

**MINERALOGÍA DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN  
ALFARERÍA: PRINCIPALES RASGOS DISTINTIVOS DE LOS  
MATERIALES DE LAS LOCERAS DE PILÉN, REGIÓN DEL MAULE Y  
QUINCHAMALÍ, REGIÓN DEL ÑUBLE.**

Memoria entregada a la universidad mayor en cumplimiento de los requisitos para optar  
al título de geólogo

**Ignacio Arenas Orellana.**

**Profesor Guía**

Camilo Sánchez Yáñez

**Profesoras co-guía**

Estefanía Camus Contreras

Francisca Aguilera Banchemero

## Índice

1	Introducción.....	1
1.1	Problemática.....	5
1.2	Hipótesis.....	6
1.3	Objetivos.....	6
1.3.1	Objetivo General.....	6
1.3.2	Objetivos Específicos.....	6
2	Estado del arte.....	6
2.1	Minerales de arcilla.....	13
2.1.1	Caolín.....	13
2.1.2	Esmectitas.....	13
2.1.3	Illita.....	14
2.1.4	Glauconita.....	14
2.1.5	Clorita.....	14
2.2	Cerámica en la Industria.....	15
2.2.1	Cerámica roja.....	17
2.2.2	Cerámica Blanca.....	18
2.2.3	Cerámica refractaria.....	21
2.3	Suelos e influencia de vegetación.....	21
2.4	Antecedentes.....	22
2.4.1	Antecedentes localidad de Pilén.....	23
2.4.1.1	Origen y recolección de materiales en Pilén.....	23
2.4.1.2	Preparación de las piezas en Pilén.....	23
2.4.1.3	Mercado, influencias y actualidad en Pilén.....	24
2.4.2	Antecedentes Localidad de Quinchamalí.....	25
2.4.2.1	Origen y recolección de materiales en Quinchamalí.....	25
2.4.2.2	Preparación de las Piezas en Quinchamalí.....	25
2.4.2.3	Mercado, influencias y actualidad en Quinchamalí.....	27
3	Marco Geológico.....	28
3.1	Clima.....	28
3.2	Geomorfología.....	30
3.3	Estratigrafía.....	31

3.3.1	Estratigrafía Región del Maule.....	31
3.3.1.1	Paleozoico – Mesozoico inferior (290 – 200 m.a).....	31
3.3.1.2	Triásico Superior (235 – 200 m.a).....	31
3.3.2	Estratigrafía Región del Ñuble .....	33
3.3.2.1	Paleozoico – Mesozoico (?) (200 – 290 m.a).....	33
4	Ubicación y Vías de Acceso .....	36
5	Metodologías .....	37
5.1	Acercamiento a la comunidad .....	37
5.2	Etiquetado de muestras.....	37
5.3	Muestreo.....	37
5.4	Preparación de muestras .....	38
5.5	Análisis: Difracción de Rayos X.....	38
5.6	Análisis: Highscore .....	38
5.7	Cuantificación .....	39
6	Resultados.....	39
6.1	Pilén.....	40
6.1.1	Procesos de confeccion.....	40
6.1.2	Distribución de muestras .....	41
6.1.3	Descripción de muestras.....	43
6.1.3.1	P-D1P1 .....	43
6.1.3.2	P-D1P2.....	45
6.2	Quinchamali.....	49
6.2.1	Procesos de confección.....	49
6.2.2	Descripción de muestras.....	49
6.2.2.1	Q-D2P2 (G) .....	50
6.2.2.2	Q-D2P2 (GA).....	52
7	Discusiones.....	54
7.1	Clasificación de materias primas.....	54
7.1.1	P-D1P1.....	55
7.1.2	P-D1P2.....	55
7.1.3	Folleto informativo Pilén.....	56
7.1.4	Q-D2P2(G) .....	57
7.1.5	Q-D2P2(GA).....	57

7.2	Comparación de mineralogía obtenida con minerales de diversas localidades.....	58
7.2.1	Comparación con La Herradura y Monte Patria (Pardo et al. 2011) .....	58
7.2.2	Comparación con Cauquenes y San Vicente de Tagua Tagua (Pardo et al. 2018).....	59
7.3	Preparación de muestras .....	59
7.4	Presencia de Vegetación.....	61
8	Conclusiones .....	63

## Índice de Figuras

Figura 1.	Rango composicional general para la fabricación de cerámica estructural. Extraído de Galán y Aparicio, 2005.....	18
Figura 2.	a) Herramientas utilizadas para la confección de cerámica. b) Pieza de cerámica utilitaria (Frutera). Modificado de Valdés (1990).....	24
Figura 3.	Piezas características de Quinchamalí. A la izquierda una figura zoomorfa típica, a la derecha, figura antropomorfa. Extraído memoriachilena.cl .....	27
Figura 4.	Media histórica de temperaturas entre 1950 y 2022. A: Media de temperatura mínima mensual histórica. B: Media de temperatura máxima mensual histórica. Extraído de la Dirección Meteorológica de Chile, Dirección General de Aeronáutica Civil.....	29
Figura 5.	Mapa geomorfológico general de Chile entre paralelos 34 y 37° latitud Sur. Modificado de IGM (Instituto Geomorfológico Militar).....	30
Figura 6	Geología de las áreas de estudio. Modificado de Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000.....	35
Figura 7.	Imagen con el detalle de la ubicación de las localidades y su posición dentro de la región a la que corresponde cada una. Modificado de Google Maps. ....	36
Figura 8.	Esquema de toma de muestra de suelo. Extraído de Pauta de muestreo de suelos AGROLAB. ....	38
Figura 9	Mapa de localidades estudiadas y las respectivas comunas a las que pertenecen. ....	40
Figura 10	Alfarería siendo oreada.....	41
Figura 11	Mapa de muestreo en localidad de Pilén. A: P-D1P1; B: P-D1P2; C: P-D2P1(G)/P-D2P1(SG)/P-D2P1(S); D: P-D2P2; E: P-D2P3.....	42
Figura 12	Afloramiento de P-D1P1.....	43
Figura 13	Muestra de mano obtenida de P-D1P1 .....	44
Figura 14.	Gráfico de análisis de DRX de P-D1P1. Qz: cuarzo, Ab: albita, Or: ortoclasa, Amp: anfíbola, Chl: clorita .....	45
Figura 15	Afloramiento de P-D1P2. Variaciones de colores amarillo, rojo y rojo oscuro de izquierda a derecha, solo coloración roja oscura utilizada para el colo. ....	46
Figura 16	Muestra de mano obtenida de P-D1P2 .....	46
Figura 17	Gráfico de análisis DRX de P-D1P2. Qz: cuarzo, Ill: illita, Hem: hematita, Mnt:montmorillonita.....	48
Figura 18	Muestra de Q-D2P2 (G) .....	50

Figura 19 Gráfico de análisis DRX de Q-D2P2 (G). Qz: cuarzo, Ab: albita, Sa: sanidina, Chl: clorita, Non: nontronita.....	51
Figura 20 Muestra de Q-D2P2(GA).....	52
Figura 21 Grafico de análisis DRX de Q-D2P2 (GA). Qz: cuarzo, Ab: albita, Mc: microclina, Ill: illita, Chl: clorita.....	53
Figura 22 Folleto informativo Pilén. Destaca las características que aportan los minerales presentes en las materias primas de la localidad. ....	56
Figura 23 Gráfico de peaks de clorita y caolinita. Modificado de Moore y Reynolds 1997.....	61

## Índice de Tablas

Tabla 1. Mineralogía de La Herradura (LH). Variación mineralógica de las arcillas de La Herradura, en variaciones de temperatura de 830, 975, 1080 y 1160°C. Modificado de Pardo et al. (2011).....	9
Tabla 2. Resistencia flexural $\sigma$ (MPa) de loza vs temperatura de calentamiento de cerámica. Modificado Pardo et al. (2011) .....	10
Tabla 3. Mineralogía Regiones VI, VII y Metropolitana. Contenido mineralógico de las muestras obtenidas en las distintas regiones de estudio, indicando el porcentaje presente de cada una. Modificado de Pardo et al (2018) .....	12
Tabla 4 Mineralogía Regiones VI, VII y Metropolitana. Contenido mineralógico de las muestras obtenidas en las distintas regiones de estudio, indicando el porcentaje presente de cada una. Modificado de Pardo et al (2018) .....	12
Tabla 5. Principales rocas utilizadas como materias primas en cerámica. Extraído de Galán y Aparicio, 2005.....	16
Tabla 6.Requisitos granulométricos, mineralógicos y químicos de los caolines para su uso en porcelana de mesa y sanitarios. Extraído de Galán y Aparicio, 2005.....	20
Tabla 7.Temperaturas que soportan los diferentes refractarios según su composición. Extraído de Galán y Aparicio, 2005.....	21
Tabla 8 Resumen minerales de P-D1P1. Qz: cuarzo, Or: ortoclasa, Chl: clorita, Amp: anfíbola	45
Tabla 9 Resumen minerales P-D1P2. Qz: cuarzo, Ill: illita, Hem: hematita, Mnt: montmorillonita .....	48
Tabla 10 Resumen minerales Q-D2P2 (G). Qz: cuarzo, Sa: sanidina, Ab: Albita, Chl: clorita, Non: nontronita .....	51
Tabla 11 Resumen minerales de Q-D2P2(GA). Qz:Cuarzo, Ab: Albita, Mc: Microclina, Chl: Clorita, Ill: Illita .....	53
Tabla 12 Tabla resumen de la mineralogía determinada en todas las muestras analizadas. Qz: Cuarzo, Ab: Albita, Or: Ortoclasa, Amp: Anfíbola, Chl: Clorita, Ill: Illita, Hem: Hematita, Mnt: Montmorillonita, Sa: Sanidina, Non: Nontronita, Mc: Microclina .....	54

## Resumen

Las localidades de Pilén y Quinchamalí se ubican en las regiones del Maule y del Ñuble, respectivamente, cuyo principal atractivo es el desarrollo de alfarería, actividad desarrollada exclusivamente por mujeres y que ha promovido el rol de estas mismas como soporte económico de las familias. Reconocidas en 2014 como tesoros humanos vivos por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura (UNESCO). Hoy en día las alfareras enfrentan una problemática, como lo es el desinterés de generaciones más nuevas por el oficio tradicional que se ha transmitido por décadas. Sumado a lo anterior, la falta de estudios mineralógicos merma el conocimiento del potencial aporte de los minerales de las materias primas utilizadas en alfarería. En vista de lo anterior, mediante el análisis de difracción de rayos x, se pretendió responder la incógnita de cuáles son las características mineralógicas que determinen la coloración y resistencia características de las piezas cerámicas producidas en estas localidades.

El análisis de difracción de rayos x y la cuantificación de los minerales identificados han clasificado a todas las materias primas de las localidades como arcillas rojas, arcillas comúnmente utilizadas para la confección de alfarería, gres, ladrillos, cerámica estructural, azulejos, entre otros. Para la localidad de Pilén el análisis de la materia prima que se utiliza para la confección de la estructural de las piezas cerámicas, se ha clasificado como ideal para esta labor debido al contenido de clorita y cuarzo para aumentar la plasticidad y la función desengrasante, respectivamente. Lo anterior se ve reflejado en piezas más resistentes a fracturas y con mayor capacidad de aislamiento térmico. Por otro lado, el material usado para el sellado de la cerámica contiene un alto contenido de illita y cuarzo, minerales que favorecen a su utilización como gres y/o granulares, al aportar plasticidad y consistencia respectivamente, mientras que la presencia de hematita es lo que le entrega la pigmentación rojiza tan característica al material.

En la localidad de Quinchamalí no se analizaron todas las materias primas que se usan para la confección total de las piezas. Sin embargo, se analizaron los dos materiales principales que se utilizan para dar estructura a la pieza. El análisis de ambas muestras presenta composiciones similares, con alto contenido de albita, lo que infiere directamente en la disminución de la temperatura necesaria en la cocción, para el aprovechamiento máximo aprovechamiento del material. Este mismo alto contenido de albita es lo que sugiere que dichos materiales podrían ser utilizados también como gres y granulares.

# 1 Introducción

Diversas definiciones consideran a las arcillas como un material natural de grano fino, terroso y con la propiedad de comportarse como material plástico cuando contiene cantidades moderadas de agua (Grim, 1962). En lo que se refiere a composición química, los minerales de arcilla son silicatos de aluminio hidratados, los cuales se encuentran dentro del grupo de los filosilicatos. Dichos minerales usualmente tienen tamaños de  $<2\mu\text{m}$ , lo que dificulta su identificación en escala macroscópica, por lo que se utiliza el método de difracción de rayos X para interpolar resultados y poder identificarlos (Moore & Reynolds, 1997). Los minerales que se forman en condiciones específicas de temperatura y presión, como lo son condiciones magmáticas, hidrotermales, metamórficas, y sedimentarias, son inestables en condiciones ambientales normales. Es por esto por lo que la acción de agentes como  $\text{CO}_2$  o  $\text{H}_2\text{O}$ , produce diversos fenómenos al actuar con los minerales más inestables, lo que tiene como consecuencia liberación de cationes, sílice, y recristalización bajo condiciones ambientales (Campos, 1981).

Los minerales de arcilla poseen diversos campos en los cuales pueden ser utilizados, dentro de los que destacan refractarios, porcelana, arenas de moldeo, cerámica estructural, alfarería, entre otros (Galán y Aparicio, 2005). En lo que concierne al presente trabajo, el interés radica principalmente en el uso de minerales de arcilla en alfarería, sin embargo, primero debemos conocer algunos antecedentes de esta.

El arte de la alfarería es una actividad que se ha realizado desde tiempos antiguos por diversos pueblos alrededor de todo el mundo. Dicha actividad tuvo su origen en la necesidad de artefactos utilitarios, como platos, vasijas, y artefactos ornamentales, y funciones espirituales variadas según distintas culturas. Debido a la importancia en su origen, es que el desarrollo alfarero caracterizó a los pueblos precolombinos, como las culturas del norte y centro de nuestro país, las cuales tenían un carácter agrícola (Latcham, 1938). Posterior a la llegada de los europeos hacia la época de la conquista, se produjo un intercambio cultural, el cual se vio reflejado en las formas que adquirieron los productos alfareros de las distintas culturas precolombinas, alcanzando un carácter utilitario (Latcham, 1938), tales como ollas, jarrones, y fruterías.

En el norte de Chile, un ejemplo representativo de la actividad alfarera es el desarrollado por los pueblos ubicados en San Pedro. La cerámica de San Pedro de Atacama destaca por presentar mucha influencia del pueblo Tiwanaku, ubicado al sur del lago Titicaca en Bolivia, y que alcanzó una importancia cultural en los Andes, abarcando a Perú, el noreste de Argentina, y el norte de Chile. Características de las piezas manufacturadas por estas culturas son sus coloraciones rojo fuerte y negras (Berenguer, 2000).

Hacia los valles transversales de Chile, los diaguitas alcanzaron el desarrollo de una alfarería mucho más dirigida a la confección de figuras zoomorfas y antropomorfas. Sin embargo, en los orígenes de dicha actividad confeccionaban platos hondos y escudillas con decoraciones rayadas, para luego evolucionar a diseños más complejos con formas romboidales, triangulares y circulares, para así finalmente llegar al desarrollo de las figuras zoomorfas y antropomorfas, dentro de las cuales destaca el conocido jarro pato (Cantarutti Rebolledo & Mera Moreno, 2004).

Hacia los valles fluviales ubicados entre los ríos Petorca y Cachapoal, se asentaron las comunidades Aconcagua (Sánchez y Massone, 1995), las cuales realizaban principalmente actividades cazadora-recolectora, aprovechando los cursos de los ríos Aconcagua y Maipo para su beneficio. Estas comunidades también confeccionaron piezas cerámicas con una gran dispersión regional, las cuales destacan por presentar una coloración salmón con cuatro variedades, variedad salmón, negro sobre salmón, donde destaca el tipo trinacrio como el más conocido, negro y rojo sobre salmón, y por último rojo, blanco y negro sobre salmón (Sánchez y Massone, 1995).

Radicados en la zona centro sur de Chile se encuentra el pueblo mapuche, el cual ha realizado piezas de alfarería de confección simple y coloraciones comprendidas en gamas de café. De sus creaciones destaca el metawe, que es un recipiente utilitario usado para servir líquidos (Alvarado, 1997), que posteriormente fue evolucionando a jarrones con formas de animales occidentales con manufactura detallada (Joseph, 1931) lo que evidencia una influencia y un uso distinto al uso doméstico convencional (Alvarado, 1997). Comprendidos dentro de la inmensa influencia cultural del pueblo mapuche, se encuentran las localidades de Pilén y Quinchamalí (Valdés, 1990; San Martín, 2017), en las regiones del Maule y el Ñuble respectivamente, las cuales hasta el día de hoy desarrollan el oficio alfarero.



Pilén presenta productos muy apegados a las características generales de la alfarería mapuche (Valdés, 1990), con formas simples y colores naturales, los cuales han evolucionado con el tiempo a piezas más utilitarias de carácter simple, para la utilización en cocina, como ollas, y jarros. Lo anterior se debe a dos factores principales, en primera instancia, la influencia de la llegada de los europeos, que se vio reflejada en el cambio de formas y una predilección por desarrollar piezas utilitarias (Rebolledo, 2016). El segundo factor que contribuyó en este cambio es la demanda turística de utensilios como los mencionados anteriormente (ollas, jarros, platos, etc). Esto debido a que el principal atractivo de la localidad son las piezas de greda, así como también son el principal sustento económico de quienes las confeccionan, las mujeres de Pilén.

Por otro lado, en Quinchamalí confeccionan piezas con un sello característico, siendo conocida la greda negra de Quinchamalí. En esta localidad se producen piezas tanto utilitarias como ornamentales, destacando las zoomorfas y antropomorfas. A diferencia de Pilén, la demanda turística no ha generado un impacto en el cambio de las formas de los productos, siendo uno de los principales atractivos de la localidad las piezas antropomorfas, como “La mujer cantora”, por su forma y su coloración oscura característica.

Si bien la cerámica producida por estas localidades es un sustento económico importante para las diversas familias, existe un factor cultural relevante, que ha provocado en las generaciones más jóvenes, la pérdida de interés en dedicarse a este oficio como sus familiares mayores. Este fue uno de los factores que propició en el 2014 que las mujeres alfareras fueran denominadas como “tesoros humanos vivos” por la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura). El uso de arcillas como principal materia prima para las actividades de alfarería está arraigada a las tradiciones culturales mantenidas a lo largo de los años (Valdés, 1990), de la misma forma que se conservaron los métodos de producción de las cerámicas. Esto se debió a que en la cultura precolombina las mujeres eran las únicas encargadas de la labor heredada (San Martín, 2017), incluyendo la creación de sus propias herramientas (Valdés, 1990), lo que limitó la variabilidad y diversificación del producto y sus métodos.

No obstante, aún existe la problemática de que esta actividad puede desaparecer con el tiempo, debido a la avanzada edad de las principales alfareras. Sumado a esto, el desconocimiento en cuanto a la composición de la materia prima ha limitado su aprovechamiento en base a las propiedades intrínsecas de estas. Existen estudios que definen

a grandes rasgos que el suelo en el centro-sur de Chile está compuesto principalmente por filosilicatos de aluminio, como caolinita, halloysita y alófana (Luzio, 1967), lo que podría implicar que en las localidades de Pilén y Quinchamalí también son abundantes en estos minerales de arcilla, por lo que las piezas cerámicas presentarían las características proporcionadas por los minerales anteriormente mencionados.

Se intuye que la falta de diversificación del uso de arcillas como materia prima, podría deberse al desconocimiento de las alfareras de la composición de sus materias primas (mencionado durante el dialogo fluido con las alfareras en el presente estudio) y la falta de modernización de los procesos del material (falta de una temperatura determinada para la cocción de las piezas). Lo que podría traer como consecuencia la limitación del aprovechamiento máximo de la materia prima, tanto en la alfarería como en otros campos en los que podrían ser propicios para su uso.

El presente trabajo pretende realizar una caracterización mineralógica de las materias primas extraídas en distintos puntos de las localidades de Pilén y Quinchamalí, robusteciendo la línea base de los estudios mineralógicos cercanos a Cauquenes, y aportando nueva información al territorio de Quinchamalí. Dada la importancia de transmitir a la comunidad la información surgida de este trabajo, se contempla la confección de afiches informativos que resuman y den a conocer los resultados, al mismo tiempo que se muestran las propiedades que aportan los minerales reconocidos en las materias primas, otorgando información que potencie las características de las piezas cerámicas a modo de promoción para las alfareras.

## 1.1 Problemática

En el sur de Chile, las regiones del Maule y del Ñuble se caracterizan por presentar estudios geológicos direccionados principalmente a la industria minera, como lo son la búsqueda de metales en sedimentos, y estudios y evaluaciones metalúrgicas. Hasta ahora las ramas como la geoquímica o el estudio de suelos carecen del mismo foco de interés. En relación directa con los suelos se encuentran las arcillas, las cuales son utilizadas preferentemente en estas regiones para el desarrollo de la alfarería. Esta falta de estudios y divulgación de conocimiento científico, en torno al uso de los minerales de arcilla como materia prima, podría estar evitando el aprovechamiento del máximo potencial de estos materiales. El conocimiento de las propiedades fisicoquímicas de las arcillas puede optimizar las características presentes en las piezas de alfarería, tales como su durabilidad y resistencia al calor, y puede abrir nuevos campos de desarrollo económico en que las comunidades puedan plasmar un sello adquirido a través de generaciones. La importancia de la investigación y análisis de las arcillas se debe a que, éstas poseen un valor geológico intrínseco en cuanto a sus características, sobre todo teniendo en cuenta que las piezas cerámicas se han mantenido vigentes por generaciones, destacando con cualidades únicas, en lo que se refiere a sus coloraciones, dureza y resistencia al calor.

El presente estudio pretende responder la pregunta ¿Qué propiedades otorgan los minerales presentes en las materias primas utilizadas para la confección de alfarería en las regiones del Maule y del Ñuble?

