



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA**



**HERENCIA MINERALÓGICA DEL MATERIAL
PARENTAL EN LOS FILOSILICATOS SECUNDARIOS
PRESENTES EN SUELOS VITIVINÍCOLAS DE LA ZONA
CENTRAL DE CHILE.**

Memoria para optar al Título de Geóloga

Paulina Carol Salgado De la Parra

Profesor Patrocinante: Dra. Ursula Kelm
Profesional Guía: MSc., Dra (c) Pamela Ivonne Castillo Lagos
Profesores Comisión: Dra. María Verónica Pineda Mascayano
MSc. Abraham Elías González Martínez

Concepción, 2019

*El vino no es ni uvas punzadas
ni agua endiablada de poniente malo
sino las fábulas de los cerros,
de los ríos, de las cuevas del mar
y de los animales.*



Gabriela Mistral

A mis padres.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo General	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
1.3. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	2
1.4. GEOMORFOLOGÍA	3
1.4.1. San Antonio	4
1.4.2. Santa Cruz	5
1.5. CLIMA, FLORA Y FAUNA	5
1.5.1. Clima	6
1.5.1.1. Zona de San Antonio	6
1.5.1.2. Zona de Santa Cruz	6
1.5.2. Flora	6
1.5.3. Fauna	8
1.6. MARCO TEÓRICO	8
1.6.1. Suelos	8
1.6.1.1. Generalidades	8
1.6.1.2. Factores y formación de suelos	10
1.6.1.3. Procesos de formación de suelos	11
1.6.2. Arcillas y Filosilicatos	12
1.6.2.1. Propiedades fisicoquímicas de los filosilicatos	12
1.6.2.2. Procesos de formación de filosilicatos en suelos	15
1.6.3. Metodología Analítica	16
1.6.3.1. Difracción de rayos X	16
1.7. TRABAJOS ANTERIORES	17
1.8. AGRADECIMIENTOS	18

2. MARCO GEOLÓGICO	20
2.1. VIÑA DE SAN ANTONIO	20
2.1.1. Rocas Intrusivas e Intrusivas Metamorfizadas	20
2.1.1.1. Dioritas metamorfizadas	20
2.1.1.2. Unidad San Antonio	22
2.1.2. Rocas Sedimentarias	23
2.1.2.1. Secuencia sedimentaria Malvilla	23
2.1.3. Depósitos No Consolidados	24
2.1.3.1. Depósitos fluviales	24
2.2. VIÑA DE SANTA CRUZ	25
2.2.1. Rocas Intrusivas	25
2.2.1.1. Unidad Apalta	25
2.2.2. Rocas Volcánicas	27
2.2.2.1. Andesitas Cerro Peñón	27
2.2.3. Depósitos No Consolidados y Semiconsolidados	27
2.2.3.1. Depósitos coluviales	27
2.2.3.2. Depósitos aluviales	28
2.2.3.3. Depósitos fluviales antiguos	28
2.2.3.4. Depósitos fluviales	28
3. METODOLOGÍA	29
3.1. ETAPA DE TERRENO	29
3.1.1. Descripción y Preparación de la Calicata	30
3.1.2. Muestreo de Suelo	32
3.2. ETAPA PRE-LABORATORIO	33
3.2.1. Análisis Granulométrico	33
3.2.1.1. Granulometría física: método del hidrómetro	33
3.2.1.2. Granulometría láser	34
3.2.2. Extracción de Materia Orgánica (M.O.)	35
3.2.2.1. Tratamiento con peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂).....	39
3.2.2.2. Tratamiento con solución de hipoclorito de sodio y ácido	

clorhídrico (NaClO + HCl)	39
3.2.2.3. Muestras sin extracción de M.O.	40
3.3. ETAPA DE LABORATORIO	40
3.3.1. Separación Limo-Arcilla	41
3.3.2. Difracción de Rayos X	42
3.3.2.1. Método del polvo	43
3.3.2.2. Método de los agregados orientados	43
3.3.3. Semicuantificación de Filosilicatos	43
3.3.4. Saturación con Cationes	45
3.3.4.1. Saturación con cloruro de magnesio	45
3.3.4.2. Saturación con cloruro de potasio	46
4. GEOLOGÍA LOCAL	47
4.1. VIÑA DE SAN ANTONIO	47
4.1.1. Cuartel CT.....	47
4.1.2. Cuartel CP	48
4.2. VIÑA DE SANTA CRUZ	49
4.2.1. Cuartel LI	50
4.2.2. Cuartel LP	50
5. MINERALOGÍA DE ROCAS Y SUELOS	53
5.1. GRANULOMETRÍA	53
5.1.1. San Antonio	53
5.1.1.1. Granulometría física	53
5.1.1.2. Granulometría láser	55
5.1.2. Santa Cruz	55
5.1.2.1. Granulometría física	55
5.1.2.2. Granulometría láser	56
5.2. PETROGRAFÍA	58
5.2.1. San Antonio	59
5.2.2. Santa Cruz.....	60
5.3. DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE ROCA TOTAL	62

5.3.1. San Antonio	62
5.3.1.1. Mineralogía de Rocas	62
5.3.1.2. Mineralogía de Suelos.....	63
5.3.2. Santa Cruz	64
5.3.2.1. Mineralogía de Rocas	64
5.3.2.2. Mineralogía de Suelos	64
6. MINERALOGÍA DE FILOSILICATOS EN LA FRACCIÓN ARGÍLICA	68
6.1. DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN AGREGADOS ORIENTADOS	68
6.1.1. San Antonio	68
6.1.1.1. Ocurrencia de filosilicatos en rocas	68
6.1.1.2. Ocurrencia de filosilicatos en la fracción argílica de suelos	69
6.1.1.3. Saturación con cationes	69
6.1.1.4. Semicuantificación de filosilicatos	70
6.1.2. Santa Cruz	72
6.1.2.1. Ocurrencia de filosilicatos en rocas	72
6.1.2.2. Ocurrencia de filosilicatos en la fracción argílica de suelos	73
6.1.2.3. Saturación con cationes	75
6.1.2.4. Semicuantificación de filosilicatos	77
6.2. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (C.I.C.)	79
6.2.1. San Antonio	79
6.2.2. Santa Cruz	79
6.2.3. Contexto Mundial	80
7. HERENCIA MINERALÓGICA DEL MATERIAL PARENTAL EN LOS FILOSILICATOS SECUNDARIOS DE LOS SUELOS	82
7.1. San Antonio	82
7.2. Santa Cruz	86
7.3. Relación entre Filosilicatos de la Fracción Arcilla y las Propiedades del Suelo	89
7.3.1. San Antonio	90
7.3.2. Santa Cruz	90

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
9. REFERENCIAS	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.1 Ubicación y accesos.....	3
1.2 Mapa geomorfológico de la Región de Valparaíso.....	4
1.3 Mapa geomorfológico de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	5
1.4 Zonas florísticas de la Zona Central de Chile.....	7
1.5 Composición volumétrica promedio de un suelo.....	9
1.6 Perfil idealizado de un suelo.....	10
1.7 Absorción y adsorción.....	14
1.8 Expansión de la esmectita.....	15
2.1 Mapa geológico del área de la viña de San Antonio.....	21
2.2 Columna de la Secuencia Malvilla.....	24
2.3 Mapa geológico del área de la viña de Santa Cruz.....	26
3.1 Ejemplo de calicata y sus horizontes.....	31
3.2 Niveles y horizontes en una calicata.....	31
3.3 Vista esquemática del perfil en la calicata bajo la planta estudiada.....	32
3.4 Difractograma muestra 1.....	36
3.5 Difractograma muestra 2.....	37
3.6 Difractograma muestra 3.....	38
3.7 Equipo de baño termostático (baño María).....	39
3.8 Centrífuga de laboratorio.....	41
3.9 Sistema de filtrado.....	42
3.10 Montaje de muestra.....	42
3.11 Difractor de rayos X.....	44
4.1 Geología local de la viña de San Antonio.....	47
4.2 Calicata del cuartel CT.....	48
4.3 Calicata CP-10.....	49
4.4 Geología local de la viña de Santa Cruz.....	50
4.5 Calicata del cuartel LI.....	51
4.6 Comparación del material parental en ambos cuarteles.....	52

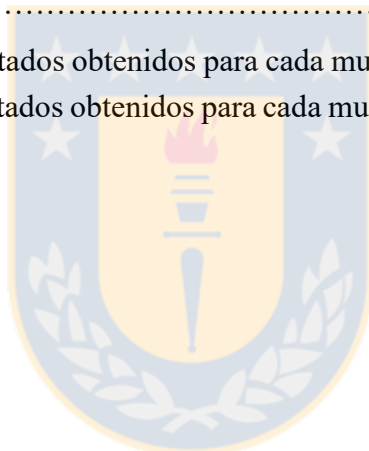
5.1	Resultados de la granulometría física para la viña de San Antonio.....	53
5.2	Triángulo de las texturas para la viña de San Antonio.....	54
5.3	Resultados granulometría láser para la viña de San Antonio.....	55
5.4	Resultados de la granulometría física para la viña de Santa Cruz.....	56
5.5	Triángulo de las texturas para la viña de Santa Cruz.....	57
5.6	Resultados granulometría láser para la viña de Santa Cruz.....	57
5.7	Análisis de DRX de roca total para la litología parental de San Antonio.....	62
5.8	Resultados de la DRX de roca total en suelos de San Antonio.....	64
5.9	Análisis de DRX de roca total para la litología parental en Santa Cruz.....	65
5.10	Resultados de la DRX de roca total en suelos de Santa Cruz.....	66
6.1	DRX de muestra CP-12C.....	68
6.2	Difractogramas tipo en viña de San Antonio.....	69
6.3	Saturación con cationes en muestras de San Antonio.....	70
6.4	Semicuantificación de minerales de arcilla en los suelos de San Antonio.....	71
6.5	Difractograma muestra LR-4.....	72
6.6	Difractograma muestra LR-8.....	73
6.7	Difractogramas tipo en viña de Santa Cruz.....	74
6.8	Difractogramas de los tres horizontes de la calicata LI-8.....	75
6.9	Saturación con Mg^{2+} en muestras de la viña de Santa Cruz.....	76
6.10	Saturación con K^+ en muestras de la viña de Santa Cruz.....	77
6.11	Semicuantificación de los filosilicatos en la fracción arcilla en Santa Cruz.....	78
6.12	C.I.C. en los suelos de la viña de San Antonio.....	79
6.13	C.I.C. en los suelos de la viña de Santa Cruz.....	80
6.14	C.I.C. en los suelos de las viñas estudiadas y algunas viñas del mundo.....	81
7.1	Extracto del mapa geológico del área circundante a la viña de San Antonio.....	82
7.2	Modelo de formación de los filosilicatos secundarios según su grado de meteorización en la viña de San Antonio.....	86
7.3	Modelo de formación de los filosilicatos secundarios según su grado de meteorización en la viña de Santa Cruz.....	89

ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFÍAS

Fotografía	Página	
5.1	Fotomicrografía de la Muestra LR-4.....	61

TABLAS

Tabla		Página
1.1	Propiedades físico-químicas de los principales filosilicatos.....	13
3.1	Reactivos usados en la extracción de materia orgánica.....	35
3.2	Factores de intensidad propuestos por Biscaye (1965).....	44
5.1	Muestras litológicas seleccionadas para cada viña.....	58
5.2	Mineralogía de roca CR-1a según estudio petrográfico (Contreras,2017).....	60
5.3	Minerales identificados al microscopio para la muestra LR-4.....	60
5.4	Minerales identificados al microscopio para las muestras LR-4 y LR-8.....	62
7.1	Mineralogía primara alterable y filosilicatos secundarios en la viña de San Antonio.....	83
7.2	Mineralogía primara alterable y filosilicatos secundarios en la viña de Santa Cruz.....	87
7.3	Resumen de los resultados obtenidos para cada muestra de San Antonio.....	90
7.4	Resumen de los resultados obtenidos para cada muestra de Santa Cruz.....	91



RESUMEN

En el marco del proyecto “Geología, geoquímica y vinos” de la Universidad de Chile, se realiza este trabajo de título cuyo objetivo principal es encontrar la herencia mineralógica del material parental en los filosilicatos secundarios presentes en la fracción arcilla de suelos vitivinícolas de dos viñas de la Zona Central de Chile, además de proponer una metodología de trabajo que relacione la litología parental y mineralogía de suelos cultivados, útil para futuros trabajos de esta índole.

Las viñas estudiadas se ubican en una terraza de abrasión marina situada en las cercanías de San Antonio, y sobre depósitos aluviales y fluviales generados a partir de cordones graníticos en la localidad de Santa Cruz. En la viña de San Antonio el estudio es realizado en cinco calicatas distribuidas en dos cuarteles; mientras que en la viña de Santa Cruz se estudian seis calicatas pertenecientes a dos cuarteles de la viña.

Con el fin de plantear una metodología recomendable para futuras investigaciones, se realizan en laboratorio una serie de pruebas donde se comparan diferentes técnicas de análisis para las muestras de la fracción limo-arcilla de suelos. En primer lugar se comparan dos análisis de granulometría: la granulometría láser y la granulometría física. Por otro lado, se evalúa si es necesaria la extracción de la materia orgánica en forma previa al análisis de difracción de rayos X, para lo que se seleccionan dos metodologías convencionales de eliminación de materia orgánica: el tratamiento con peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el tratamiento con una solución de hipoclorito de sodio y ácido clorhídrico ($NaClO+HCl$), y se comparan con la alternativa de no extraer la materia orgánica. Con el fin de conocer la mineralogía de los suelos se efectúa un análisis de difracción de rayos X en roca total, mientras que para la identificación de filosilicatos (esmectita, illita, clorita y caolinita), se utiliza el análisis de difracción de rayos X en muestra orientada. Un filosilicato importante en suelos es la vermiculita, por lo que se seleccionan muestras representativas y se realiza una saturación con cationes (K^+ y Mg^{2+}) con la finalidad de determinar si se encuentra presente en las viñas estudiadas. Finalmente, los filosilicatos son semicuantificados por el método de Biscaye.

La mineralogía del material parental es tomada de estudios petrográficos previos realizados en la zona y del análisis de difracción de rayos X de roca total en las rocas parentales de ambas viñas. Para la viña de San Antonio se reconocen como minerales primarios alterables: plagioclasa, anfíbol, feldespato potásico, muscovita y biotita; y para la viña de Santa Cruz la mineralogía primaria corresponde a: plagioclasa (alterada a sericita), ortoclasa, biotita, anfíbol y clorita. Los filosilicatos secundarios en la viña de San Antonio son: esmectita (el más abundante), caolinita e illita en baja proporción. En la viña de Santa Cruz los filosilicatos reconocidos son: esmectita, caolinita, illita y vermiculita.

A modo de conclusión, se propone que en la viña de San Antonio la esmectita proviene de las plagioclasas y del feldespato potásico. La caolinita deriva de la meteorización de plagioclasa y feldespato potásico. La illita es asociada a la degradación de biotita. En el caso de la viña de Santa Cruz, la esmectita procede de plagioclasa, feldespato potásico y anfíbol, y en forma secundaria, de la meteorización avanzada en illita; la illita se forma como resultado de la degradación de la sericita formada como alteración de las plagioclasas; la caolinita proviene de la plagioclasa, ortoclasa y hornblenda, y en forma secundaria, de la meteorización de esmectita; finalmente, la vermiculita se forma a partir de la biotita y de la clorita.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

La Zona Central de Chile es conocida por sus cultivos de vid y producción de vino de alta calidad. Esta zona presenta las condiciones climáticas óptimas para el desarrollo de estos cultivos, sin embargo, no hay antecedentes de la relevancia que tienen el sustrato o la geología de las áreas cultivadas en la calidad de estos productos. Este tipo de estudios ha sido realizado en otros países viticultores, lo que ha significado un aporte importante a la producción y comercialización de los vinos. Frente a esta situación de ausencia de estudios geológicos, mineralógicos y geoquímicos de suelos y sustratos en viñas en Chile, el Proyecto CORFO INNOVA 12 CTI-16778 del Consorcio I+D Vinos de Chile, tiene como objetivo identificar la influencia de las características geológicas del suelo y sustrato, y las características geoquímicas de los sustratos que albergan los principales valles vitivinícolas de Chile Central, con el fin de proporcionar un valor agregado a los vinos producidos en estas zonas, además de proveer criterios de búsqueda y evaluación de áreas para cultivos futuros.

Este proyecto se lleva a cabo en cuatro viñas de la Zona Central y a lo largo de su desarrollo ha tenido varias aristas de estudio: se han realizado estudios geomorfológicos (Lagos, 2015); estudios geológicos (Contreras, 2017); estudios geoquímicos (Castillo-Lagos y otros, en prep.); y estudios hidrogeológicos (López, 2018). Ante la ausencia de estudios que vinculen la mineralogía de los suelos y la mineralogía de las rocas parentales, se plantea como un estudio específico la presente Memoria de Título. Ésta propone como objetivo principal el estudio de la mineralogía de los filosilicatos en los suelos. Por una parte pretende identificar estos minerales en los suelos de cada viña y determinar la procedencia de éstos a partir de las rocas parentales de las viñas; y por otra, se espera plantear una metodología práctica para el estudio de filosilicatos en suelos, definiendo los pasos a seguir para futuros estudios de este tipo, que vinculen suelos y el sustrato rocoso. Como objetivo final del Proyecto, se integrarán todos estos estudios particulares y se vincularán con la geoquímica de los frutos de las vides.

Este estudio se efectúa en dos viñas: una se sitúa en las cercanías de San Antonio y la otra se ubica próxima a la localidad de Santa Cruz. En cada una de estas viñas se estudian respectivamente 4 y 5 calicatas en suelo cultivado, además de 1 y 2 calicatas de suelo no cultivado o “calicatas blanco”

realizadas en zonas contiguas o dentro de los cultivos, pero sin intervención agrícola o mínimamente intervenidas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar la procedencia de los filosilicatos presentes en los suelos de dos viñas de la Zona Central de Chile, en el sustrato parental, y establecer una metodología práctica para estudios de filosilicatos en suelos.

1.2.2. Objetivos Específicos

Identificar los minerales primarios presentes en las rocas parentales y en los suelos de las viñas estudiadas a través de cortes transparentes y difracción de rayos X de roca total.

Determinar si es necesaria la extracción de materia orgánica desde muestras de suelo reducidas a la fracción limo-arcilla en forma previa al análisis de difracción de rayos X, y cuál es la más recomendable para este tipo de muestras.

A través de difracción de rayos X en muestras orientadas, identificar los filosilicatos presentes en los suelos de las viñas.

Elaborar un modelo genético que relacione los filosilicatos de los suelos, la mineralogía primaria del material parental y el grado de meteorización de los suelos.

Establecer relaciones entre los filosilicatos de los suelos y algunos parámetros del suelo: granulometría, capacidad de intercambio catiónico y el contenido de materia orgánica.

1.3. Ubicación y Vías de Acceso

Las viñas en estudio se localizan en la Zona Central de Chile, en las regiones de Valparaíso y del Libertador Bernardo O'Higgins (Figura 1.1). El acceso a cada una de estas viñas se realiza a través de carreteras, caminos rurales y caminos privados.

La viña de San Antonio se ubica en la Región de Valparaíso, en la Provincia de San Antonio y comuna homónima, a los 33°35' S y 71°18' W. El acceso a esta viña se inicia desde Santiago por la Ruta 78 (Autopista del Sol) y a la altura del km 102 se debe tomar la salida hacia Malvilla por la Ruta G-974, para luego seguir a través de caminos rurales que conducen a la viña.

La viña de Santa Cruz está situada en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Provincia de Colchagua, Comuna de Santa Cruz, a los $34^{\circ}36' S$ y $71^{\circ}17' W$. A esta última se ingresa siguiendo desde Santiago la Ruta 5 Sur (Panamericana Sur), después se toma la Ruta 90 (ex I-50) que va a Santa Cruz y luego se siguen caminos menores que conducen a la viña.

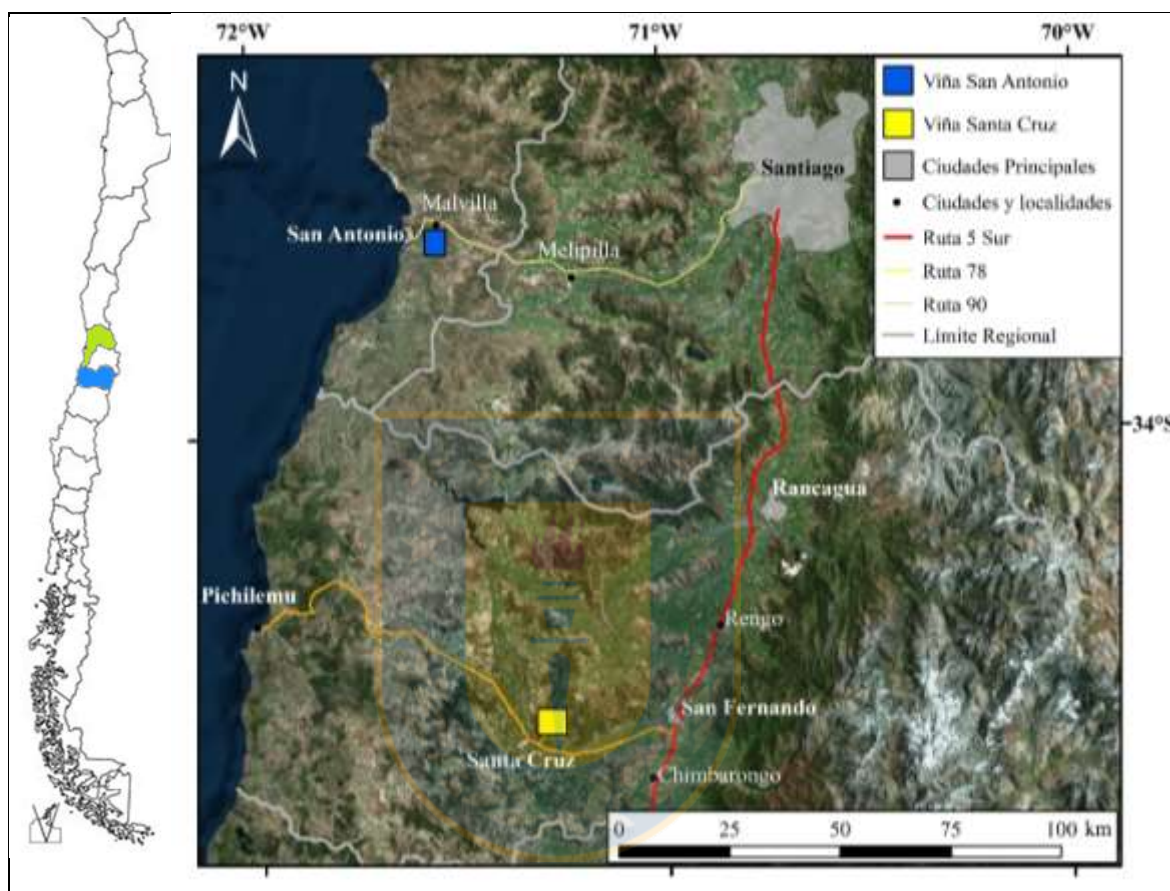


Figura 1.1 Ubicación y accesos. Ubicación de las áreas de estudio, ciudades principales, rutas de acceso y las localidades menores situadas en las cercanías de ambas zonas. Fuente: Google Earth.

Por asuntos de confidencialidad del proyecto y comodidad para el desarrollo de esta memoria, las viñas serán referidas a las localidades cercanas, adoptando las siguientes denominaciones: Viña de San Antonio y Viña de Santa Cruz.

1.4. Geomorfología

Fisiográficamente, la Zona Central de Chile comprende cinco elementos topográficos principales de oeste a este: las Planicies Costeras, la Cordillera de la Costa, el Valle Longitudinal o Depresión Intermedia, la Precordillera y la Cordillera de Los Andes (Börgel, 1983).

El mismo autor subdivide a Chile en cinco conjuntos regionales geomorfológicos. La zona comprendida por las viñas estudiadas es clasificada como la “Región de las cuencas y llanos fluvio-glacio-volcánicos“ y se extiende desde el río Aconcagua hasta el río Biobío. Además, esta región se subdivide en cuadros morfológicos subregionales y, respectivamente, las zonas de San Antonio y Santa Cruz se encuentran emplazada en las unidades que se describen más adelante.

1.4.1. San Antonio

Esta viña está situada en el flanco oeste de la Cordillera de la Costa, en la zona identificada como planicie marina o fluvio-marina (Figura 1.2). Esta zona se caracteriza por la presencia de planicies litorales de abrasión y de sedimentación marina o fluvio-marina hacia el oeste; hacia el este, se sitúan los cursos medios de los ríos que forman activos llanos de sedimentación fluvial.

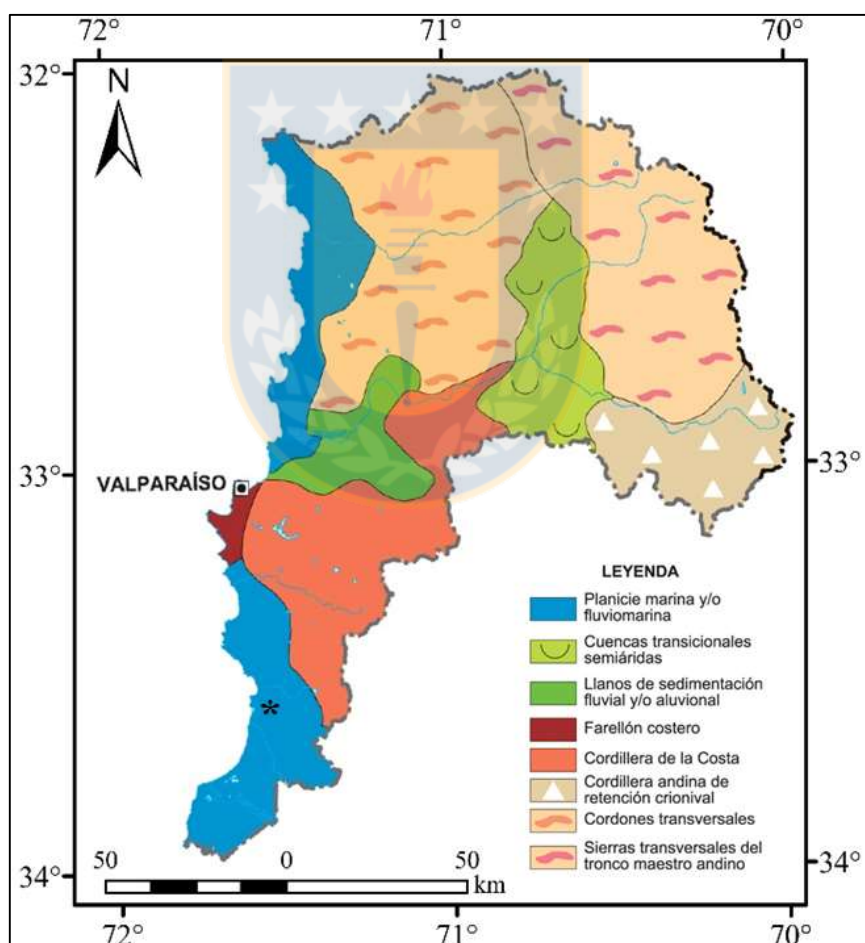


Figura 1.2 Mapa geomorfológico de la Región de Valparaíso. En asterisco (*) se encuentra marcada la viña de San Antonio. Modificado de Börgel (1983).

1.4.2. Santa Cruz

Se ubica en la parte central de la Cordillera de la Costa (Figura 1.3), alcanzando alturas máximas de 900 m s.n.m. y pendientes que abarcan desde 0-50°. Destacan en la zona el cordón Tagua-Tagua, por el norte, y el río Tinguiririca por el sur, además del cerro La Hoya (614 m s.n.m.). En la viña predominan las morfologías de piedemonte clásico, generados por abanicos aluviales o depósitos coluviales y ha sido clasificada geomorfológicamente como serranía intermedia (Lagos, 2015).

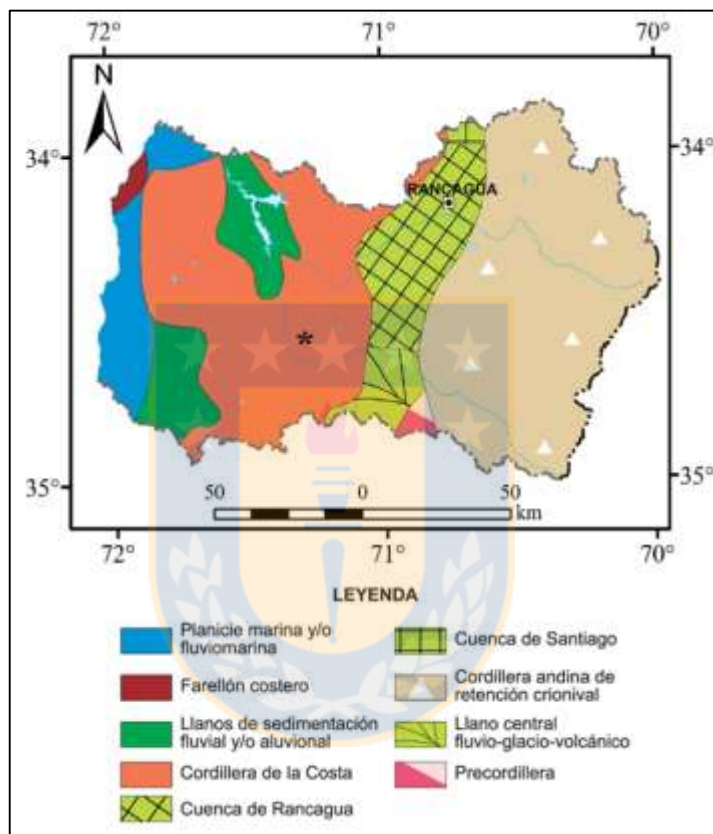


Figura 1.3 Mapa geomorfológico de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins. En asterisco (*) se encuentra marcada la viña de Santa Cruz. Modificado de Börgel (1983).

1.5. Clima, Flora y Fauna

Chile central se caracteriza por presentar una fauna relativamente similar, por lo que, en términos generales, el área abarcada por las viñas estudiadas posee la misma caracterización faunística. La flora, en cambio, varía en las especies nativas encontradas como se describe más adelante. El clima

es un parámetro que también difiere entre ambas viñas debido a la ubicación geográfica y morfología de las zonas donde se emplazan los cultivos.

1.5.1. Clima

Según la clasificación climática de Köppen (1948), ambas áreas de estudio poseen un clima “templado cálido con lluvias invernales” (Csb, según sus siglas). Sin embargo, existe una clasificación más detallada, en que se describen los climas presentes en cada zona, según la clasificación de Inzunza (2003).

1.5.1.1. Zona de San Antonio

Está dominada por un clima mediterráneo templado costero, donde la influencia costera se distribuye hacia el interior a través de los valles. Gracias a la influencia costera, las temperaturas varían levemente y se mantienen uniformes durante el año con un promedio de 14°C. Según Nahrwold (2014), la humedad relativa alcanza el 75% y las precipitaciones anuales son cercanas a los 450 mm, concentradas entre los meses de mayo a julio principalmente.

1.5.1.2. Zona de Santa Cruz

El clima predominante es templado mediterráneo cálido, que se caracteriza por presentar una estación seca de seis meses y un invierno lluvioso. La temperatura media anual son 14,7°C y las precipitaciones anuales alcanzan los 648 mm (Nahrwold, 2014).

1.5.2. Flora

Las áreas estudiadas forman parte de una de las ocho Regiones Vegetales descritas por Gajardo (1994), denominada Región del Matorral y Bosque Esclerófilo. Esta región corresponde a un bosque heterogéneo tanto en composición florística nativa como en ubicación latitudinal y altitudinal.

Esta región vegetal ha sido subdividida por Chester (2016) en la Región de matorral y bosque esclerófilo, y en la Región de bosque caducifolio, distribuidas como se observa en la Figura 1.4.

La viña de San Antonio se encuentra en la Región vegetal Bosque Caducifolio o Deciduo y se caracteriza por la presencia de especies como: Hualo (*Nothofagus glauca*), el Ruil (*Nothofagus Alessandri*) el cual es endémico y se encuentra en peligro de extinción, el peumo (*Cryptocarya alba*) y el roble blanco (*Quercus alba*).

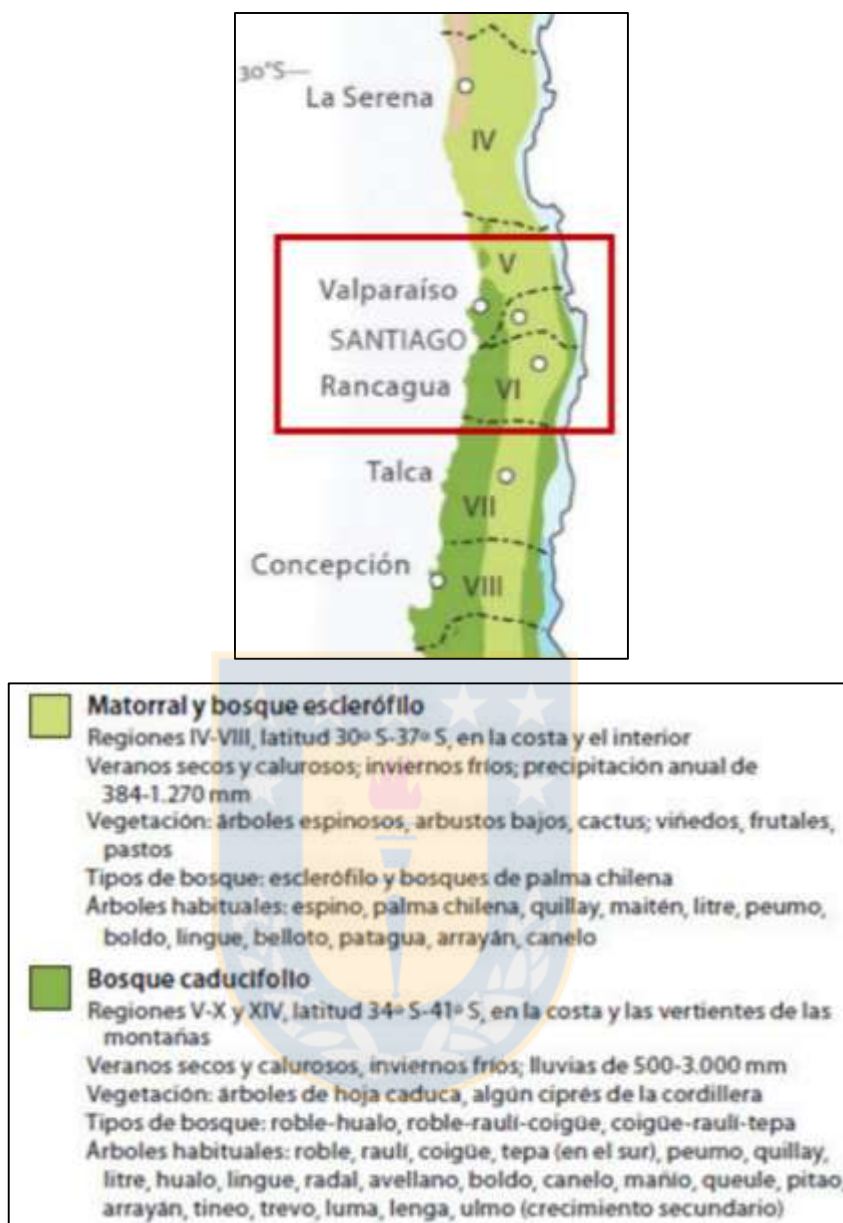


Figura 1.4 Zonas florísticas de la Zona Central de Chile. La viña de San Antonio está situada a la altura de la unidad Bosque Caducifolio; mientras que la zona de Santa Cruz se enmarca en la unidad Matorral y Bosque Esclerófilo. Extracto de Chester (2016).

Por su parte, la viña de Santa Cruz se enmarca en la Región de Matorral y Bosque Esclerófilo y está representada por especies nativas como *Persea lingue* (lingue), *Cryptocarya alba* (peumo), *Luma chequen* (chequén), *Luma apiculata* (arrayán), *Drimys winteri* (canelo) que abundan en zonas cercanas a quebradas y cursos de agua; *Beilschmiedia miersii* (belloto), *Lithrea caustica* (litre),

Peumus boldus (boldo) propias de la zona de ladera de sombría; mientras que en áreas planas, es típico encontrar especies como *Acacia caven* (espino), *Maytenus boaria* (maitén) y *Quillaja saponaria* (quillay). Además, flores silvestres como *Alstroemeria sp.* y *Chloraea sp.* (un tipo de orquídea).

1.5.3. Fauna

Gracias a las condiciones climáticas de la Zona Central de Chile, el ambiente es propicio para la vida de diversos animales. En esta zona se encuentran mamíferos nativos como *Lycalopex culpaeus* (zorro culpeo) o *Myocastor coypus* (coipo) y especies introducidas como *Lepus europaeus* (liebre) u *Oryctolagus cuniculus* (conejo). Las aves son muy abundantes, algunas de ellas son: tórtola (*Zenaida auriculata*), tiuque (*Milvago chimango*), loica (*Sturnella loyca*), chincol (*Zonotrichia capensis*), perdiz (*Nothoprocta perdicaria*), loro trichahue (*Cyanoliseus patagonus*), zorzal (*Turdus falcklandii*), queltehue (*Vanellus chilensis*), entre otros. También existen ejemplares de reptiles como la lagartija nítida (*Liolaemus nitidus*), lagartija lemniscata (*Liolaemus lemniscatus*), culebra de cola larga (*Philodryas chamissonis*) y el lagarto chileno (*Liolaemus chilensis*). Anfibios como la rana chilena (*Caudiverbera caudiverbera*) y el sapito de cuatro ojos (*Pleurodema thaul*), además de diversos artrópodos.

1.6. Marco Teórico

1.6.1. Suelos

1.6.1.1. Generalidades

Los suelos están conformados por cuatro constituyentes principales: materia mineral, materia orgánica, aire y agua, en proporciones aproximadas a las de la Figura 1.5. La materia mineral es el componente mayoritario de los suelos e incluye a los minerales provenientes de la meteorización del material parental. La materia orgánica, deriva de la materia vegetal en proceso de descomposición, ocasionada por la acción de diferentes formas de vida animal que viven en el suelo. Si bien este último es el componente minoritario en los suelos, su presencia es esencial para el desarrollo de la vida. El 50% restante es ocupado en forma variable por aire y agua, los cuales rellenan los espacios existentes entre las estructuras del suelo (Bridges, 1978).

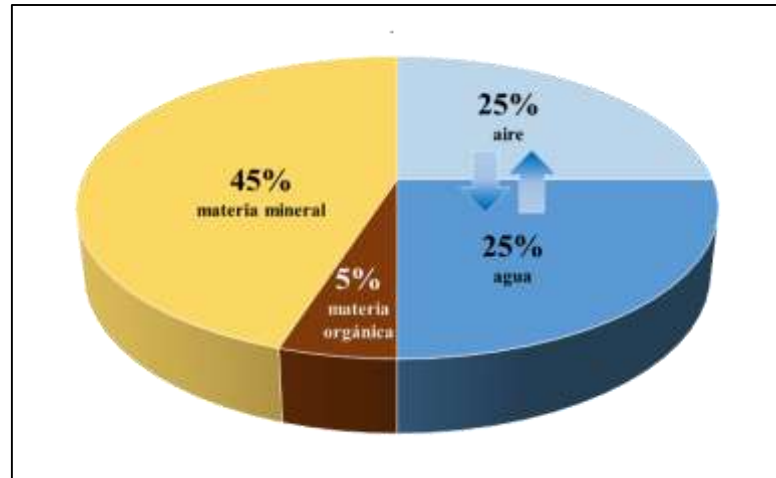


Figura 1.5 Composición volumétrica promedio de un suelo. Las flechas indican que agua y aire comparten el 50% en proporciones variables. Modificado de Tarbuck y otros (2005).

El suelo ha sido dividido en “horizontes” para poder caracterizarlo. Estos horizontes corresponden a niveles observables en un perfil vertical de un suelo, los cuales poseen un espesor y profundidad variables. Son denominados de acuerdo a su posición en el perfil y a los procesos que han tenido lugar en el mismo y que les proporcionan características distintivas. Se denominan con letras mayúsculas y se han definido los siguientes horizontes: O, A, E, B y C (Figura 1.6) (Brady y Weil, 2008). Las características más destacadas de cada horizonte son las siguientes:

O: Capa superficial formada en suelos no intervenidos a partir de hojas, restos de plantas y animales (materia orgánica) parcialmente descompuesta y suelta.

A: (zona eluvial o de lavado) capa superficial compuesta por materia mineral con meteorización avanzada, mezclada con materia orgánica (humus), razón por la que posee tonalidades más oscuras que los niveles inferiores.

B (Zona de acumulación): Es la capa subsuperficial del suelo donde se concentran los filosilicatos transportados desde las capas superiores y donde se encuentra la mayor concentración de raíces en áreas con vegetación.

C (material parental): Roca madre parcialmente meteorizada, se sitúa sobre la roca madre no alterada (**R**) y es el sitio donde se puede encontrar el material de composición más aproximada a la roca parental.

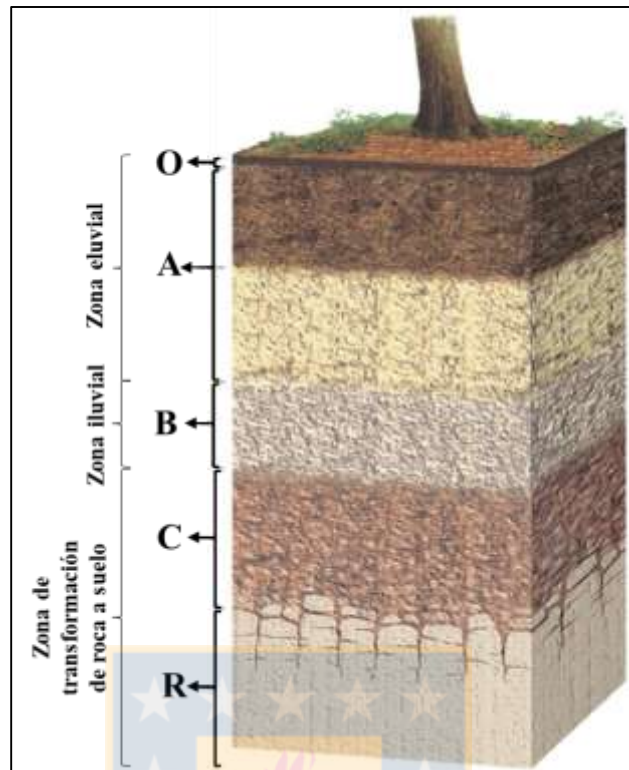


Figura 1.6 Perfil idealizado de un suelo. Perfil de un suelo con sus respectivos horizontes y zonas de alteración. Modificado de Tarbuck y otros (2005).

1.6.1.2. Factores de formación de suelos

Uno de los primeros y más clásicos trabajos sobre suelos es el de Jenny (1941), donde afirma que el desarrollo de un suelo se asocia a la conjugación de cinco factores: clima (c), litología o material parental (p), organismos (o), relieve (r) y tiempo (t) y genera la siguiente ecuación:

$$S = \mathcal{F}(c, p, o, r, t)$$

Más tarde, Jenny (1980) y Amundson y Jenny (1997) corrigen la anterior ecuación, añadiendo como sexto factor al ser humano (h):

$$S = \mathcal{F}(c, p, o, r, t, h)$$

Estos factores son los más aceptados actualmente y son descritos a continuación:

Clima. Es la condición atmosférica regional y probablemente, el factor de mayor influencia en el material parental, que determina la intensidad y naturaleza de la meteorización que ocurra. Las

principales variables climáticas que influyen en la formación de suelos son la precipitación efectiva y la temperatura (Brady y Weil, 2008).

Material parental. Se compone de los materiales que dan origen a los suelos. Éstos pueden ser rocas o depósitos semiconsolidados. La naturaleza del material parental tiene un gran efecto en las propiedades de los suelos como textura, composición mineralógica y el grado de ordenamiento horizontal (Zapata, 2006).

Organismos vivos o biota. Corresponde a la actividad de todos los seres que viven en el suelo responsables de la acumulación de materia orgánica, meteorización biogeoquímica, mezclas en los perfiles de suelo, ciclos nutritivos del suelo, entre otras acciones. Asimismo, la cobertura vegetal natural reduce tasas de erosión, lo que disminuye la remoción de la materia mineral del suelo (Brady y Weil, 2008).

Relieve. Gradiente, aspecto y configuración del paisaje. Este factor puede acelerar o retardar el trabajo de las fuerzas climáticas.

Tiempo. Tiempo transcurrido desde que el sistema se comienza a formarse o desde que el conjunto de factores de estado de un ecosistema cambia.

Ser humano. Podría ser conceptualmente sumado al factor “organismos vivos”, pero se diferencia de ellos ya que el ser humano contiene una componente genética (genotipo), y posesión de prácticas culturales y aptitudes que alteran los paisajes (Amundson y Jenny, 1997).

1.6.1.3. Procesos de formación de suelos

Existen cuatro procesos básicos de formación de suelos: adición, transformación, translocación y remoción, definidos por Simonson (1959). Estos procesos a menudo ocurren en forma simultánea.

Adición: corresponde a las adiciones de material y energía al suelo. En general, toma lugar desde la atmósfera (energía solar, gases e incluso contaminantes), organismos (plantas y animales en descomposición), rocas y minerales (materia prima para la mayoría de los suelos), y agua subterránea (cortezas salinas, capas calcáreas) (Osman, 2013).

Remoción: este proceso considera a materiales del suelo que son removidos por procesos físicos, químicos y biológicos. Los materiales son removidos desde el suelo por lixiviación en aguas subterráneas, erosión de materiales superficiales, entre otras formas (Brady y Weil, 2008).

Transformación: ocurre cuando los constituyentes del suelo son química o físicamente modificados o destruidos y otros son sintetizados desde los materiales precursores (Brady y Weil, 2008). Incluyen procesos físicos, físico-químicos, químicos y biológicos, y pueden ser reversibles o irreversibles.

Translocación: involucra el movimiento de materiales orgánicos e inorgánicos en todas direcciones: lateralmente dentro de un horizonte, o verticalmente desde un horizonte a otro, hacia arriba o abajo (Brady y Weil, 2008). Esto puede ocurrir en solución, suspensión o movimiento de masa a través de grietas y canales.

1.6.2. Arcillas y filosilicatos

El término “arcilla” es empleado para referirse a diferentes conceptos, dependiendo del punto de vista. Los ingenieros emplean esta terminología para referirse a los materiales de tamaño inferior a 4 μm sin importar la mineralogía. Desde el punto de vista granulométrico, un material es considerado una arcilla si, de acuerdo con la clasificación de Wentworth (1922), el tamaño de grano de sus partículas constituyentes es inferior o igual a 3,9 μm . Para los geólogos las “arcillas” son todos los minerales o fragmentos de roca de tamaño inferior a 4 μm , pero hacen la diferencia de que gran parte de estos minerales pertenecen al grupo de los “filosilicatos” (Moore y Reynolds, 1989). Es por esto que en el desarrollo de este trabajo se utiliza el término “arcilla” para hacer referencia a tamaño de grano, y “filosilicato” cuando se trata de composición.

1.6.2.1. Propiedades fisicoquímicas de los filosilicatos

Los filosilicatos poseen ciertas propiedades que son una consecuencia de las características de estos minerales:

- Su tamaño de partícula pequeño (inferior a 2 μm).
- Su morfología laminar.
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Superficie específica (BET)

La superficie específica o área superficial de una partícula es definida como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (si existe), por unidad de masa y se expresa en m^2/g . Es

función de la morfología de las partículas (esférica, laminar, fibrosa, entre otras) y del tamaño de las partículas (menor tamaño de partícula implica mayor superficie específica). Algunas superficies específicas aproximadas para los principales filosilicatos se encuentran en la Tabla 1.1.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Es la propiedad que poseen algunos filosilicatos de absorber y adsorber iones positivos. Se mide en función del total de iones cargados que pueden ser fijados en la superficie de los filosilicatos y su unidad de medida más utilizada es cmol/kg (SI: centimoles por kilogramo). Esta propiedad influencia la estabilidad de la estructura de los suelos, la disponibilidad de nutrientes, el pH de los suelos y la reacción de los suelos a los fertilizantes (Hazleton y Murphy, 2016). Este intercambio ocurre ya que los filosilicatos se encuentran cargados negativamente en su superficie lo cual facilita la retención de iones positivos (cationes) por medio de fuerzas electrostáticas, pero esta propiedad es dependiente del pH del suelo, entonces para suelos con pH bajo (inferior a 7) la CIC es inferior que en un suelo con pH sobre 7. Es muy importante este proceso ya que muchos nutrientes del suelo existen como cationes (Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+}). En términos generales, los suelos con grandes cantidades de partículas cargadas negativamente son más fértiles, ya que retienen más cationes (McKenzie y otros, 2004). En la Tabla 1.1, se encuentran las capacidades de intercambio catiónico aproximadas para algunos filosilicatos.

Tabla 1.1 Propiedades físico-químicas de los principales filosilicatos. Capacidad de intercambio catiónico y superficie específica promedio para los principales filosilicatos. Datos tomados de Yuang y Theng (2012).

Mineral	Capacidad de intercambio catiónico (cmol/kg)	Superficie específica (m²/g)
Caolinita	1-10	10-20
Esmectita	80-120	800
Illita	20-40	80-100
Clorita	10-40	80
Vermiculita	100-150	80-200
Materia orgánica	250-400	500-800

La capacidad de absorción consiste en el ingreso a la superficie interna de los filosilicatos, mientras que la adsorción consiste en la atracción hacia la superficie externa de estos minerales debido a las diferencias de cargas antes explicada (Figura 1.7).

Hidratación e hinchamiento

Ciertos filosilicatos permiten la atracción de las moléculas polares de agua hacia la superficie mineral y las retienen a través de débiles fuerzas, gracias a su pequeño tamaño. Así, estos minerales quedan cubiertos por varias capas de moléculas de agua, lo que cambia las propiedades físicas de estos minerales cuando se encuentran en una solución acuosa. Si bien existen otros minerales que poseen esta capacidad de atraer moléculas de agua (por ejemplo, el cuarzo o la calcita) es la elevada superficie específica de los filosilicatos lo que potencia esta propiedad, expresado como una plasticidad de estos materiales al contacto con agua (Velde, 1995).

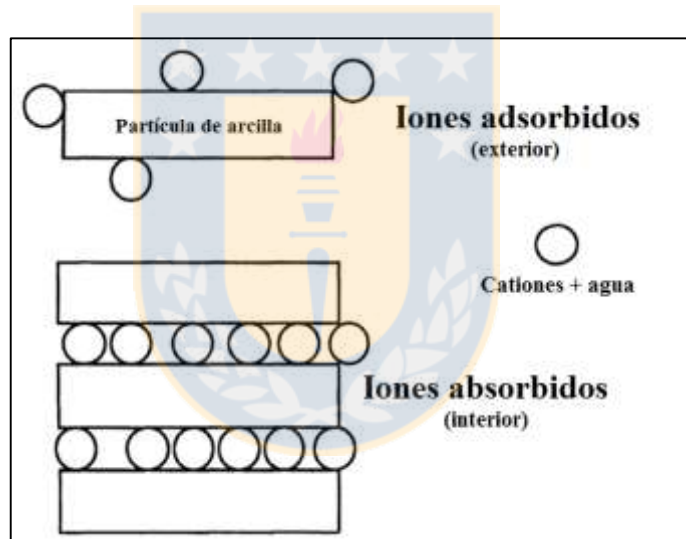


Figura 1.7 Adsorción y adsorción. Representación de las propiedades de absorción y adsorción. Modificado de Velde (1995).

Además, algunos filosilicatos tienen la propiedad de permitir la incorporación de moléculas de agua dentro de su estructura. Esto cambia la dimensión de las partículas de filosilicatos a medida que entra y sale el agua de la estructura. Los filosilicatos que poseen esta propiedad son conocidos como “expansibles o hinchables”. El ejemplo más representativo de esta propiedad está dado por la esmectita (Figura 1.8). Este mineral muestra que a temperatura ambiente su espaciamiento es de $15,2 \text{ \AA}$ lo que equivale a una capa de arcilla más dos capas de agua (Figura 1.8, A); ante un aumento de temperatura, se pierde una capa de agua de la estructura, y el espaciamiento basal se reduce a

12,5 Å, corresponde a una capa de arcilla más una capa de agua (Figura 1.8, B); al incrementar aún más la temperatura, la dimensión se reduce a 10 Å, lo que se traduce en una pérdida total de agua. Esto equivale a una capa de arcilla sin capas de agua (Figura 1.8, C).

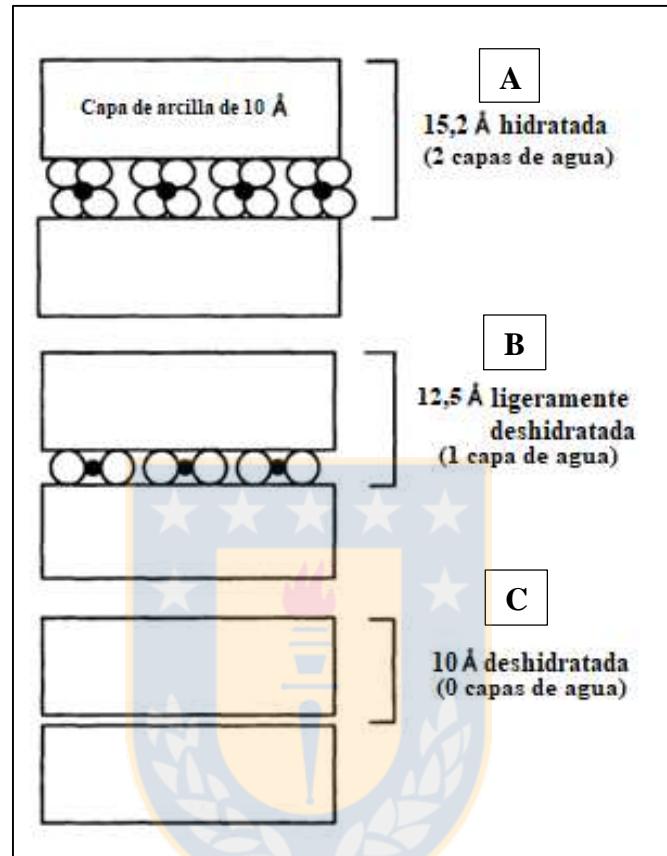


Figura 1.8 Expansión de la esmectita. Modificado de Velde (1995).

1.6.2.2. Procesos de formación de filosilicatos en suelos

Los filosilicatos se generan por meteorización de minerales primarios a través de dos procesos:

Alteración

Cambios fisicoquímicos leves que ocurren en los minerales primarios. Un buen ejemplo de este proceso es el cambio que ocurre en una muscovita que pasa a ser una mica de grano fino. La muscovita es un mineral primario cuya fórmula es $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (Anthony y otros, 2001). Cuando se altera, se descompone en partículas finas de tamaño coloidal donde parte del potasio interlaminaar que contiene se pierde y parte del sílice se mezcla con cationes como Ca^{2+} o Mg^{2+} , provenientes de las soluciones de meteorización. Esto se traduce en la formación de una estructura

cristalina menos rígida y la disponibilidad de cargas electronegativas libres en espacios previamente ocupados por la capa intermedia del potasio (Brady y Weil, 2008).

Recristalización

Este proceso involucra el quiebre completo de la estructura cristalina del mineral primario y una consecuente recristalización de filosilicatos a partir de los productos de esta descomposición. Es el resultado de una meteorización mucho más intensa que en el caso anterior.

Un ejemplo de recristalización es la formación de caolinita a partir de una solución que contiene aluminio soluble y sílice que proviene de la descomposición de minerales primarios con estructura 2:1. Esta recristalización hace posible la formación de más de un tipo de filosilicato a partir de un mineral primario. El filosilicato que se forme depende de las condiciones de meteorización y los iones presentes en la solución de meteorización.

1.6.3. Metodología Analítica

1.6.3.1. Difracción de Rayos X (DRX)

Los minerales de granulometría fina, tamaño arcilla ($<2 \mu\text{m}$), son prácticamente imposibles de identificar macroscópicamente, por lo que la difracción de rayos X es uno de los métodos más eficientes para su estudio.

La difracción de rayos X es un método analítico no destructivo, rápido y eficaz de identificación y semicuantificación de fases minerales, basada en la interacción entre rayos X y la estructura cristalina de los minerales (Lindholm, 1987).

Los rayos X corresponden a radiaciones electromagnéticas que tienen un comportamiento como onda y como partícula. Son emitidos en un tubo de rayos X y que al impactar en los átomos de una estructura cristalina provocan una dispersión.

Ley de Bragg

Cuando un rayo X incidente alcanza la superficie de un cristal, generalmente ocurre una dispersión. Esta dispersión puede ser destructiva o constructiva. La dispersión constructiva recibe el nombre de “difracción” y ocurre cuando la dispersión en una cierta dirección está en fase con los rayos dispersados desde otros planos atómicos. Bajo estas condiciones, las reflexiones se combinan para

formar nuevos frentes de onda mejorados que se refuerzan mutuamente. La relación por la cual ocurre la difracción se conoce como “ley o ecuación de Bragg”.

Esta ecuación relaciona la longitud de onda de los rayos X incidentes (λ), la distancia interplanar del cristal (d), el ángulo de incidencia de los rayos X en los planos cristalinos (θ) y “ n ” que corresponde al orden de difracción (número entero mayor o igual a 1) (Suryanarayana y Norton, 1998). Se expresa de la siguiente forma:

$$2 d \text{ sen}\theta = n \lambda$$

1.7. Trabajos anteriores

Uno de los estudios mineralógicos de la fracción arcilla de suelos lo realiza Beosain (1985), donde presenta los minerales de los suelos, sus propiedades, su resistencia a la meteorización, y muestra la importancia de ciertos minerales en las propiedades pedogenéticas (de los suelos). Hacia el año 1989, los científicos Moore y Reynolds presentan un libro que se utiliza hasta el día de hoy, donde resumen y se tratan en profundidad y con un enfoque educativo los tratamientos en laboratorio y análisis en gabinete necesarios para la identificación de filosilicatos a través de la difracción de rayos X.

La geología regional del área de Santa Cruz es obtenida de la Hoja Rancagua, desarrollada por Hauser (1990), quien realiza una Carta Hidrogeológica a escala 1:250.000 y entrega datos geológicos e hidrogeológicos para la zona. En 1996, Wall y otros autores desarrollan el Mapa Geológico 1:100.000 para el área de San Antonio-Melipilla, describiendo con detalle las unidades geológicas de la zona, incluyendo al sector de Malvilla, donde se emplaza la viña de San Antonio. Wilson (2004) trata en profundidad la meteorización de minerales primarios y la formación de minerales secundarios, según la etapa de meteorización y dónde se produzca ésta (suelo o roca). El año 2007 se realiza en Chile el primer estudio geoquímico y mineralógico en suelos vitivinícolas, en este caso en la zona de Casablanca, por Poblete y otros. Los científicos Brady y Weil en el año 2008 reeditan su libro donde tratan la naturaleza de las propiedades de los suelos, y se refieren extensamente a los suelos desde diferentes puntos de vista. Luzio publica el año 2010 el libro “Suelos de Chile”, que contiene información edafológica relativa a las áreas de estudio y también información útil para generar un conocimiento básico sobre las ciencias del suelo. Lagos (2015) entrega el primer avance que forma parte del proyecto en que se enmarca esta Memoria de Título

y corresponde a un estudio de las condiciones geomorfológicas y geológicas de primer orden en las zonas de Malvilla y Tapihue. También el año 2015, en el XIV Congreso Geológico Chileno, Castillo y otros autores entregan los resultados del análisis geoquímico de suelos derivados de granitoides en los valles de Casablanca y Santa Cruz. En el mismo congreso, Contreras y otros, exponen un estudio geológico y petrográfico de dos viñas ubicadas en los valles vitivinícolas de Casablanca y Santa Cruz. Townley y Castillo (2015) muestran que las características geológicas de una viña pueden determinar las propiedades geoquímicas específicas de un vino. El año 2016, durante el Encuentro de Científicos del Suelo, en Valdivia, Castillo y otros muestran un estudio geoquímico de tierras raras como trazadores de procesos pedogenéticos; y Salgado y otros presenta un trabajo sobre diferentes metodologías de extracción de materia orgánica en suelos vitivinícolas, utilizando difracción de rayos X. En el marco de su Memoria de Título de Pregrado, Contreras (2017) realiza un levantamiento geológico detallado en el entorno de cuatro viñas de la Zona Central de Chile, por medio de un análisis petrográfico de las principales unidades litológicas presentes en el área circundante de estas viñas, además de un análisis granulométrico y mineralógico de los suelos de esta zona. Más tarde también el año 2017, Castillo y otros autores proporcionan una asociación biogeoquímica entre los suelos y los nutrientes presentes en las bayas de cuatro viñas de la Zona Central de Chile.

1.8. Agradecimientos

El desarrollo de esta memoria de título ha sido posible gracias al Proyecto CORFO-Innova 12 CTI-16788 denominado “Geología, Geoquímica y Vinos”, dirigido por el Dr. Brian Townley, y al aporte del Consorcio I+D Vinos de Chile.

En primer lugar, quiero agradecer a quién ideó esta memoria de título, la Dra. (c) Pamela Castillo Lagos, quien fue mi guía en todas las etapas de esta investigación y a quien agradezco haber confiado en mí.

También me gustaría agradecer el apoyo brindado por mi profesora guía, la Dra. Ursula Kelm, desde el momento en que este trabajo era sólo una idea, hasta su finalización, siempre con mucha disposición a ayudarme.

No puedo dejar de agradecer al personal del Instituto GEA, quienes me acogieron con mucho cariño durante la realización de mis análisis, especialmente a Mónica Uribe, Miriam Oliva y Juan Herrera. También agradezco al Laboratorio de Suelos de Ingeniería Forestal de la Universidad de

Concepción, en especial a Alejandro; al Laboratorio de Granulometría del Departamento de Geología de la Universidad de Chile; y al Centro de Estudios Mineralógicos CEM Geoatacama, en especial a Javiera Gerding, por su gran disposición.

A todos los profesores y funcionarios de mi querido Departamento de Ciencias de la Tierra, a quienes les debo gran parte de mi formación profesional. En especial quiero agradecer al profesor Dr. Óscar Figueroa por siempre creer en mí y al profesor Dr. Luis Arturo Quinzio por sus grandes consejos para la geología y para la vida. También quiero dar gracias a Lucy Henríquez y a Mauricio Espinoza por tantas conversaciones, constante apoyo y disposición a ayudarme en muchas ocasiones.

A mis amigos de la universidad: Camila, Diego, Darwin, Jorge, María Jesús, Claudia, Heidy, Juan Ignacio, Philippe, Dante y Catalina, con quienes pasé los mejores años universitarios, muchas gracias. Además quiero dar las gracias a Ricardo, mi ayudante de varias asignaturas, tutor de la práctica y un gran amigo, por sus consejos, enseñanzas y constante ayuda. También agradezco a mis compañeras del proyecto Sofía y Muriel, por su apoyo en la realización de esta investigación y por los buenos momentos vividos en terreno.

A mis amigos de Huépil, mis amigos de toda la vida, especialmente a ti mi querida Francisca, te agradezco los más de 20 años de amistad.

Agradezco con mucho cariño a mis tías Sandra y Wilma, por estar conmigo siempre, ayudándome a crecer y brindándome apoyo. También a mi abuelita Mila y a mis tatas, Pablo y Luisa.

No caben palabras para agradecer a mi familia, quienes nunca me han dejado caer y me han apoyado en todas mis ideas a lo largo de la vida, muchas gracias a mi madre, Mila, a mi padre, Rogelio, y a mis hermanos, Francisco y Leonardo. Todo esto está dedicado con mucho amor a ustedes. Finalmente quiero agradecer a Martín, mi compañero de preu, de universidad y de vida, por todo el amor y apoyo incondicional. Y ahora sí, que comience el futuro.

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. Viña de San Antonio

La viña se sitúa al oeste de San Antonio, en las cercanías del poblado de Malvilla sobre una terraza marina. En esta zona se reconocen las siguientes unidades geológicas: Dioritas metamorizadas (Trd); Unidad San Antonio (TrJg), y sus subunidades Ortogneis, Tonalitas y Pórfido Tonalítico [respectivamente, TrJg (a), TrJg (b) y TrJg (c)]; Secuencia Malvilla (Msm), junto a sus subunidades Conglomerados y Areniscas, y Coquinas; y Depósitos fluviales (Qf). Todas estas unidades han sido definidas en el trabajo de Contreras (2017).

2.1.1. Rocas Intrusivas e Intrusivas Metamorizadas

2.1.1.1. Dioritas metamorizadas (Trd)

Corresponde a un cuerpo intrusivo ampliamente distribuido en el área de estudio (Figura 2.1). Las litologías descritas para esta unidad son: dioritas cuarcíferas metamorizadas y metadioritas de biotita y/u hornblenda, con una foliación metamórfica muy evidente en la mayoría de los casos. La textura de estas rocas en general es hipidiomórfica granular de grano medio a grueso (Contreras, 2017). Un ejemplo de las rocas que componen esta unidad es la muestra CR-1b, una diorita cuarcífera de hornblenda metamorizada, compuesta por: plagioclasa (leve a moderadamente alterada a arcillas y sericita), hornblenda (alterada levemente a clorita), biotita y epidota (Anexo III).

Estas rocas se pueden correlacionar con las de la unidad Dioritas gnéicas de Cartagena (Wall y otros, 1996), correspondientes a dioritas gnéicas, anfíbolitas, dioritas cuarcíferas y gabros parcialmente metamorizados, de colores gris oscuro a negro verdoso, y de grano medio a fino, con texturas hipidiomórfica a alotromórfica granular, gnéica y milonítica. Presentan foliación gnéica y zonas discretas de cizalle plástico (milonítico) semivertical. Edades U-Pb en circones arrojan 214 ± 1 Ma (Gana y Tosdal, 1996), y K-Ar en anfíbol 213 ± 10 Ma (Cordani y otros, 1976), las cuales corresponderían a la edad de cristalización del intrusivo; mientras que edades K-Ar en anfíbol 181 Ma (Irwin y otros, 1987), 145 ± 5 Ma (Wall y otros, 1996) y 167 ± 8 Ma (Cordani y otros, 1976); y en plagioclasa 157 ± 1 Ma (Cordani y otros, 1976), se interpretan como edades rejuvenecidas por el magmatismo jurásico.

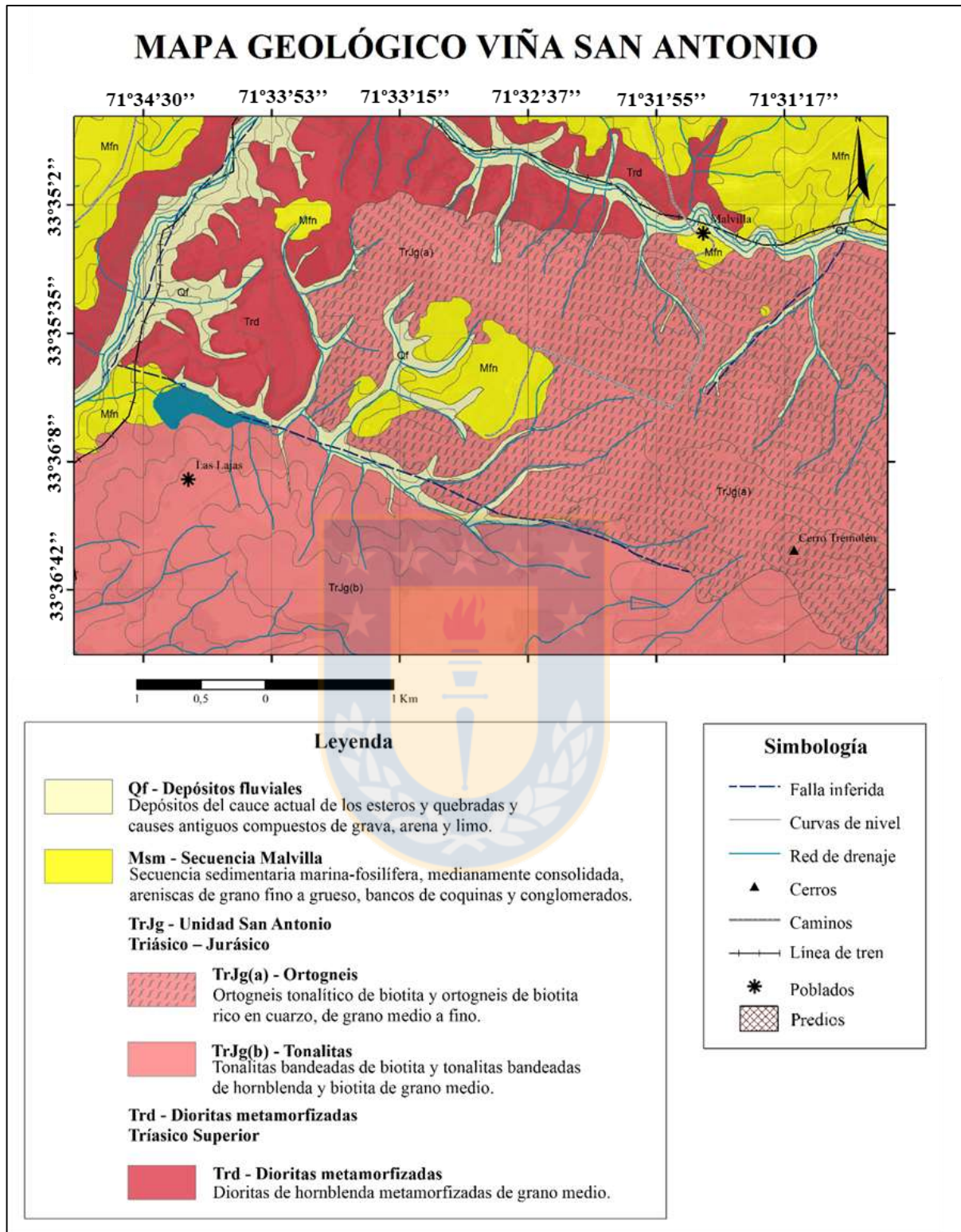


Figura 2.1 Mapa geológico del área de la viña de San Antonio. Modificado de Contreras (2017).

2.1.1.2. Unidad San Antonio (TrJg)

Está conformada por tres subunidades: Ortogneis, Tonalitas y Pórfido Tonalítico. Se puede correlacionar esta unidad a nivel regional con la unidad intrusiva del Triásico-Jurásico que se extiende entre las regiones de Atacama y de Valparaíso, a lo largo de la Cordillera de la Costa, conformada por granodioritas, monzogranitos, monzodioritas, dioritas y gabros de piroxeno y hornblenda (SERNAGEOMIN, 2003). Más localmente, esta unidad se correlaciona con la unidad intrusiva de edad Triásico-Jurásico, compuesta por sienogranitos de biotita y monzogranitos de biotita y anfíbol, descrita por Wall y otros (1996). Estas rocas poseen texturas alotromórfica de grano medio a fino, seriada, frecuentemente cataclástica y milonítica en forma local; alteración avanzada a montmorillonita, sericita, clorita y epidota. Sus rasgos geoquímicos indican que son rocas calcoalcalinas muy diferenciadas (70-78% SiO₂), moderadamente peraluminosas y de tipo I. Se distribuyen como plutones alargados. Edades K-Ar en biotita de 184±4 Ma, 180±4 Ma y 212±5 Ma (Wall y otros, 1996) indican una edad Triásico Superior-Jurásico Inferior para estas rocas.

a) Ortogneis TrJg (a)

Corresponde a la subunidad de mayor extensión y se sitúa en la zona central del área de estudio, rodeando los terrenos de la viña. Muestran leve a moderada alteración en los afloramientos.

Las descripciones petrográficas en lámina delgada definen las rocas en general como ortogneis tonalítico de biotita de grano medio a fino, localmente grueso. Poseen una textura bandeada con franjas de minerales máficos y félsicos. Se compone de minerales como cuarzo, plagioclasa levemente alterada a sericita y arcillas, microclina alterada levemente a arcillas, biotita, hornblenda y muscovita.

Esta unidad es la que presenta los afloramientos más próximos a la viña, por lo que su mineralogía podría entregar una idea del material parental que compone los suelos de los cultivos, o por lo menos parte de los componentes de estos suelos.

b) Tonalitas TrJg (b)

Esta subunidad integra un cuerpo tonalítico bandeado. Las litologías descritas para esta unidad son en general tonalitas bandeadas de biotita y tonalitas bandeadas de hornblenda y biotita. Su textura es hipidiomórfica granular de grano medio. Análisis químicos de estas rocas muestran un alto contenido en sílice (60-75% SiO₂), y un enriquecimiento en Na₂O, K₂O y, en menor medida, en

Al_2O_3 , MgO , CaO y TiO_2 (Castillo y otros, 2015), en relación a los valores de la corteza superior dados por Rudnick y Gao (2003).

c) Pórfido tonalítico TrJg (c)

Es un cuerpo sub-volcánico muy restringido en el área de estudio. Sólo es reconocido en un afloramiento al SE de la localidad Las Lajas (Figura 2.1). Esta litología es definida petrográficamente como un pórfido tonalítico de biotita, con textura porfídica y masa fundamental alotromórfica granular de grano medio.

2.1.2. Rocas Sedimentarias

2.1.2.1. Secuencia Sedimentaria Malvilla (Msm)

Secuencia sedimentaria marina fosilífera medianamente consolidada que se compone de areniscas, limolitas, bancos de conglomerados y coquinas. Han sido descritas dos subunidades para esta unidad: Areniscas y Conglomerados y Coquinas.

Es posible correlacionar esta secuencia con la Formación Navidad, de edad Mioceno-Plioceno (Gana y otros, 1996). La Formación Navidad presenta un conglomerado y/o coquina basal sobreyacido por una alternancia de areniscas, limolitas y escasos conglomerados. Se encuentran trazas fósiles como *Chondrites* sp. y *Zoophycos* sp. Además, presenta abundantes fósiles de moluscos, foraminíferos, ostrácodos, corales, briozoos, equinodermos, cangrejos, peces y plantas (Encinas y otros, 2006).

Areniscas y conglomerados

Subunidad compuesta por areniscas y conglomerados, con gradaciones normal e inversa, e imbricación de clastos en algunos niveles conglomerádicos. Los conglomerados constituyen un depósito polimíctico con mala selección y matriz clasto-soportada (Figura 2.2). Los clastos varían entre 10 y 80 cm de diámetro y en general son de naturaleza granítica o gnéisica (tonalitas y granodioritas foliadas por ejemplo), los que probablemente provengan del basamento jurásico-triásico de la zona.

