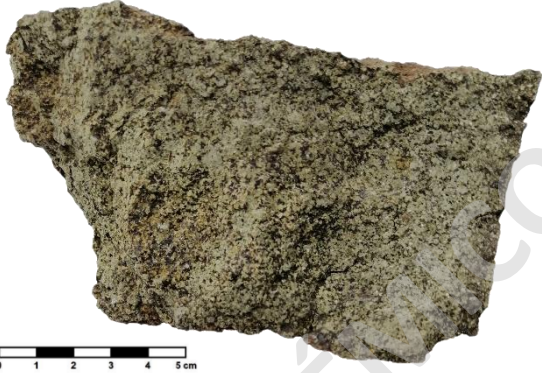
Anexo 4.17

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH18					
Coordenadas (E, N)					
302164	6183930				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	10	< 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	30	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	15	< 2	subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
roca muy meteorizada (no hay muestra), presenta estructuras de flujo laminar y ondulado					
Clasificación					
Toba cristalina de composición Dacítica					


Anexo 4.18

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH19					
Coordenadas (E, N)					
302226	6183918				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	5	< 3	Subanguloso	Subredondeado	
Cx	Plg	35	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	15	< 2	Anhedral	-
	Máficos	15	< 2	Anhedral	-
Matriz	30	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta accesorios de erupciones previas					
Clasificación					
Toba cristalina de composición andesítica					


Anexo 4.19

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH20					
Coordenadas (E, N)					
302259	6183938				
Textura					
porfídica					
Índice de color					
mesocrático					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	15	<2	subhedral	Qz	-
Feld-K	10	<2	anhedral	A	40
Máficos	20	<2	anhedral	P	60
Masa fundamental	55	-	-	Total	100
Observaciones					
Roca más competente que su alrededor, presenta óxidos de Fe.					
Nombre de roca					
Andesita de Hbl					


Anexo 4.20

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH21					
Coordenadas (E, N)					
302266	6183944				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	5 – 40	Subanguloso	Subredondeado	
Cx	Plg	15	2 – 6	subhedral	-
	Feld. A.	10	2 – 5	anhedral	-
	Máficos	10	2 – 5	Subhedral	-
Matriz	35	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta fragmentos accesorios de lavas andesíticas de erupciones previas (¿andesitas?)					
Clasificación					
Toba de lapilli lítica de composición andesítica a dacítica					


Anexo 4.21

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH22					
Coordenadas (E, N)					
302274	6183946				
Textura					
porfídica					
Índice de color					
mesocrático					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	25	3-1mm	subhedral	Qz	-
Feld-K	10	<2	anhedral	A	28.57
Máficos	15	3-1mm	subhedral	p	71.43
Masa fundamental	50	-	-	Total	100
Observaciones					
máficos bien conservados presentan óxidos de Fe.					
Nombre de roca					
Andesita de Hbl/Bt					


Anexo 4.22

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH23					
Coordenadas (E, N)					
302386	6183942				
Textura					
porfídica					
Índice de color					
leucocrático					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	30	3-1mm	subhedral	Qz	-
Feld-K	10	<2	Anhedral	A	25
Máficos	20	<2	anhedral	P	75
Masa fundamental	40	-	-	Total	100
Observaciones					
sobre andesita se presenta 2m de tobas líticas					
Nombre de roca					
Andesita de Hbl					


Anexo 4.23

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH24					
Coordenadas (E, N)					
302519	6183824				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	40	3 – 8	Subanguloso	Subredondeado	
Cx	Plg	20	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Anhedral	-
Matriz	25	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta fragmentos accesorios de lavas andesíticas de erupciones previas (andesitas?)					
Clasificación					
Toba lítica de composición andesítica a dacítica					


Anexo 4.24

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH25					
Coordenadas (E, N)					
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	-	-	Subanguloso		
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	-	-	-	-
	Máficos	5	< 2	Subhedral	-
Matriz	80	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
posibles fiammes?					
Clasificación					
Toba vítrea de composición andesítica					