## **1.2 Hipótesis**

Las materias primas utilizadas en alfarería en las localidades de Pilen y Quinchamalí, presentan minerales que aportan características a las piezas confeccionadas. Las cuales son, alta resistencia mecánica y resistencia a temperaturas elevadas.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar de forma cuantitativa la mineralogía de las materias primas de los distintos puntos de extracción de las localidades de Pilén y Quinchamalí.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Conocer los procedimientos involucrados en la confección de piezas de alfarería, incluyendo proporción y tipo de materiales, temperatura de cocción, procedimiento de sellado, y tiempo que toma en hacerse cada pieza.
- Determinar las distintas fuentes de extracción de materias primas.
- Caracterizar la geología de los puntos de interés
- Determinar la mineralogía de los puntos de interés.
- Comparar los resultados obtenidos con la mineralogía y características de arcillas en distintas localidades en Chile. Destacando diferencias y similitudes en la composición de los materiales analizados.

## **2 Estado del arte**

Luzio (1967) realizó un análisis mineralógico de cinco suelos cuyo origen se deriva de cenizas volcánicas en Chile, comprendido entre la zona precordillerana de Curicó, hasta Aysén, desde los 36°S a los 46°S. El autor propuso que la amplia extensión de estos suelos, sumado a la variedad climática, favorece el desarrollo de la actividad agrícola.

Los estudios se llevaron a cabo específicamente en las series de suelo de Osorno, Arrayán, Santa Bárbara, Mirador, y Nueva Braunau, en muestras extraídas, a una profundidad máxima de 30 cm del perfil de suelo.

Según los resultados obtenidos del análisis mineralógico, el autor (Luzio, 1967) concluyó que los suelos presentaban un predominio de vidrios volcánicos y feldespatos. Los vidrios eran de composición ácida y básica, por lo que no se identificó una tendencia hacia una composición que predominara, mientras que la degradación de los feldespatos deriva en la formación de minerales de arcilla ricos en aluminio, como caolinita, alófana y halloysita. El autor concluye que la escasez de minerales máficos, como anfíboles y piroxenos, sumado al alto contenido de óxidos, permiten inferir que dichos minerales fueron degradados y provocaron la coloración rojiza de los suelos estudiados.

Valdés (1990) llevó a cabo un estudio recopilatorio de información de las costumbres y tradiciones de la actividad alfarera en la localidad de Pilén. Dentro de éste detalla todos los procesos, desde la obtención de materias primas, hasta el resultado final y cómo se llevan a cabo las ventas de la cerámica.

De este estudio se desprenden diversos términos de jerga alfarera, los cuales son:

- Orear: Dejar que algo se airee para que se seque, pierda la humedad o el olor.
- Engobe: arcilla que puede tener o no coloración, que es utilizada para recubrir una pieza a modo de esmalte, proporcionando una textura terrosa a la misma.
- Barbotina: Tipo de engobe más diluido de consistencia barrosa que se utiliza para pegar piezas en alfarería.
- Colo: Tipo de engobe que se utiliza para dar una coloración café rojiza a las piezas en Pilén.
- Bruñir: es una técnica que consiste en frotar una superficie arcillosa para dejarla pulida. Para esto se pueden utilizar las manos, piedras o implementos de madera.

García Verduch (1985) describió la naturaleza y el comportamiento de los minerales de arcilla, tanto primarios como secundarios, para el uso de alfarería. Detalló las impurezas presentes y cómo se comportan o afectan en el desarrollo de la actividad alfarera. Comprendiendo como

impurezas todos los minerales primarios no arcillosos, además de nombrar que los minerales de arcilla suelen encontrarse juntos, coexistiendo dos o más especies, y en ocasiones formando asociaciones estrechas entre ellos. En cuanto a la formación de arcilla de manera natural, nombra que generalmente se forman cumpliendo ciertas características, como lo son; minerales de arcilla con variaciones morfológicas y estructurales según los iones disponibles, silicatos hidratados, alúmina y óxidos de hierro. Carbonatos con amplia variedad de tamaños, sales solubles, y materia orgánica con residuos carbonosos.

También describió, de forma general, los procesos geológicos que dan origen a las arcillas. Estos procesos corresponden principalmente a temperatura y presión, los cuales al interactuar con las condiciones ácidas, minerales primarios, óxidos, hidróxidos y presencia de fluidos, dan origen a minerales de arcilla. Los minerales formados dependerán de las distintas condiciones de los factores antes mencionados. Por último, propuso el sistema de clasificación Rie, el cual considera condiciones de formación de los yacimientos, y las características cerámicas de las arcillas (Anexo 1). Dicha clasificación contempla 3 grandes grupos, como lo son arcillas residuales, arcillas coluviales, y arcillas transportadas. Las arcillas residuales se forman por la meteorización y alteración de la roca madre, por lo que suelen ser una mezcla de granos de sílice, roca inalterada y granos de otros minerales más resistentes a la meteorización, dentro de este material la fracción de tamaño arcilla puede variar entre el 10 y 90%. De este grupo el mineral de arcilla que más destaca es el caolín, ya que suele presentar impurezas de minerales primarios (roca inalterable), por lo que es fácil separarlos y aprovechar el caolín de forma más pura.

Las arcillas coluviales son muy similares en origen a las arcillas residuales, la diferencia es que estas han sufrido transporte ya sea por deslizamientos o por lluvias, lo que indica que son proximales a la roca de origen.

Las arcillas transportadas son las más abundantes, y se diferencian de las arcillas residuales en sus características granulométricas, ya que debido al transporte ocurre la segregación de granos de minerales como cuarzo, feldespato, entre otros. El tipo y energía del agente que transporta el material definirá las características y tipo del depósito, dentro de los que pueden ser depositadas por agua, glaciares o viento.

Pardo *et al.*, (2011) en las localidades de San Vicente de Tagua Tagua y Litueche, región del Libertador Bernardo O'Higgins, y La Herradura, Monte Patria, y Las Compañías región de Coquimbo, estudió composición mineralógica de arcillas y los cambios que ocurren en estas durante el proceso de cocción de cerámica al exceder los límites de estabilidad de ciertos minerales, los cuales son parcialmente descompuestos, mientras que otros se forman de manera simultánea. Las muestras fueron dejadas secar a 110°C y posteriormente reducidas a un tamaño de 63 µm, para luego ser humectadas con agua (6%) y ser calentadas a 830, 975, 1080 y 1160°C. Ya con todas las muestras calentadas a las temperaturas antes mencionadas, se procedió al análisis de difracción de rayos x, de forma general se observa que minerales como illita se conservan hasta los 975°C, mientras que anorthita alcanza su máxima presencia a 1160°C en La Herradura (Tabla 1), Monte Patria (Anexo 2), y Las Compañías (Anexo 3), la descomposición de clorita da origen a diópsido, espinela es formada a partir de los 1080°C en San Vicente de Tagua Tagua (Anexo 4). Por otro lado, pasados los 1160°C el material se vuelve amorfo con algunos granos residuales de cuarzo y hematita formada durante el calentamiento.

Tabla 1. Mineralogía de La Herradura (LH). Variación mineralógica de las arcillas de La Herradura, en variaciones de temperatura de 830, 975, 1080 y 1160°C. Modificado de Pardo *et al.* (2011)

<b>Fase Mineral</b>	<b>LH 830°C</b>	<b>LH 975°C</b>	<b>LH 1080°C</b>	<b>LH 1160°C</b>
Cuarzo	>20%	>20%	>15%	>15%
Cristobalita	-	-	<5%	>5%
Microclina	>10%	>10%	>5%	>5%
Albita	>15%	>10%	-	-
Anorthita	>5%	>10%	>15%	>20%
Hematita	>5%	>5%	>5%	>5%
Diopsido	>5%	>5%	>5%	<5%
Augita	-	-	<5%	<5%
Illita	>5%	<5%	-	-

Además, el autor también estudia la resistencia flexural de la cerámica de todas las localidades estudiadas (Tabla 2), dentro de las cuales Monte Patria y Las Compañías no pudieron ser analizadas debido a la deformación sufrida por el material luego del proceso de calentamiento a 1100°C. En cuanto a las localidades restantes, las muestras de San Vicente de Tagua Tagua y La Herradura presentan una resistencia flexural alta, suficiente para cumplir el estándar europeo (EN 14411:2004) de producción de revestimiento y pavimento de baldosas cerámicas,

mientras que las muestras de Litueche presentan una resistencia flexural significativamente más baja ( $< 4\text{Mpa}$ ), mostrando un comportamiento refractario. En cuanto a los usos propuestos, se menciona que el material de San Vicente de Tagua Tagua y La Herradura cumplen con las especificaciones para ser usadas como loza de barro, mientras que el material de Litueche (Anexo 5) presenta un comportamiento refractario por su composición de cuarzo y microclina (aparición de mullita a los  $1160^{\circ}\text{C}$ ), sin embargo, la temperatura requerida para el sellado de los poros en cerámica arcillosa caolinítica es demasiado alta e imposible de alcanzar para los hornos utilizados en dicha localidad.

Tabla 2. Resistencia flexural  $\sigma$  (MPa) de loza vs temperatura de calentamiento de cerámica. Modificado Pardo et al. (2011)

Muestra	Sintetizado a $1100^{\circ}\text{C}$
SVTT	$31 \pm 5$
LC	-
LH	$97 \pm 12$
MP	-
L	$4 \pm 0,5$

Según los resultados obtenidos por Pardo *et al.* 2011, las arcillas de La Herradura y San Vicente de Tagua Tagua, pueden cumplir con las especificaciones de resistencia para ser usadas como loza de barro. Esto debido a que presentaron una plasticidad media (San Vicente de Tagua Tagua) a una plasticidad muy alta (La Herradura). La arcilla de Litueche posee un claro comportamiento refractario por su composición de cuarzo y microclina (aparición de mullita a los  $1160^{\circ}\text{C}$ ), además de su baja plasticidad de 4 Mpa, sin embargo, la presión y temperatura que alcanzan los hornos locales no es suficiente para cerrar los poros del caolín, por lo que no es aprovechada en su máximo potencial.

En el 2014 el Consejo Nacional de la Cultura y las Artes (CNCA) comenzó un plan de trabajo de conservación de patrimonio cultural. Bajo esta agenda de investigaciones participativas se realizó el estudio de San Martín (2017), el cual recopila diversos antecedentes y analiza desde distintos puntos de vista el oficio alfarero de las localidades de Quinchamáli y Santa Cruz de Cuca. De los resultados se obtiene información acerca de; la metodología de trabajo alfarera en detalle, las influencias culturales de la forma de los productos, la situación socio económica de



los locales, dinámicas internas, y los riesgos naturales y antrópicos en los que se ve envuelto tanto el territorio, como la actividad en sí. Por otro lado, también nombran que los suelos de Quinchamalí son clasificados como Molisoles, los que presentan características como coloración oscura, alto contenido de materia orgánica y arcillas. Nombra además que estos suelos se forman debido a la superposición constante de sedimentos entre sedimentos aluviales y cenizas volcánicas, sedimentos fluvio-glaciales, además de tobas e ignimbritas.

Pardo *et al.*, (2018) realizó un estudio centrado en el comportamiento de arcillas de distintas localidades de Chile, las que corresponden a Pirque (Región metropolitana), Malloa (Región del Libertador Bernardo O'Higgins), y Cauquenes (Región del Maule). Dentro del comportamiento estudiado, se analizaron 9 muestras para determinar composición química, mineralógica en roca total y fracción de arcillas ( $< 2\mu\text{m}$ ) e índice de plasticidad.

Según el resultado de análisis de fluorescencia de rayos x la región Metropolitana presenta alto contenido de sílice (59,60%), óxido de aluminio sobre el 16,20% en todas las muestras y un alto contenido de óxidos de hierro (6,35%) (Anexo 6). La región del Libertador Bernardo O'Higgins también posee un alto contenido de sílice (50,5%), alto contenido de óxidos de hierro (10,4%) y un contenido de óxidos de aluminio del 20,3%. Las muestras de la región del Maule poseen un contenido de sílice de 57,6%, óxidos de aluminio 16,8% y alto contenido de carbonatos (3,92%).

La mineralogía de las muestras de la región Metropolitana es abundante en contenido de cuarzo y feldespatos, seguidos en menor abundancia por clorita, sepiolita y hematita (Tabla 3, muestra 1). En la región del Libertador Bernardo O'Higgins los minerales principales son albita, cuarzo, y en menor cantidad caolinita, además de presencia de illita, clorita, hematita y talco  $< 5\%$  (Tabla 3, muestras 2, 3 y 4). Al igual que la región anterior, los minerales con mayor abundancia en la región del Maule son cuarzo, albita y en menor cantidad caolinita (Tabla 3, muestras 5,6,7,8 y 9) con baja presencia de illita y clorita ( $< 5\%$ ). Según la mineralogía identificada el autor clasifica las arcillas en dos grupos, el primero corresponde al grupo con alto contenido de caolinita de las regiones de O'Higgins y Maule, cuyo contenido es mayor al 15% (Tabla 4). El segundo grupo propuesto es el de bajo contenido de caolinita, donde la presencia de dicho mineral no supera el 5% de contenido en análisis de roca total.

Tabla 3. Mineralogía Regiones VI, VII y Metropolitana. Contenido mineralógico de las muestras obtenidas en las distintas regiones de estudio, indicando el porcentaje presente de cada una. Modificado de Pardo et al (2018)

Muestra		Roca Total										
Región	N	Q	Ab	Fd	Cc	Hem	I/M	K	Cl	Talc	Sep	Tlc
VII (Caolines)	5	>15%	-	<5%	(.)	>5%	<5%	>10%	-	-	-	-
VII (Caolines)	6	>20%	>15%	<5%	(.)	>5%	-	<5%	>5%	>5%	-	-
VII (Caolines)	7	>20%	-	-	(.)	>10%	<5%	>10%	-	-	-	-
VII (Caolines)	8	>20%	-	>10%	(.)	>5%	<5%	>10%	-	-	-	-
VI-SVTT	2	>15%	>20%	>5%	-	>5%	<5%	>5%	<5%	-	-	-
VI-L	3	>20%	-	>15%	-	-	<5%	>10%	-	-	-	-
Metro	1	>20%	-	>10%	-	<5%	-	-	<5%	-	<5%	-
VI	4	>15%	>20%	-	-	<5%	<5%	>5%	<5%	-	-	>5%
VII	9	>20%	>15%	-	-	-	<5%	>5%	<5%	-	-	-

Tabla 4 Mineralogía Regiones VI, VII y Metropolitana. Contenido mineralógico de las muestras obtenidas en las distintas regiones de estudio, indicando el porcentaje presente de cada una. Modificado de Pardo et al (2018)

Muestra		Tamaño arcilla (< 2µm)							
Región	N	Q	Cc	Ab	Fd	I/M	K	Cl	
VII (Caolines)	5	>5%	-	-	-	>5%	>20%	<5%	
VII (Caolines)	6	>10%	-	-	-	-	>15%	>10%	
VII (Caolines)	7	>10%	-	-	-	>5%	>20%	<5%	
VII (Caolines)	8	>10%	-	-	<5%	>5%	>20%	<5%	
VI-SVTT	2	<5%	-	<5%	-	>15%	>15%	-	
VI-L	3	>15%	-	-	>10%	>5%	>20%	-	
Metro	1								
VI	4								
VII	9								

En cuanto al análisis de plasticidad las muestras de la región del Maule son las que muestran mayor plasticidad (Anexo 7), mientras que las muestras de la región de O'Higgins presentan un encogimiento más notorio en comparación al resto en la etapa de secado. El autor propone que, según la mineralogía y plasticidad de las muestras estudiadas, las arcillas del Maule son ideales para ser utilizadas en pavimentos, revestimiento, cerámica estructural y ladrillos semi refractarios. Las arcillas de O'Higgins presentan mejores características para la producción de

azulejos de cerámica y, por último, las arcillas de la región Metropolitana son ideales para cerámica estructural, gres y azulejos.

## **2.1 Minerales de arcilla**

Los minerales de arcilla son silicatos de aluminio hidratados, los cuales se clasifican como filosilicatos, o silicatos estratificados. Dentro de estos minerales existen variaciones de propiedades físicas y químicas, sin embargo, la mayoría comparte la característica de una morfología laminar y clivaje perfecto en (001), rasgo derivado del ordenamiento de su estructura atómica laminar (Anexo 8) (Moore & Reynolds, 1997).

### **2.1.1 Caolín**

El caolín es un mineral de arcilla calificada como un silicato de aluminio hidratado (Mesa, J.M, 1992), cuya estructura se compone de tetraedros de sílice y octaedros de alúmina (1:1) (Anexo 8B), ordenados de tal forma que los vértices de los tetraedros quedan alineados con los vértices aniónicos de los octaedros. Dichas laminas se unen por enlaces de hidrogeno entre los grupos OH de los octaedros y los átomos de oxígeno pertenecientes a los tetraedros (Bartolomé. J.F, 1997). Dentro de los minerales del grupo del caolín se distinguen polimorfos en función del tipo de enlaces entre laminas, como lo son la caolinita, nacrita y dickita. Por otro lado, también existe la halloysita y metahalloysita (Berthier. P, 1826), los cuales son minerales de composición similar a la caolinita, sin embargo, estas poseen una capa de moléculas de agua intralaminar, por lo que aumenta su espacio basal. Bajo este mismo concepto la halloysita se distingue de la metahalloysita por el contenido de agua, la primera es un mineral hidratado, mientras que la segunda posee menor contenido de agua (Bartolomé. J.F, 1997).

### **2.1.2 Esmectitas**

Las esmectitas son un grupo de minerales de arcilla que ocurren como partículas de tamaños menores a  $2\mu\text{m}$ , por lo que la identificación precisa de la especie recae en la formula estructural de la misma (Grim, 1968). Estos minerales arcillosos son del tipo 2:1 (Anexo 8C), compuestas por capas tetraédricas y octaédricas. Dentro de los minerales considerados como esmectitas se encuentran la montmorillonita, beidelita, nontronita, saponita y hectorita (Gallaga Ortega, 2002). Weaver y Polland (1975) mencionan que de la fórmula estructural de los minerales de arcilla se pueden obtener la composición de capas octaedritas y tetraédricas, la carga de capa, y el

número y tipo de cationes de la capa octaédrica, dicha carga es la que finalmente diferencia entre las distintas especies de esmectitas existentes.

### **2.1.3 Illita**

La illita guarda muchas similitudes composicionales con la muscovita, sin embargo, se diferencia en que posee mayor contenido de Si, Mg y agua, pero menos tetraedros de aluminio y potasio entre capas (Moore & Reynolds, 1997). Grim *et al.* (1937) menciona que el término illita es ambiguo y se utiliza para referirse a material micáceo de tamaño arcilla. Por otro lado, Moore & Reynolds (1997) utilizan el término illita para referirse a un mineral específico, como el miembro final de una serie de composición mineral, el cual puede poseer hasta un 5% de contenido de otro mineral interstratificado, comúnmente esmectita, pero también puede ser vermiculita o en ocasiones clorita.

### **2.1.4 Glauconita**

La glauconita forma parte de la serie de minerales relacionados genéticamente con la esmectita e illita (Odin y Létolle, 1980). Se define como un silicato de Fe, con un déficit intralaminar (Rieder *et al.*, 1999), estructuralmente es una especie de mica de octaédrica (2:1) rica en K y Fe<sup>3+</sup>, con tetraedros de Al (Lopez *et al.*, 2019).

### **2.1.5 Clorita**

Es un mineral perteneciente al grupo de las micas, estructuralmente compuesto por capas de silicatos (2:1) (Anexo 8C) con una capa interstratificada de cationes octaédricos (Moore & Reynolds, 1997). Dentro de los cationes que pueden pertenecer a la sustitución de cloritas se encuentran; Mg, Al, Fe<sup>2+</sup> y Fe<sup>3+</sup>. En partículas de tamaño < 2µm se tiende a confundir con caolinita en difracción. Estrada (1994) menciona que existen diversas técnicas para diferenciar estos minerales. La primera corresponde a la diferencia en la velocidad de barrido en reflexión 002 y 004 en caolinita y clorita, respectivamente. Sin embargo, existen especies de cloritas y caolinitas con reflexiones en ángulos muy similares. El segundo método corresponde al calcinado de la muestra a 550°C, lo que provoca que la clorita permanezca intacta, mientras que la caolinita tiende a colapsar a estas temperaturas (Caillere y Henin, 1963). El tercer método consiste en usar ácido clorhídrico para disolver la clorita presente, mientras que la

caolinita permanece intacta. En ocasiones algunas especies de clorita son resistentes al tratamiento con ácido, por lo que se disuelven de forma parcial y pueden tener como consecuencia una lectura errónea en la difracción (Kodama y Oinuma, 1963).

## **2.2 Cerámica en la Industria**

En la industria de la cerámica, la materia prima utilizada corresponde en forma general a silicatos y rocas silicatadas. El origen de estas es variado, pueden ser ígneas, metamórficas y sedimentarias.

Con relación a las rocas sedimentarias destacan: caolín, bauxita, caliza, dolomía y areniscas (Tabla 5). Cuya composición generalmente presenta minerales como cuarzo, feldespatos y derivados de la degradación de estos, como en el caso de caolinita.

Con respecto a las rocas metamórficas, las más utilizadas son pizarra, serpentinita y cuarcita, con abundancia de minerales similares a los mencionados en rocas sedimentarias.

Por otro lado, el granito es la roca ígnea más destacada en la utilización como materia prima en cerámica.

En cuanto a los criterios de selección del material, estos están sujetos al producto que se desee generar, basado en las características que aporten los minerales. No obstante, son limitados por la disponibilidad del mismo material apto para la creación del producto. Para las cerámicas estructurales las limitaciones son escasas, ya que el rango de composición ideal para esta práctica es bastante amplio y, como consecuencia, bastante abundante. Mientras que, para productos refractarios o porcelana artística, las materias primas son mucho más escasas y caras (Galán y Aparicio, 2005).