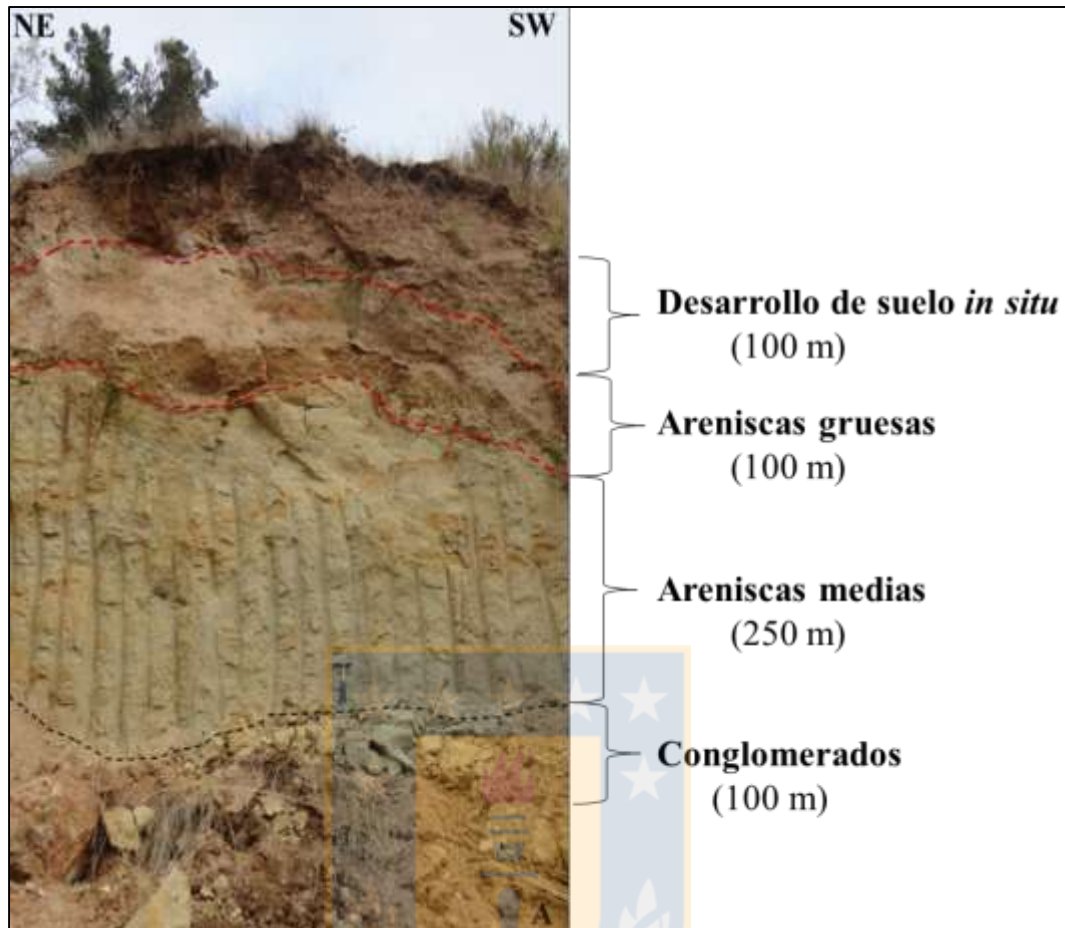


Figura 2.2 Columna de la Secuencia Malvilla. Afloramiento de areniscas y conglomerados de la Secuencia Sedimentaria Malvilla, con sus espesores aproximados. Modificado de Contreras (2017).

Coquinas

Corresponde a una intercalación de areniscas gruesas, conglomerados y coquinas en mayor proporción, las que se reconocen al SW de la viña estudiada, donde se reconocen niveles de coquinas inter-estratificadas con areniscas finas a gruesas y areniscas fosilíferas, además de bancos de conglomerados polimícticos con clastos de rocas metamorizadas, dioritas y tonalitas. Las coquinas están constituidas principalmente por ostras. En general, esta unidad posee un porcentaje bajo de sílice (17,6% SiO₂) y alto en CaO (41%) (Contreras, 2017).

2.1.3. Depósitos No Consolidados

2.1.3.1. Depósitos fluviales (Qf)

Unidad que comprende a todos los sedimentos no consolidados de cursos fluviales activos y abandonados. En general, están compuestos por gravas, arenas y limos en proporciones variables.

En el caso de los cursos fluviales activos, las facies que dominan son las de relleno de canales, constituidas por gravas clasto-soportadas con bolones redondeados.

2.2. Viña de Santa Cruz

Esta viña se sitúa en la Cordillera de la Costa y es limitada al norte por el cordón de Tagua-Tagua y al sur por el río Tinguiririca. Forma parte del valle de Colchagua a gran escala, y en forma local, corresponde a una de las viñas que conforman el valle de Apalta. En la zona circundante a la viña se han reconocido tres unidades geológicas dominantes: la unidad intrusiva Apalta (Kit), que a su vez está subdividida en Granodioritas [Kit (a)] y Tonalitas [Kit (b)]; la secuencia volcánica “Andesitas Cerro Peñón”, conformada por lavas andesíticas; y los depósitos No Consolidados y Semiconsolidados, compuestos por los depósitos recientes de origen fluvial, aluvial y coluvial.

2.2.1. Rocas Intrusivas

2.2.1.1. Unidad Apalta (Kit)

Unidad intrusiva de naturaleza granítica ácida a intermedia, conformada por las subunidades Granodioritas y Tonalitas. Las rocas de esta unidad están ampliamente distribuidas a nivel regional (Figura 2.3). Se considera parte de los intrusivos de la Cordillera de la Costa distribuidos entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos, (SERNAGEOMIN, 2003), de edad Cretácico Inferior alto-Cretácico Superior bajo (123-85 Ma).

a) *Granodiorita [Kit(a)]*

Subunidad de composición granodiorítica que forma parte del cordón de Tagua-Tagua y comprende una gran extensión dentro del área de estudio. Los afloramientos se muestran con diferentes grados de alteración y son de difícil acceso por la abundante vegetación que existe en la zona. Al suroeste de la viña, se observa un contacto entre esta unidad con la unidad Andesitas Cerro Peñón.

La descripción petrográfica de los ejemplares más representativos de esta unidad, realizado por Contreras (2017), indica que se trata de granodioritas de hornblenda y/o biotita, además de la presencia de algunos enclaves de naturaleza microdiorítica (Muestra LR-8, Anexo III). Poseen textura hipidiomórfica granular de grano medio a fino. Estas rocas se caracterizan por tener valores altos de sílice (68-73% SiO₂) y sodio (3-4% Na₂O) (Castillo y otros, 2015).

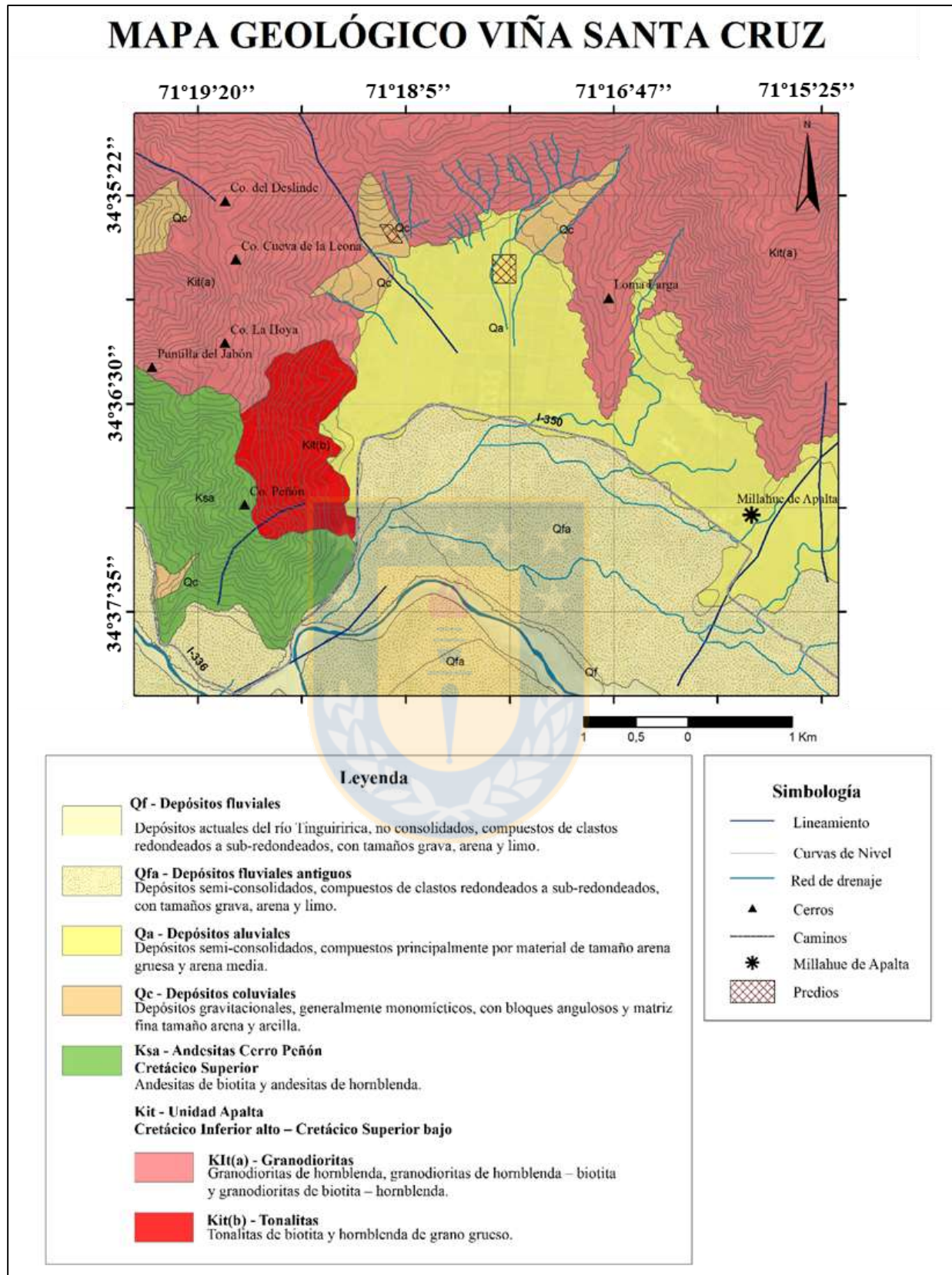


Figura 2.3

Mapa geológico del área de la viña de Santa Cruz. Modificado de Contreras (2017).

a) *Tonalita [Kit(b)]*

Cuerpo intrusivo de composición tonalítica que aflora al SE del cerro La Hoya. Es un cuerpo de pequeña extensión, que se observa intensamente alterado a arcillas y muy disgregable. Petrográficamente, se caracteriza por presentar tonalitas de biotita y hornblenda, con textura hipidiomórfica granular de grano grueso.

2.2.2. Rocas Volcánicas

2.2.2.1. Andesitas Cerro Peñón (Ksa)

Esta unidad volcánica corresponde a una secuencia de lavas andesíticas que afloran en el cerro La Hoya, al SW del área de estudio (Figura 2.3). Las rocas se encuentran intensa a moderadamente alteradas a arcillas y en algunos casos silicificadas. Petrográficamente, esta unidad se caracteriza por presentar andesitas de biotita y/u hornblenda con una marcada textura porfídica. Desde el punto de vista químico, posee un 68% de sílice (alto), un enriquecimiento en aluminio (15,8%), sodio (4,45%) y potasio (2,8%) en comparación con el promedio de rocas corticales (Castillo y otros, 2015). Si bien esta litología se encuentra alejada de la viña, está en los cordones que rodean al valle e incluso se encontraron algunos rodados de esta unidad a los pies de los cerros que circundan los cultivos, por lo que podría aportar, en menor medida quizás, a la formación de los suelos estudiados. Está compuesta por plagioclasas moderadamente alteradas a arcillas, hornblenda levemente alterada a clorita y con oxidación avanzada, y biotitas con una leve alteración a clorita.

Es posible correlacionar esta unidad con la Formación Lo Valle del Cretácico Superior, la cual es definida en Hauser (1995) como “una potente secuencia volcanoclástica donde predominan las coladas andesíticas, riolíticas y dacíticas”.

2.2.3. Depósitos No Consolidados y Semiconsolidados

2.2.3.1. Depósitos coluviales (Qc)

Corresponde a todos los depósitos gravitacionales no consolidados a semi-consolidados, ubicados en los piedemontes del cordón Tagua-Tagua (Figura 2.3). Se caracterizan por presentar clastos de tamaño variable entre 10 cm y 3 m, acompañados de una matriz de tamaño arena-limo-arcilla

2.2.3.2. Depósitos aluviales (Qa)

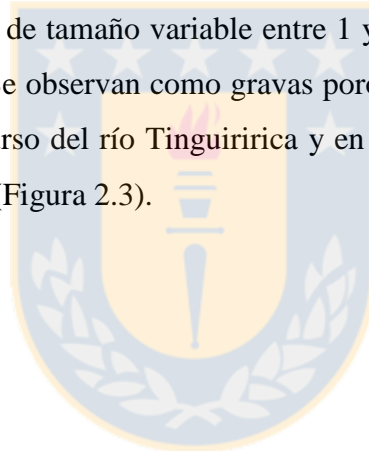
Depósitos semi-consolidados a no consolidados que se sitúan en la zona llana del valle estudiado. Comprenden los sedimentos dispuestos entre los depósitos coluviales del cordón Tagua-Tagua y los depósitos fluviales del río Tinguiririca.

2.2.3.3. Depósitos fluviales antiguos (Qfa)

Sedimentos no consolidados que se distribuyen aledaños al curso del río Tinguiririca. Se distinguen por presentar clastos redondeados inmersos en una matriz de sedimentos finos. No existe imbricación de clastos. Según un análisis granulométrico por Contreras (2017), se compone de un 14% de arcilla-limo, 22% de arena fina, 40% de arena media, 9% de arena gruesa y 14% de gravas.

2.2.3.4. Depósitos fluviales (Qf)

Son los sedimentos no consolidados provenientes de cursos fluviales actuales. Se caracterizan por presentar clastos redondeados, de tamaño variable entre 1 y 20 cm, y un conjunto de sedimentos finos de tamaño limo/arcilla. Se observan como gravas porosas, sueltas y muy permeables. Estos depósitos se observan en el curso del río Tinguiririca y en algunas quebradas menores, como se observa en el mapa geológico (Figura 2.3).



3. METODOLOGÍA

El desarrollo de esta investigación consta de cuatro partes: una “etapa de terreno”, donde se toman las muestras y se recaban los datos necesarios para trabajar en las siguientes etapas; una “etapa de pre-laboratorio”, donde se efectúan diferentes pruebas de los análisis a realizar y se decide cuál es la metodología óptima a seguir; a continuación, una “etapa de laboratorio” donde se efectúan todos los análisis que sean necesarios para el estudio de la mineralogía de filosilicatos en los suelos; y finalmente, una “etapa de gabinete”, donde se integran los resultados obtenidos, se analizan los datos y se describen todas las conclusiones del trabajo.

3.1. Etapa de Terreno

El trabajo de esta Memoria de Título inicia con el ajuste previo de todos los detalles para la salida a terreno. Se realizan labores como: esterilización de materiales, calibración de equipos (medidores de pH, de Eh, de conductividad eléctrica y temperatura), preparación de mapas e imágenes satelitales, además de las tareas logísticas que conlleva una salida a terreno. Los terrenos se realizan durante los meses de verano del año 2016 (enero y febrero) y considera una semana de trabajo en cada viña estudiada (dos semanas de trabajo en total).

Este estudio se realiza en uno o dos “cuarteles” por viña. Los cuarteles son las divisiones de terreno realizadas dentro de una viña con el fin de separar plantas de diferentes cepas y de igual edad de plantación, los que se encuentran bien delimitados y poseen dimensiones conocidas por el viticultor a cargo de la viña. En el caso de este estudio, los cuarteles son diferenciados además según la clasificación geomorfológica del terreno en que se encuentran, realizada por el equipo de trabajo en las primeras etapas de terreno. En la viña de San Antonio se estudian dos cuarteles de *Pinot noir* y en la viña de Santa Cruz dos cuarteles de *Carménère*.

El trabajo de terreno se efectúa a través del estudio en calicatas excavadas bajo determinadas plantas previamente seleccionadas por el enólogo asociado al proyecto. Estas calicatas son cavadas con retroexcavadoras y poseen las siguientes dimensiones: profundidad de 1,5 m; 1 m de ancho y 1,5 m de largo, aproximadamente. Las calicatas permiten observar un perfil del suelo donde se identifican sus horizontes, el desarrollo de raíces a partir de la planta estudiada y la distribución de los componentes del suelo.

Se realizan 12 calicatas en cada viña más una o dos calicatas “blanco”, correspondientes al suelo no cultivado o bien con la mínima intervención antrópica que se sitúan dentro de la viña (se seleccionan laderas expuestas de cerros aledaños o quebradas, que correspondan a zonas no afectadas por de los cultivos). De las 12 calicatas sólo se toman las 4 o 5 que muestren las características más representativas de las respectivas viñas y cuarteles y que, de preferencia, no se encuentren tan próximas entre sí, para así evitar la realización de una cantidad elevada de análisis que entreguen resultados similares.

3.1.1. Descripción y Preparación de la Calicata.

Los procedimientos metodológicos de caracterización y muestreo de suelos que se realizan en cada calicata se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Marcar el punto GPS de la calicata.
2. Evaluar las dimensiones de la calicata (si el ancho, largo o alto no son óptimos para el trabajo, se debe profundizar el parámetro errado utilizando palas o herramientas que permitan mejorar las condiciones de trabajo).
3. Marcar la planta a estudiar ya que todo el muestreo se realiza en el lado de la calicata correspondiente a la planta seleccionada previamente por el enólogo.
4. El perfil de suelo a estudiar es despejado con un martillo y luego son delimitados los “horizontes” del suelo según criterios como: color, textura aproximada del suelo (granulometría de materiales inorgánicos: arena, limo o arcilla), forma de clastos de rocas, abundancia de raíces, porosidad, acumulación de materia orgánica, entre otros. Estos “horizontes” no se clasifican según las definiciones agronómicas oficiales, sino que corresponden más bien a horizontes de lixiviación (A), horizontes de acumulación (B) y material parental (C-D) (Figura 3.1).
5. Luego, se definen niveles intermedios correspondientes al punto medio entre cada horizonte, donde se realizan medidas fisicoquímicas como conductividad eléctrica (CE), pH, Eh absoluto, Eh relativo y temperatura, en los cuatro puntos separados equitativamente que se observan en la Figura 3.2. Esquemáticamente, el perfil del suelo bajo la planta queda como se observa en la Figura 3.3.

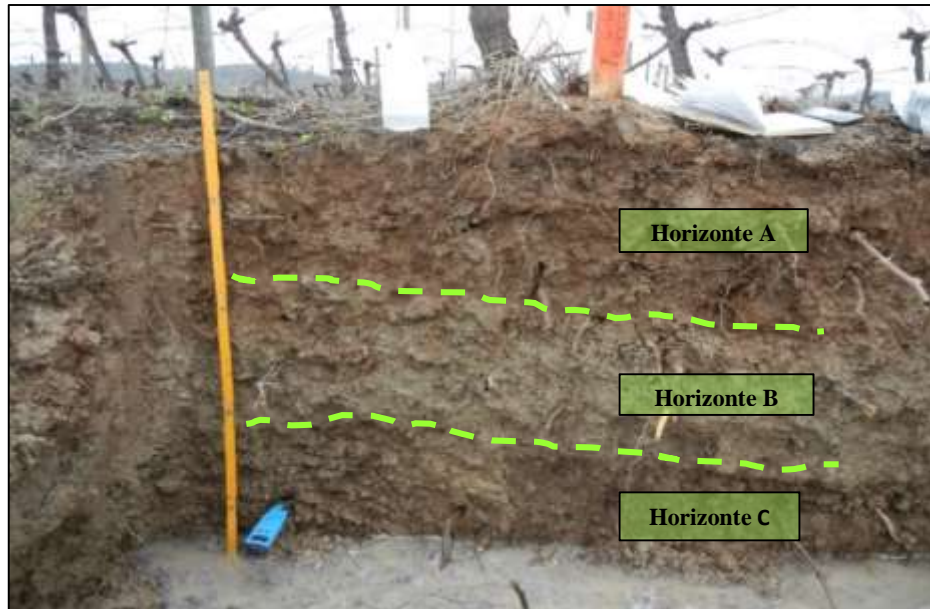


Figura 3.1 Ejemplo de calicata y sus horizontes.

6. Finalmente, se toma una fotografía de la calicata y la planta junto a un escalímetro.

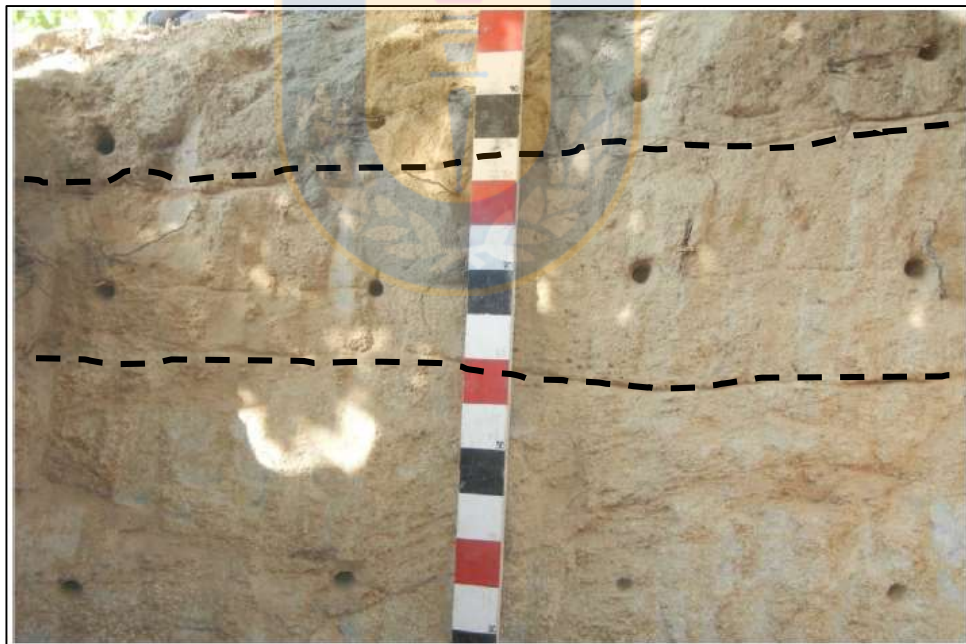


Figura 3.2 Niveles y horizontes en una calicata. Calicata donde se observan los horizontes separados por líneas segmentadas y en sus puntos medios los “niveles” donde se toman las medidas fisicoquímicas. Las divisiones de la regla están marcadas cada 10 cm.

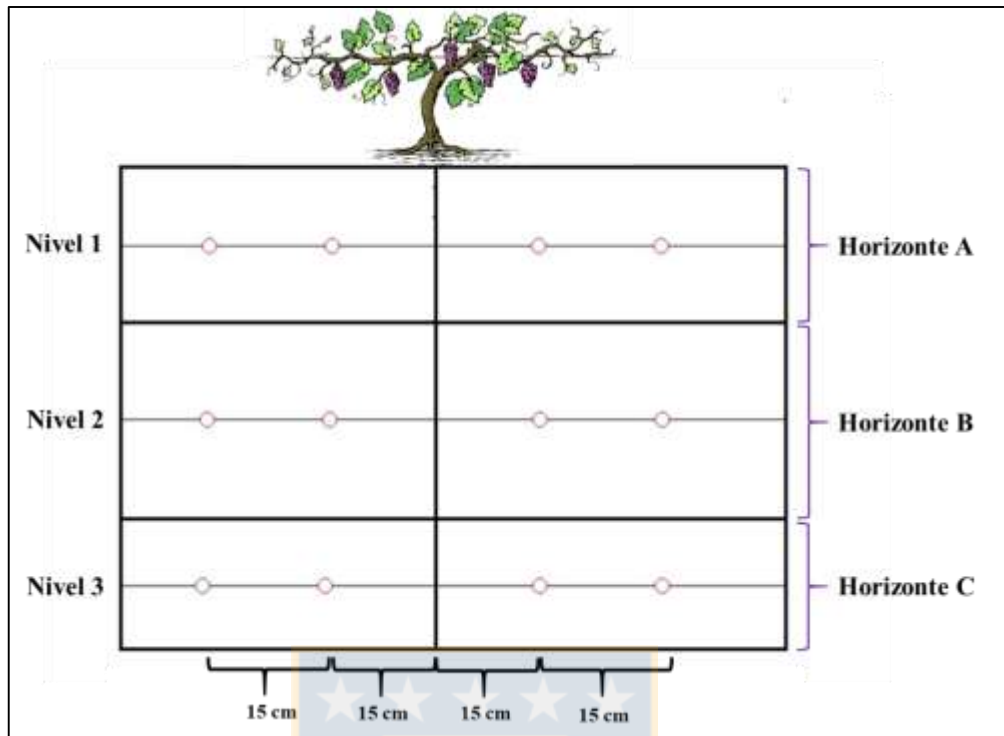


Figura 3.3 Vista esquemática del perfil en la calicata bajo la planta estudiada. Los “horizontes” corresponden al área donde se toman las muestras de suelo y los “niveles” representan las zonas específicas donde se toman medidas fisicoquímicas. Modificado de Castillo y otros (2015).

3.1.2. Muestreo de Suelo

Luego de definir con claridad la extensión del horizonte, se deben “ambientar” todas las herramientas y recipientes a utilizar, según el horizonte del que se va a tomar la muestra. Las muestras son tomadas para cada horizonte (A, B, C, D) según corresponda.

Las muestras analizadas en el presente trabajo corresponden a las tomadas para análisis granulométrico y mineralógico. Éstas se extraen en cada horizonte con un martillo geológico de boca plana, se traspasan a un recipiente plástico previamente homogenizado o ambientado con el material del horizonte y son dispuestas en una bolsa plástica estéril (sin uso previo), incluyendo todas las fracciones granulométricas existentes en toda la extensión de dicho nivel (limo-arcilla-arena-grava). La cantidad de suelo requerida para los análisis granulométricos es alrededor de 4 kg. Cuando esa cantidad es alcanzada, la bolsa es sellada, rotulada y pesada en una balanza.

Para el desarrollo de este trabajo se tomaron muestras de cada horizonte en cuatro calicatas de cada viña, más una o dos calicatas “blanco”. Las calicatas seleccionadas corresponden a aquellas en las que se observan características particulares y representan de mejor forma el cuartel estudiado.

3.2. Etapa Pre-Laboratorio

En esta etapa se define la metodología óptima a seguir para el trabajo de laboratorio, a través de sucesivas pruebas en diferentes laboratorios: en el Laboratorio de Sedimentología del Departamento de Geología, Universidad de Chile; en el Centro de Estudios Mineralógicos (CEM) Geoatacama, Coquimbo; y en el Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA) de la Universidad de Concepción. Además, ciertos análisis no fueron efectuados en el marco de esta memoria de título y sólo se cuenta con los resultados de éstos, ejemplo de ello son: el análisis de granulometría física; contenido de materia orgánica; C.I.C. de los suelos; y el secado, tamizaje y cuarteo del 90% de las muestras analizadas en este trabajo. El trabajo de esta investigación inicia con las muestras ya reducidas a la fracción limo-arcilla proveniente del tamizaje (malla #200).

La principal interrogante a resolver en esta etapa es qué análisis son necesarios para llevar a cabo un estudio mineralógico en suelos de uso agronómico, con énfasis en la fracción arcilla. En primer lugar, se comparan análisis granulométricos para establecer qué metodología entrega los resultados más confiables. Luego, se determina si es necesario extraer la M.O. a las muestras de suelo para su posterior análisis de DRX.

3.2.1. Análisis Granulométrico

Para el desarrollo de este trabajo las muestras son estudiadas siguiendo dos metodologías de análisis granulométrico: el método físico o del hidrómetro, y granulometría láser. El primero es realizado en etapas previas del proyecto y en un laboratorio externo; mientras que la granulometría láser es realizada como primer análisis en el marco del presente trabajo, pero con las muestras ya reducidas a tamaño limo/arcilla por medio de tamizaje en seco. Se realizan ambos análisis con el fin de interpretar cuál de los dos es más eficiente para estudios de suelos.

3.2.1.1. Granulometría física: Método del hidrómetro

El método del hidrómetro (Bouyoucos, 1936), toma como base la ley de Stokes, que señala que si una partícula esférica cae dentro del agua adquiere pronto una velocidad uniforme que depende del diámetro de la partícula, de su densidad y de la viscosidad del agua. Esta metodología requiere dispersar las partículas del suelo con una sustancia defloculante que neutralice las cargas eléctricas,

permitiendo que las partículas precipiten en forma individual. La cantidad de arena, limo y arcilla es determinada en el hidrómetro, gracias a las diferencias de velocidad con las que cada partícula cae en suspensión, lo que es función de su tamaño.

Este método entrega los resultados como valores de porcentaje en volumen de arena, limo y arcilla, además de la textura y densidad (g/ml) de la muestra de suelo (Anexo V). A diferencia del concepto geológico de “textura” utilizado en petrografía, la “textura del suelo” corresponde a la proporción relativa en porcentaje en peso de partículas tamaño arena, limo y arcilla que componen el suelo. Esta propiedad influye en la cantidad de poros y agua que contiene el suelo y la facilidad con que el agua se mueve a través de él. La textura del suelo puede clasificarse en: arenosa, limosa y arcillosa, y sus respectivas variantes, de acuerdo con el diagrama triangular de texturas del suelo, propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1987 (Ver Anexo de Granulometría).

Es considerada una metodología rápida en comparación con el tradicional método de la pipeta, ya que no requiere la extracción de M.O. ni sales en forma previa al análisis.

3.2.1.2. Granulometría láser

Este análisis granulométrico se realiza con muestras ya reducidas hasta la malla #200, corresponde al primer análisis realizado en el marco de esta memoria de título y se siguen los procedimientos establecidos en el laboratorio de sedimentología de la Universidad de Chile.

La granulometría láser es un método rápido para determinar la distribución y el tamaño de las partículas. Se utiliza el equipo Mastersizer 2000, marca Malvern, con su módulo accesorio *Hydro G*, que permite realizar mediciones granulométricas en vía húmeda.

Este equipo funciona de manera que se agrega una pequeña porción (alrededor de 2 g) de muestra tamaño limo-arcilla (mide materiales desde 0.02 μm hasta 2000 μm) y se genera una suspensión de partículas en un medio líquido (agua en este caso). Su mecanismo de dispersión consiste en una bomba centrífuga de velocidad variable y una unidad ultrasónica de potencia variable, ambas son controladas por el usuario desde el computador que acompaña a este dispositivo, utilizando el *software* del granulómetro láser.

El *software* entrega resultados como un *set* de tablas que contienen el porcentaje en volumen de los tamaños de grano que se encuentran en la muestra entre los rangos arena fina y arcilla

(dimensiones entre los 200 μm y 0,39 μm aproximadamente) según la clasificación de Wentworth (1922). A partir de estos datos, el *software* genera automáticamente un gráfico de distribución logarítmica de los parámetros mencionados. En el Anexo de Granulometría se observa un ejemplo de los resultados que entrega el granulómetro láser (Anexo V).

3.2.2. Extracción de Materia Orgánica (M.O.)

Una de las problemáticas a resolver en este trabajo fue si extraer la materia orgánica (M.O.) de las muestras de suelos ya tamizadas y reducidas a la fracción limo-arcilla mejora el análisis de DRX de las arcillas. Para resolver esta interrogante se lleva a cabo una investigación bibliográfica (Tabla 3.1), de la cual se seleccionan dos metodologías de extracción de M.O. y se comparan con las respectivas muestras sin extracción de materia orgánica.

De los métodos mencionados en la Tabla 3.1, se selecciona el que extrae mayor cantidad de materia orgánica (hipoclorito de sodio), y un método más suave (el más utilizado en Chile) el peróxido de hidrógeno.

Tabla 3.1 Reactivos usados en la extracción de materia orgánica (Jackson, 2005; Stevenson, 1994).

Método	Materia orgánica extraída
Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)	Hasta 30%
Hipoclorito de sodio (NaOH)	Hasta 80%
Carbonato de sodio (Na_2CO_3)	Hasta 30%
Pirofosfato de sodio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$)	Hasta 30%
Fluoruro de sodio (NaF)	Hasta 30%
Acetilacetona	Hasta 30%
Ácido fórmico (CH_2O_2)	Hasta 55%
Acetona	Hasta 20%

Se seleccionan tres muestras con contenidos alto (1,73%), medio (0,87%) y bajo (0,16%) de M.O. (muestras 1, 2 y 3 respectivamente). Cada una de ellas son sometidas a tres metodologías de extracción de M.O.: tratamiento con peróxido de hidrógeno (H_2O_2), tratamiento con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) y ácido clorhídrico (HCl); y la última metodología apunta a dejar las muestras sin tratamiento de extracción de M.O. Este análisis y los siguientes se realizan en las dependencias del Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA).

En los difractogramas “Muestra 1, Muestra 2 y Muestra 3” (Figuras 3.4; 3.5; 3.6), se observan los resultados del análisis de DRX para las tres metodologías desarrolladas sobre cada muestra orientada de arcillas. En todas ellas: el color negro corresponde a la submuestra sin tratamiento de extracción de M.O.; el color rojo indica el tratamiento de eliminación de M.O. con peróxido de hidrógeno (H_2O_2); y en color azul se observa la curva correspondiente al tratamiento con la solución $NaClO + HCl$. (Anexo VII).

Muestra 1

Se observa que los *peaks* del tratamiento con peróxido de hidrógeno son los más intensos y mejor definidos de las tres metodologías; la submuestra sin tratamiento por su parte presenta una definición similar pero los *peaks* son menos intensos; finalmente, la submuestra tratada con la solución ($NaClO+HCl$) marca correctamente los *peaks*, pero su intensidad es muy baja en comparación con los otros tratamientos (Figura 3.4).

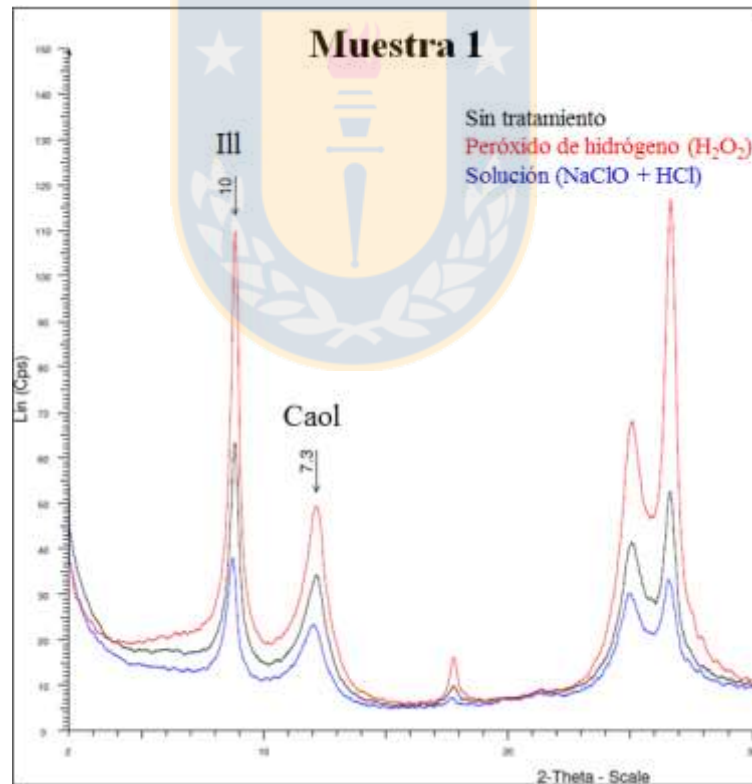


Figura 3.4 Difratograma muestra 1. Minerale identificadas y sus patrones según los tratamientos de extracción de M.O. efectuados. III: illita, Caol: caolinita.

Muestra 2

Al igual que en la Muestra 1, la mejor definición e intensidad de los *peaks* es presentada por el tratamiento con peróxido de hidrógeno (en rojo, Figura 3.5). La submuestra sin tratamiento exhibe un comportamiento similar, con una pequeña caída de las intensidades de los minerales con respecto a la submuestra tratada con peróxido de hidrógeno. Por su parte, la curva de la submuestra sometida a la solución (NaClO + HCl) es bastante diferente: el *peak* de 14,6 Å marcado en los otros tratamientos, se encuentra desplazado hacia los 12,2 Å; además, el *peak* 10 no se observa con claridad en comparación con los otros dos casos (Figura 3.5). Esta caída y variación en los *peaks* podría atribuirse a que ocurre una disolución parcial de la muestra, que afecta especialmente a la esmectita e illita, y no permite identificar dichos minerales. La caolinita no es disuelta pero existe una caída en la intensidad de su *peak* y en la cristalinidad, y eventualmente subestimaría la presencia de este mineral en el caso de semicuantificarlo.

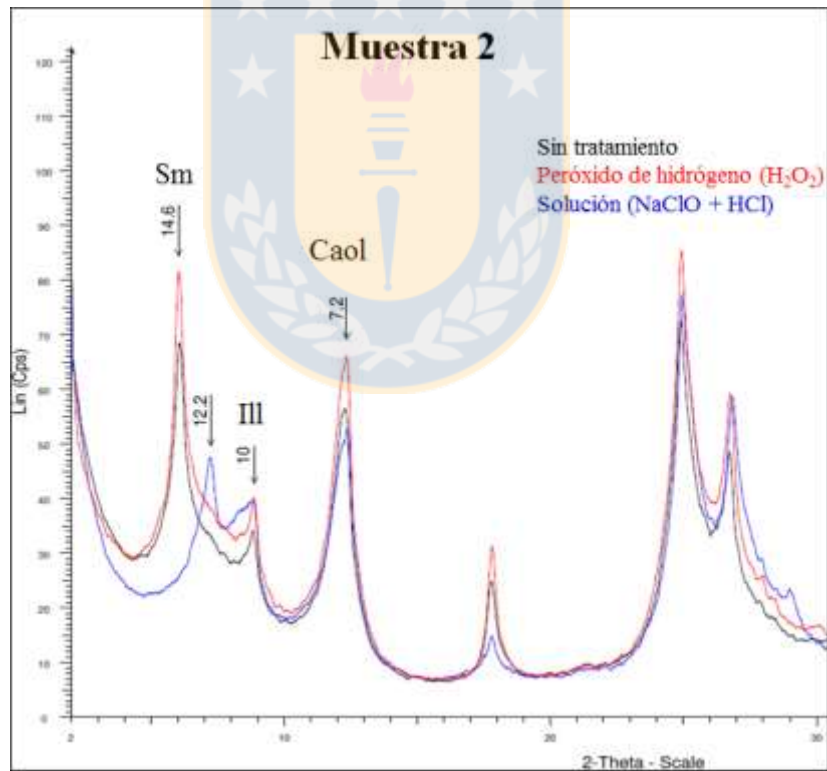


Figura 3.5 Difractograma muestra 2. Difractogramas de los tres tratamientos para la Muestra 2 y los filosilicatos identificados. Sm: esmectita, Ill: illita, Caol: caolinita.

Muestra 3

Al igual que en los casos anteriores, la submuestra sin tratamiento y la submuestra tratada con peróxido de hidrógeno sólo se diferencian en la intensidad de los *peaks*, pero ambas mantienen una definición clara y una cristalinidad alta. En cambio, en el caso del tratamiento con solución (NaClO+HCl) no aparece el *peak* en 14,6 Å y en su lugar aparece una forma angulosa de difícil interpretación; el resto de los *peaks* en general se observan con menor intensidad que en los casos anteriores (Figura 3.6). Se reafirma que este último tratamiento disuelve la muestra afectando con mayor fuerza a la esmectita e illita.

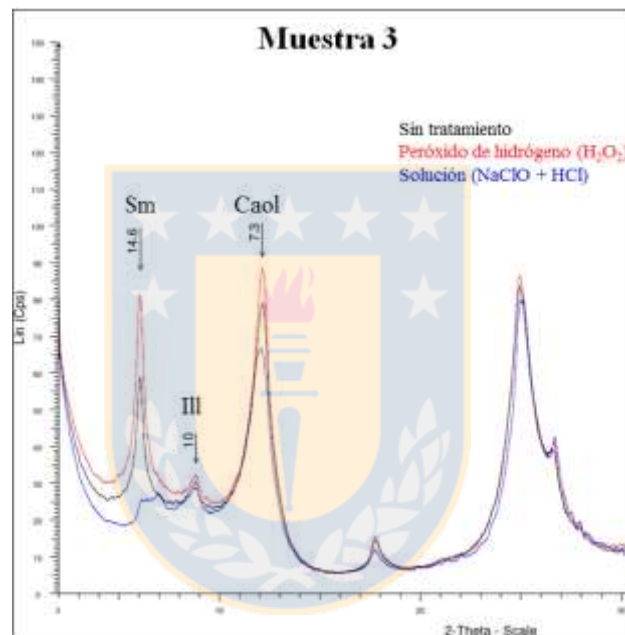


Figura 3.6 Difractograma muestra 3. Difractograma de los tres tratamientos para la Muestra 3 y los respectivos filosilicatos identificados. Sm: esmectita, Ill: illita, Caol: caolinita.

Luego de realizar las pruebas e interpretar los resultados, se considera que el tratamiento con peróxido de hidrógeno mejora la cristalinidad de los minerales y la intensidad de los *peaks* es mayor con respecto a las otras dos opciones, por lo que se considera el mejor; sin embargo, este tratamiento no difiere mucho de los resultados entregados por las muestras sin tratamiento de extracción de M.O., por lo que se decide que no es necesaria la extracción de M.O., ya que conviene en términos de optimización de tiempo y recursos, y entrega datos correctos y de buena calidad. El tratamiento con la solución de hipoclorito de sodio y ácido clorhídrico (NaClO+HCl), además de

ser un tratamiento que requiere muchas precauciones extra en el laboratorio por tratar con reactivos altamente tóxicos, disuelve parcialmente la muestra, lo que afecta a ciertos minerales como esmectita o illita, y disminuye la intensidad y cristalinidad de la caolinita, por lo que es descartado.

3.2.2.1. Tratamiento con peróxido de hidrógeno (H_2O_2)

- 1.- Tomar 10 g de cada muestra (1, 2 y 3) y ponerlas en tres vasos precipitados respectivamente.
- 2.- Agregar 125 ml de peróxido de hidrógeno de 30 volúmenes (9%) a cada muestra y agitar manualmente en forma constante durante 1 hora, y luego dejar reposar las muestras 24 horas bajo campana, mientras ocurren las primeras reacciones del peróxido de hidrógeno con la M.O. que contienen las muestras.
- 3.- Calentar las muestras en un baño termostático (baño María), marca Braun, modelo Certomat WR (Figura 3.7), a temperatura controlada que no sobrepase los $60^\circ C$ y con agitación leve, durante 4 horas o más, hasta que la efervescencia sea nula al agitar la muestra manualmente. Cuando la efervescencia acaba, se estima que la M.O. ha sido removida de las muestras tratadas.



Figura 3.7 Equipo de baño termostático (baño María).

- 4.- Dejar reposar por al menos 2 horas a temperatura ambiente, eliminar el líquido sobrenadante de cada una de las muestras y rellenarlas con 150 ml de agua destilada.

3.2.2.2. Tratamiento con solución de hipoclorito de sodio y ácido clorhídrico ($NaClO + HCl$)

- 1.- Tomar 10 g de cada muestra (1, 2 y 3) y poner en vasos precipitados.
- 2.- Agregar a cada muestra 50 ml de hipoclorito de sodio ($NaClO$) y aproximadamente 1 ml de ácido clorhídrico (HCl al 30%) *Suprapur*, hasta que la solución quede equilibrada a un $pH \sim 9,5$.

- 3.- Calentar la solución a baño María (Figura 3.7), a temperatura entre 50° y 60° C, durante 2 horas.
- 4.- Centrifugar cada muestra, a 700 rpm por 1 minuto, con el fin de hacer decantar el limo y arcilla, y flotar la M.O. y otros residuos del tratamiento, y apartar el líquido sobrenadante y conservar el material decantado.
- 5.- Al material decantado agregar la misma solución del paso 2 y calentar a baño María, esta vez durante 30 minutos, a la misma temperatura.
- 6.- Repetir el paso 4, montar la muestra sólida decantada en un vidrio reloj y dejar reposando por 2 días a temperatura ambiente.
- 7.- Verter el material sólido desde los vidrios reloj en vasos precipitados y rellenarlos con 150 ml de agua destilada.

3.2.2.3. Muestras sin extracción de M.O.

- 1.- Tomar 10 g de cada muestra (1, 2 y 3), poner en vasos precipitados y agregar a cada muestra 150 ml de agua destilada.

En forma posterior, cada muestra pasa al procedimiento de separación de limo y arcilla, se conservan las arcillas y se montan en un portaobjeto, para luego pasar al análisis de DRX. Cada uno de estos pasos es explicado en el ítem 3.3.

3.3. Etapa de Laboratorio

En esta fase de la investigación se realizan todos los análisis necesarios a las muestras, para los cuales se describe brevemente su procedimiento. Como se menciona con anterioridad, más del 90% de las muestras ya se encuentra tamizada a la malla #200 al momento de iniciar esta etapa. Estos análisis se describen detalladamente a continuación. También se explican a grandes rasgos las metodologías seguidas por los laboratorios donde se mandaron a hacer algunos análisis.

Las muestras seleccionadas para el desarrollo de esta investigación según las viñas son las siguientes:

-Viña de San Antonio: 4 calicatas cultivadas, 1 calicata blanco; en total 17 muestras

-Viña de Santa Cruz: 4 calicatas cultivadas, 2 calicatas blanco; en total 19 muestras

-Total de muestras: 36

Estas 36 muestras pasaron por cada una de las etapas que se describen en este capítulo. La ubicación de estas calicatas dentro de las viñas se encuentra en el Anexo II.

3.3.1. Separación Limo-Arcilla

En primer lugar, las muestras se depositan en frascos plásticos con agua destilada y se disponen en un equipo de ultrasonido durante 40 minutos, con el fin de dispersar las partículas. Luego, se separa la muestra disuelta en cuatro tubos de centrífuga de fondo redondo (si es necesario, se rellena con agua destilada para que todos estén hasta el mismo nivel) y se ponen en una centrífuga de laboratorio (Figura 3.8). Esta centrífuga separa limo de arcilla basándose en la ley de Stokes para centrífugas, que dice: “cuando se aplica una fuerza a una partícula en un medio continuo, ésta se acelera hasta que alcanza una velocidad a la cual la resistencia a su movimiento iguala a la fuerza aplicada”. En el caso de la centrífuga utilizada, se ajusta una programación de 3000 revoluciones por minuto (rpm) por 1:35 minutos, que permite separar partículas inferiores a $2\ \mu\text{m}$, donde el limo decanta y la arcilla queda suspendida en el líquido sobrenadante.



Figura 3.8 Centrífuga de laboratorio.

Luego se monta un filtro de membrana circular de alrededor de 3 cm de diámetro y de $0,45\ \mu\text{m}$ de tamaño de poro, en una bomba de filtrado al vacío (Figura 3.9). En seguida se vacía el líquido de uno de los tubos (o más de uno) en el sistema de filtrado. Se debe evitar que el material decantado (limo) pase al sistema de filtrado.



Figura 3.9 Sistema de filtrado.

Es variable el tiempo que toma el filtrado ya que depende de la abundancia de materiales tamaño arcilla. Cuando el agua ha sido filtrada, se retira el filtro de papel que contiene las arcillas y se monta cada muestra orientada en su respectivo portaobjetos de vidrio, con ayuda de una espátula (Figura 3.10).

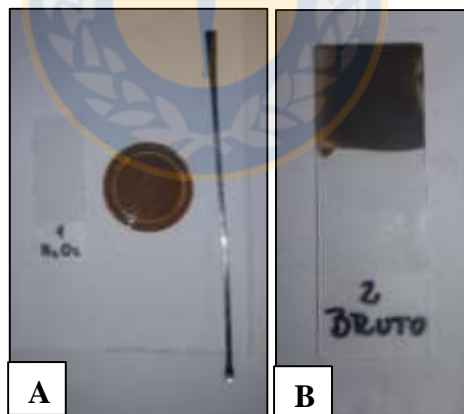


Figura 3.10 Montaje de muestra A. Filtro con arcillas y espátula.
B. Muestra para DRX.

3.3.2. Difracción de Rayos X (DRX)

Existen dos modalidades de análisis por DRX: el método del polvo, donde la muestra está orientada al azar y su fundamento es identificar las fases minerales existentes; y el método de los agregados

orientados, donde las partículas han sido orientadas para poder determinar las principales familias de filosilicatos.

3.3.2.1. Método del Polvo

Este método entrega datos cualitativos y cuantitativos de los minerales que conforman la muestra ya sea de roca o de suelo. La muestra a analizar es triturada y homogenizada en un mortero de ágata hasta conseguir una fracción de tamaño de partícula inferior a 20 μm . Estas partículas se encuentran orientadas al azar y son dispuestas en una cámara de polvo del difractor de rayos X (Figura 3.11). Este análisis es realizado por un laboratorio externo que cuenta con un difractómetro de rayos X de sobremesa, marca Bruker, modelo D2 Phaser que usa radiación $\text{CoK}\alpha$ ($\lambda=1,789 \text{ \AA}$) y es medido entre 10° y $80^\circ 2\theta$. Este método entrega resultados que deben ser procesados e interpretados en el *software* TOPAS (también realizado por dicho laboratorio externo), y los resultados son la mineralogía total y sus proporciones en la muestra.

3.3.2.2. Método de los Agregados Orientados

Para este análisis se toman las muestras orientadas provenientes de la separación limo/arcilla ya montadas en un portaobjeto (Figura 3.10 B) y son analizadas por DRX. Luego, a estas muestras se les aplica etilenglicol, sustancia capaz de generar hinchamiento de ejemplares del grupo de la esmectita. Posteriormente, las muestras son calentadas en un horno a una temperatura de 375°C y, finalmente, se calientan a 550°C . Estos tratamientos de temperatura también permiten identificar determinados minerales del grupo de los filosilicatos.

Estos análisis de DRX son realizados en el equipo marca Bruker, modelo D4 Endeavor (Figura 3.11), que utiliza una radiación $\text{CuK}\alpha$ con filtro de Ni, $\lambda=1,5506 \text{ \AA}$, cuyas condiciones de excitación son 40 kV y 20 mA. La información se toma entre los 3° y $50^\circ 2\theta$, con un *scan step* de $0,02^\circ$ y un *step time* de 28,2 segundos.

Todos los resultados obtenidos del análisis de DRX son procesados en el *software* Bruker EVA.

3.3.3. Semicuantificación de filosilicatos

Para obtener una cuantificación aproximada de los filosilicatos presentes en la fracción arcilla de estas muestras se realiza una semicuantificación según los factores propuestos por Biscaye (1965) para los principales filosilicatos.



Figura 3.11 Difractor de rayos X.

En primer lugar, se mide la intensidad en cuentas de los *peaks* (001) de los filosilicatos en la curva de la muestra saturada con etilenglicol, con la excepción de la esmectita, para la cual se toma el valor del *peak* (004), con el fin de evitar la sobreestimación de este mineral, dada su alta expansibilidad. Luego esos valores se dividen por los siguientes factores:

Tabla 3.2 Factores de intensidad propuestos por Biscaye (1965).

Filosilicato	Caolinita	Illita	Clorita	Esmectita
Factor	0,5	1,0	0,5	0,25

Luego se normalizan los valores y se obtiene el porcentaje en que se encuentran estos filosilicatos. Esta proporción de los filosilicatos es relacionada con el porcentaje de minerales tamaño arcilla entregado por el análisis granulométrico físico, obteniendo así el porcentaje aproximado de cada filosilicato en la fracción arcilla del suelo. Para facilitar la presentación de estos datos se realiza un gráfico de barras.

3.3.4. Saturación con cationes

En este tratamiento se utilizan las muestras de limo-arcilla obtenidas del tamizaje, que son dispersadas y separadas en limo y arcilla, para posteriormente ser sometidas a los tratamientos de saturación con cationes.

El procedimiento de esta saturación se sigue según el Dr. Felipe Aburto (Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción), comunicación personal, 2017.

En primer lugar, las muestras son disueltas en una solución de hexametáfosfato de sodio 35,7 g/l y bicarbonato 7,4 g/l, que actúa como un dispersante de partículas. Para esto se toman 5 g de muestra y se mezclan con 5 ml de la solución mencionada antes y con 45 ml de agua destilada. Luego, son dispuestas en un agitador durante 30 min a 300 rpm.

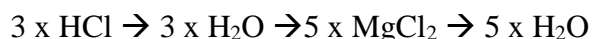
Una vez dispersadas, estas muestras pasan a la separación limo y arcilla descrita con anterioridad, pero en esta ocasión, se conservan las arcillas concentradas en el líquido sobrenadante de los tubos luego de ser centrifugadas.

El proceso de saturación con cationes se inicia montando al menos un sistema de filtrado con bomba de vacío, al que se debe incorporar un filtro de membrana de 0,22 μm , capaz de retener partículas tamaño arcilla (en este caso se realizó con cinco sistemas de filtrado en paralelo).

Además, para la aplicación de cada reactivo se debe contar con gotarios, una pinza lo suficientemente pequeña para poder remover los filtros del sistema de filtrado y recipientes para las soluciones, en este caso se utilizan tubos Falcon.

3.3.4.1. Saturación con cloruro de magnesio

Lo primero es agregar la muestra de arcillas disueltas en agua destilada sobre el filtro en el sistema de filtrado. Para esto se usa un gotario y se aplica cuidadosamente hasta que el filtro esté cubierto con partículas de arcilla. Una vez que se filtre toda el agua y una cantidad suficiente de arcillas queden retenidas (más o menos cuando el filtro se torna por completo del color de las arcillas de la muestra), se procede a aplicar el tratamiento de cloruro de magnesio. La aplicación consiste en aplicar con un gotario una cantidad del líquido correspondiente, tal que cubra toda la muestra (todo el filtro), esperar que se filtre y volver a aplicar, según el número de veces que se indique. En este caso, se sigue el siguiente procedimiento de aplicación:



Se deben aplicar 3 medidas de HCl (una a una, esperando que cada una de ellas se filtre), luego “lavar” la muestra con 3 medidas de agua destilada, a continuación, aplicar 5 medidas de MgCl₂ y, para finalizar, se lava la muestra con 5 veces de agua destilada.

Una vez terminado el procedimiento, se retira el filtro y se monta en un portaobjetos, que posteriormente es analizado por DRX.

3.3.4.2. Saturación con cloruro de potasio

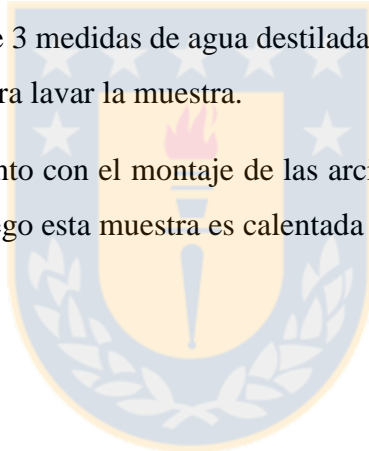
Este tratamiento se efectúa de manera similar al de cloruro de magnesio, la aplicación de la muestra se realiza de la misma forma indicada previamente.

En este caso, la aplicación de los reactivos se realiza de la siguiente manera:



Esto equivale a la aplicación de 3 medidas de agua destilada, 5 de cloruro de potasio y finalmente, 5 medidas de agua destilada para lavar la muestra.

También finaliza este tratamiento con el montaje de las arcillas del filtro en un portaobjetos y su posterior lectura por DRX. Luego esta muestra es calentada a 375°C y a 550°C.



4. GEOLOGÍA LOCAL

El estudio geológico a escala local en las viñas se realiza en dos cuarteles en cada viña. En el caso de la viña de San Antonio, el estudio se lleva a cabo en dos cuarteles de *Pinot noir* clasificados como: CT, correspondiente a una terraza marina; y CP, a una terraza de abrasión que presenta una pendiente suave hacia una quebrada que pasa al oriente de la viña. Para la viña de Santa Cruz, se estudian dos cuarteles de *Carménère*: LI, asociado a una llanura de inundación; y LP, que corresponde a un depósito de piedemonte.

4.1. Viña de San Antonio

El área comprendida por los cuarteles estudiados en la viña de San Antonio está conformada por dos de las unidades geológicas descritas por Contreras (2017) para esta zona. La unidad dominante corresponde a la Secuencia Sedimentaria Malvilla y, en forma secundaria, aflora al sur de ambos cuarteles la Unidad San Antonio. Si bien ambos cuarteles están compuestos por el mismo material parental, existen diferencias geomorfológicas y el grado de intervención humana del suelo no es el mismo.

4.1.1. Cuartel CT

En este cuartel se realizan nueve calicatas, pero para el actual estudio sólo se toman las calicatas 1, 6 y la calicata de control o “blanco” 13 (Figura 4.1).

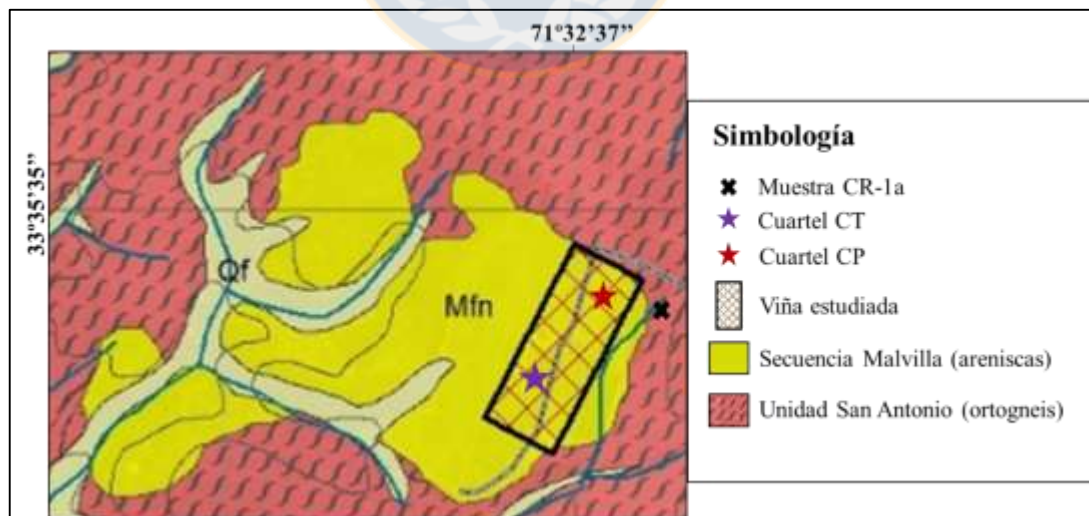


Figura 4.1 Geología local de la viña de San Antonio. Ubicación de cuarteles de la viña y muestra CR-1a. Modificado de Contreras (2017).

Este cuartel está emplazado sobre los depósitos de una terraza marina, de aproximadamente 200 metros de espesor. El suelo que constituye este cuartel se ha desarrollado sobre unas areniscas de grano medio, de coloración pardo amarillenta, correspondientes a la Secuencia Sedimentaria Malvilla, descrita por Contreras (2017). A través del estudio de calicatas, se puede observar que existen niveles de clastos redondeados sin una distribución clara sobre estas areniscas. Además, se observan abundantes nódulos de Mn y Fe distribuidos en forma aleatoria en todos los niveles (A, B y C) y restos calcáreos provenientes de fragmentos de conchas de moluscos.

Existe una evidente intervención antrópica en la parte superior de estos suelos (por lo menos los 40 cm superiores), donde se reconocen bloques de cemento y ladrillos (Figura 4.2). De acuerdo a la información histórica de la viña, el suelo, previo a la plantación de las vides, fue removido por maquinaria pesada hasta una profundidad aproximada de 1 metro (Castillo y otros, 2017).



Figura 4.2 Calicata del cuartel CT con restos antrópicos. Perfil de suelo que muestra la presencia de restos de origen antrópico, en este caso ladrillos en los niveles más someros del suelo. Alto de la regla: 160 cm; divisiones cada 10 cm.

4.1.2. Cuartel CP

Este cuartel se caracteriza por mostrar un menor grado de intervención humana en comparación con el cuartel CT. Corresponde a un suelo formado *in situ* sobre una terraza marina de la Secuencia Sedimentaria Malvilla (Contreras, 2017).

Se observa con claridad la naturaleza sedimentaria de los suelos de esta unidad en el perfil de la calicata CP-10 (Figura 4.3), donde es posible realizar divisiones de capas según diferencias granulométricas. De base a techo se definen las siguientes capas:

-Nivel 1: al menos 45 cm de arenisca de grano medio levemente estratificada

-Nivel 2: 20 cm de arenisca de grano medio con estratificación planar y lentes milimétricos de magnetita

-Nivel 3: 22 cm de conglomerado grano-soportado, polimíctico y clastos de hasta 5 cm de diámetro

-Nivel 4: al menos 65 cm de suelo, el que contiene clastos redondeados aleatorios, nódulos de Fe-Mn y alto contenido de arcillas.



Figura 4.3 Calicata CP-10. Suelo y parte de la subunidad areniscas de la Secuencia Sedimentaria Malvilla separados en 4 capas diferentes (1, 2, 3 y 4). La regla tiene un largo de 160 cm y sus divisiones están marcadas cada 10 cm.

4.2. Viña de Santa Cruz

Esta viña está emplazada sobre rocas graníticas cretácicas de la Unidad Apalta y sobre sedimentos semi-consolidados que rellenan la cuenca, los cuales son: depósitos fluviales, situados en las quebradas o canales activos; y depósitos fluvio-aluviales, correspondientes al material que

compone la zona llana de la viña (Figura 4.4). En este caso se estudian dos cuarteles, uno situado en la zona de baja pendiente (cuartel LI) y el otro situado en una zona de piedemonte de la viña (LP).

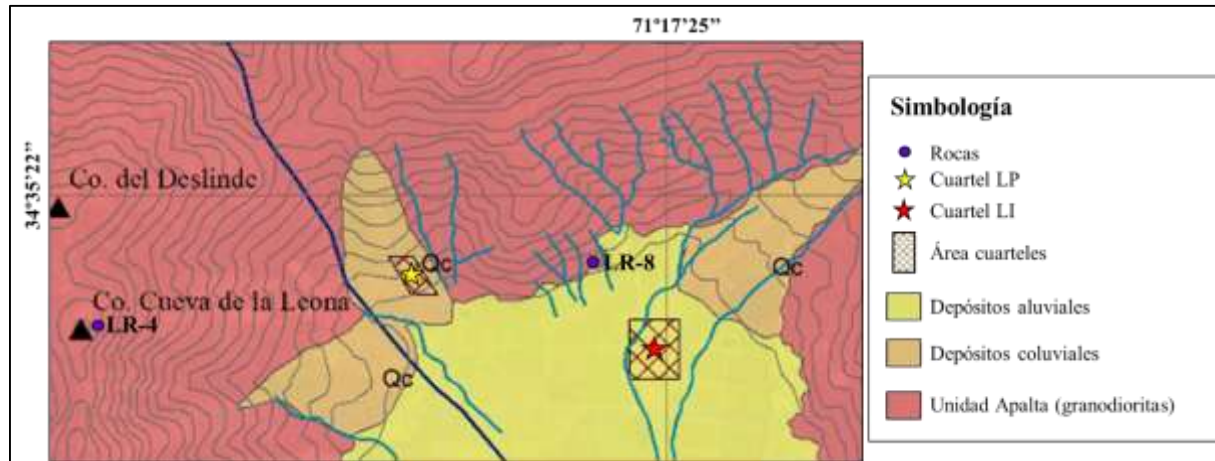


Figura 4.4 Geología local de la viña de Santa Cruz. Unidades geológicas presentes en ambos cuarteles de la viña de Santa Cruz y muestras de rocas del material parental. Modificado de Contreras (2017).

4.2.1. Cuartel LI

Este cuartel corresponde a una zona relativamente plana que está demarcada por dos quebradas. El material que compone estos suelos corresponde a un depósito aluvial de gran envergadura, disectado en algunos tramos por paleocanales fluviales, razón por la que es clasificado como un depósito fluvio-aluvial (Contreras, 2017).

Los perfiles de suelo observados en las calicatas, muestran que entre los horizontes no existen grandes variaciones (Figura 4.5). La fracción mineral del suelo se compone principalmente de partículas tamaño arena media a gruesa, de composición monomíctica, por lo que se determina que este suelo está formado por el material erosionado proveniente de los cerros aledaños, principalmente compuestos por una granodiorita de biotita y hornblenda. En restringidos sectores se observa la presencia de clastos semiangulosos de dimensiones mayores, que podrían demostrar la presencia de paleocanales de baja capacidad de transporte (Castillo y otros, 2017).

4.2.2. Cuartel LP

Este cuartel se sitúa en una zona de fuerte pendiente, muy próxima a uno de los cerros que componen el material de los depósitos mencionados para el cuartel LI.



Figura 4.5 Calicata del cuartel LI. Suelo de una calicata del cuartel LI donde se observa una diferenciación muy débil de los horizontes del suelo. Alto de la regla: 160 cm; divisiones cada 10 cm.

En este cuartel existe un desarrollo de suelo *in situ* sobre granodioritas de la Unidad Apalta, observado en la calicata LP-10; pero además existe una zona de menor pendiente conformada por depósitos coluviales, identificado en la calicata LP-11. Esta última calicata representa una zona donde se ha acumulado material erosionado y se ha transportado gravitacionalmente, por lo que sus características composicionales son monomícticas, pero con presencia de sedimentos y bloques redondeados a semiangulosos (Castillo y otros, 2017).

En la Figura 4.6 se observan las calicatas LP-10 (Figura 4.6 A) y LP-11 (Figura 4.6 B), en ellas se observa la diferencia del material que constituye el cuartel LP (material granítico meteorizado y material coluvial, respectivamente).

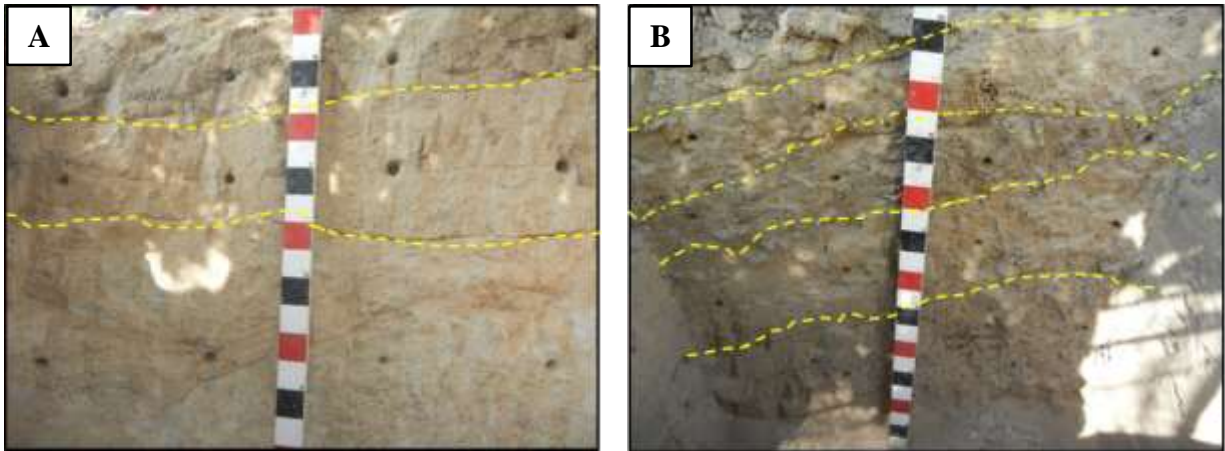


Figura 4.6 Comparación del material parental en ambos cuarteles. **A.** Calicata LP-10, donde se observa un material granítico meteorizado. **B.** Calicata LP-11 donde se aprecia un suelo proveniente de un material coluvial. Alto de la regla: 160 cm; divisiones cada 10 cm.



5. MINERALOGÍA DE ROCAS Y SUELOS

5.1. Granulometría

5.1.1. San Antonio

5.1.1.1. Granulometría física

Los resultados de este análisis granulométrico indican que en los suelos de esta viña dominan en general las partículas tamaño limo y arcilla (Figura 5.1), con la excepción de los horizontes más profundos de las calicatas CT-1, CP-10 y CP-12, donde las partículas tamaño arena son las más abundantes.

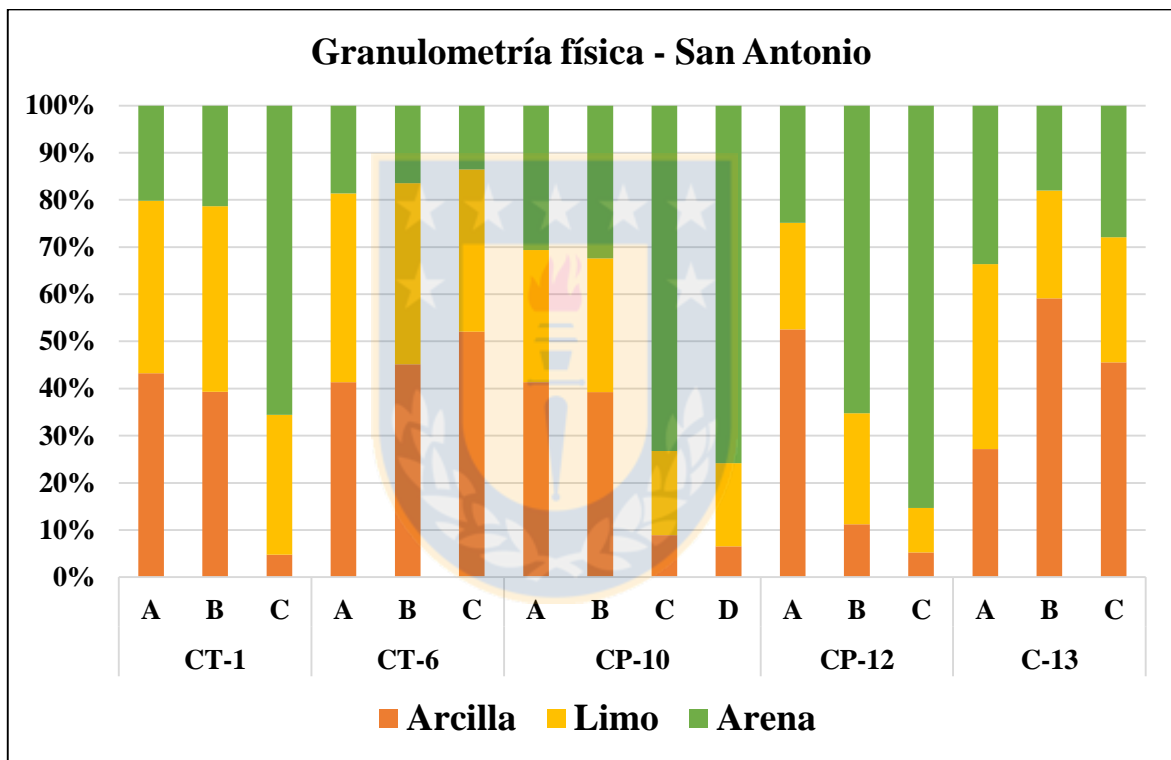


Figura 5.1 Resultados de la granulometría física para la viña de San Antonio. A, B, C y D corresponden a los horizontes en cada calicata.

En esta viña la fracción arcilla es abundante en los horizontes superficiales (A y B), con contenidos de entre 30% y 60%, mientras que en los horizontes más profundos (C) disminuye su proporción abruptamente (hasta 5%), a excepción de la calicata CT-6, donde la tendencia es inversa. La fracción limo, en general, es más abundante en las calicatas del cuartel CT (35% en promedio), en el cuartel CP se mantiene más o menos constante en un 20%; las partículas tamaño arena, inversamente a las arcillas, son escasas en los horizontes A y B y abundantes en los horizontes C

y D. La calicata C-13 representa una excepción que se ajusta con lo esperado para un suelo sin intervención, donde el horizonte B es más rico en arcillas que A y C.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la granulometría física, se constata que el cuartel CP de esta viña presenta texturas arcillosas para los horizontes someros (A y B), y una tendencia más bien arenosa hacia horizontes más profundos C y D (Figura 5.2) lo que es coherente con lo observado en el trabajo de terreno. Por su parte, las calicatas del horizonte CT muestran texturas con tendencia arcillosa en todos sus horizontes, lo que podría atribuirse a la remoción de terreno realizada previa al cultivo en esta viña y que posiblemente desordena la estructura original del suelo. Finalmente, el suelo no cultivado posee la mayor proporción de partículas arcillosas en el horizonte B, pero que es similar a lo observado para el horizonte C, lo que podría indicar que este horizonte es un horizonte B2 (parte del horizonte B pero con ciertas diferencias) en lugar de un horizonte C, y el horizonte B sería el horizonte B1.

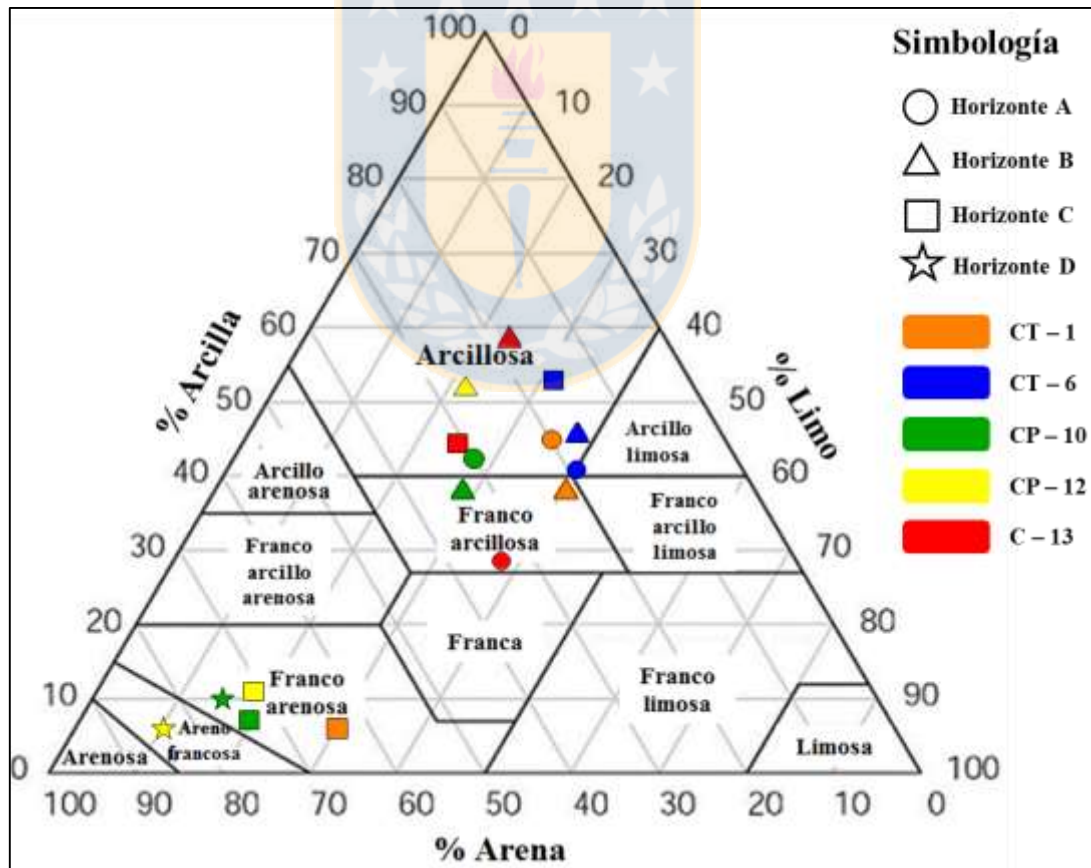


Figura 5.2 Triángulo de las texturas para la viña de San Antonio. Diagrama de clasificación textural de los suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1987).