Anexo 2.25

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH26					
Coordenadas (E, N)					
302526	6183808				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	5	4 – 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	25	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	15	< 2	Anhedral	-
Matriz	50	-	¿Microcristalina?	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta mxs alterados de tonalidad azul?					
Clasificación					
Toba cristalina de composición andesítica					


Anexo 4.26

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH27					
Coordenadas (E, N)					
302588	6183772				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	5	< 3	Subanguloso	Subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	-	-		-
	Máficos	25	< 2	Anhedral	-
Matriz	55	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta leve porosidad					
Clasificación					
Toba amigdaloidal Cristalina de composición andesítica					


Anexo 4.27

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH28					
Coordenadas (E, N)					
302501	6183714				
Textura					
porfídica					
Índice de color					
mesocrático					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	20	subhedral	3 - 1	Qz	-
Feld-K	-	-	-	A	-
Máficos	20	subhedral	< 2	P	100
Masa fundamental	60	-	-	Total	100
Observaciones					
textura afanítica microcristalina					
Nombre de roca					
Andesita micro porfídica de Hbl/Bt					

Anexo 4.28

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH29					
Coordenadas (E, N)					
302458	6183714				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	15	< 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	10	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	< 2	subhedral	-
Matriz	45	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta alta meteorización					
Clasificación					
Toba cristalina de composición andesítica					


Anexo 4.29

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH30					
Coordenadas (E, N)					
302353	6183763				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	25	4 – 2	Subanguloso	Subredondeado	
Cx	Plg	20	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	15	< 2	Anhedral	-
Matriz	55	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta leve porosidad					
Clasificación					
Toba lítica cristalina de composición andesítica a dacítica					


Anexo 4.30

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH31					
Coordenadas (E, N)					
302294	6183747				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica		¿			
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	25	4 – 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	< 3	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	15	< 3	Subhedral	-
Matriz	55	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta estructuras de flujo laminar					
Clasificación					
Toba lítica cristalina de composición andesítica a dacítica					

Anexo 4.31

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH32					
Coordenadas (E, N)					
302237	6183754				
Textura					
porfídica					
Índice de color					
mesocrático					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	20	< 2	subhedral	Qz	-
Feld-K	-	-	-	A	
Máficos	15	< 2	anhedral	P	100
Masa fundamental	65	-	-	Total	100
Observaciones					
Presenta magnetismo moderado					
Nombre de roca					
Andesita de Hbl					


Anexo 4.32

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH33					
Coordenadas (E, N)					
302257	6183735				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	3 – 8	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Anhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta estructura de flujo laminar					
Clasificación					
Toba lítica de composición dacítica					


Anexo 4.33

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH34-C					
Coordenadas (E, N)					
301957	6184175				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	15	< 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	25	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	15	< 2	Anhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta estructura de flujo turbulento					
Clasificación					
Toba cristalina de composición Dacítica					


Anexo 4.34

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH34-V					
Coordenadas (E, N)					
301957	6184175				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	5	< 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	3	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	-	-	-	-
	Máficos	2	< 2	Subhedral	-
Matriz	90	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta estructuras de flujo turbulento y plano paralelo					
Clasificación					
Toba vítrea de composición andesítica					

Anexo 4.35

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH34-L					
Coordenadas (E, N)					
301957	6184175				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	40	3 - 5	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	-	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	30	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta estructuras de flujo plano paralelo					
Clasificación					
Toba lítica de lapilli de composición andesítica					


Anexo 4.36

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH35					
Coordenadas (E, N)					
301951	6184144				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	8 - 4 cm / < 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
roca muy meteorizada (sin muestra)					
Clasificación					
Toba lítica de composición dacítica					

Anexo 4.37

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH36					
Coordenadas (E, N)					
301953	6184206				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica		¿			
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	25	3 – 10	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	25	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	15	< 2	Subhedral	-
Matriz	30	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta estructura de flujo turbulento y plano paralela					
Clasificación					
Toba cristalina de composición Dacítica					