Tabla 5. Principales rocas utilizadas como materias primas en cerámica. Extraído de Galán y Aparicio, 2005

Nombre de la Roca	Mineralogía esencial	Fórmula Mineral
Caolín	Caolinita y metahalloysita	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$
	Halloysita	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8 \cdot 4H_2O$
	Feldespato	
	Cuarzo	
	Illita (mica degradada y de tamaño pequeño)	
Arcilla Refractaria	Caolinita	
	Cuarzo	
	Illita	
Bauxita	Gibbsita	$Al(OH)_3$
	Díásporo	
	Bohemita	$\alpha-AlO(OH)$
	Cuarzo	
	Caolinita	$\gamma-AlO(OH)$
Granito	Óxidos de fe	
	Cuarzo	
	Feldespato	
	Moscovita	$KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$
	Biotita	$K(Al,Mg,Fe)_3Si_3AlO_{10}(OH,F)_2$
Pizarra	Cuarzo	
	Feldespato	
	Illita	
	Clorita	$(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$
Caliza	Calcita	
	Aragonita	$CaCO_3$
Dolomía	Dolomita	$(Ca,Mg)(CO_3)_2$
Serpentinita	Crisotilo y Antigorita	$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$
Arenisca Cuarcita	Cuarzo	
Arcillas cerámicas	Cuarzo	
	Calcita	
	dolomita	
	caolinita	
	illita	
	clorita	
	vermiculita	
	óxidos de Fe	
montmorillonita	$(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4(OH)_2O_{10} \cdot X^+_{07} \cdot nH_2O$	

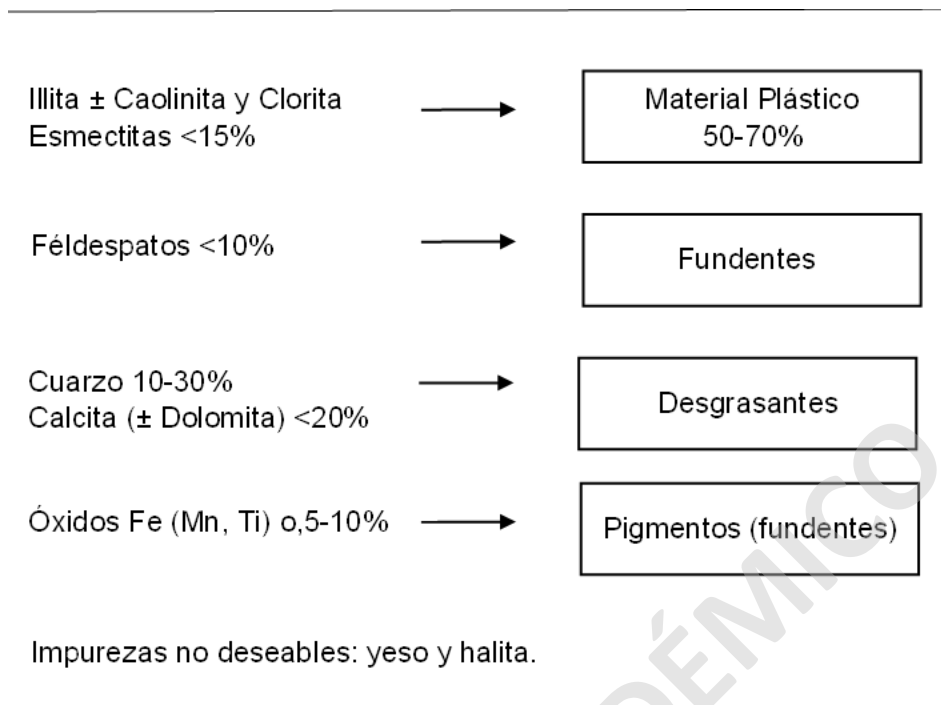
Según la temperatura de cocción de la cerámica y la coloración final del producto, estas se clasifican como:

- Productos de color: Cerámica estructural (850 - 1100°C). Las arcillas empleadas para este producto son arcillas de color, por lo general arcillas rojas.
- Productos de cocción blanca (1100 - 1250 °C). Las arcillas utilizadas para estos productos son arcillas blancas, como arcillas caoliníferas.
- Productos refractarios (>1450 °C). Los materiales refractarios pueden ser tanto arcillas refractarias, como otras materias primas, según el tipo de producto que se desee obtener.

### **2.2.1 Cerámica roja**

La cerámica roja o de color, es materia prima que se utiliza en cerámica o materiales de construcción, como lo son: ladrillos, pavimento, tejas, vigas. Además, al ser acabados con vidriado, se emplean como piezas decorativas, principalmente azulejos.

El origen de este material está dado por arcillas comunes, margas y/o pizarras. Estas presentan una plasticidad media, suficiente para poder ser moldeadas a mano y sin mayor esfuerzo (Kingery, 1960). Dentro de los minerales que pueden ser encontrados en estas arcillas, destaca la illita, clorita, cuarzo y algunos carbonatos. Mientras que en cantidades menores puede haber presencia de caolinita, feldespatos y óxidos de hierro. (Enrique y Amorós, 1985; Galán y Aparicio, 2005). En la figura 1 se observan los porcentajes de abundancia de los minerales y la función que estos cumplen en la fabricación de cerámica estructural, donde la plasticidad y resistencia a fractura (resistencia mecánica) está dada por minerales como illita, caolinita y clorita (50 - 70%), el cuarzo (10 - 30%) otorga consistencia y resistencia a cambios de temperatura, y los feldespatos (<10%) disminuyen la temperatura necesaria de cocción para que el material alcance el máximo potencial de la estructuralidad de los minerales.



*Figura 1. Rango composicional general para la fabricación de cerámica estructural. Extraído de Galán y Aparicio, 2005*

Galán y Aparicio (2005) proponen otra clasificación según la composición ideal para producir alfarería, material estructural y gres:

- En la alfarería las proporciones ideales son un bajo contenido de alúmina (16 - 23%) y un alto contenido de óxidos de hierro. El contenido de carbonatos influirá en la coloración del producto final, menos contenido de carbonato genera un producto más rojizo, mientras que mayor contenido de carbonato genera un producto más blanco amarillento.
- Para los materiales estructurales, la composición química es más variada, sin embargo, debe poseer altos contenido de sílice y hierro total (Palmonari y Terraglia, 1985).
- Para los granulares y gres, se utilizan arcillas y pizarras ricas en illita y caolinita, con abundante contenido de cuarzo y feldespatos.

### 2.2.2 Cerámica Blanca

La principal materia prima utilizada para la cerámica blanca, son arcillas caoliníferas, las cuales pueden ser de origen sedimentario o residual, donde más del 50% de su composición corresponde a minerales del grupo del caolín. Debido a su alto contenido de material fino <



2 $\mu$ m, se utilizan de forma directa, aunque a veces pueden pasar por procesos de molienda y tamizado. Este grupo de arcillas caoliníferas se dividen en arcillas plásticas o semi plásticas, y “*fire - clays*” Las primeras son arcillas plásticas con alta refractariedad y capacidad de aglomeración, poseen bajo contenido de óxidos de hierro y según la calidad de estas, son muy resistentes al calor, alcanzando un valor PCE (Pyrometric Cone Equivalent) 26-33 en conos pirométricos. Por otro lado, las “*fire - clays*” poseen un punto de fusión más alto, que alcanza los 1450°C, con presencia de minerales accesorios como cuarzo o illita, lo que provoca que el producto una vez cocido no sea blanco y más bien presente coloraciones cafés y amarillentas (Galán y Aparicio, 2005)

Los minerales del grupo del caolín son politipos a partir de la fórmula  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ , que corresponden a caolinita, nacrita y dickita. (Linares et al, 1983; Galán y Aparicio, 2005). También la halloysita posee la misma fórmula, pero presenta 4 moléculas de H<sub>2</sub>O en su estructura. Minerales asociados al grupo del caolín son illita, esmectita, clorita, vermiculita, cuarzo, feldespatos alcalinos, biotita, moscovita, óxidos de hierro y titanio, y algunos minerales accesorios, como turmalina, circón, pirita, alunita y zeolita.

Esta materia prima se utiliza para fabricar diversos productos de valor añadido. La composición de la pasta cerámica para sanitarios, esmaltado, porcelana artística, pavimento, revestimientos y gres, con un porcentaje que varía entre 10 y 40 %, se mezcla con cuarzo (20 - 30%) y feldespatos (< 30%). Dentro de las características de la cerámica fabricada con caolín, destaca que, son impermeables, blancas y resistentes al ácido. Mientras que las características de la materia prima propiamente tal son, alta plasticidad, que facilita el moldeo, alta resistencia mecánica, tanto en crudo como en cocido, y buena velocidad de colaje. (Galán y Aparicio, 2005). En la tabla 6 se especifican los requisitos de la materia prima en la producción de porcelana de mesa y sanitarios, los cuales destacan por su alto contenido de caolinita ( $\geq 80\%$ ), bajo contenido de cuarzo (0 – 5%), y difieren en la abundancia de illita y feldespatos, donde la mayor presencia de illita en sanitarios tiene como inferencia una mayor resistencia mecánica propia del uso que se les da a estos productos.

Tabla 6. Requisitos granulométricos, mineralógicos y químicos de los caolines para su uso en porcelana de mesa y sanitarios. Extraído de Galán y Aparicio, 2005

Uso	Granulometría	Mineralogía	Composición Química
Porcelana de mesa	100% <63µm	Caolinita >80% Cuarzo 5% Illita + Esmectita + Feldespatos <3%	SiO <sub>2</sub> <50% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 34% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 0,5% TiO <sub>2</sub> < 0,1% CaO < 3% K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O < 3% P.C > 10%
Sanitarios	>53µm: 0,1–0,05% >10µm: 18–25% <2µm: 38–40%	Caolinita 80–85% Illita 10–15% Feldespatos 0–1% Cuarzo 0–2%	SiO <sub>2</sub> : 46 – 48% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 37 - 38% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0,7 - 0,8% TiO <sub>2</sub> : 0,06 - 0,07% MgO: 0,15 - 0,24% CaO: 0,08 - 0,10% K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O: 1,5 - 2%

### 2.2.3 Cerámica refractaria

La materia prima que se utiliza en la producción de cerámica refractaria corresponde a arcillas caoliníferas, específicamente “arcillas duras”, cuyo endurecimiento se debe a procesos de diagénesis o salinización en sedimentos volcánicos ácidos (Galán y Aparicio, 2005). Como características principales presentan una gran dureza, alta densidad, fractura concooidal, baja plasticidad con adición de agua, y alta refractariedad (PCE 33-35). Una práctica común es el uso de chamota en arcillas refractarias, la cual se forma a partir de la mezcla de arcillas duras y “fire – clays” por calcinación, obteniendo como resultado una arcilla calcinada con 35 a 47% de  $Al_2O_3$ . El  $Al_2O_3$  se aglomera con arcillas caoliníferas y se pueden obtener productos con un alto porcentaje de alúmina (>90%), mientras que un material refractario con un 45% de contenido de  $Al_2O_3$  puede soportar temperaturas de hasta  $1545^{\circ}C$ , la cual es una de las temperaturas más bajas que soportan los refractarios (tabla 7). Dentro de los productos generados por esta materia prima se encuentran ladrillos refractarios (utilizados en chimeneas o parrillas), cerámicas refractarias, además de algunos componentes para reactores, automóviles y material de laboratorio (Galán y Aparicio, 2005).

Tabla 7. Temperaturas que soportan los diferentes refractarios según su composición. Extraído de Galán y Aparicio, 2005

Refractario	Temperatura
Si-Al (45% $Al_2O_3$ )	$1445^{\circ}C$
Sílice (>95% $SiO_2$ )	$1670-1700^{\circ}C$
CaO y MgO	$2570-2800^{\circ}C$
$SiO_2$ -MgO (forsterita)	$1900^{\circ}C$
FeO- $Cr_2O$ (cromita)	$1700-1850^{\circ}C$

### 2.3 Suelos e influencia de vegetación

Tarback y Lutgens (2005) definen suelo como la combinación de material mineral, material orgánico, agua y aire. En esta combinación, las proporciones son variables, sin embargo, como regla general la mitad del volumen del suelo se compone de roca meteorizada (material mineral), los cuales pueden variar en tamaños arena, arcilla y limo, y restos de materia orgánica descompuesta (animal y vegetal). Para diferenciar el suelo con roca sólida los autores mencionan diversos métodos. Para efectos del presente trabajo se considera el método que consiste en poner el material en un recipiente y rellenarlo con agua, una vez hecho esto se

agita, y si el material se disuelve, se considera suelo, en caso contrario se sigue considerando roca.

Carimentrand *et al.* (2002) realizó un estudio de impacto ambiental en plantaciones forestales de eucalipto, en el cual comprueba lo propuesto por otros autores al mencionar que los eucaliptos disminuyen el pH del suelo mediante la absorción de elementos como Mg, Ca y K. Estos estudios se han realizado mediante la evaluación de calicatas de 0-30cm y 30-60cm de profundidad. Con estas evaluaciones concluye que los efectos de los eucaliptos son acidificar el suelo y presentar una baja fertilidad natural. Además, menciona que 6 años no es tiempo suficiente para que el eucalipto absorba todos los nutrientes, como los elementos mencionados anteriormente, pero que el pH sí disminuye de forma inmediata, mostrando una tendencia de seguir disminuyendo con el tiempo y volver los suelos aún más ácidos.

Flores (2009) realizó estudios en plantaciones agrícolas y forestales en diversas comunidades del Valle Alto en Bolivia. Los suelos rodales de eucaliptos se evalúan en muestreos de 0-20cm y 20-50cm, logrando determinar que los suelos carecen de concentraciones altas de fósforo (P). En comparación con suelos agrícolas, los suelos forestales de eucalipto poseen una menor concentración de elementos como K, Ni y P. En cuanto a la compactación del suelo y acidez de este, también se determina una mayor compactación y acidez en suelos forestales, por lo que el autor concluye que estos son efectos del eucalipto, sin embargo, el nivel de compactación se sigue considerando aceptable para que el suelo sea trabajado.

## **2.4 Antecedentes**

Desde la antigüedad la alfarería ha sido una expresión cultural y artística que ha reflejado tanto la idiosincrasia de pueblos originarios, como la situación socio política dentro de las cuales son creadas las piezas (San Martín, 2017). Bajo este contexto es como se desarrolló el oficio alfarero, tomando relevancia para los pueblos originarios del sur de Chile, destacándose el pueblo mapuche como uno de los más influyentes en el desarrollo e importancia de este (San Martín, 2017). Es así, como esta tradición se ha mantenido viva en algunas localidades del sur de Chile, específicamente en Pilén y Quinchamalí, donde es desarrollada hasta el día de hoy por mujeres originarias de la región, quienes han sido declaradas como “tesoros humanos vivos” por la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura) y la CNCA (Consejo Nacional de la Cultura y las Artes) en 2014 (San Martín, 2017). En cuanto al proceso de creación de las piezas de alfarería, estas difieren en cuanto a materias

primas y la fuente de origen, así como también en algunas de las técnicas y formas que se les otorgan (Valdés, 1990; San Martín, 2017). Lo anterior se da principalmente por una conservación de las tradiciones propias de cada una de las localidades. A continuación, se detallan las diferencias mencionadas, clasificadas en función de su origen y obtención de materiales, la confección de las cerámicas, y las influencias culturales de las mismas.

## **2.4.1 Antecedentes localidad de Pilén**

### **2.4.1.1 Origen y recolección de materiales en Pilen**

Los insumos necesarios para la confección de las piezas de alfarería son; greda gruesa y greda fina, agua, colo y leña. Para la obtención de la greda, los lugareños realizan expediciones en familia o, en ocasiones, de solo un integrante, a las minas de colo, ubicadas montaña arriba, mientras que la greda es recolectada en el sector de Pilén bajo (Valdés, 1990).

Las expediciones se realizan entre una y cuatro veces al año, generalmente en la época de verano. Por otro lado, el combustible es un factor fundamental, por lo que en general los hombres del hogar se preocupan de reunir leña, paja y guano de vacuno, para poder realizar la cocción de las piezas.

### **2.4.1.2 Preparación de las piezas en Pilén**

Para confeccionar las piezas se deben preparar los materiales. Se comienza con el secado de la greda gruesa, en caso de ser necesario. Una vez seca, se hace una mezcla de greda gruesa y fina, en donde las proporciones son relativas y dependen del criterio de cada locera. Comúnmente estas proporciones son únicas para cada familia, y se heredan a través de las generaciones (Valdés, 1990). Sin embargo, todas siguen la regla general de que, a mayor tamaño de la pieza, mayor debe ser la proporción de greda gruesa. Luego se agrega agua y comienza la confección y modelamiento de las piezas. Para remover los excesos de material y obtener una loza uniforme, se utilizan cucharas, ramas o herramientas confeccionadas por las mismas loceras (Figura 2, a).

Posterior a la confección, se procede al proceso de oreado, que consiste en secar la pieza en el sol (si es verano), o cerca del fuego (si es invierno), para luego proceder al bruñido, el cual

puede realizarse con las manos o alguna piedra. Finalizado esto, se le agrega el colo, para darle el color café rojizo característico a la loza (Figura 2, b).

Como último paso, la pieza se cuece en un espacio abierto, en las brasas de una pila hecha de leña y bosta de vacuno. Este proceso dura dos horas aproximadamente, y en ocasiones si se desea que la pieza obtenga un color negro, se frota y cubre con hojas de pino y bosta, mientras aún esté caliente (Rebolledo, 2016).



Figura 2. a) Herramientas utilizadas para la confección de cerámica. b) Pieza de cerámica utilitaria (Frutera). Modificado de Valdés (1990).

#### 2.4.1.3 Mercado, influencias y actualidad en Pilén

La influencia e inspiración de las loceras para confeccionar las piezas proviene de diversos lugares, aunque de manera principal las formas típicas se inspiran de la mezcla cultural hispano - mapuche, representada por piezas como la “gallina tapada” o “gallina abierta” (Valdés, 1990). Con el paso de los años las formas se han ido adaptando a la demanda del mercado, ejemplo de esto son las gallinas y patos alcancía. En años más recientes la producción se ha centrado principalmente en piezas utilitarias, como jarros y ollas, pero conservando en menor medida la producción de las otras piezas debido al atractivo turístico. Por causa del factor turístico, es que también ha disminuido el tamaño de las piezas producidas, dando paso a unas de menor tamaño que facilita su transporte (Rebolledo, 2016). En cuanto al mercado para lo producido, se sigue manteniendo la tradición de que las loceras realizan viajes todos los miércoles y sábados a las ferias de Cauquenes para vender sus

productos. Sin embargo, actualmente la labor se ha visto dificultada por la aparición de empleos como temporeras en el caso de las mujeres, y la tendencia de los jóvenes a migrar del campo a ciudades para estudiar y dedicarse a oficios alejados de las tradiciones campesinas (Rebolledo, 2016) que han enriquecido a la historia y cultura de la localidad.

## **2.4.2 Antecedentes Localidad de Quinchamalí**

### **2.4.2.1 Origen y recolección de materiales en Quinchamalí**

Los materiales empleados para la confección de la cerámica en Quinchamalí corresponden a una mezcla de greda gruesa y fina. Esta última presenta características de ser de coloración amarilla, de origen volcánico y rica en contenido de sulfato de hierro (San Martín, 2017). Otros materiales utilizados son colos de colores rojo y blanco, bosta de vacuno y de caballo, y leña.

Durante el verano es cuando se realizan todas las labores de recolección de la materia prima, especialmente en el caso de la greda se calcula la cantidad necesaria para producir durante todo el año. Esta greda se extrae de minas de arena y arcilla, las cuales son cada vez más escasas a lo largo de todo el sector. Una vez recolectada la greda, se guarda en bolsas o tambores con agua, con la finalidad de que se ablanden los fragmentos de mayor tamaño y dureza, y que la materia orgánica se descomponga (Ríos, 2017).

Por otro lado, la recolección del guano ha cambiado en los últimos años, antiguamente la bosta de vacuno era recolectada por el sector, pero ante la escasez de animales se cambió la recolección por la compra directa de la materia a proveedores específicos dentro de la comunidad. A diferencia de la bosta de vacuno, la bosta de caballo se sigue recolectando hasta el día de hoy (San Martín, 2017).

### **2.4.2.2 Preparación de las Piezas en Quinchamalí**

Antes de comenzar la elaboración de las piezas, se debe culminar la preparación de los materiales. Una vez descompuesta la materia orgánica y ablandados los fragmentos mayores de la greda, se procede a mezclarlo con greda fina y tierra amarilla. Para incorporar todos los

materiales se utilizan los pies descalzos para pisarlos y mezclarlos de manera uniforme, dejando la masa lista para el modelado (San Martín, 2017).

Con la masa ya preparada, se procede a confeccionar las piezas, donde se pueden utilizar dos técnicas distintas, dependiendo del uso que se le vaya a dar posteriormente. Si la pieza tiene un fin ornamental, se hacen dos piezas por separado, que se denominan tapas, para luego pegarlas con barbotina, que es un tipo de arcilla más diluida. En caso contrario de que la pieza tenga un fin utilitario, como pueden ser ollas, jarrones y fuentes, se usa una técnica distinta, donde la base es lo primero en confeccionarse y las paredes son agregadas posteriormente, por partes en forma de “lulos” que se pegan con la misma barbotina, hasta completar la figura (Ríos, 2017). Las piezas extras, como orejas, mangos y similares, son agregados al final del proceso, lo que aplica para ambas técnicas de elaboración (San Martín, 2017)

Una vez finalizada la confección, se procede al bruñido, que se realiza en dos etapas. En una primera instancia se hace con agua y la pieza húmeda, mientras que la segunda se realiza en seco. Posteriormente, se adornan las piezas con una técnica denominada esgrafiado (Ríos, 2017), la cual consiste en sacar un relieve utilizando una aguja, rama o alguna herramienta de confección propia. Generalmente los relieves tienen forma de flores, hojas, y detalles propios del animal en la que se inspiran las figuras zoomorfas.

Al igual que en Pilén, se realiza el oreado, al aire libre si es verano o cerca del fuego si es invierno. Una vez seca la pieza, se hace una hoguera con leña y bosta de vacuno, cociendo las figuras en las brasas. La pieza cocida, pero aún caliente, se unta en bosta de caballo o aserrín de álamo, lo que permite una quema lenta y escasa en oxígeno, otorgando así la tonalidad negra característica de las figuras de la localidad (Ríos, 2017). Como último paso, se agrega el colo blanco a la pieza y se limpia, logrando así que sólo los relieves previamente hechos queden con la tonalidad blanca (Figura 3).