5.1.1.2. Granulometría láser

El análisis de granulometría láser en esta viña muestra una sobreestimación de las partículas tamaño limo (80% partículas tamaño limo) que se mantiene relativamente constante en todas las muestras analizadas (Figura 5.3). En general las partículas tamaño arena y arcilla poseen la misma proporción, que no supera el 10% respectivamente.

Los resultados de este análisis discrepan con los mostrados por el análisis granulométrico físico y con lo observado en terreno, por lo que se puede aseverar que la confiabilidad de esta metodología depende del grado de dispersión del material.

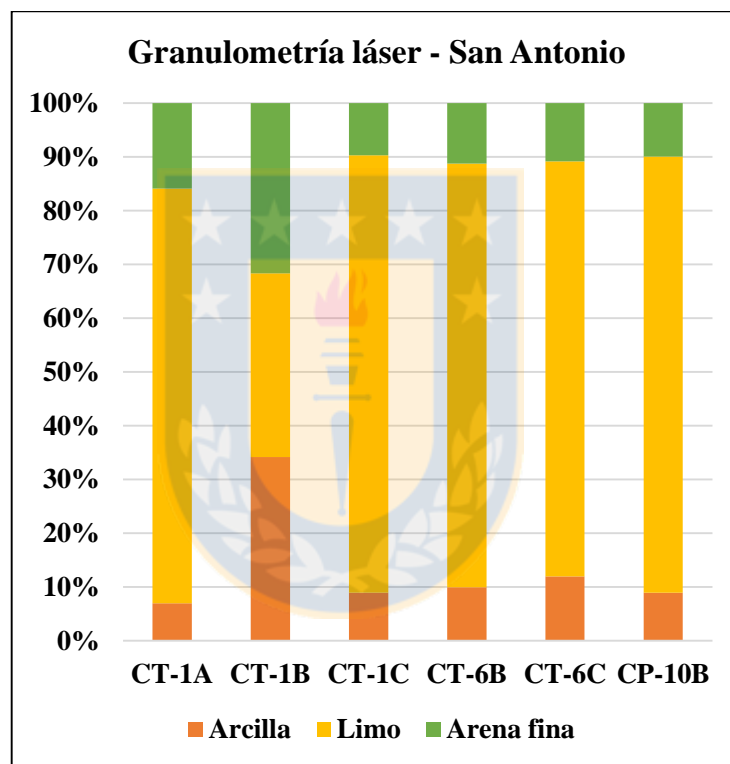


Figura 5.3 Resultados de granulometría láser para la viña de San Antonio.

5.1.2. Santa Cruz

5.1.2.1. Granulometría física

De acuerdo con este análisis, las partículas tamaño arena son las más abundantes en los suelos de esta viña, con más de un 70% de abundancia en todas las muestras analizadas (Figura 5.4). Le siguen en abundancia las partículas tamaño limo, con valores entre 10% y 20%; y finalmente, las partículas tamaño arcilla que en promedio no superan el 10%. La fracción arena tiende a aumentar suavemente hacia los horizontes C, mientras que la fracción arcilla disminuye en ese sentido.

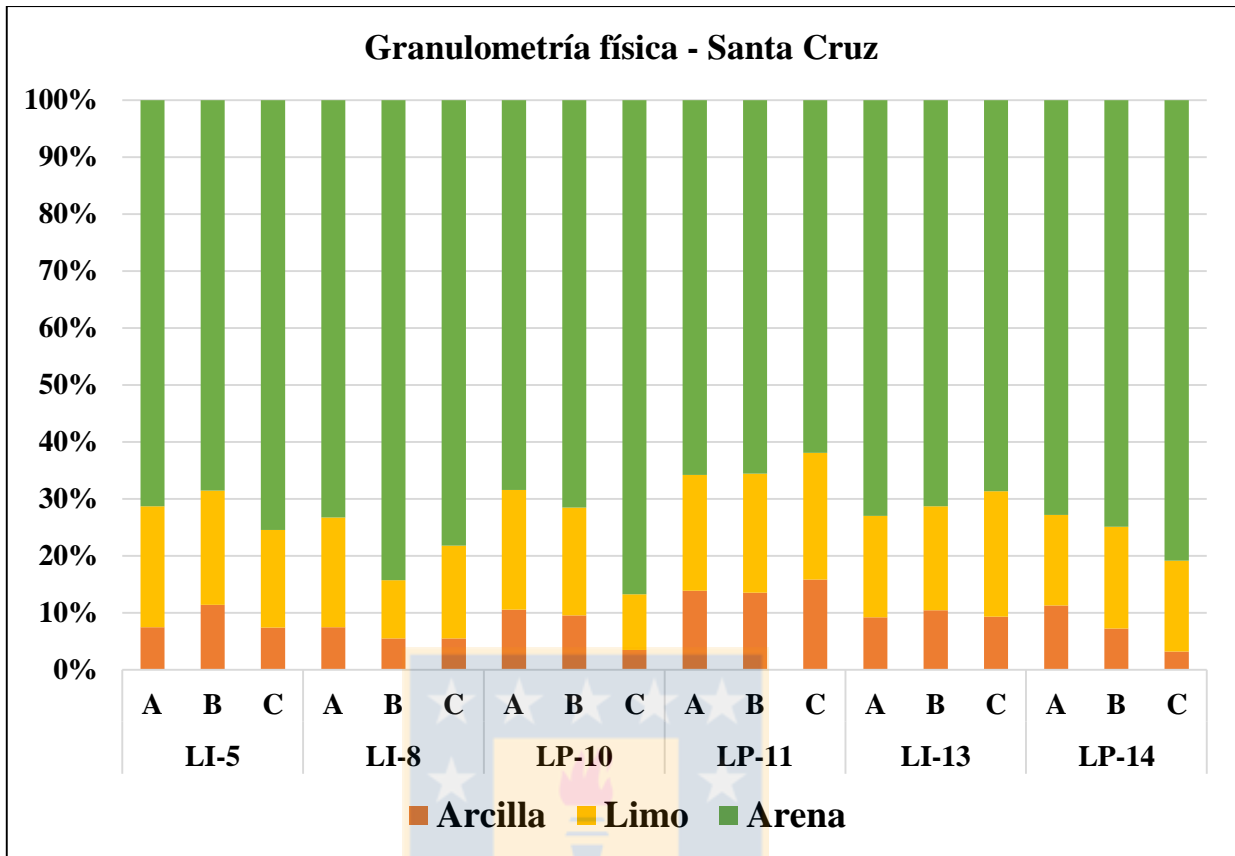


Figura 5.4 Resultados de granulometría física para la viña de Santa Cruz.

En general los suelos de esta viña tienen una textura areno-francosa a franco-arenosa (Figura 5.5). Un hecho destacable es que los tres horizontes de la calicata LP-11 son los que poseen la mayor cantidad de material fino (limo/arcilla), que apoya lo observado en terreno donde, comparado con las otras calicatas, ésta mostraba una constitución más fina.

5.1.2.2. Granulometría láser

Al igual que en la viña de San Antonio, se observa una abundancia mayor de partículas tamaño limo que alcanzan el 80% y se mantienen constantes en la mayoría de los horizontes de todas las calicatas (Figura 5.6).

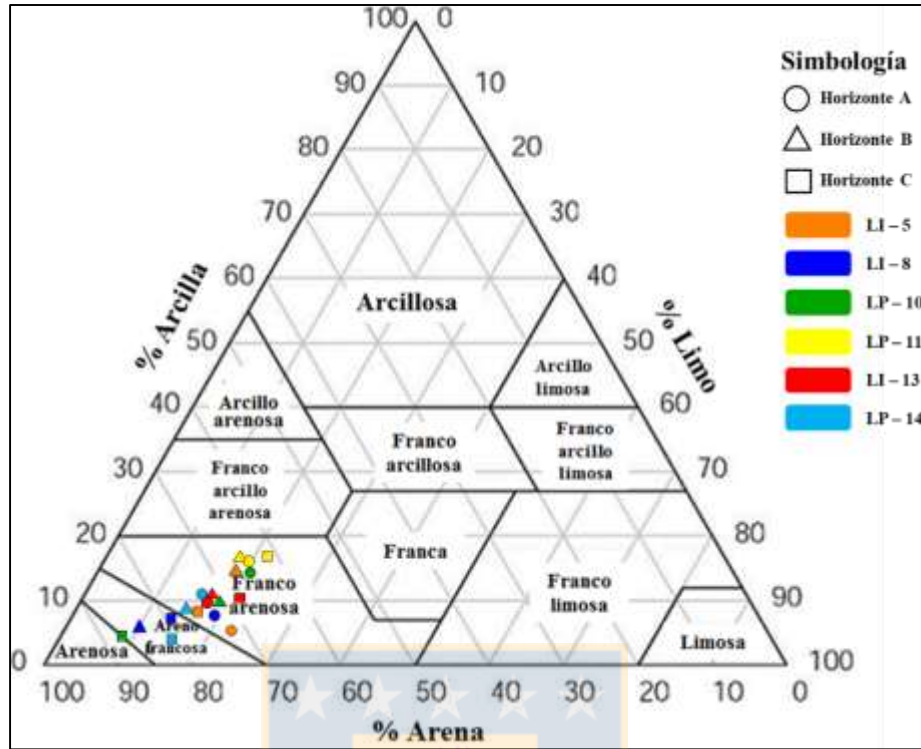


Figura 5.5 Triángulo de las texturas para la viña de Santa Cruz. Diagrama de clasificación textural de los suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1987).

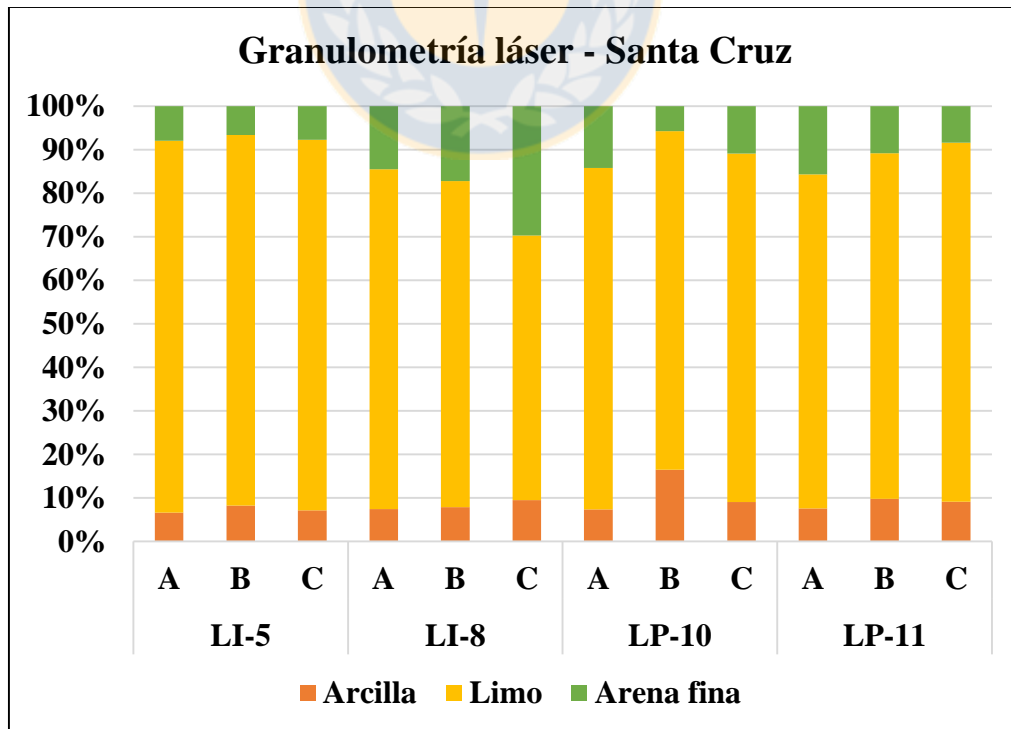


Figura 5.6 Resultados granulometría láser para la viña de Santa Cruz.

En el trabajo de gabinete posterior se realiza una investigación de estas técnicas y, de acuerdo a lo propuesto por Di Stefano y otros (2010), esta metodología oficialmente debe realizarse a muestras de suelo ya tratadas para eliminar su materia orgánica, y dispersadas con antifloculantes como hexametáfosfato de sodio. Ante esta situación, se considera que el análisis granulométrico por el método del hidrómetro presenta resultados coherentes con lo observado en terreno y se utilizan dichos datos en etapas futuras del presente trabajo.

5.2. Petrografía

En la viña de San Antonio, se determina que la calicata CP-12 es la más representativa del material parental de esta viña, puesto que presenta características muy similares a las observadas en zonas donde aflora la Secuencia Malvilla (Contreras, 2018). Dentro de ella, el horizonte C presenta una mayor consolidación, por lo que la muestra C-12C es considerada como material parental en esta viña. Además, se considera como representante de un aporte secundario a la muestra CR-1a, tomada en las cercanías de la viña (Figura 4.1) y correspondiente a la Unidad San Antonio.

El material parental de la viña de Santa Cruz es estudiado a través de la petrografía de dos muestras: la muestra LR-4 es tomada al este de los cultivos, en las inmediaciones del cerro Cueva de la Leona, y la muestra LR-8, extraída en un cerro situado al norte del cuartel LI y al este del cuartel LP (Figura 4.4). Ambas muestras corresponden a granodioritas de biotita y anfíbol.

En la Tabla 5.1 se resumen las muestras seleccionadas para cada viña y su correspondiente clasificación litológica preliminar realizada en terreno.

Tabla 5.1 Muestras litológicas seleccionadas para cada viña.

Viña	Muestras Seleccionadas	Litología
San Antonio	CP-12C	Arenisca arcosa (representativo)
	CR-1a	Ortogneis de biotita (no representativo)
Santa Cruz	LR-4	Granodiorita (representativo)
	LR-8	Granodiorita (representativo)

La descripción petrográfica detallada de estas rocas, descrita por Contreras (2017), se encuentra en el Anexo de Descripciones Microscópicas, sin embargo, las características más relevantes para estas rocas se describen a continuación.

5.2.1. San Antonio

Muestra CP-12C

Esta muestra corresponde a una porción de suelo tomada en el horizonte C de la calicata 12 y se concluye que forma parte del material parental de los depósitos sobre los que se emplaza esta viña ya que presenta mayor consolidación e incluso en este horizonte se observan estructuras sedimentarias coincidentes con la caracterización geológica del área.

Según lo observado en terreno, es clasificada como una arenisca arcosa (Folk, 1968), de grano medio con abundantes restos de conchas de bivalvos y minerales de procedencia intrusiva, principalmente feldespatos indiferenciados, cuarzo, biotita y hornblenda. Presenta laminación paralela, su coloración varía entre pardo anaranjado a pardo amarillento y es muy magnética (se observan granos de minerales oscuros, redondeados y con magnetismo correspondientes a magnetitas probablemente). Este horizonte posee mayor consolidación en comparación con los horizontes superiores (Castillo y otros, 2015).

La mineralogía de esta roca es estudiada a través del análisis de difracción de roca total presentado más adelante, ya que a pesar de ser un horizonte con mayor consolidación que en el resto de las calicatas, no permite realizar un corte transparente para estudios petrográficos.

Muestra CR-1a

En zonas aledañas de la viña (al este de la viña principalmente) aflora la Unidad San Antonio (Contreras, 2017), correspondiente a litologías del tipo ortogneis principalmente.

La composición de esta unidad es contemplada ya que podría constituir una fuente secundaria de aportes al desarrollo de los suelos de esta viña, pero no es un material representativo del material parental de la viña, sino el material parental de las intercalaciones de conglomerados que se observan en ciertas calicatas.

Se toma del trabajo de Contreras (2017) la descripción del corte transparente CR-1a correspondiente a un ortogneis de biotita, extraído inmediatamente al este del área de estudio. Este estudio petrográfico permite identificar minerales primarios y sus fases de alteración como se muestra en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Mineralogía de la roca CR-1a según el estudio petrográfico de Contreras (2017).

Muestra	Minerales primarios	Porcentaje	Minerales de alteración	Grado de alteración
CR-1a	plagioclasa	10	arcillas	leve a moderado
	cuarzo	53	-	-
	microclina	22	arcillas	leve
	biotita	8	-	-
	muscovita	4	-	-
	minerales opacos	3	-	-

5.2.2. Santa Cruz

Muestras LR-4

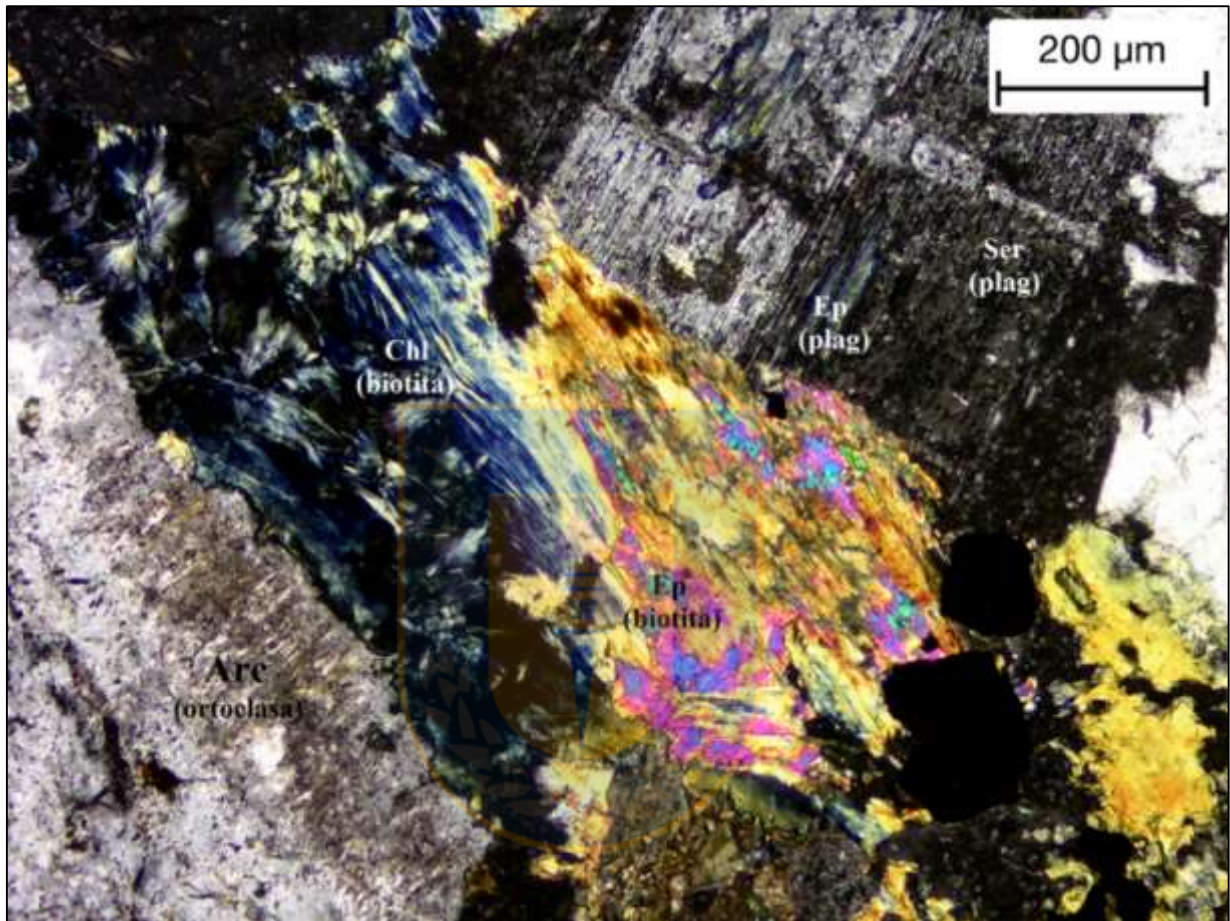
Esta roca es tomada en un cerro situado al E de la viña y corresponde a una granodiorita de biotita y hornblenda. Esta litología corresponde a la unidad que rodea los cultivos hacia el este, norte y oeste, por lo que se considera un aporte importante al material parental que origina los suelos de esta viña. Esta roca intrusiva posee una textura hipidiomórfica granular y está compuesta por: plagioclasa, cuarzo, feldespato K, biotita, hornblenda, titanita, apatito y minerales opacos, sus respectivas proporciones y minerales de alteración se encuentran representados en la Tabla 5.3.

Dentro de los minerales de alteración se cuentan: arcillas, proveniente de la alteración del feldespato potásico y plagioclasa; epidota, como resultado de la alteración de biotita y plagioclasa; y clorita y titanita, formadas a partir de la biotita como se observa en la Fotomicrografía 5.1.

Tabla 5.3 Minerales identificados al microscopio para la muestra LR-4 (Contreras, 2017).

Muestra	Minerales primarios	Porcentaje	Minerales de alteración	Grado de alteración
LR-4	plagioclasa	28	arcillas	moderado
			clorita	bajo
			epidota	bajo
	cuarzo	24	-	-
	feldespato K	15	arcillas	intenso
	biotita	18	clorita	intenso
			epidota	leve
			titanita	leve
	hornblenda	7	clorita	moderado
			biotita	moderado
	titanita	1	-	-
	apatito	1	-	-
minerales opacos	6	-	-	

En la Fotomicrografía 5.1 se observa una fotomicrografía de la muestra LR-4, donde se reconoce un cristal de biotita fuertemente remplazado por clorita, epidota y titanita; un cristal de plagioclasa alterado a sericita, arcillas y epidota, que aún preserva su maclado polisintético; y un cristal de ortoclasa alterado a arcillas.



Fotomicrografía 5.1 Fotomicrografía de la Muestra LR-4. Ep: epidota, Chl: clorita, Ser: sericita, Arc: arcillas, Plag: plagioclasa. Tomada de Contreras (2017).

Muestra LR-8

Esta muestra se obtiene a los pies de uno de los cerros situados al norte de los cultivos de esta viña. Corresponde a una granodiorita de hornblenda y biotita, conformada por la mineralogía resumida en la Tabla 5.4, y presenta una textura hipidiomórfica granular de grano medio. Su mineralogía primaria y de alteración es similar a la de la muestra LR-4, pero en este caso no se reconoce feldespato K y la hornblenda domina sobre la biotita.

Tabla 5.4 Minerales identificados al microscopio para las muestras LR-4 y LR-8 (Contreras, 2017).

Muestra	Minerales primarios	Porcentaje	Minerales de alteración	Grado de alteración
LR-8	plagioclasa	57	sericita	moderado
			arcillas	leve a moderado
	cuarzo	3	-	-
	hornblenda	25	clorita	moderado
			epidota	leve
	biotita	7	clorita	moderado
			titanita	leve
	titanita	1	-	-
minerales opacos	7	-	-	

5.3. Difracción de Rayos X de Roca Total

5.3.1. San Antonio

5.3.1.1. Mineralogía de rocas

De las litologías parentales consideradas para esta viña, la muestra CP-12C es la más relevante por su ubicación (dentro de los predios de la viña) y características representativas de la Secuencia Malvilla. El análisis de DRX de roca total de esta muestra permite identificar su mineralogía. Los resultados de este análisis indican que estas rocas están compuestas en un 65% por plagioclasa y el 35% restante se divide en: cuarzo, anfíbol, feldespato K, caolinita y esmectita (Figura 5.7).

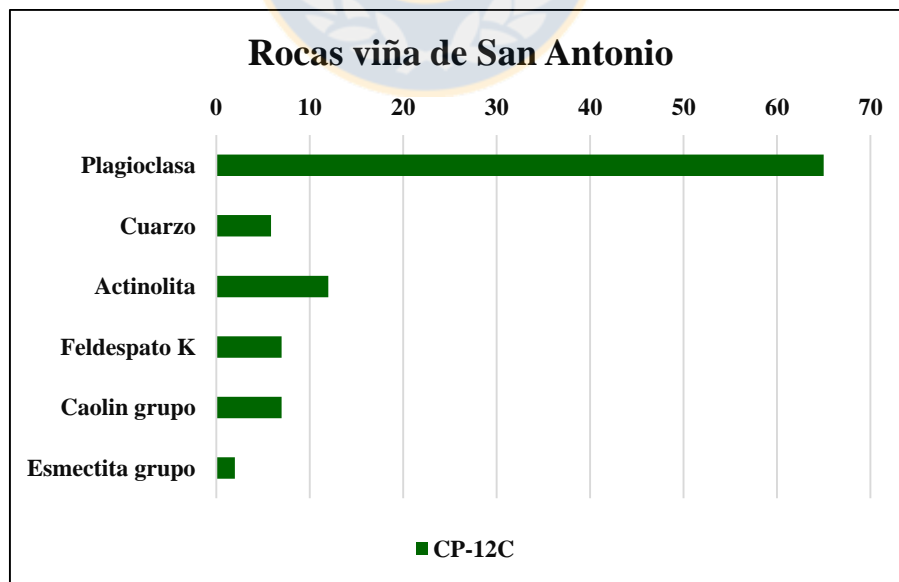


Figura 5.7 Análisis de DRX de roca total para la litología parental de la viña de San Antonio.

5.3.1.2. Mineralogía de suelos

Los suelos de esta viña están compuestos en mayor proporción por plagioclasa y cuarzo. En menor medida se encuentra feldespato K, illita, caolinita y actinolita. En muy baja proporción aparecen esmectita, clorita, calcita, magnetita y hematita (Figura 5.8).

Cada uno de los minerales identificados muestra alguna semejanza o patrón a lo largo del perfil de las diferentes calicatas. La plagioclasa aumenta su proporción con la profundidad, lo que se traduce en un porcentaje mayor en los horizontes C y D en comparación con los horizontes A y B. El cuarzo en cambio muestra las mayores abundancias en los horizontes A y B y disminuye con la profundidad (horizontes C y D). El feldespato potásico se presenta en bajas proporciones y no en todas las calicatas; su presencia puede asociarse a la presencia de material proveniente de la Unidad San Antonio compuesta por ortogneis con feldespato potásico (Contreras, 2017). La illita se encuentra sólo en las calicatas del cuartel CT y en el horizonte A de la calicata blanco C-13; mientras que la caolinita aparece en el cuartel CP y en los horizontes profundos de la calicata C-13. La esmectita es identificada en baja proporción y sólo en los horizontes B y C de todas las calicatas. La clorita aparece sólo en los horizontes C o D, en el cuartel CP aparece en mayor proporción que en el cuartel CT. La actinolita es un mineral que muestra un comportamiento inverso en ambos cuarteles, donde en CT disminuye con la profundidad, mientras que en CP aumenta con la profundidad. La calcita se reconoce sólo en el cuartel CT. La magnetita aparece en los horizontes superficiales de la calicata CP-10; y la hematita sólo se reconoce en el horizonte A de la calicata blanco C-13.

Entre ambos cuarteles se pueden establecer diferencias generales, tales como la concentración de illita de forma preferente en las calicatas del cuartel CT, mientras que en el cuartel CP no aparece pero sí se encuentran minerales como caolinita, clorita y magnetita. La calcita se concentra en el cuartel CT, atribuible a la presencia de restos de conchas calcáreas en estas calicatas y por la remoción antrópica que ha sufrido este cuartel. La presencia de caolinita en las calicatas del cuartel CP y blanco se debe al desarrollo normal de un suelo sin intervención antrópica, al igual que la concentración de esmectita en el horizonte B de estas calicatas. La calicata CT-6 es una excepción con respecto a la tendencia del cuarzo de disminuir con la profundidad; en todos los otros casos el cuarzo disminuye con la profundidad.

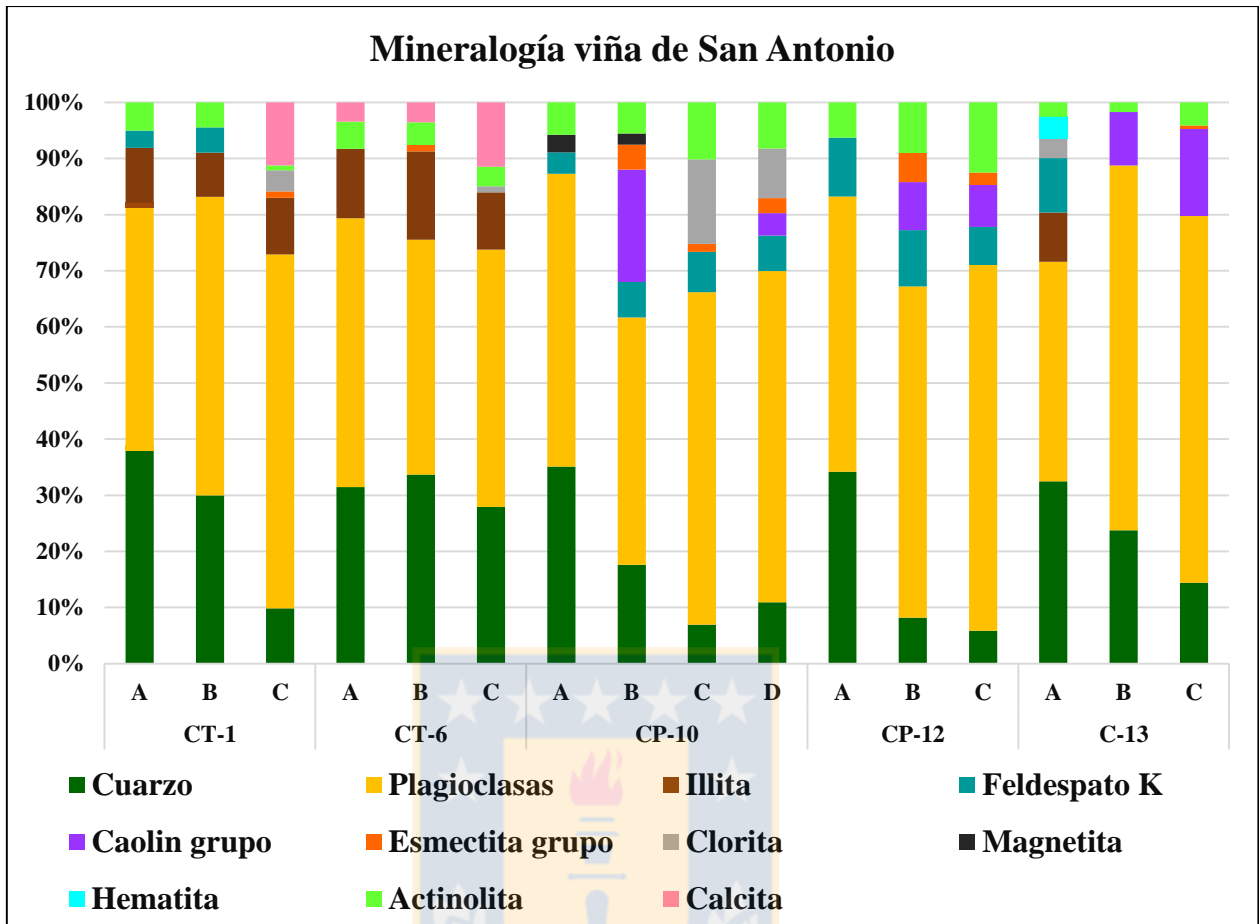


Figura 5.8 Resultados de la DRX de roca total en suelos de San Antonio. Minerales identificados en DRX de roca total para los suelos de la viña de San Antonio y sus porcentajes aproximados.

5.3.2. Viña de Santa Cruz

5.3.2.1. Mineralogía de rocas

Las dos litologías parentales estudiadas para esta viña están compuesta por aproximadamente un 50% de plagioclasa, 25% de cuarzo, 10% de feldespato potásico y el 15% restante lo componen actinolita, clorita, illita y caolinita (Figura 5.9).

5.3.2.2. Mineralogía de suelos

La mineralogía según el análisis de DRX de roca total para estos suelos muestra que en los suelos de esta viña existen los minerales: cuarzo, plagioclasa, feldespato K, illita, caolinita, esmectita, actinolita, epidota, turmalina, hematita, magnetita y cummingtonita. Estos minerales se hallan en diferentes proporciones de acuerdo a la calicata y a su horizonte (Figura 5.10).

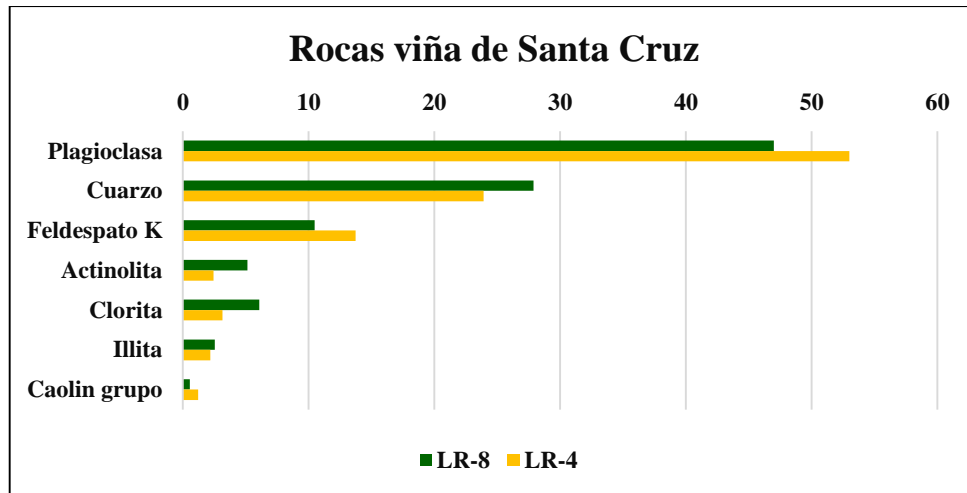


Figura 5.9 Análisis de DRX de roca total para las litologías parentales en la viña de Santa Cruz.

El mineral que se encuentra en mayor proporción es la plagioclasa, con valores entre 45 y 50%; presenta una tendencia a aumentar con la profundidad; y en general, el cuartel LI posee una abundancia relativa mayor de plagioclasa que el cuartel LP. El cuarzo sigue en abundancia, con valores entre 5 y 25%; es posible establecer que en los suelos cultivados aumenta levemente con la profundidad, mientras que en las calicatas blanco disminuye notablemente con la profundidad. El feldespato potásico se encuentra en proporciones variables entre 2 y 15%, sin un patrón de distribución, pero el horizonte A tiende a presentar los valores más bajos. La illita aparece en proporciones entre 7 y 20%, sin una distribución marcada, ya que en algunos casos la mayor proporción se encuentra en el horizonte A, como es el caso de la calicata LP-10 con un 20%; mientras que en casos como en la calicata LI-5, en el horizonte A se encuentra la menor proporción de este mineral con un 7%. La caolinita se encuentra en proporciones muy similares a la illita y no presenta patrones de abundancia claros. En el caso la illita y caolinita, se puede establecer que en el cuartel LP presentan mayor abundancia que en el cuartel LI, lo que podría estar relacionado con un grado de meteorización mayor en el cuartel LP, o por lo menos, un suelo ligeramente más maduro. La esmectita aparece en muy baja proporción y tiende a concentrarse en los horizontes B y C, posiblemente debido a que estos horizontes presentan un grado de meteorización inferior al horizonte A y la esmectita se asocia a etapas de meteorización más tempranas. La actinolita disminuye e incluso desaparece a medida que se incrementa la profundidad en la mayoría de las calicatas. El cuartel LI presenta bajas proporciones de epidota, la cual disminuye con la profundidad; y de turmalina, que no presenta alguna tendencia de concentración. Los óxidos de

hierro identificados para esta viña consisten en magnetita en el horizonte C de la calicata blanco del cuartel LP; y hematita, reconocida sólo en el horizonte A de la calicata LI-5, ambos en muy bajas proporciones. El cuartel LI-5 presenta además una cantidad escasa de cummingtonita en el horizonte A.

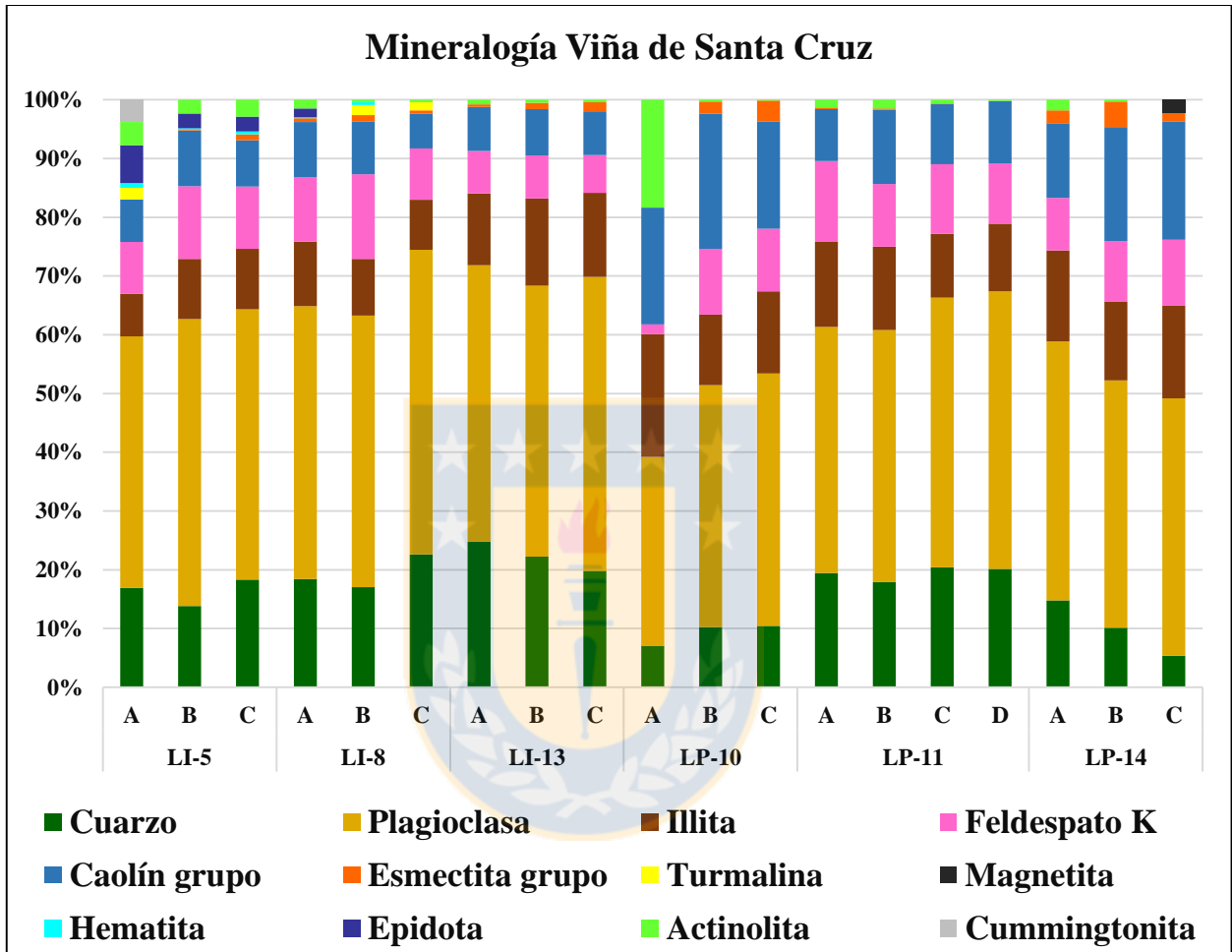


Figura 5.10 Resultados de la DRX de roca total en suelos de Santa Cruz. Minerales identificados en DRX de roca total para los suelos de la viña de Santa Cruz y sus porcentajes aproximados.

La calicata LP-10 constituye una excepción en esta viña, con variaciones en la proporción de la mayoría de los minerales respecto al resto de las calicatas en su cuartel y en la viña. Presenta las menores proporciones de cuarzo y plagioclasa; y la mayor proporción de caolinita e illita. Además la actinolita se encuentra en proporciones muy elevadas con respecto al resto de la viña (casi 20%). De acuerdo con la descripción hecha en terreno, esta calicata se encuentra situada en una zona de

alta pendiente donde existen ciertos bloques entre el perfil del suelo, los que podrían estar menos meteorizados que el suelo ya desarrollado en esta zona y aportar con minerales como actinolita.

En general entre ambos cuarteles la diferencia más notoria está dada por las proporciones de los minerales de alteración como esmectita, caolinita e illita, los que son estudiados con mayor detalle en el siguiente capítulo. Pero es importante destacar que estos cuarteles se diferencian por su génesis: el cuartel LI corresponde a un suelo de baja pendiente desarrollado sobre un material coluvial donde incluso se han encontrado clastos de rocas andesíticas, mientras que el cuartel LP se desarrolla en una zona de alta pendiente de material granítico meteorizado; por lo que estas diferencias además podrían atribuirse a diferente forma y grado de alteración de ambos materiales parentales.



6. MINERALOGÍA DE FILOSILICATOS EN LA FRACCIÓN ARGÍLICA

En este capítulo se presentan los resultados del análisis de DRX de muestras orientadas de fracción arcilla, donde el principal interés es identificar los filosilicatos y su proporción aproximada, a través de la semicuantificación.

6.1. Difracción de rayos X en agregados orientados

Se presentan los resultados e interpretación de los análisis de DRX en agregados orientados que son realizados según cuatro tratamientos, representados por curvas de diferentes colores en los difractogramas: negro (muestra orientada); rojo (tratamiento con etilenglicol); azul (muestra calentada a 375°C); y verde (muestra calentada a 550°C). La interpretación de los difractogramas es realizada según Moore y Reynolds (1989).

6.1.1. San Antonio

6.1.1.1. Ocurrencia de filosilicatos en rocas

La muestra que representa la litología de esta viña es la muestra CP-12C. Su análisis de DRX entrega el difractograma observado en la Figura 6.1. La relación entre las curvas para cada tratamiento indica la presencia de esmectita y caolinita.

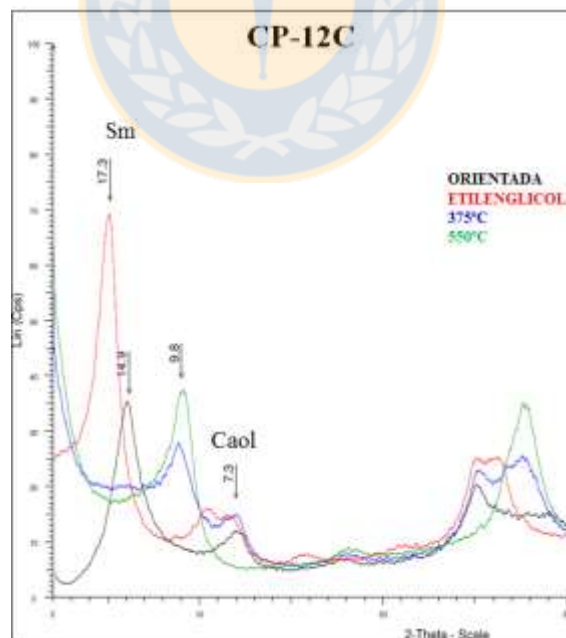


Figura 6.1 DRX de muestra CP-12C. Difractograma para la fracción arcilla de la muestra CP-12C. Sm: esmectita, Caol: caolinita.

6.1.1.2. Ocurrencia de filosilicatos en la fracción argílica de suelos

Luego de interpretar los difractogramas de rayos X de la fracción arcilla en los horizontes de cada calicata de esta viña, los filosilicatos identificados son sólo esmectita y caolinita (Figura 6.2 A), además de sólo una excepción donde también se reconocen illita (Figura 6.2 B). La totalidad de los gráficos se encuentra en el Anexo VII.

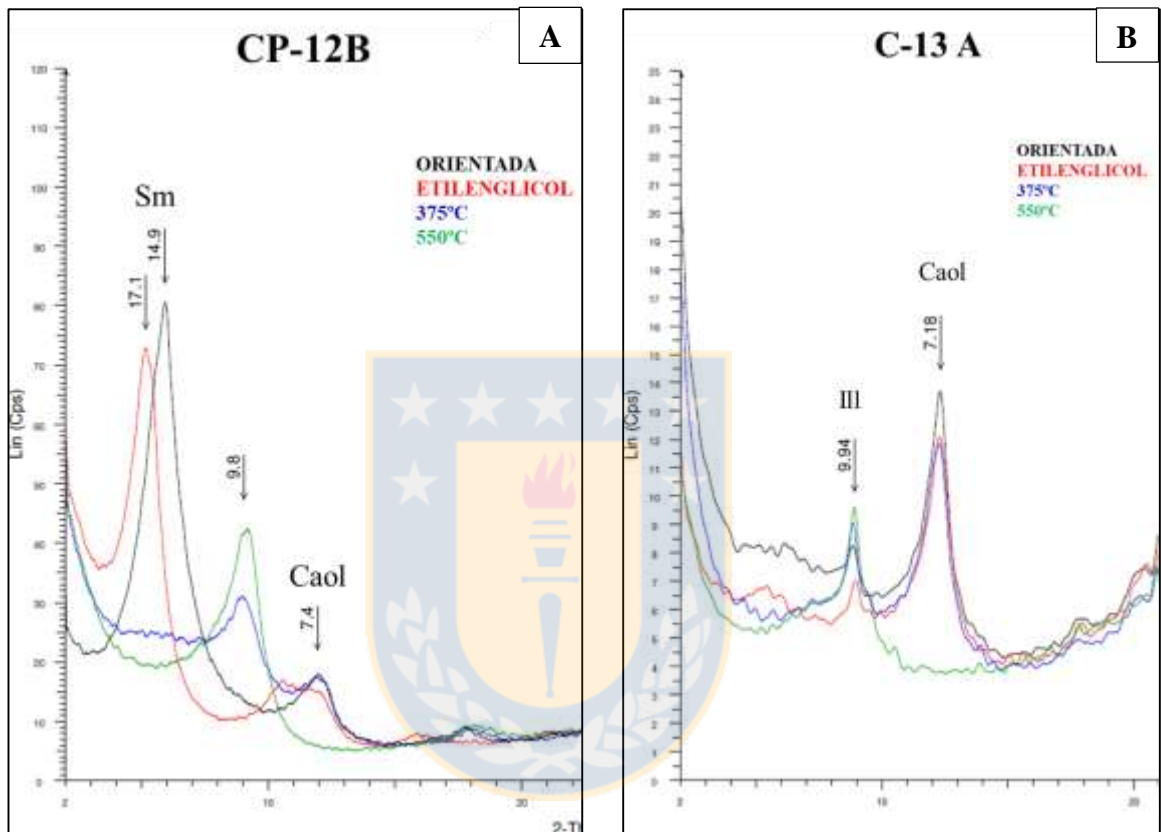


Figura 6.2 Difractogramas tipo en viña de San Antonio. A: difractograma más común donde se reconocen esmectita (Sm) y caolinita (Caol). B: excepción donde se reconoce illita (Ill) y caolinita (Caol).

6.1.1.3. Saturación con cationes

El objetivo de la saturación con cationes es identificar vermiculita, un filosilicato que en el análisis tradicional de DRX de muestras orientadas presenta las mismas propiedades que la esmectita. Por lo tanto se seleccionan muestras que contengan esmectita y que sean representativas: CT-6B, CT-6C, CP-10C, CP-10D, CP-12B, CP-12C y la muestra C-13C. En la Figura 6.3 se describe la saturación con Mg^{2+} (A) y la saturación con K^+ (B) para muestras de la viña de San Antonio.

En el caso de la saturación con Mg^{2+} se observa un difractograma similar para todas las muestras de esta viña. Existe un desplazamiento del *peak* 14 Å en la muestra orientada hacia 17 Å en la muestra con etilenglicol correspondiente a una sección (001) de esmectita. Cercano a 8,5 Å se reconoce el desplazamiento del *peak* de segundo orden (002) de esmectita. Finalmente, a los 7,2 Å se encuentra caolinita (7,2 Å). No se observa vermiculita en esta viña.

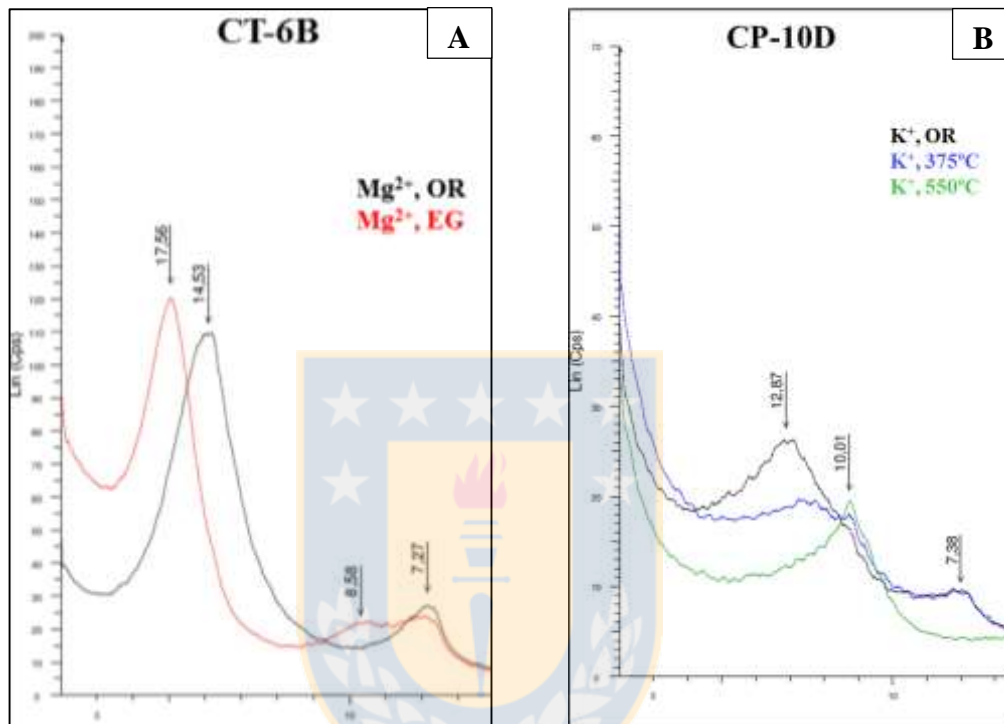


Figura 6.3 Saturación con cationes en muestras de San Antonio. A: ejemplo de muestra tratada con Mg^{2+} ; B: ejemplo de saturación con K^+

La saturación con K^+ entrega difractogramas similares para todas las muestras de esta viña (Figura 6.3 B). Se observa en la muestra orientada un *peak* a los 12 Å y que luego del calentamiento a 375° y 550° C se desplaza hacia los 10 Å. Estos *peaks* permiten confirmar que existe esmectita y se descarta la presencia de vermiculita y clorita. El *peak* cercano a 7 Å indica la presencia de caolinita.

6.1.1.4. Semicuantificación de filosilicatos

Esta semicuantificación consiste en una cuantificación aproximada de la proporción en que se encuentran los filosilicatos en la fracción arcilla de los suelos. Se realiza según la metodología explicada en el Capítulo 3. Los resultados de esta semicuantificación son ajustados con respecto al porcentaje de minerales tamaño arcilla obtenida de la granulometría física. Luego esta información es graficada como se observa en la Figura 6.4.

En primer lugar se debe considerar que la fracción arcilla es muy abundante en esta viña (en algunos casos supera el 50% de abundancia). Además, los horizontes someros son mucho más arcillosos que los horizontes más profundos, como es el caso de las calicatas CT-1, CP-10 y CP-12, donde la proporción de las partículas tamaño arcilla alcanza más del 40% para los horizontes A y B, y cae abruptamente hasta incluso un 5% en los horizontes C o D.

La calicata CT-6 muestra una proporción de filosilicatos creciente hacia los horizontes más profundos la que se atribuye a la remoción que ha sufrido el suelo del cuartel CT, el horizonte C corresponde más bien a un B2. Una situación similar ocurre en la calicata C-13 que muestra un porcentaje elevado de filosilicatos para el horizonte C, el que también es clasificado como un horizonte B2.

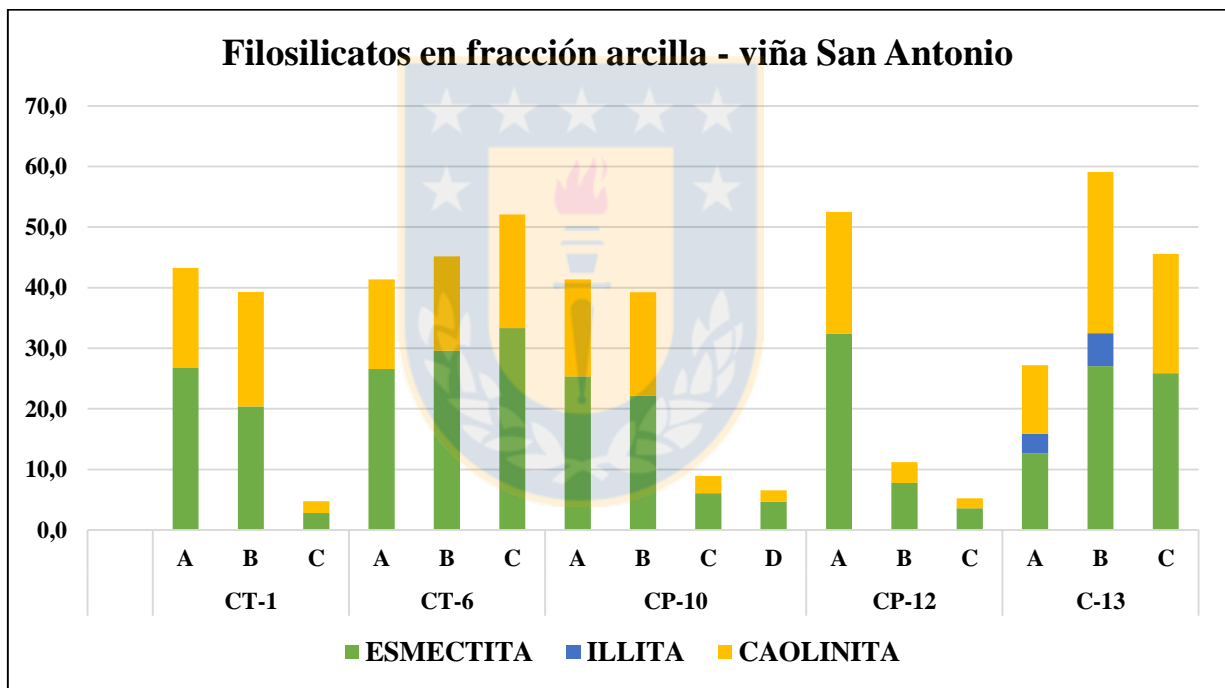


Figura 6.4 Semicuantificación de filosilicatos en los suelos de San Antonio.

La esmectita es el filosilicato más abundante en esta viña con porcentajes entre 25 y 30% (horizontes A y B). La caolinita le sigue en abundancia, con valores cercanos a 20% en general, también para los horizontes más someros. En los horizontes C y D de las calicatas 1, 10 y 12 estos minerales no superan el 10%. La illita sólo se identifica en los horizontes A y B de la calicata blanco pero en bajas proporciones.

6.1.2. Santa Cruz

6.1.2.1. Ocurrencia de filosilicatos en rocas

Los filosilicatos del material parental de esta viña son estudiados por medio del análisis DRX de las muestras LR-4 y LR-8.

Muestra LR-4

En la Figura 6.5 se observa el difractograma de esta muestra, bastante aserrado e irregular y con gran cantidad de ruido en comparación con las muestras de suelo. Esto podría estar relacionado con que esta muestra corresponde a una roca pulverizada hasta la fracción fina, a diferencia de las muestras de suelo, que son separadas según su tamaño de grano natural; o puede deberse a la baja proporción de partículas de tamaño arcilla. Los filosilicatos identificados para esta muestra consisten en caolinita, clorita y trazas de esmectita. La caolinita y clorita son diferenciadas según el método propuesto por Biscaye (1964), que se basa en la identificación de las secciones (004) de clorita y (002) de caolinita, en los *peaks* 3,54 Å y 3,58 Å respectivamente. De acuerdo con este método, ambas reflexiones se observan en este difractograma, lo que confirmaría la presencia caolinita y clorita.

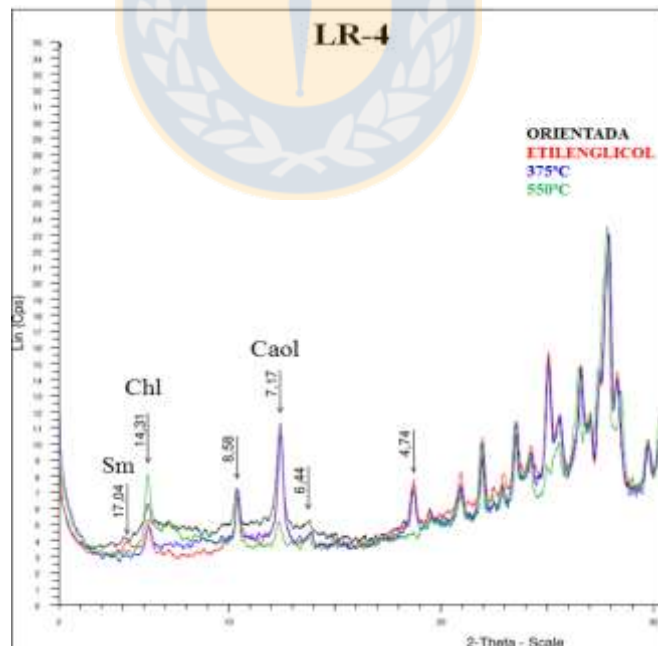


Figura 6.5 Difractograma de muestra LR-4. Muestra correspondiente a la litología parental de Santa Cruz. Sm: esmectita, Chl: clorita, Caol: caolinita.

Muestra LR-8

En este caso se observan curvas con mejor definición, más intensidad y mayor cristalinidad en general. Se identifican para esta muestra los filosilicatos: clorita, illita y caolinita. Estos minerales están asociados a las reflexiones marcadas en la Figura 6.6. Tal como se describe con anterioridad, la caolinita es diferenciada de la clorita por el método propuesto por Biscaye (1964) y se confirma la presencia de ambos minerales.

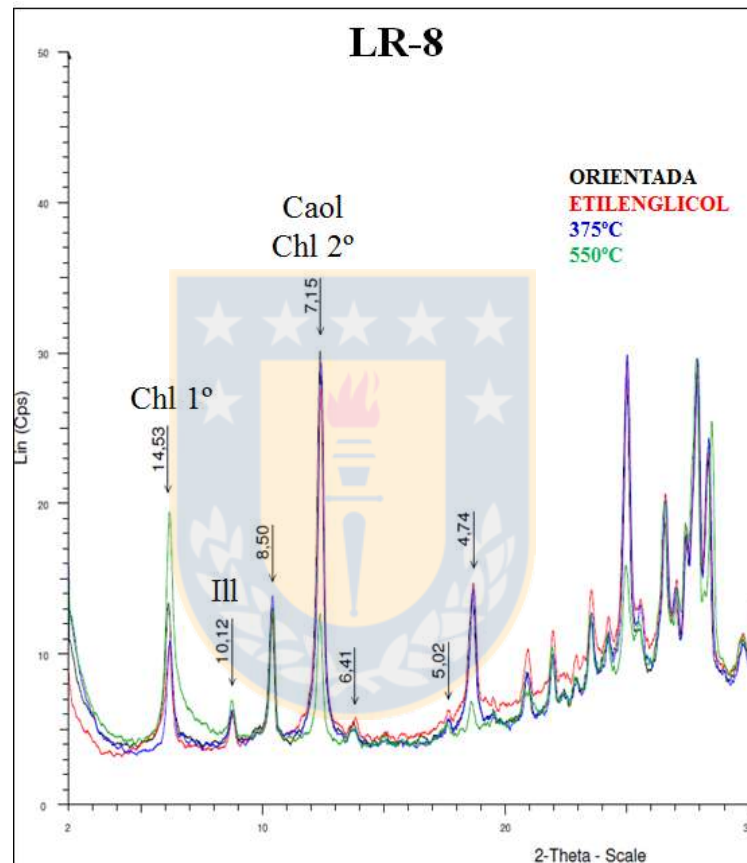


Figura 6.6 Difractograma de la muestra LR-8. Chl 1°: clorita (001), Ill: illita, Chl 2°: clorita (002), Caol: caolinita.

6.1.2.2. Ocurrencia de filosilicatos en la fracción arcílica de suelos

El porcentaje de la fracción arcilla en esta viña es muy baja, con valores promedio de 10% de partículas tamaño arcilla. Los filosilicatos reconocidos en las muestras de esta viña corresponden a: esmectita, caolinita e illita. En la Figura 6.7 se observan los dos tipos de difractogramas arrojados por las muestras de esta viña. En primer lugar (Figura 6.7 A) se observa el patrón más recurrente, donde se reconoce esmectita, illita y caolinita; en la Figura 6.7 B se encuentra un patrón menos

recurrente, donde aparece illita y caolinita. En este último caso la esmectita aparece como trazas o no aparece.

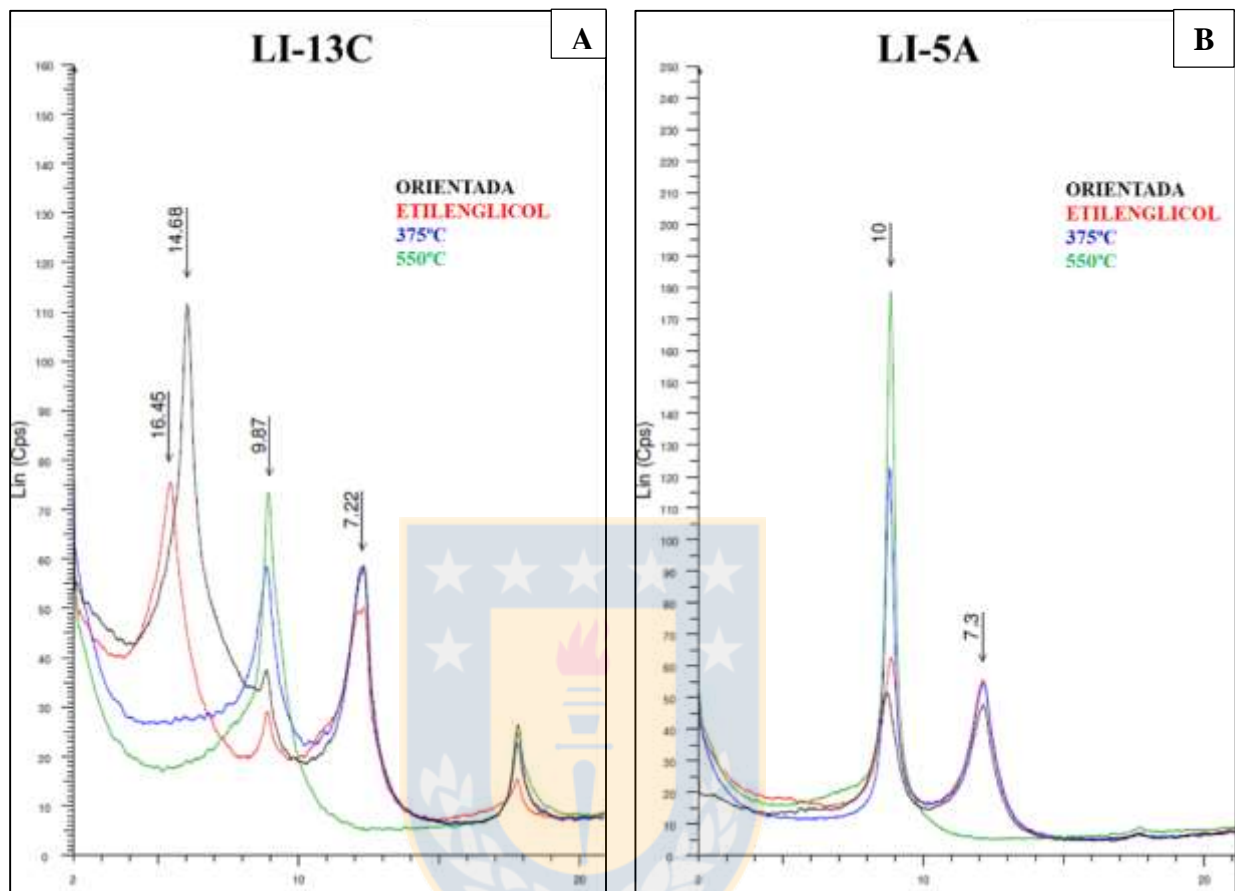


Figura 6.7 Difractogramas tipo en viña de Santa Cruz. A: difractograma más común donde se reconocen esmectita, illita y caolinita. B: difractograma donde se reconoce illita y caolinita.

En la Figura 6.8 se observan los difractogramas de los tres horizontes de la calicata LI-8, donde es posible observar variaciones en el grado de cristalinidad de los minerales. A grandes rasgos, se observa que la cristalinidad de los minerales es mayor en el horizonte B en comparación con el A y B. Esta cristalinidad es función de la suavidad y buena definición que presentan los *peaks*, mientras mayores sean éstas, mayor es la cristalinidad.

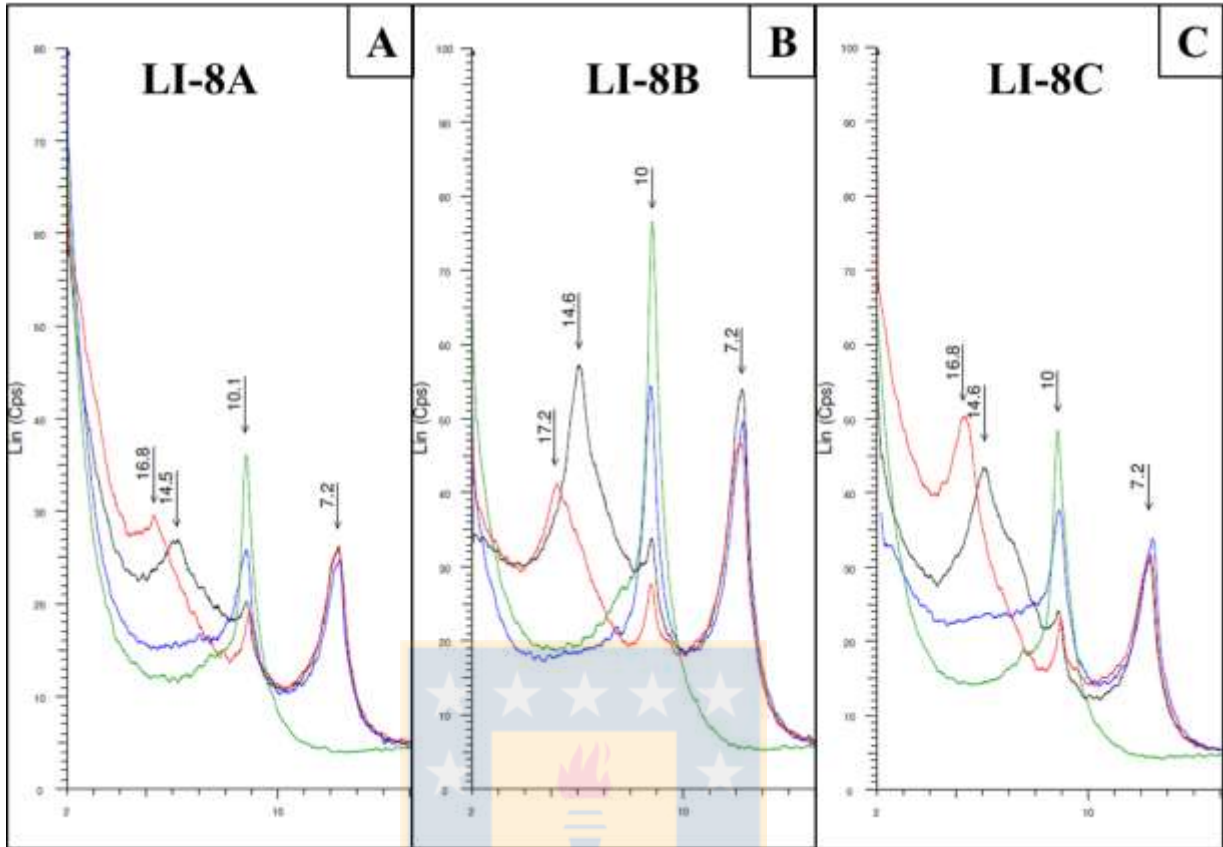


Figura 6.8 Difractogramas de los tres horizontes de la calicata LI-8. Respectivamente, A, B y C corresponden a los horizontes homónimos.

6.1.2.3. Saturación con cationes

La situación de saturación con cationes en los suelos de esta viña es diferente para cada cuartel, por lo que son tratados en particular cada uno de ellos. En la Figura 6.9 A se encuentra un ejemplo de saturación con Mg^{2+} para el cuartel LI, mientras que en la Figura 6.9 B el mismo tratamiento para el cuartel LP. En el caso de la saturación con K^+ , se explica el caso para el cuartel LI (Figura 6.10 A) y para el cuartel LP (Figura 6.10 B).

Saturación con Mg^{2+}

Cuartel LI: Se observa un *peak* a los 14,3 Å tanto para la muestra orientada como para la muestra tratada con etilenglicol (Figura 6.9 A), lo que confirma la existencia de vermiculita para esta viña. También existe una reflexión a los 17 Å para la muestra con etilenglicol, lo que indica que también existe esmectita. Los otros *peaks* corresponden a illita (10 Å) y caolinita (7,2 Å).

Cuartel LP: Este cuartel muestra en todos los difractogramas la presencia de vermiculita, por la repetición del *peak* 14,3 Å en ambas curvas, además de la presencia de illita (10 Å) y caolinita (7,3 Å). No se observa esmectita en las muestras de este cuartel (Figura 6.9 B)

Saturación con K^+

Cuartel LI: la curva de la muestra orientada presenta un *peak* a los 12,8 Å (Figura 6.10 A) que corresponde a esmectita; otro a los 10 Å (illita) y un tercer *peak* a los 7,2 Å (caolinita).

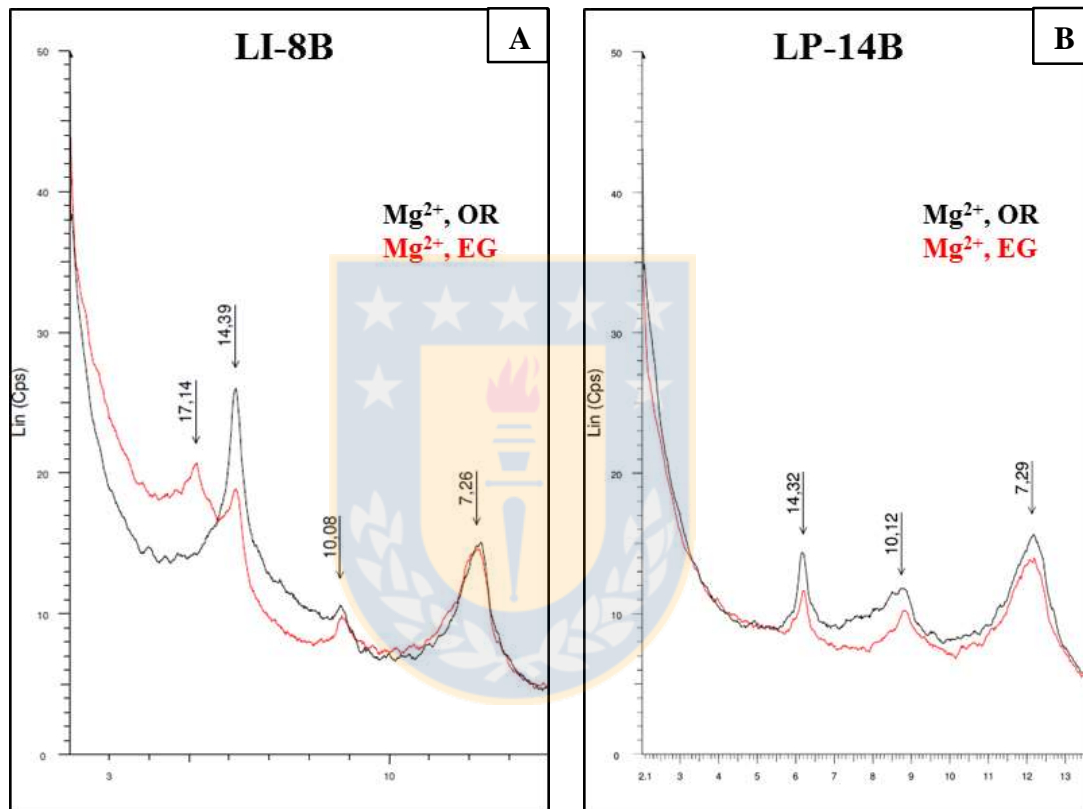


Figura 6.9 Saturación con Mg^{2+} en muestras de la viña de Santa Cruz. A: muestra del cuartel LI; B: muestra del cuartel LP.

Cuartel LP: se observa una reflexión a los 10 Å tanto para las muestras orientadas como para las muestras calentadas, correspondiente a vermiculita. Se descarta la presencia de esmectita. El *peak* observado a los 7,3 Å corresponde a caolinita. (Figura 6.10 B).