Anexo 4.38

Código de muestra		Descripción rocas sedimentarias siliciclásticas			
AH37 - A					
Coordenadas (E, N)					
301706	6184242				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Clástica					
Grado selección					
Muy buena					
Madurez Textural					
Madura					
Madurez Composicional					
Submadura					
Composición (%)		Granos normalizado (%)	Tamaño Grano (mm)	Esfericidad	Redondez
Feldespatos	40	65	< 2	Media a alta	subredondeado
Máficos	10	17,5	< 2	Alta	subredondeado
Líticos	10	17,5	2 - 5	Media a alta	redondeado
Matriz	40	-	< 1	-	-
Total	100	100	-	-	-
Observaciones					
roca sed con gran contenido volcánico (Pig)/clasto soportada? -presenta estructuras plano-paralelas					
Clasificación textural			Clasificación composicional		
Arenisca			Arcosa (feldespática)		


Anexo 4.39

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH37-TL					
Coordenadas (E, N)					
301706	6184242				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica		¿i?			
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	25 – 5 / < 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	25	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	< 2	anhedral	-
Matriz	30	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta líticos >10cm de erupciones previas					
Clasificación					
Toba lítica de composición dacítica					


Anexo 4.40

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH37-TC					
Coordenadas (E, N)					
301706	6184242				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	10 – 5 / < 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	30	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	15	< 2	Subhedral	-
Matriz	30	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta estructura de flujo turbulento y plano paralela					
Clasificación					
Toba cristalina de composición Dacítica					


Anexo 4.41

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH38					
Coordenadas (E, N)					
303056	6183615				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	4 – 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	30	3 – 1	subhedral	-
	Feld. A.	10	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	30	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
estructura plano-paralela/ presenta clastos de 5 hasta 15 cm					
Clasificación					
Toba lítica de lapilli de composición andesítica a dacítica					

Anexo 4.42

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH39					
Coordenadas (E, N)					
301366	6184092				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	4 – 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	35	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	30	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta clastos con bordes de reacción					
Clasificación					
Toba cristalina de composición andesítica					


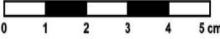
Anexo 4.43

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH40					
Coordenadas (E, N)					
301406	6184159				
Textura					
porfídica					
Índice de color					
melanocrato					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	25	< 2	anhedral	Qz	-
Feld-K	5	< 2	anhedral	A	17
Máficos	15	< 2	subhedral	P	83
Masa fundamental	55	-	-	Total	100
Observaciones					
Presenta leve magnetismo					
Nombre de roca					
Andesita de Bt					

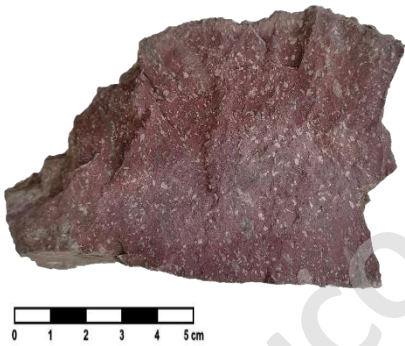
Anexo 4.44

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH41					
Coordenadas (E, N)					
304071	6181472				
Textura					
Porfídica					
Índice de color					
mesocrático		corte			
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	30	3 - 1	subhedral	Qz	-
Feld-K	10	< 2	anhedral	A	25
Máficos	15	< 2	anhedral	P	75
Masa fundamental	55	-	-	Total	100
Observaciones					
gran densidad de cxs					
Nombre de roca					
andesita de pxs/hlb					

Anexo 4.45

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH42					
Coordenadas (E, N)					
303558	6181275				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	50 – 10	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	10	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	-	-	-	-
	Máficos	5	< 2	Subhedral	-
Matriz	55	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
<p>presenta accesorios de andesitas de erupciones previas de hasta 3 cm / dado su alto grado de alteración superficial no se logran reconocer algunos mxs</p>					
Clasificación					
Toba vítrea De composición andesítica					


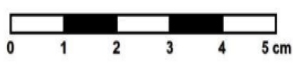
Anexo 4.46

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH43					
Coordenadas (E, N)					
303414	6181203				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	10	< 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	15	3 – 1	Subhedral	-
Matriz	50	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta fiammes					
Clasificación					
Toba vítrea de lapilli de composición dacítica					