Figura 3. Piezas características de Quinchamalí. A la izquierda una figura zoomorfa típica, a la derecha, figura antropomorfa. Extraído memoriachilena.cl

#### 2.4.2.3 Mercado, influencias y actualidad en Quinchamalí

La loza producida en Quinchamalí es el resultado del sincretismo cultural del pueblo mapuche con influencias hispánicas (San Martín, 2017). Reflejo de esto son las figuras antropomorfas, zoomorfas, y utilitarias. Un rol fundamental que cumple la alfarería dentro de las familias rurales es la instrucción de las mujeres más jóvenes sobre el oficio, partiendo desde una temprana etapa confeccionando “juguetes”, que son piezas ornamentales de menor tamaño (San Martín, 2017). De este modo las jóvenes aprenden las técnicas y se familiarizan con la independencia económica que este oficio ha proporcionado a las mujeres de la comunidad.

Hacia los inicios de esta actividad hace cientos de años, predominaban las características antropomorfas de las piezas, basadas en las representaciones de las cantoras de las trillas. Esto fue evolucionando con la influencia hispana hacia objetos más utilitarios, hasta llegar actualmente a una producción generalizada de todas estas figuras debido al atractivo turístico que representan. Además, la actividad alfarera es el principal sustento económico tanto de la comunidad como de las familias alfareras (Ríos, 2017; San Martín, 2017).

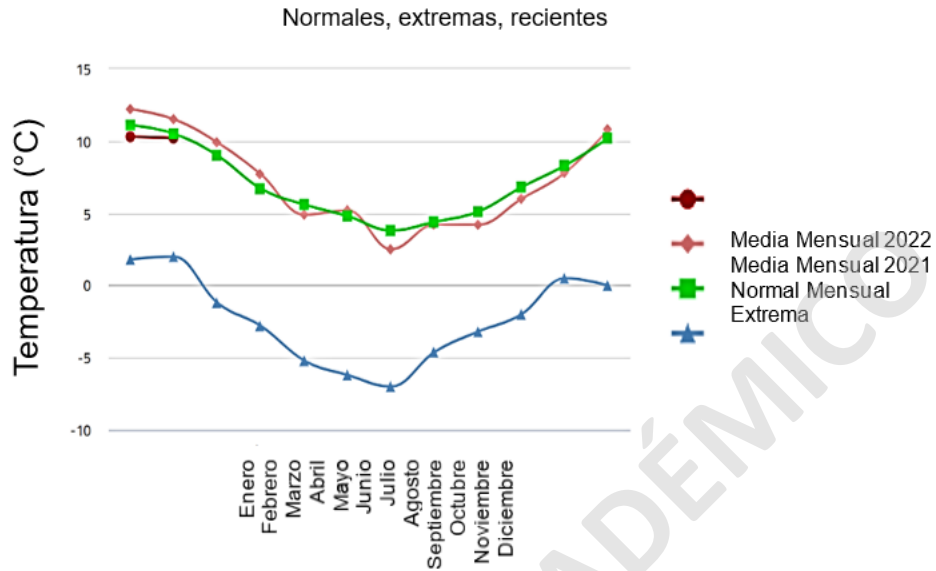
### **3 Marco Geológico**

#### **3.1 Clima**

El clima predominante en la zona de estudio corresponde a un clima templado cálido, con estaciones seca y lluviosa, con la misma duración cada una (variación de 6 a 8 meses lluviosos) (Fuenzalida, 1950). Las oscilaciones térmicas han presentado cambios abruptos a través de los años, hacia la década de 1960, los meses más fríos variaban de los 8,2°C a los 14,3°C. Mientras que, en los meses cálidos de enero a julio, la temperatura oscilaba entre los 15,2°C y 21,3°C (González y Vergara, 1963). En la actualidad, las temperaturas mínimas oscilan entre los 3,8°C y 11°C, según la Dirección Meteorológica de Chile (Figura 4, a). Por otro lado, las temperaturas máximas varían entre los 12,7°C y 29,3°C (Figura 4, b).

En lo que se refiere a pluviometría, esta variaba entre los 2471 mm a 4000 mm anuales, dependiendo de la cercanía con la franja cordillerana hasta la década de 1950 (Almeyda y Sáez, 1958). Sin embargo, en los últimos 20 años (2001 – 2021) la pluviometría ha disminuido de manera considerable por el cambio climático, teniendo oscilaciones que van de los 552,4 mm a los 1237,7 mm, según la Dirección Meteorológica de Chile.

**A** Temperatura Mínima Media Mensual Histórica entre 1950 y 2022



**B** Temperatura Máxima Media Mensual Histórica entre 1950 y 2022

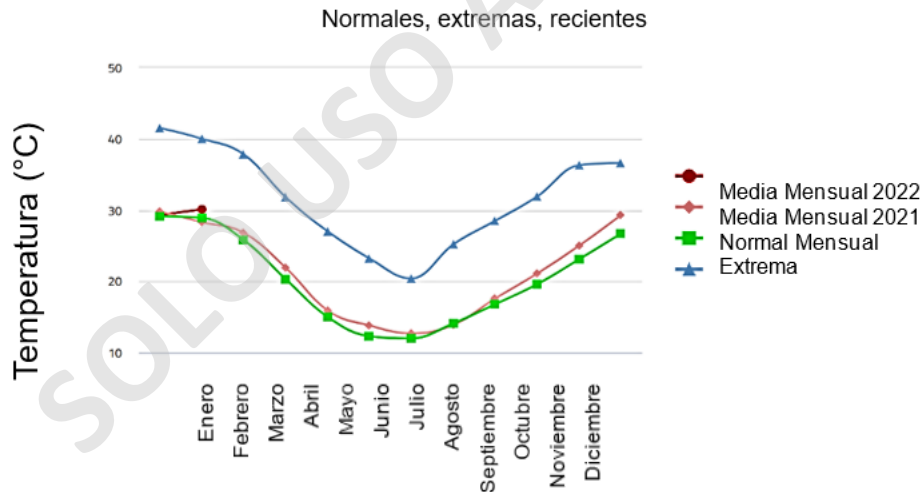


Figura 4. Media histórica de temperaturas entre 1950 y 2022. A: Media de temperatura mínima mensual histórica. B: Media de temperatura máxima mensual histórica. Extraído de la Dirección Meteorológica de Chile, Dirección General de Aeronáutica Civil

### 3.2 Geomorfología

El Instituto Geomorfológico Militar (IGM) define que entre los paralelos 35° y 38° latitud Sur predominan 4 dominios geomorfológicos, siendo los dominios de la cordillera de la costa y la depresión central los que más influyen en la zona de estudio (Figura 5). Más en detalle, Borgel (1983) propone 8 dominios geomorfológicos en las regiones del Maule y Biobío (Anexo 9), dentro de las cuales destacan el llano central fluvio- glacio- volcánico, cuencas graníticas marginales, y la influencia de la cordillera de la costa en la zona de estudio.

La cordillera de la costa presenta un alto grado de meteorización y alcanza alturas que bordean los 2000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m). Hacia el sur del río Maule las alturas disminuyen considerablemente, con características mas bien de lomajes suaves (Borgel, 1983).

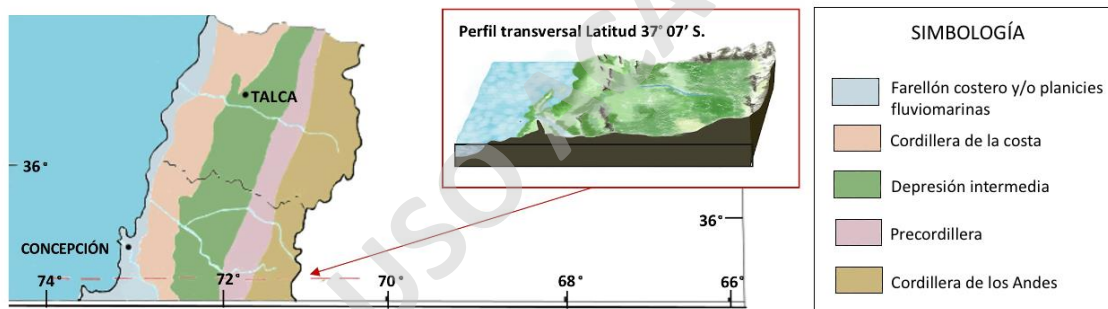


Figura 5. Mapa geomorfológico general de Chile entre paralelos 34 y 37° latitud Sur. Modificado de IGM (Instituto Geomorfológico Militar).

### 3.3 Estratigrafía

La geología de las regiones del Maule y del Ñuble (Figura 6) está comprendida en edades Paleozoico y Triásico superior, donde los afloramientos más reconocibles se ubican hacia el O, en zonas costeras, dentro del dominio geomorfológico de la cordillera de la costa, y también hacia el E, dentro del dominio de la cordillera de los Andes. Por otro lado, la mayor extensión areal se encuentra cubierta de depósitos fluviales, fluvio aluviales, y vegetación.

#### 3.3.1 Estratigrafía Región del Maule.

##### 3.3.1.1 Paleozoico – Mesozoico inferior (290 – 200 m.a)

Batolito de la Costa (Moreno, 1979)

**Distribución:** Aflora en el sector suroccidental y central del área comprendida por los cuadrángulos de Sauzal, Melozal, y Pichibelco (Moreno, 1979). Es atravesada por diques de composición tonalítica, diorítica, granítica y pórfidos de composición similar.

**Litología:** El batolito se compone de diversas litologías, las cuales corresponden (de mayor a menor abundancia) a: Granitos de moscovita (biotita), granitos y granodioritas de biotita (muscovita), granitos y pegmatitas de ortoclasa y muscovita, granodioritas de anfíbola, granitos rosados, y pórfidos dioríticos. De forma general los contactos litológicos son graduales, confusos o por falla.

##### 3.3.1.2 Triásico Superior (235 – 200 m.a)

Estratos de Pillay – Cerro Gupo (Moreno, 1979)

**Distribución:** Secuencia de rocas estratificadas sedimentarias, clásticas y volcanoclásticas que afloran en los cerros Pillay, Gupo, Tabon Tinaja, y Calivoro (Moreno, 1979). La base y el techo de la secuencia es desconocida, pero se infiere que descansa sobre el basamento metamórfico del extremo sur del Cerro Gupo, sin embargo, Muñoz Cristi (1973), sugiere que dicho basamento corresponde a la misma secuencia afectada por metamorfismo de contacto. Dicho metamorfismo se atribuye a intrusiones de plutones posteriores, cuya composición varía

entre granitos y dioritas. Se estima un espesor de 800 mt, pero la gran cantidad de fallas que cortan la secuencia dificulta la estimación.

**Litología:** De forma general, la secuencia se compone de conglomerados de cuarzo, areniscas, limolitas y lutitas (con algunos niveles fosilíferos), con intercalaciones de tobas de composición riolítica.

En el Cerro Pillay el perfil corresponde a:

- a) Conglomerados de cuarzo blancos amarillentos, de grano fino – medio, con clastos subangulosos a subredondeados. Matriz de arena fina, arcilla y óxidos de hierro.
- b) Tobas y areniscas finas grises a blancas. Las tobas son de composición riolítica, se presentan silicificadas. Las areniscas se componen principalmente de cuarzo y muscovita.
- c) Conglomerados de cuarzo de color gris, con clastos subangulosos a subredondeados. Los clastos se componen de cuarzo lechoso en una matriz arenosa. En sectores se presenta recristalizado de plagioclasa y ortoclasas tabulares.
- d) Areniscas cuarcíferas grises – pardas de grano medio, con clastos subangulosos. Matriz silicificada con presencia de óxidos de hierro.
- e) Tobas y lutitas. Tobas de grano fino de composición riolítica de coloración gris. Las lutitas presentan coloración negra, con planos de exfoliación.
- f) Conglomerados y areniscas cuarcíferas, los mismos descritos en los miembros c y d, respectivamente
- g) Intrusivos tonalíticos y andesíticos cortando la secuencia. Se distingue una zona de alteración hidrotermal, que afecta a tobas de edad desconocida.

El paquete de estratos se encuentra plegado con un rumbo general N-NE, con un manteo hacia el E-SE

### 3.3.2 Estratigrafía Región del Ñuble

#### 3.3.2.1 Paleozoico – Mesozoico (?) (200 – 290 m.a)

Lutitas grises azulejo (Muñoz Cristi, 1973)

**Distribución:** Afloran a unos 10 km al O de Quirihue y a lo largo de la costa de Cobquecura, con variaciones de los rumbos NS, NNE y NNO, con manteos hacia el E, aunque en sectores los manteos van hacia el O. Dichas variaciones se atribuyen a fallas o plegamientos, sin embargo, la carencia de afloramientos no permiten determinarlo con seguridad (Muñoz Cristi, 1973)

**Litología:** Serie sedimentaria compuesta de lutitas de coloración gris azulejo, con intercalaciones de areniscas de grano fino. En sectores de la costa las lutitas presentan indicios de metamorfismo, el cual está evidenciado en la presencia de filitas con guías de cuarzo. En la desembocadura del estero Taucú se encuentran cuarcitas micáceas con estructuras como estratificación cruzada y presencia de micas en los planos de foliación.

Batolito de Quirihue (Muñoz Cristi, 1973)

**Distribución:** Hacia el oriente en contacto con la serie sedimentaria de lutitas y areniscas de grano fino. Por la zona central y occidental presenta la mayor cantidad de afloramientos.

**Litología:** El batolito se compone de granitos y granodioritas de muscovita y biotita respectivamente. Los sedimentos en contacto con el batolito presentan un metamorfismo regional bajo, con efecto de metamorfismo termal. Como resultado de lo anterior se observan rocas con hojas de mica y granos de cuarzo, con textura granoblástica y abundantes cristales de biotita y cuarzo. Otros cristales que también abundan son la clorita y muscovita en forma de porfiroblastos. Además, la escasa presencia de apatita, zircón y magnetita se atribuyen como remanentes del batolito.

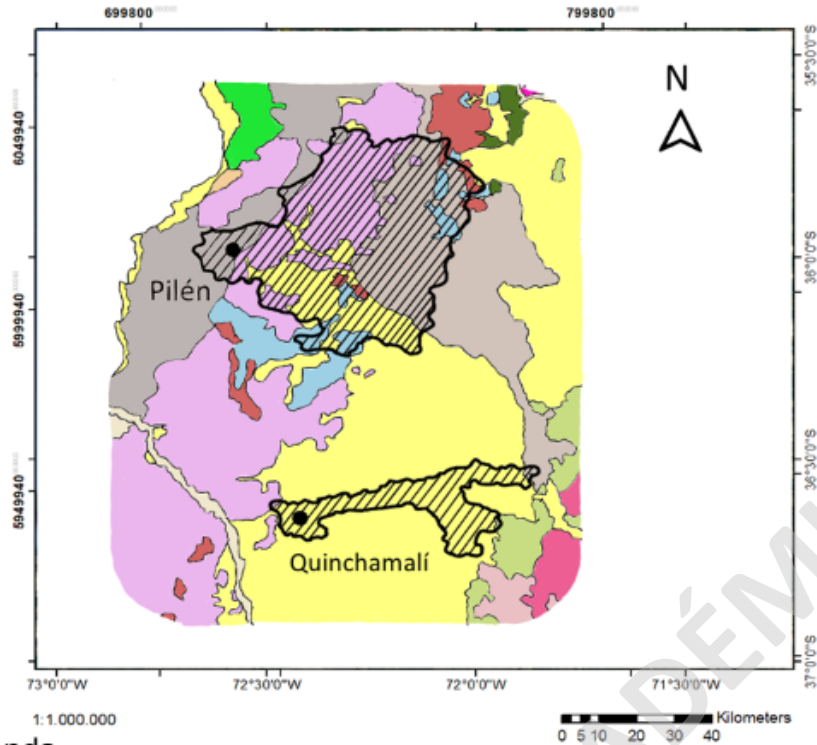
Filitas Negras (Muñoz Cristi, 1973)

**Distribución:** Afloran hacia la desembocadura del río Bío-Bío y se extiende a sectores como Bucalemu y Santa Juana.

**Litología:** Las filitas se encuentran bien foliadas, con planos de foliación bien marcados y presencia de micas en estos. La textura bandeada presenta una alternancia de mosaicos compuestos por granos de cuarzo y sericita. Dentro de estos se distinguen dos tipos, el primero en el cual la sericita forma pliegues agudos y bien definidos, mientras que el otro, la sericita no presenta pliegues y se encuentra dispuesta en fibras alargadas en la misma orientación de la foliación.

SOLO USO ACADÉMICO





### Leyenda

	Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa.		Granitos y granodioritas.		Pizarras, filitas y metaareniscas.
	Depósitos fluviales: gravas, arenas y limos.		Secuencia sedimentaria marina, areniscas, cong, lutitas y calizas.		
	Depósitos piroclásticos riolíticos.		Secuencia volcánica y sedimentaria marina: lavas andesíticas y basálticas.		
	Secuencia volcanosedimentaria. Intercalación de lavas, tobas y cong.		Secuencia sedimentaria marina litoral y transicional.		
	Granodioritas, dioritas y tonalitas.		Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas.		
	Secuencia volcanosedimentaria: lavas basálticas-dacíticas.		Metapelitas, metacherts y metabasitas.		

### Simbología

 Áreas de estudio.

Figura 6 Geología de las áreas de estudio. Modificado de Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000

## 4 Ubicación y Vías de Acceso

La zona de estudio corresponde a dos localidades, Pilén en la región del Maule y Quinchamalí en la región del Ñuble. La localidad de Pilén se ubica aproximadamente 10 km al O de Cauquenes, siendo parte de la comuna del mismo nombre. Se puede acceder a ella, desde Santiago por la Ruta 5 hacia el sur por unos 278 km, para luego incorporarse por la ruta L-30-M, seguida de la Ruta Los Conquistadores y finalmente por la ruta M-830 (Figura 7).

Por otro lado, la localidad de Quinchamalí está dentro de la comuna de Chillán, ubicada aproximadamente a 30 km al SO de la ciudad del mismo nombre. Para acceder a ella desde Santiago, se debe tomar la Ruta 5 por unos 346 km, seguido de la ruta 152 hacia el O, para luego tomar la ruta N-696 y finalmente la N-66-O (Figura 7).

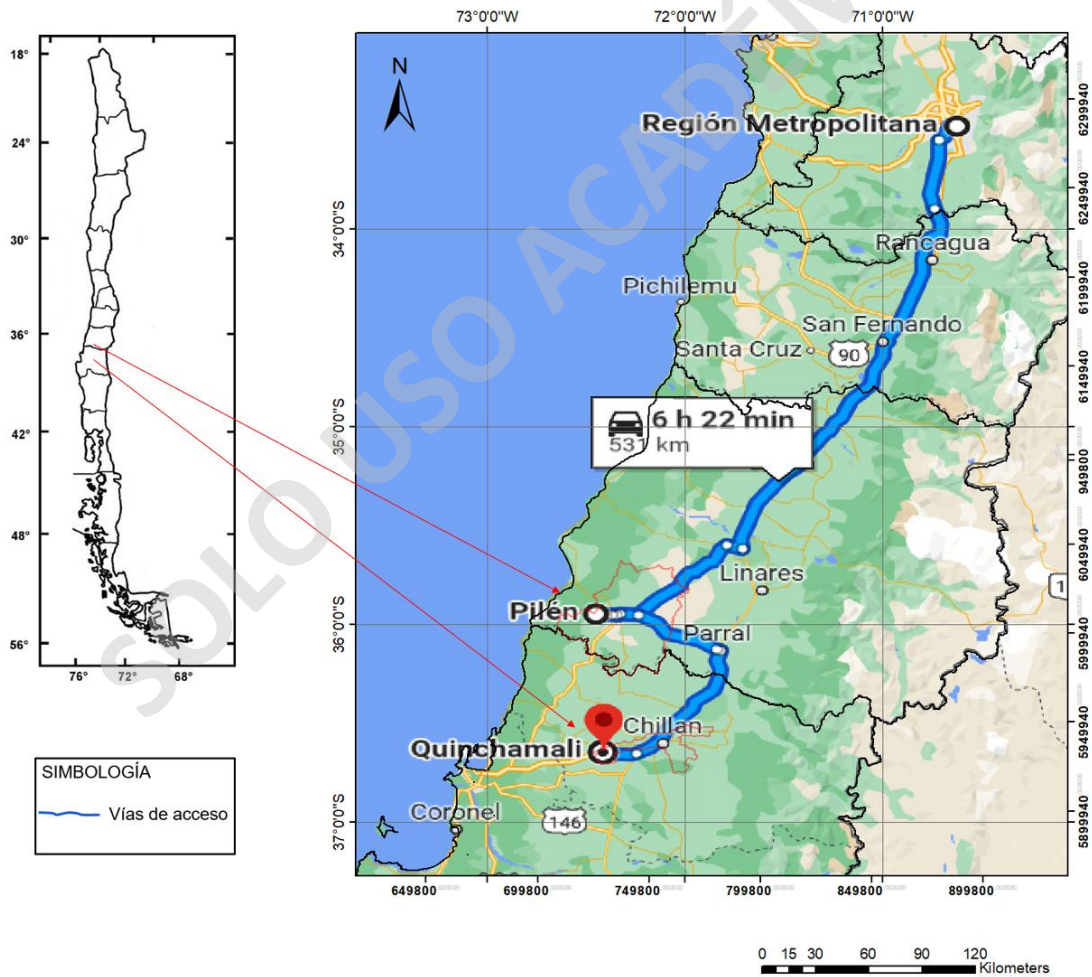


Figura 7. Imagen con el detalle de la ubicación de las localidades y su posición dentro de la región a la que corresponde cada una. Modificado de GOOGLE MAPS.

## **5 Metodologías**

### **5.1 Acercamiento a la comunidad**

En relación con los métodos de obtención de información, en una primera instancia, se realizó una visita a las alfareras de Pilén y Quinchamalí, respectivamente. Mediante un dialogo fluido, se conocieron los métodos de trabajo, de los cuales se extrajeron los procesos de confección, cantidad y proporciones de materiales empleados, herramientas que se utilizaron, procedimientos de sellado y cocción.