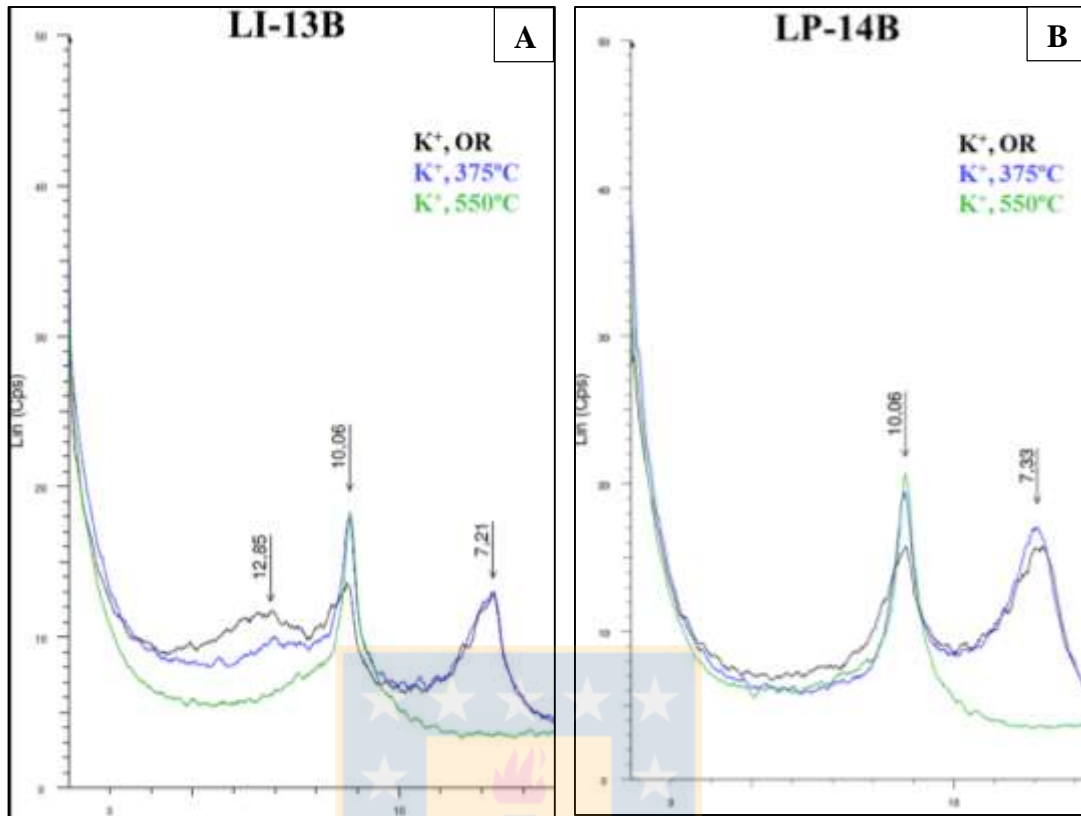


Figura 6.10 Saturación con K^+ en muestras de la viña de Santa Cruz. A: muestra del cuartel LI; B: muestra del cuartel LP.

6.1.2.4. Semicuantificación de filosilicatos

En los suelos de esta viña el porcentaje de minerales tamaño arcilla es muy bajo y alcanza valores máximos de 15%, pero en promedio esta abundancia no supera el 10% (Figura 6.11). Los filosilicatos identificados en esta viña difieren según el cuartel: en el cuartel LI se reconoce esmectita, vermiculita, illita y caolinita; mientras que el cuartel LP se encuentra vermiculita, illita y caolinita, con excepción de la calicata CP-11, donde sólo existe illita y caolinita.

La illita se encuentra en bajas proporciones, pero tiende disminuir con la profundidad en ambos cuarteles. La caolinita presenta dos comportamientos: disminución con la profundidad o concentración en el horizonte B. En el cuartel LI no es posible diferenciar la proporción en que se encuentra la esmectita y la vermiculita, pero estos minerales presentan un comportamiento de disminución con la profundidad. En el cuartel LP la vermiculita presenta una marcada tendencia de disminuir con la profundidad. Estas disminuciones con la profundidad tienen directa relación con el grado de meteorización y lixiviación que sufren los horizontes superficiales en comparación con los profundos.

La calicata LP-11 presenta un comportamiento diferente al resto de las calicatas de esta viña. Por una parte es la calicata con mayor proporción de minerales tamaño arcilla, y presenta un aumento de esta proporción con la profundidad. Sólo se reconoce illita y caolinita, ambas en proporciones sobre el promedio de la viña; la proporción que mantiene la illita en los tres horizontes es comparable con el contenido de este mineral en el horizonte A de algunas calicatas en la viña. La zona donde se sitúa esta calicata es un sector de alta pendiente de la viña que durante el trabajo de terreno ha sido descrita como una posible zona de acumulación de material coluvial. Esto sería coincidente con el grado de meteorización reflejado por la alta proporción de minerales tamaño arcilla y de caolinita, y por la escasa diferenciación entre los horizontes, al menos desde el punto de vista de los filosilicatos.

El resto de calicatas presenta un desarrollo normal de suelo y una clara diferenciación entre los horizontes del suelo.

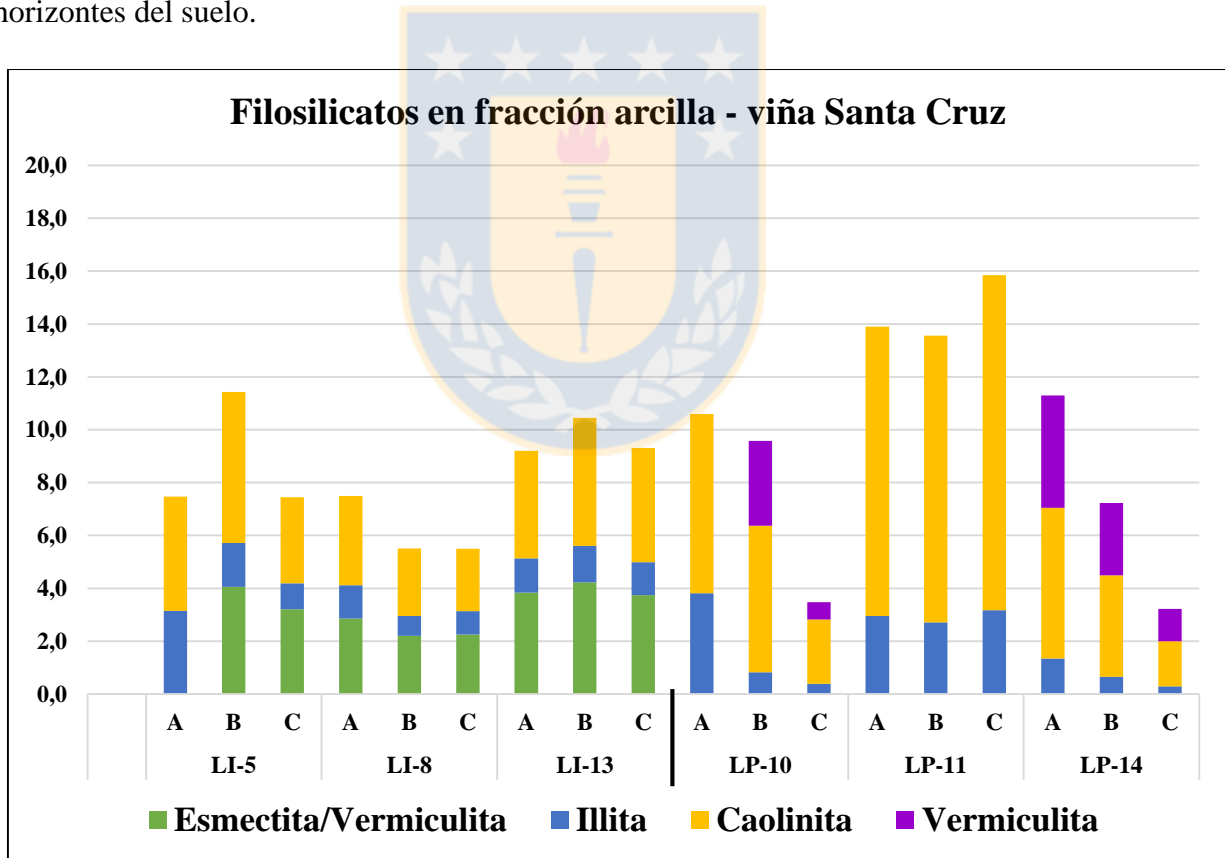


Figura 6.11

Semicuantificación de los filosilicatos en la fracción arcilla de la viña de Santa Cruz.

6.2. Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.)

Esta propiedad química de los suelos es un indicador del potencial que tiene un suelo para retener e intercambiar nutrientes. En general, refleja la cantidad total de cargas negativas que están disponibles en ciertos minerales, como los filosilicatos, para ser intercambiados por los cationes del suelo. Además de la presencia de ciertos filosilicatos, la materia orgánica es un factor que aumenta la C.I.C. de los suelos. Por estas razones se estudia este indicador en ambas viñas y luego se pone en un contexto mundial.

6.2.1. San Antonio

En esta viña la C.I.C. de los suelos es relativamente alta, alcanzando valores máximos de casi 30 cmol/kg. En todas las calicatas se aprecia que el valor más elevado de C.I.C. se encuentra en el horizonte B (Figura 6.12), con la única excepción en la calicata CP-10, donde el valor más elevado se registra en el horizonte C. La calicata CT-1 presenta niveles muy bajos para los horizontes A y C en comparación con el resto de las muestras.

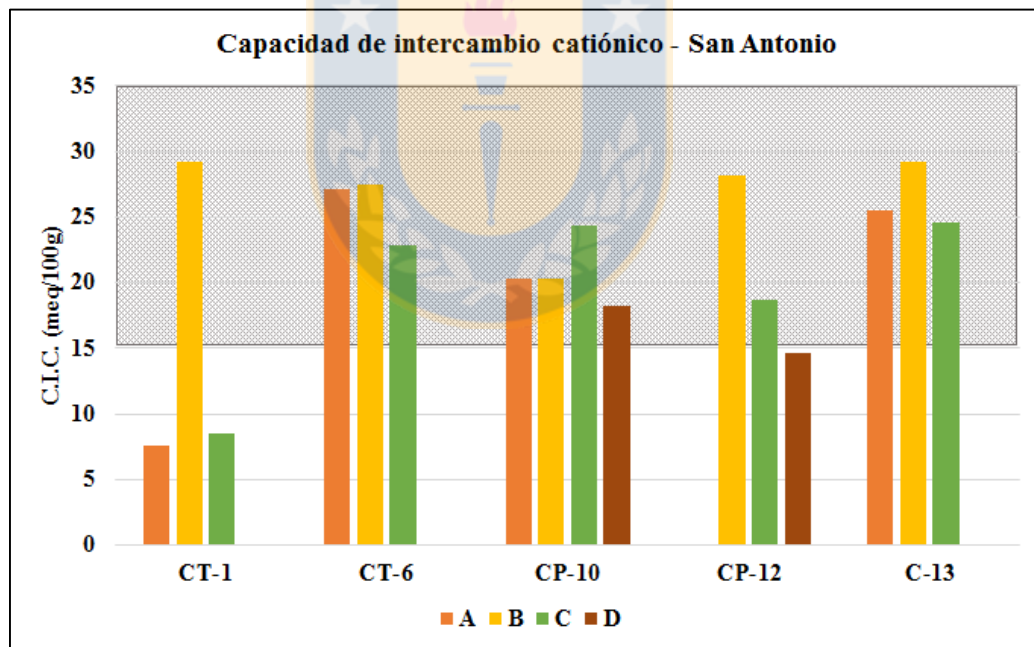


Figura 6.12 C.I.C. en los suelos de la viña de San Antonio. El recuadro gris corresponde a los rangos normales esperados según la textura dominante del suelo en cuestión.

Existe un rango de C.I.C. esperable para los suelos según su textura tomado de AgSource Laboratories (2017); en el caso de esta viña, donde las texturas dominantes son arcilloso a franco arcilloso, el valor establecido va desde 15 cmol/kg hasta >30 cmol/kg (rectángulo gris en la Figura 6.12). Comparado con este valor estándar para suelos de dicha textura, la mayoría de las calicatas

se encuentran dentro de este rango de C.I.C. La única excepción es la calicata CT-1, donde los horizontes A y C poseen valores anómalamente bajos y alejados del rango promedio.

6.2.2. Santa Cruz

La C.I.C. de los suelos de esta viña es relativamente baja con valores máximos inferiores a 15 cmol/kg. Como se observa en la Figura 6.13, la C.I.C. de las calicatas de ambos cuarteles mantienen valores similares para sus tres horizontes, pero en el cuartel LI el valor levemente superior se encuentra en el horizonte B, mientras que en el cuartel LP los valores más elevados se hallan en el horizonte A.

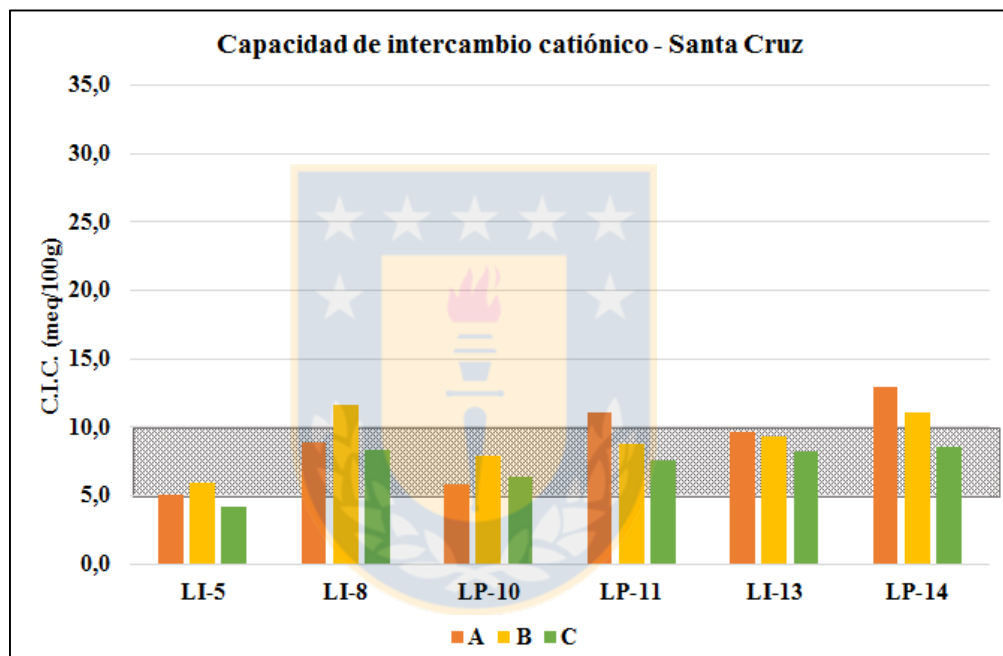


Figura 6.13 C.I.C. en los suelos de la viña de Santa Cruz. El recuadro gris corresponde a los rangos normales esperados según la textura dominante del suelo en cuestión.

Para esta viña también existe un rango normal según la textura, que en este caso es entre 5 y 10 cmol/kg (rectángulo gris en la Figura 6.13), correspondiente a una textura franco arenoso. Con respecto a este rango normal, gran parte de las calicatas poseen valores coherentes con lo esperable, a excepción de la calicata LI-5 que posee valores inferiores a 5 cmol/kg en todos sus horizontes.

6.2.3. Contexto mundial

Es un tanto complejo realizar una comparación de los valores de C.I.C. de las viñas de este estudio con otras viñas del mundo, ya que, por una parte, incluso dentro de un mismo país existen valores

muy variables entre diferentes tipos de suelos; y por otra, idealmente se debería contar con los mismos datos de comparación, ya sea el tipo de filossilicato dominante en el suelo, textura del suelo, contenido de M.O., factores geológicos y factores climáticos, entre otros. Sin embargo, se ha logrado recopilar algunos rangos de C.I.C. de ciertas viñas alrededor del mundo, gracias a investigaciones agronómicas realizadas en las mismas. Estos valores permiten poner en contexto las viñas chilenas estudiadas y se encuentran representados en el gráfico de la Figura 6.14.

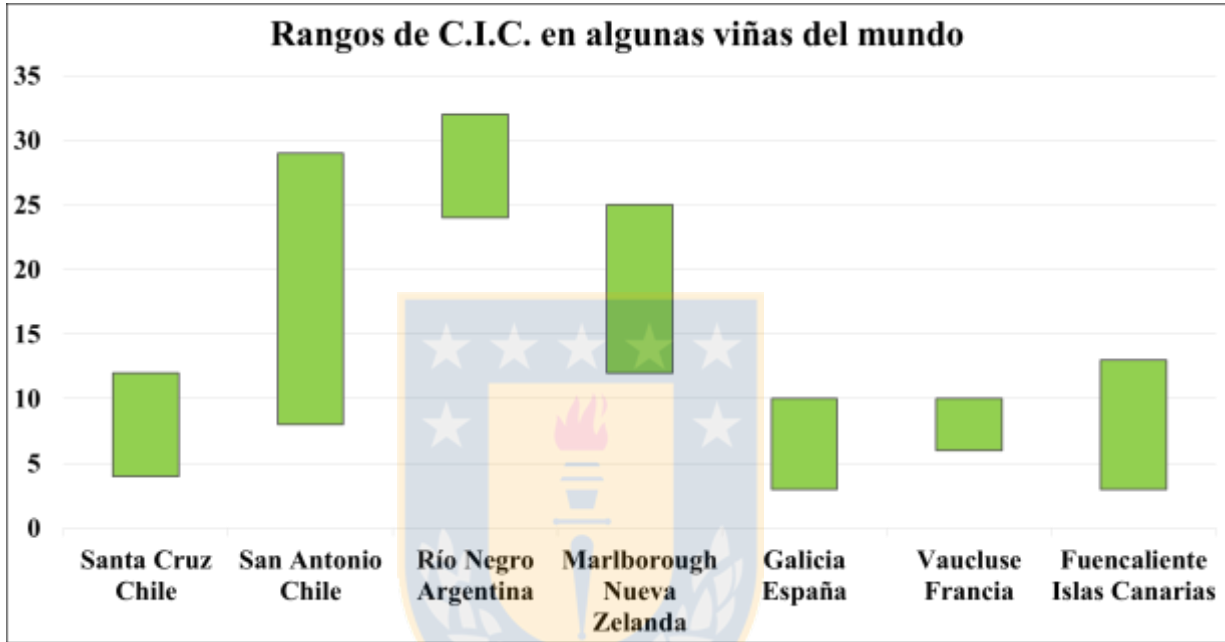


Figura 6.14 C.I.C. en los suelos de las viñas estudiadas y algunas viñas del mundo. Valores tomados de los trabajos de: Aruani y otros (2014)-Argentina; Gray (2012)-Nueva Zelanda; Pateiro-Moure (2008)-España; Gómez y Bonomelli (2013)-Francia; y Hernández y otros (2004)-Islas Canarias. Los valores de las viñas chilenas son tomados de este trabajo.

Como se observa en el gráfico, no existen valores estándares de C.I.C. en los suelos de viñas de diferentes partes del mundo y la variabilidad es amplia. Además, esta contextualización podría generar mejores frutos si se contara con la clasificación agronómica de tipos de suelos, la cual entrega mucha información pero es parte del campo de la agronomía.

7. HERENCIA MINERALÓGICA DEL MATERIAL PARENTAL EN LOS FILOSILICATOS SECUNDARIOS DE LOS SUELOS

7.1. San Antonio

Como se menciona en capítulos previos (Capítulo 5), el material parental de la viña de San Antonio está compuesto principalmente por una arenisca arcosa perteneciente a la Secuencia Malvilla y, en menor proporción, por aportes de los ortogneiss de la Unidad San Antonio, unidad que no aflora en los predios de esta viña pero sí muy cerca, como se observa en la Figura 7.1.

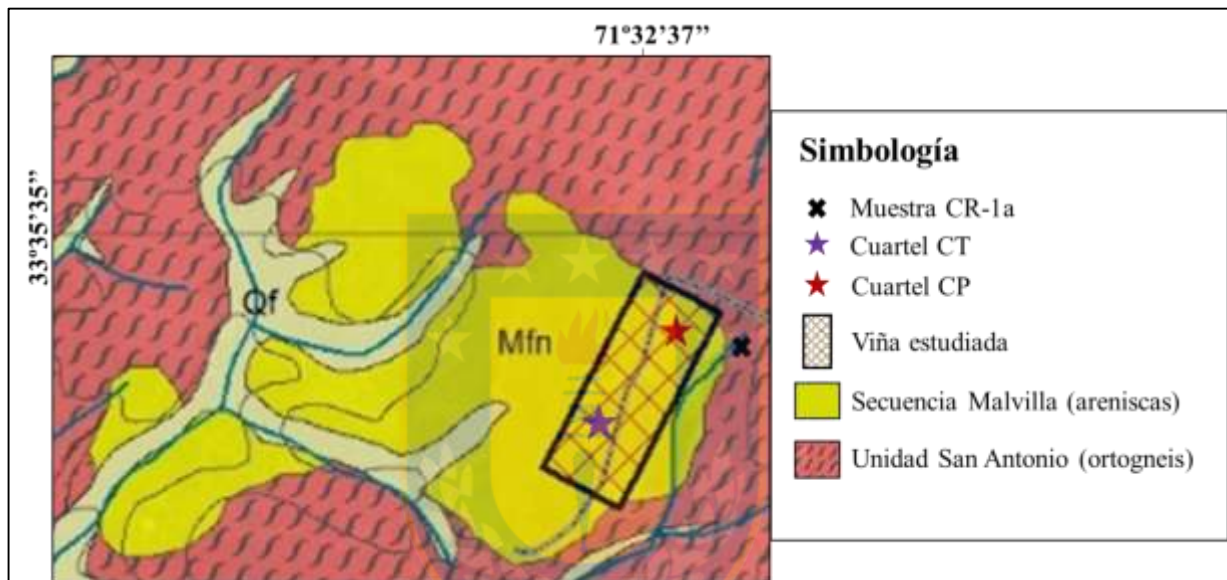


Figura 7.1 Extracto del mapa geológico del área circundante a la viña de San Antonio. Modificado de Contreras (2017).

Como el grado de consolidación del material parental de esta viña no permite tomar una muestra para corte transparente, se toman los datos de la descripción realizada en terreno de las calicatas y de los resultados del análisis de DRX de roca total como base para entender la procedencia de los materiales que conforman estos suelos. En forma secundaria se considera la información obtenida de un corte transparente (Muestra CR-1a) perteneciente a la Unidad San Antonio, tomada muy cerca de la viña (X en la Figura 7.1).

El trabajo en terreno refleja que la litología parental se observa más clara en los horizontes profundos de las calicatas del cuartel CP, donde aparece una arenisca compuesta mayoritariamente por feldspatos y cuarzo. En el cuartel CT, los horizontes muestran una estructura más

desorganizada, debida a la remoción de material que se hizo en esta viña al momento de plantar las vides.

La calicata blanco de esta viña presenta una litología diferente a la de los suelos cultivados y, según lo observado en terreno, corresponde a un banco de conglomerados de baja consolidación y origen polimíctico que, por su retrabajo, parecen formar parte de un paleocanal (Castillo y otros, 2015). Los clastos de los conglomerados poseen composiciones variables, con aspecto granítico metamorfizado por lo que se consideran como parte de los aportes secundarios proporcionados por la Unidad San Antonio, que es la unidad intrusiva metamorfizada más próxima a la viña y que posee estas características petrográficas.

El análisis de DRX en roca total indica que los minerales más abundantes en el material parental y en los suelos de esta viña son: plagioclasa (65%), y cuarzo, actinolita, feldespato potásico, caolinita y esmectita, que constituyen el 35% restante.

La DRX de las muestras orientadas de la fracción arcilla muestra que en esta viña la esmectita es el filosilicato mayoritario en todas las calicatas y horizontes, seguida en abundancia por caolinita, e illita que sólo se encuentra en la calicata de suelo no cultivado.

A modo de resumen de los datos recabados para la mineralogía de esta viña, se construye la Tabla 7.1, donde se muestra la mineralogía primaria susceptible a la alteración y los filosilicatos secundarios.

Tabla 7.1 Mineralogía primaria alterable y filosilicatos secundarios en la viña de San Antonio.

Minerales primarios alterables			Filosilicatos secundarios
Datos de terreno	Corte transparente CR-1a	DRX roca total suelos	DRX fracción arcilla suelos
Feldespatos indiferenciados	Microclina Plagioclasa Biotita	Plagioclasa Anfíbol Feldespato K	Esmectita Caolinita ± Illita (sólo en C-13)

A partir de la mineralogía primaria identificada en esta viña se estima cuál es el o los minerales de procedencia más probable de cada filosilicato secundario.

Illita

Como se menciona previamente, en esta viña la illita sólo aparece en la calicata blanco (C-13) y se presume que esta calicata está constituida en parte por restos minerales de la Unidad San Antonio.. Uno de los procesos que pueden dar origen a la illita es la degradación de otros minerales micáceos (Galan, 2006; Ito y Wagai, 2017). En el corte transparente de la muestra CR-1a se reconoce muscovita y se estima que, en esta viña, la illita corresponde a la degradación de esta muscovita.

Esmectita

Existen diversos minerales que a través de la meteorización son los responsables de formar esmectita en suelos. Según lo propuesto por Allen y Hajek (1989), la esmectita puede formarse en suelos a partir de plagioclasas y feldespato potásico; más tarde, los autores Righi y Meunier (1995) afirman que la esmectita se forma a partir de la meteorización del feldespato potásico, piroxenos y anfíbol; Wilson (2004), afirma que los minerales primarios que forman esmectita son: piroxenos, anfíboles, feldespato potásico y plagioclasa, además de clorita en casos excepcionales. Por otra parte, la esmectita podría originarse a partir de minerales secundarios formados en etapas primarias de alteración de los suelos, tales como illita, vermiculita o clorita secundaria, por pérdidas de potasio o magnesio.

La esmectita se encuentra presente en los dos cuarteles de la viña y es el filosilicato más abundante en todas las calicatas. Considerando la información de DRX de roca total para los suelos de esta viña, se toman los minerales candidatos a formar esmectita: plagioclasa, feldespato potásico y actinolita. El anfíbol del tipo actinolita es escaso, por lo que no se considera como aporte importante de esmectita. El feldespato potásico presenta una distribución irregular y no siempre aparece, por lo que es descartado como aporte principal de esmectita. La plagioclasa en tanto es el mineral más abundante, del que cierta proporción se ha meteorizado y ha dado paso a la formación de minerales secundarios como esmectita, por lo que se estima que es el aporte más importante de esmectita en la viña. Esta transformación ocurre de la siguiente forma:



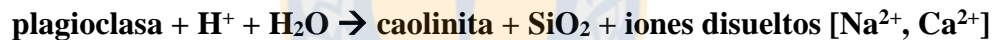
Los aportes de la Unidad San Antonio sólo pueden considerarse en el caso de la calicata C-13 y es posible detectar un aumento en la proporción de esmectita principalmente en el horizonte B y C,

por lo que se estima que en esta calicata hay un aporte secundario a la formación de esmectita, dado por el feldespato potásico.

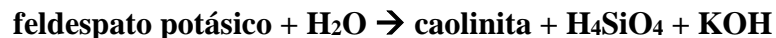
Caolinita

La caolinita ha sido considerada como el filosilicato más ubicuo (presente en todas partes) en suelos (White y Dixon, 2002). Sin embargo, este mineral es aún más abundante en suelos altamente meteorizados, formados en un clima templado y húmedo y con abundantes precipitaciones. Bajo estas condiciones, la caolinita puede formarse a partir de la meteorización de feldespato potásico, plagioclasa, muscovita o biotita. Rara vez la caolinita se forma a partir de esmectita o vermiculita (Galán, 2006).

La presencia de este filosilicato se extiende en ambos cuarteles de la viña pero en proporciones más bajas que la esmectita. En el caso de los suelos cultivados se considera que la caolinita proviene de meteorización de las plagioclasas principalmente. Las plagioclasas provienen de la arenisca arcosa (material parental más importante en la viña); este mineral reacciona con el agua lluvia o de ríos, que en contacto con las plagioclasas genera una reacción de hidrólisis y forma la caolinita, como describe la siguiente reacción:



El suelo de la calicata blanco, gracias a los materiales procedentes de la Unidad San Antonio, posee un aporte adicional de minerales primarios que podrían ser los responsables del aumento de la cantidad de caolinita en esta calicata. Como aporte secundario a la proporción de caolinita se propone la hidrólisis que sufre el feldespato potásico:



Con toda la información se construye el modelo de la Figura 7.2 que presenta la mineralogía primaria alterable, los filosilicatos secundarios identificados en esta viña y sus minerales de procedencia más probables, las condiciones de formación y el grado de meteorización. La línea continua corresponde a la trayectoria de alteración más probable y la línea segmentada indica un patrón de procedencia secundario.

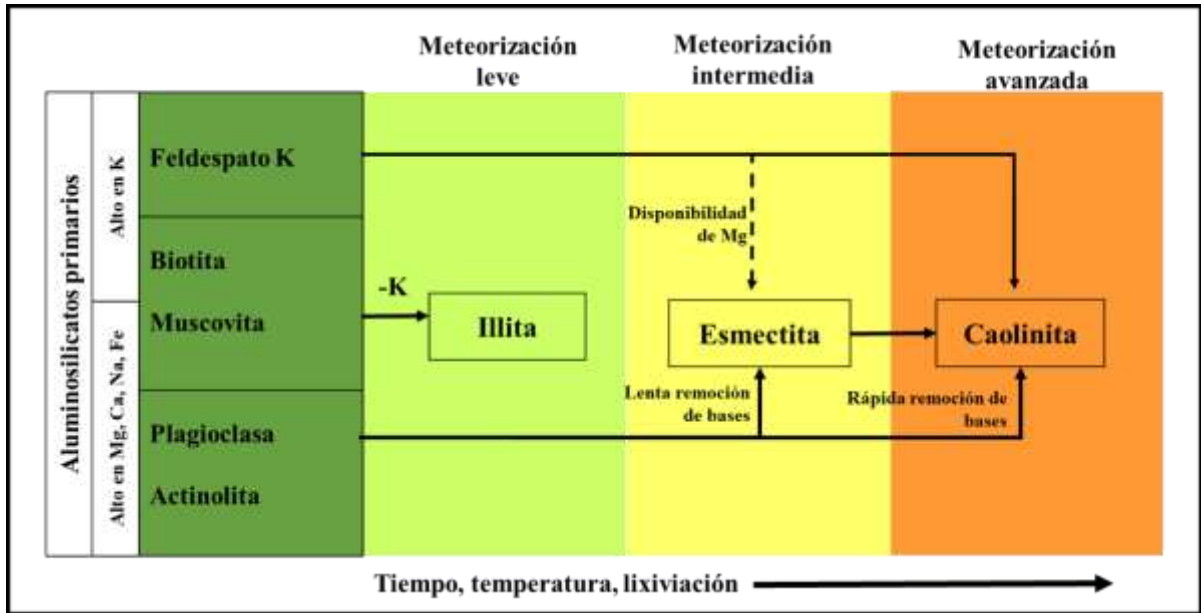


Figura 7.2 Modelo de formación de los filosilicatos secundarios según su grado de meteorización en la viña de San Antonio. Elaboración propia, basado en Brady y Weil (2008).

7.2. Santa Cruz

Los materiales parentales que conforman esta viña están respectivamente representados en los dos cuarteles estudiados. El cuartel LI corresponde a un depósito fluvio-aluvial y el cuartel LP corresponde a la meteorización *in situ* de las granodioritas de la Unidad Apalta. La litología que origina los depósitos de esta viña ha sido reconocida en los cerros aledaños a este valle y corresponde a granodioritas de hornblenda y biotita (Contreras, 2017). Estas litologías corresponden a las fuentes de mineralogía primaria asociada a esta viña. Los minerales primarios alterables reconocidos por medio de varios análisis se encuentran resumidos en la Tabla 7.2, así como los filosilicatos secundarios identificados.

Illita

Como se menciona con anterioridad, la degradación de minerales micáceos es la fuente de formación de illita más común (Galán, 2006). De los minerales primarios identificados, el candidato a ser precursor de la illita es la plagioclasa, la cual se halla moderadamente alterada a sericita o “muscovita de grano fino”. En el caso de estos suelos, la plagioclasa es un mineral muy abundante (evidenciado en los cortes transparentes y en la DRX de roca total), por lo que es probable que por lo menos una porción de este mineral se haya transformado en illita.

Tabla 7.2 Mineralogía primaria alterable y filosilicatos secundarios en la viña de Santa Cruz

Minerales primarios alterables		Filosilicatos secundarios	
Cortes transparentes	DRX roca total (suelos)	DRX fracción arcilla (rocas)	DRX fracción arcilla (suelos)
Plagioclasa (alterada a sericita) Ortoclasa Biotita Hornblenda Clorita	Plagioclasa Feldespatos K Actinolita	Esmectita Caolinita Illita Clorita	Esmectita Caolinita Illita Vermiculita

Vermiculita

Existen dos teorías con respecto a la procedencia de vermiculita en los suelos. La primera de ellas y la más aceptada, señala que la vermiculita se forma a partir de la meteorización de biotita (Wilson, 2004). Otra teoría propone la formación de este mineral a partir de la meteorización de clorita o incluso de la descomposición de ortopiroxeno (Wilson, 1998).

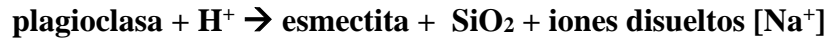
La vermiculita aparece en ambos cuarteles de esta viña, es por esto que se debe poner atención a la totalidad de fuentes de material parental en esta viña. Se toman los dos cortes transparentes de la litología parental, LR-4 y LR-8, correspondientes a una granodiorita de biotita y hornblenda de la Unidad Apalta. De los minerales primarios identificados, se considera como candidato más probable a la biotita la cual se encuentra moderadamente alterada a clorita. Esta transformación comienza con la meteorización de la biotita, la que pierde potasio y se altera parcialmente a clorita. Esta alteración continúa, ocurre pérdida de más potasio y magnesio y se origina la vermiculita, según la siguiente reacción:



Esmectita

La esmectita aparece en esta viña sólo en el cuartel LI, por lo que se pone énfasis en los minerales primarios relativos a este cuartel en particular. El material parental de esta viña permite identificar minerales primarios alterables como plagioclasa, ortoclasa y minerales ricos en cationes básicos,

como hornblenda; también se reconocen filosilicatos que se forman en etapas de meteorización primarias como vermiculita e illita. Se estima que la esmectita detectada proviene de ambos orígenes, por una parte de la meteorización de la plagioclasa, ortoclasa y hornblenda, según las siguientes reacciones esquemáticas:



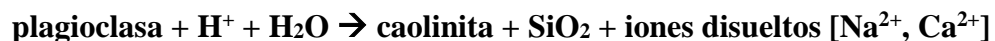
En forma secundaria se considera que este mineral podría originarse a partir de una meteorización más avanzada de filosilicatos como illita.

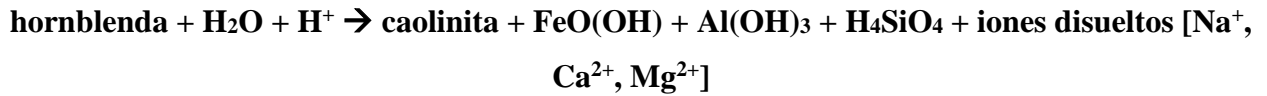
Si se comparan el cuartel LP (cuartel sin esmectita y con menor grado de alteración, formado directamente sobre la litología parental en una zona de mayor altura) con el cuartel LI (cuartel con esmectita y, al estar en una zona más deprimida y formado por depósitos fluvio-aluviales, se considera que posee un grado de alteración mayor), el primero contiene una proporción mayor de illita, por lo que es posible que, debido al estado más avanzado de la meteorización, parte de la illita formada en etapas previas en el cuartel LI haya perdido K^+ y se haya transformado en esmectita. Por su parte, la vermiculita con el avance del grado de meteorización pierde Mg^{2+} y parte de ella se podría transformar en esmectita.

Caolinita

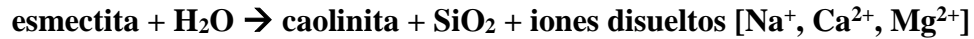
Allen y Hajek (1989) proponen que la caolinita se puede formar a partir de casi todos los silicatos primarios alterables presentes en las rocas. En el caso específico de esta viña, se propone que la caolinita se forma durante períodos de fuertes precipitaciones y ambiente templado a partir de los minerales primarios mayoritarios presentes en la litología y material parental: plagioclasa y ortoclasa, además de aportes menores de hornblenda, la que se encuentra en menor proporción.

En todos los casos, ocurre por una rápida remoción de metales alcalinos (Na, K) y alcalinotérreos (Mg, Ca), durante una etapa de meteorización más avanzada.





Otra alternativa genética para la caolinita en suelos es la hidrólisis de esmectita formada en etapas de meteorización previas en los suelos, siempre que las condiciones de lixiviación sean fuertes.



Como resumen, la procedencia de los filosilicatos en esta viña se elabora el modelo de la Figura 7.3. En este modelo se resume el grado de meteorización, los minerales primarios alterables y los patrones de alteración primarios (línea continua) y secundarios (línea segmentada) más probables para cada filosilicato secundario.

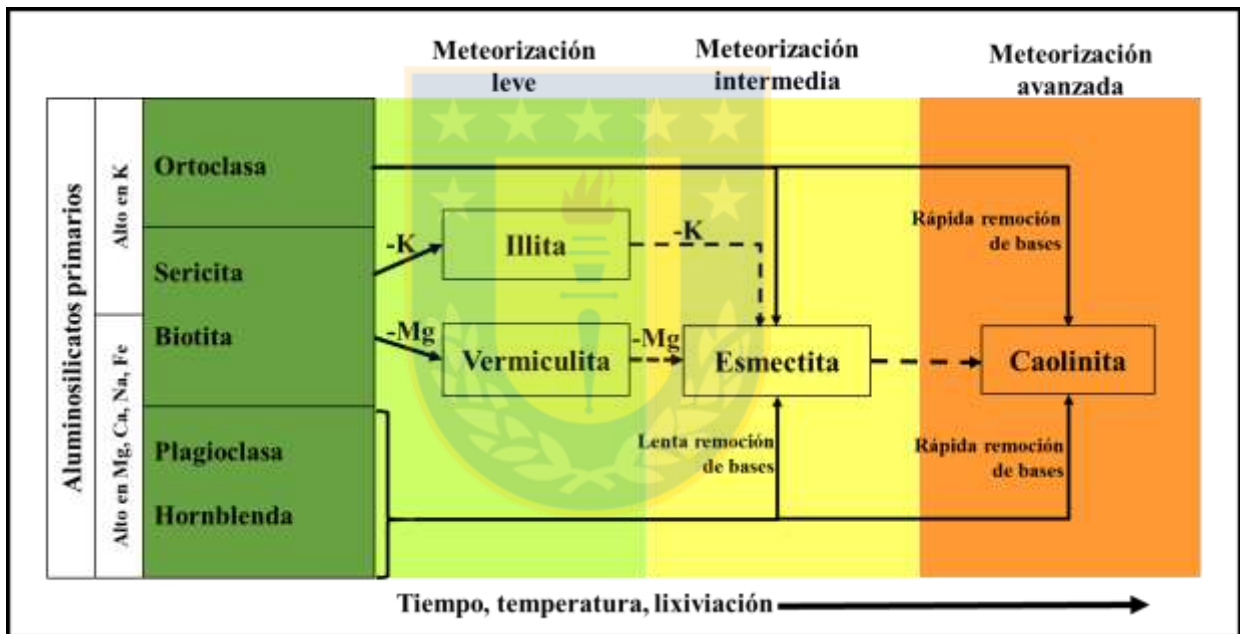


Figura 7.3 Modelo de formación de los filosilicatos secundarios según su grado de meteorización en la viña de Santa Cruz. Elaboración propia, basado en Brady y Weil (2008).

7.3. Relación entre los Filosilicatos de la Fracción Arcilla y las Propiedades del Suelo

Las propiedades de los suelos que se consideran para este estudio son: la capacidad de intercambio catiónico, la textura y el contenido de materia orgánica, y se estudia la influencia que puedan tener los diferentes filosilicatos secundarios en ellas.

7.3.1. San Antonio

Los datos recopilados para esta viña se encuentran resumidos en la Tabla 7.3, donde para cada muestra de suelo se indica: su textura, los filosilicatos identificados y sus respectivos porcentajes en la fracción arcilla del suelo, la C.I.C. y el porcentaje de M.O.

Tabla 7.3 Resumen de los resultados obtenidos para cada muestra de la viña de San Antonio.

Calicata	Horizonte	Textura	% Arcilla	% Filosilicatos en fracción arcilla			C.I.C. (cmol/Kg)	%M.O.
				Esmectita	Illita	Caolinita		
CT-1	A	Arcilloso	43,2	27	0	16	7,6	1,8
	B	Franco Arcilloso	39,3	20	0	19	29,2	1,3
	C	Franco Arenoso	4,8	3	0	2	8,5	0,1
CT-6	A	Arcilloso a Arcillo Limoso	41,4	27	0	15	27,1	1,8
	B	Arcilloso	45,1	30	0	16	27,5	1
	C	Arcilloso	52,1	33	0	19	22,9	0,4
CP-10	A	Arcilloso	41,4	25	0	16	20,3	1,2
	B	Franco Arcilloso	39,2	22	0	17	20,3	1,3
	C	Franco Arenoso	8,9	6	0	3	24,4	0,1
	D	Franco Arenoso	6,5	5	0	2	18,2	0,2
CP-12	A	Arcilloso	52,5	32	0	20	28,2	0,7
	B	Franco Arenoso	11,2	8	0	3	18,7	0,1
	C	Areno Francoso	5,3	4	0	2	14,6	0,1
C-13	A	Franco Arcilloso	27,2	13	3	11	25,5	8,3
	B	Arcilloso	59,1	27	5	27	29,2	1,2
	C	Arcilloso	45,6	26	0	20	24,6	0,6

Se observa que en general la textura dominante es arcillosa, debido a la preponderancia de la fracción arcilla en el suelo, sólo con algunas excepciones. El filosilicato más abundante en los suelos cultivados y no cultivados es la esmectita. La C.I.C. de esta viña es alta y se mantienen valores similares tanto para los suelos cultivados como para el suelo sin cultivar. El contenido de M.O. es bajo en general, con respecto a los valores normales para suelos cultivados (entre 3 y 8%) propuesto por Fenton y otros (2008). Sólo existe una excepción en el horizonte A del suelo no cultivado, donde el valor es muy elevado (sobre 8%).

Este bajo contenido en M.O. permite concluir que la elevada C.I.C. en esta viña está asociada principalmente al dominio de esmectita, por excelencia el filosilicato que más intercambio catiónico realiza en los suelos.

7.3.2. Santa Cruz

En la Tabla 7.4 se encuentra un compilado de todos los resultados obtenidos para los suelos de la viña de Santa Cruz.

El contenido de partículas tamaño arcilla es muy bajo en esta viña (no supera el 15%) y el tamaño de partícula dominante es arena, por lo que la textura dominante es franco arenosa.

Tabla 7.4 Resumen de los resultados obtenidos para cada muestra de la viña de Santa Cruz.

Calicata	Horizonte	Textura	% Arcilla	% Filosilicatos en fracción arcilla				C.I.C. (cmol/Kg)	%M.O.
				Esmectita/ Vermiculita	Illita	Caolinita	Vermiculita		
LI-5	A	Franco Arenoso	7,5	0	3	4	0	5,1	1,2
	B	Franco Arenoso	11,4	4	2	6	0	5,9	0,9
	C	Franco Arenoso	7,4	3	1	3	0	4,2	0,3
LI-8	A	Franco Arenoso	7,5	3	1	3	0	8,9	0,8
	B	Areno Francoso	5,5	2	1	3	0	11,6	0,2
	C	Areno Francoso	5,5	2	1	2	0	8,4	0,0
LP-10	A	Franco Arenoso	10,6	0	4	7	0	5,8	0,8
	B	Franco Arenoso	9,6	0	1	6	3	7,9	0,2
	C	Arenoso a Areno Francoso	3,5	0	<1	2	1	6,4	0,0
LP-11	A	Franco Arenoso	13,9	0	3	11	0	11,1	2,1
	B	Franco Arenoso	13,6	0	3	11	0	8,8	0,7
	C	Franco Arenoso	15,8	0	3	13	0	7,6	1,1
LI-13	A	Franco Arenoso	9,2	4	1	4	0	9,7	0,7
	B	Franco Arenoso	10,5	4	1	5	0	9,3	0,4
	C	Franco Arenoso	9,3	4	1	4	0	8,2	0,3
LP-14	A	Franco Arenoso	11,3	0	1	6	4	12,9	0,8
	B	Franco Arenoso	7,2	0	1	4	3	11,1	0,3
	C	Areno Francoso	3,2	0	<1	2	1	8,6	0,1

La caolinita es el mineral que posee los porcentajes más elevados en forma generalizada. Le siguen illita, vermiculita y esmectita.

La C.I.C. de esta viña es relativamente baja en toda la viña, pero se observa que este valor es ligeramente superior en los horizontes A y B. La M.O. mantiene valores muy bajos en todas las muestras.

Se estima que la C.I.C. en esta viña es baja debido a la baja proporción de partículas arcillosas, a que la caolinita es el filosilicato dominante y a que en general el contenido de M.O. es bajo.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio mineralógico de suelos vitivinícolas permite establecer pautas metodológicas para futuros estudios similares en suelos cultivados. Indica los pasos a seguir para la extracción de las muestras en terreno, sus tratamientos en laboratorio y presenta una integración de varios datos. La mayoría de los tratamientos y análisis realizados podrían aplicarse a otros tipos de cultivos agronómicos en el futuro, no solamente en suelos vitivinícolas. De este estudio se puede concluir lo siguiente:

1.- Gracias al análisis granulométrico físico, se observa que en la viña de San Antonio la fracción arcilla es la más abundante en los horizontes A y B, mientras que en los horizontes C y D es variable entre arena y arcilla. La fracción limo por su parte es similar en todas las calicatas, con una abundancia de alrededor de 35%. Las texturas de estos suelos son función de los tamaños de grano dominantes y en los horizontes más someros (A y B) la textura generalizada es arcillosa a franco-arcillosa, mientras que en los horizontes profundos, C y D, la textura varía entre franco-arenosa y areno-francosa. Este dominio de la fracción arcilla es coherente con las estructuras observadas en terreno como grietas de grandes dimensiones además de la fuerte compactación presentada por los suelos de esta viña. El caso de la viña de Santa Cruz es bastante diferente. La viña en general muestra una abundancia dominante de la fracción arena que supera el 70%, la fracción limo se mantiene entre el 10 y 20%, y la fracción arcilla es muy escasa y no supera el 10%. La textura de todas las muestras de esta viña oscila entre franco-arenoso y areno-francoso. Estos datos también concuerdan con las descripciones realizadas en terreno, donde se describe en general un suelo de granulometría arenosa.

2.- La M.O. presente en las muestras de suelos no influye en los resultados de los análisis de DRX de muestras orientadas de la fracción arcilla, ya que no existe omisión de fases minerales o bien alguna irregularidad en los difractogramas generada por el contenido de M.O. Sin embargo, los patrones de difracción pueden mejorar y los *peaks* de cada mineral ser más elongados si se extrae la M.O. mediante el tratamiento con peróxido de hidrógeno de las muestras de suelo. No se recomienda la extracción de materia orgánica con la solución de hipoclorito de sodio y ácido clorhídrico, ya que en algunos casos resulta en disolución de ciertas fases minerales, especialmente de la esmectita, y en los difractogramas se observan patrones aserrados, irregulares y de baja intensidad, a diferencia de los dos casos anteriores. En el caso particular de estas viñas el contenido

de M.O. es relativamente bajo, por lo que estas conclusiones son aplicables en el caso de suelos con porcentajes de M.O. que no superan el 2%, para suelos con abundante M.O. se recomienda realizar nuevamente pruebas de este tipo.

3.- La mineralogía del material parental de la viña de San Antonio se basa en la muestra de suelo CP-12C, correspondiente a una arenisca arcosa compuesta principalmente por feldespatos indiferenciados y cuarzo, y la muestra de roca CR-1a, que corresponde a un ortogneis de biotita, formado por cuarzo, microclina, plagioclasa, muscovita y biotita (Contreras, 2017). Estos datos se complementan con el análisis de DRX de roca total de los suelos, que muestra que los minerales más abundantes presentes en los suelos de esta viña son cuarzo, plagioclasa, ortoclasa y actinolita. En su caso, la viña de Santa Cruz posee dos muestras de rocas tomadas en las cercanías de la viña, las muestras LR-4 y LR-8, ambas granodioritas de biotita y hornblenda, compuestas por plagioclasa, ortoclasa, biotita, hornblenda y clorita. El análisis de DRX de roca total en los suelos de esta viña marca la presencia de cuarzo, plagioclasa, ortoclasa y hornblenda, como minerales dominantes.

4.- El filosilicato secundario más abundante en la viña de San Antonio es la esmectita; seguido en abundancia de caolinita; mientras que la illita sólo aparece en los horizontes someros del suelo no cultivado. Se estima que la illita proviene de la degradación de la biotita, pues sólo aparece sólo en el suelo de la calicata no cultivada que tiene aportes de la Unidad San Antonio y en las rocas de esta unidad es posible identificar micas. La esmectita proviene de la plagioclasa principalmente y en menor proporción se considera el aporte del feldespato potásico. La caolinita por su parte se forma a partir de la hidrólisis de la plagioclasa y el feldespato potásico; además del aporte secundario de anfíboles.

5.- En Santa Cruz, los filosilicatos secundarios identificados en las rocas son: esmectita, caolinita, illita y clorita; mientras que los suelos presentan en el cuartel LP esmectita, illita, caolinita y vermiculita; y en el cuartel LI, vermiculita, illita y caolinita. De estos minerales encontrados en los suelos, se postula que la illita proviene de la sericita (muscovita de grano fino) procedente de la alteración de las plagioclasas. La vermiculita se forma por una pérdida de magnesio ocurrida en la biotita. La esmectita por su parte se forma a partir de la meteorización de los minerales: plagioclasa, feldespato potásico y hornblenda, y en forma secundaria, a partir de una meteorización más avanzada de illita. La caolinita se forma principalmente a partir de la hidrólisis de plagioclasa,

feldespato potásico y hornblenda, y en menor proporción, a partir de una meteorización avanzada de esmectita.

6.- La C.I.C. es un parámetro cuyo valor depende de ciertos factores: textura del suelo, filosilicato dominante en el suelo o el contenido de M.O. De acuerdo con la textura del suelo existen ciertos valores estándares de C.I.C. en los suelos. En la viña de San Antonio, el valor promedio es 20 cmol/kg, que coincide con el valor normal para suelos con textura arcillosa (15-35 cmol/kg). La viña de Santa Cruz en cambio posee una textura franco arenosa, la cual está asociada a valores normales de C.I.C. entre 5 y 10 cmol/kg, y los resultados de este análisis en los suelos muestra que gran parte de las muestras se encuentran comprendidas en este rango, donde el promedio es 7 cmol/kg. Los valores elevados de C.I.C. en el caso de la viña de San Antonio, se atribuyen a la proporción elevada de partículas tamaño arcilla en el suelo y a que el filosilicato secundario dominante es la esmectita. En la viña de Santa Cruz en cambio, se estima que la textura, el bajo contenido de M.O. y la presencia elevada de caolinita son los responsables de tan bajos valores de C.I.C.

7.- La C.I.C. es un parámetro utilizado para medir la fertilidad de los suelos, por lo que, comparativamente, un suelo como el de la viña de San Antonio resultaría más fértil que el de la viña de Santa Cruz, pero se debe recordar que en San Antonio ocurrió una remoción del material y un relleno con incluso materiales de construcción (ladrillos, cerámicos), que podrían generar ciertas alteraciones en los cultivos. Por su parte, la viña de Santa Cruz, una viña orgánica, donde no se ha alterado el desarrollo natural del suelo, produce vinos de excelente calidad y, de acuerdo con su C.I.C. este no sería un suelo lo bastante fértil.

8.- En resumen, se propone para posteriores estudios de filosilicatos en suelos realizar los siguientes análisis:

- Dependiendo del grado de humedad, secar las muestras de suelo en horno sin superar los 60°C.
- Tamizar en húmedo muestras hasta la fracción limo-arcilla y realizar cuarteo de muestras.
- Granulometría física por el método del hidrómetro.
- Determinar el contenido de M.O. y evaluar si es o no necesaria su extracción. De ser necesaria la extracción, se recomienda utilizar peróxido de hidrógeno.

- Separación de limo y arcilla por centrifugado y posterior filtrado al vacío.
- Análisis de difracción de rayos X. En caso de encontrarse esmectita, se sugiere realizar saturación con cationes (Mg, K) para identificar vermiculita.
- Realizar semicuantificación de filosilicatos siguiendo el método de Biscaye (1965).
- Si es posible, realizar análisis de C.I.C. con valores particulares para cada catión (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^2 , K^+) más los resultados totales.

A modo de recomendación para futuros estudios mineralógicos en suelos cultivados, se sugiere que éstos sean complementados con un estudio de los fertilizantes y productos aplicados en los cultivos, ya que un aporte de determinados iones al suelo podría causar la transformación de algunos filosilicatos en otros a largo plazo (por ejemplo, la transformación de esmectita en illita por adición del ión potasio). También se sugiere el uso de microscopía electrónica de barrido (SEM) para un estudio más detallado de los filosilicatos y así poder determinar a partir de qué mineral específicamente se forman los filosilicatos presentes en los suelos. Otro estudio más avanzado de suelos, consiste en realizar una extracción secuencial con posterior lectura en fluorescencia de rayos X en las muestras de suelo, con el fin de comprender cuáles son los primeros minerales de los suelos en perderse y cuáles son los más resistentes. Además, se propone que la capacidad de intercambio catiónico sea estudiada por cationes, no como una suma de todos los cationes, con el fin de esclarecer la procedencia de cada catión.

9. REFERENCIAS

- AgSource Laboratories, 2017.** Soil cation exchange capacity (CEC). *Technical Bulletins for Agronomy*. N° 16713. Wisconsin, Estados Unidos.
- Allen, B. y Hajek, B. 1989.** Mineral occurrence in soil environments. *Minerals in Soil Environments*. Vol. 1: 199-278, San Francisco, Estados Unidos.
- Amundson, R. y Jenny, H. 1997.** On a state factor model of ecosystems. *BioScience*, Vol. 47(8): 536-543. Oxford, Reino Unido.
- Anthony, J.; Bideaux, R.; Bladh, K. y Nichols, M. 2001.** Handbook of Mineralogy. Mineral Data Publishing. Vol. 2: 904 pp. Chantilly, Estados Unidos.
- Aruani, M.; Reeb, P. y Barnes, N. 2014.** Influence of soil properties on yield and fruit maturity at harvest of “Williams” pear. *Chilean Journal of Agricultural Research*. Vol. 74(4): 460-467. Santiago, Chile.
- Besoain, E. 1985.** Mineralogía de arcillas. IICA, Serie de Libros y Materiales Educativos. N° 60: 1205 pp. San José, Costa Rica.
- Biscaye, P. 1964.** Distinction between kaolinite and chlorite in recent sediments by X-ray diffraction. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*. Vol. 49(9-10): 1281-1289. Connecticut, Estados Unidos.
- Biscaye, P. 1965.** Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geological Society of American Bulletin*. Vol. 76(7): 803-832. Connecticut, Estados Unidos.
- Börgel, R. 1983.** Geomorfología y geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar. Vol. 2: 373 pp. Santiago, Chile.
- Bouyoucos, G. 1936.** Directions for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. *Soil Science*. Vol. 42(3): 225-230.
- Brady, N. y Weil, R. 2008.** The nature and properties of soils. Editorial Prentice Hall: 965 pp. Virginia, Estados Unidos.
- Bridges, E. 1978.** World soils. Cambridge University Press: 128 pp. Cambridge, Reino Unido.

Campos, A.; Moreno, S. y Molina, R. 2009. Characterization of vermiculite by XRD and spectroscopic techniques. *Earth Science Research Journal*. Vol. **13**(2): 108-118. Bogotá, Colombia.

Castillo, P.; Serra, I.; Townley, B.; López, S. y Flores, P. 2017. Biogeochemical association of soil and nutrients in cv. Carmenere and Pinot Noir berries: Applied study in four vineyards of Central Chile. World Congress of Vine and Wine N° 40. Sofía, Bulgaria.

Castillo, P.; Townley, B.; Contreras, M.; López, S. y Serra, I. 2015. Informe resultados año 2: Proyecto Influencias geológicas, mineralógicas y geoquímicas del cultivo de la vid en Chile. Informe Interno Proyecto Corfo Innova – Consorcio I+D Vinos de Chile. 175 pp. Santiago, Chile.

Castillo, P.; Townley, B.; Contreras, M.; López, S. y Cortés, E. 2015. Análisis geoquímico de suelos derivados de granitoides en los valles de Casablanca y Santa Cruz. Congreso Geológico Chileno N° 14. La Serena, Chile.

Castillo-Lagos, P.; Townley, B.; Serra, I.; Contreras, M.; López, S.; Salgado, P.; Mann, A. y Flores, P. En preparación. Geochemical and mineralogical evolution from granitic parent materials to soils in two vineyard environments of Central Chile: Lithogenic, Pedogenetic and Antropogenic Influences. *Geoderma Journal*.

Chester, S. 2016. Flora y Fauna de Chile. Guía de Identificación. Lynx Edicions: 390 pp. Nueva Jersey, Estados Unidos.

Contreras, M.; Castillo, P.; Lagos, F.; Farías, M. y Townley, B. 2015. Geología y petrografía de dos viñas en los valles vitícolas de Casablanca y Santa Cruz. Congreso Geológico Chileno N° 14. La Serena, Chile.

Contreras, M. 2017. Estudio geológico, petrográfico y granulométrico del material parental de suelos vitivinícolas de la Zona Central de Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 140 pp. Concepción, Chile.

Cordani, U.; Munizaga, F.; Hervé, F. y Hervé, M. 1976. Edades radiométricas provenientes del Basamento Cristalino de la Cordillera de la Costa de las provincias de Valparaíso y Santiago, Chile. Congreso Geológico Chileno N° 1. Actas **2**: 213-222. Santiago, Chile.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 1987. USDA textural classification: 53 pp. Washington D.C., Estados Unidos.

Di Stefano, C.; Ferro, V. y Mirabile, S. 2010. Comparison between grain-size analyses using laser diffraction and sedimentation methods. *Biosystems engineering*. Vol. **106**(2): 205-215. Palermo, Italia.

Encinas, A.; Le Roux, J.; Buatois, L.; Nielsen, S.; Finger, K., Fourtanier, E. y Lavenu, A. 2006. Nuevo esquema estratigráfico para los depósitos marinos mio-pliocenos del área de Navidad (33°00'-34°30'S), Chile central. *Revista Geológica de Chile*. Vol. **33**(2): 221-246. Santiago, Chile.

Fenton, M.; Albers, C. y Ketterings, Q. 2008. Soil Organic Matter. *Agronomy Fact Sheet Series*. Vol. **41**: 2 pp. Nueva York, Estados Unidos.

Folk, R. 1968. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company: 190 pp. Texas, Estados Unidos.

Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile, clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria: 165 pp. Santiago, Chile.

Galán, E. 2006. Genesis of clay minerals. En F. Bergaya, B.K. Theng, y G. Lagaly, Eds., Handbook of Clay Science. *Developments in Clay Science*. Vol. **1**: 1129-1162. Amsterdam, Países Bajos.

Gana, P. y Tosdal, R. 1996. Geocronología U-Pb y K-Ar en intrusivos del Paleozoico y Mesozoico de la Cordillera de la Costa, Región de Valparaíso, Chile. *Revista Geológica de Chile*. Vol. **23** (2): 151-164. Santiago, Chile.

Gana, P.; Wall, R.; Gutiérrez, A. y Yáñez, G. 1996. Geología de la Cordillera de la Costa, regiones de Valparaíso y Metropolitana, al oeste de los 71°00'W. Congreso Geológico Chileno N° 7. Vol. **1**: 43-46. Concepción, Chile.

Gómez, C. y Bonomelli, C. 2013. Los secretos del *terroir*. *Voz Académica*. Vol. **48**: 14-21. Santiago, Chile.

Gray, C. 2012. Survey of soil properties at some sites receiving winery wastewater in Marlborough. *MDC Technical Report*. Vol. **12-002**: 19 pp. Marlborough, Nueva Zelanda.

- Hauser, A. 1990.** Hoja Rancagua, VI Región. *Servicio Nacional de Geología y Minería*. Mapa escala 1:250.000. Carta Hidrogeológica de Chile N° 1: 73 pp. Santiago, Chile.
- Hauser, A. 1995.** Hoja Talca, VII Región. *Servicio Nacional de Geología y Minería*. Carta Hidrogeológica de Chile N° 2. Mapa escala 1:100.000. Santiago, Chile.
- Hazleton, P. y Murphy, B. 2016.** Interpreting soil test results: what do all numbers mean? CSIRO Publishing: 161 pp. Melbourne, Australia.
- Hernández, E.; González, E. y Fariñas, J. 2004.** Caracterización y capacidad agrológica de los suelos de viñedo en el municipio de Fuencaliente de la Palma. *Revista de Estudios Generales de la Isla de La Palma*. Vol. 3: 631-666. Fuencaliente, España.
- Hervé, F.; Munizaga, F.; Parada, M.; Brook, M.; Pankhurst, R.; Snelling, N. y Drake, R. 1988.** Granitoids of the Coast Range of Central Chile: geochronology and geologic setting. *South American Earth Sciences Journal*. Vol. 1(2): 185-194. Santiago, Chile.
- Inzunza, J. 2003.** Meteorología descriptiva. Capítulo 15. Climas de Chile. Universidad de Concepción, Departamento de Geofísica: 31 pp. Material del curso *Meteorología descriptiva*. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Irwin, J.; Sharp, W.; Sprangler, R. y Drake, R. 1987.** Some paleomagnetic constrains on the tectonic evolution of the Coastal Cordillera of Central Chile. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 92: 3603-3614.
- Ito, A. y Wagai, R. 2017.** Global distribution of clay-size mineral son land Surface for biogeochemical and climatological studies. *Scientific data*. Vol. 4: 170103 pp. Japón.
- Jackson, M. 2005.** Soil chemical analysis: advanced course. UW-Madison Libraries Parallel Press: 930 pp. Wisconsin, Estados Unidos.
- Jenny, H. 1941.** Soil forming factors: a system of quantitative pedology. McGraw-Hill: 281 pp. Nueva York, Estados Unidos.
- Jenny, H. 1980.** The soil resource, origin and behavior. Springer: 377 pp. Nueva York, Estados Unidos.
- Köppen, W. 1948.** Climatología. Fondo de Cultura Económica de México: 478 pp. México.

- Lagos, F. 2015.** Geomorfología del *terroir* en Malvilla y Tapihue, Región de Valparaíso, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile: 78 pp. Santiago, Chile.
- López, S. 2018.** Hidrogeología e hidroquímica de aguas subterráneas en cuatro microcuencas de la Zona Central de Chile: estudio aplicado al cultivo de la vid. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile: 260 pp. Santiago, Chile.
- Lindholm R. 1987.** Mineral identification using X-ray diffraction. En: *A Practical Approach to Sedimentology*. Springer: 124-153. Dordrecht, Países Bajos.
- Luzio, W. 2010.** Suelos de Chile. Universidad de Chile: 360 pp. Santiago, Chile.
- McKenzie, N.; Jacquier, D.; Isbell, R. y Brown, K. 2004.** Australian soils and landscapes: an illustrated compendium. CSIRO Publishing: 416 pp. Collingwood, Canadá.
- Mitchell, J. y Soga, K. 2005.** Fundamentals of soil behavior. John Wiley and Sons. Vol. 3: 577 pp. Nueva York, Estados Unidos.
- Moore, D. y Reynolds, R. 1989.** X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford University Press: 321 pp. Oxford, Reino Unido.
- Nahrwold, H. 2014.** Vinos de Chile. Editorial Contrapunto: 288 pp. Santiago, Chile.
- Osman, K. 2013.** Soils: principles, properties and management. Springer Science & Business Media: 274 pp. Dordrecht, Países Bajos.
- Pateiro-Moure, M; Arias-Estévez, M; López-Periago, E.; Martínez-Carballo, E. y Simal-Gándara. 2008.** Occurrence and downslope mobilization of quaternary herbicide residues in vineyard-devoted soils. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. Vol. 80(5): 407-411. Orense, España.
- Poblete, J.; Luca, R.; Soto, C.; Santelices, R.; López, L.; Guzmán, C.; Townley, B. y Peña, A. 2007.** Geochemical and mineralogical soil study of the Veramonte vineyard, Casablanca Valley, Central Coast Chile. International Applied Geochemistry Symposium N° 23. Oviedo, España
- Righi, D. y Meunier, A. 1995.** Origin of clays by rock weathering and soil formation. *Origin and Mineralogy of Clays*. Springer: 43-161 pp. Berlin, Alemania.

- Rudnick, R. y Gao, S. 2003.** The composition of the continental crust. *Treatise on Geochemistry*. Elsevier. Vol. 3: 659 pp. Oxford, Reino Unido.
- Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R.; Mora, M.; Flores, H. y Neaman, A. 2004.** Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos. *Comisión de Normalización y Acreditación*. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo: 113 pp. Santiago, Chile.
- Salgado, P.; Castillo, P.; Kelm, U. y Uribe, M. 2016.** Methodologies for organic matter extraction in vineyards soil samples and implications in X-ray diffraction analysis of clay minerals. 1er Encuentro de jóvenes investigadores en Ciencias del Suelo. Valdivia, Chile.
- SERNAGEOMIN. 2003.** Mapa Geológico de Chile: versión digital. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital*. N° 4 (CD-ROM, versión 1.0, 2003). Santiago, Chile.
- Simonson, R. 1959.** Modern concepts of soil génesis – a symposium. Outline of a generalized theory of soil génesis. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 23: 152-156.
- Stevenson, F. 1994.** Humus chemistry: genesis, composition, reactions. John Wiley and Sons: 512 pp. Illinois, Estados Unidos.
- Suryanarayana, C. y Norton, M. 1998.** X-ray diffraction: a practical approach. Plenum Press. Vol. 5: 273 pp. Londres, Reino Unido.
- Tarbutck, E.; Lutgens, F. y Tasa, D. 2005.** Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física. Editorial Prentice Hall: 712 pp. Madrid, España.
- Townley, B. y Castillo, P. 2015.** Geología, geoquímica y vinos. Congreso Geológico Chileno N° 14. La Serena, Chile.
- Velde, B. 1995.** Origin and mineralogy of clays. Editorial Springer: 335 pp. Berlín, Alemania.
- Wall, R.; Gana, P. y Gutiérrez, P. 1996.** Mapa geológico del área de San Antonio-Melipilla. Regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins. Mapa escala 1:100.000. *Servicio Nacional de Geología y Minería*. Mapas Geológicos N° 2: 20 pp. Santiago, Chile.

Wentworth, C. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*. Vol. **30** (5): 377-392. Chicago, Estados Unidos.

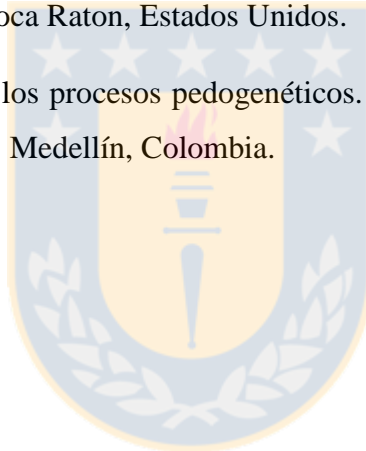
White, G. y Dixon, J. 2002. Kaolin-serpentine minerals. *Soil Mineralogy with Environmental Applications*. Soil Science Society of America Book Series. Vol. **7**: 389-414. Texas, Estados Unidos.

Wilson, J. 1998. Terroir, the role of geology, climate and culture in the making of French wines. University Press of California: 359 pp. San Francisco, Estados Unidos.

Wilson, M. 2004. Weathering of the primary rock-forming minerals: processes, products and rates. *Clay Minerals*. Vol. **39**(3): 233-266. Aberdeen, Escocia, Reino Unido.

Yuan, G. y Theng, B. 2012. Clay-organic interactions in soil environments. *Handbook of Soil Sciences*. Vol. **2**: 2-1 – 2-20. Boca Raton, Estados Unidos.

Zapata, R. 2006. Química de los procesos pedogenéticos. Escuela de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia: 358 pp. Medellín, Colombia.



ANEXO I.
MARCO TEÓRICO



A. Filosilicatos

1. Estructura de los filosilicatos

Las propiedades de los filosilicatos son una consecuencia de la estructura cristalina de estos minerales. La unidad estructural fundamental de todos los silicatos es el tetraedro (SiO_4)⁴⁻. Estos tetraedros pueden agruparse y disponerse en la red cristalina de diversas formas para quedar enlazados con los cationes apropiados y mantenerse unidos.

La estructura de los filosilicatos está basada en el apilamiento de láminas bidimensionales, paralelas y alternadas, formadas por tetraedros (T) con cationes de Si^{4+} o Al^{3+} y, menos común, Fe^{3+} ; y octaedros (O) cuyos cationes pueden ser: Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} o Fe^{2+} (Figura 1).

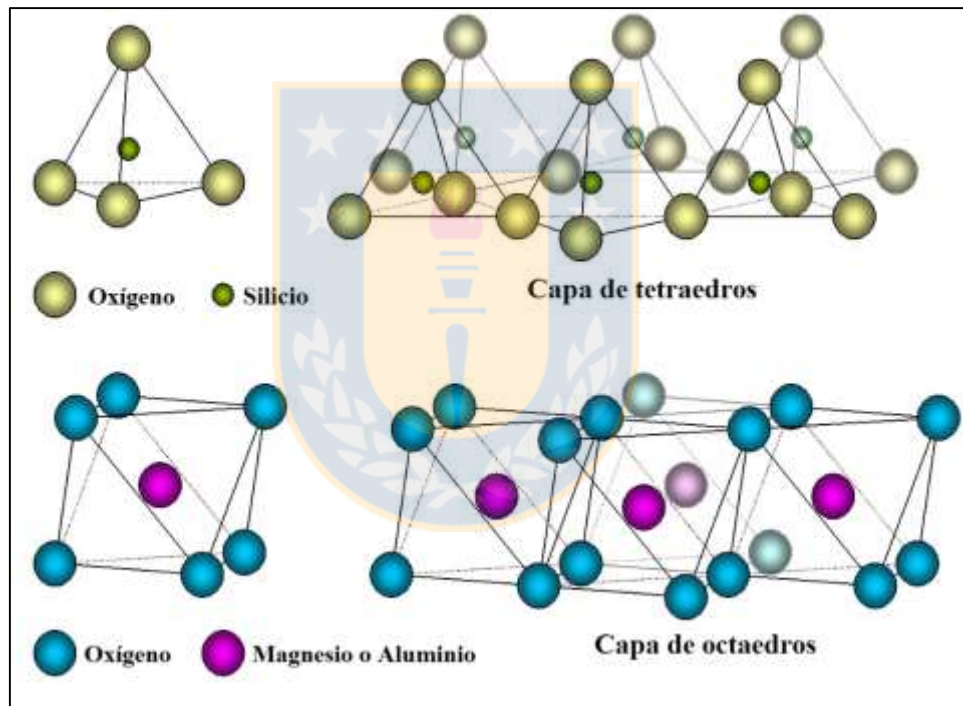


Figura 1 Estructuras tetraédrica y octaédrica que conforman los filosilicatos. Modificado de Mitchell y Soga (2005).

2. Clasificación

Los filosilicatos son clasificados según diferentes puntos de vista. La clasificación más utilizada se basa en la relación entre el número de capas tetraédricas y octaédricas que constituyen una lámina. De esta forma, los silicatos laminares se clasifican como “T:O ó 1:1”; “T:O:T ó 2:1”; y “T:O:T:O ó 2:1:1”, además de los filosilicatos fibrosos.

Filosilicatos 1:1 o T:O

Su estructura se basa en el apilamiento de una capa tetraédrica (T) y una octaédrica (O), y esta secuencia se repite a lo largo del eje cristalográfico c. La distancia entre dos láminas T sucesivas se conoce como espaciado basal y se mide en *angstrom* (Å). En el caso de los filosilicatos 1:1 esta medida es 7Å y es característica del grupo. El mineral representativo de este grupo es la caolinita, como se observa en “a” (Figura 2).

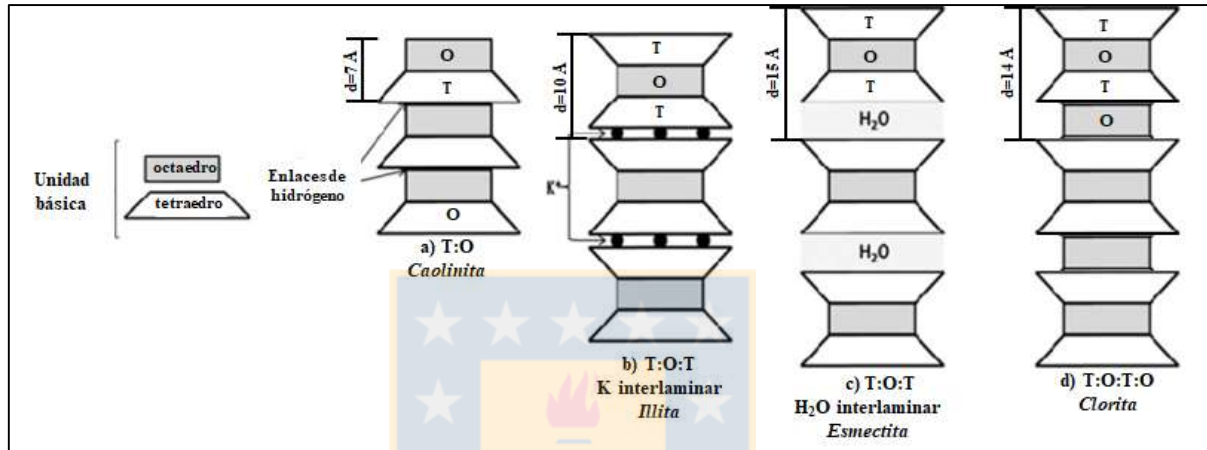


Figura 2 Clasificación de los filosilicatos, “d” indica el espaciado basal en *angstrom* para cada mineral. Modificado de Mitchell y Soga (2005).

Filosilicatos 2:1 o T:O:T

La estructura de estos minerales corresponde a un apilamiento de una capa T, una O y otra capa T (T:O:T), repetida a lo largo del eje c. Los espaciados basales varían según la sustitución en la capa T:

Caso 1: No hay sustitución de Si por Al en la capa T, ya que no hay déficit de carga que compensar (no hay cationes interlaminares). Espaciado basal: 9 Å. Ejemplo: pirofilita.

Caso 2: Hay sustitución parcial de Si por Al en la capa T, entran cationes (por ejemplo, K^+) en la interlámina. Espaciado basal: 10 Å. Este caso corresponde a la illita “b” (Figura 2).

Caso 3: Hay sustitución parcial de Si por Al en la capa T, entran cationes y moléculas de agua en las posiciones interlaminares. Espaciado basal: 15 Å. Ejemplos: esmectita y vermiculita “c” en Figura 2.

Filosilicatos 2:1:1 o T:O:T:O

Su estructura está basada en el apilamiento de una capa T, una O, otra T y otra O (T:O:T:O), repetida en el eje c. El espaciado basal es de 14 Å. La clorita es el mineral típico con estas características, como muestra “d” (Figura 2).

Filosilicatos fibrosos

Son filosilicatos que se caracterizan por tener una capa octaédrica discontinua como consecuencia de la inversión de los oxígenos apicales de la capa tetraédrica, lo que origina una textura fibrosa. Ejemplos de este grupo son la sepiolita o paligorskita.