Anexo 4.47

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH44					
Coordenadas (E, N)					
303055	6181292				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	15	5 – 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	3 - 1	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	50	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta accidentales de andesitas de erupciones previas - amígdalas rellenas de clorita					
Clasificación					
Toba lítica amigdaloidal de lapilli de composición andesítica/dacítica					

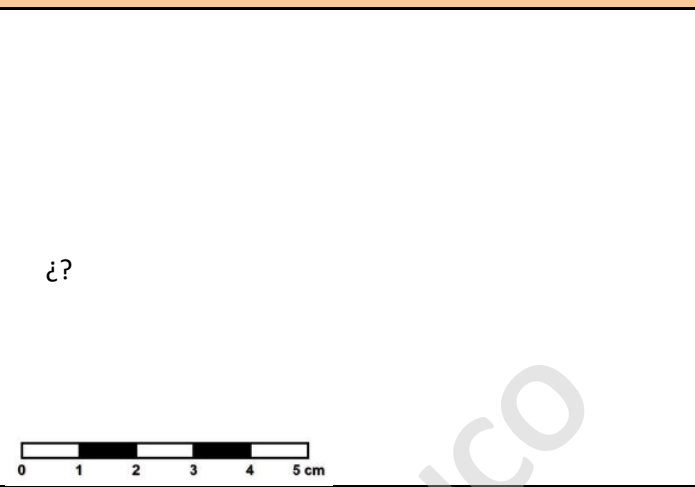
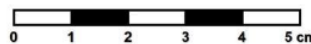
Anexo 4.48

Código de muestra		Descripción rocas sedimentarias siliciclásticas			
AH45 - A					
Coordenadas (E, N)					
301682	6183263				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Clástica					
Grado selección					
Muy buena					
Madurez Textural					
Madura					
Madurez Composicional					
Submadura					
Composición (%)		Granos normalizado (%)	Tamaño Grano (mm)	Esfericidad	Redondez
Feldespatos	30	43	< 2	media	Subredondeado
Máficos	10	14	< 2	media	Subredondeado
Líticos	30	43	< 3	alta	redondeado
Matriz	30	-	< 1	-	-
Total	100	100	-	-	-
Observaciones					
presenta sucesiones cada 1m con niveles de conglomerados y laminación plano-paralela					
Clasificación textural			Clasificación composicional		
Arenisca media			Arenisca feldespática		


Anexo 4.49

Código de muestra		Descripción rocas sedimentarias siliciclásticas			
AH45 - C					
Coordenadas (E, N)					
301682	618326 3				
Fábrica					
Clasto-soportado					
Textura					
Clástica					
Grado selección					
Bien seleccionado					
Madurez Textural					
Madura					
Madurez Composicional					
Submadura					
Composición (%)		Granos normalizado (%)	Tamaño Grano (mm)	Esfericidad	Redondez
Feldespatos	15	21	< 2	Alta	Redondeado
Máficos	10	14	< 2	Media	Redondeado
Líticos	45	65	5 - 2 cm	Media	Subredondeado
Matriz	30	-	< 1	-	-
Total	100	100	-	-	-
Observaciones					
presenta sucesiones con niveles de areniscas líticas y leve imbricación					
Clasificación textural			Clasificación composicional		
Conglomerado			Conglomerado Silíceo		


Anexo 4.50

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH46					
Coordenadas (E, N)					
303526	6181639				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	10	< 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	15	3 – 1	Subhedral	-
Matriz	50	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta fiammes					
Clasificación					
Toba vítrea de lapilli de composición dacítica					


Anexo 4.51

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH48 - L					
Coordenadas (E, N)					
303307	6182817				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	25	30 - 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	3 - 1	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	15	3 - 1	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta variaciones composicionales hacia "Base" (toba vítrea)					
Clasificación					
Toba lítica de lapilli de composición dacítica					


Anexo 4.52

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH49 - V					
Coordenadas (E, N)					
303264	6182865				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura		Piroclástica			
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	25	30 - 10	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	10	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	-	-	-	-
	Máficos	20	4 - 2	Subhedral	-
Matriz	45	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
muestra forma parte de columna (ah49) donde se observa variación composicional aumentando los líticos					
Clasificación					
Toba vítrea/lítica vesicular de lapilli de composición dacítica					