Considerando la cantidad de materiales empleados, se definieron los puntos de interés para el muestreo.

### **5.2 Etiquetado de muestras**

Con respecto al etiquetado de las muestras, este se compone, en primera instancia, del sufijo de la localidad. De tal manera que, para distinguir las muestras de Pilén se utilizó el prefijo “P”, mientras que para Quinchamalí se utilizó el prefijo “Q”. Luego, se continuó con el prefijo alfanumérico, que indica el día de terreno en que fue tomada la muestra, (utilizando “D1” para referirse al primer día). Por último, el sufijo final corresponde al número de parada del día (siendo “P1” la primera parada).

En los casos en donde se extrajeron más de una muestra del punto de interés, se agregó otro sufijo, que permitió identificarlas basándose en la coloración o el nombre que las alfareras le otorgan al material.

### **5.3 Muestreo**

La toma de muestras de cada afloramiento fue obtenida según el procedimiento estandarizado de muestreo de arcillas (Sanfeliú, 1991) y la pauta de muestreo de suelos de AGROLAB (SCG ISO 9001:2015). Las muestras se extrajeron con una pala en un corte en forma de “V” en el suelo, con una profundidad máxima de 20 cm (Figura 8). Es importante considerar que el material de arcilla que se encontraba en los bordes de la pala fue eliminado para no alterar los resultados.

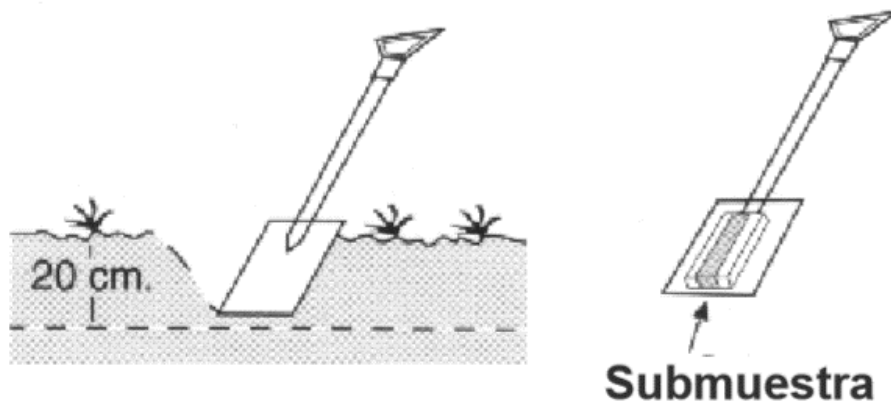


Figura 8. Esquema de toma de muestra de suelo. Extraído de Pauta de muestreo de suelos AGROLAB.

#### 5.4 Preparación de muestras

Las muestras fueron preparadas para realizar análisis de difracción de rayos x en roca total. La preparación de muestra para análisis de roca total se hace con mortero y pistilo de ágata, donde la muestra se reduce a un tamaño de  $\sim 75\mu\text{m}$  (Poppe *et al.* 1989). Con la muestra reducida al tamaño mencionado, se traspasó la muestra con espátula de acero a un tubo eppendorf hasta completar 2-3 gr de muestra.

#### 5.5 Análisis: Difracción de Rayos X

El difractómetro utilizado para el análisis de rayos x es de marca Bruker, con geometría Bragg – Bentano, modelo D8 advance. Utiliza una radiación  $\text{CuK}\alpha$  de  $1,5460 \text{ \AA}$  con filtro de níquel. En cuanto al barrido, posee un rango que va desde los  $2^\circ$  hasta los  $80^\circ$   $2\theta$ .

#### 5.6 Análisis: Highscore

Para el análisis de los datos obtenidos en la difracción de rayos x, fue utilizado el software X'pert Highscore plus. Los archivos "RAW" por cada muestra, fueron ingresados al programa para ser procesados. La curva se suavizó ajustando el perfil con los peaks más relevantes, para una lectura correcta. En casos particulares fueron agregados peaks no considerados por el programa. Por último, se identificó la relación de peaks entre la base de datos del programa y las muestras analizadas, para luego pasar por un proceso de chequeo visual utilizando el criterio de tres peaks significativos para cada mineral.

## **5.7 Cuantificación**

La cuantificación de los minerales presentes en las muestras fue realizada usando el software Match. Dicho programa utiliza el método de relación de intensidades (Reference Intensity Ratio, RIR). Con este método semi cuantitativo se normaliza la intensidad de cada mineral para la reflexión de cada caso, en función de la intensidad integrada (De Wolff y Viesser, 1964).

## **6 Resultados**

Tanto en las localidades de Pilén como de Quinchamalí (Figura 9) se recopiló información de la producción de alfarería, incluyendo todos los pasos asociados a la confección de las piezas.

En cuanto a las materias primas utilizadas, se tomaron 12 muestras en total, 7 muestras fueron extraídas directamente de las fuentes utilizadas por las alfareras, y, de estas, 4 fueron seleccionadas para el análisis de roca total.

SOLO USO ACADÉMICO

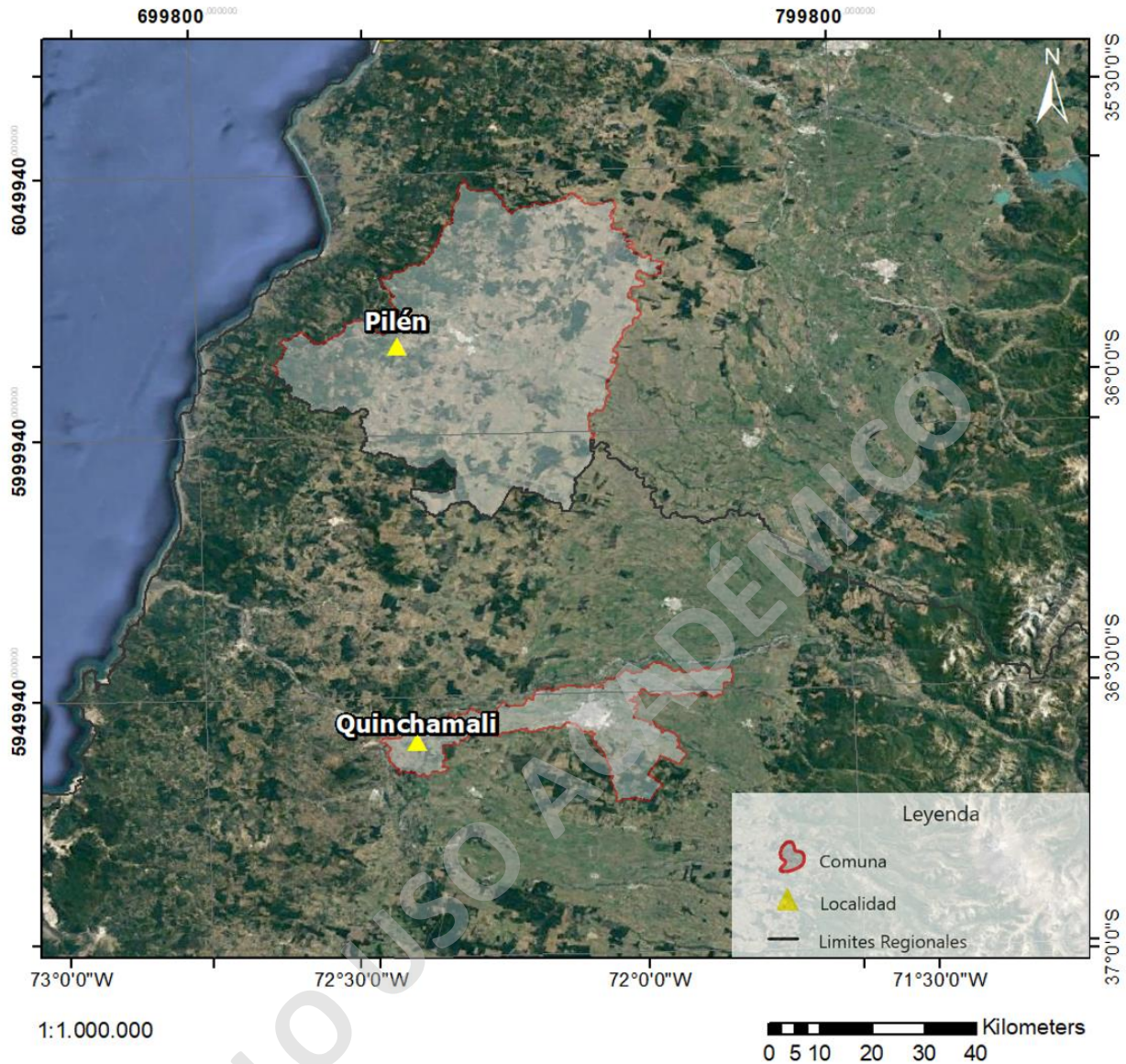


Figura 9 Mapa de localidades estudiadas y las respectivas comunas a las que pertenecen.

## 6.1 Pilén

### 6.1.1 Procesos de confeccion

En relación con los procesos de confección, distribución, y composición de muestras, es preciso mencionar que, en la localidad de Pilén las piezas alfareras se confeccionan a partir de dos materias primas principales. La primera, es denominada “greda” por las alfareras y se utiliza para otorgar la estructuralidad de la pieza. Mientras que, la segunda, proporciona el sellado o colo.

Respecto a la “greda”, esta se extrae un par de veces al año (Figura 9. Punto A). Una vez obtenida, se deja secar, posteriormente, es pasada por el molino para el chancado del material. De esta manera, se reduce su tamaño, para que pueda ser trabajada.

Con respecto a la confección, las alfareras realizan una mezcla de la “greda” con agua, para poder dar la forma deseada y, posteriormente, ser pulidas por herramientas de fabricación propia de ellas (Figura 2). Una vez otorgada la forma a la pieza, esta se deja orear al sol (Figura 10) y, luego se les aplica el colo. Este último, corresponde a la segunda materia prima, diluida en agua, que proporciona el sellado y color rojizo, característico de las piezas. Por último, estas son cocidas dentro de una pila de ladrillos, similar a una fogata. Este proceso es de duración variable, sin embargo, de forma general, toma de 1 a 2 horas en finalizar la cocción.



*Figura 10 Alfarería siendo oreada*

### **6.1.2 Distribución de muestras**

Tomando en cuenta la información bibliográfica, en conjunto con la otorgada por las alfareras en terreno, se tomaron 8 muestras en total. Estas fueron repartidas en 5 puntos distintos (Figura 11), donde A corresponde al punto de extracción de la materia prima para las piezas alfareras. En el punto B se extrajeron diversas muestras según las variaciones de colores del afloramiento, de las cuales, la de tonalidad más oscura se utiliza para el sellado de las piezas (colo). Los puntos C, D, y E son distintos lugares de extracción de materia prima, utilizadas en la localidad para producir principalmente ladrillos, a diferencia del material de A.

Los nombres de las muestras de los puntos A, B, C, D y E se detallan a continuación.

La muestra del punto A corresponde a P-D1P1, la de B, a P-D1P2, la de C, a P-D2P1(G)/P-D2P1(SG)/P-D2P1(S), la de D, a P-D2P2, y la de E, a P-D2P3.

Es preciso destacar que, las muestras de Pilén seleccionadas para el análisis de difracción de rayos X, corresponden a P-D1P1 y P-D1P2. Mientras que, las muestras P-D2P1 (G), P-D2P1 (SG), P-D2P1 (S), P-D2P2 y P-D2P3 fueron descritas en muestra de mano (Anexo 10, 11, 12, 13, 14).

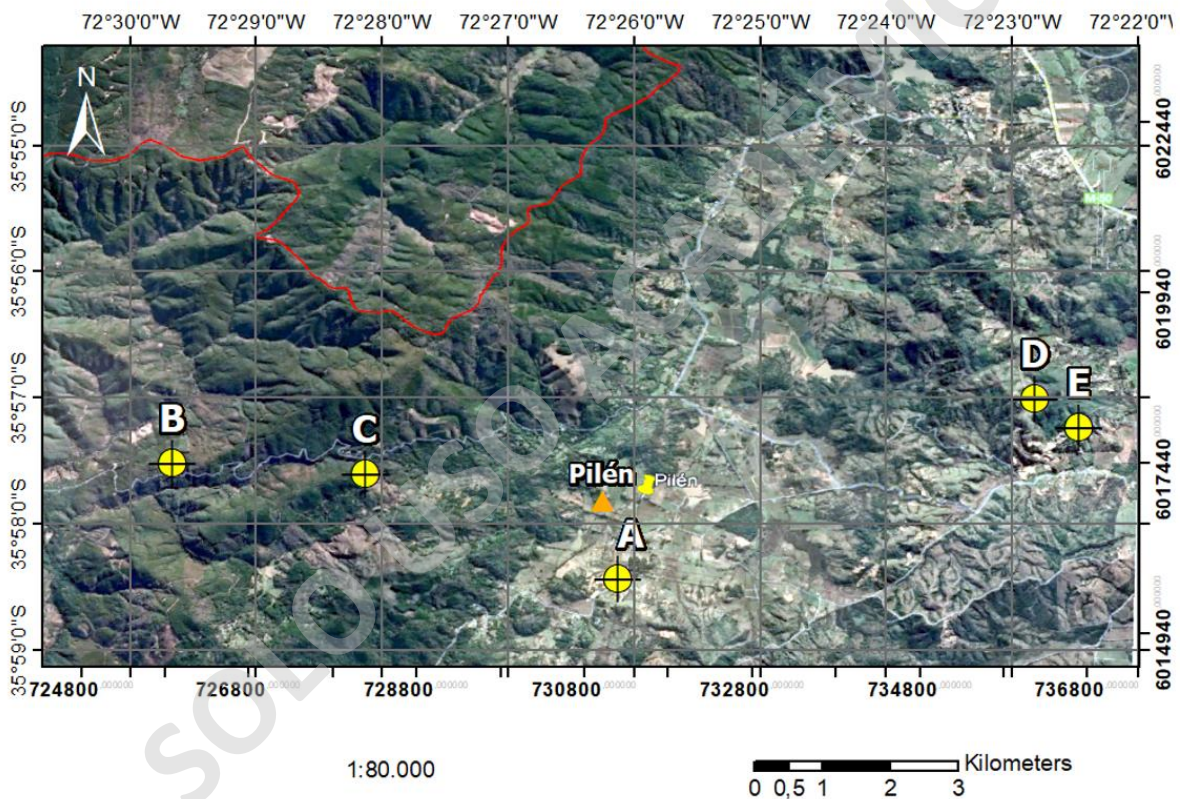


Figura 11 Mapa de muestreo en localidad de Pilén. A: P-D1P1; B: P-D1P2; C: P-D2P1(G)/P-D2P1(SG)/P-D2P1(S); D: P-D2P2; E: P-D2P3



### 6.1.3 Descripción de muestras

#### 6.1.3.1 P-D1P1

El afloramiento de este punto de interés posee una alta presencia de vegetación, más bien seca, en la parte superior. Se encuentra semi consolidado, con una notoria presencia de humedad y meteorización avanzada (Figura12).



Figura 12 Afloramiento de P-D1P1

En muestra de mano (Figura 13) presenta una textura porfírica de grano medio – grueso. Se reconocen cristales como:

- Cuarzo (5%) blancos de tonalidad lechosa, anhedrales de grano medio- grueso.
- Feldespato potásico (3%) Cristales de coloración blanca, subhedrales, de grano medio.
- Plagioclasa (10%) Cristales tabulares lechosos, subhedrales de grano medio.
- Anfíbola (2%) Cristales negros prismáticos, subhedrales, de grano fino.
- Clorita (2%) Cristales negros verdosos, escamosos de brillo metálico, subhedrales de grano fino.
- Masa fundamental (78%)

Según clasificación por asociación mineral, la muestra corresponde a una lava de composición dacítica



Figura 13 Muestra de mano obtenida de P-D1P1

La Figura 14 presenta el patrón de difracción de la muestra P-D1P1, se observan peaks significativos en las posiciones 21, 27 y 38  $2\theta$  los cuales corresponden a peaks de cuarzo. Entre las posiciones 22, 24, 27 y 29  $2\theta$  hay una alta presencia de peaks significativos, los que son identificados como albita. Cercanos a las posiciones 22, 26, 28 y 29  $2\theta$  se observan algunos peaks de intensidad algo más baja, los que corresponden a ortoclasa. Anterior a los 10  $2\theta$  existen unos peaks de alta intensidad identificados como anfíboles. Por último, cercano a los 4  $2\theta$  se presenta el peak con mayor intensidad de la muestra, cercano a los 30  $2\theta$  también se encuentra otro peak de alta intensidad, los que son identificados como clorita, sin embargo, existe la duda de si algunos de los peaks identificados para este mineral pueden corresponder a peaks de caolinita. Existe una clara relación entre los minerales identificados en muestra de mano y los minerales identificados por la difracción de rayos X, sin embargo, la principal diferencia está dada por la abundancia de estos. En cuanto a la cuantificación del porcentaje de minerales presentes en la muestra (Tabla 8), se determina que la clorita es el mineral más abundante con un 39,5%, seguido de albita con 25,7% y anfíboles con 19,9%, mientras que el contenido de cuarzo y ortoclasa es notablemente menor, siendo menos del 10% en cada caso.

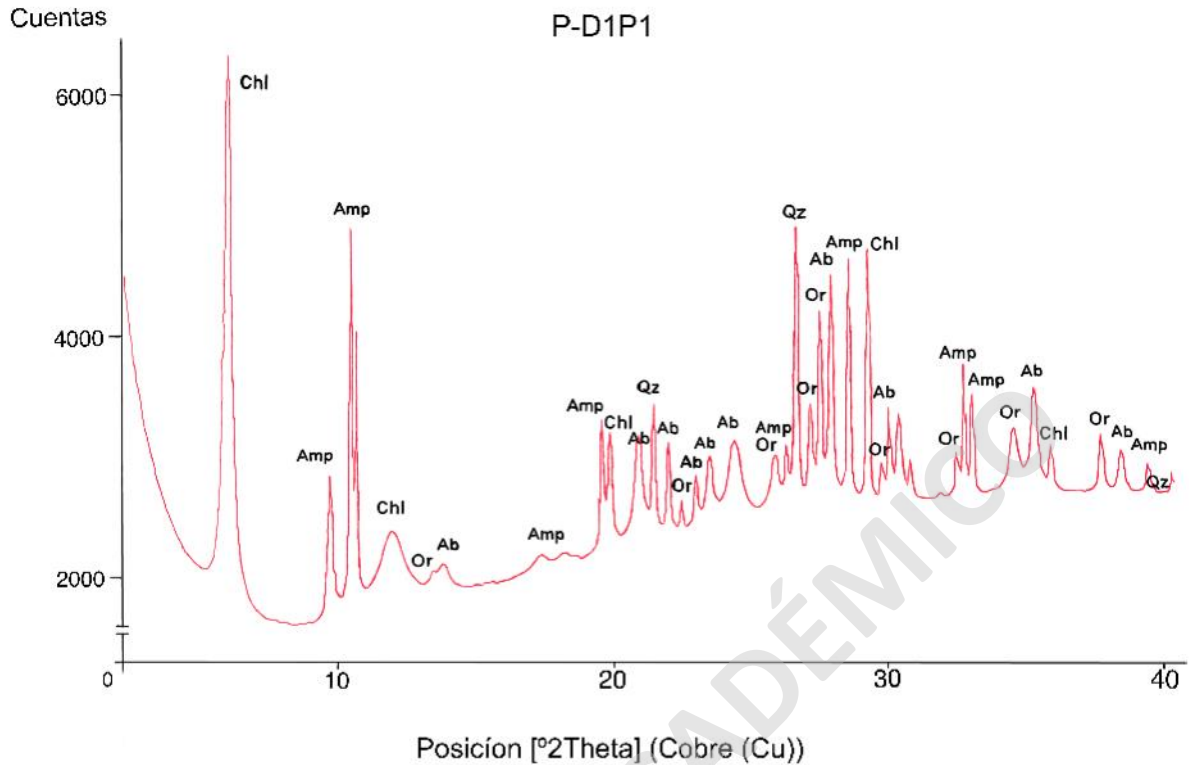


Figura 14. Gráfico de análisis de DRX de P-D1P1. Qz: cuarzo, Ab: albita, Or: ortoclasa, Amp: anfíbola, Chl: clorita

Tabla 8 Resumen minerales de P-D1P1. Qz: cuarzo, Or: ortoclasa, Chl: clorita, Amp: anfíbola

		P-D1P1				
Minerales	Chl	Ab	Amp	Qz	Or	
%	39,5	25,7	19,9	9,5	5,5	

### 6.1.3.2 P-D1P2

Afloramiento con alta presencia de vegetación, ubicado entre las raíces de árboles de eucalipto. Se presenta semi consolidado, con una coloración generalmente roja, sin embargo, presenta sectores con una coloración amarilla, y otros con una coloración roja de tono más oscuro (Figura 15). Para este caso concreto se extrajeron muestras de todas las variaciones de colores, pero se decidió por analizar la muestra roja oscura (P-D1P2) (Figura 16) debido a que sólo este material es el utilizado para el sellado de las piezas.



Figura 15 Afloramiento de P-D1P2. Variaciones de colores amarillo, rojo y rojo oscuro de izquierda a derecha, solo coloración roja oscura utilizada para el colo.



Figura 16 Muestra de mano obtenida de P-D1P2

Hacia los alrededores del afloramiento se encuentran fragmentos de rocas con textura metamórfica, con características de filita, presencia de mica muscovita y fragmentos de cuarzo de grano grueso en algunos sectores. Lo anterior sugiere que la muestra corresponde al producto de alteración formado a partir de la meteorización de esta roca metamórfica.