3. Familias minerales

Los grupos de filosilicatos más importantes para el desarrollo de esta investigación son abordados con mayor detalle a continuación:

Caolín

Es un grupo de filosilicatos dioctaédricos 1:1 que se caracterizan por estar constituidos por una lámina tetraédrica de silicio (Si_2O_3) y una lámina de octaedros de aluminio $[\text{Al}_2\text{O}_3(\text{OH})_4]$. La caolinita es considerada el mineral aluminosilicato más abundante en suelos y en rocas permeables en regiones cálidas y húmedas. Dentro del grupo del caolín existen otros politipos como halloysita, dickita y nacrita. La caolinita se diferencia de la halloysita ya que la estructura de esta última es mucho más desordenada que la de la caolinita, tanto así, que puede aceptar agua en el espacio interlaminaar e hincharse al contacto con agua. Esto se traduce en una variación del espaciamiento basal de 7 Å hasta 10 Å, mientras que la caolinita no se expande y mantiene su espaciamiento basal en 7 Å (Moore y Reynolds, 1989).

Esmectita

Grupo de minerales 2:1, formados por dos capas de tetraedros de silicio y una capa octaédrica de aluminio. Pueden ser del tipo dioctaédricas y trioctaédricas. Estos minerales tienen la capacidad de expandir su estructura sin alterar su integridad cristalográfica, gracias a que aceptan moléculas de H_2O y cationes (Ca, K, Na y/o Mg) en las posiciones interlaminares. Este ingreso de cationes en el espacio interlaminaar corresponde a un intercambio de cationes, por lo que la “capacidad de intercambio catiónico” en estos minerales es considerada alta en comparación con los minerales

que no aceptan cationes o moléculas interlaminares. En el análisis por DRX, este mineral se caracteriza por presentar una reflexión aproximadamente a los 15 Å en la muestra secada al aire y se expande hasta 17-18 Å en la muestra tratada con etilenglicol. El calentamiento de la muestra a 375°C deshidrata la estructura y marca un *peak* cercano a 10 Å (Moore y Reynolds, 1989).

Vermiculita

Este mineral es principalmente de origen secundario y proveniente de la descomposición de minerales ferro-magnesianos como micas, piroxenos, clorita entre otros. En este mineral dominan las sustituciones de Si por Al en la hoja tetraédrica, de forma tal que la carga negativa generada en las hojas tetraédricas limita las propiedades de expansión de este mineral. La vermiculita puede ser dioctaédrica o trioctaédrica, pero en suelos la variedad más típica es la trioctaédrica. Estas vermiculitas trioctaédricas son a menudo provenientes de la meteorización de la biotita (Campos y otros, 2009). La identificación de este mineral en DRX no es posible por medio de los métodos tradicionales, ya que se comporta de forma muy similar a la esmectita con dichos tratamientos. Es por esto que para poder diferenciarlas, se realiza un tratamiento de saturación con catión Mg^{+2} . Una vez realizada esta saturación, la muestra es medida en DRX y luego es tratada con etilenglicol y medida. Este último tratamiento permite diferenciar la vermiculita de la esmectita, ya que la primera presenta un *peak* que entre los 14 y 14,4 Å, mientras que la esmectita se expande hasta 17-18 Å.

Illita y Micas

La illita es un filosilicato 2:1 dioctaédrico, con Al en la capa octaédrica y K en la interlámina. Si bien es considerada como una “muscovita de tamaño fino” la illita en general tiene más Si, Mg y H₂O; menos Al en tetraedros; y menos K interlaminares en comparación con la muscovita. Posee un espaciamiento basal cercano a 10 Å para todos los tratamientos.

Clorita

Consiste idealmente en un mineral con una capa 2:1 cargada negativamente y una hoja interlaminares octaédrica cargada positivamente. Los cationes octaédricos más comunes en la clorita son Mg^{2+} , Fe^{2+} y Fe^{3+} , y hay un rango considerable de sustitución de cationes. Las cloritas se dividen en cuatro especies: clinocloro, chamosita, nimita y penantita, según el ion divalente que domine: Mg, Fe, Ni y Mn, respectivamente. Cuando se analiza por medio de DRX, la clorita posee una reflexión a los

14 Å que corresponde a su sección (001) y un *peak* a los 7 Å aproximadamente. Ambas reflexiones se caracterizan por permanecer en el mismo valor para los tratamientos con etilenglicol y con temperatura, lo que ayuda a distinguirlas de minerales como la caolinita (reflexión a los 7 Å) o esmectita (a los 14 Å) (Moore y Reynolds, 1989).

B. Metodología de análisis externalizados

Estos análisis son realizados en el Laboratorio Químico de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción (Campus Chillán).

1. Determinación del contenido de M.O.

El contenido de M.O. en los suelos se determina a través de una combustión húmeda de la M.O. con una mezcla de dicromato de sodio y ácido sulfúrico, y una posterior lectura por colorimetría. Para este efecto se toma una muestra de suelo que abarque todo el horizonte a analizar y es sometida a la reacción de una solución de dicromato de sodio 0,5 mol/l y ácido sulfúrico 96%. La colorimetría se mide en el cromato reducido (Sadzawka y otros, 2004). Este análisis es realizado en forma previa a la realización de la presente investigación en un laboratorio externo.

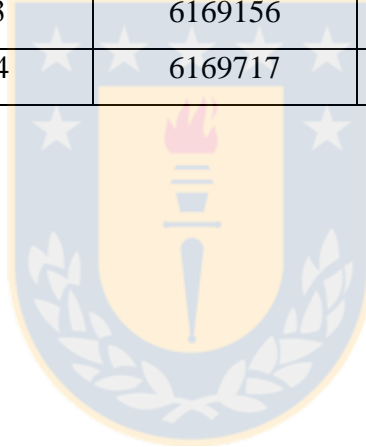
2. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.)

Para este análisis se toma una muestra de suelo que comprenda todo el horizonte. También este análisis es realizado en etapas previas a esta memoria de título y en un laboratorio externo. Esta muestra es tratada con una solución de acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1 mol/l a pH 7,0, responsable de extraer del suelo cationes intercambiables. Los cationes Ca y Mg, se determinan por medio de espectrofotometría de absorción atómica con llama de aire-acetileno; y el K y Na, por espectrofotometría de emisión atómica con llama de aire-acetileno o de aire-propano. Finalmente se calculan las concentraciones de Ca, Mg, K y Na, según las fórmulas propuestas por Sadzawka y otros (2004) y se suman para conocer la capacidad de intercambio catiónico del suelo en cmol/kg.

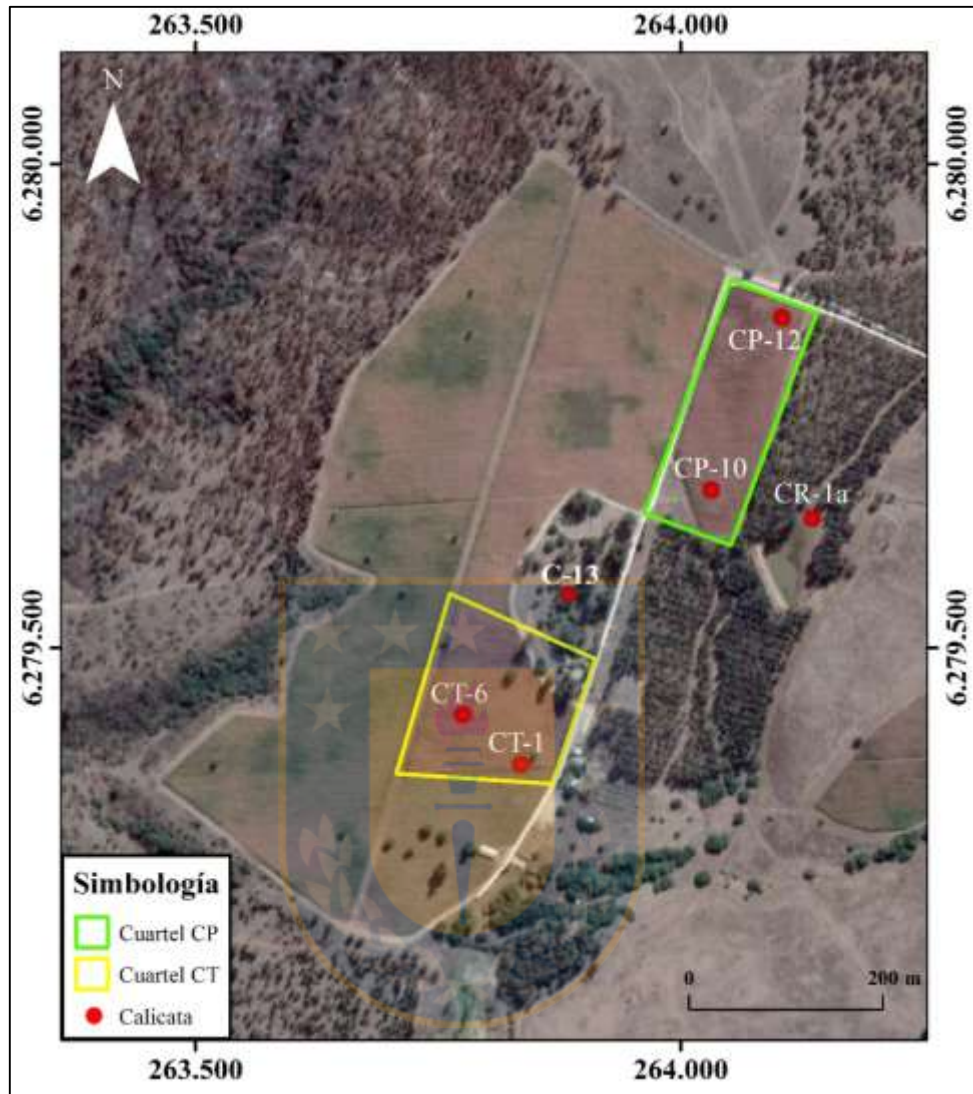


Ubicación de calicatas

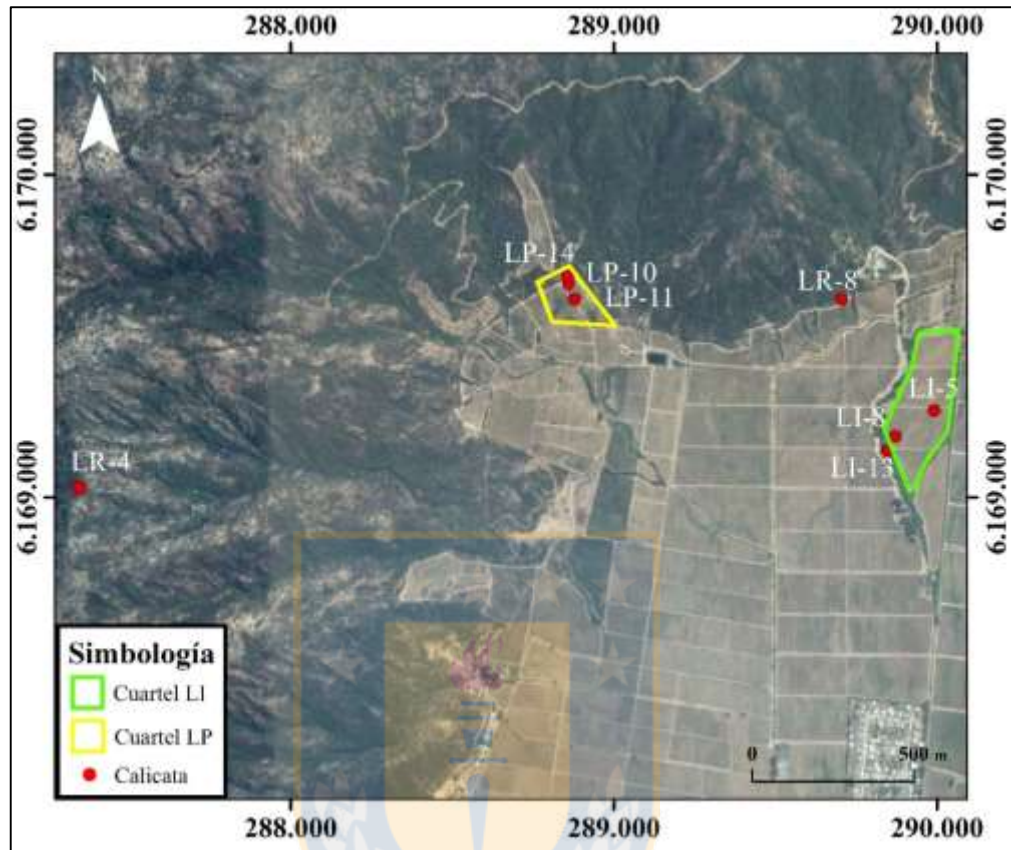
Viña	Calicata	Norte	Este	Elevación
San Antonio	CT-1	6279380	263840	201
	CT-6	6279432	263780	194
	CP-10	6279664	264036	201
	CP-12	6279841	264108	208
	C-13	6279557	263889	202
Santa Cruz	LI-5	6169286	289997	193
	LI-8	6169203	289870	192
	LP-10	6169694	288813	257
	LP-11	6169647	288831	241
	LI-13	6169156	289843	197
	LP-14	6169717	288811	269



Viña de San Antonio



Viña de Santa Cruz



Descripción de calicatas (Castillo, 2016)

SAN ANTONIO

Calicata: CT-1		
Profundidad calicata:	105 cm	
Horizontes	Profundidad (cm)	
A	0-33	
B	33-87	
C	87-105	


Perfil con difícil diferenciación entre horizontes A y B, horizonte C se diferencia claramente.

Horizonte A. Color marrón compuesto por arcillas y un alto contenido de clastos tamaño arena y grava, con abundantes nódulos de manganeso y restos de conchas. Contenido de 3-5% de clastos redondeados de diámetro menor o igual a 3 cm. Se observan grietas en la superficie de esta calicata.

Horizonte B. Color marrón. Se observa arenisca ligeramente alterada por procesos pedogenéticos. En general, este horizonte está compuesto por arcillas con menor contenido de partículas tamaño grava y arena. Se observa mayor cantidad de nódulos de Mn que en el horizonte A. También se observan restos de conchas. Contacto con horizonte C es transicional en los últimos 10 cm de este nivel. Se observan algunas grietas.

Horizonte C. Los primeros 5 cm son transicionales con horizonte B. Color marrón amarillento, típico para este horizonte en el cuartel CT de esta viña y que corresponde a una arenisca (litología parental). Se observan trozos de conchitas muy meteorizadas. Arenisca presenta algunas evidencias de procesos pedogenéticos como formación de “cutanes” (corresponden a una morfología generada por la translocación en los suelos y que consiste en un recubrimiento de macroporos y partículas por arcillas). Se postula la hipótesis de que esta arenisca está formada principalmente por minerales como feldespatos, pero que en otros perfiles se transforma todo en arcillas. Se observan menores concentraciones de nódulos de Mn, pero mayor abundancia de restos de conchitas.

Calicata: CT-6	
Profundidad calicata:	95 cm
Horizontes	Profundidad (cm)
A	0-24
B1	24-74
B2	74-95



Perfil de suelo con difícil diferenciación, más bien se diferencia por profundidad que por parámetros típicos de horizontes. Se observan organismos invertebrados como hormigas, arañas, chanchitos de tierra, entre otros.

Horizonte A. Superficie fuertemente agrietada, muy compacto, de alta dureza y difícilmente disgregable, color marrón, compuesto principalmente por arcilla, más partículas tamaño grava y nódulos de Mn. 2-3% de clastos redondeados de hasta 10 cm de diámetro. Se encuentran restos de material antrópico como ladrillos, entre otros.

Horizonte B1. Color marrón, duro, compacto, difícil de disgregar, compuesto mayormente por arcillas con partículas tamaño grava y mayor contenido de partículas calcáreas en descomposición. También se encuentran nódulos de Fe-Mn. Existe un 2% de clastos redondeados, algunos quebrados, de hasta 4 cm de diámetro. Presencia de grietas centimétricas que en algunos casos se observan con una coloración negruzca.

Horizonte B2. No se observa la coloración amarillenta observada en el horizonte C de las otras calicatas de este cuartel, por lo que se asigna como B2. Es de color marrón levemente parduzco, duro, compacto y de difícil desintegración, compuesto mayormente por partículas tamaño arcilla. Hasta un 2% de clastos redondeados, algunos quebrados y de hasta 2 cm de diámetro. También se observan restos de conchas y nódulos de Fe-Mn.

Calicata: CP-10	
Profundidad calicata:	110 cm
Horizontes	Profundidad (cm)
A	0-10
B1	10-50
B2	50-87
C	87-110

En el perfil de esta calicata se observa en las laderas N y S un lente de conglomerados con un leve manto, por lo que la descripción se realiza en la pared E, donde se observa de mejor forma cada horizonte.

Horizonte A. Corresponde a una pequeña capa de material suelto que no se analiza ni se muestrea.

Horizonte B1. Horizonte de color marrón anaranjado con presencia de raíces carbonizadas. De material muy disgregable, poco compacto, compuesto mayormente por partículas tamaño arcilla-limo, con menor tamaño de arena y grava. Alta concentración de raíces.

Horizonte B2. Capa de color naranja amarillento, corresponde a una capa de conglomerado polimíctico, con 30-35% de clastos redondeados y matriz compuesta por partículas tamaño arena. Disgregable, pero menor que B1. Se encuentran clastos de hasta 5 cm de diámetro, algunos sin alteración, otros levemente alterados a arcillas y óxidos de Fe, y otros totalmente descompuestos.

Horizonte C. Corresponde a la litología parental de esta viña: arenisca feldespática. Color pardo verduzco, con algunos lentes más oxidados de color anaranjado. Cercano al contacto con B2 se observan cutantes de arcilla y mayor cantidad de zonas de oxidación y restos de raíces. Horizonte disgregable con las manos, pero difícil con el martillo. Se observan algunos clastos redondeados. La arenisca es meda a fina y tiene granitos de magnetita (partículas oscuras con magnetismo). No se reconocen restos de conchas ni nódulos de Mn.


Calicata: CP-12	
Profundidad calicata:	120 cm
Horizontes	Profundidad (cm)
A	0-30
B	30-89
C	89-120



Horizonte A. Horizonte de color marrón, compuesto por arcilla, limo y partículas tamaño arena fina a media. Horizonte duro, de compactación media y relativamente fácil de disgregar. Moderado desarrollo de raíces. Bajo contenido de nódulos de Mn.

Horizonte B. Capa de color marrón, compuesto por arcillas en estado coloidal, con partículas tamaño arena. Alto porcentaje de nódulos de Mn y presencia de cutanes negros magnéticos. Horizonte duro, compacto y difícil de disgregar. Hacia el contacto con el horizonte C se aprecia un aumento en la concentración de partículas tamaño arena y disminución de arcillas. También en este contacto se observa una concentración mayor de restos de conchas, que se encuentran fuertemente descompuestas.

Horizonte C. Corresponde a la arenisca con meteorización moderada. Color varía de pardo anaranjado a pardo amarillento. Arenisca posee magnetismo, atribuido a magnetitas disgregadas, que se encuentran como pequeños cutanes redondeados. En la parte superior se observan abundantes restos de conchitas descompuestas. Horizonte duro, compacto, difícil de disgregar, excepto en la zona de las conchitas, donde es fácil de disgregar y además posee una concentración elevada de raíces. No se observan nódulos de Mn.

Calicata: C-13		
Profundidad calicata:	110 cm	
Horizontes	Profundidad (cm)	
A	0-28	
B	28-70	
C	70-110	

Calicata blanco. Corresponde a una zona en que no hay cultivo de vid. En este sector se mantiene flora nativa como boldo, además de algunas especies introducidas como eucalipto. Material parental corresponde a un banco de conglomerados, diferente al material parental observado en las calicatas de suelos cultivados, por lo que esta zona se atribuye a un paleocanal local. Este mismo tipo de afloramiento se observa en algunas zonas aledañas a los cultivos, lo que apoyaría la hipótesis de que se trate de una serie de paleocanales en la zona o bien un paleocanal de extensión media. El conglomerado es matriz-soportado, con algunas zonas clasto-soportado. El porcentaje de clastos en promedio es de 45-50%, los clastos son redondeados de formas esféricas a ovaladas, e incluso aplanadas. La composición litológica es polimíctica y los tamaños de grano son variables pero de hasta 12 cm de diámetro. Algunos clastos de 1-3 cm presentan una incipiente imbricación.

Horizonte A. Horizonte color marrón, con clastos redondeados, polimícticos, clastos de tamaño de grano de 1 a 10 cm, aproximadamente 40% de matriz compuesta por partículas tamaño limo-arcilla. Material muy disgregable, poco compacto. Algunos clastos se encuentran alterados a óxidos de Fe y arcillas. Sólo en los primeros 10 cm superiores se observan algunas grietas planas. No se reconocen nódulos de Mn ni restos de conchitas.

Horizonte B. Color pardo anaranjado, compuesto por 45% de clastos redondeados, polimícticos de diámetro 2-3 cm (moda) hasta incluso 10 cm. Matriz compuesta por materiales coloidales de arcillas y óxidos de Fe, además de algunas partículas tamaño arena y grava fina. Se observan algunos cutanes de coloración negruzca. Se observa una incipiente formación de nódulos de Fe-Mn de aproximadamente 0,5 mm, pero sólo localmente. Este horizonte se observa compacto, pero disgregable. No se observan restos de conchas. Los clastos están en general alterados a arcilla y limonitas. Algunos clastos se presentan fracturados. Se observan algunas grietas y porosidades. Este horizonte claramente corresponde a la zona de acumulación de arcillas.

Horizonte C. Horizonte de color naranja que varía: en la zona más superficial se observa de color naranja pálido, hacia abajo aumenta la intensidad del color naranja. Es un horizonte no muy duro ni tan compacto, es fácil de disgregar. Se reconoce un 40-50% de clastos polimícticos y redondeados de 10 cm a menos (moda 4-5 cm). Algunos clastos muy alterados a arcillas y limonitas, y otros completamente descompuestos. La matriz corresponde mayormente a partículas tamaño arena que al parecer es la original de este depósito de conglomerados. La arena está muy oxidada, esta oxidación es la responsable de la coloración anaranjada. A la lupa se observan algunos cutanes negros magnéticos, algunos lentes magnéticos y partículas tamaño arena de magnetita. No se reconocen nódulos de Mn, no restos de conchitas. Se aprecia una porosidad secundaria atribuida a la meteorización de algunos minerales.



SANTA CRUZ

Calicata: LI-5	
Profundidad calicata:	97 cm
Horizontes	Profundidad (cm)
A	0-29
B	29-61
C	61-97




Horizonte A. Color marrón claro, compuesto mayormente por partículas finas tamaño arena fina y limo-arcilla. Posee 3-5% de clastos redondeados a semiangulosos de granodiorita (de hasta 3 cm de diámetro), también se observan en estos suelos clastos de una litología de grano fino fuertemente alterado a clorita, pero no se aprecian en esta calicata. Moderada concentración de raíces. Suelo blando, moderadamente compacto y fácil de disgregar con las manos.

Horizonte B. Color marrón levemente más oscuro que horizonte A, compuesto por mayor cantidad de partículas tamaño grava y arena gruesa principalmente de granodiorita y cuarzo, y partículas finas limo-arcilla. Posee aproximadamente 10% de clastos redondeados a semiangulosos de 6 cm o menos. Sólo se reconocen clastos de granodiorita. En este horizonte se encuentra la mayor concentración de raíces. Horizonte moderadamente blando y compacto, fácil de disgregar en las manos. Clastos están bastante oxidados, pero en general no tan alterados a arcillas.

Horizonte C. Color marrón anaranjado. Compuesto mayormente por partículas tamaño arena fina a gruesa, con menor limo-arcilla y moderada proporción de gravas. Se observa un nivel aproximadamente a los 70 cm con clastos redondeados a semiangulosos de 6 cm o menores, principalmente de granodiorita, aunque se observa un clasto de lava de composición andesítica. En pared opuesta se observa bloques de granodiorita de mayor tamaño de granodiorita (de 15-20 cm). Se sugiere la hipótesis de que en esta existe un paleocanal. El porcentaje aproximado de clastos es de 15%. Es un horizonte moderadamente blando aunque compacto y fácil de disgregar con las manos. Moderada a baja concentración de raíces.

Calicata: LI-8	
Profundidad calicata:	114 cm
Horizontes	Profundidad (cm)
A	0-25
B	25-78
C (B2)	78-114




Difícil diferenciación de horizontes, perfil de suelo bastante homogéneo. Las principales diferencias están dadas por la existencia de raíces, y a partir del horizonte B una coloración un poco más anaranjada.

Horizonte A. Color pardo amarillento compuesto mayoritariamente por partículas tamaño arena media a fina y limo. Se detecta baja cantidad de arcilla. También se reconocen algunas partículas tamaño grava, con 1-2% de clastos de granodiorita de hasta 1 cm de diámetro. Oxidación en parche muy leve. Moderada a baja concentración de raíces. Horizonte moderadamente blando y compacto, fácil de disgregar con las manos, la estructura se rompe en bloques pequeños.

Horizonte B (B1). Color gris parduzco con manchones anaranjados (algunos corresponden a partículas de granodiorita que oxidadas y otros a cutanes ricos en óxidos de hierro). Compuesto mayoritariamente por partículas tamaño arena fina y limo-arcilla (mayor concentración de arcillas que en horizonte A) aunque comparativamente con suelos de otras viñas acá es menor. Mayor contenido de partículas tamaño grava a arena gruesa, con 1-2% de clastos de granodiorita oxidados de hasta 4 cm de diámetro. Acá se encuentra la mayor concentración de raíces y la existencia de cavidades (posiblemente guaridas de animales). Suelo de alta porosidad, moderadamente duro, compacto y fácil de disgregar con las manos.

Horizonte C (B2). Horizonte de color variable: gris anaranjado en zonas de intervención reciente, en otras zonas es de color marrón grisáceo y además existen algunos manchones anaranjados asociados, en parte a oxidación de partículas de granodiorita y en parte a cutanes ricos en óxidos de Fe. Composición mayormente por partículas tamaño arena fina y limo-arcilla, menor cantidad de partículas tamaño grava y arena gruesa. Baja concentración de raíces y éstas son delgadas. Suelo moderadamente duro, compacto y fácil de disgregar con las manos. No se observan clastos.

Calicata: LP-10	
Profundidad calicata:	121 cm
Horizontes	Profundidad (cm)
A	0-20
B	20-57
C1	57-101
C2	101-121



Perfil de suelo con horizontes bien definidos. Se observan bloques de considerable tamaño y en la parte baja del perfil se observa la roca granodiorita (aunque también se considera que pueda corresponder a otro bloque de tamaño considerable). La separación de los horizontes se hace principalmente por la contrastante granulometría y coloración que existe entre los horizontes.

Horizonte A. Horizonte de color pardo grisáceo, compuesto principalmente por partículas tamaño arena fina y limo-arcilla, más partículas tamaño arena gruesa y grava, de composición granodiorítica. Se observan manchones amarillentos que corresponden a clastos de granodiorita fuertemente oxidados, con presencia de minerales óxidos de Fe. Existe un 3-5% de clastos que son angulosos a semiredondeados. Un bloque presente en el perfil también es redondeado (abarca horizontes A y B). Moderada a alta concentración de raíces, horizonte moderadamente duro, compacto y de fácil disgregación con las manos.

Horizonte B. Color gris parduzco con tonalidades amarillentas y blanquecinas, debidas a clastos fuertemente meteorizados de granodiorita. Compuesto mayoritariamente por partículas de grano grueso correspondientes a granodiorita y cuarzo. Se observa la forma redondeada a subangular de los clastos meteorizados de granodiorita, de los cuales aproximadamente el 10-15% se encuentra meteorizado y de una coloración blanca y amarilla, inmerso en una matriz más bien grisácea, moderada concentración de raíces. Horizonte moderadamente blando, aunque compacto, fácil de disgregar con las manos. Los clastos tienen dimensiones de 3 cm de diámetro hasta 13 cm, con una excepción de un bloque de 0,6 m.


Horizonte C1. Color gris parduzco, compuesto mayormente por partículas de grano fino (limo-arcilla y arena fina) y alrededor de 15-20% de partículas de grano grueso (arena gruesa y grava) de composición granodiorítica. Se observa un 5-8% de clastos subangulosos a subredondeados de granodiorita menos

meteorizados que en en perfiles superiores y de diámetros que llegan a los 8 cm. En paredes aledañas de este horizonte se observan bloques redondeados a subredondeados de 20 a 40 cm, y algunos bloques alargados muy meteorizados, de colores amarillentos que parecen ser restos (“cáscaras”) de meteorización esferoidal. Moderada a alta concentración de raíces. Horizonte blando, compacto y fácil de disgregar con los dedos.

Horizonte C2. Corresponde a granodiorita moderadamente meteorizada, sólo en un costado de la planta se observa más fresca. Color blanquecino anaranjado, los que están dados por los minerales de alteración. Horizonte muy duro a moderadamente duro, en algunos sectores es una roca muy fácil de disgregar, pero en las zonas de roca fresca es imposible. Horizonte compacto, lo más probable es que corresponda a un bloque de gran tamaño pero con la mineralogía correspondiente al material parental de esta viña. Se compone de minerales como feldespatos completamente alterados a arcillas (posiblemente caolinita ya que es de color blanco), cuarzo (10-15%) y máficos alterados a óxidos de Fe (hematita, limonitas). En el contacto entre C1 y C2 se observa una alta concentración de raíces y de clastos angulosos de granodiorita, pero hacia abajo en el horizonte no existen raíces.



Calicata: LP-11	
Profundidad calicata:	87 cm
Horizontes	Profundidad (cm)
A	0-17
B	17-59
C	59-87




Calicata compuesta de un material parental de grano fino, el cual debe corresponder a material acumulado por gravedad (coluvial); llama la atención el tamaño de grano fino con pocos clastos. Material es similar al material parental de suelo del cuartel LI, por lo que es interesante comparar parámetros químicos y cortes transparentes.

Horizonte A. Color amarillo parduzco pálido. Compuesto mayormente por partículas de grano fino limo-arcilla; menor proporción de partículas tamaño grava y arena gruesa, correspondientes a restos de granodiorita y cuarzo. No se observan clastos de mayor tamaño (bloque). Moderada concentración de raíces, en general delgadas y terminaciones muy finas. Horizonte compacto, moderadamente duro y fácil de disgregar con las manos.

Horizonte B. Color marrón pálido a parduzco. Compuesto mayoritariamente por partículas de grano fino limo-arcilla. Bajo porcentaje de partículas tamaño grava y arena gruesa, principalmente de composición cuarcífera y en menor proporción granodiorítica. Se observa un clasto anguloso a semianguloso de granodiorita de 5 cm. Este horizonte se diferencia de A por ser más oscuro, debido a un contenido mayor de M.O. posiblemente. Alta concentración de raíces. Horizonte diferencialmente blando a duro, moderadamente compacto y fácil de disgregar con las manos.

Horizonte C. Difícil de distinguir de B, sólo por el color que no es tan evidente. Éste tiene un color amarillo parduzco pálido, similar al del horizonte A. Está compuesto mayormente por partículas de grano fino con muy pocas partículas tamaño arena y grava casi ausente. No se observan clastos. Aquí se aprecia un mayor contenido de arcillas. Moderada concentración de raíces. Horizonte blando, aunque moderadamente compacto y fácil de disgregar con las manos.

Calicata: LI-13		
Profundidad calicata:	120 cm	
Horizontes	Profundidad (cm)	
A	0-33	
B1	33-62	
C1 (B2)	62-113	
C2	113-120	

Calicata blanco del cuartel LI.

Horizonte A. Los 10 primeros cm corresponden a una capa de *litter* compuesta por material orgánico sin descomponer, como hojas, ramas, sarmientos y raíces vegetales de otras especies. Continuando en el perfil hacia abajo, este horizonte posee un color pardo amarillento, compuesto mayoritariamente por partículas de tamaño fino arena fina y limo-arcilla, con menor porcentaje de partículas tamaño arena gruesa o grava, que corresponden principalmente a cuarzo y fragmentos de granodiorita. Horizonte moderadamente blando, poco compacto y fácil de disgregar con las manos. Alta a moderada concentración de raíces.

Horizonte B1. Color pardo anaranjado, compuesto por partes relativamente similares de partículas finas y gruesas, mayor concentración de arcillas que en horizonte A; 2-3% de clastos de 5 cm a menores, con características subredondeadas a subangulosas de granodiorita. Moderada a alta concentración de raíces. Suelo muy blando, poco compacto y muy fácil de disgregar con las manos.

Horizonte C (B2). Horizonte pardo blanquecino; compuesto mayoritariamente por partículas muy finas tamaño limo-arcilla. Las partículas de tamaño grava y arena gruesa son principalmente de cuarzo. Moderada a baja concentración de raíces. Horizonte relativamente blando, moderadamente compacto y muy fácil de disgregar con las manos. En algunos terrones se observan sectores más oxidados que están posiblemente relacionados a la oxidación de clastos (ahora sólo queda cuarzo como mineral residual).

Horizonte C2. Este horizonte es muy difícil de muestrear, es más compacto que C1 y se observa mejor la oxidación del material granodiorítico. Es más duro y compacto que C1 y más difícil de disgregar con las manos. Su color es pardo anaranjado.

Calicata: LP-14	
Profundidad calicata:	95 cm
Horizontes	Profundidad (cm)
A	0-25
B	25-55
C	55-95



Calicata blanco del cuartel LP. Corresponde a un corte de camino. Se intenta limpiar el perfil lo más posible para tener un material menos intervenido.

Horizonte A. Horizonte color pardo amarillento pálido, compuesto mayoritariamente por partículas tamaño arena de fina a gruesa, hacia la parte superior del horizonte (los 10 primeros cm) se observa una coloración más oscura que puede indicar una mayor abundancia de M.O. Corresponde a la granodiorita completamente meteorizada, sólo se observan granos de cuarzo de mayor tamaño. Arcilla y limo se encuentra en menor proporción. Suelo mayormente blando pero también existen zonas duras; suelo moderadamente compacto y fácil de disgregar con las manos. Baja a moderada concentración de raíces.

Horizonte B. Color amarillo pálido anaranjado. Corresponde a la granodiorita parental meteorizada con sectores de mayor M.O. El material es fácil de disgregar con las manos. Horizonte relativamente blando, aunque compacto. Al disgregar la roca, se observa una composición mayoritaria de materiales tamaño arena gruesa a fina con menos partículas tamaño grava y limo-arcilla. En este horizonte se observan algunas diaclasas por donde se distribuye el mayor porcentaje de raíces, las paredes de las diaclasas poseen una pátina de óxidos de Fe. La roca se observa separada como escamas finas.

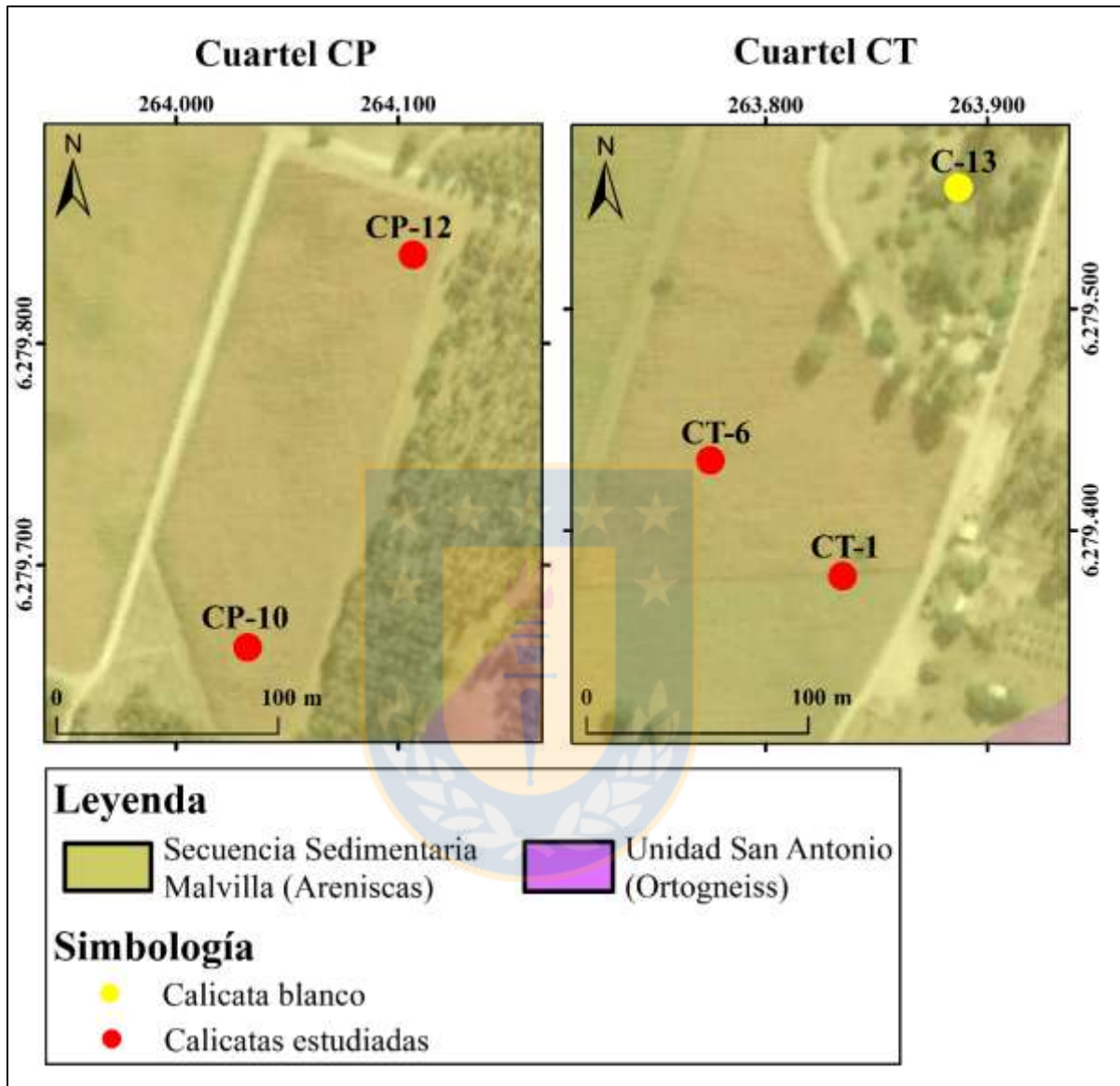
Horizonte C. Corresponde a la granodiorita muy meteorizada, de color blanco y naranja. Se observa el grano grueso a medio de la roca. La actual mineralogía corresponde a feldespatos alterados a arcillas, cuarzo (10-20%) y minerales máficos completamente alterados a clorita y óxidos de Fe, con algunas pátinas de limonita. Se observan las diaclasas descritas en horizonte B. Presencia de raíces finas. En el sector derecho de la calicata se observan también raíces de mayor tamaño y asociada a ella se observa un aumento de la meteorización de la roca. En este sector la roca es mucho más blanda que hacia la izquierda del perfil. Roca fácil de disgregar con las manos, moderadamente dura y compacta.

ANEXO III.
MAPAS GEOLÓGICOS

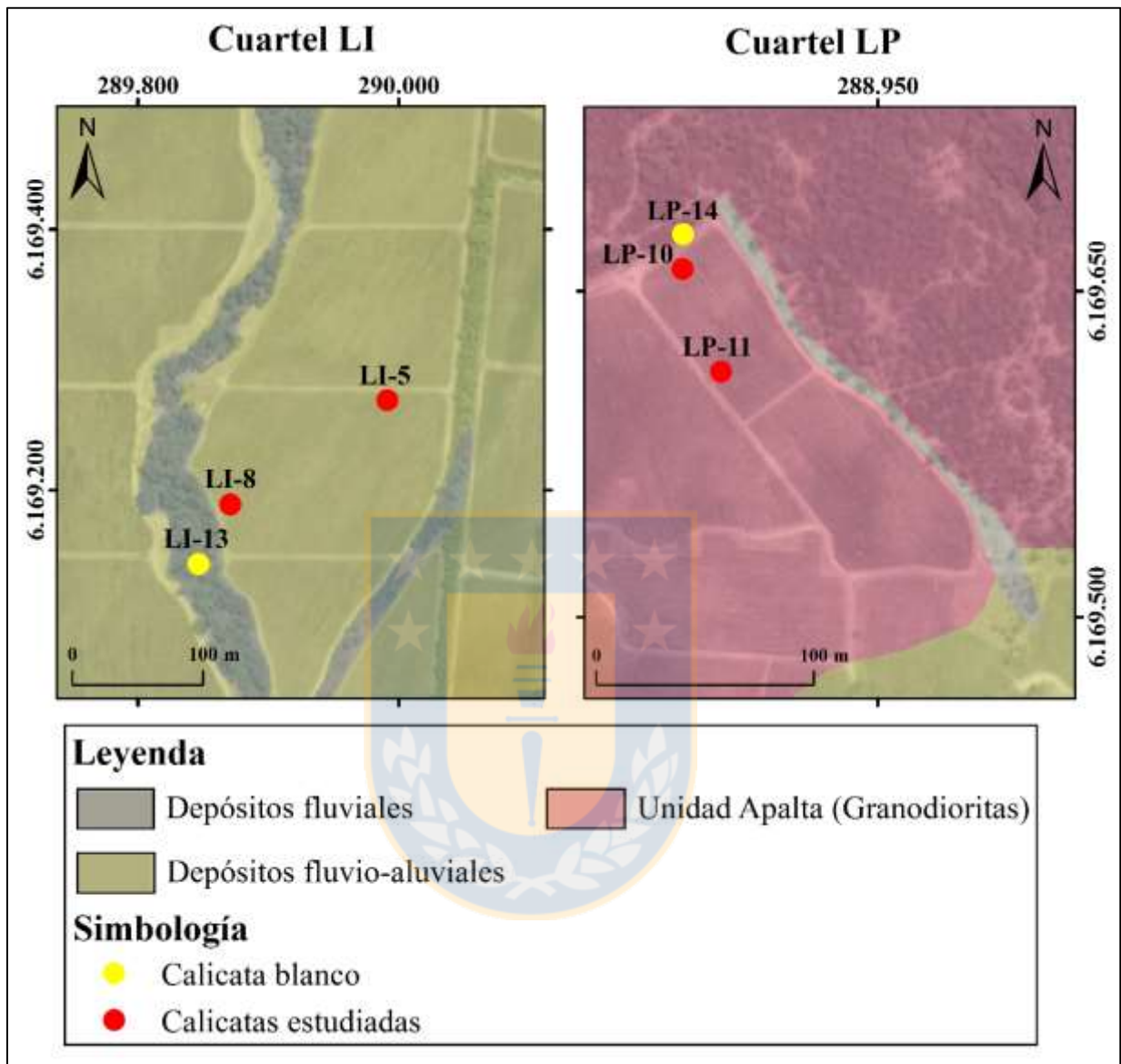


Mapas geológicos locales (*Castillo, 2017*)

SAN ANTONIO



SANTA CRUZ



ANEXO IV.
DESCRIPCIONES MICROSCÓPICAS



Descripciones microscópicas (Contreras, 2017)

SAN ANTONIO

MUESTRA CR 1a

Coordenadas: 6.279.634 N / 264.140 E

Clasificación Petrográfica: Ortogneiss de biotita rico en cuarzo

Textura: Bandeada de grano medio a fino

Observaciones microscópicas: Roca bandeada (gneíssica) de grano medio a fino. Destacan las bandas de biotita de hasta 2mm de diámetro (Microfotografía 23), en general no se observan abundantes máficos en el corte además de una leve alteración en forma general. Como se mencionó anteriormente, los cristales de biotita aparecen en cúmulos y bandas; corresponden a minerales sub-euhedrales, hábito micáceo, pequeños $\leq 0,4$ mm y marcan el bandeamiento. Además se observa un fluido de color café en toda la roca, posiblemente biotítico, rellenando todos los espacios vacíos. Escasos cristales de plagioclasa bien formados, anhedrales a sub-euhedrales, algunos con maclas polisintéticas relictas, altamente fracturadas con leve a moderada alteración a arcillas y leve a sericita. Dos generaciones de cristales de cuarzo, la primera corresponden a cristales de gran tamaño de hasta 2mm y la segunda generación de diámetro menor a 0,1 mm. Abundante microclina en el corte anhedrales a sub-euhedrales de hasta 3mm de diámetro con maclas enmallado. Se observan puntos triples en los cristales de cuarzo, lo que indica altas temperaturas de recristalización de la roca. En forma general la roca exhibe intenso fracturamiento y deformación incipiente; destaca además la presencia de cuarzo secundario. Índice de máficos 15. La roca no presenta microestructuras.

	
<p>Fotomicrografía</p>	<p>Aspecto general del corte transparente CR-1a en LPP y NC. La mineralogía observada consiste en: cuarzo, feldespato K (microclina), plagioclasa, biotita y minerales opacos. Tomado de Contreras, 2017.</p>

ESTUDIO MICROSCÓPICO

Minerales Primarios

Mineral	%	Tamaño(mm)	Características/Ocurrencia	Alteración
plagioclasa	10	0,4 – 0,8	sub-euhedral	leve a moderada arc
cuarzo	53	0,5 – 2	anhedrales, cristales en cúmulos	sin alteración
microclina	22	0,5 – 3	anhedral a sub-euhedral	leve a arcilla
biotita	8	≤ 0,4	cristales pequeños en cúmulos	sin alteración
muscovita	4	> 0,1	cúmulo de pequeños minerales	sin alteración

Minerales Alteración

Mineral	Características/Modo de Ocurrencia
arcilla	leve, localmente moderada en microclina y plagioclasa
sericita	leve en cristales de plagioclasa
cuarzo 2°	cuarzo de alteración, rellenando espacios vacíos

Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de Ocurrencia
opacos	3	Cristales aislados, disseminados y en cúmulos de biotita. De hasta 3,5 mm con formas anhedrales

SANTA CRUZ

MUESTRA LR 4

Coordenadas: 6.169.011 N / 287.380 E

Clasificación Petrográfica: Granodiorita de biotita y hornblenda

Textura: Hipidiomórfica granular de grano medio, zonación y localmente pertitas

Observaciones microscópicas: Roca ígnea intrusiva de tamaño medio con sectores de grano más fino y aumento de minerales máficos. Los tamaños de los minerales formadores de roca están en un rango de 0,1 a 4 mm los más grandes. Las formas cristalinas de las plagioclasa son euhedrales en su mayoría, con algunos cristales zonados y es común observar maclas polisintéticas; en estas destaca una alteración moderada a arcillas y leve a clorita de color azul desde el centro del cristal. El cuarzo se halla con formas anhedrales subredondeadas en su mayoría, además se puede observar que rellena algunos espacios entre cristales y localmente con extinción ondulosa sin alteración. Cristales de feldespato alcalino (ortoclasa) anhedrales y sub-euhedrales comunmente cristalizando en los bordes de la plagioclasa, pero también en cristales aislados con intensa alteración a arcillas y localmente pertitas. Cristales de hornblenda euhedrales a sub-euhedrales prismáticos y algunos con presencia de maclas simples. Se observan biotitas en cúmulos y aisladas alteradas intensamente a clorita, leve a epidota y esfeno. Esfeno y apatito como accesorios. El M (índice de máficos) es 33 y los valores normalizados de QAP corresponden a Q=39%, A=16% y P=45%. Estos valores fueron graficados en el diagrama de Streckeisen 1979, dando una Granodiorita de biotita y hornblenda. El porcentaje de anortita corresponde An 37%.

**Fotomicrografía.**

Aspecto general del corte transparente LR-4 en LPP y NC. Se puede observar el cambio del tamaño de grano en la esquina inferior izquierda de medio a fino, en NC. También se pueden observar los minerales que componen esta litología: plagioclasas, cuarzo, hornblenda, biotita y feldespato potásico, además de los minerales de alteración: arcillas, clorita, epidota. Tomado de Contreras, 2017.

ESTUDIO MICROSCÓPICO**Minerales Primarios**

Mineral	%	Tamaño(mm)	Características/Ocurrencia	Alteración
plagioclasa	28	1 – 3,3	euhedrales a sub-euhedrales, prismáticos, zonados y maclados	moderada arc, bajo a chl y ep
cuarzo	24	1 – 4	anhedral, subredondeados	sin alteración
feldespato alcalino	15	0,4 – 2	anhedral a subhedral, cristales aislados	intensa arcilla
biotita	18	1 – 3,5	sub-euhedrales en cúmulos, aislados o con hábito micáceo	intensa chl, leve epidota y sph
hornblenda	7	0,2 - 0,5	euhedrales a sub-euhedrales, prismáticos y con macla simple	moderada chl, bt
esfeno	1	0,3	diseminado con formas sub-euhedrales	sin alteración
apatito	1	0,1	pequeños euhedrales	sin alteración

Minerales Alteración

Mineral	Características/Modo de Ocurrencia
arcilla	principalmente alteración de feldespato alcalino y menos común de plagioclasa
clorita	alteración intensa de clorita
epídota	proviene de biotita y menos común de plagioclasa
esfeno	alteración leve de biotita

Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de Ocurrencia
opacos	6	anhedrales subredondeados y menos común sub-euhedrales. Asociados principalmente a máficos y clorita

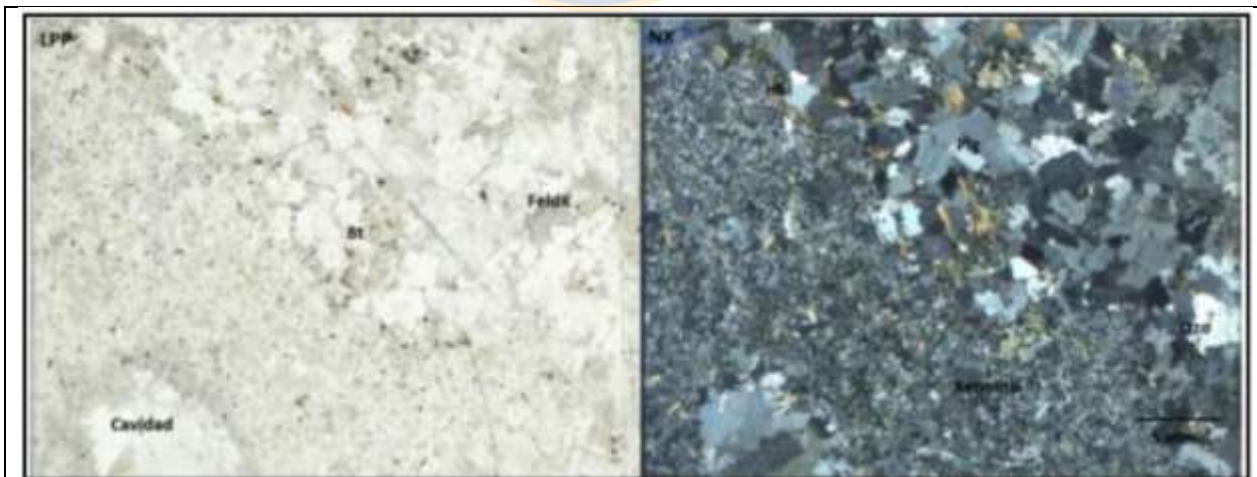
MUESTRA LR 8

Coordenadas: 6.169.650 N / 289.700 E

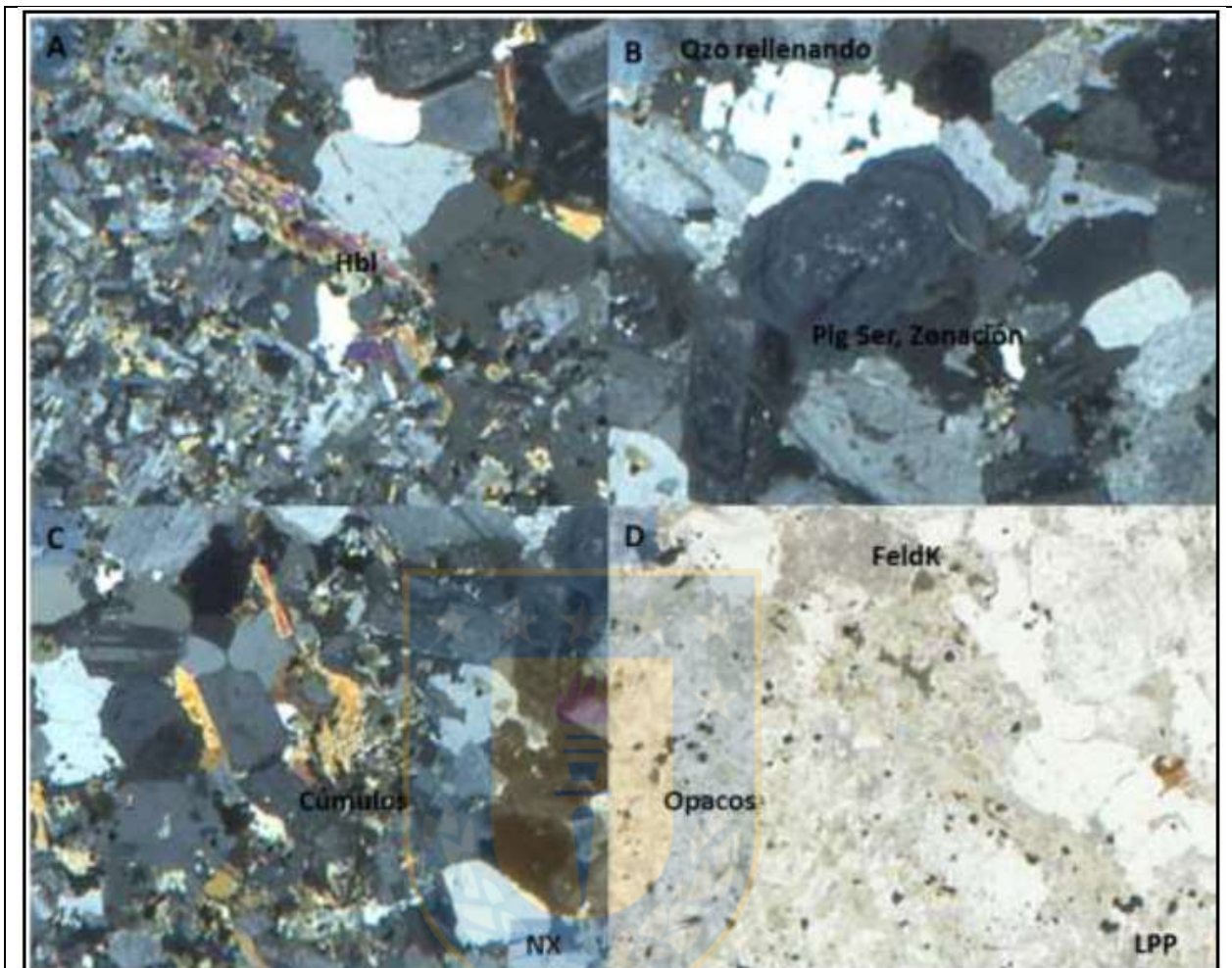
Clasificación Petrográfica: Granodiotita de hornblenda y biotita con enclave microgranular de Diorita cuacífera de hornblenda y biotita

Textura: Hipidiomórfica granular de grano medio

Observaciones microscópicas: Roca ígnea intrusiva con enclave microgranular de composición menos diferenciada. El enclave corresponde a una Diorita cuarcífera de hornblenda y biotita con una textura hipidiomórfica granular de grano fino, con cristales de tamaño menor a la roca caja y menos cristalinos por posible recalentamiento, es decir, la mayoría con formas sub-euhedrales a anhedrales con escasas formas anhedrales. An48 y Q=5%, A=0% y P=95%. La roca caja es de grano medio a grueso (Microfotografía 20) con tamaños desde 0,1 a 4 mm. Los cristales de plagioclasa son euhedrales a subeuhedrales con hábito prismático alargado según eje C, menos común primas cortos. Se observan en forma independiente y en cúmulos de 3 ó 4 cristales con maclas polisintéticas, localmente cristales con macla *carlsbad* y zonados; alteración leve a moderado a arcillas y leve a sericita. El cuarzo cristaliza con formas típicas anhedrales, se aprecia como cristales individuales con bordes irregulares siguiendo las formas de los cristales aledaños; la extinción ondulosa es común y sin alteración. Escaso feldespato potásico subeuhedrales, mayormente anhedrales en espacios, es fácil reconocerlos en los bordes de las plagioclasas y por su aspecto “sucio” en LPP por la intensa alteración a arcillas. Hornblenda con hábito tabular alargado común en grupos con moderada a leve alteración a clorita, escasa a esfeno y epidota. Biotita en forma diseminada con alteración leve a clorita, se reconoce bien por el arcimoteado además como mineral accesorio el esfeno al mismo tiempo de alteración. El Índice de minerales máficos (M) es 29 y los porcentajes normalizados de QAP corresponden a Q=49%, A=14% y P=37%. El porcentaje de An36.

**Fotomicrografía.**

Aspecto general del corte transparente en LPP y NC. Se puede observar la diferencia de tamaños entre el enclave microgranular y la roca caja, además de la mineralogía presente en esta litología: plagioclasa, feldespato K, cuarzo, biotita y además, una cavidad rellena por calcita.



Fotomicrografía.

Se observan cuatro sectores particulares del corte importantes de destacar. **A:** se observa un cristal de hornblenda alargado con alta birrefringencia. **B:** El cuarzo relleno al costado de una plagioclasa zonada alterada levemente a sericita. **C:** úmulos de biotita y hornblenda. **D:** mayor concentración de opacos en enclave además de un cristal de feldespato potásico con aspecto sucio por la alteración a arcillas.

ESTUDIO MICROSCÓPICO DEL ENCLAVE MICROGRANULAR

Minerales Primarios

Mineral	%	Tamaño(mm)	Características/Ocurrencia	Alteración
plagioclasa	57	0,2 - 0,5	sub-euhedral, prismático, ± zonadas	moderada ser, alta arcilla
cuarzo	3	0,1 – 0,5	anhedral, relleno de espacios	sin alteración
hornblenda	25	0,1 – 0,8	sub-euhedral asociada con bt	moderada chl, leve a epidota
biotita	7	0,2 – 0,6	sub-euhedral micáceo	leve chl y sph
esfeno	1	0,2	aislado, sub-euhedral	-

Minerales Alteración

Mineral	Características/Modo de Ocurrencia
sericita	moderada por alteración de plagioclasa
arcilla	moderada a leve plagioclasa
clorita	moderada de hornblenda y leve de biotita

Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de Ocurrencia
opacos	7	anhedrales, diseminados

Estructuras

Vetillas/Agregados	Espesor/Tamaño	Características/Modo de Ocurrencia
cavidad	5 mm	cavidad rellena por calcita, cuarzo y menos común epidota dentro del enclave microgranular

ESTUDIO MICROSCÓPICO DE LA ROCA CAJA

Minerales Primarios

Mineral	%	Tamaño(mm)	Características/Ocurrencia	Alteración
plagioclasa	26	1 – 3	euhedrales a sub-euhedrales, tabular largo y corto	leve a ser, leve moderado arc
cuarzo	35	1 – 4	anhedrales, individuales dis	sin alteración
feldespato alcalino	10	0,5 – 3	sub-euhedrales a anhedrales, bordes	moderada arcilla
hornblenda	18	0,3 - 4	sub-euhedral, alargados	leve chl, sph, escasa epidota
biotita	8	0,2 - 1	micáceo, cxx individuales	leve clorita
esfeno	1	0,1	anhedral, accesorio	sin alteración

Minerales Alteración

Mineral	Características/Modo de Ocurrencia
arcilla	leve a moderado en plagioclasa y moderada de feldespato potásico
clorita	moderada de hornblenda
epídota	leve de hornblenda
sericita	leve de plagioclasa

Minerales Opacos

Mineral	%	Características/Modo de Ocurrencia
opacos	2	asociados a alteración clorita en las hornblenda, también diseminados en forma individual



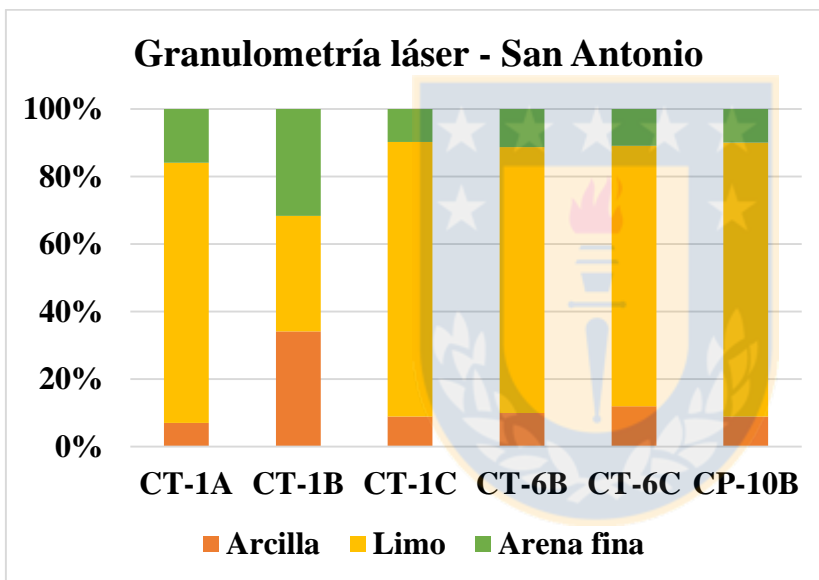


Granulometría láser

SAN ANTONIO

Resultados: porcentaje en volumen de partículas

Muestra	% Arcilla	% Limo	% Arena fina
CT-1A	6,99	77,12	15,87
CT-1B	9,59	9,59	8,89
CT-1C	8,93	81,37	9,7
CT-6B	9,95	78,88	11,21
CT-6C	11,96	77,22	10,82
CP-10B	8,93	81,13	9,93



Ejemplo de resultado de análisis de difracción láser para una muestra de esta viña



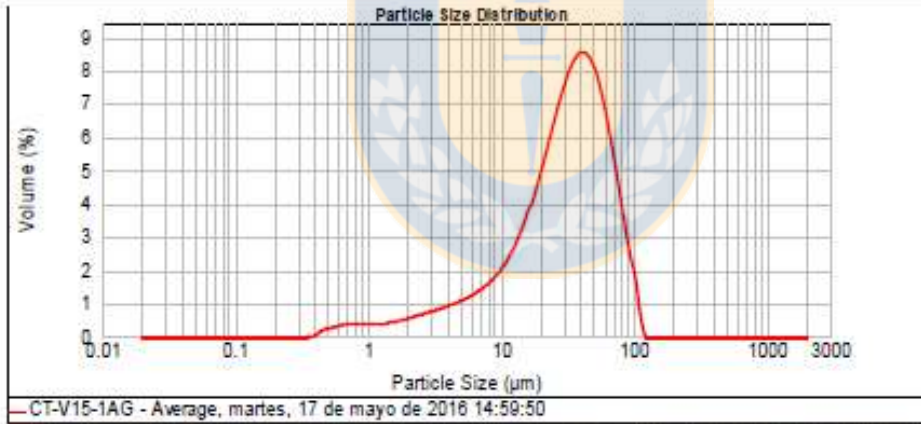
Result Analysis Report

Sample Name: CT-V15-1AG - Average
SOP Name:
Measured: martes, 17 de mayo de 2016 14:59:50
Sample Source & type:
Measured by: Paulina
Analysed: martes, 17 de mayo de 2016 14:59:51
Sample bulk lot ref:
Result Source: Averaged

Particle Name: Default
Accessory Name: Hydro 2000G (A)
Analysis model: General purpose
Sensitivity: Normal
Particle Rf: 1.520
Absorption: 0.1
Size range: 0.020 to 2000.000 μm
Obscuration: 15.57 %
Dispersant Name: Water
Dispersant Rf: 1.330
Weighted Residual: 1.620 %
Result Emulation: Off

Concentration: 0.0268 %Vol
Span : 1.999
Uniformity: 0.604
Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.576 m^2/g
Surface Weighted Mean D[3,2]: 10.419 μm
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 35.344 μm

d(0.1): 5.859 μm **d(0.5):** 31.791 μm **d(0.9):** 69.425 μm

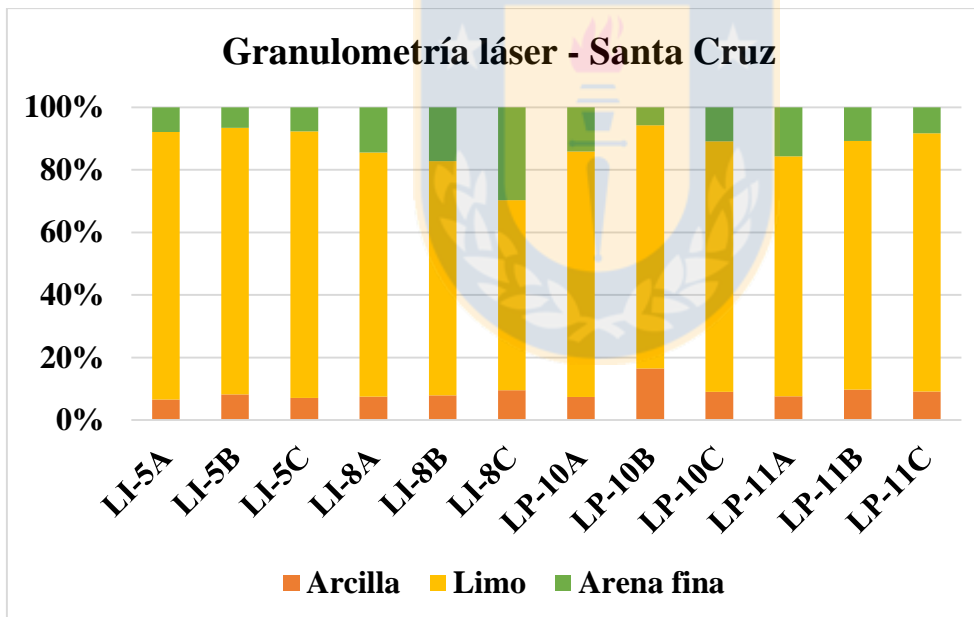


Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.098	0.36	11.482	2.36	120.228	0.00	1259.025	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.31	13.183	2.03	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.27	15.136	1.83	156.469	0.00	1619.567	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.24	17.370	1.62	181.070	0.00	1825.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.21	19.969	1.43	206.930	0.00	2167.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.198	0.19	22.908	1.28	235.903	0.00	2511.898	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.532	0.16	26.303	1.15	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.904	0.14	30.200	1.04	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.315	0.00	3.311	0.12	34.574	0.94	363.078	0.00	3811.854	0.00
0.035	0.00	0.360	0.00	3.822	0.10	39.811	0.85	415.969	0.00	4385.159	0.00
0.040	0.00	0.411	0.00	4.365	0.09	45.739	0.77	475.850	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.470	0.00	5.032	0.08	52.481	0.70	543.541	0.00	5754.309	0.00
0.052	0.00	0.538	0.00	5.754	0.07	60.296	0.64	620.267	0.00	6609.034	0.00
0.060	0.00	0.615	0.00	6.607	0.06	69.433	0.59	706.438	0.00	7582.776	0.00
0.069	0.00	0.704	0.00	7.596	0.05	79.433	0.54	801.794	0.00	8682.859	0.00
0.079	0.00	0.807	0.00	8.710	0.05	90.201	0.50	904.903	0.00	9919.006	0.00
0.091	0.00	0.925	0.00	10.000	0.04	104.713	0.46	1026.478	0.00		
0.105	0.00	1.059	0.00	11.482	0.04	120.228	0.43	1259.025	0.00		

SANTA CRUZ

Resultados: porcentaje en volumen de partículas

Muestra	% Arcilla	% Limo	% Arena
LI-5A	6,62	85,48	7,93
LI-5B	8,23	85,16	6,62
LI-5C	7,14	85,19	7,7
LI-8A	7,48	78,06	14,48
LI-8B	7,89	74,87	17,24
LI-8C	9,51	60,8	29,7
LP-10A	7,41	78,43	14,17
LP-10B	16,48	77,81	5,73
LP-10C	9,07	80,03	10,89
LP-11A	7,63	76,68	15,69
LP-11B	9,78	79,43	10,8
LP-11C	8,65	78,39	7,93



Ejemplo de resultado de análisis de difracción láser para una muestra de esta viña



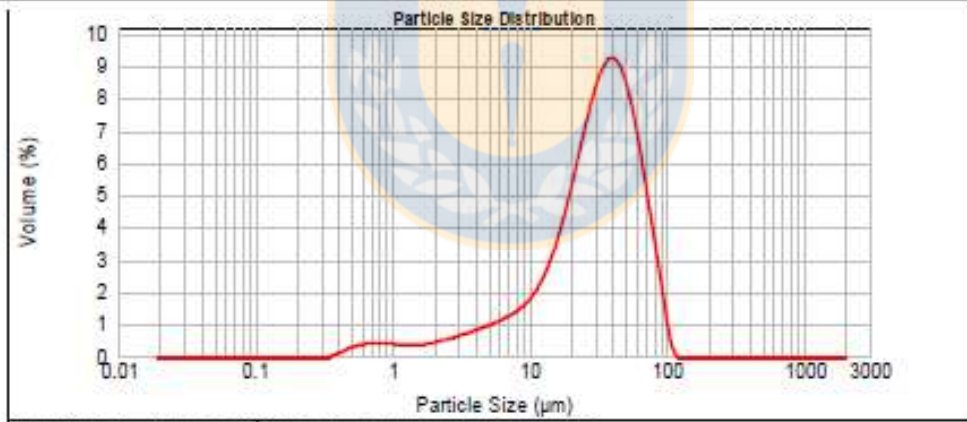
Result Analysis Report

Sample Name: LI-V15-5AG - Average
Sample Source & type:
Sample bulk lot ref:
SOP Name:
Measured by: Paulina
Result Source: Averaged
Measured: miércoles, 11 de mayo de 2016 14:43:05
Analysed: miércoles, 11 de mayo de 2016 14:43:07

Particle Name: Default
Particle Rt: 1.520
Dispersant Name: Water
Accessory Name: Hydro 2000G (A)
Absorption: 0.1
Dispersant Rt: 1.330
Analysis model: General purpose
Size range: 0.020 to 2000.000 um
Weighted Residual: 0.918 %
Sensitivity: Normal
Obscuration: 15.21 %
Result Emulation: Off

Concentration: 0.0267 %Vol
Specific Surface Area: 0.585 m²/g
Span : 1.866
Surface Weighted Mean D[3,2]: 10.262 um
Uniformity: 0.559
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 34.399 um
Result units: Volume

d(0.1): 6.451 um **d(0.5):** 31.602 um **d(0.9):** 65.412 um



LI-V15-5AG - Average, miércoles, 11 de mayo de 2016 14:43:05

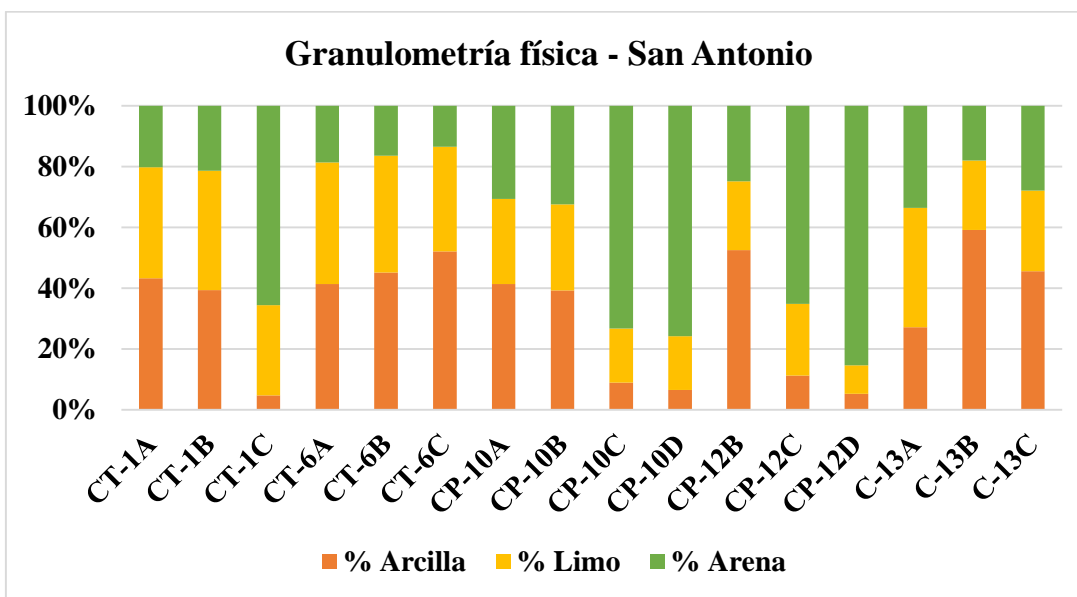
Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %
0.010	0.00	0.126	0.00	1.096	0.35	11.462	2.20	100.026	0.00	1260.025	0.00
0.011	0.00	0.128	0.00	1.269	0.34	13.183	2.75	136.036	0.00	1465.440	0.00
0.013	0.00	0.136	0.00	1.446	0.32	15.136	3.46	156.469	0.00	1593.507	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.30	17.378	4.31	181.970	0.00	1806.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.40	19.953	5.29	208.000	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.199	0.40	22.900	5.29	236.803	0.00	2511.896	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.46	26.303	5.29	275.423	0.00	2864.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.864	0.61	30.200	7.21	316.226	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.318	0.00	3.311	0.61	34.674	7.94	360.078	0.00	3805.894	0.00
0.036	0.00	0.360	0.01	3.802	0.69	39.811	8.32	416.869	0.00	4385.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.08	4.388	0.77	45.709	8.29	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.20	5.012	0.94	52.481	8.30	546.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.35	5.754	0.94	60.298	8.30	620.627	0.00	6606.234	0.00
0.060	0.00	0.631	0.35	6.627	1.04	69.183	8.30	704.436	0.00	7565.778	0.00
0.069	0.00	0.724	0.39	7.598	1.16	79.433	4.90	801.764	0.00	8750.626	0.00
0.079	0.00	0.832	0.39	8.710	1.31	91.291	2.84	914.803	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.956	0.37	10.000	1.80	104.713	0.10	1064.478	0.00		
0.106	0.00	1.096	0.37	11.462	1.80	120.226					