Anexo 4.53

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra		Buscar afloramiento			
AH49 - L					
Coordenadas (E, N)					
303264	6182865				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	15 – 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	3 – 1	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	3 – 1	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
forma parte de la columna local (ah49) donde se presenta variación composicional aumentado líticos hacia el "techo", se intercala con toba vítrea					
Clasificación					
Toba lítica de lapilli vesicular de composición dacítica					

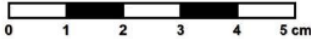
Anexo 4.54

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH49 - C					
Coordenadas (E, N)					
303264	6182865				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	15	8 – 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	3 – 1	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	20	3 – 1	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
forma parte de la base de la columna local (ah49) donde se presenta variación composicional aumentado líticos hacia el "techo"					
Clasificación					
Toba cristalina de lapilli vesicular de composición dacítica					


Anexo 4.55

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH50					
Coordenadas (E, N)					
303248	6182945				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	30 – 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
clastos centimétricos de erupciones previas					
Clasificación					
Toba lítica amigdaloidal de composición andesítica					


Anexo 4.56

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH51					
Coordenadas (E, N)					
303303	6183016				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	30 – 10	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	15	< 2	Subhedral	-
Matriz	30	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta estructuras de flujo plano paralelo, presenta estrías de falla					
Clasificación					
Toba lítica - cristalina vesicular de composición dacítica					

Anexo 4.57

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH52					
Coordenadas (E, N)					
303312	6183039				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	10 - 30 mm	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	-	-	-	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	55	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
vesículas con tamaño de 3 - 6 cm/ vesículas orientadas en la estratificación / amígdalas rellenas de pómez / presenta accidentales de erupciones previas (andesita)					
Clasificación					
Toba vítrea amigdaloidal - vesicular de composición andesítica					


Anexo 4.58

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH53					
Coordenadas (E, N)					
303325	6183127				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	5	5 – 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	3	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	-	-	-	-
	Máficos	2	< 2	Subhedral	-
Matriz	90	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta vesículas orientadas, presenta accidentales de erupciones previas					
Clasificación					
Toba vítrea amigdaloidal - vesicular de composición andesítica					


Anexo 4.59

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH54					
Coordenadas (E, N)					
303443	6183285				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	< 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	-	-	-	-
	Máficos	15	< 2	Subhedral	-
Matriz	50	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta vesículas rellenas por pómez y accidentales de erupciones previas de andesitas					
Clasificación					
Toba vítrea amigdaloidal - vesicular de composición andesítica					


Anexo 4.60

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH55					
Coordenadas (E, N)					
303561	6183309				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura		Piroclástica			
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	-	-	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	3 – 1	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	70	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta amígdalas rellenas de pómez					
Clasificación					
Toba vítrea amigdaloidal - vesicular de lapilli de composición andesítica					


Anexo 4.61

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH56					
Coordenadas (E, N)					
303606	6183260				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	5 – 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	20	< 2	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta amígdalas rellenas de pómez de 20mm y accidentales de erupciones previas					
Clasificación					
Toba lítica amigdaloidal de composición dacítica					


Anexo 4.62

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH57					
Coordenadas (E, N)					
303635	6183195				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	15	20 – 10	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	10	5 – 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	60	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta amígdalas rellenas de pómez de hasta 30mm					
Clasificación					
Toba de lapilli vítrea amigdaloidal de composición andesítica					


Anexo 4.63

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH58					
Coordenadas (E, N)					
303597	6183040				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	5 – 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	50	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta amígdalas rellenas de pómez de hasta 30mm					
Clasificación					
Toba lítica vesicular de composición andesítica					


Anexo 4.64

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH59					
Coordenadas (E, N)					
303540	6183018				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura		Piroclástica			
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	5 – 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	3 – 1	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	15	3 – 1	Subhedral	-
Matriz	45	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta amígdalas rellenas de pómez y accidentales de erupciones previas					
Clasificación					
Toba lítica de lapilli amigdaloidal de composición dacítica					