En la Figura 17 se reconocen peaks importantes entre los 21, 26 y 37  $2\theta$  los que se identifican como cuarzo. Anterior a los 10  $2\theta$  y cercano a los 18  $2\theta$  se reconocen peaks de alta intensidad que son interpretados como illita. Cercano a los 12  $2\theta$  y en los 25 y 30  $2\theta$  existen unos peaks de intensidad más bien baja, que son reconocidos como montmorillonita. Por último, entre los 30 y 40  $2\theta$  se reconocen los peaks de intensidad más baja que corresponden a hematita, mineral que probablemente le dé el color rojo característico a la muestra. En cuanto a la cuantificación de minerales presentes en la muestra (Tabla 9) se observa que se compone principalmente de cuarzo, con un 59,5% de presencia de este mineral, mientras que la illita completa casi el total de la composición de la muestra con un 39,3%. Por otro lado, la presencia de hematita y montmorillonita es notablemente más baja con una presencia menor al 1% en cada caso.

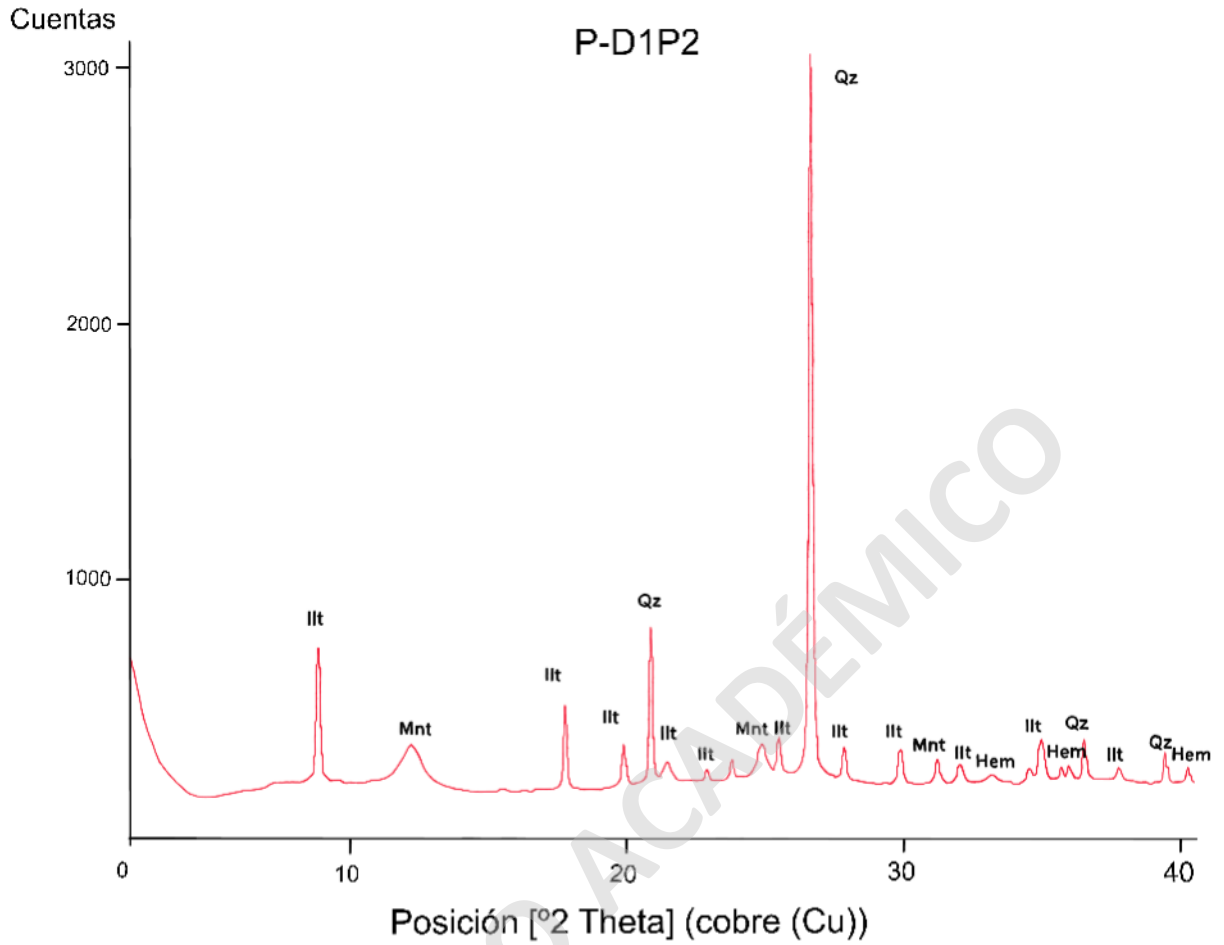


Figura 17 Gráfico de análisis DRX de P-D1P2. Qz: cuarzo, Ill: illita, Hem: hematita, Mnt: montmorillonita

Tabla 9 Resumen minerales P-D1P2. Qz: cuarzo, Ill: illita, Hem: hematita, Mnt: montmorillonita

P-D1P2				
Minerales	Qz	Ill	Hem	Mnt
%	59,5	39,3	0,9	0,3

## **6.2 Quinchamalí**

### **6.2.1 Procesos de confección**

Las piezas alfareras de la localidad de Quinchamalí se confeccionan a partir de diversas materias primas. En primera instancia, estas son conservadas en agua para descomponer la materia orgánica que pueda contener, además de ablandar los fragmentos de mayor tamaño presentes en el material.

Para la confección, se utiliza el material denominado “grava”, el cual le otorga la estructuralidad a la pieza. Asimismo, los materiales de “grava amarilla” y “arena” son agregados, en caso de ser necesarios, para otorgar más consistencia a la pieza. Ya que, en ocasiones la mezcla de agua con “grava” presenta una plasticidad excesiva, lo que dificulta el moldeado de esta. Una vez confeccionadas, son bruñidas y oreadas al aire libre, para luego pasar al proceso de cocción en hoguera, el cual alcanza una temperatura entre los 930 a 950°C, según lo mencionado por las alfareras.

Con relación al sellado, estos pueden ser de dos tipos. El primero, presenta coloraciones características similares a las de Pilén, con tonalidades rojizas y se denomina “colo rojo”. En cuanto al segundo sellado, denominado “colo blanco”, posee una coloración blanca, y se aplica una vez cocida la pieza y untada en aserrín de álamo. Siendo esto último, lo que le otorga la tonalidad negra distintiva (Figura 3).

Cabe destacar, que los sellados no se ocupan simultáneamente, si no uno o el otro, dependiendo del acabado que se le quiera otorgar a la pieza.

### **6.2.2 Descripción de muestras**

La materia prima, denominada grava, corresponde a la muestra Q-D2P2(G), mientras que los materiales complementarios como lo son la grava amarilla y arena corresponden a las muestras Q-D2P2(GA) y Q-D2P2(Ar) (Anexo 15), respectivamente. En relación al sellado, la muestra del “colo rojo” se denomina Q-D2P2(CR), y la muestra de “colo blanco” se designa como Q-D2P2(CB) (Anexo 16).

### 6.2.2.1 Q-D2P2 (G)

Es la muestra más importante a la hora de formar la pieza (Figura 18), es el material que se usa en mayor proporción para formar la estructura, mientras que otros materiales como Q-D2P2(GA), Q-D2P2(Ar) y agua, se usan en menor cantidad dependiendo del reforzamiento que se necesite.



*Figura 18 Muestra de Q-D2P2 (G)*

La muestra de mano posee coloración gris y es de grano fino, por lo que no se reconocen minerales a simple vista. En análisis de difracción de rayos X en roca total, se reconocieron minerales como cuarzo, albita, sanidina, clorita y nontronita (Figura 19).

En la Figura 19 se reconocen peaks significativos entre los 21, 27 y 37  $2\theta$  que son identificados como cuarzo. En las posiciones 22, 24, 27 y 29  $2\theta$  destacan diversos peaks, incluso el peak con mayor intensidad de la muestra, los que corresponden a peaks de albita. Cercanos a los 30  $2\theta$  se ven unos peaks de menor intensidad que son identificados como sanidina. En los 20 y 35  $2\theta$  se reconocen unos peaks menos intensos con una onda más amplia, los que se definen como peaks de nontronita. Finalmente, en los 6 y 12  $2\theta$  destacan unos peaks identificados como clorita. En cuanto a la cuantificación de minerales presentes en



la muestra (Tabla 10), se determinó que se compone principalmente de albita y nontronita, con un 44,4 y 40,1 % respectivamente. Por otro lado, la clorita es el mineral que sigue en abundancia con un 9,3%, mientras que el resto de los minerales se encuentran en escasa abundancia de 4,9% en el caso del cuarzo, y con un 1,4% en el caso de la sanidina.

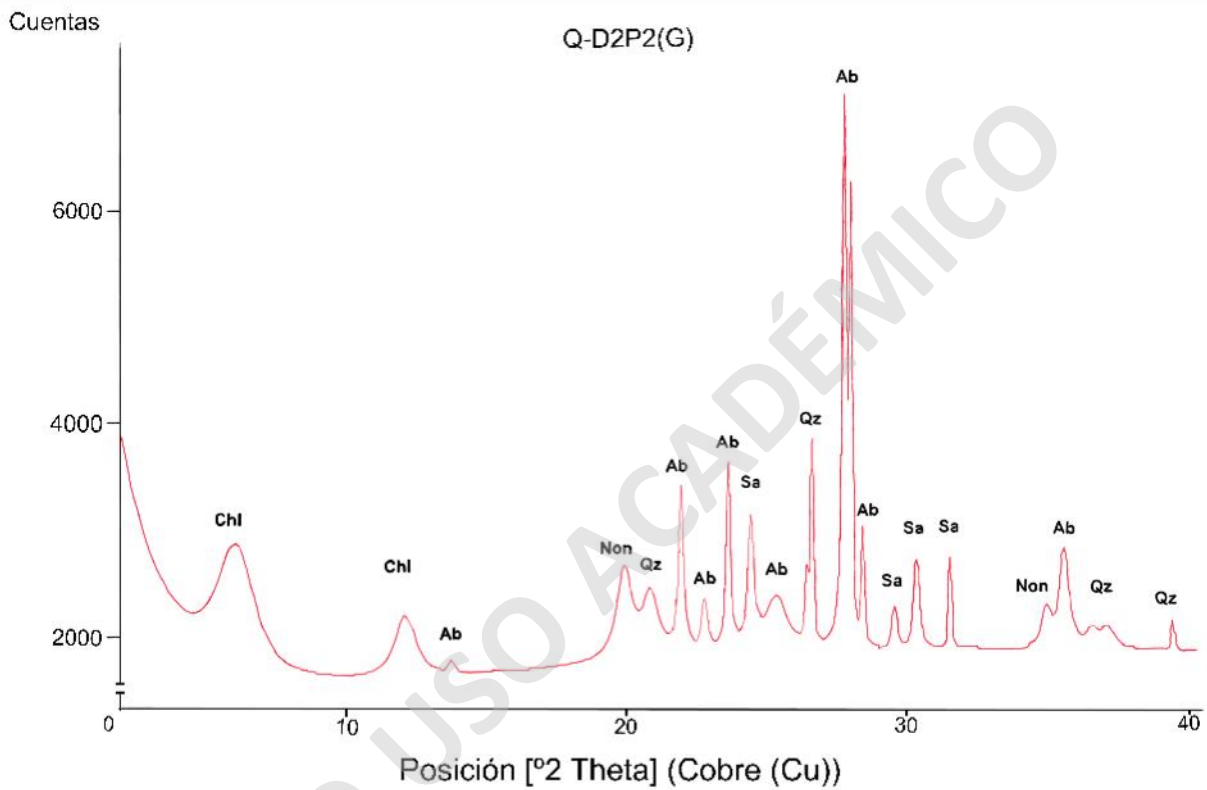


Figura 19 Gráfico de análisis DRX de Q-D2P2 (G). Qz: cuarzo, Ab: albita, Sa: sanidina, Chl: clorita, Non: nontronita.

Tabla 10 Resumen minerales Q-D2P2 (G). Qz: cuarzo, Sa: sanidina, Ab: Albita, Chl: clorita, Non: nontronita

Q-D2P2(G)					
Minerales	Ab	Non	Chl	Qz	Sa
%	44,4	40,1	9,3	4,9	1,4

### 6.2.2.2 Q-D2P2 (GA)

Muestra que corresponde a la materia prima utilizada para dar mayor consistencia a la estructura de forma complementaria a las piezas de alfarería (Figura 20). Su proporción siempre es variable y dependerá de la consistencia que este otorgando Q-D2P2(G)



Figura 20 Muestra de Q-D2P2(GA)

En muestra de mano presenta una coloración amarillenta de grano fino, no se reconocen minerales a simple vista. En análisis de difracción de rayos X se reconocieron minerales como como cuarzo, albita, microclina, clorita e illita (Figura 21).

La Figura 21 presenta el patrón de difracción de la muestra Q-D2P2 (GA) donde entre los 21, 27 y 37  $2\theta$  son reconocidos peaks de cuarzo. En el rango entre los 20 y 30  $2\theta$  son definidos peaks de albita, específicamente en las posiciones 22, 24 y 28  $2\theta$ . En los 20 y 35  $2\theta$  son identificados peaks de illita, mientras que en los 6 y 12  $2\theta$  los peaks de menor intensidad son reconocidos como clorita. Por último, los peaks de intensidad baja cercanos al 20, 26 y 31  $2\theta$  corresponden a peaks de microclina. En cuanto a la cuantificación de minerales presentes en la muestra (Tabla 11), se determinó que la mitad de la composición de esta corresponde a albita

(51,4%), mientras que el resto de la muestra presenta microclina con 23,3%, cuarzo 12,7%, clorita 6,8%, e illita 5,8%.

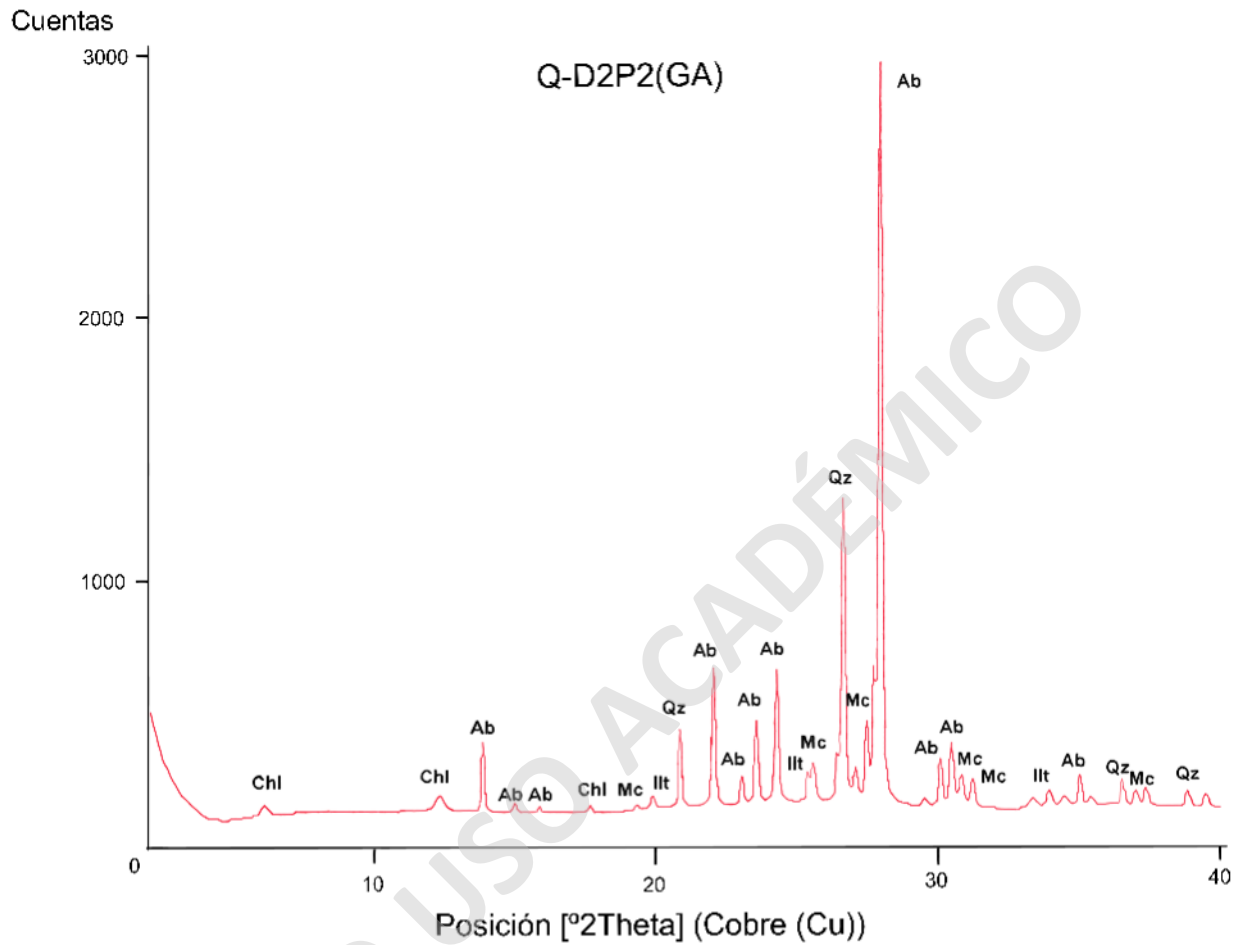


Figura 21 Grafico de análisis DRX de Q-D2P2 (GA). Qz: cuarzo, Ab: albita, Mc: microclina, Ill: illita, Chl: clorita

Tabla 11 Resumen minerales de Q-D2P2(GA). Qz: Cuarzo, Ab: Albita, Mc: Microclina, Chl: Clorita, Ill: Illita

Minerales					
Minerales	Ab	Mc	Qz	Chl	Ill
%	51,4	23,3	12,7	6,8	5,8

## 7 Discusiones

Conforme a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se han generado las siguientes discusiones en torno a la mineralogía de las localidades, su clasificación y comparación con arcillas estudiadas en otras localidades del país.

### 7.1 Clasificación de materias primas

Las mineralogías observadas en las muestras analizadas en el presente trabajo indican una composición intermedia – acida (tabla 12) debido a la presencia de minerales como cuarzo, albita, feldespatos, anfíbola y clorita en el caso de P-D1P1, Q-D2P2(G) y Q-D2P2(GA).

*Tabla 12 Tabla resumen de la mineralogía determinada en todas las muestras analizadas. Qz: Cuarzo, Ab: Albita, Or: Ortoclasa, Amp: Anfíbola, Chl: Clorita, Ill: Illita, Hem: Hematita, Mnt: Montmorillonita, Sa: Sanidina, Non: Nontronita, Mc: Microclina*

Muestras	Minerales										
	Ab	Amp	Chl	Qz	Ill	Or	Hem	Mnt	Non	Mc	Sa
P-D1P1	25,7 %	19.9%	39.5%	9.5%		5.5%					
P-D1P2				59.5%	39.3%		0.9%	0.3%			
Q-D2P2 (G)	44.4%		9.3%	4.9%					40.1%		1.4%
Q-D2P2 (GA)	51.4%		6.8%	12.7%	5.8%					23.3%	

En lo que se refiere a minerales de arcilla, estos son los más influyentes al momento de otorgar características a productos generados a partir de materias primas. De las cuales, destacan la alta plasticidad y resistencia mecánica. Factores como, el tamaño de grano, forma laminar (1:1, 2:1) y propiedades cristalinas, contribuyen al comportamiento plástico y facilitan el moldeado al momento de fabricar algún producto (Kingery, 1960). Dicha característica es variable para cada mineral de arcilla, donde el grado de plasticidad asociado es mayor en montmorillonita. Mientras que, clorita e illita poseen una plasticidad media.

Por último, a pesar de que, la caolinita es considerada el mineral de arcilla con menor plasticidad, proporciona la resistencia a altas temperaturas (Bartolomé, 1997).

Cabe destacar que, de forma general, las esmectitas cambian la reología del material, volviéndolo más viscoso y aumentando la resistencia mecánica de los productos que lo contengan (Gallaga Ortega, 2002).

### **7.1.1 P-D1P1**

En lo que se refiere a las muestras de Pilén, la muestra P-D1P1 (Tabla 8) posee minerales como clorita en abundancia del 39,5%, lo que favorece al comportamiento plástico del material, mientras que albita (25,7%) y ortoclasa (5,5%) actúan como fundentes, lo que tiene como consecuencia la disminución de la temperatura de cocción necesaria para obtener el máximo potencial de los minerales según el material que se quiera producir. La presencia de cuarzo (9,5%) cumple la función de desengrasante, lo que reduce la plasticidad excesiva del material y aporta resistencia a cambios abruptos de temperatura una vez cocida la pieza. Debido a las proporciones de los minerales de la muestra, similares a los de la Figura 1, se puede mencionar que el material es propicio para ser utilizado como cerámica estructural, similar al uso dado por las alfareras para crear las piezas, y que tiene como implicancia resistencia a las fracturas y aislación térmica (Galán y Aparicio, 2005). Cabe destacar que en la localidad de Pilén también se confeccionan ladrillos con una materia prima de características muy similares a P-D1P1.

### **7.1.2 P-D1P2**

Por otro lado, la muestra P-D1P2 (Tabla 9) posee presencia de illita (39,3%) y montmorillonita (0,3 %) minerales que contribuyen al comportamiento plástico del material. Además, la presencia de montmorillonita cambia la reología y contribuye a una mayor resistencia mecánica una vez cocido el producto. La presencia de hematita en una abundancia baja (0,9%) le otorga la pigmentación a la muestra, en este caso de un color rojizo. En cuanto al cuarzo, este se encuentra en gran abundancia de un 59,5%, cumpliendo una función de desengrasante.

El uso de este material en alfarería se reduce al sellado de las piezas, cuyo tinte rojizo característico es dado por la presencia de hematita. Sin embargo, la carencia de feldespatos, sumado a la alta presencia de cuarzo e illita, permiten que esta muestra pueda ser utilizada en producción de gres y granulares. Un punto importante por destacar es que, la ausencia de feldespatos aumenta la temperatura necesaria para la elaboración de los productos mencionados, factor difícil de alcanzar para las técnicas de cocción utilizadas en la localidad.