Granulometría física

SAN ANTONIO

Análisis físico

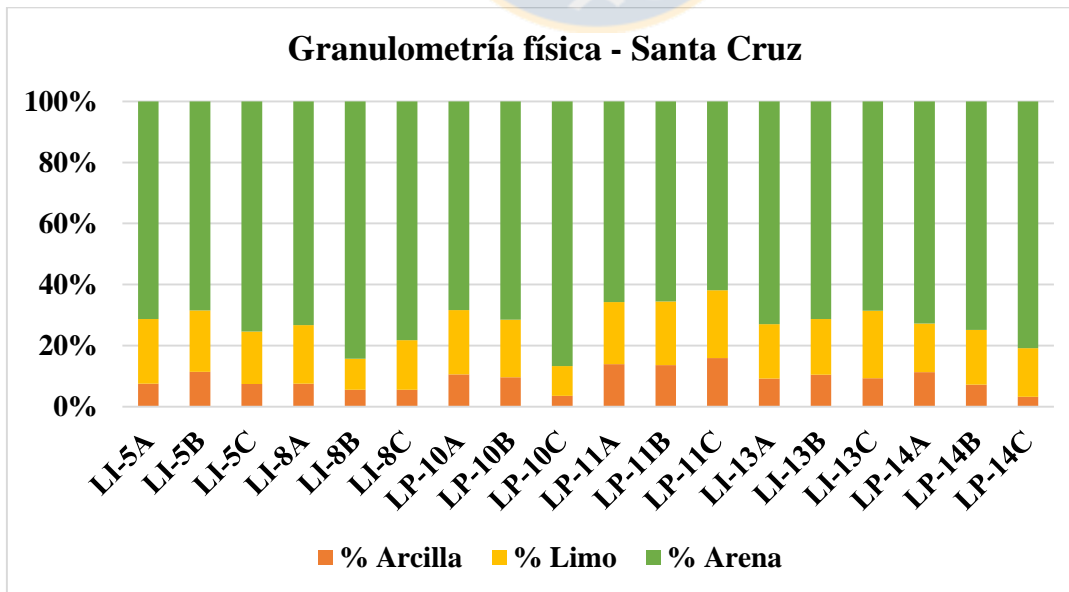
Calicata	Horizonte	Análisis granulométrico físico			Textura	D.a. (g/cc)
		%Arena	%Limo	%Arcilla		
CT-1	A	20,2	36,6	43,2	Arcilloso	1,8
	B	21,3	39,3	39,3	Franco Arcilloso	1,8
	C	65,6	29,7	4,8	Franco Arenoso	1,7
CT-6	A	18,6	40,0	41,4	Arcilloso a Arcillo Limoso	1,8
	B	16,4	38,4	45,1	Arcilloso	1,8
	C	13,5	34,4	52,1	Arcilloso	1,8
CP-10	A	30,6	28,0	41,4	Arcilloso	1,6
	B	32,4	28,4	39,2	Franco Arcilloso	1,6
	C	73,2	17,8	8,9	Franco Arenoso	1,7
	D	75,8	17,6	6,5	Franco Arenoso	1,7
CP-12	B	24,8	22,6	52,5	Arcilloso	1,8
	C	65,2	23,6	11,2	Franco Arenoso	1,8
	D	85,3	9,4	5,3	Areno Francoso	1,6
C-13	A	33,6	39,2	27,2	Franco Arcilloso	1,5
	B	18,0	22,9	59,1	Arcilloso	1,8
	C	27,9	26,5	45,6	Arcilloso	1,8



SANTA CRUZ

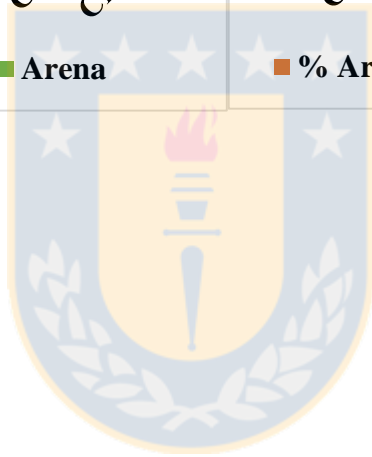
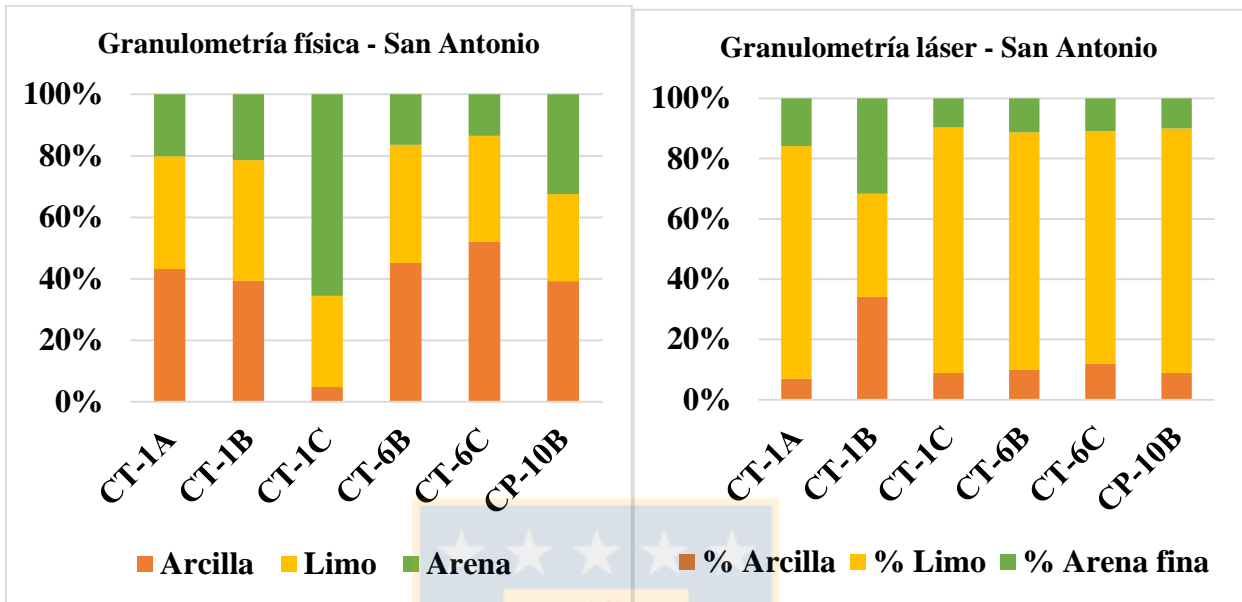
Análisis físico

Calicata	Horizonte	Análisis físico granulométrico			Textura	D.a. (g/cc)
		%Arena	%Limo	%Arcilla		
LI-5	A	71,3	21,2	7,5	Franco Arenoso	1,5
	B	68,5	20	11,4	Franco Arenoso	1,7
	C	75,5	17,1	7,4	Franco Arenoso	1,7
LI-8	A	73,3	19,2	7,5	Franco Arenoso	1,7
	B	84,3	10,2	5,5	Areno Francoso	1,7
	C	78,2	16,3	5,5	Areno Francoso	1,8
LP-10	A	68,4	21	10,6	Franco Arenoso	1,7
	B	71,5	18,9	9,6	Franco Arenoso	1,7
	C	86,7	9,8	3,5	Arenoso a Arenoso Francoso	1,8
LP-11	A	65,8	20,3	13,9	Franco Arenoso	1,4
	B	65,6	20,9	13,6	Franco Arenoso	1,6
	C	61,9	22,2	15,8	Franco Arenoso	1,6
LI-13	A	73	17,8	9,2	Franco Arenoso	1,7
	B	71,3	18,2	10,5	Franco Arenoso	1,6
	C	68,6	22,1	9,3	Franco Arenoso	1,7
LP-14	A	72,8	15,9	11,3	Franco Arenoso	1,6
	B	74,9	17,9	7,2	Franco Arenoso	1,9
	C	80,8	15,9	3,2	Areno Francoso	1,9

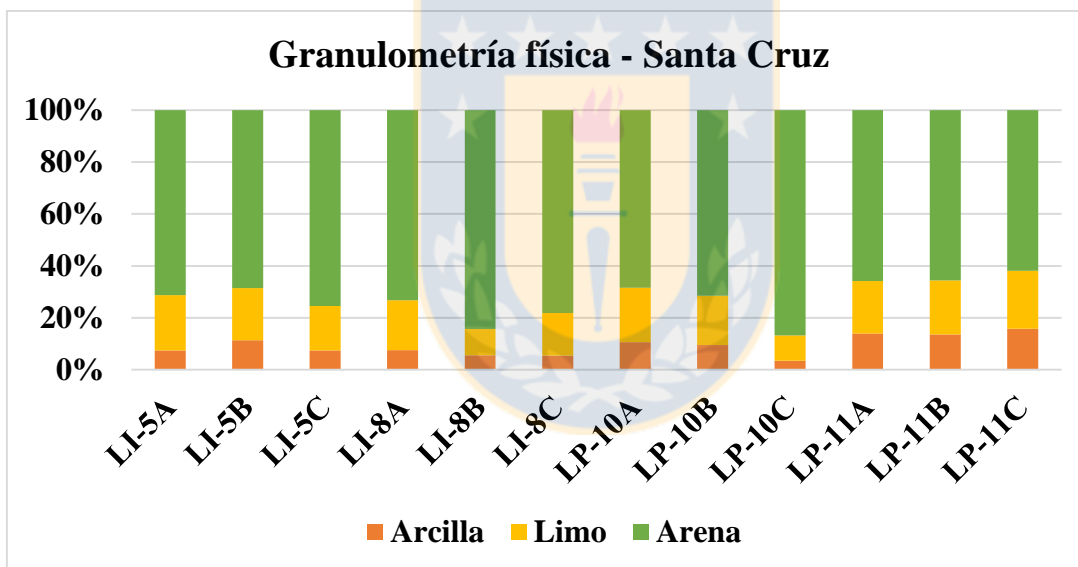
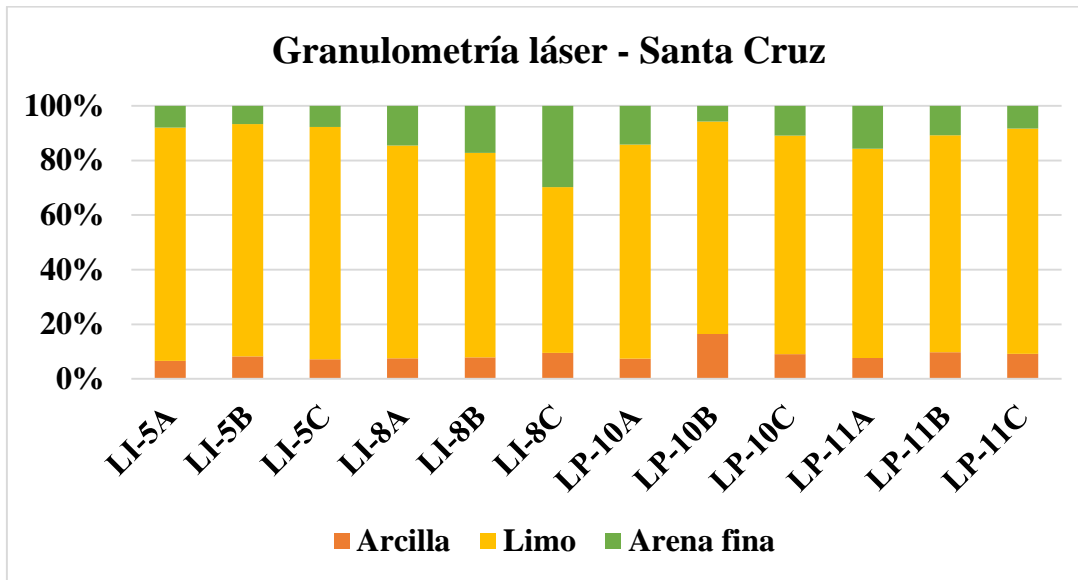


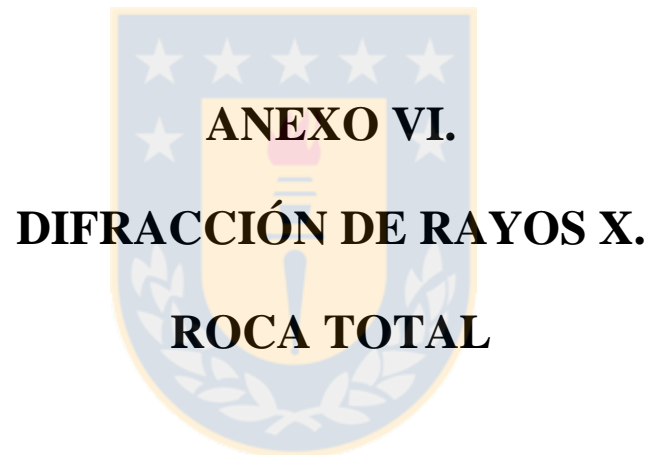
Comparación entre análisis granulométricos

SAN ANTONIO



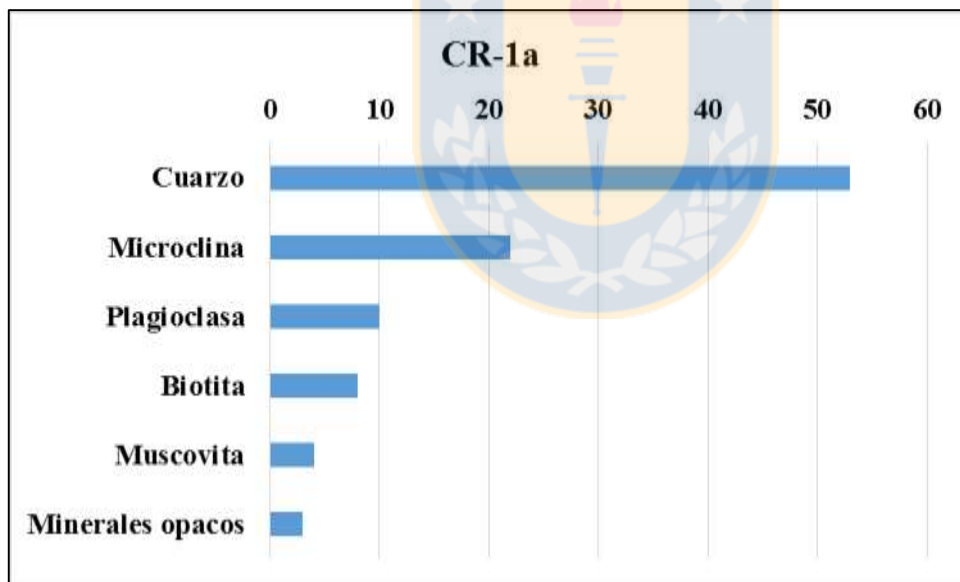
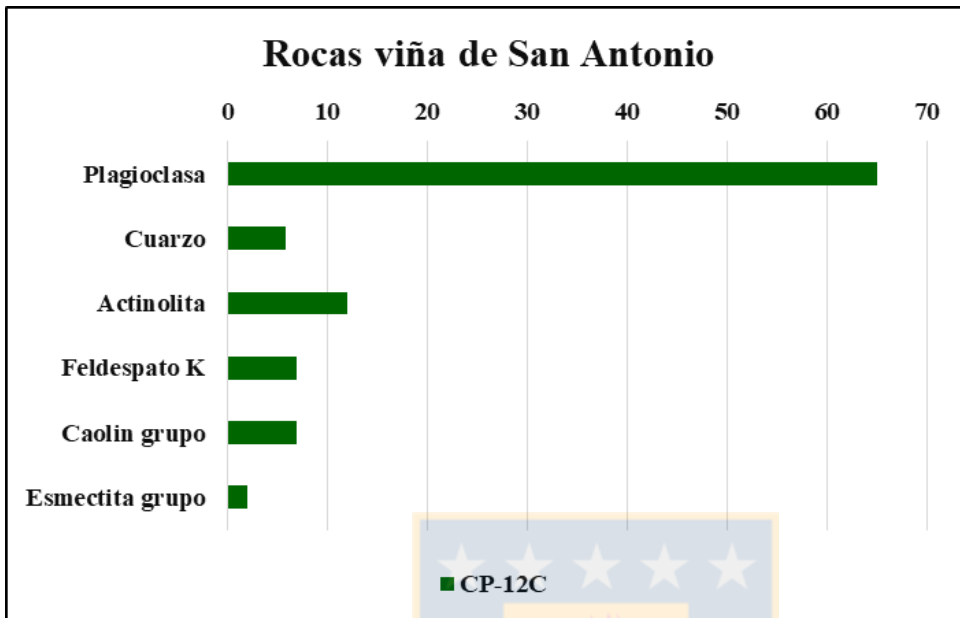
SANTA CRUZ





SAN ANTONIO

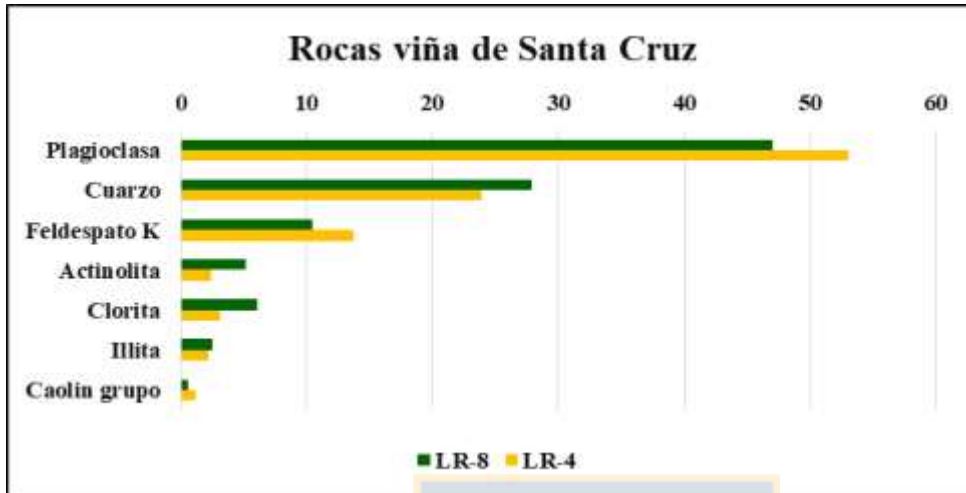
DRX roca total para rocas parentales



DRX roca total para calicatas y respectivos horizontes

Fase Mineral	CT-1			CT-6			CP-10				CP-12			C-13		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C
Cuarzo	39	30	10	32	34	28	35	18	7	11	34	8	6	32	24	14
Plagioclasas	43	53	63	48	42	46	52	44	59	59	49	59	65	39	65	65
Illita	10	8	10	12	16	10								9		
Feldespato K	3	5					4	6	7	6	10	10	7	10		
Caolin grupo								20		4		9	7		10	15
Esmeclita grupo			1		1			4	1	3		5	2			1
Clorita			4			1			15	9				3		
Magnetita							3	2								
Hematita														4		
Actinolita	5	4	1	5	4	3	6	6	10	8	6	9	12	3	2	4
Calcita			11	3	4	12										



SANTA CRUZ*DRX roca total para rocas parentales*

DRX roca total para calicatas y respectivos horizontes

Fase Mineral	LI-5			LI-8			LI-13			LP-10			LP-11				LP-14		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C
Cuarzo	17	14	18	18	17	23	25	22	20	7	10	10	20	18	20	20	15	10	5
Plagioclasa	43	49	46	46	46	52	47	46	50	32	41	43	42	43	46	47	44	42	44
Illita	7	10	10	11	10	9	12	15	14	21	12	14	14	14	11	11	15	13	16
Feldespato K	9	12	11	11	14	9	7	7	6	2	11	11	14	11	12	10	9	10	11
Caolín grupo	7	9	8	9	9	6	7	8	7	20	23	18	9	13	10	11	13	19	20
Esmeclita grupo		0	1	1	1	1	0	1	2		2	4	0	0	0		2	4	1
Turmalina	2				2	1													
Magnetita																			2
Hematita	1	0	0	0	0														
Epidota	6	2	3	1															
Actinolita	4	2	3	1	0	0	1	1	0	18	0	0	1	2	1	0	2	0	
Cumingtonita	4																		



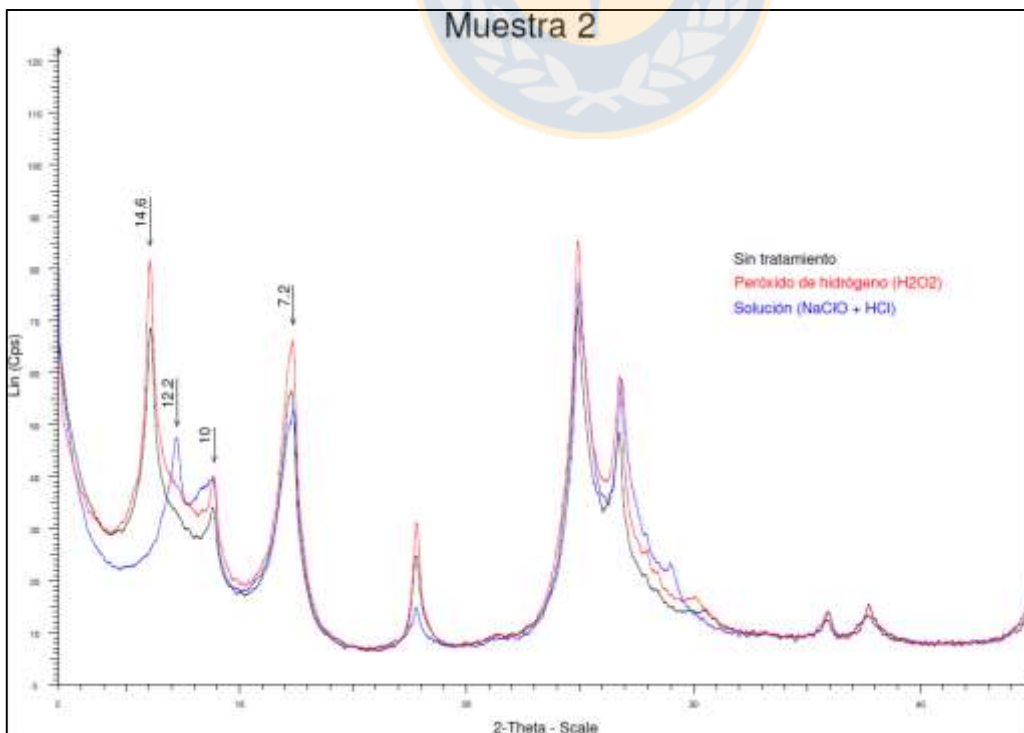
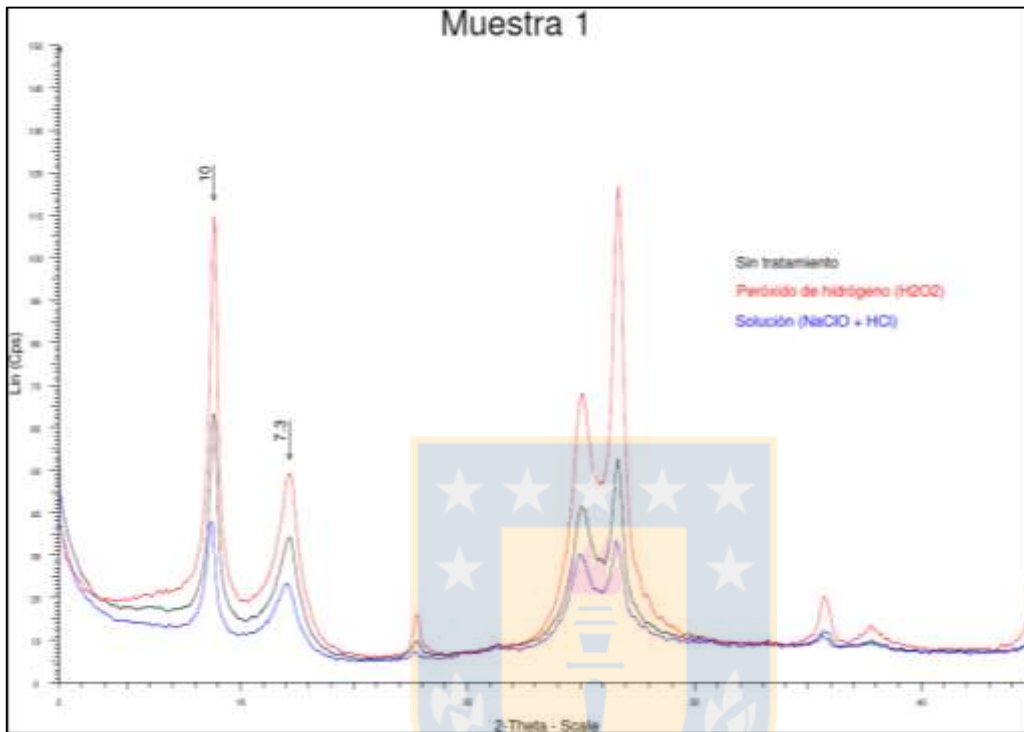
ANEXO VII.
DIFRACCIÓN DE RAYOS X.
AGREGADOS ORIENTADOS

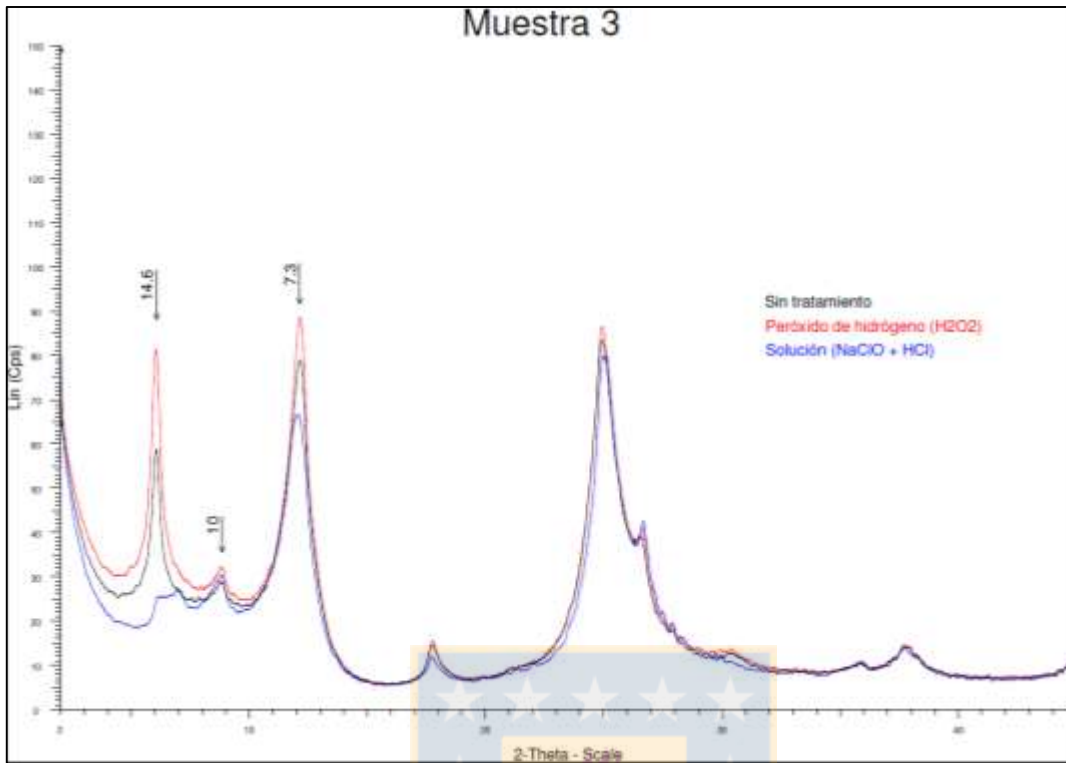


Análisis pre-laboratorio

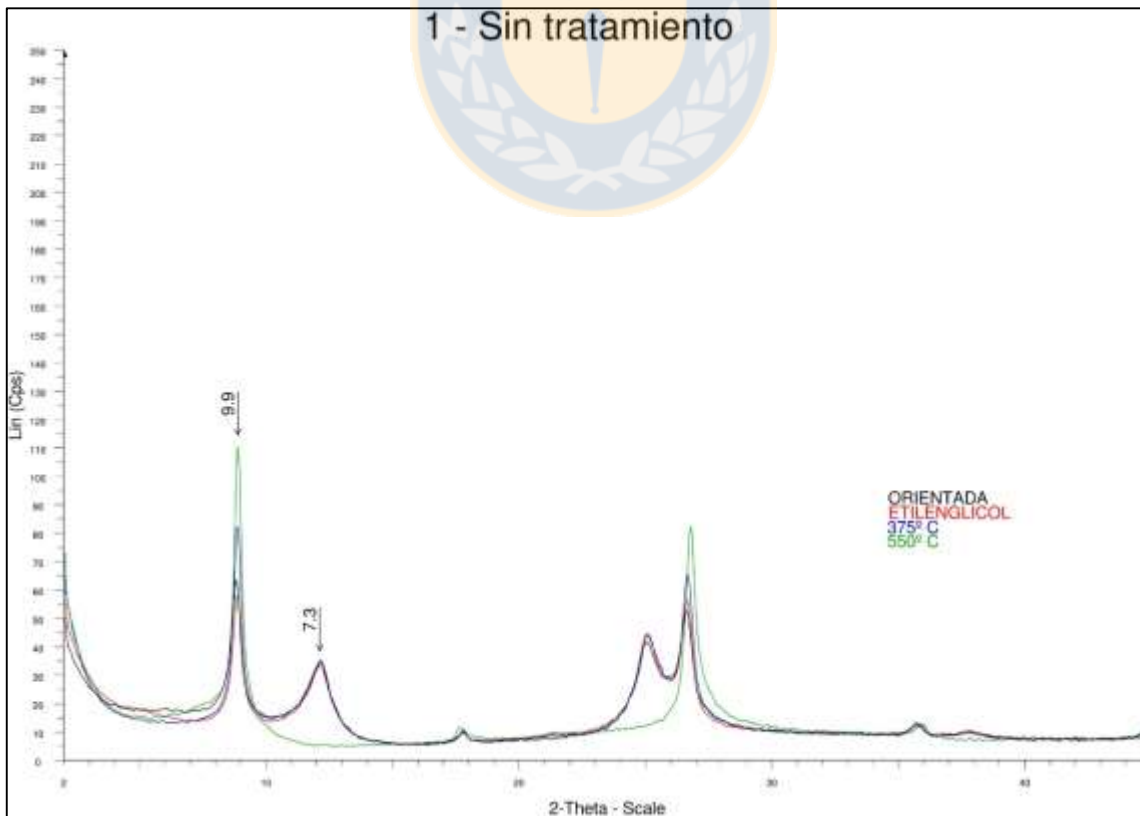
Extracción materia orgánica

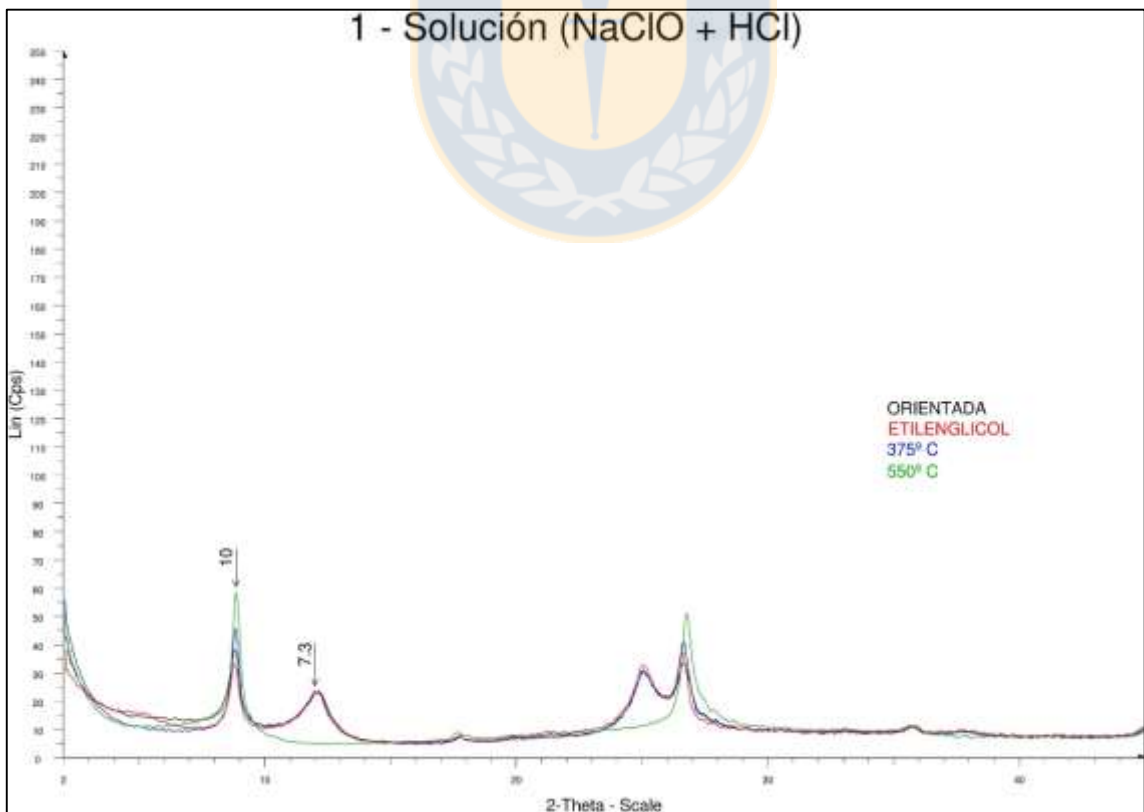
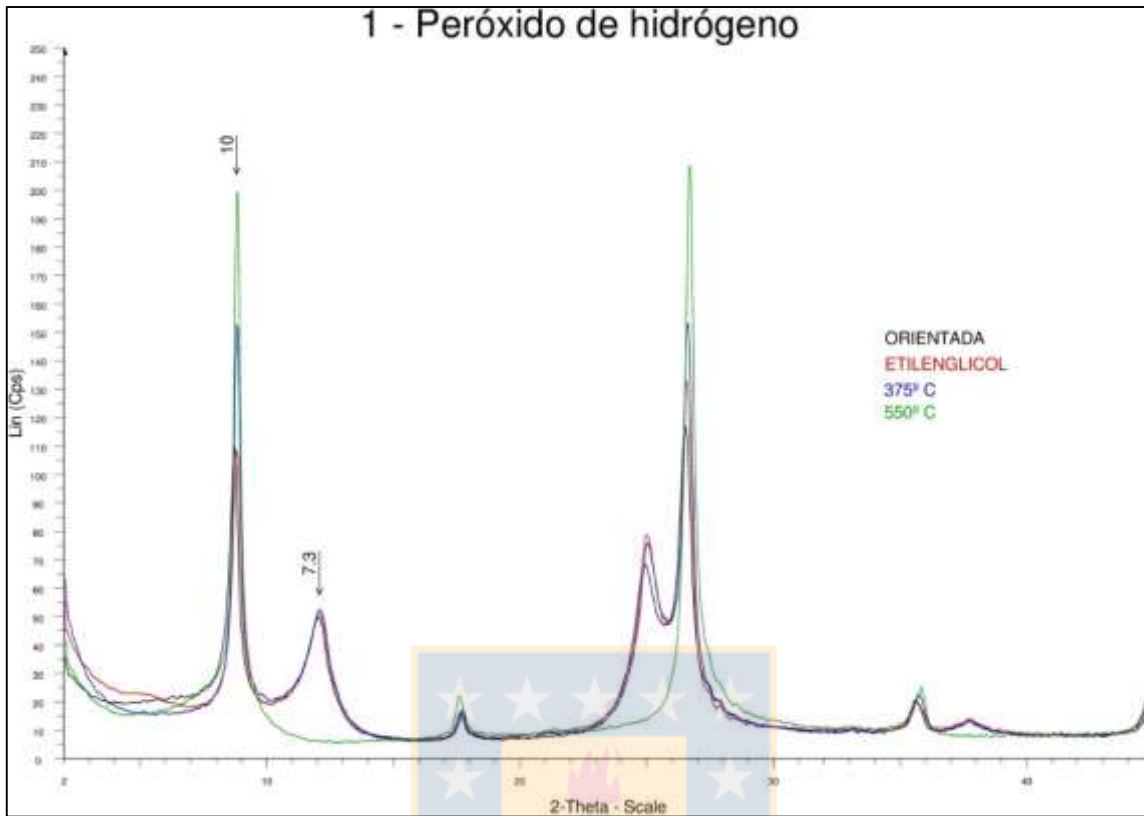
MUESTRA ORIENTADA – TRES TRATAMIENTOS



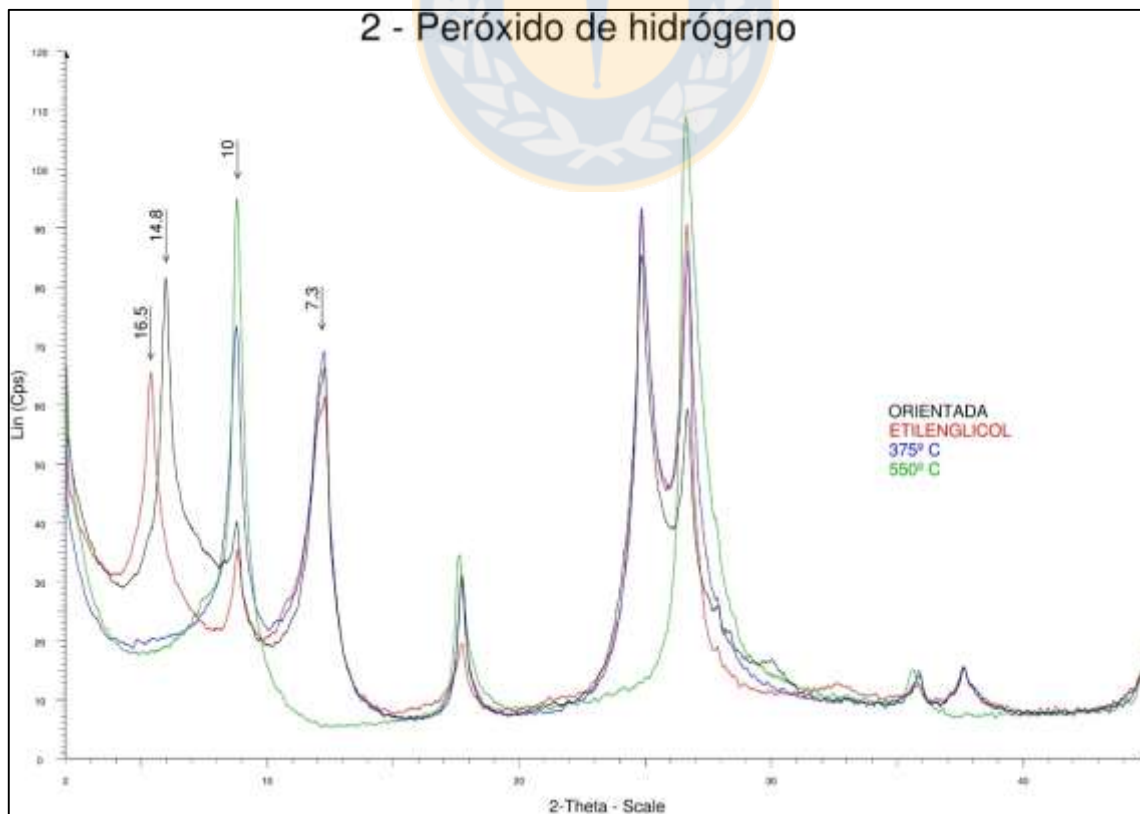
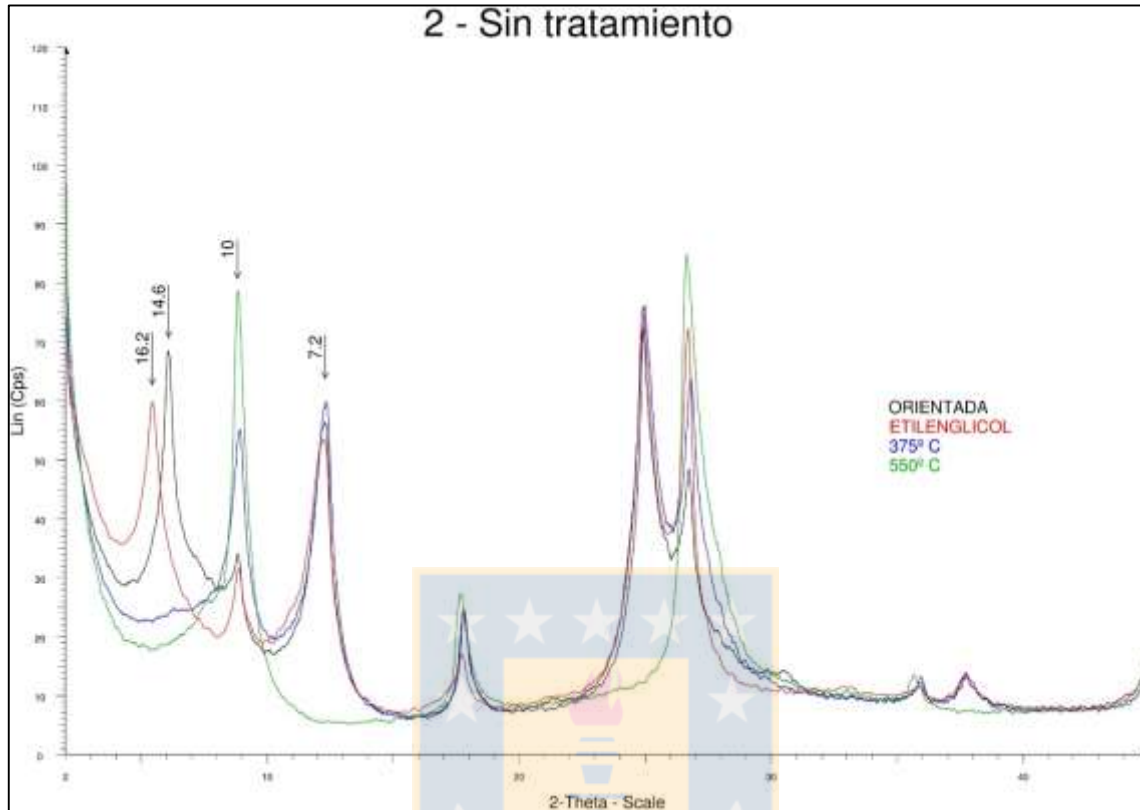


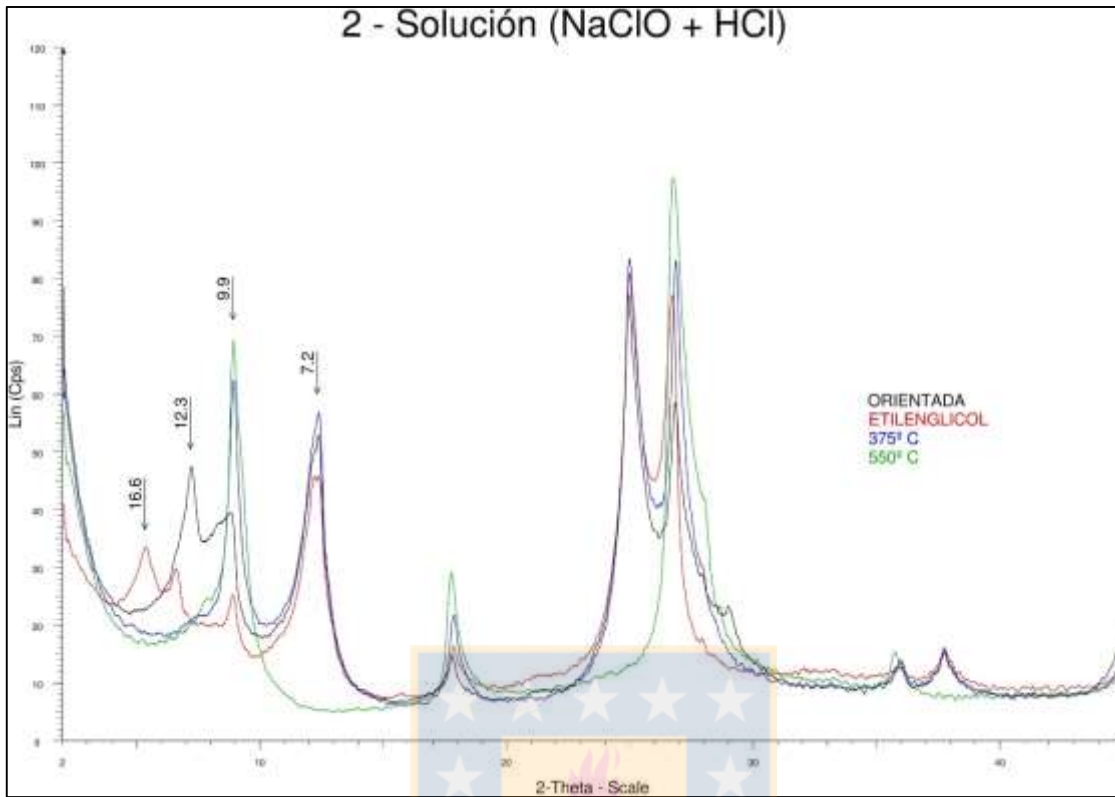
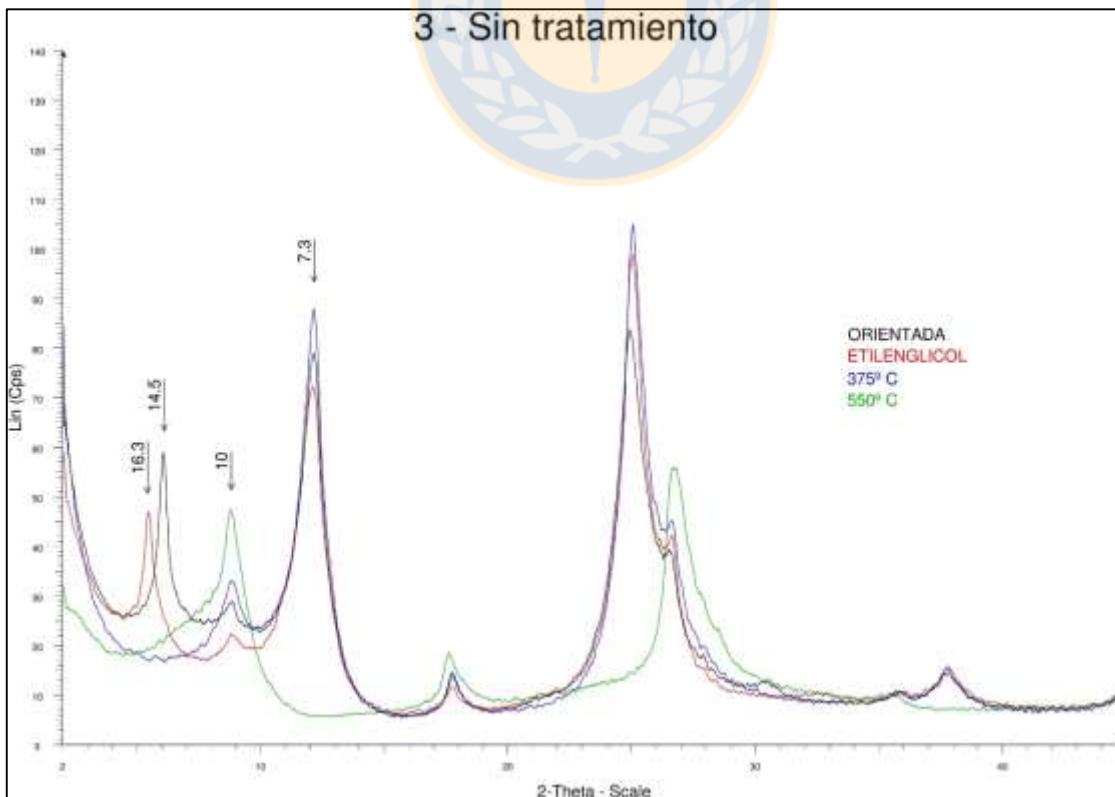
MUESTRA 1

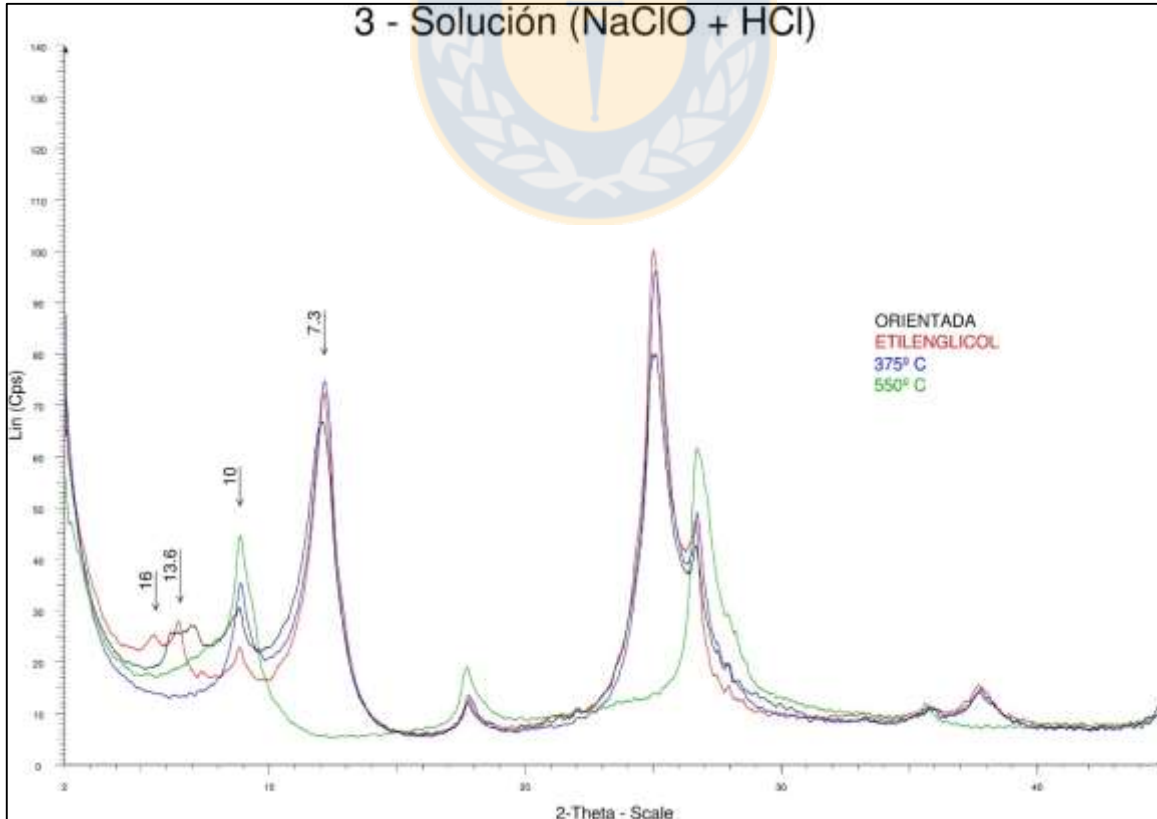
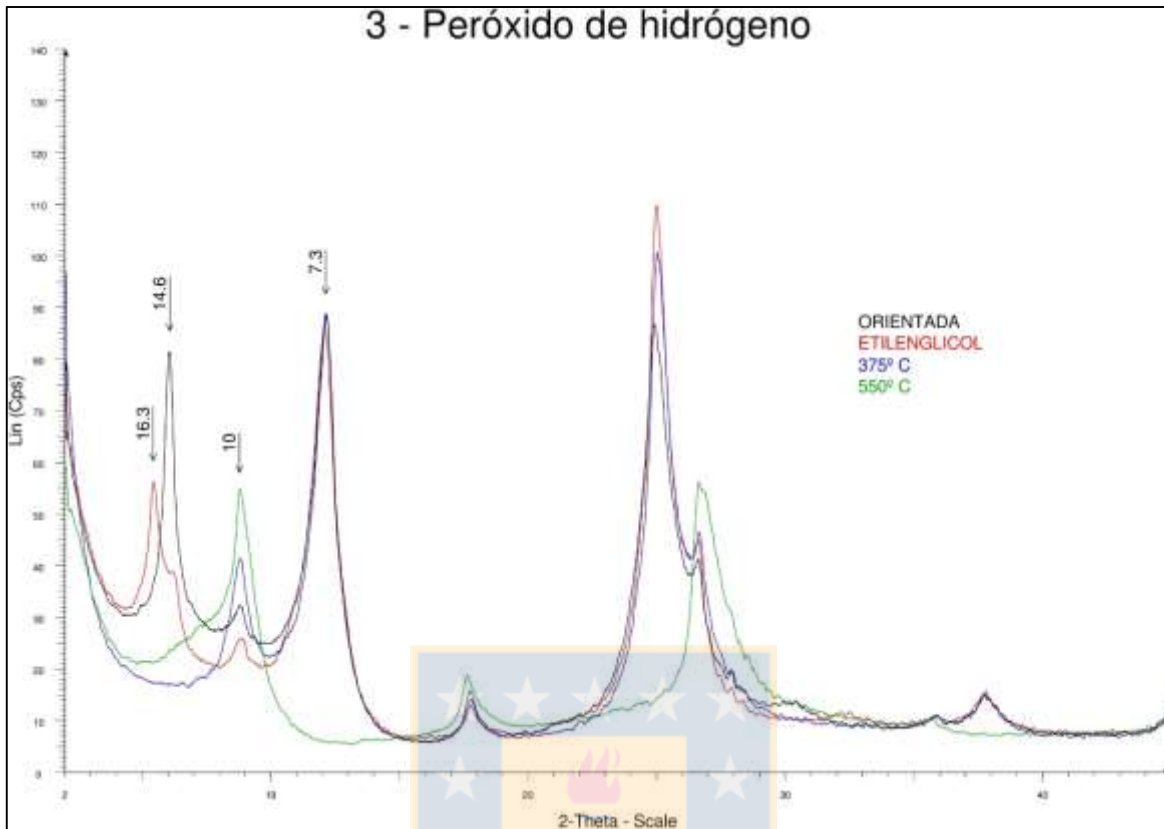




MUESTRA 2



**MUESTRA 3**

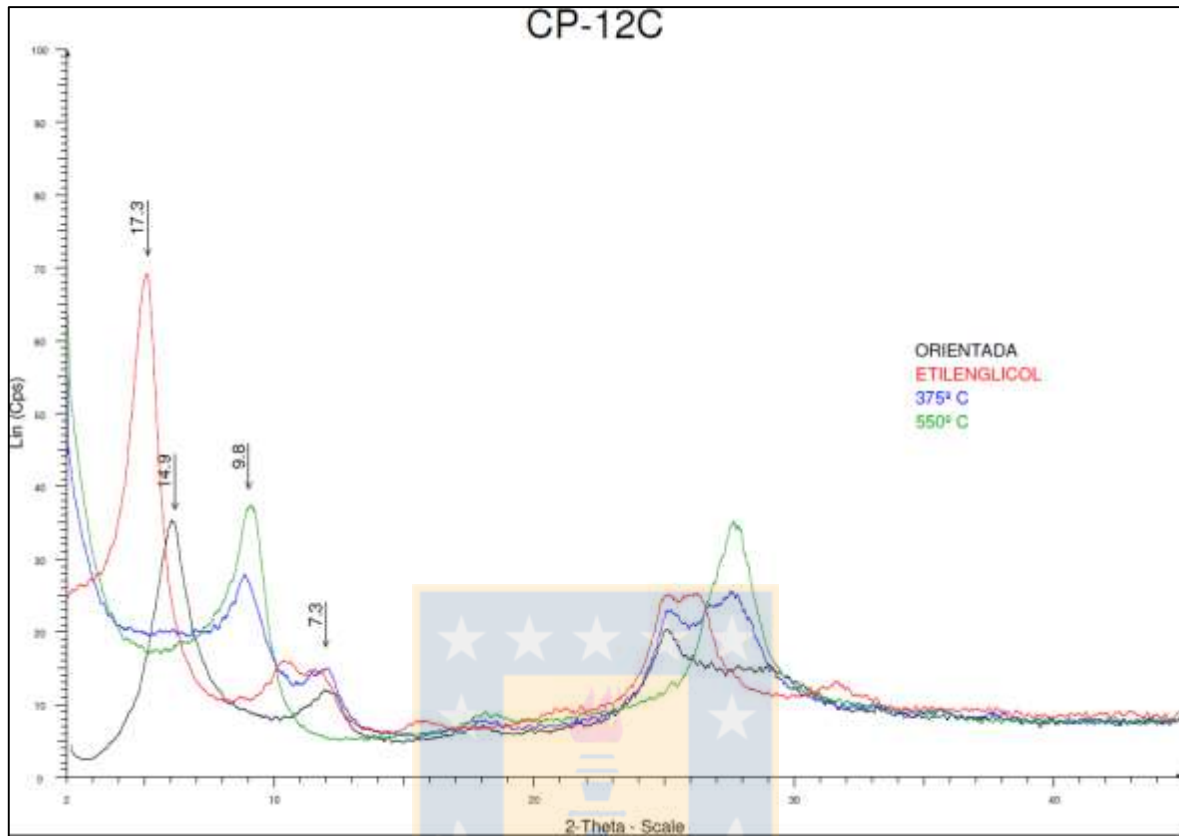


Resultados DRX filosilicatos

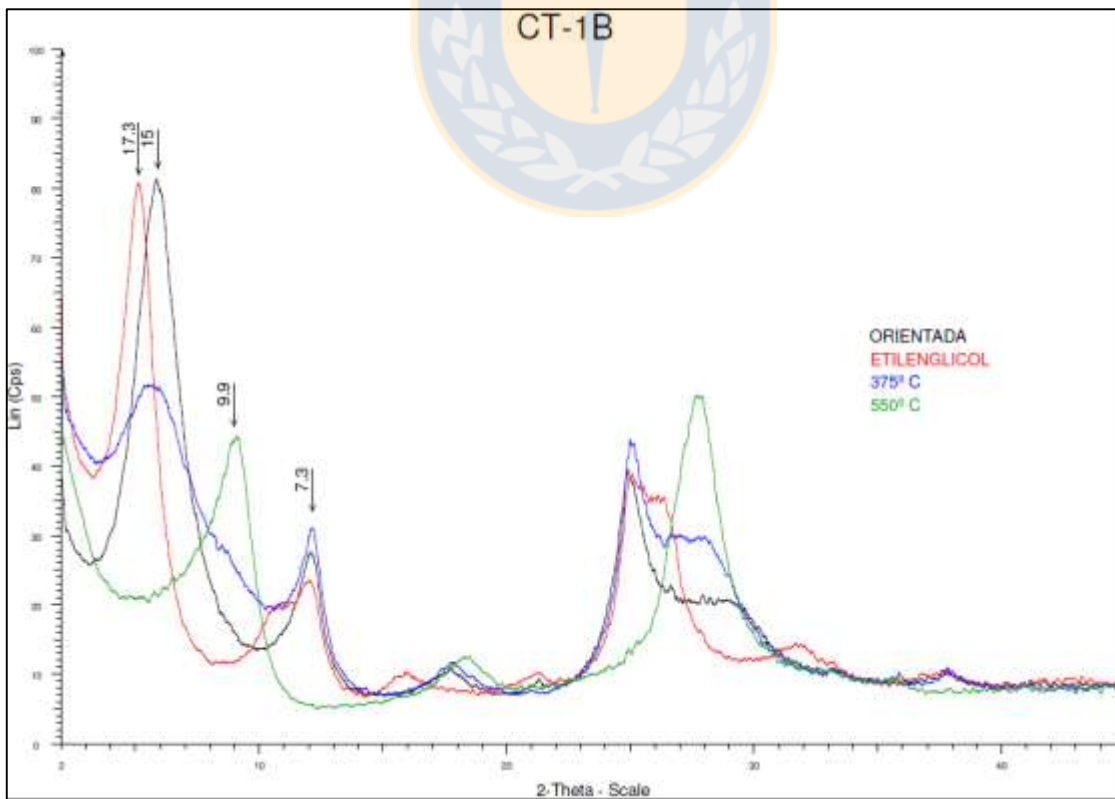
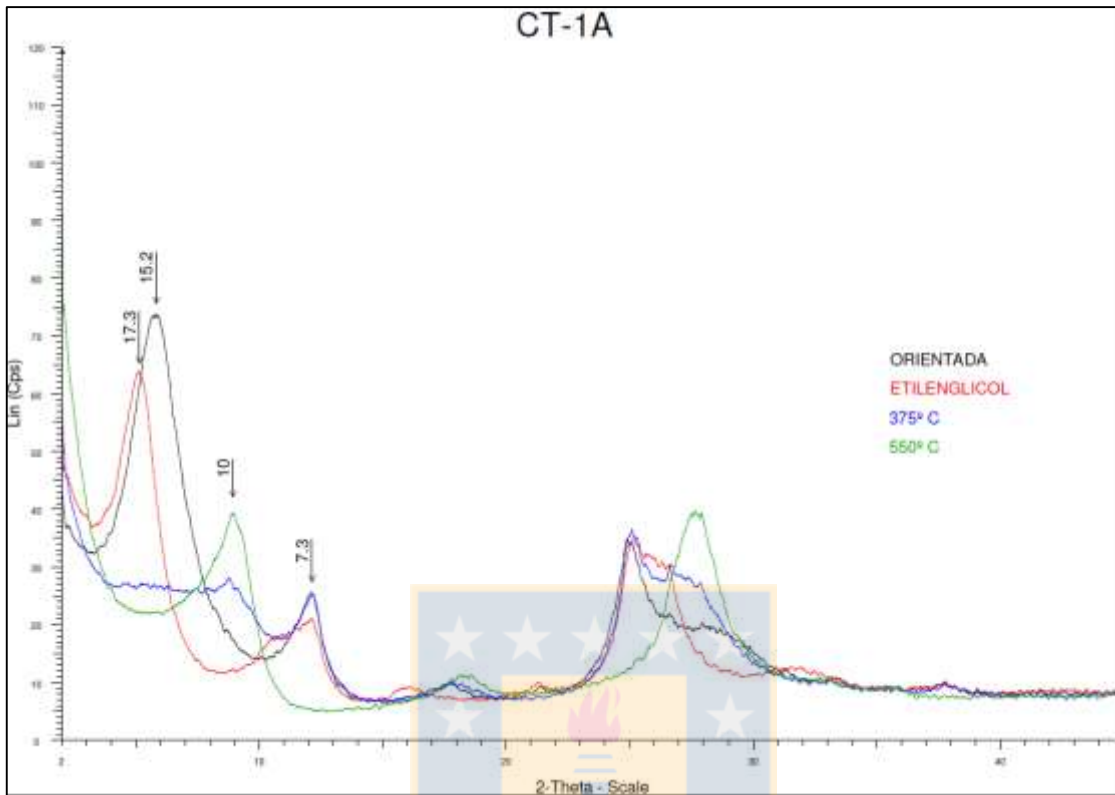
SAN ANTONIO

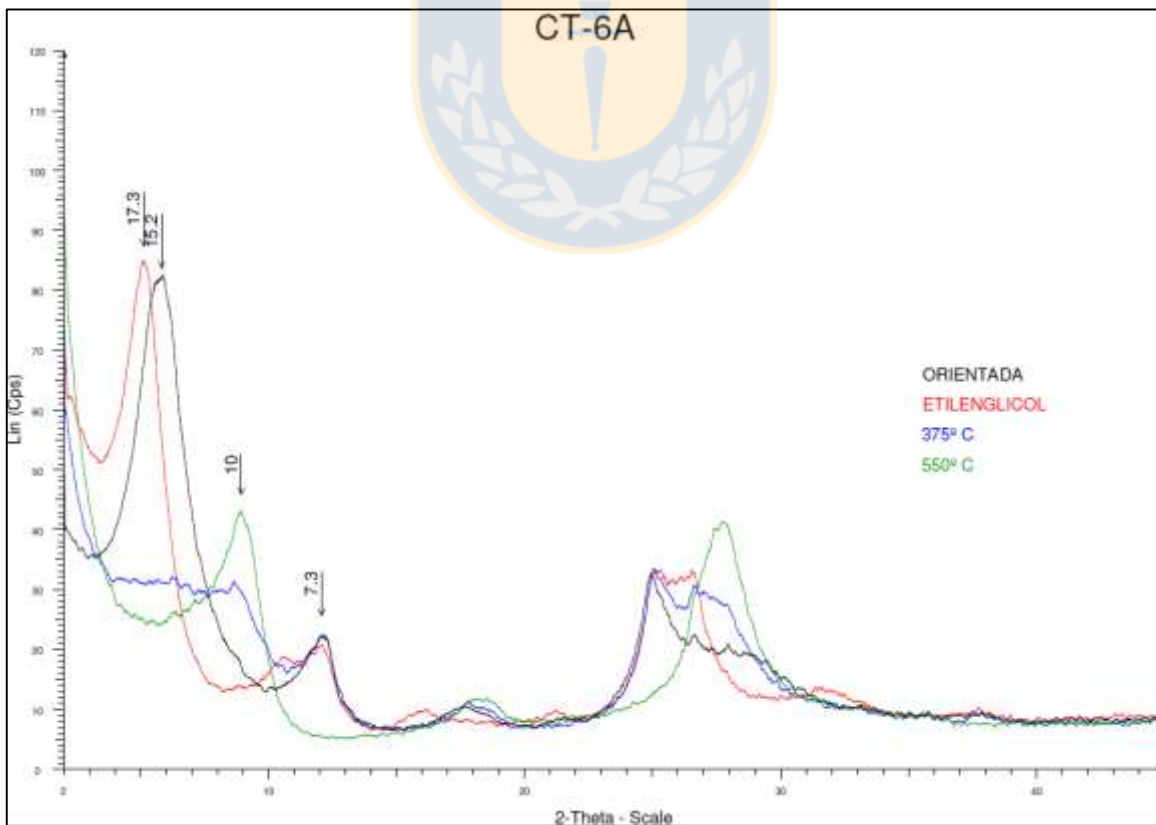
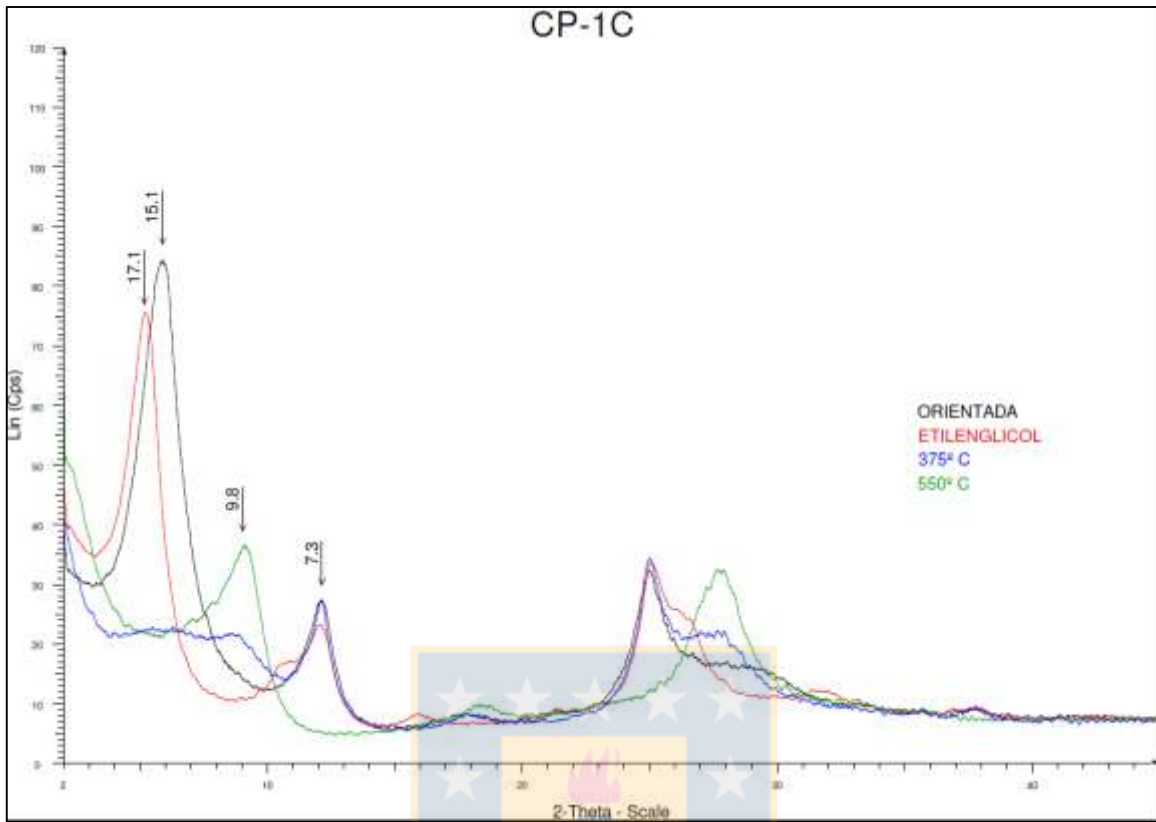
Muestra	Filosilicatos
CP-12C (P)	Esmectita – Caolinita
CT-1A	Esmectita – Caolinita
CT-1B	Esmectita – Caolinita
CT-1C	Esmectita – Caolinita
CT-6A	Esmectita – Caolinita
CT-6B	Esmectita – Caolinita
CT-6C	Esmectita – Caolinita
CP-10A	Esmectita – Caolinita
CP-10B	Esmectita – Caolinita
CP-10C	Esmectita – Caolinita
CP-10D	Esmectita – Caolinita
CP-12B	Esmectita – Caolinita
CP-12C	Esmectita – Caolinita
CP-12D	Esmectita – Caolinita
C-13A	Illita – Caolinita – Esmectita (Traza)
C-13B	Esmectita – Caolinita
C-13C	Esmectita – Caolinita

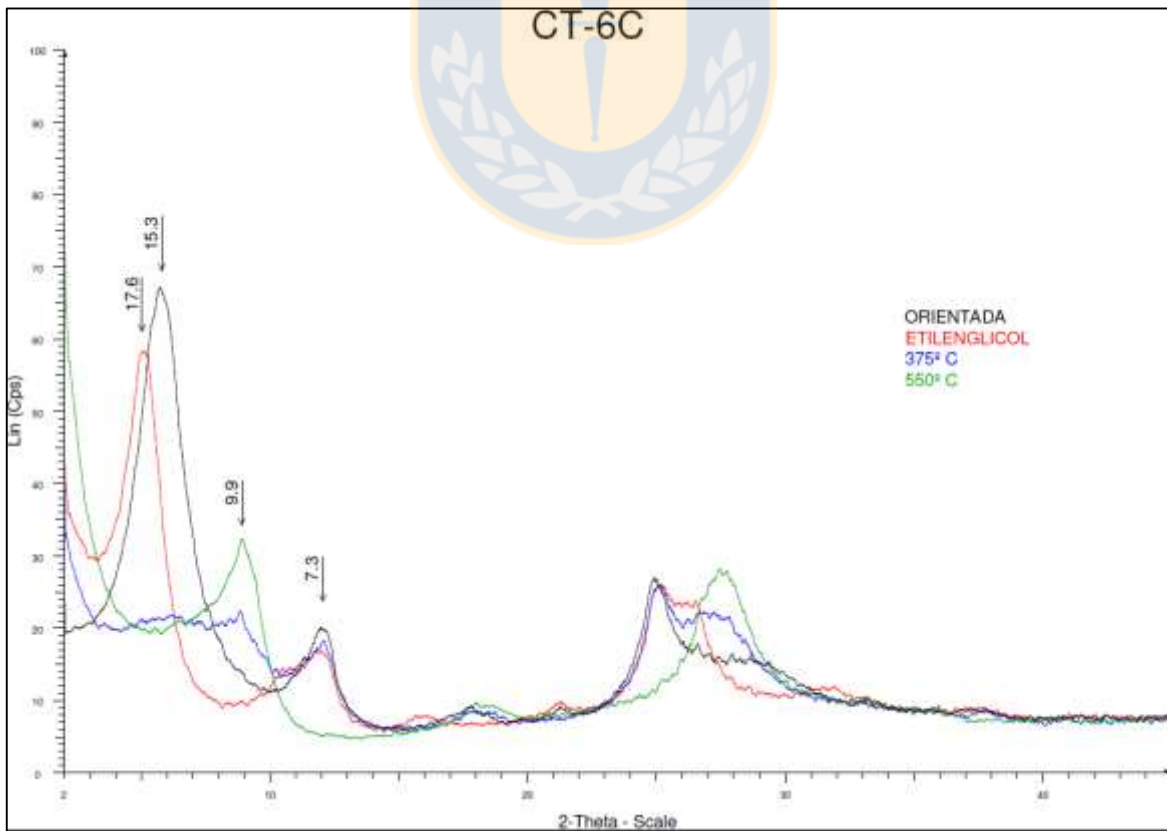
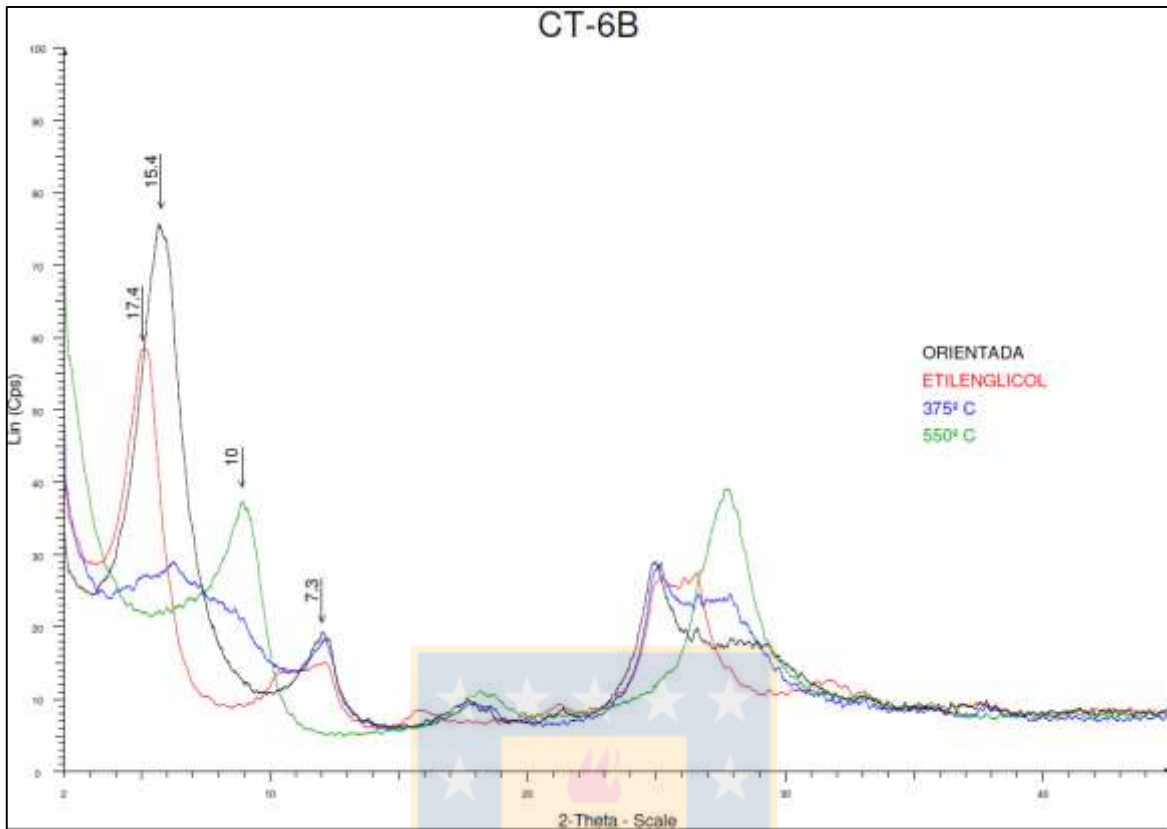
***P: litología parental**