Anexo 4.65

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH60					
Coordenadas (E, N)					
303571	6182821				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	20 - 5	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	4 - 1	subhedral	-
	Feld. A.	-	-	-	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta amígdalas rellenas de pómez, además de líticos de erupciones previas					
Clasificación					
Toba de lapilli lítica amigdaloidal de composición andesítica					

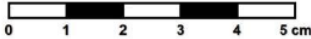
Anexo 4.66

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH61					
Coordenadas (E, N)					
303514	6182763				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	5 – 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	5 – 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	50	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta alto grado de meteorización (¿andesita?)					
Clasificación					
Toba de lapilli vítrea vesicular de composición andesítica					


Anexo 4.67

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH62					
Coordenadas (E, N)					
303507	6182712				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	5 - 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	3 - 1	subhedral	-
	Feld. A.	-	-	-	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	50	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta estructuras de flujo					
Clasificación					
Toba de lapilli vítrea amigdaloidal de composición andesítica					


Anexo 4.68

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra		¿?			
AH63					
Coordenadas (E, N)					
303516	6182636				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	5 – 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	3 – 1	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	Anhedral	-
	Máficos	15	3 - 1	Subhedral	-
Matriz	30	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta estructuras de flujo					
Clasificación					
Toba lítica vesicular de lapilli de composición dacítica					


Anexo 4.69

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH66					
Coordenadas (E, N)					
303772	6182484				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	10	4 – 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	25	5 – 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2		-
	Máficos	15	3 – 1	Subhedral	-
Matriz	45	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
amígdalas rellenas de pómez					
Clasificación					
Toba cristalina de lapilli de composición andesítica					


Anexo 4.70

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH67					
Coordenadas (E, N)					
304093	6182518				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura		Piroclástica			
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	-	-	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	20	< 2	anhedral	-
	Máficos	15	< 2	Subhedral	-
Matriz	50	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
ausencia de líticos?					
Clasificación					
Toba cristalina de composición Dacítica					

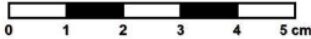
Anexo 4.71

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH68					
Coordenadas (E, N)					
304147	6182428				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura		<p>Piroclástica</p>			
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	4 - 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	15	< 2	anhedral	-
	Máficos	20	5 - 2	Subhedral	-
Matriz	45	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
gran presencia de mxs marcos					
Clasificación					
Toba cristalina de lapilli de composición dacítica					

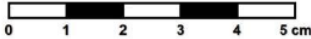
Anexo 4.72

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH70					
Coordenadas (E, N)					
303825	6181992				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura		Piroclástica			
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	5	5 – 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	15	5 – 3	Subhedral	-
Matriz	60	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta amígdala rellena de pómez					
Clasificación					
Toba vítrea de lapilli amigdaloidal de composición dacítica					


Anexo 4.73

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH71 - V					
Coordenadas (E, N)					
303543	6181661				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	-	-	-	-	
Cx	Plg	25	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	20	< 2	Subhedral	-
Matriz	50	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
intercalada con toba cristalina					
Clasificación					
Toba vítrea de composición andesítica					


Anexo 4.74

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH71 - C					
Coordenadas (E, N)					
303543	6181661				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	15	4 - 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	25	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	15	< 2	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
intercalada con toba vítrea					
Clasificación					
Toba cristalina de composición andesítica a dacítica					


Anexo 4.75

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH72					
Coordenadas (E, N)					
303260	6181482				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	5	3 – 1	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	20	< 2	anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz		-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
bajo contenido de líticos					
Clasificación					
Toba cristalina de composición Dacítica					

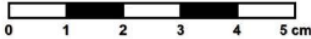
Anexo 4.76

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH73					
Coordenadas (E, N)					
303181	6181417				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	20 – 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	10	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	45	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
amígdalas rellenas de pómez					
Clasificación					
Toba lítica amigdaloidal de lapilli de composición andesítica					


Anexo 4.77

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH74					
Coordenadas (E, N)					
304342	6182523				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	15	5 – 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	10	< 2	anhedral	-
	Máficos	15	< 2	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta vetillas silíceas					
Clasificación					
Toba cristalina de composición Dacítica					