### 7.1.3 Folleto informativo Pilén

A modo de resumen se confeccionó un folleto (Figura 22) que destaca algunos minerales de las muestras analizadas en Pilén, los cuales son cuarzo, feldespatos, clorita y hematita, y cuya importancia está dada por las características que otorgan a las piezas cerámicas. El folleto cumple la función de informar y promocionar las características de las piezas confeccionadas por las alfareras.

**Loceras de Pilén**

 **Delfina del Carmen Aguilera Lara**

<b>Feldespatos</b>	Cumplen la función de disminuir la temperatura necesaria para que el resto de los minerales alcancen su máximo potencial.
<b>Cuarzo</b>	Le otorga más consistencia a la pieza. Además de dotarla de una mayor resistencia a cambios abruptos de temperatura.
<b>Clorita</b>	Utilizada para la confesión de la cerámica, cuyo aporte es otorgar alta resistencia a fracturas.
<b>Hematita</b>	Mineral que tiene la principal función de dar la coloración roja característica del color, utilizado para el sellado de las piezas.



Figura 22 Folleto informativo Pilén. Destaca las características que aportan los minerales presentes en las materias primas de la localidad.

#### **7.1.4 Q-D2P2(G)**

Para la localidad de Quinchamalí la muestra Q-D2P2(G) (Tabla 10) se compone de albita (44,4%) y sanidina (1,4%), lo que favorece a la disminución de la temperatura necesaria para el aprovechamiento del material. Mientras que clorita (9,3%) y nontronita (40,1%) favorecen el comportamiento plástico del material, y cuarzo (4,9%) actúa como desengrasante. En lo que se refiere a las piezas de alfarería, la clorita y nontronita aportan una alta resistencia mecánica a las piezas producidas. Sin embargo, el alto contenido de estos puede generar una plasticidad excesiva, dificultando el moldeado del material por falta de consistencia. Es por esto por lo que surge la necesidad de mezclarlo con otro material que aporte más consistencia, como lo es Q-D2P2(GA).

Por composición y abundancia de los minerales mencionados anteriormente, la muestra podría ser ideal para producir cerámica estructural o similares, sin embargo, el alto contenido de nontronita podría dificultar el moldeado de este, pero a su vez, aportaría alta resistencia mecánica una vez cocida la pieza.

#### **7.1.5 Q-D2P2(GA)**

Q-D2P2(GA) posee una composición similar a Q-D2P2(G) (Tabla 11) en minerales como albita (51,4%), clorita (6,8%) y cuarzo (12,7%). Albita (51,4%) y microclina (23,3%) actúan como fundentes, mientras que clorita (6,8%) e illita (5,8%) aportan la plasticidad al material. Por último, cuarzo (12,7%) actúa como desengrasante. Si bien la composición de esta muestra guarda similitudes mineralógicas con las de Q-D2P2(G), la diferencia principal está dada por la abundancia de estos, ya que los minerales que aportan plasticidad se encuentran en menor proporción, por lo que la resistencia mecánica será menor y por ende la vuelven un complemento ideal para agregar consistencia a la estructuralidad de las piezas. Por otro lado, los productos que se podrían generar a partir de este material también podrían ser cerámica estructural y ocasionalmente gres, pero con la particularidad de que estos por si solos tendrán un comportamiento más frágil que productos formados a partir de las muestras P-D1P1 y Q-D2P2(G).

Según lo mencionado anteriormente en cuanto a composición mineralógica, características que aportan dichos minerales y productos ideales que se pueden generar a partir de la inferencia directa de estos, se puede clasificar a todas las muestras analizadas dentro de la cerámica roja, basado en la clasificación definida por Galán y Aparicio (2005) (Sección 2.1.1) las cuales

se componen por minerales como cuarzo, feldespatos y óxidos de hierro. Dichos materiales tienen como principal uso los campos de cerámica, cerámica estructural, ladrillos, pavimento, tejas, azulejos y gres, campos en los que se podrían desenvolver las muestras de ambas localidades según se mencionó antes. Además, según lo mencionado por las alfareras Quinchamalí, el rango de temperatura de cocción de las piezas oscila entre los 930 y 950°C, valores que están dentro del rango ideal para la cocción de la cerámica roja según Galán y Aparicio (2005) definida entre los 850 y 1100°C, lo que indica que se estaría obteniendo el mayor provecho para este tipo de material según la temperatura de sellado. Se descarta otro tipo de clasificación como cerámica blanca o cerámica refractaria, ya que el contenido de caolín necesario para situarse dentro de estas clasificaciones es tan alto (>50%) que habría sido notado con las técnicas utilizadas en este trabajo, por ejemplo, con mineralogía de tamaño >2µm, y una coloración que variaría entre el blanco y los tonos amarillentos de los afloramientos de estos materiales, todas características que no se reconocen en ninguna de las muestras analizadas.

## **7.2 Comparación de mineralogía obtenida con minerales de diversas localidades**

### **7.2.1 Comparación con La Herradura y Monte Patria (Pardo et al. 2011)**

Las arcillas de las diferentes localidades estudiadas por Pardo *et al.* (2011) guardan similitud en diversos minerales en comparación con las muestras estudiadas en el presente trabajo, dichos minerales son cuarzo, albita, hematita e illita. Sin embargo, las arcillas de La Herradura y Monte Patria poseen minerales como diópsido y anorthita (Tabla 1), lo que infiere una diferencia en el material de origen que da paso a la mineralogía estudiada. Lo anterior puede tener una influencia directa en el producto que se genere a partir del material, ya que un posible origen de minerales ferromagnesianos de estas arcillas traería como consecuencia menor contenido de sílice, y, por ende, menor potencial para el uso de cerámica estructural, granulares y gres. Por otro lado, las arcillas analizadas en el presente trabajo poseen características de una composición intermedia, por lo que poseen mayor contenido de sílice, lo que se ve reflejado en un mayor potencial en el uso de cerámica estructural por la consistencia y resistencia a cambios abruptos de temperatura que aporta dicho mineral. Además, la presencia de feldespatos, cuarzo e illita amplía el campo de uso de dichas arcillas, como lo son alfarería, granulares y gres (Sección 2.1.1). Mientras que Pardo *et al.* (2011) menciona que las arcillas de La Herradura son más idóneas para el uso de revestimiento o loza de barro (earthenware),



debido al menor contenido de cuarzo (~ 20%) y feldespatos (~25%) por lo que el producto no es cocido hasta el punto de vitrificación debido a la menor presencia de fundentes (feldespatos), además de ser más porosa y de grano más grueso como el gres y la porcelana (Britannica, 2019).

### **7.2.2 Comparación con Cauquenes y San Vicente de Tagua Tagua (Pardo et al. 2018)**

Las arcillas de la zona centro – sur estudiadas por Pardo *et al.* (2018) presentan similitudes en la mineralogía de las muestras estudiadas en la localidad de Pilén (P-D1P1 y P-D1P2), lo que es bastante consecuente, ya que la localidad de Pilén se encuentra dentro de la provincia de Cauquenes, por lo que se asume que el contexto geológico es similar en el origen para ambos casos. No obstante, las muestras estudiadas por Pardo *et al.* (2018) se diferencian principalmente en el contenido de caolinita (Tabla 4), lo que tiene una inferencia directa en los productos que se pueden generar a partir de esta, debido a que este mineral aporta plasticidad y resistencia a altas temperaturas. Con respecto a los usos, el autor menciona que las arcillas de la región del Maule son ideales para ser usadas como baldosas, cerámica estructural y ladrillos semi refractarios, estos últimos caracterizados por el alto contenido de caolín.

Las muestras analizadas en la localidad de Quinchamalí [Q-D2P2(G) y Q-D2P2(GA)] guardan similitud en la composición con las arcillas analizadas en la región del Libertador Bernardo O Higgins, específicamente en San Vicente de Tagua Tagua, presentando minerales como cuarzo, albita, feldespatos e illita. Nuevamente la diferencia en composición está dada por la presencia de caolinita, sumado además la presencia de hematita (Tabla 4), lo que inclina al autor a clasificar que el uso ideal de las arcillas de San Vicente de Tagua Tagua es el de baldosas de cerámicas. Mientras que las arcillas analizadas en las localidades de Quinchamalí en el presente trabajo presentan características que las vuelven más propicias para ser utilizadas como cerámica estructural, gres y granulares.

### **7.3 Preparación de muestras**

Como se mencionó en el capítulo de “Análisis: Difracción de rayos X” las muestras del presente trabajo fueron preparadas para roca total, es decir, reducidas a un tamaño de 75  $\mu\text{m}$ . Sin embargo, el objetivo principal es analizar minerales de arcilla, los cuales poseen un tamaño < 2  $\mu\text{m}$ . Estos efectos en los cambios metodológicos, sumado a la ausencia de otros procesos como lo son; eliminación de carbonatos, eliminación de materia orgánica, y lavado de muestra, previo a la separación del material limo – arcilla, del resto de la muestra, pueden traer como

consecuencia el enmascaramiento de algunos materiales de arcilla o la confusión en su identificación, así como generar dudas con peaks similares asociados a distintos minerales.

En el caso concreto de P-D1P1 se identificaron peaks que pueden confundir la presencia de caolinita o clorita, así como la presencia de ambas. Como se observa en la Figura 23, un análisis de minerales orientados no necesariamente permitiría distinguir la presencia de uno u otro mineral, por lo que se requiere un análisis extra, en este caso el calcinamiento de la muestra a 500°C desintegraría la caolinita, mientras que la clorita debiese sufrir cambios leves, por lo que esto permitiría diferenciar cual de estos minerales está presente.

Al no tener la opción de realizar análisis complementarios se deben considerar otros factores para distinguir la presencia de uno u otro mineral, los ambientes de formación es uno de estos. Como se observa en la figura (Figura 12) se reconocen factores que contribuyen a la formación de caolinita, como lo son un ambiente cálido y de humedad relativamente alta, sin embargo, no se reconocen evidencias de alteración hidrotermal, relleno de espacios o algún ambiente sedimentario relacionado a este mineral, como lo son ambientes lacustres, deltaico o lagoon. En cuanto a la clorita, esta se reconoce tanto a muestra de mano (Figura 13) como en el análisis de difracción de rayos X, en complemento a esto, la composición de la muestra se relaciona con la del Batolito de la Costa definido por Moreno (1979), además, el autor menciona que esta secuencia junto a los estratos de Pillay – Cerro Gupo se ven afectados por metamorfismo de contacto, lo que podría ser el evento que de origen a este mineral. También es importante considerar que puede existir presencia de ambos minerales como menciona Pardo *et al.* (2018), cuyo origen puede estar relacionado a eventos distintos, en el caso de la clorita el metamorfismo de bajo grado anteriormente mencionado, y de forma posterior la formación de caolinita por degradación de feldespatos en un ambiente propicio para ello.

Otro mineral cuya presencia podría ser discutida es la de esmectitas, ya que en los peaks 4 2 $\theta$  y 12 2 $\theta$  la intensidad es mayor a las relacionadas a clorita, sin embargo, como se mencionó anteriormente los minerales reconocidos a muestra de mano juegan un rol más decisivo a la hora de inclinarse por uno u otro. Para este caso el análisis de fracción < 2  $\mu$ m ayudaría a identificar la presencia de uno u otro, o la coexistencia de ambos, sumado a un tratamiento con etilenglicol para distinguir de forma más exacta la presencia de alguna esmectita al ser esta una arcilla expansiva.

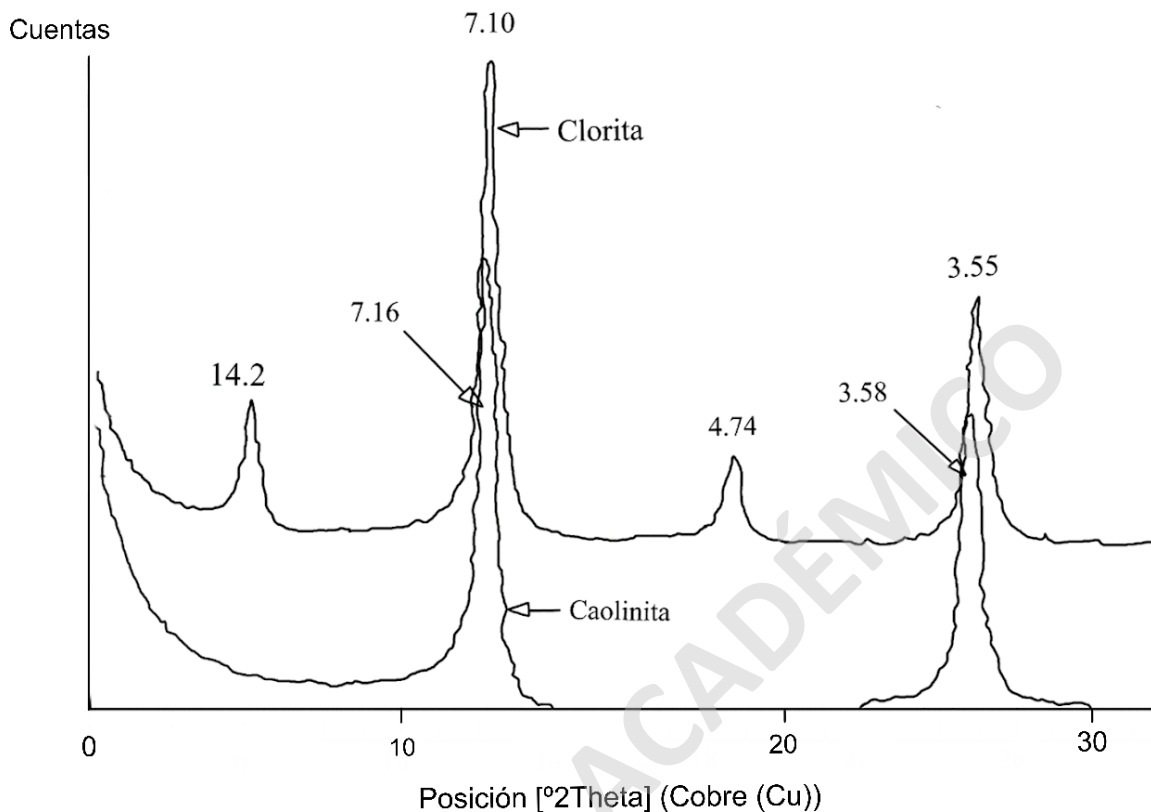


Figura 23 Gráfico de peaks de clorita y caolinita. Modificado de Moore y Reynolds 1997.

#### 7.4 Presencia de Vegetación

Dentro de las muestras analizadas en este trabajo, la composición de la muestra P-D1P2 es la que más se diferencia del resto por la carencia de feldspatos y la presencia de óxidos de hierro como hematita. Una causa de las características composicionales de esta muestra podría estar directamente ligada con la ubicación del afloramiento, ya que como se observa en la figura 13 existe una presencia de vegetación considerablemente influyente. La vegetación se reconoce como una plantación de árboles de eucaliptus, los cuales, como se menciona en la sección “2.3 Suelos e influencia de vegetación”, tienen la capacidad de absorber nutrientes del suelo, lo que se ve reflejado en la extracción de elementos como Mg, Ca y K (Carimentrand *et al.* (2002)), y como consecuencia provoca la acidificación del suelo. Un reflejo de lo anterior puede ser la ausencia de minerales que incluyen dichos elementos en la muestra, sin embargo, en minerales como illita y montmorillonita, esto no puede afirmarse sin un análisis de composición química debido a la naturaleza de solución solida por parte de ambos. Por otro

lado, la presencia de hematita indica un ambiente ácido, que es consecuencia principal de la ausencia de Ca en la mineralogía del suelo.

Otros factores por considerar son el alcance de raíces y densidad de plantación, ya que, a mayor densidad, mayor es la proporción de nutrientes que debiese absorber. El tiempo es otro factor importante y según lo mencionado por las alfareras locales, estas plantaciones tienen más de 6 años, por lo que la influencia de absorción de nutrientes y acidificación del suelo debiese encontrarse en una etapa avanzada.

SOLO USO ACADÉMICO

## 8 Conclusiones

A modo de conclusión, el presente trabajo logró conocer y corroborar todos los procedimientos involucrados en la confección de las piezas de alfarería tanto en la localidad de Pilén, como en la localidad de Quinchamalí. Esto incluye las proporciones de los materiales, los que son siempre variables según el tamaño y tipo de pieza que se confeccione, la temperatura de cocción de las piezas con rango variable entre 930-950°C, el procedimiento de sellado y el tiempo requerido para la confección de cada pieza.

No se lograron determinar las fuentes de extracción en la localidad de Quinchamalí, ya que no fue posible acceder a los puntos de interés. Sin embargo, los puntos de interés de Pilén fueron identificados y descritos de forma satisfactoria. De este mismo modo, la localidad mencionada fue caracterizada geológicamente y se corroboró la relación entre lo descrito de forma previa en bibliografía y lo identificado en el presente trabajo, tanto en descripción de muestra de mano como en los análisis de difracción de rayos X. Esto referido a la mineralogía definida por Moreno (1979) con la presencia de diversos granitos y granodioritas de biotita y anfíbola, además de pegmatitas de ortoclasa y muscovita. Mientras que en las muestras analizadas se determinaron minerales similares a los mencionados anteriormente, como la presencia de anfíbolos, feldespatos y cuarzo, lo que se asocia a composiciones intermedias – ácidas.

Los minerales de los puntos de interés fueron identificados de forma parcial. Lo anterior se debe a que en primera instancia no se pudo realizar análisis de todas las muestras de los puntos de interés. Sumado a esto, los análisis no fueron hechos con énfasis en minerales de arcilla, ya que fueron preparados para análisis de roca total. Aun con estas limitantes, se lograron identificar minerales de arcilla en las muestras analizadas, permitiendo su clasificación y determinación en los posibles usos de éstas. Estos minerales de arcilla corresponden a illita, esmectitas (montmorillonita y nontronita), y clorita. De todas formas, es importante considerar que la presencia de dichos minerales de arcilla no es determinante y existe un rango de incertidumbre debido al método de análisis utilizado para identificar los minerales nombrados.

A partir de la mineralogía identificada en la localidad de Pilén, se confecciona un folleto resumen (Figura 22) con las características que aportan la presencia de los minerales reconocidos en la materia prima. Cumpliendo con la función de informar y promocionar los productos confeccionados por las alfareras. Se descartó la confección de un folleto similar para la localidad de Quinchamalí debido a que no fueron analizados todos los materiales que se usan para confeccionar las piezas de alfarería.

Para las comparaciones con arcillas de otras localidades del país, estudiadas por otros autores, se determinó que; si bien existen similitudes en composición con las arcillas estudiadas en el norte por Pardo *et al.* (2011), el origen de estas son distintas y por ende varían en algunos minerales que afectan de forma directa en las características del material y las diferencia en sus aplicaciones.

En cuanto a las comparaciones de arcillas estudiadas por Pardo *et al.* (2018) en la zona centro sur, se determinó que los orígenes de los materiales deben ser similares, sin embargo, el autor identifica minerales como caolinita en la mayoría de sus muestras, lo que marca una diferencia en composición y más aún, una diferencia notoria en las características y posibles aplicaciones del material como consecuencia de la presencia de este mineral.

Finalmente, la hipótesis planteada para este trabajo, “Las materias primas utilizadas en alfarería en las localidades de Pilen y Quinchamáli, presentan minerales que aportan características a las piezas confeccionadas. Las cuales son, alta resistencia mecánica y resistencia a temperaturas elevadas”, se cumple de manera parcial, ya que la identificación de minerales como illita, esmectitas y clorita, implica una mayor resistencia mecánica, aportando un valor agregado a las piezas de alfarería y las diferencia de productos similares provenientes de otras localidades. Sin embargo, la falta de reconocimiento de minerales como el caolín no permite otorgar a las piezas una mayor resistencia a altas temperaturas.

Para futuras investigaciones se propone el análisis orientado de la fracción  $< 2\mu\text{m}$ , para identificar de forma precisa estos minerales, y descartar el enmascaramiento que puedan haber sufrido al no eliminar la materia orgánica, carbonatos y no separar la porción limo-arcilla del resto de la muestra. También se sugiere el análisis de las muestras que fueron tomadas, pero no analizadas en el presente trabajo, ya que identificar su composición podría ampliar aún más el abanico de posibilidades en los productos que se pueden confeccionar a partir de las materias primas, así como también podrían reforzar las características que aportan para su uso en alfarería.

## Bibliografía

- Almeyda y Saez, F. (1958). Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos respectivos. Santiago. Ministerio de agricultura.
- Alvarado, M. (1997). *La tradición de los grandes cántaros: reflexiones para una estética del “envase.”*
- Bartolomé, J.F. (1997) “El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones”. *Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio. Instituto de ciencia de materiales de Madrid (ICMM). Madrid, España.*
- Berenguer, J. (2000). Tiwanaku: Señores del lago sagrado. Museo Chileno de Arte Precolombino. Santiago, Chile.
- Borgel, R. (1983). *Geomorfología. Colección Geográfica de Chile. Ediciones Instituto Geográfico Militar, Santiago.*
- Berthier, P «Analyse de Thallosyte». An. Chim, Phys.,32, 463-484 (1826).
- *Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. (2019), August 8). earthenware. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/art/earthenware>*
- Caillere, S y Henin, S. (1963). *Mineralogie des argiles. Masson et Cie. Paris, 355 pp.*
- Campos, M. (1981). Los procesos de formación de arcillas y su importancia en la utilización industrial. *Bol.Soc.Esp.Ceram.Vidr. Volumen 20.*
- Cantarutti Rebolledo, G. E., & Mera Moreno, R. (2004). Estadio Fiscal De Ovalle: Redescubrimiento De Un Sitio Diaguita-Inca En El Valle Del Limarí. *Chungará (Arica), 36(September). <https://doi.org/10.4067/s0717-73562004000400024>*
- Carimentrand, J., Lugo, L., Lozada, J. (2002). Efectos inducidos en los suelos, por las plantaciones de eucalipto en el estado Portuguesa, Venezuela. Instituto de Investigación para el Desarrollo Forestal (INDEFOR), Universidad de Los Andes, Mérida. Venezuela.
- De Wolff, P.M. y Visser, J.W. (1964). Absolute intensities, Rep. 641.109. Technische Physische Dients, Delft.
- Dirección General de Aeronáutica Civil. 2022. Temperatura histórica anual. Estación general Bernardo O’Higgins, Chillán.<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historico/temperaturaHistoricaAnual/360011>
- Dirección General de Aeronáutica Civil. 2022. Precipitación histórica anual. Estación general Bernardo O’Higgins, Chillán. <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historico/aguaCaidaHistoricaMensual/360011>
- Enrique, J.E., Amorás, J.L. (1985). Tecnología cerámica. Vol. I. Introducción a la tecnología cerámica. Materias primas cerámicas. Instituto de Química Técnica. Univ. de Valencia. 155 pp.
- Estrada, E. (1994). Sobre los métodos de diferenciación de caolinita y clorita. Universidad nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Facultad de ciencias naturales, departamento de geología. Comodoro Rivadavia, provincia de Chubut, Argentina.
- Flores, E. (2009). Efecto de las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus L.*) sobre los suelos de comunidades asentadas en la red ferroviaria Cochabamba – Cliza. *Revista ActaNova. Vol4 N°2-3. Cochabamba.*
- Fuenzalida, H. (1950). Geografía económica de Chile. Corporación de Fomento. Santiago. Tomo I
- García y Suarez, M. (2016). Las arcillas: Propiedades y Usos. Universidad Complutense de Madrid y Universidad de Salamanca. Biblioteca virtual, Facultad de Humanidades.