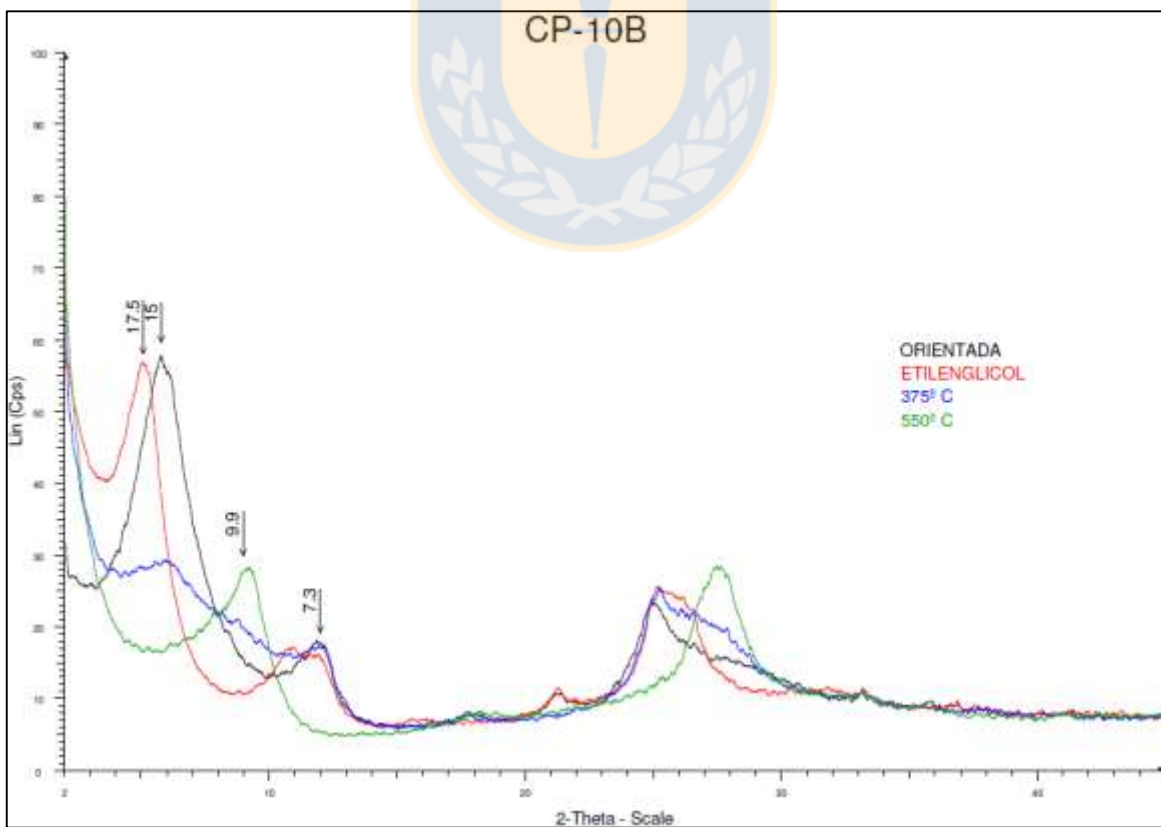
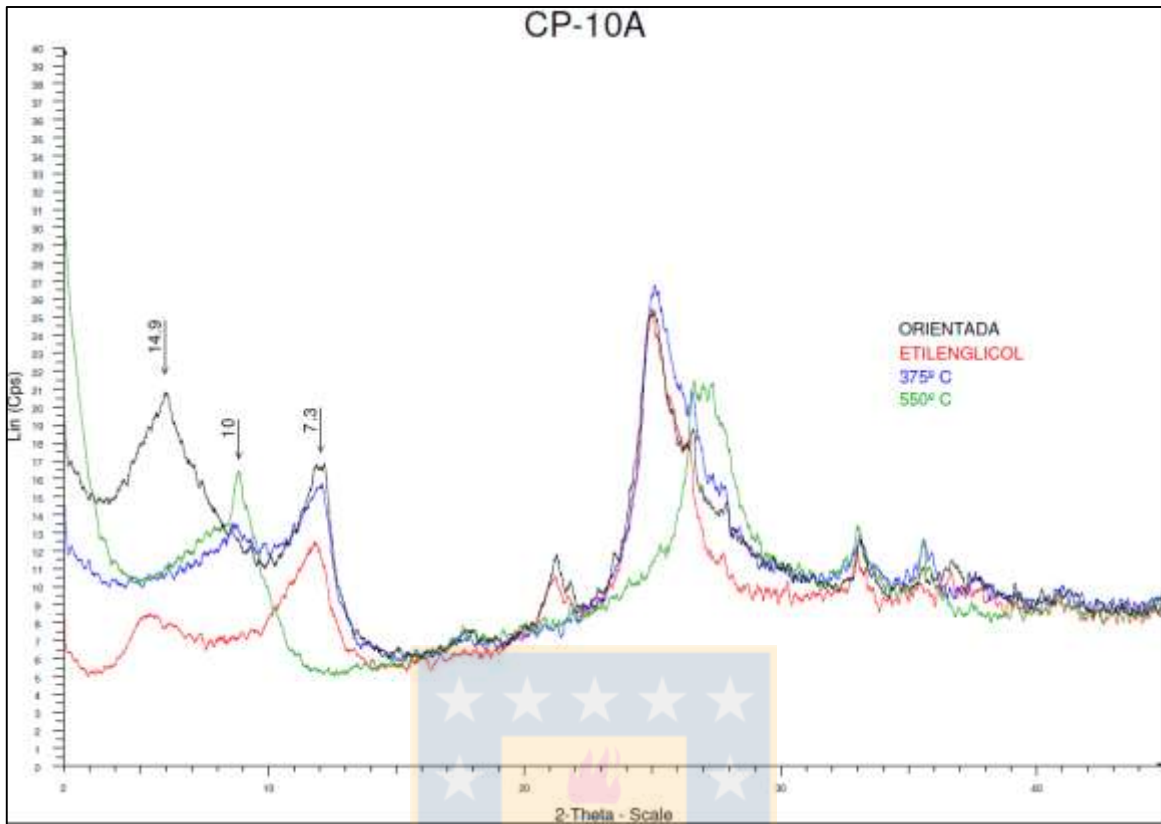
Litología parental

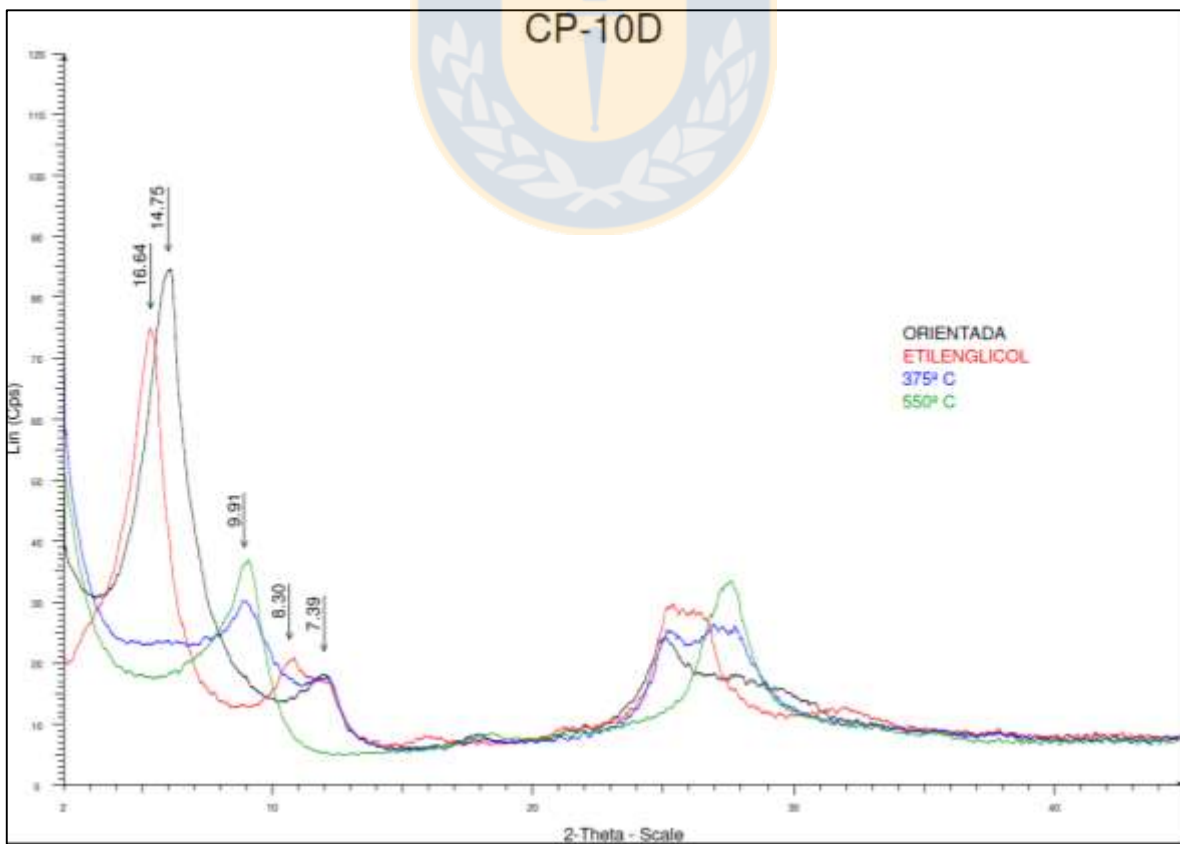
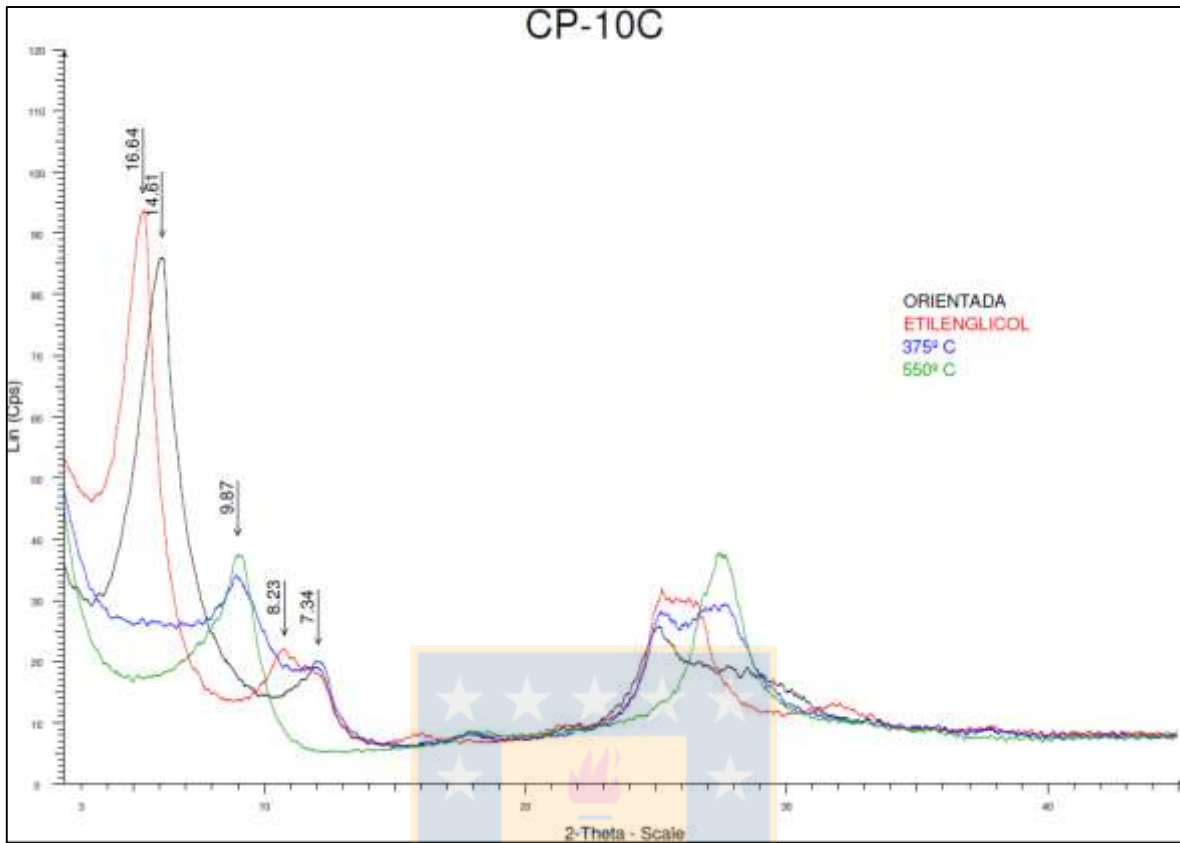
Suelos

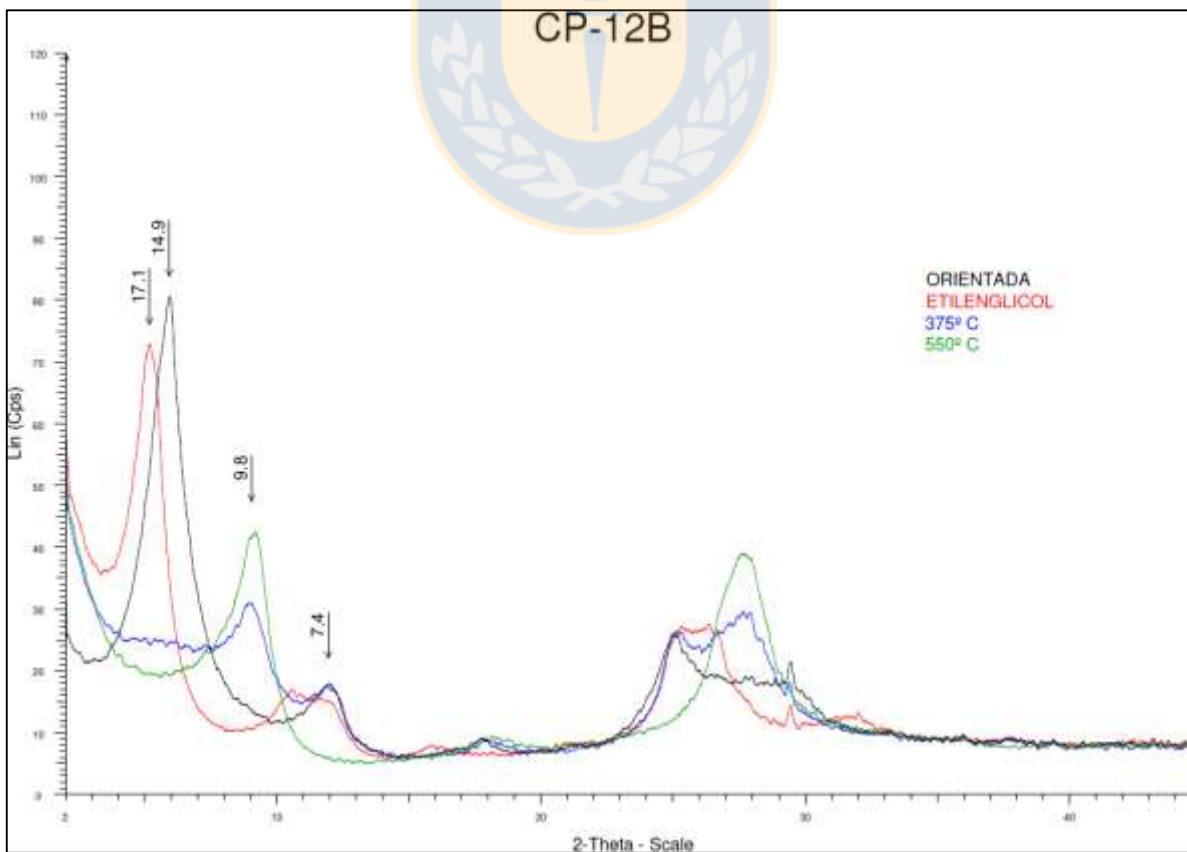
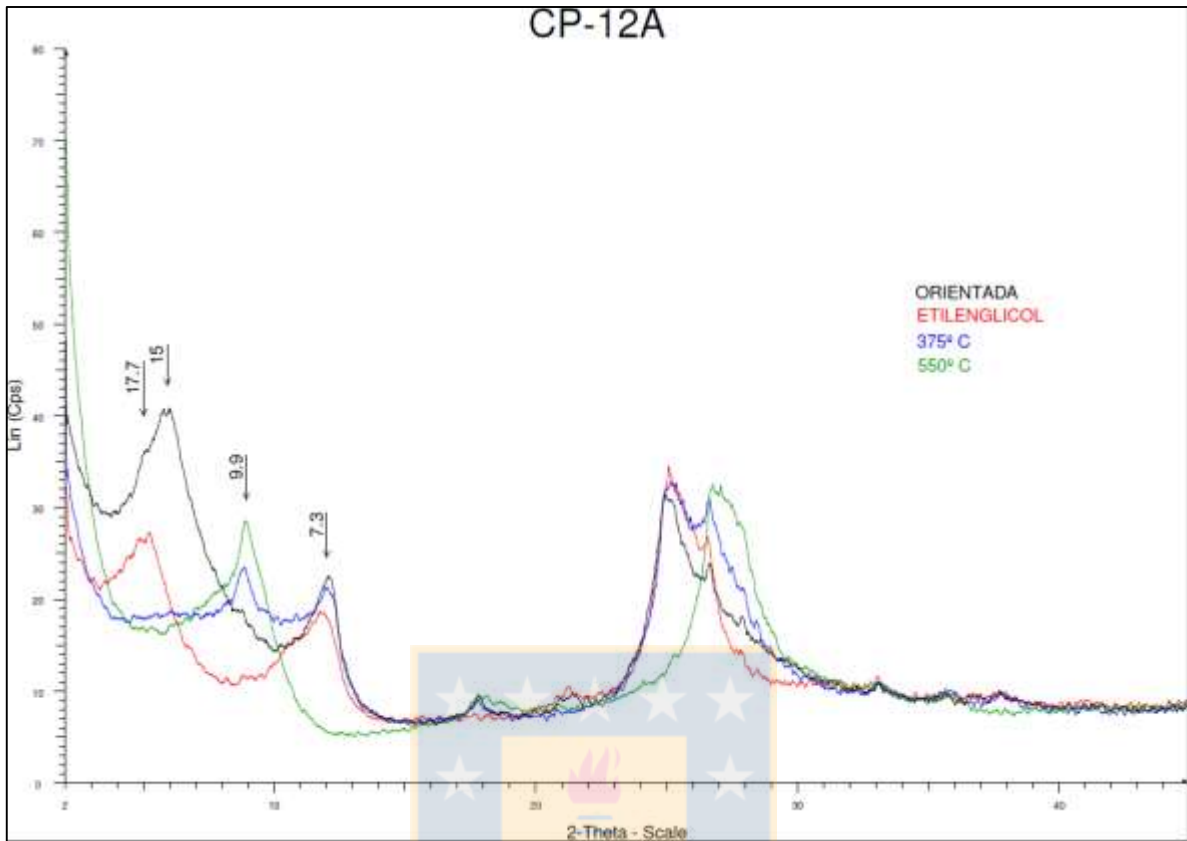


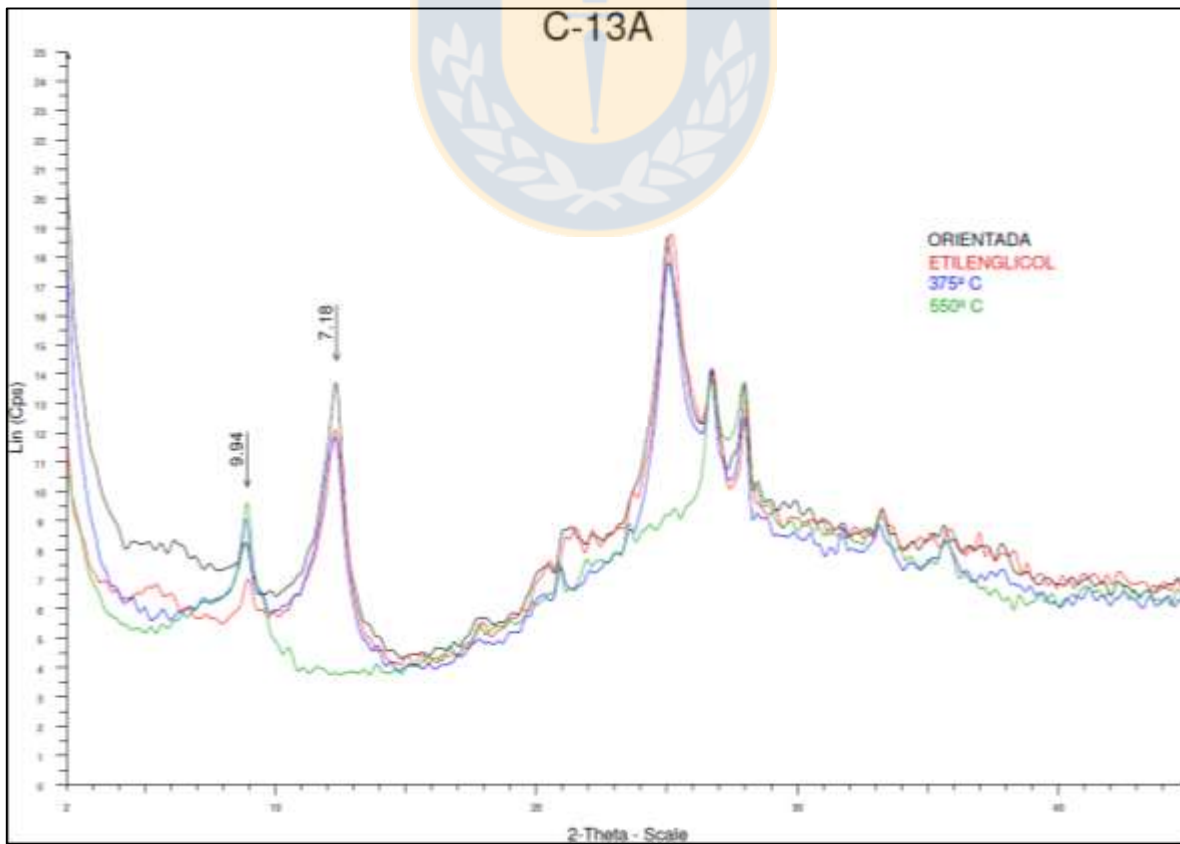
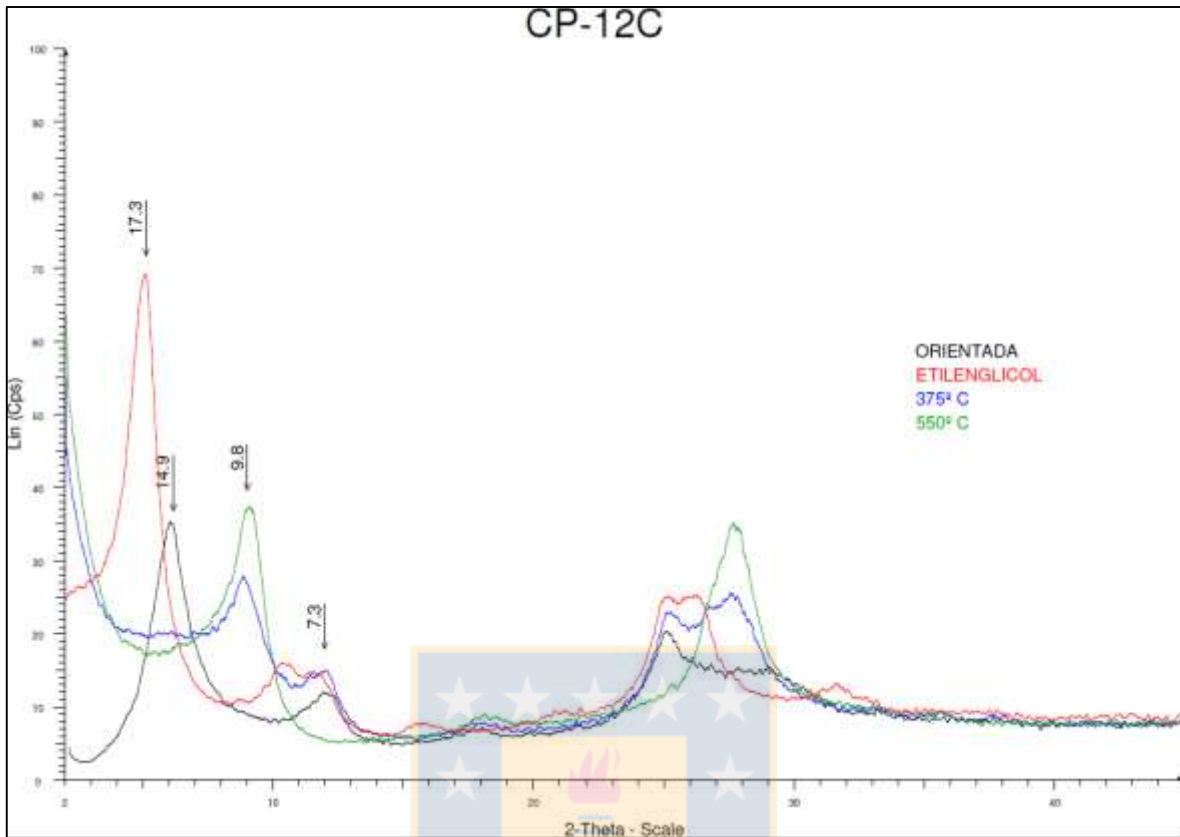


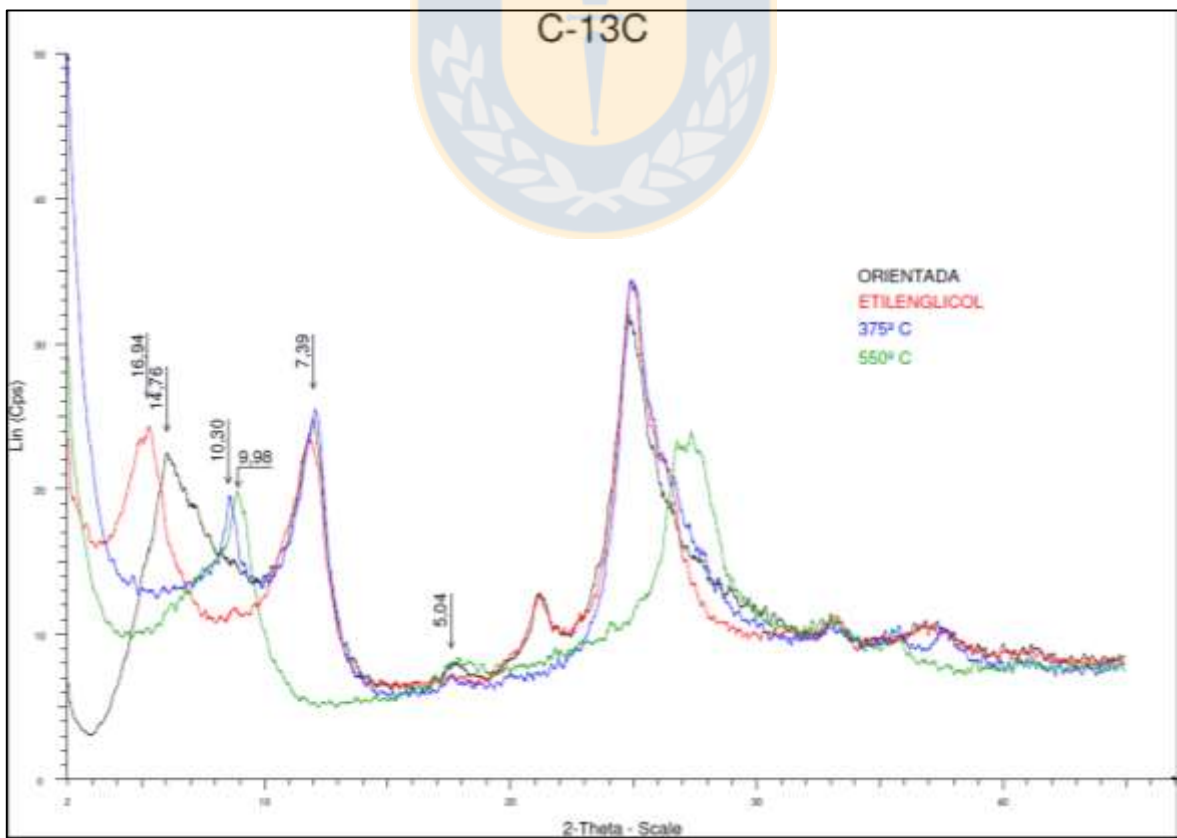
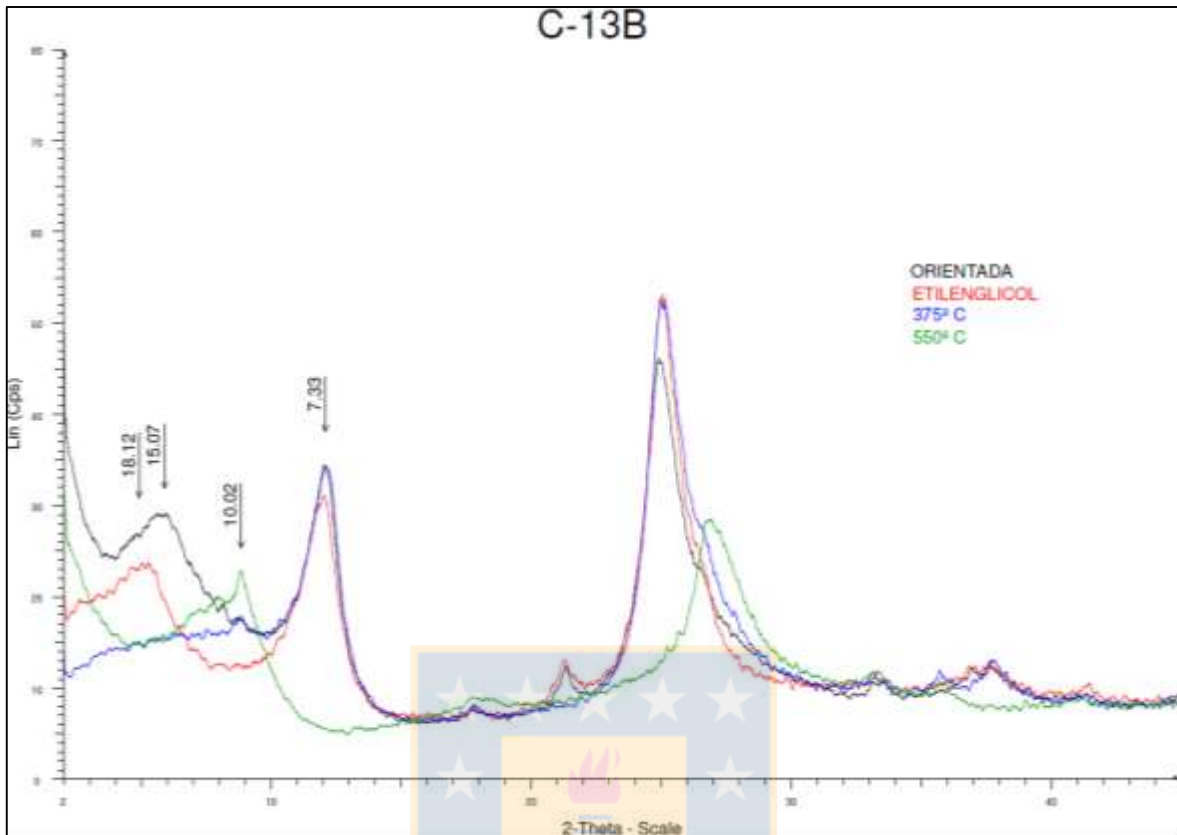








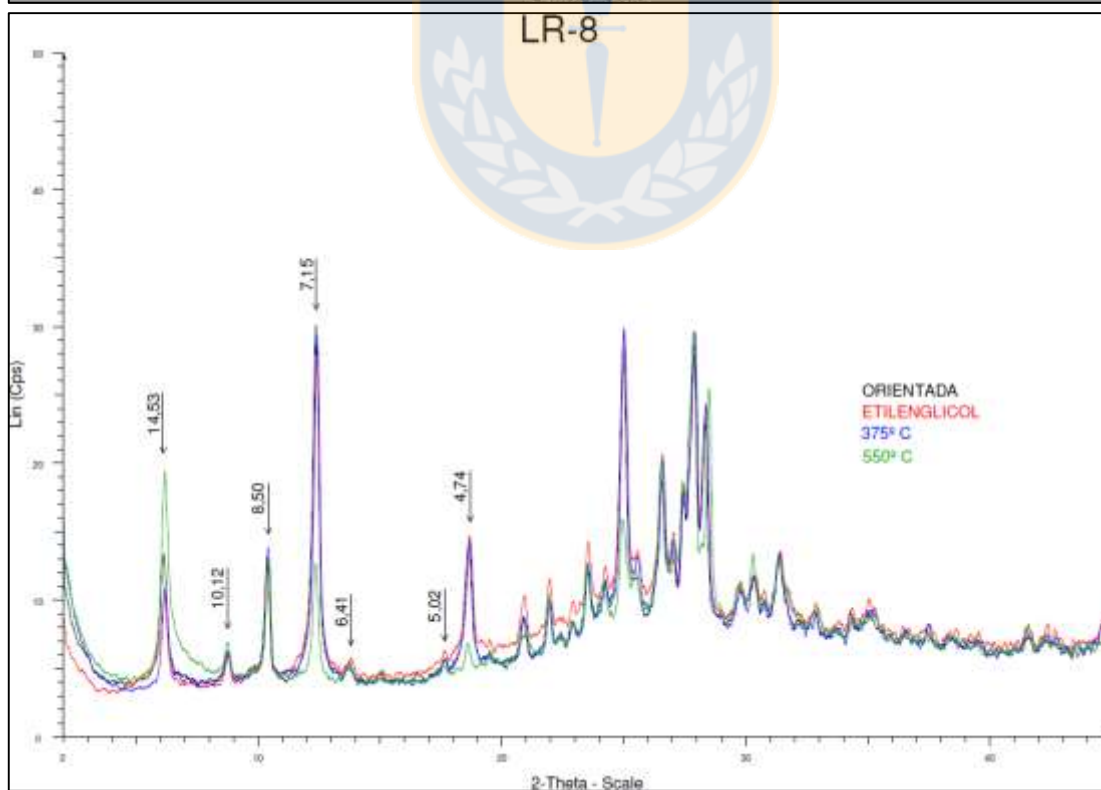
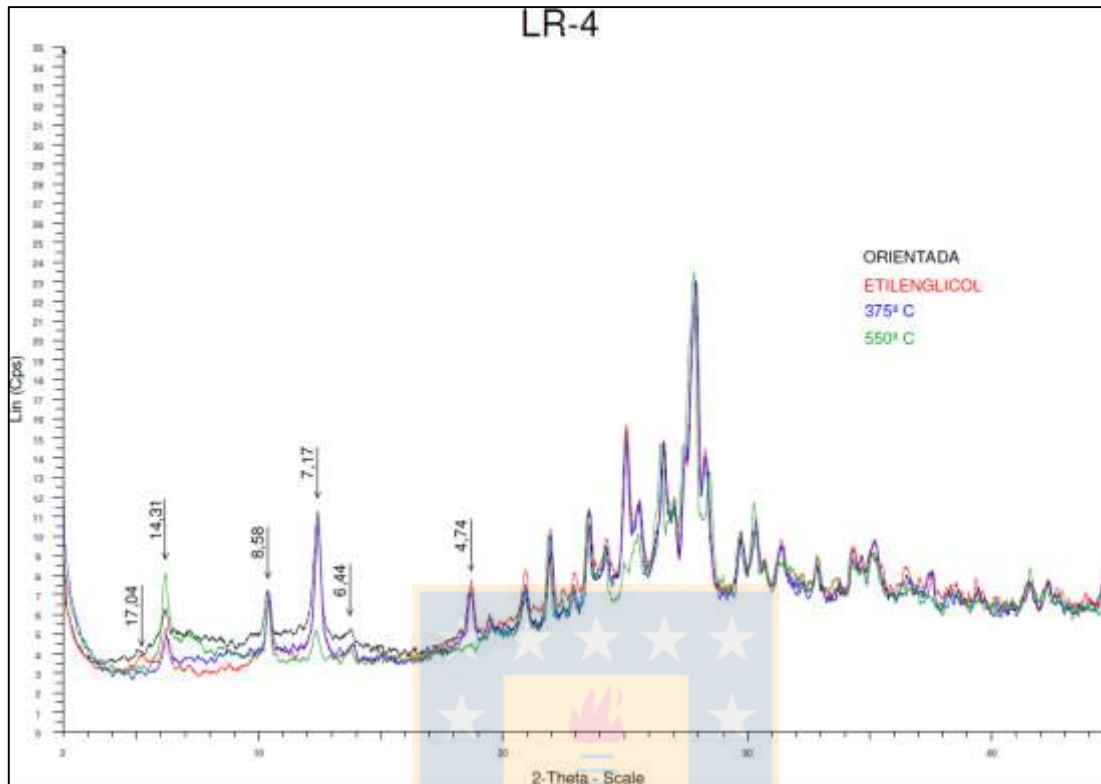




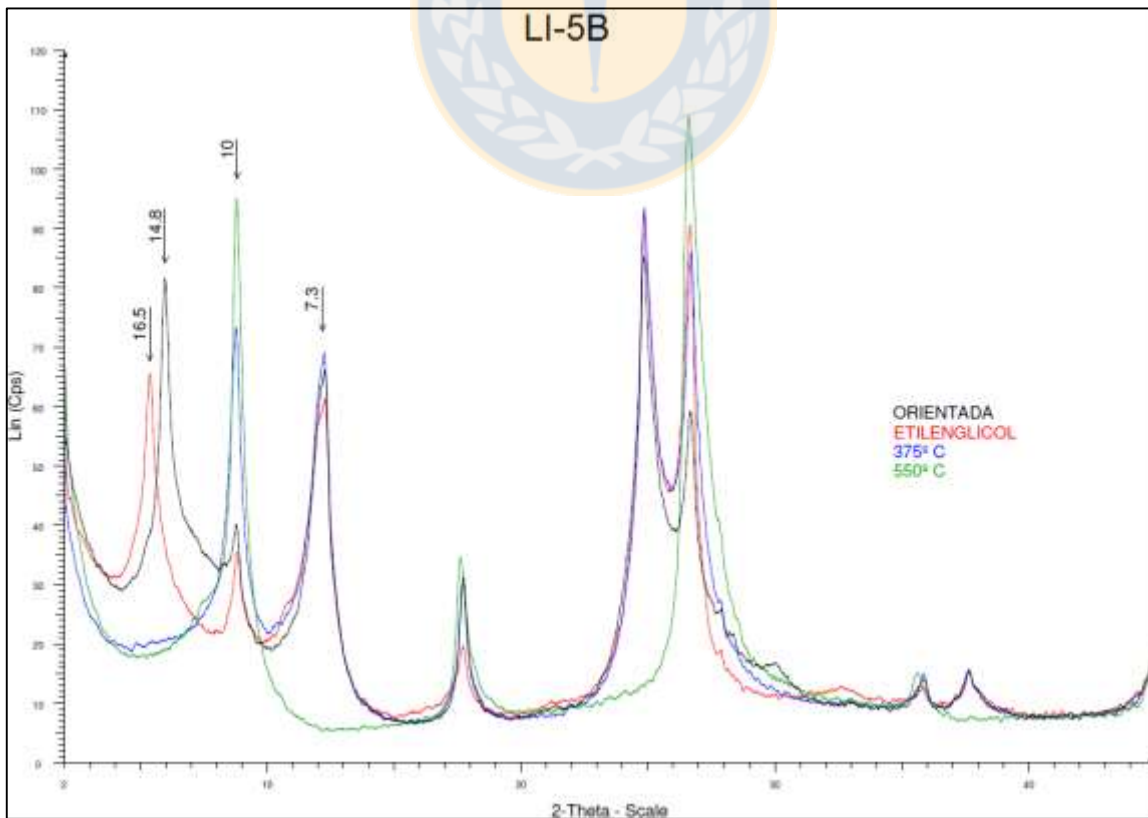
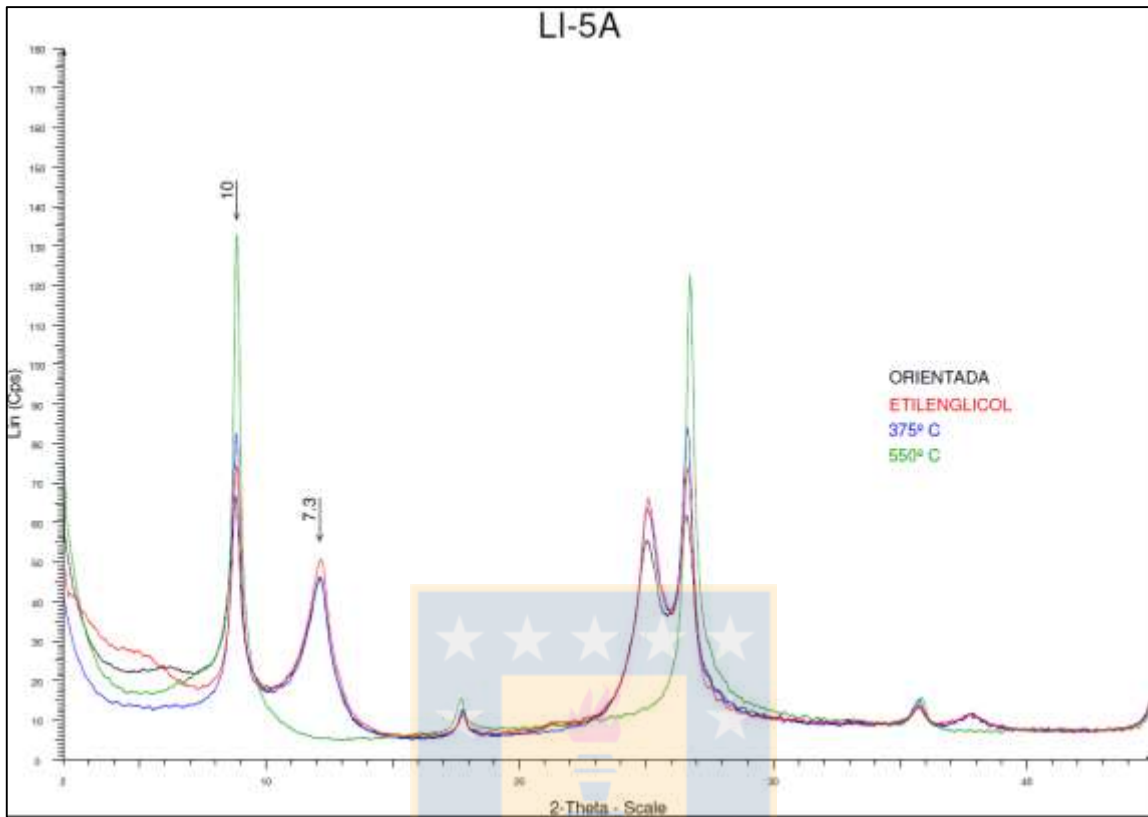
SANTA CRUZ

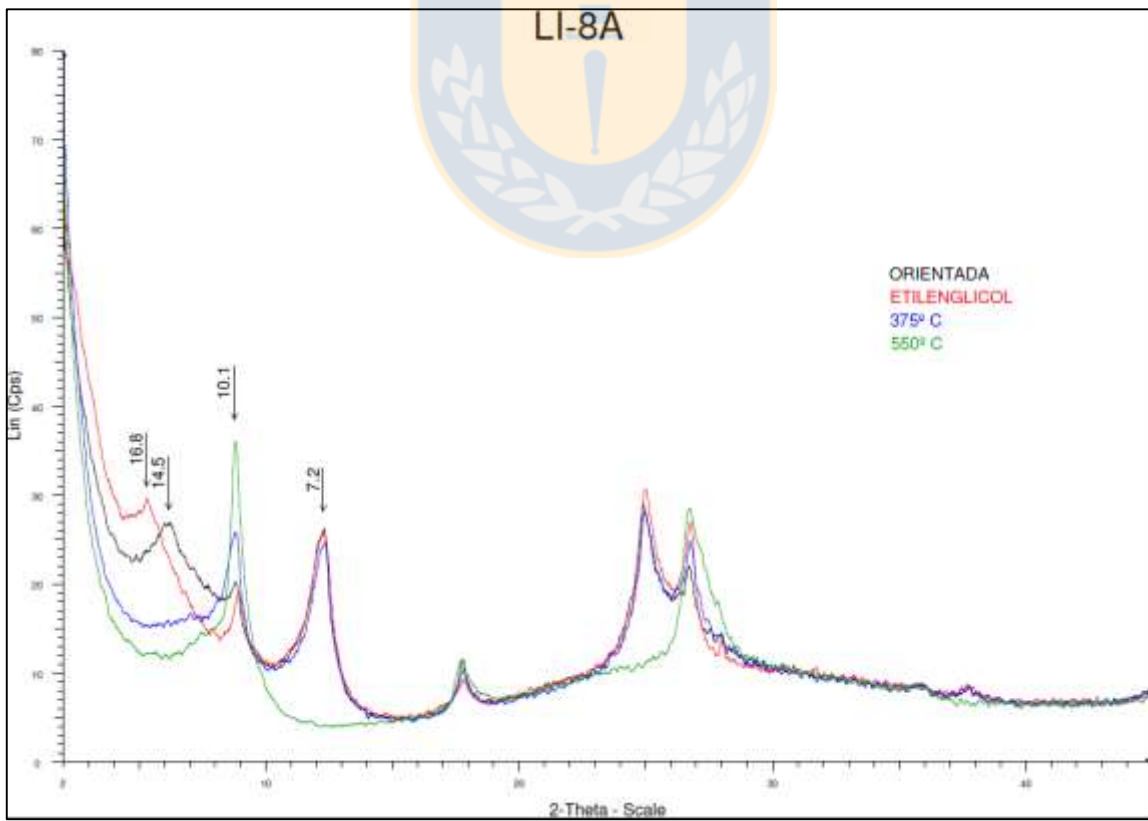
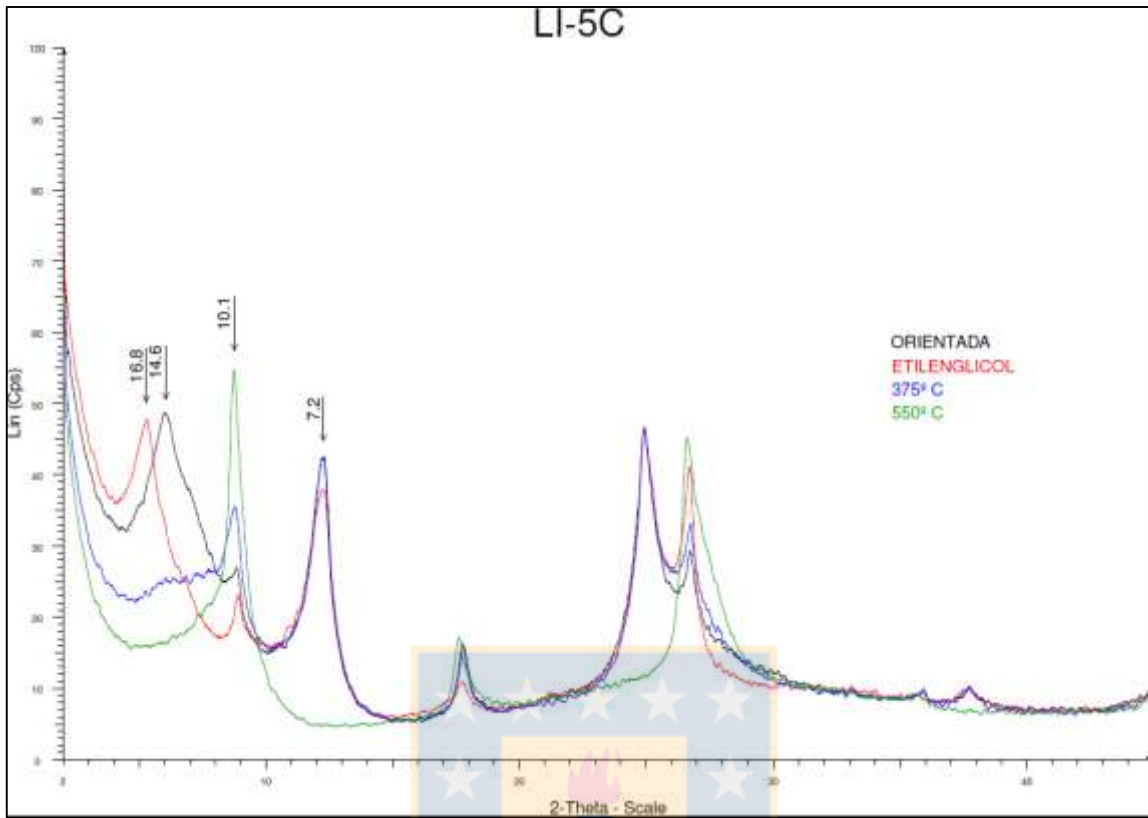
Muestra	Filosilicatos
LR-4 (Roca)	Clorita – Caolinita – Esmectita(Traza)
LR-8 (Roca)	Clorita – Illita – Caolinita
LI-5A	Illita – Caolinita
LI-5B	Esmectita – Illita – Caolinita – Vermiculita
LI-5C	Esmectita – Illita – Caolinita – Vermiculita
LI-8A	Esmectita – Illita – Caolinita – Vermiculita
LI-8B	Esmectita – Illita – Caolinita – Vermiculita
LI-8C	Esmectita – Illita – Caolinita – Vermiculita
LP-10A	Illita – Caolinita
LP-10B	Vermiculita – Illita – Caolinita
LP-10C	Vermiculita – Illita – Caolinita
LP-11A	Illita – Caolinita
LP-11B	Illita – Caolinita
LP-11C	Illita – Caolinita
LP-11D	Illita – Caolinita
LI-13A	Esmectita – Illita – Caolinita – Vermiculita
LI-13B	Esmectita – Illita – Caolinita – Vermiculita
LI-13C	Esmectita – Illita – Caolinita – Vermiculita
LP-14A	Vermiculita – Illita – Caolinita
LP-14B	Vermiculita – Illita – Caolinita
LP-14C	Vermiculita – Illita – Caolinita

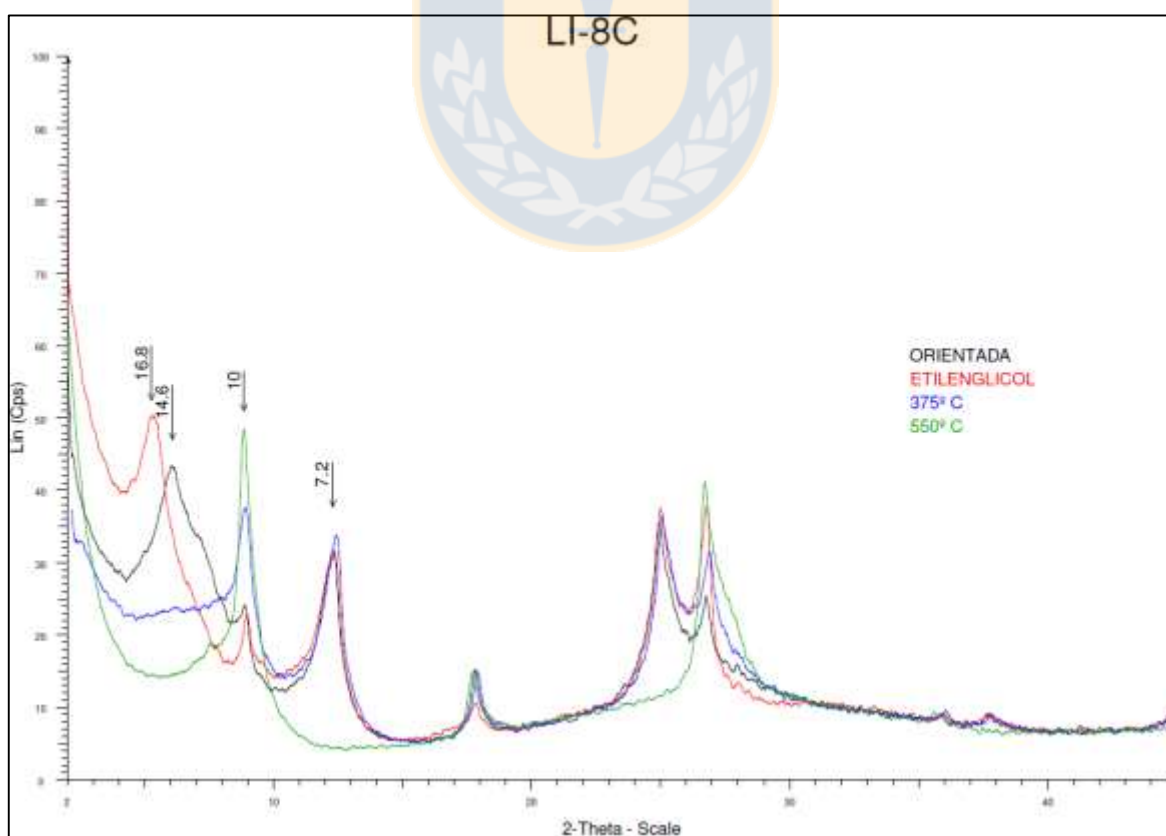
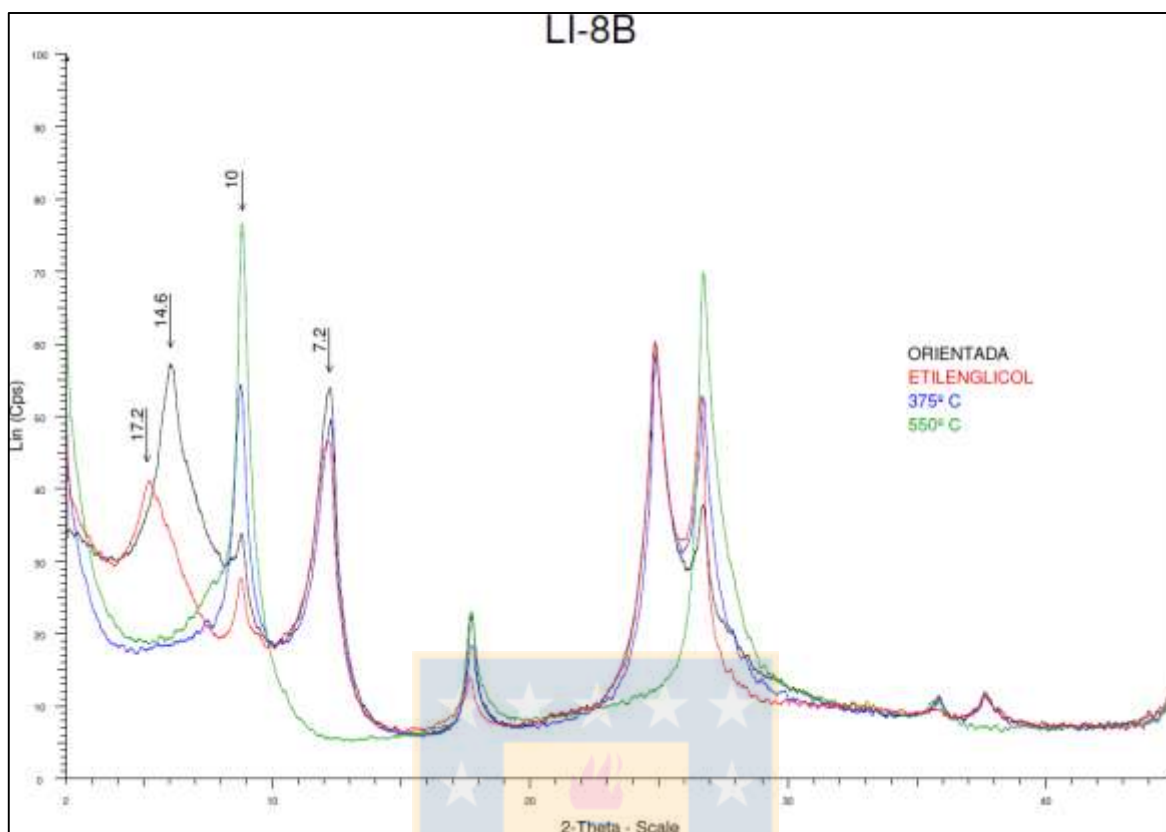
Rocas

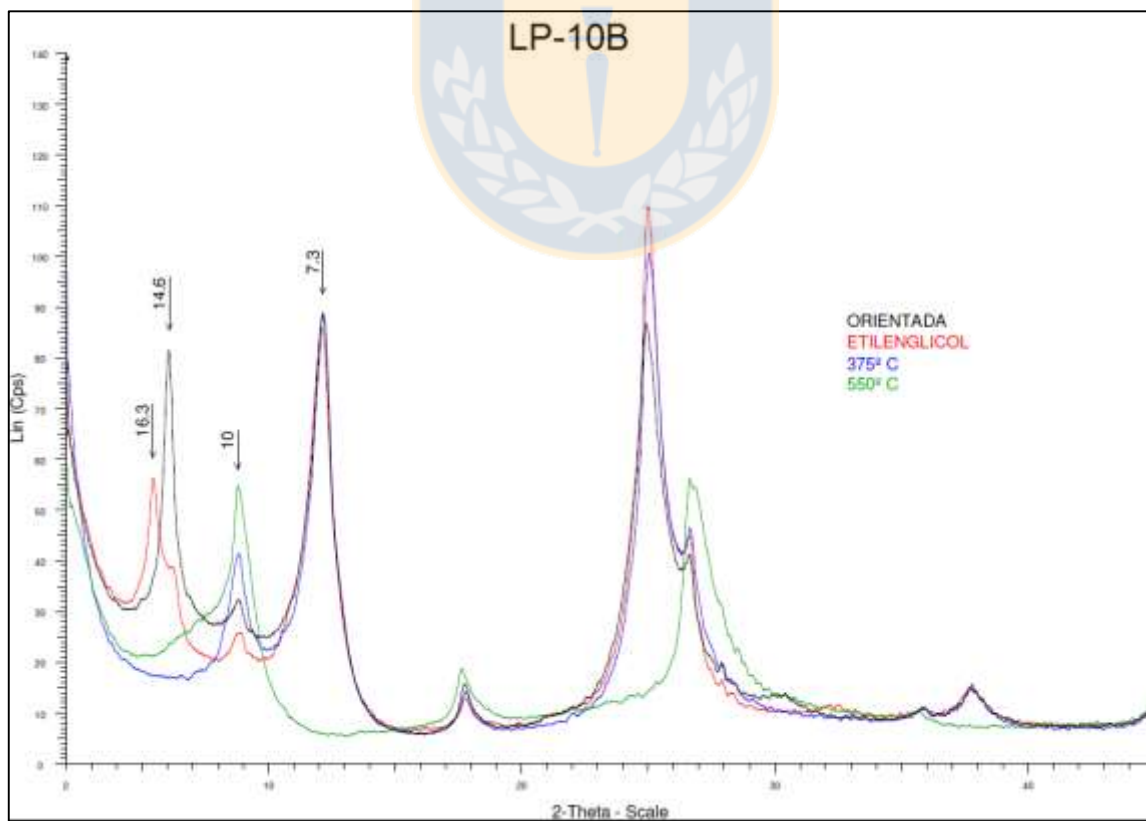
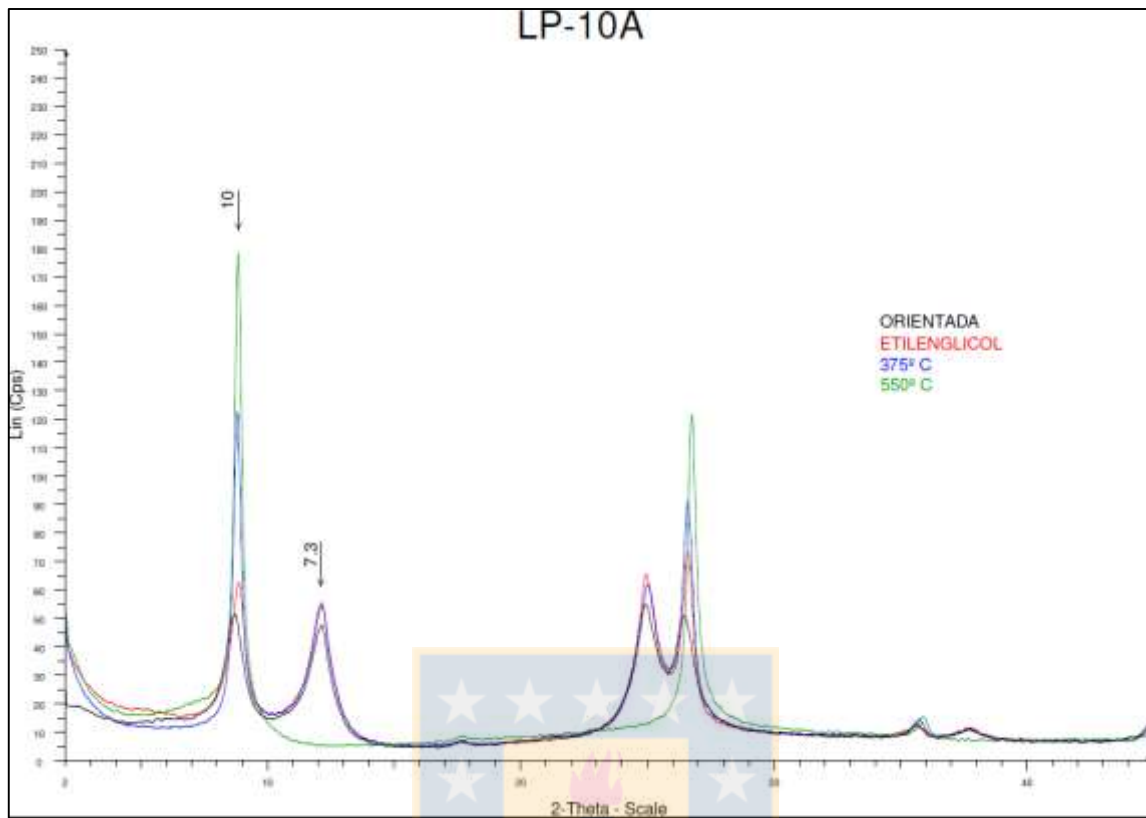


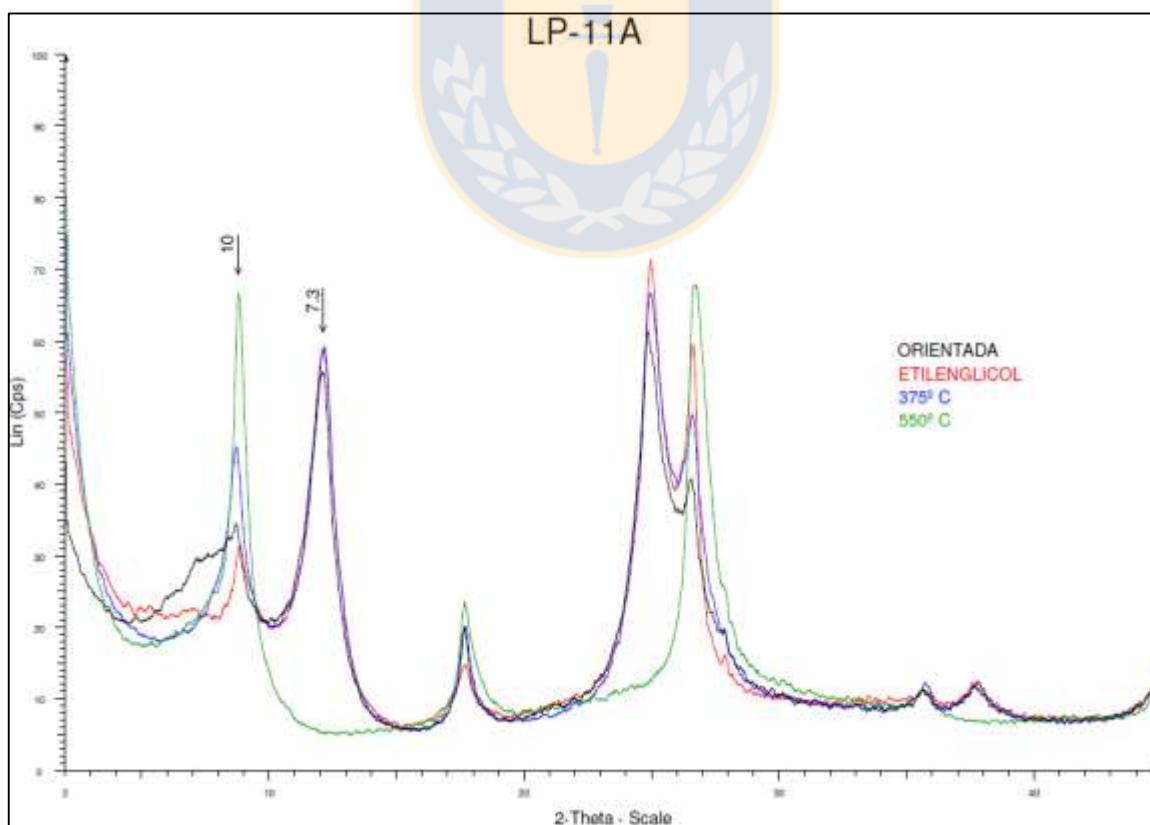
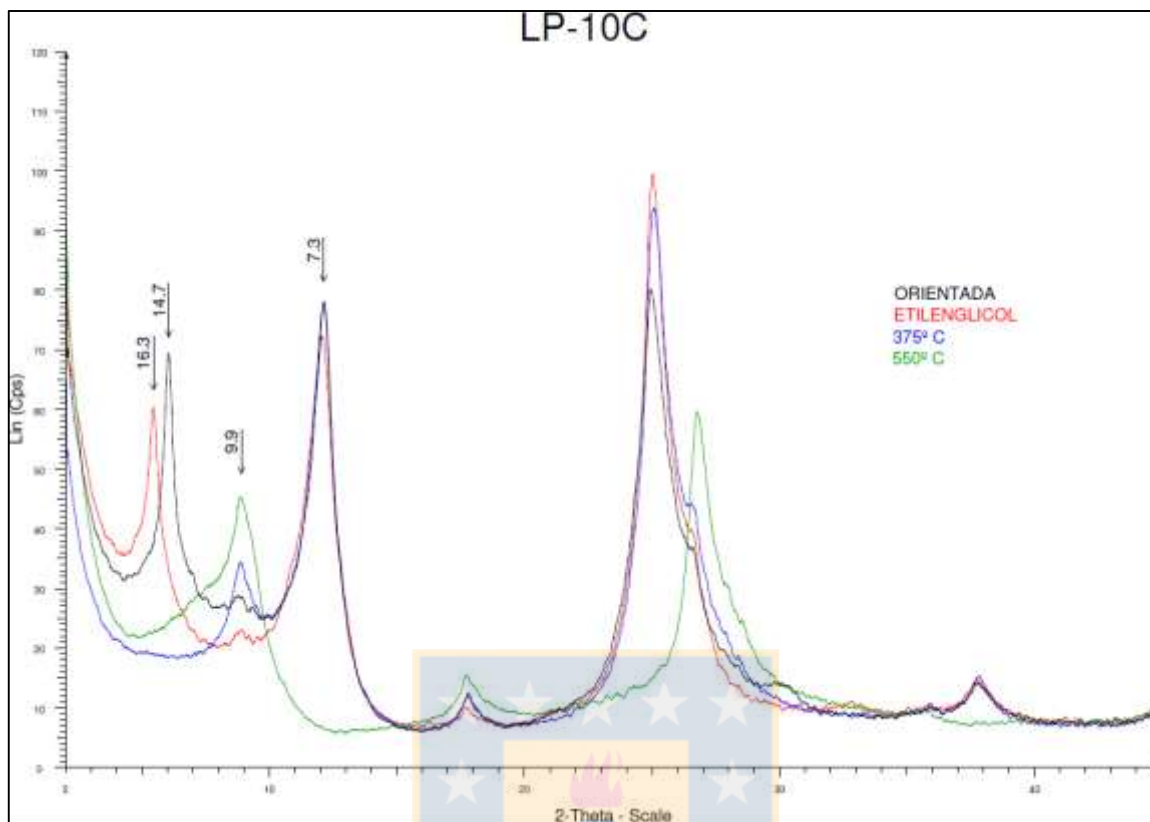
Suelos

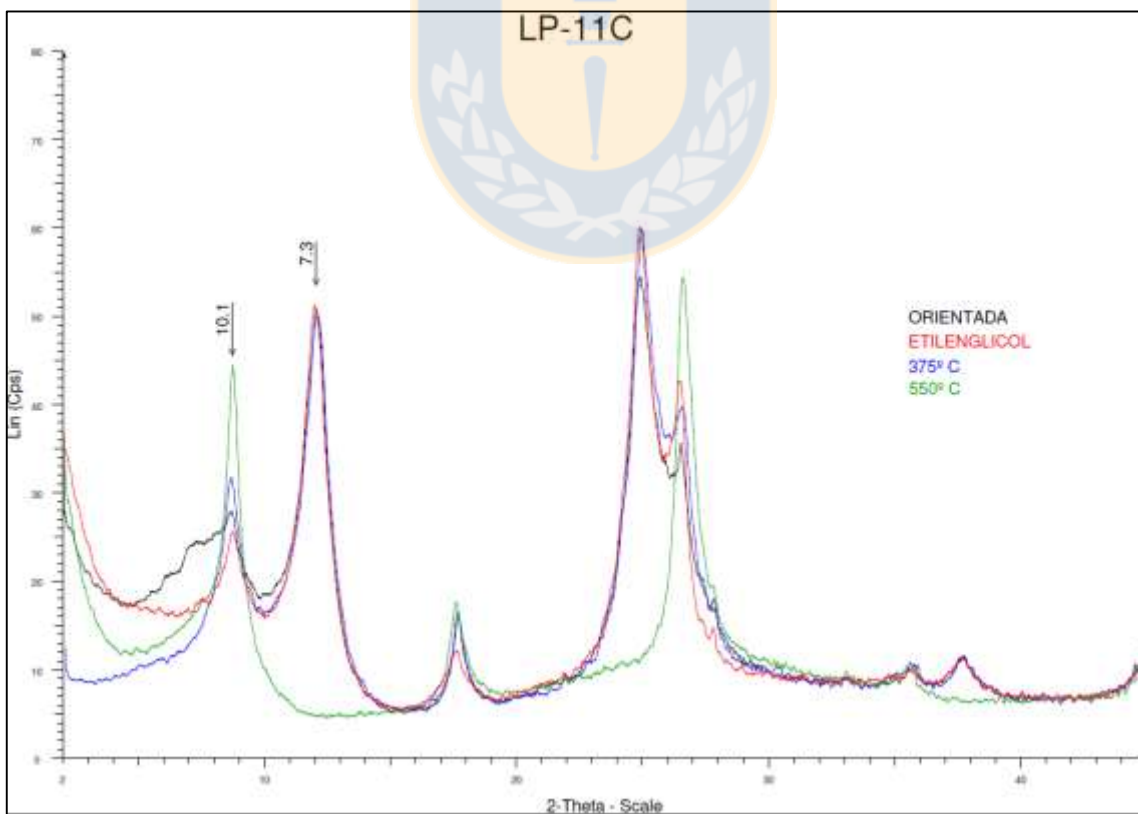
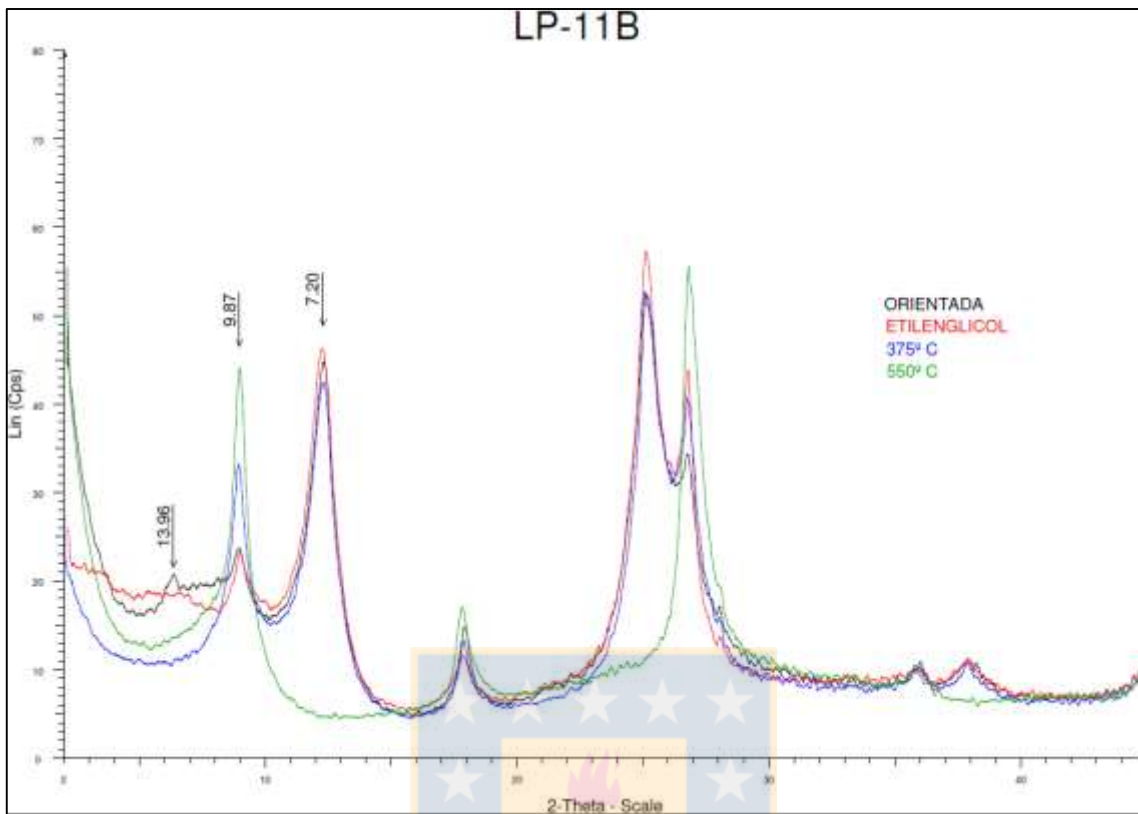