Anexo 4.78

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH78					
Coordenadas (E, N)					
304508	6182302				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	15	< 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	25	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	45	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
Clasificación					
Toba cristalina de composición andesítica a dacítica					


Anexo 4.79

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH79					
Coordenadas (E, N)					
304575	6182350				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	10 – 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	50	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
amígdalas rellenas de pómez					
Clasificación					
Toba amigdaloidal lítica de lapilli de composición andesítica					

Anexo 4.80

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH80					
Coordenadas (E, N)					
304644	6182435				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura		Piroclástica			
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	15	50 - 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	15	< 2	Subhedral	-
Matriz	45	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
líticos de hasta 5 cm (accesorios)					
Clasificación					
Toba cristalina de lapilli de composición andesítica a dacítica					


Anexo 4.81

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH81					
Coordenadas (E, N)					
304741	6182379				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	15	10 – 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	15	< 2	Subhedral	-
Matriz	50	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
máficos bien conservados					
Clasificación					
Toba cristalina de composición andesítica a dacítica					


Anexo 4.82

Descripción rocas ígneas extrusivas efusivas					
Código muestra					
AH82					
Coordenadas (E, N)					
304807	6182400				
Textura					
micro porfídica					
Índice de color					
mesocrático					
Composición	Porcentaje	Dimensiones (mm)	Forma	Composición Normalizada	
Qz	-	-	-	Mx	%
Plg	30	3 - 1 mm/<2	subhedral	Qz	-
Feld-K	5	< 2	anhedral	A	15
Máficos	20	< 3	subhedral	P	85
Masa fundamental	45	-	-	Total	100
Observaciones					
matriz microcristalina de Plg - PX/presenta leve magnetismo					
Nombre de roca					
Andesita de pxs					


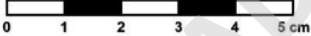
Anexo 4.83

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH83					
Coordenadas (E, N)					
304848	6182427				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura		<p>Piroclástica</p>			
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	20 – 5	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	15	< 2	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta accidentales >1cm de erupciones previas (andesitas)					
Clasificación					
Toba cristalina de composición andesítica a dacítica					


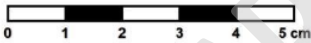
Anexo 4.84

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH84					
Coordenadas (E, N)					
304989	6182609				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	8 - 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	50	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta amígdalas rellenas de pómez					
Clasificación					
Toba vítrea lítica amigdaloidal de composición andesítica a dacítica					


Anexo 4.85

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH85					
Coordenadas (E, N)					
305677	6182742				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	20	5 - 2	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	20	3 - 1	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	15	3 - 1	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta vetillas silíceas					
Clasificación					
Toba cristalina de lapilli de composición dacítica					

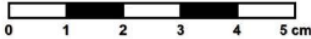
Anexo 4.86

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH86					
Coordenadas (E, N)					
304994	6182754				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	33	10 -3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Qz	10	4 - 2	subhedral	-
	Plg	15	< 3	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	7	< 2	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
amígdalas rellenas de pómez					
Clasificación					
Toba lítica de lapilli de composición dacítica					

Anexo 4.87

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH87					
Coordenadas (E, N)					
304973	6182777				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura		Piroclástica			
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	-	-	-	-	
Cx	Qz	30	< 2	subhedral	-
	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	-	-	-	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	45	-	¿Cristalina?	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
amígdalas rellenas de pómez					
Clasificación					
Toba cristalina de lapilli de composición dacítica					

Anexo 4.88

Descripción rocas ígneas extrusivas explosivas					
Código muestra					
AH88					
Coordenadas (E, N)					
300988	6183984				
Fábrica					
Matriz-soportado					
Textura					
Piroclástica					
Composición (%)		Tamaño componentes (mm)	Forma/Esfericidad	Redondez	
Líticos	30	< 3	Subanguloso	subredondeado	
Cx	Plg	15	< 2	subhedral	-
	Feld. A.	5	< 2	anhedral	-
	Máficos	10	< 2	Subhedral	-
Matriz	40	-	Vítrea	-	
Total	100	-	-	-	
Observaciones					
presenta accidentales <1cm de erupciones previas (andesitas)					
Clasificación					
Toba lítica de composición dacítica					

Anexo 4.89