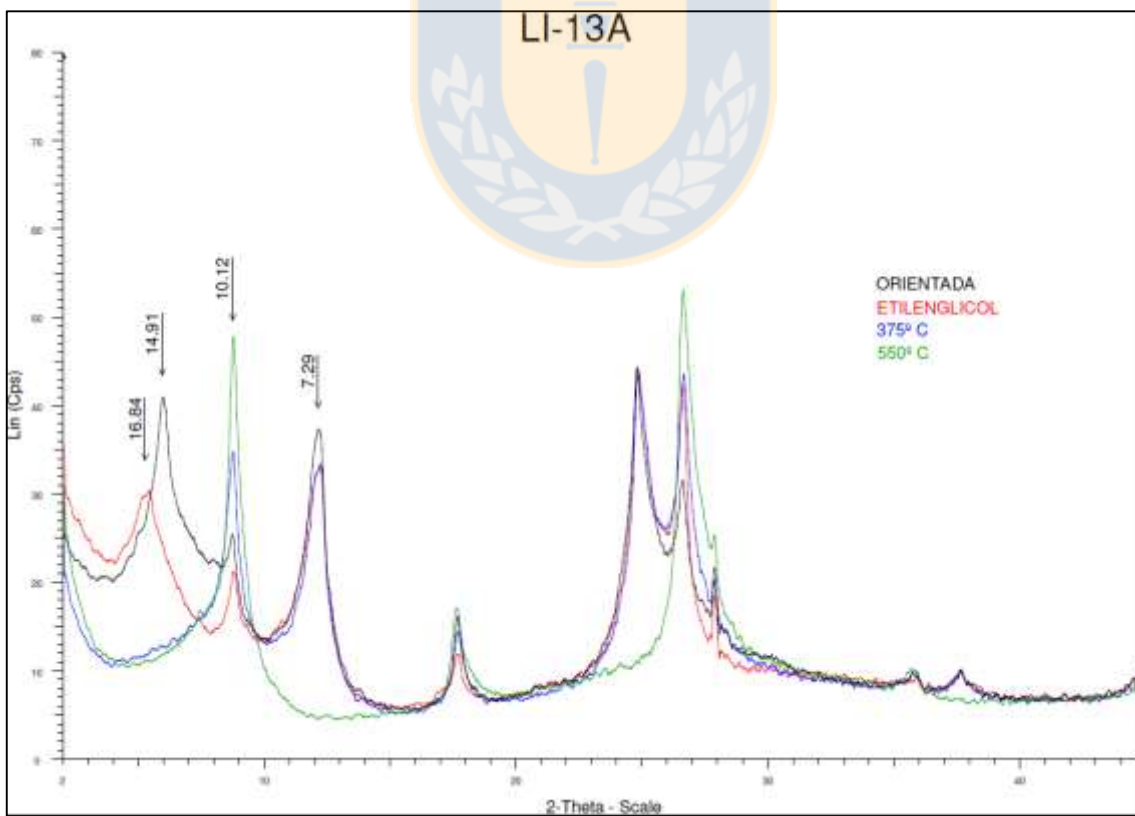
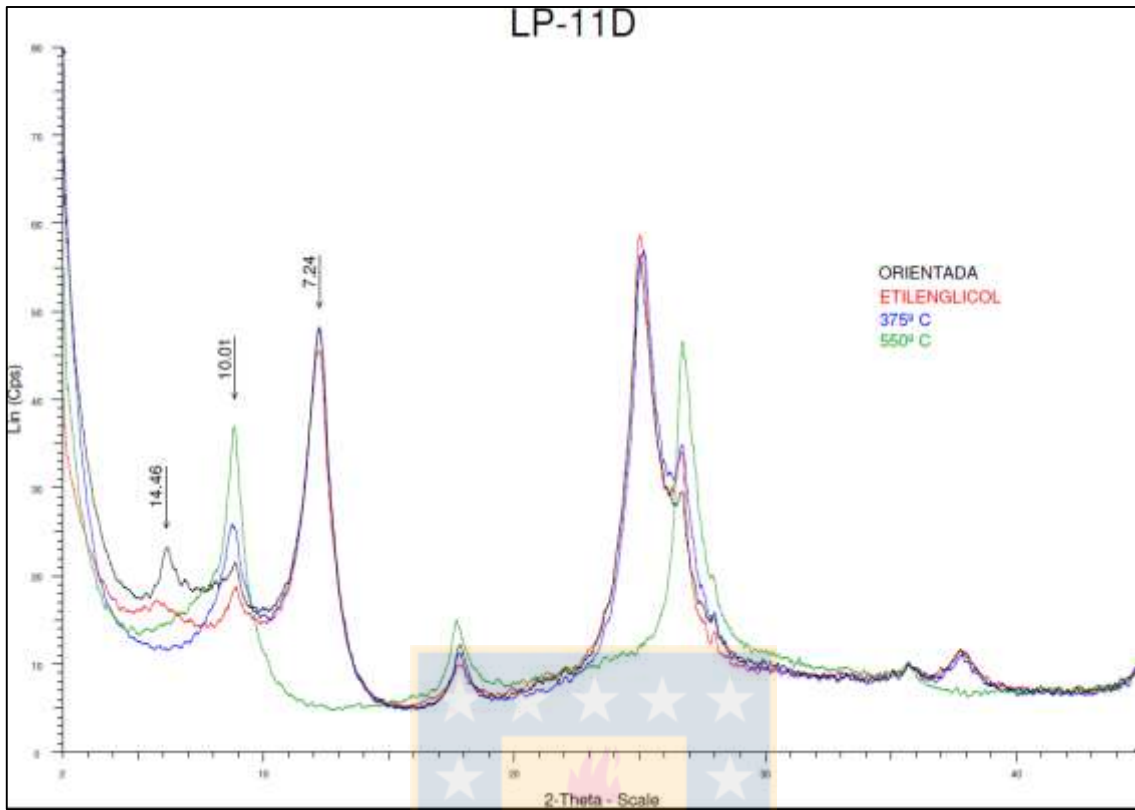


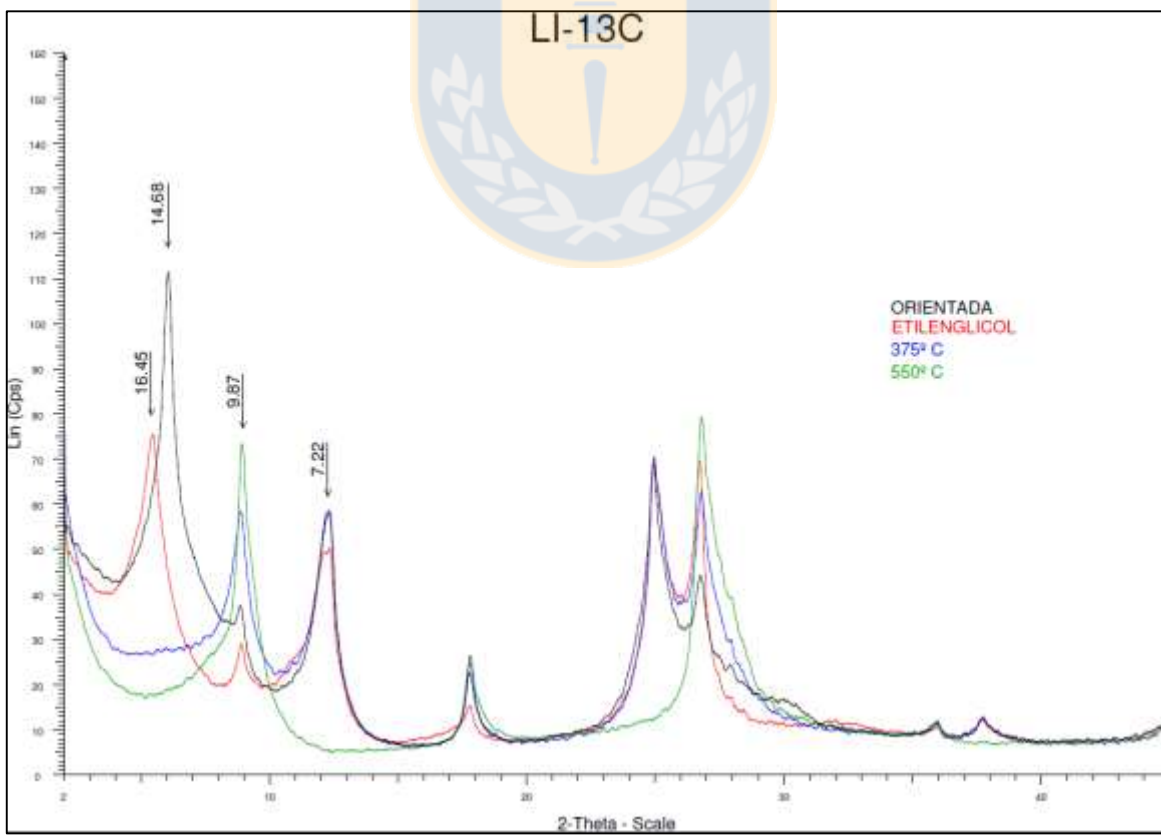
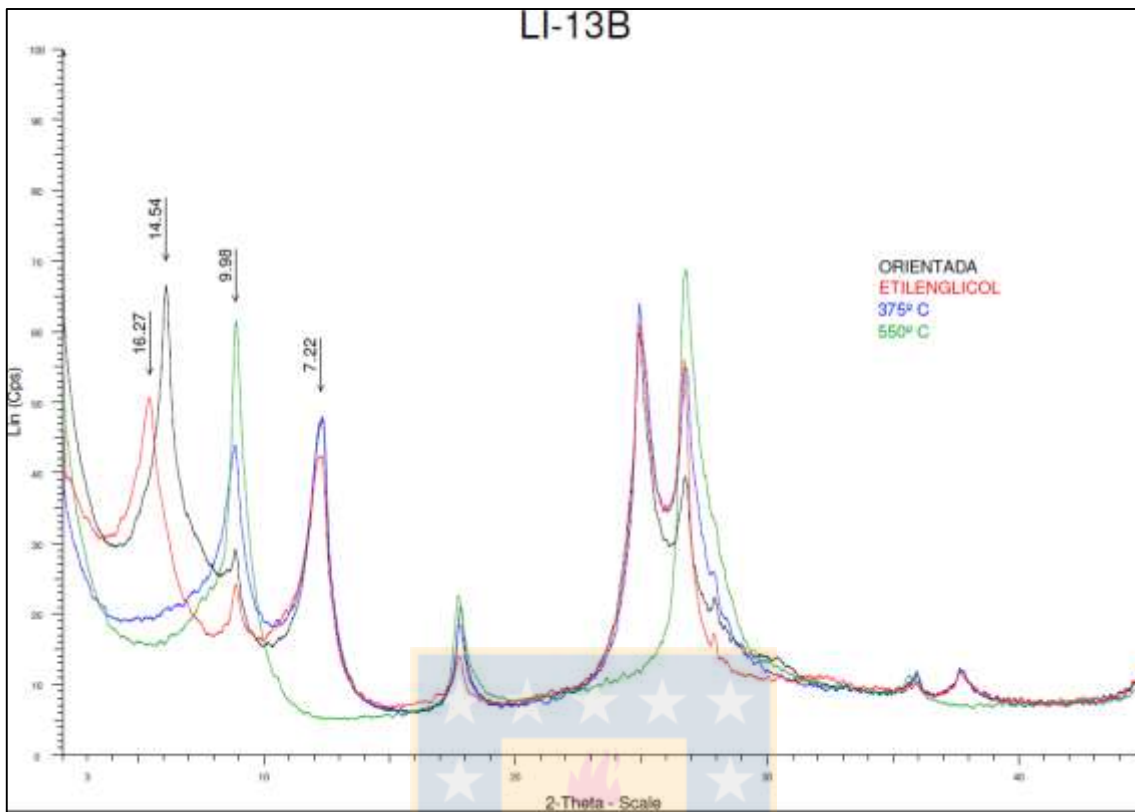


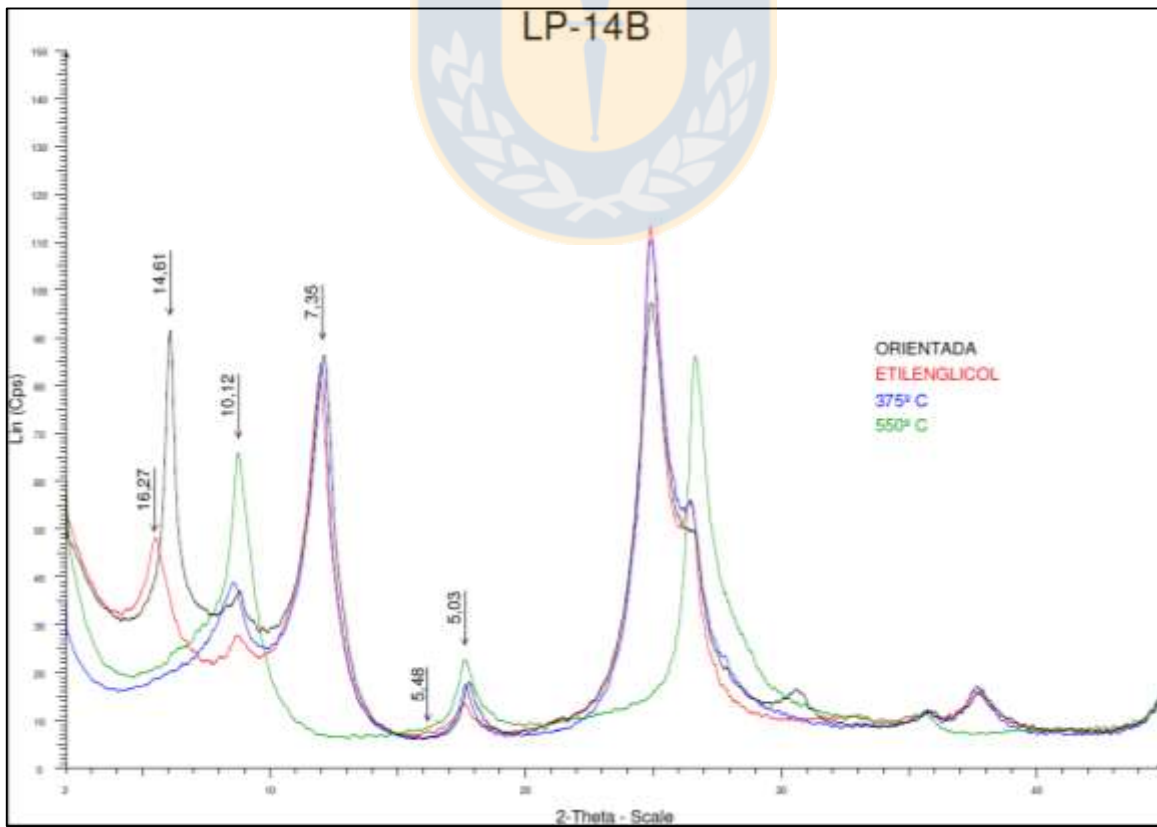
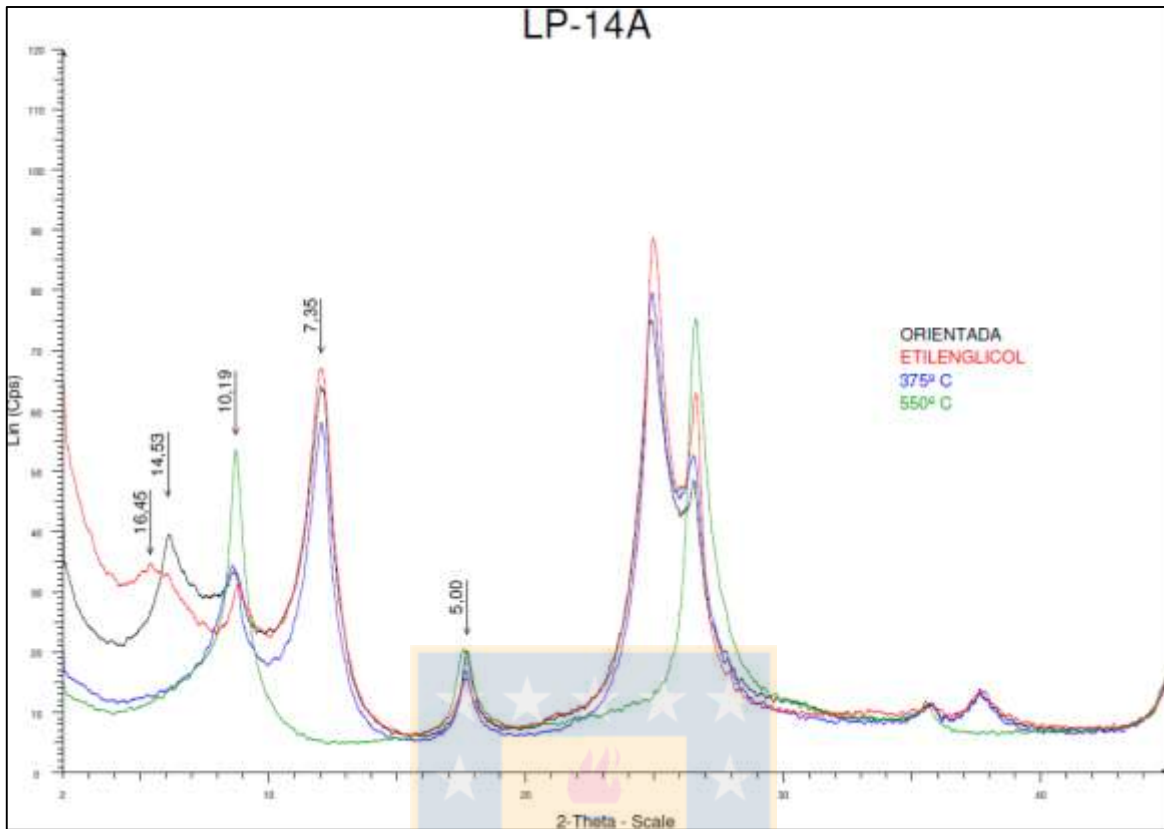


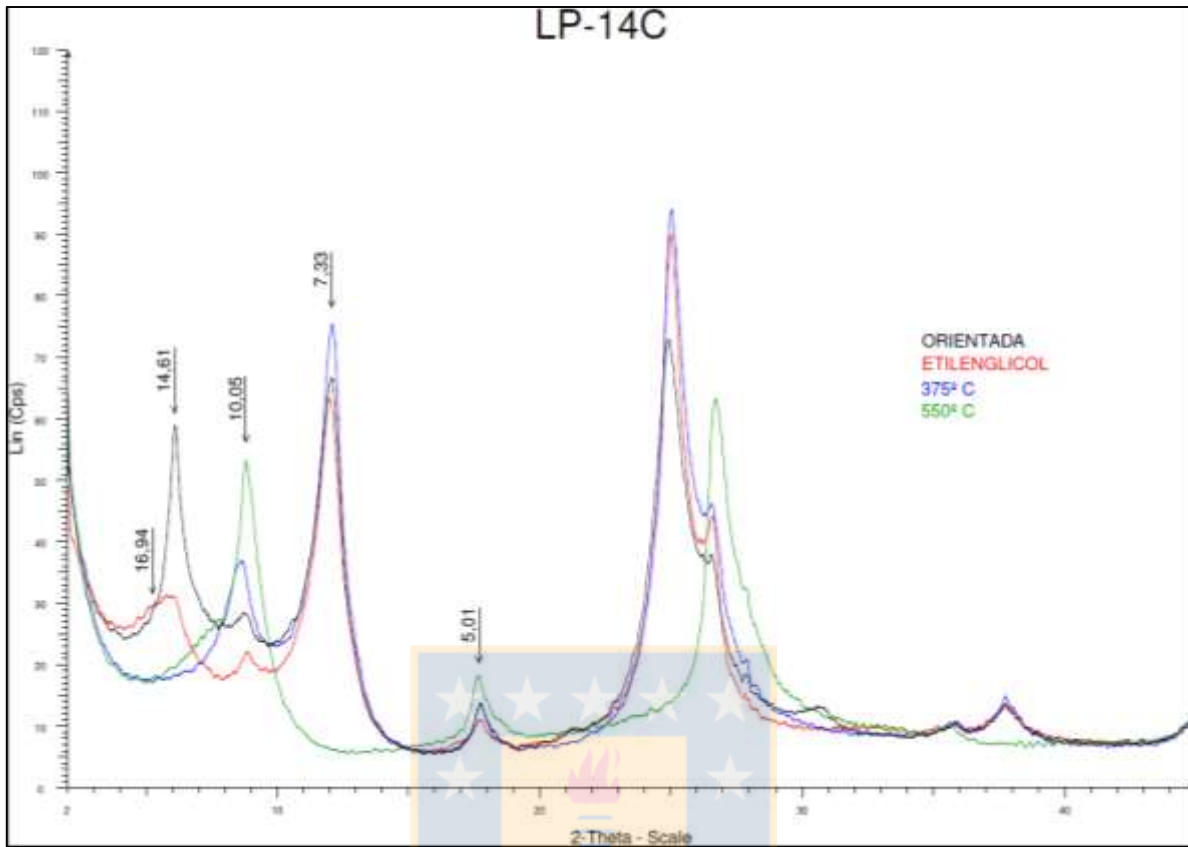












Semicuantificación de filosilicatos

SAN ANTONIO

VIÑA	MUESTRA	Esmectita			Illita			Caolinita			TOTAL	TOTAL	PORCENTAJE ESMECTITA	PORCENTAJE ILLITA	PORCENTAJE CAOLINITA	% ARCILLA
		Factor	Cuentas (004)	Total	Factor	Cuentas	Total	Factor	Cuentas	Total						
S A N A N T O N I O	CT-1A	0,25	281	1124	1		0	0,5	598	1196	879	2320	48,4	0,0	51,6	43,2
	CT-1B	0,25	286	1144	1		0	0,5	1033	2066	1319	3210	35,6	0,0	64,4	39,3
	CT-1C	0,25	262	1048	1		0	0,5	660	1320	922	2368	44,3	0,0	55,7	4,8
	CT-6A	0,25	276	1104	1		0	0,5	586	1172	862	2276	48,5	0,0	51,5	41,4
	CT-6B	0,25	275	1100	1		0	0,5	426	852	701	1952	56,4	0,0	43,6	45,1
	CT-6C	0,25	293	1172	1		0	0,5	478	956	771	2128	55,1	0,0	44,9	52,1
	CP-10A	0,25	270	1080	1		0	0,5	353	706	623	1786	60,5	0,0	39,5	41,4
	CP-10B	0,25	316	1264	1		0	0,5	749	1498	1065	2762	45,8	0,0	54,2	39,2
	CP-10C	0,25	270	1080	1		0	0,5	585	1170	855	2250	48,0	0,0	52,0	8,9
	CP-10D	0,25	273	1092	1		0	0,5	492	984	765	2076	52,6	0,0	47,4	6,5
	CP-12A	0,25	296	1184	1		0	0,5	522	1044	818	2228	53,1	0,0	46,9	52,5
	CP-12B	0,25	263	1052	1		0	0,5	442	884	705	1936	54,3	0,0	45,7	11,2
	CP-12C	0,25	271	1084	1		0	0,5	425	850	696	1934	56,0	0,0	44,0	5,3
C-13A	0,25		0		1	199	199	0,5	342	684	541	883	0,0	22,5	77,5	27,2
C-13B	0,25		370	1480	1	358	358	0,5	882	1764	1610	3602	41,1	9,9	49,0	59,1
C-13C	0,25		376	1504	1		0	0,5		0	376	1504	100,0	0,0	0,0	45,6

VIÑA	CALICATA	HORIZONTE	Esmectita	Illita	Caolinita
S A N A N T O N I O	CT-1	A	26,8	0,0	16,4
		B	20,4	0,0	18,9
		C	2,8	0,0	2,0
	CT-6	A	26,6	0,0	14,8
		B	29,6	0,0	15,5
		C	33,3	0,0	18,7
	CP-10	A	25,4	0,0	16,0
		B	22,2	0,0	17,0
		C	6,1	0,0	2,9
		D	4,7	0,0	1,9
	CP-12	A	32,5	0,0	20,1
		B	7,8	0,0	3,5
		C	3,6	0,0	1,7
	C-13	A	12,6	3,3	11,3
		B	27,1	5,4	26,6
C		25,9	0,0	19,7	

SANTA CRUZ

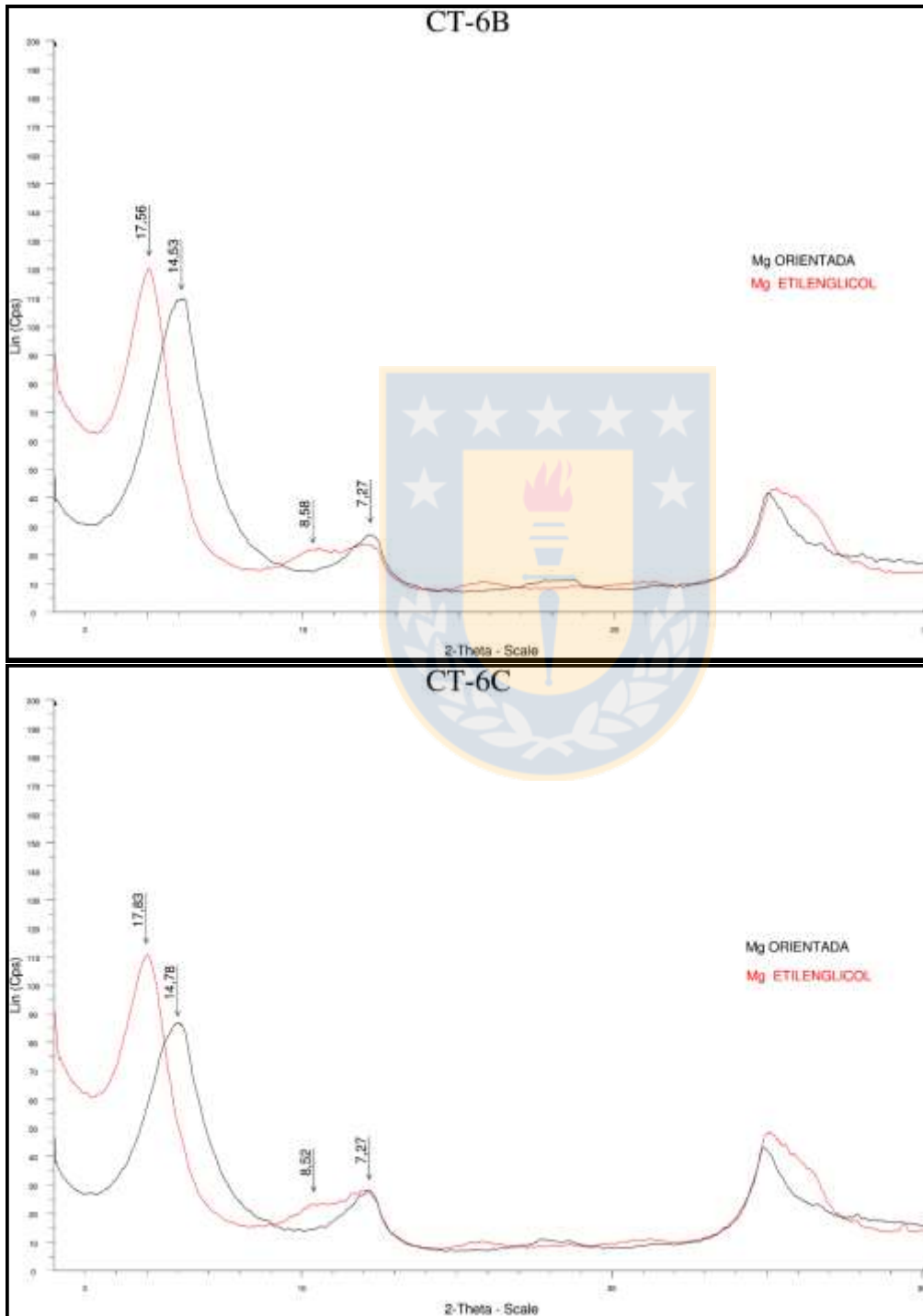
VIÑA	MUESTRA	Esmectita			Illita			Caolinita			TOTAL	TOTAL	PORCENTAJE ESMECTITA	PORCENTAJE ILLITA	PORCENTAJE CAOLINITA	% ARCILLA
		Factor	Cuentas (004)	Total	Factor	Cuentas	Total	Factor	Cuentas	Total						
S A N T A C R U Z	LI-5A	0,25		0	1	2108	2108	0,5	1452	2904	3560	5012	0,0	42,1	57,9	7,5
	LI-5B	0,25	296	1184	1	1011	1011	0,5	1738	3476	3045	5671	20,9	17,8	61,3	11,4
	LI-5C	0,25	284	1136	1	657	657	0,5	1079	2158	2020	3951	28,8	16,6	54,6	7,4
	LI-8A	0,25	249	996	1	546	546	0,5	731	1462	1526	3004	33,2	18,2	48,7	7,5
	LI-8B	0,25	258	1032	1	788	788	0,5	1323	2646	2369	4466	23,1	17,6	59,2	5,5
	LI-8C	0,25	263	1052	1	663	663	0,5	889	1778	1815	3493	30,1	19,0	50,9	5,5
	LP-10A	0,25		0	1	1778	1778	0,5	1576	3152	3354	4930	0,0	36,1	63,9	10,6
	LP-10B	0,25	296	1184	1	734	734	0,5	2459	4918	3489	6836	17,3	10,7	71,9	9,6
	LP-10C	0,25		0	1	649	649	0,5	2045	4090	2694	4739	0,0	13,7	86,3	3,5
	LP-11A	0,25	0	0	1	899	899	0,5	1664	3328	2563	4227	0,0	21,3	78,7	13,9
	LP-11B	0,25	0	0	1	654	654	0,5	1311	2622	1965	3276	0,0	20,0	80,0	13,6
	LP-11C	0,25	0	0	1	727	727	0,5	1451	2902	2178	3629	0,0	20,0	80,0	15,8
	LP-11D	0,25	0	0	1	534	534	0,5	1286	2572	1820	3106	0,0	17,2	82,8	X
	LI-13A	0,25	239	956	1	600	600	0,5	938	1876	1777	3432	27,9	17,5	54,7	9,2
	LI-13B	0,25	250	1000	1	687	687	0,5	1201	2402	2138	4089	24,5	16,8	58,7	10,5
	LI-13C	0,25	246	984	1	819	819	0,5	1420	2840	2485	4643	21,2	17,6	61,2	9,3
	LP-14A	0,25	268	1072	1	897	897	0,5	1895	3790	3060	5759	18,6	15,6	65,8	11,3
	LP-14B	0,25	277	1108	1	785	785	0,5	2297	4594	3359	6487	17,1	12,1	70,8	7,2
LP-14C	0,25	280	1120	1	629	629	0,5	1796	3592	2705	5341	21,0	11,8	67,3	3,2	

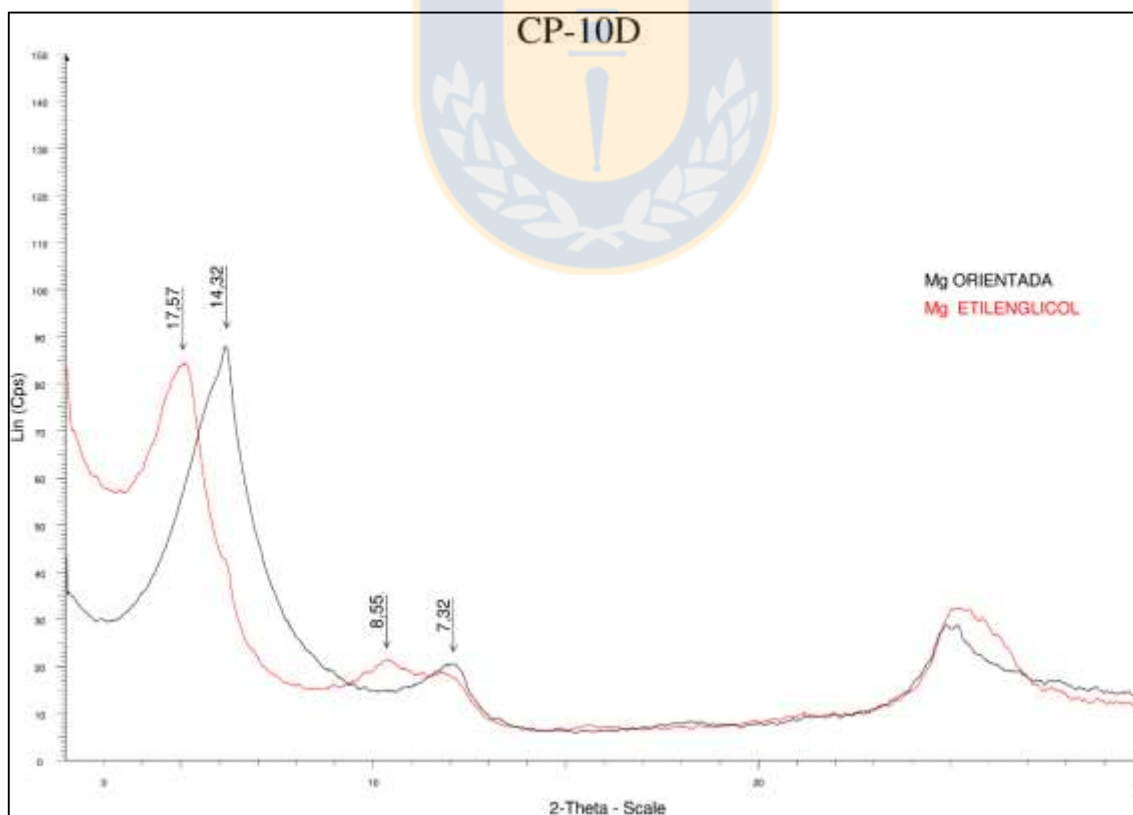
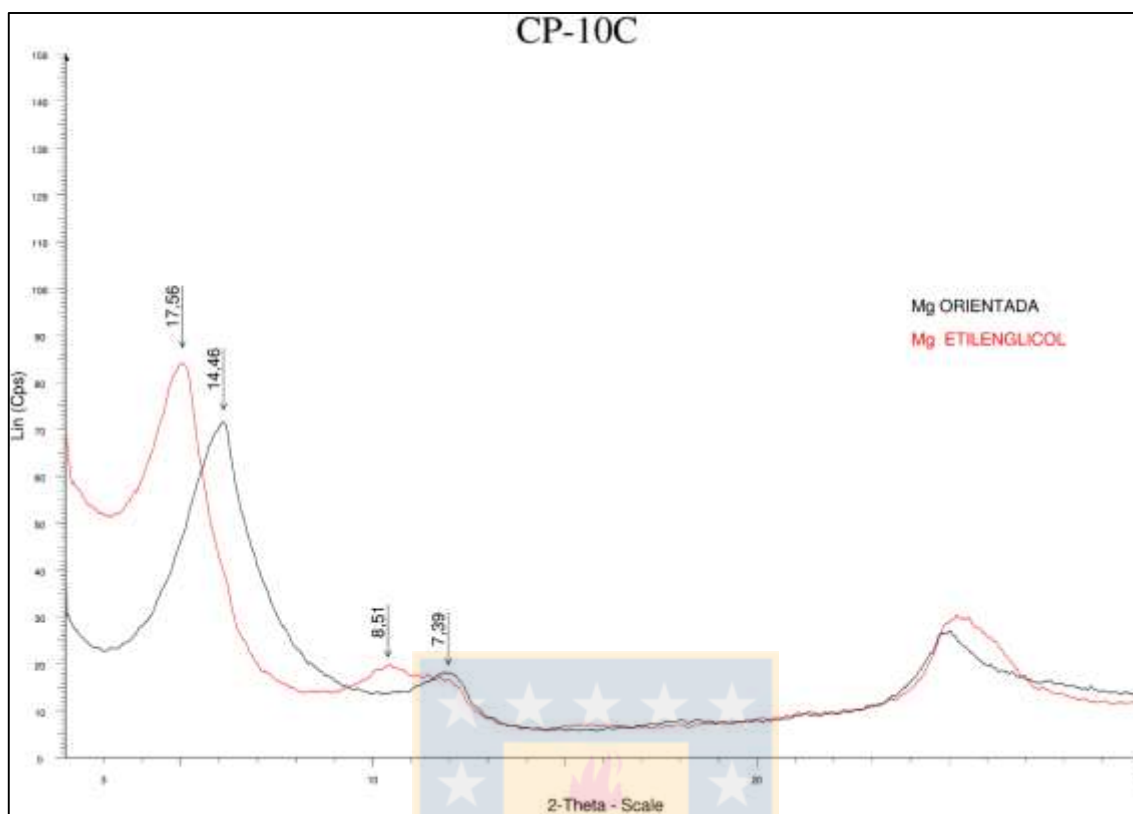
VIÑA	CALICATA	HORIZONTE	Esmectita+Vermiculita	Illita	Caolinita	Vermiculita
S A N T A C R U Z	LI-5	A	0,0	3,1	4,3	0,0
		B	4,1	1,7	5,7	0,0
		C	3,2	1,0	3,3	0,0
	LI-8	A	2,9	1,3	3,4	0,0
		B	2,2	0,8	2,6	0,0
		C	2,2	0,9	2,4	0,0
	LP-10	A	0,0	3,8	6,8	0,0
		B	0,0	0,8	5,5	3,2
		C	0,0	0,4	2,4	0,6
	LP-11	A	0,0	3,0	10,9	0,0
		B	0,0	2,7	10,9	0,0
		C	0,0	3,2	12,7	0,0
	LI-13	A	3,8	1,3	4,1	0,0
		B	4,2	1,4	4,8	0,0
		C	3,7	1,2	4,3	0,0
	LP-14	A	0,0	1,3	5,7	4,2
		B	0,0	0,7	3,8	2,7
		C	0	0,3	1,7	1,2

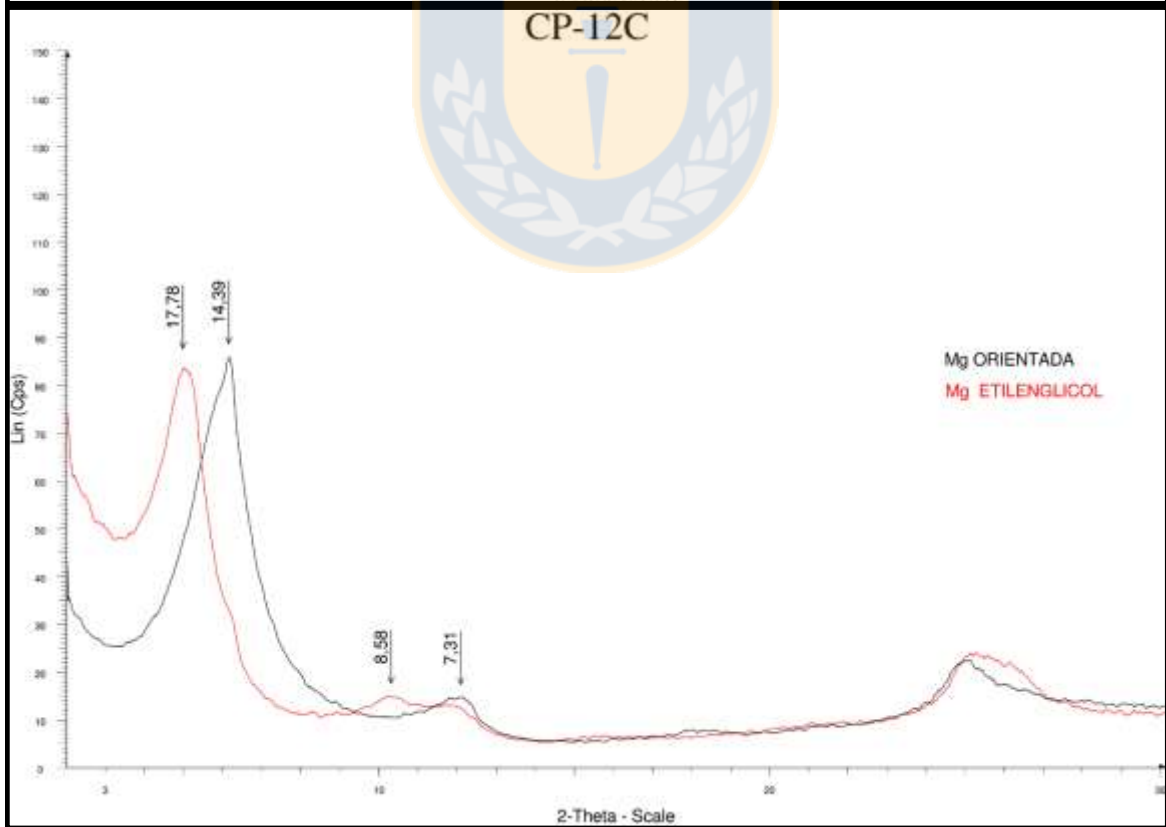
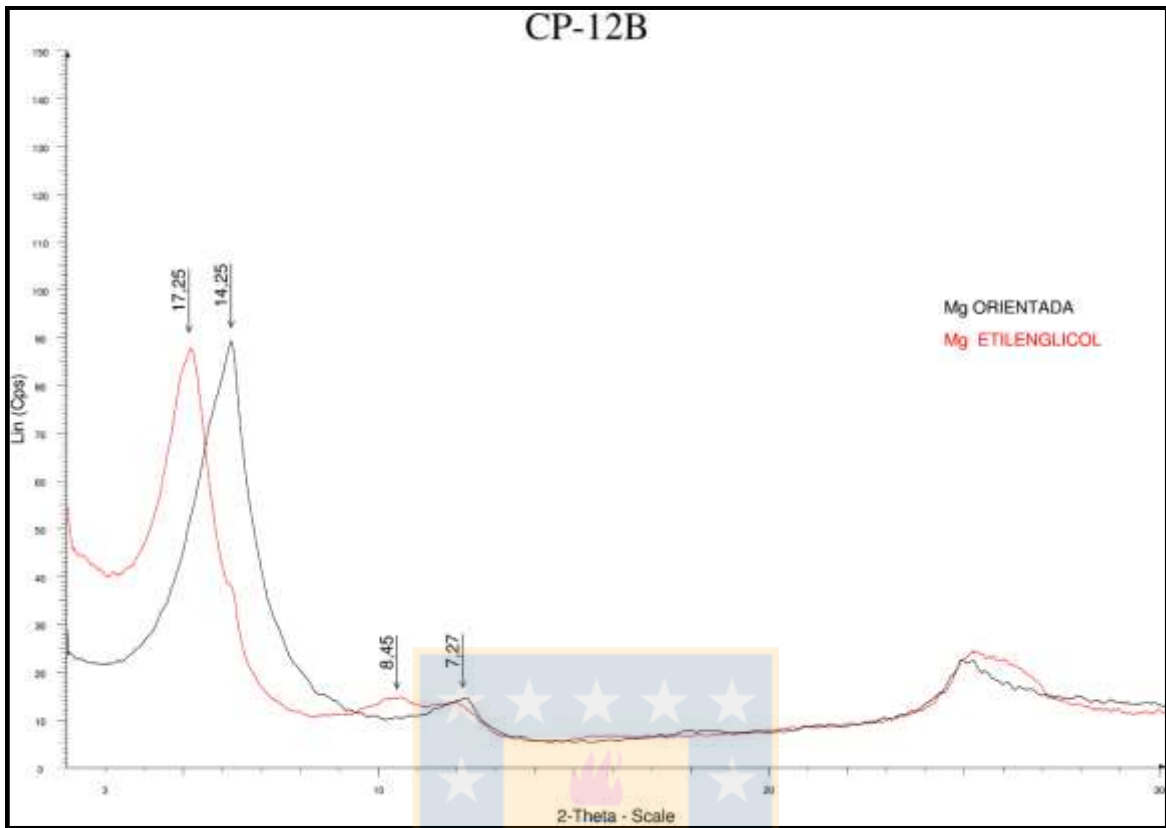
Tratamientos de saturación con cationes

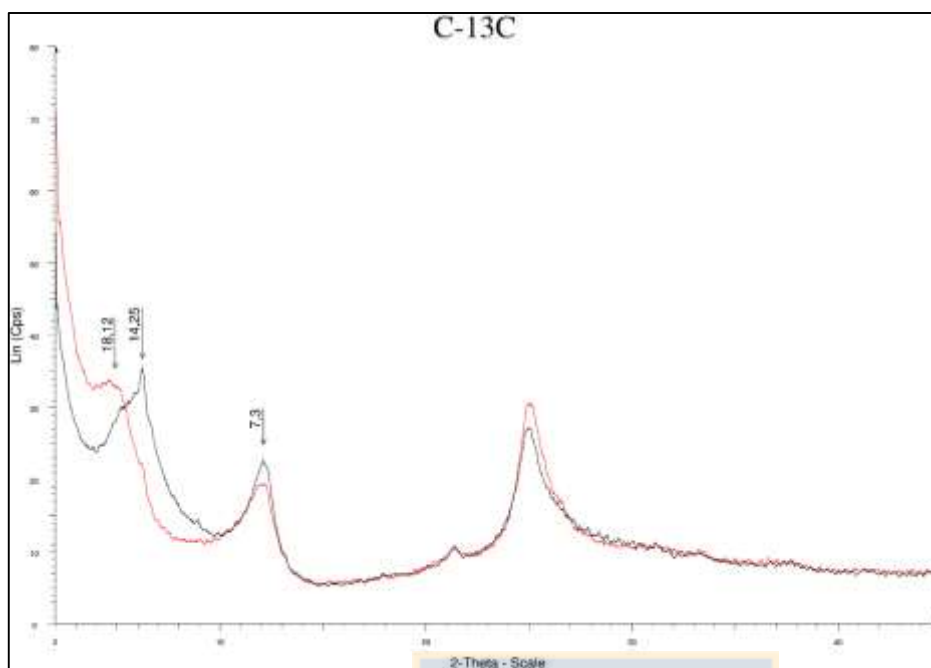
Saturación con magnesio (Mg^{2+})

SAN ANTONIO

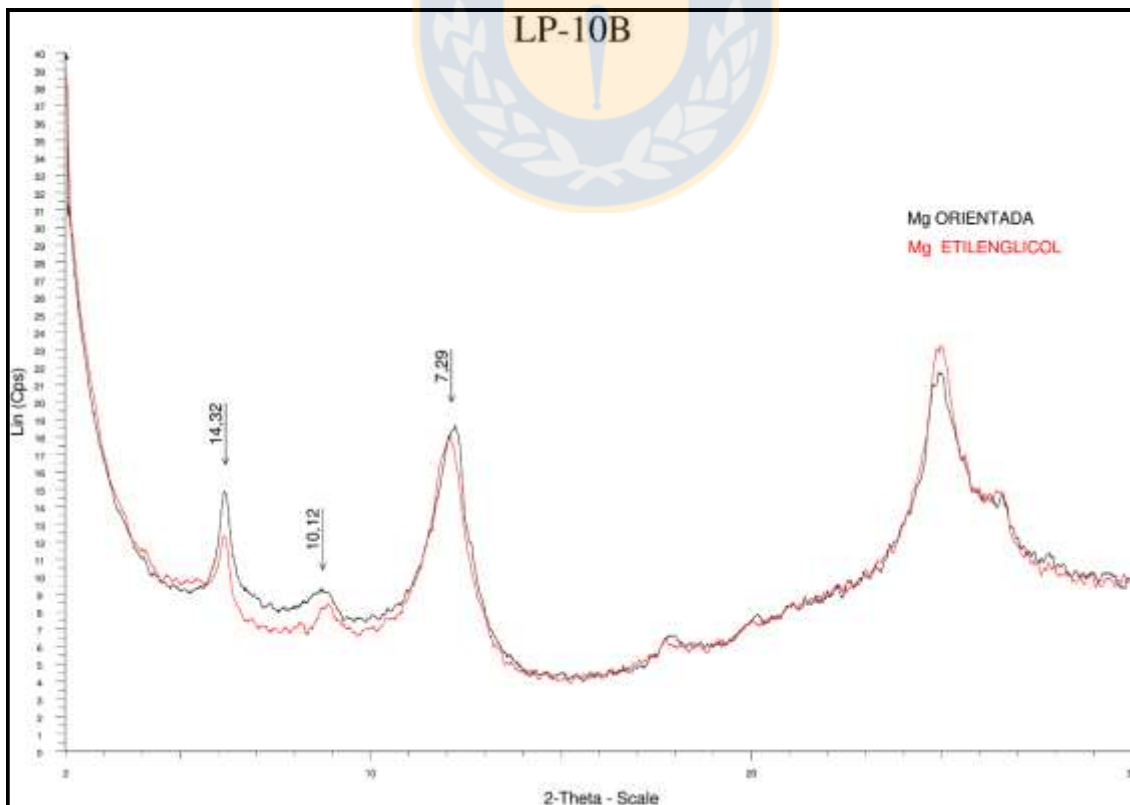
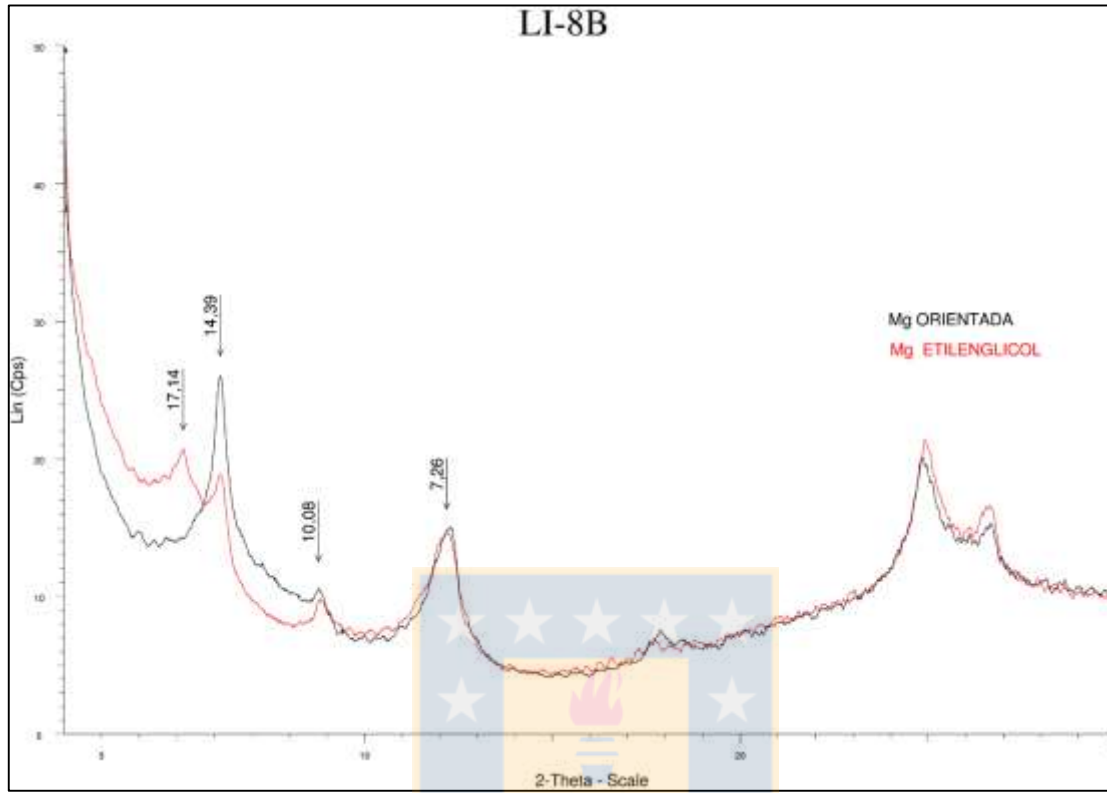


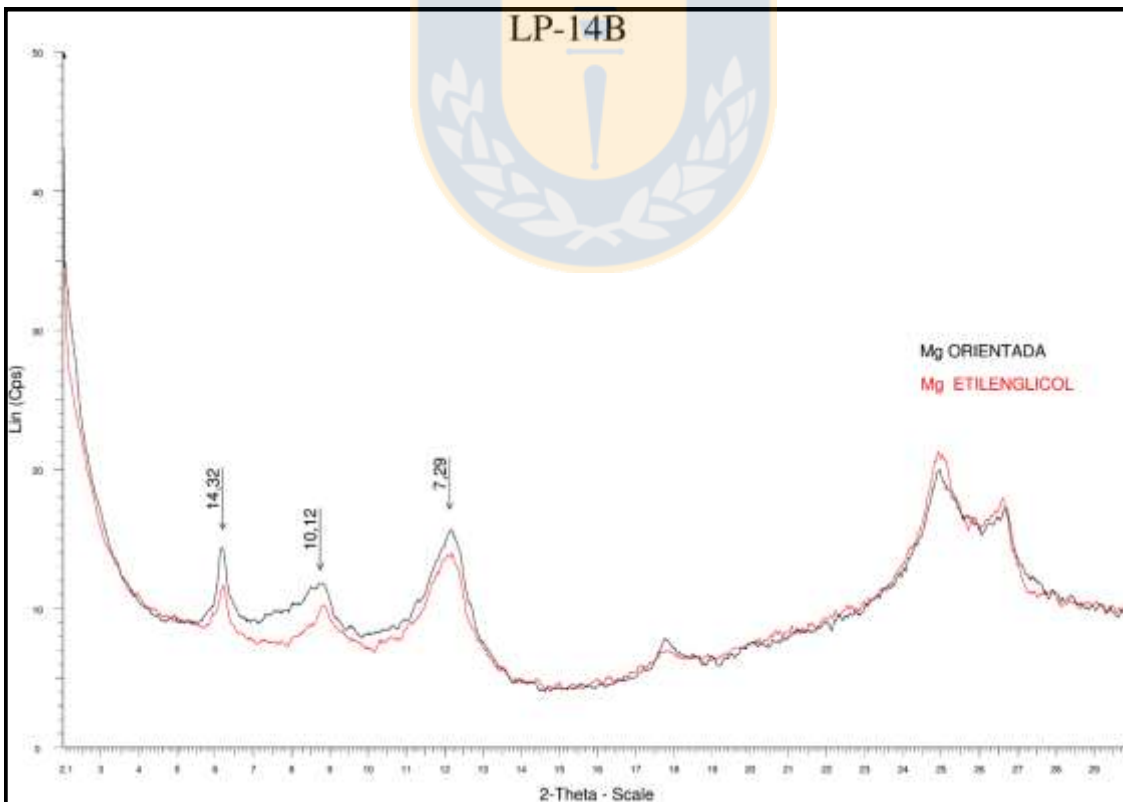
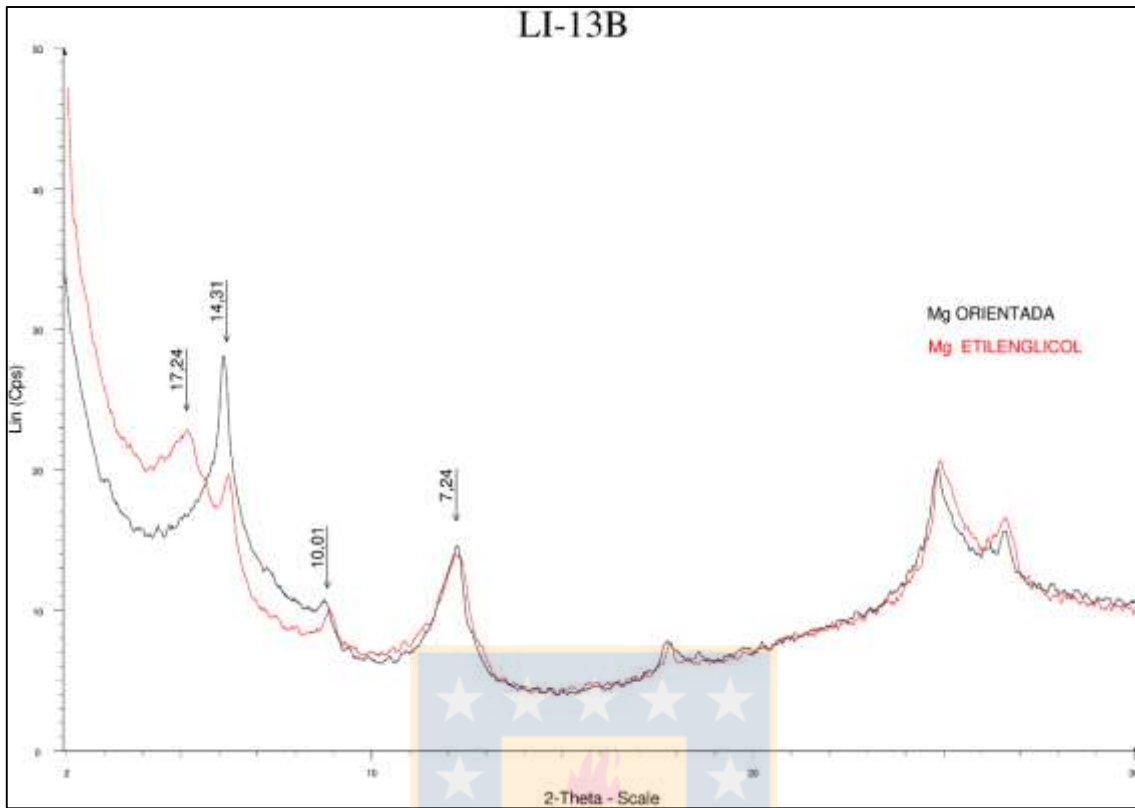






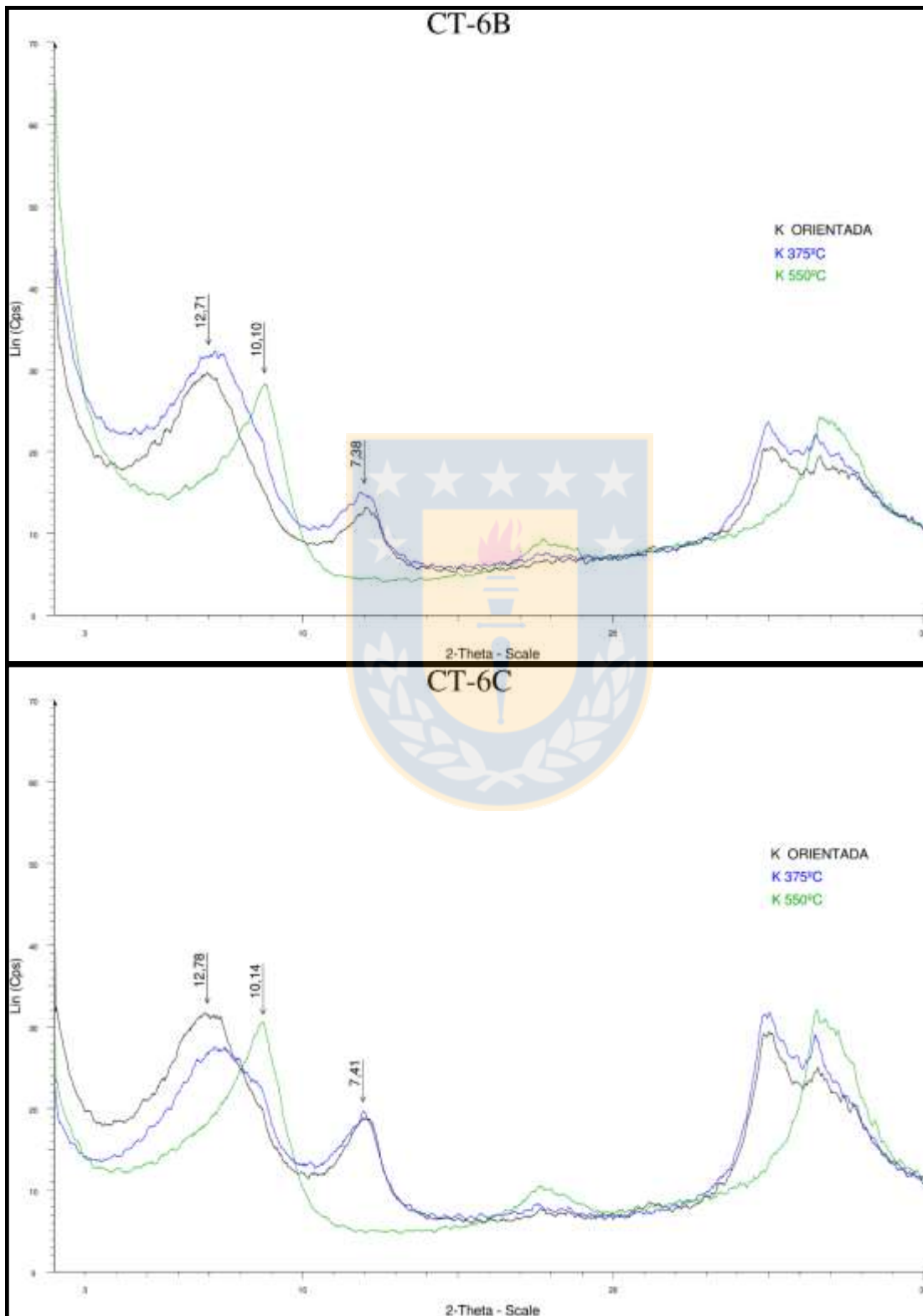
SANTA CRUZ

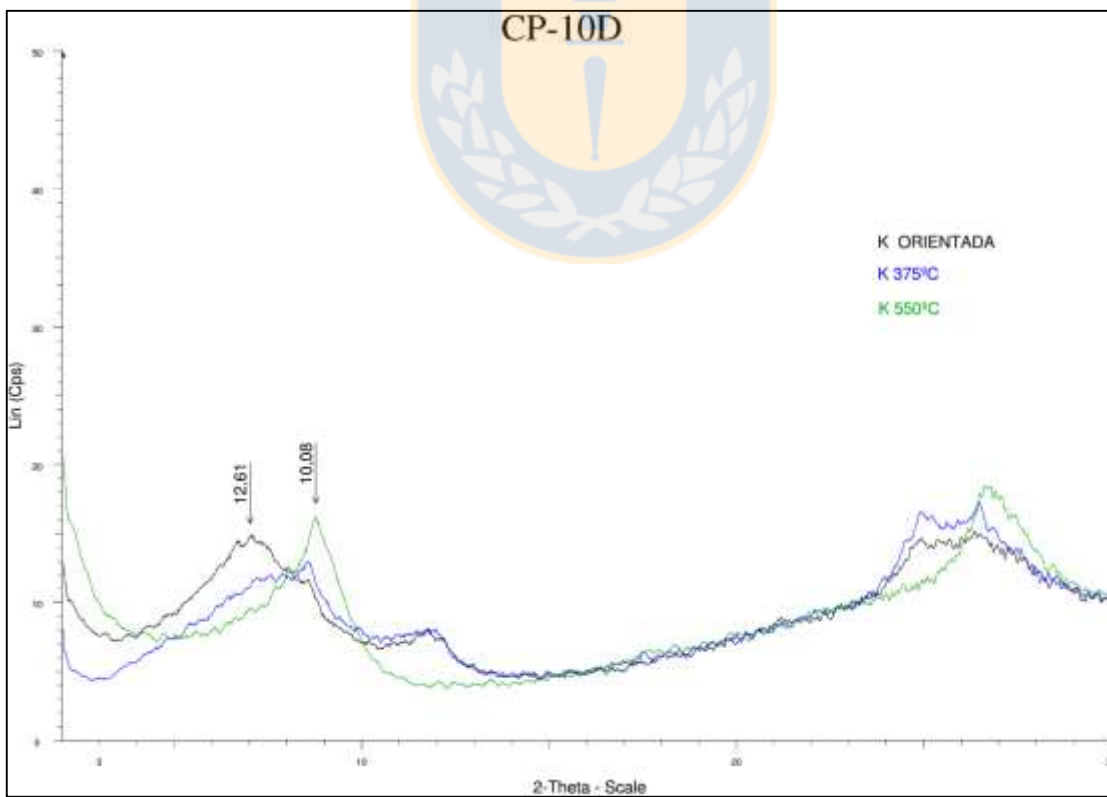
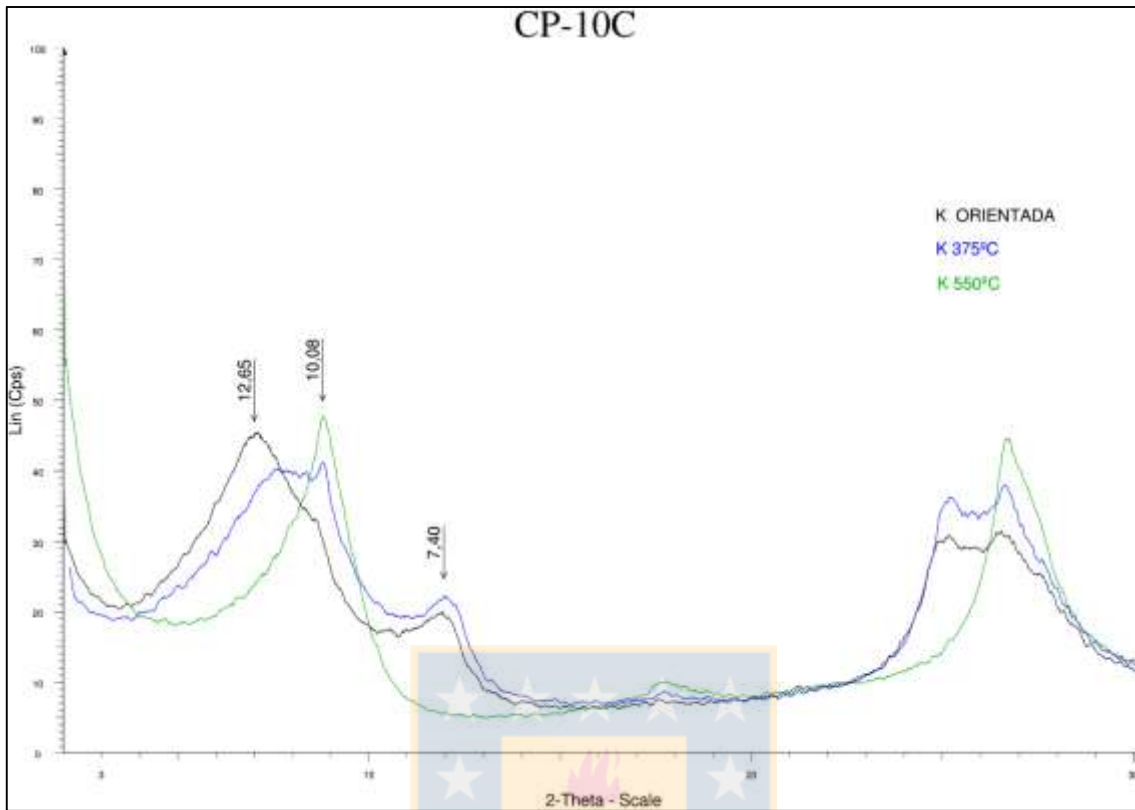


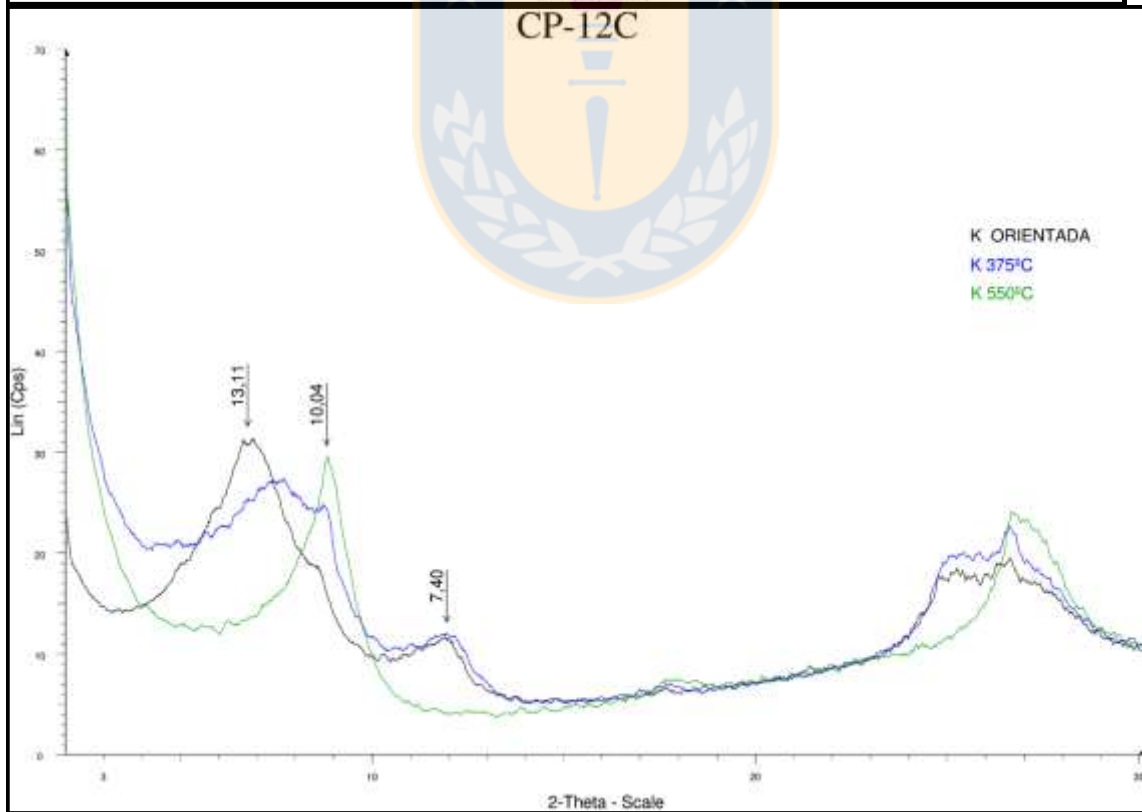
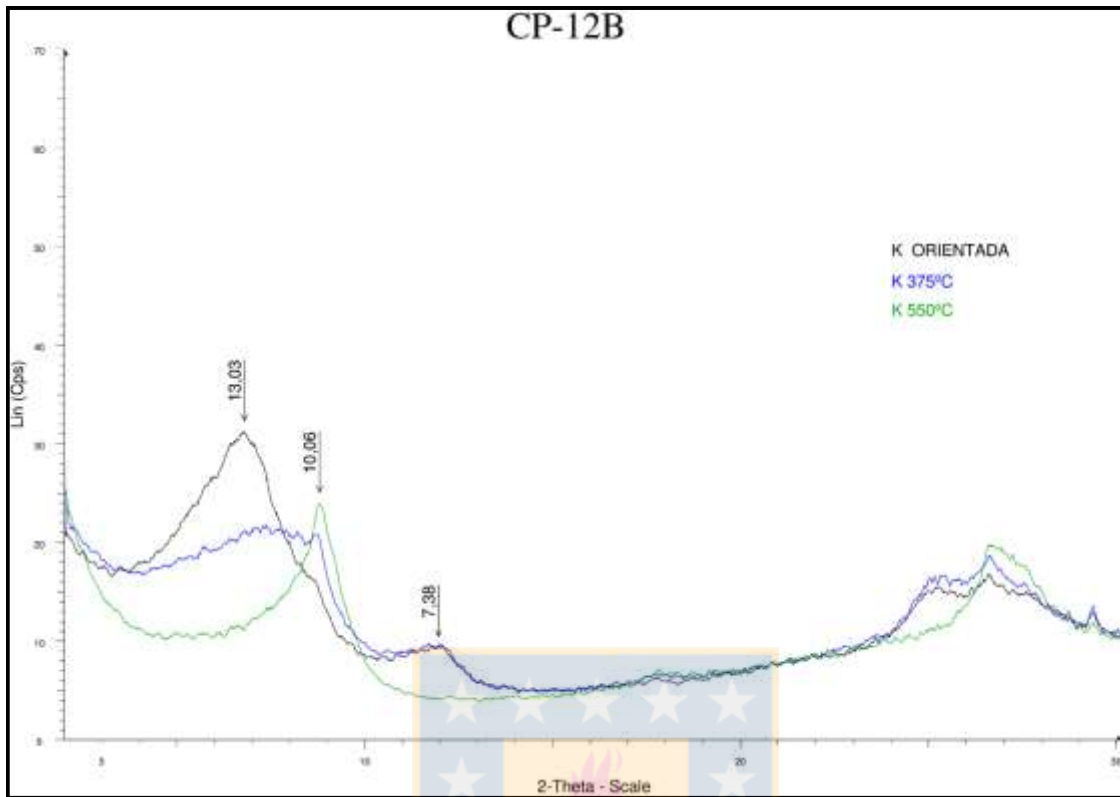


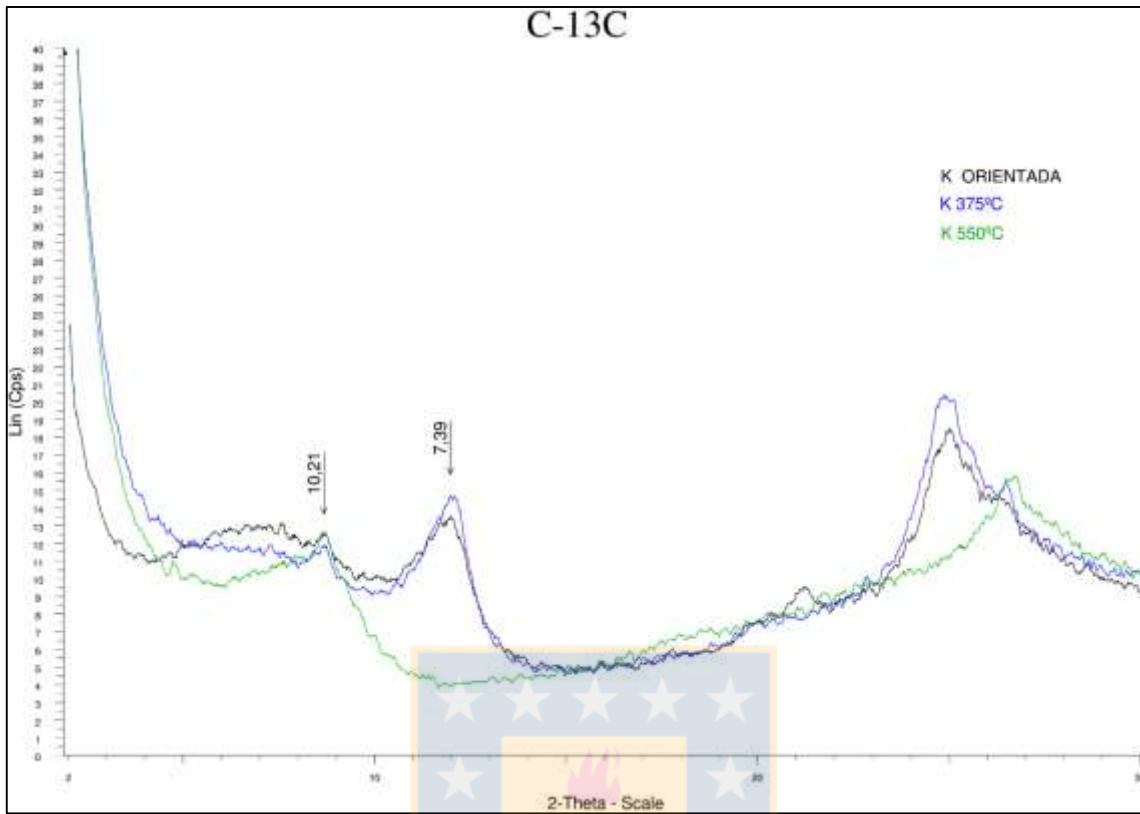
Saturación con potasio (K⁺)

SAN ANTONIO









SANTA CRUZ