- Galán y Aparicio, P. (2005). Materias primas para la industria cerámica. Universidad de Sevilla.
- Gallaga Ortega, Y. Aguilar Becerra, S. Y Ramos Ramírez, E. (2002). Determinación y análisis de fórmulas estructurales de esmectitas del estado de Guanajuato. Universidad de Guanajuato de México. Acta universitaria. México.
- Grim, R. E. Bray, R.H. Bradley, W. F. (1937). The mica in argillaceous sediments: Amer. Minerl. 22, 813-29.
- Grim, R. (1962). Clay Mineralogy: The clay mineral composition of soils and clays is providing an understanding of their properties. University of Illinois, Urbana.
- Grim, R. E. (1968), Clay Mineralogy, International Series in the Earth and Planetary Sciences, 2a ed. USA: McGraw Hill.
- González y Vergara, M. (1963) Reconocimiento Geológico de la cordillera de los Andes entre los paralelos 35 y 38 sur. Santiago. Universidad de Chile.
- Joseph, C. (1931). *La Vivienda Araucana* (p. 20). Universidad de Chile.
- Kingery, W. D. (1960) Ceramic fabrication processes. Technology Press M.I.T. y John Wiley and Sons, NewYork.
- Kodama, H y Oinuma, K. (1963). Identification methods of kaolin minerals and chlorite. Journal of the Clay Science Society of Japan.
- Linares, J. Huertas, F. Capel, J. (1983). La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento. Sección de Físicoquímica y Geoquímica mineral, Estación experimental del Zaidín (C.S.I.C) de Granada.
- Lopez, A. Sanchez, A. Nieto, F. Escutia, C. (2019). "Que es la glauconita?". Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7135495>
- Mesa, J.M. "Caolín y arcillas caoliníferas" pp. 27-44 en Recursos minerales de España, J.García Guinea, J., y Martínez, J. Coordinadores, Colección textos Universitarios n- 15, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid (España) 1992.
- Moore y Reynolds, R. (1997). X- ray diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford University Press.
- Odin, G.S. & Fullagar, P.D. (1988): Geological significance of the glaucony facies. Green Marine Clays 45, 295–332.
- Palmonari c., Terraglia A (1985). Manufacture of heavy-clay products with the addition of residual sludges from other ceramic industries. Miner. Petrog. Acta 29-A: 547-562.
- Pardo, F., Jordan, M. M., & Montero, M. A. (2018). Ceramic behaviour of clays in Central Chile. *Applied Clay Science*, 157(December 2017), 158–164. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.02.044>
- Pardo, F., Meseguer, S., Jordán, M. M., Sanfeliu, T., & González, I. (2011). Firing transformations of Chilean clays for the manufacture of ceramic tile bodies. *Applied Clay Science*, 51(1–2), 147–150. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.11.022>
- Rebolledo, L. (2016). *Las Loceras de Pilén*. <https://www.afluente.cl/las-loceras-de-pilen.html>
- Ríos, R. (2017). Chile a mano. *Greda Negra de Quinchamalí*. <https://www.chileamano.com/2017/07/25/greda-negra-de-quinchamali/>
- San Martín, K. (2017). *ALFARERÍA DE QUINCHAMALÍ Y SANTA CRUZ DE CUCa*.
- Sánchez y Massone, M. (1995). Cultura Aconcagua. Dirección de bibliotecas, archivos y museos, Santiago. Centro de Investigaciones Diego Barros Arana.
- Sanfeliú, T. (1991). Mineralogía de arcillas terciarias cerámicas de Castellón. In: Colección lecciones Universitaria, Diputación de Castellón.
- Tarbuck, E., Lutgens, F. (2005). Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física. Universidad Autonoma de Madrid. Octava edición.



- Valdés, X. (1990). *Loceras de pilén*. Ediciones CEDEM - Colecciones Artes y Oficios: Alfarería. Santiago, Chile.
- Weaver, Ch. E. y Pollard, L. D. (1975). *The Chemistry of Clays Minerals*, Netherlands: Elsevier Scientific Pu. Co.

SOLO USO ACADÉMICO

## Anexos

*Anexo 1 Sistema de clasificación de arcillas "Rie". Extraído de García Verduch 1985.*

- A. Arcillas residuales
  - a. Caolines y arcillas caoliníticas (de cocción blanca)
    - i. Filones formados a partir de pegmatitas.
    - ii. Depósitos en capas, situados en áreas de rocas ígneas o metamórficas.
    - iii. Bolsadas de calizas.
  - b. Residuos, que dan color rojo por cocción, derivados a partir de diversas clases de rocas.
- B. Arcillas coluviales, acumuladas por lavado de arcillas residuales. Pueden ser refractarias y no refractarias.
- C. Arcillas transportadas.
  - a. Arcillas depositadas en agua.
    - i. Arcillas o esquistos marinos. Los depósitos son generalmente de gran extensión.
      - 1. Arcillas que cuecen de color blanco. Arcillas de bola.
      - 2. Arcillas y esquistos refractarios, que cuecen de color crema.
      - 3. Arcillas y esquistos impuros, calcáreos y no calcáreos.
    - ii. Arcillas lacustres, depositadas en lagos o en pantanos.
      - 1. Arcillas y esquistos refractarios.
      - 2. Arcillas y esquistos impuros, que cuecen de color rojo.
      - 3. Arcillas calcáreas.
    - iii. Arcillas acumuladas por inundaciones de llanuras. Ordinariamente son impuras y de naturaleza arenosa.
    - iv. Arcillas depositadas en estuarios. Casi siempre son muy impuras y aparecen finamente laminadas.
  - b. Arcillas glaciares. Son a menudo pedregosas y cuecen de color rojo o crema.
  - c. Depósitos formados por el viento. Loess.
  - d. Depósitos de origen químico. Algunas arcillas corneas.

Anexo 2 Mineralogía de Monte Patria (MP). Variación mineralógica en temperaturas de 830, 975, 1080 y 1160°C.  
Modificado de Pardo et al. (2011).

Mineralogical transformations of MP clays during heating at 830–975–1080–1160 °C.

Mineral phase	MP 830 °C	MP 975 °C	MP 1080 °C	MP 1160 °C
Quartz	+++	+++	+++	++
Cristobalite	–	–	–	++
Microcline	+	+	+	+
Albite	++++	+++	–	–
Anorthite	++	+++	++++	++++
Hematite	++	++	++	++
Diopside	(+)	(+)	+	+
Gehlenite	(+)	(+)	(+)	(+)
Enstatite	(+)	(+)	+	++
Wollastonite	(+)	(+)	(+)	(+)

Legend: ++++ (>20%); +++ (>15%); ++ (>10%); + (>5%); (+) present (<5%); and – not present.

Anexo 3 Mineralogía Las Compañías (LC). Variación mineralógica en temperaturas de 830, 975, 1080 y 1160°C.  
Modificado de Pardo et al. (2011).

Mineralogical transformations of LC clays during heating at 830–975–1080–1160 °C.

Mineral phase	LC 830 °C	LC 975 °C	LC 1080 °C	LC 1160 °C
Quartz	+++	+++	+++	++
Mullite	–	(+)	(+)	(+)
Spinel	–	–	+	++
Microcline	+	+	(+)	(+)
Albite	++++	++++	+++	++
Anorthite	++	+++	+++	++++
Hematite	+	+	+	+
Diopside	–	–	–	(+)
Enstatite	(+)	+	+	+
Illite/muscovite	(+)	–	–	–
Talc	(+)	(+)	–	–

Legend: ++++ (>20%); +++ (>15%); ++ (>10%); + (>5%); (+) present (<5%); and – not present.

Anexo 4 Mineralogía San Vicente de Tagua Tagua. Variación Mineralógica en temperaturas de 830, 975, 1080 y 1160°C. Modificado de Pardo et al. (2011).

Mineralogical transformations of SVTT clays during heating at 830–975–1080–1160 °C.

Mineral phase	SVTT 830 °C	SVTT 980 °C	SVTT 1080 °C	SVTT 1160 °C
Quartz	++++	++++	+++	+++
Spinel	(+)	(+)	(+)	(+)
Cristobalite	(+)	(+)	++	++
Microcline	+++	++	+	–
Albite	++++	++	–	–
Anorthite	+	+	–	–
Hematite	+	+	++	++
Enstatite	–	–	+	+

Legend: +++++ (>20%); ++++ (>15%); ++ (>10%); + (>5%); (+) present (<5%); and – not present.

Anexo 5 Mineralogía Litueche. Variación mineralógica en temperatura de 830, 975, 1080 y 1160°C. Modificado de Pardo et al. (2011).

Mineralogical transformations of L clays during heating at 830–975–1080–1160 °C.

Mineral phase	L 830 °C	L 975 °C	L 1080 °C	L 1160 °C
Quartz	++++	++++	++++	++++
Mullite	–	–	–	(+)
Microcline	++	++	+	+

Legend: +++++ (>20%); ++++ (>15%); ++ (>10%); + (>5%); (+) present (<5%); and – not present.

Anexo 6 Análisis químico, % por peso en muestras secas. Modificado de Pardo et al. (2018).

Chemical analysis (% by weight, dry).LOI: loss on ignition.

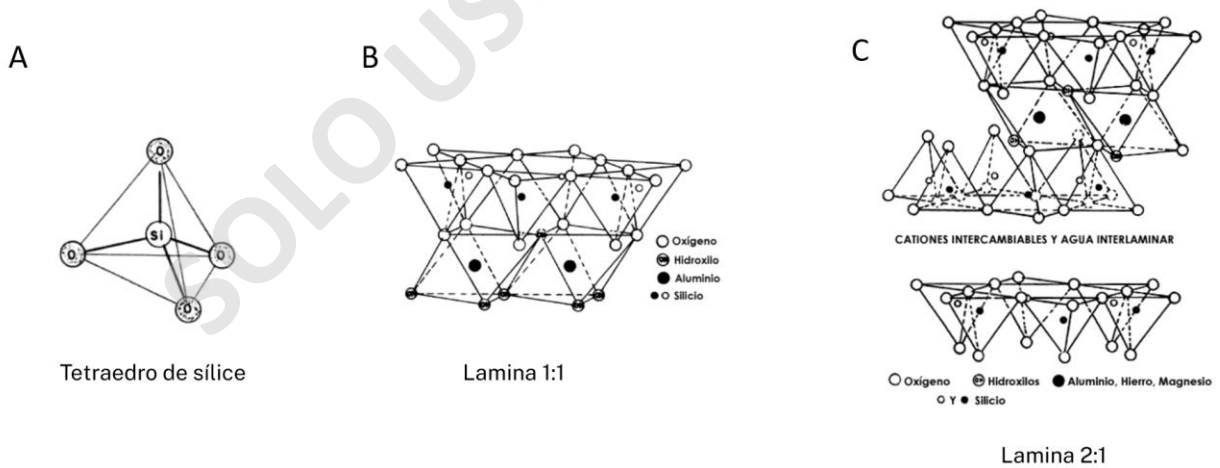
Samples											
%	1. Metropolitan region	2. Region VI	3. Region VI	4. Region VI	Average region VI	5. Region VII	6. Region VII	7. Region VII	8. Region VII	9. Region VII	Average region VII
SiO <sub>2</sub>	59.60	59.10	68.80	50.50	59.47	50.80	60.80	57.60	61.19	57.60	57.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.20	17.10	20.60	20.30	19.33	17.50	17.40	18.00	17.50	16.80	17.44
Na <sub>2</sub> O	3.50	4.01	0.32	2.80	2.38	2.84	2.66	1.58	2.57	2.99	2.53
K <sub>2</sub> O	2.16	2.85	4.46	1.76	3.02	1.21	1.24	1.46	1.17	1.06	1.23
CaO	2.85	1.73	0.10	1.08	0.97	2.46	2.29	2.00	2.57	3.92	2.65
MgO	1.24	1.45	0.15	1.64	1.08	1.74	1.86	2.84	1.88	1.62	1.99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.35	8.05	0.99	10.40	6.48	6.75	7.10	8.96	6.93	7.75	7.50
TiO <sub>2</sub>	0.79	1.10	0.54	0.95	0.86	0.88	0.87	0.77	0.80	0.91	0.85
MnO	0.09	0.17	0.01	0.26	0.15	0.61	0.37	0.13	0.16	0.14	0.28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.27	0.03	0.07	0.12	–	–	–	–	0.16	0.03
SO <sub>3</sub>	0.10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
LOI	4.70	4.45	4.78	7.17	5.47	5.85	6.01	7.57	6.13	3.98	5.91
TOTAL	97.78	100.49	101.00	97.01	99.50	90.88	100.81	100.99	101.02	97.02	98.14

Anexo 7 Índice de plasticidad de Pfefferkorn (IP) para las muestras de arcillas de los cinco depósitos analizados.

Pfefferkorn Plasticity index (IP) values for the five clay deposits studied.

Sample		PI
Region	N	
VII (Kaolins)	5	32
VII (Kaolins)	6	34
VII(Kaolins)	7	34
VII(Kaolins)	8	40
VI-SVTT	2	24
VI-L	3	25
Metro	1	27
VI	4	21
VII	9	36

Anexo 8 A: Tetraedro de sílice. B: Lamina 1:1 compuesta de un tetraedro y un octaedro. C: Lamina 2:1 compuesta por dos tetraedros y un octaedro



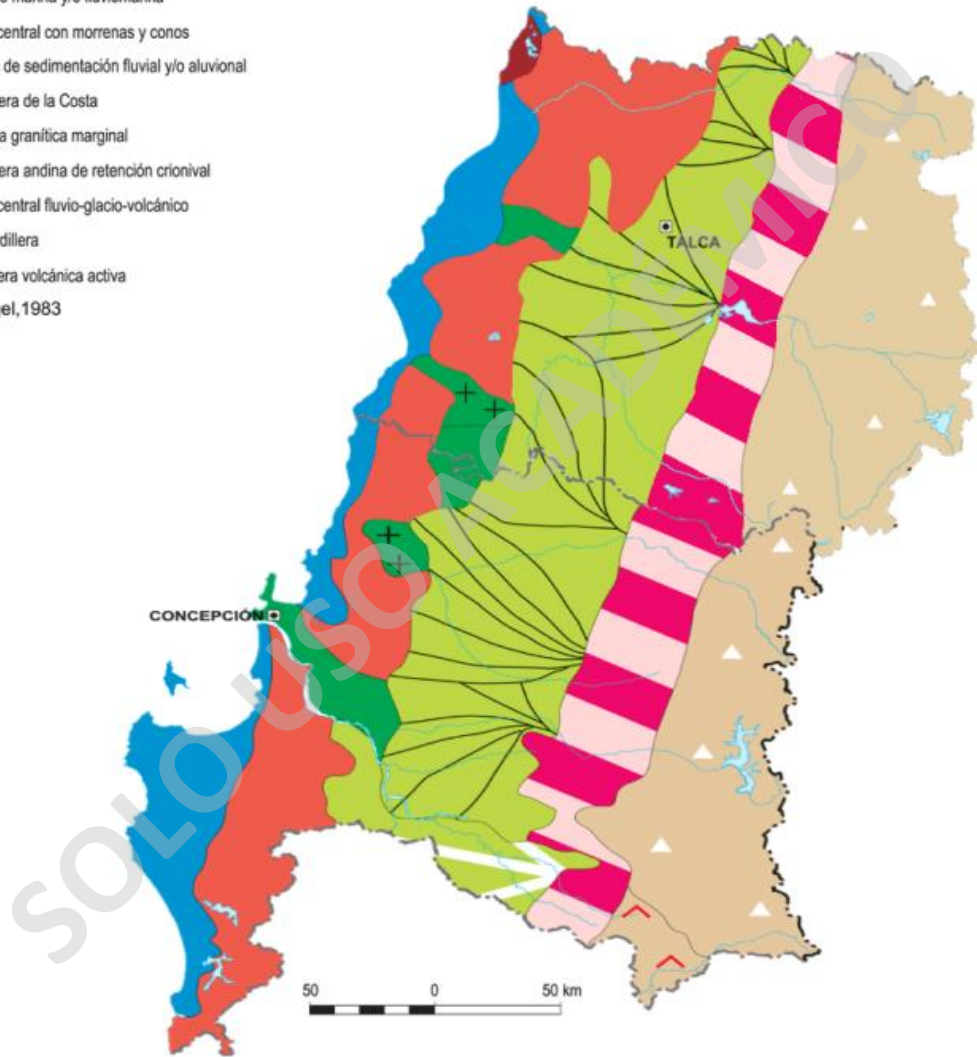
REGIÓN DEL MAULE Y DEL BIOBÍO  
GEOMORFOLOGÍA



LEYENDA

-  Planicie marina y/o fluvio-marina
-  Llano central con morrenas y conos
-  Llanos de sedimentación fluvial y/o aluvional
-  Cordillera de la Costa
-  Cuenca granítica marginal
-  Cordillera andina de retención crionival
-  Llano central fluvio-glacio-volcánico
-  Precordillera
-  Cordillera volcánica activa

Fuente: Börgel, 1983



*Anexo 10 Descripción de muestra P-D2P1 (G). Material denominado greda que se utiliza para producción de alfarería*

**Muestra P-D2P1 (G)** Greda. Material utilizado para la producción de alfarería

Roca holocristalina de grano grueso, equigranular de textura fanerítica, donde se reconocen minerales como:

- Cuarzo (35%): Cristales blancos de tonalidad lechosa, anhedrales de grano grueso
- Feldespato – K (20%) Cristales de coloración blanca, subhedrales de grano medio - grueso
- Plagioclasa (15%) Cristales tabulares, subhedrales de grano medio
- Biotita (25%) Cristales negros, escamosos de brillo metálico, subhedrales de grano medio - grueso
- Anfíbola (5%) Cristales negros prismáticos, subhedrales de grano medio

Según triángulo de clasificación QAP corresponde a granito de biotita

*Anexo 11 Descripción de muestra P-D2P1 (SG). Material denominado silcón gredoso, utilizado para producción principalmente de ladrillos. De forma ocasional de utiliza también para producir alfarería.*

**Muestra P-D2P1 (SG)** Silcón gredoso. Material utilizado para producción de ladrillos, y ocasionalmente, para alfarería.

Roca holocristalina de grano grueso, equigranular de textura fanerítica, donde se reconocen minerales como:

- Cuarzo (28%) Cristales blancos de tonalidad lechosa, anhedrales de grano medio
- Feldespato – K (25%) Cristales de coloración blanca, subhedrales de grano fino - medio
- Plagioclasa (20%) Cristales tabulares, subhedrales de grano fino
- Biotita (20%) Cristales negros, escamosos de brillo metálico, subhedrales de grano medio
- Anfíbola (7%) Cristales negros prismáticos, subhedrales de grano fino – medio

Según triángulo de clasificación QAP corresponde a granito de biotita. La muestra se presenta disgregada con bordes difusos en algunos cristales de biotita, por lo que se infiere influencia de alteración hidrotermal

*Anexo 12 Descripción de muestra P-D2P1 (S). Material denominado silca, utilizado para producción principalmente de ladrillos.*

**Muestra P-D2P1 (S)** Silca. Material utilizado para producción de ladrillos

Roca holocristalina de grano grueso, equigranular de textura fanerítica, donde se reconocen minerales como:

- Cuarzo (30%) Cristales blancos de tonalidad lechosa, anhedrales de grano medio
- Feldespato – K (15%) Cristales de coloración blanca, subhedrales de grano fino - medio
- Plagioclasa (20%) Cristales tabulares, subhedrales de grano medio
- Biotita (25%) Cristales negros, escamosos de brillo metálico, subhedrales de grano medio - grueso
- Anfíbola (10%) Cristales negros prismáticos, subhedrales de grano medio

Según triángulo de clasificación QAP corresponde a granito de biotita

*Anexo 13 Descripción de muestra P-D2P2. Material denominado greda, al igual que la muestra P-D2P1 (G) que se utiliza para producción de alfarería.*

**Muestra P-D2P2** greda. Material utilizado para la producción de alfarería

Roca holocristalina de grano grueso, equigranular de textura fanerítica, donde se reconocen minerales como:

- Cuarzo (30%): Cristales blancos de tonalidad lechosa, anhedrales de grano grueso
- Feldespato – K (25%) Cristales de coloración blanca, subhedrales de grano medio - grueso
- Plagioclasa (20%) Cristales tabulares, subhedrales de grano medio
- Biotita (20%) Cristales negros, escamosos de brillo metálico, subhedrales de grano medio - grueso
- Anfíbola (5%) Cristales negros prismáticos, subhedrales de grano medio

Según triángulo de clasificación QAP corresponde a granito de biotita



*Anexo 14 Descripción de muestra P-D2P1 (S). Material denominado silca al igual que muestra P-D2P1 (S), utilizado para producción principalmente de ladrillos.*

**Muestra P-D2P3 Silca.** Material utilizado para producción de ladrillos

Roca holocristalina de grano grueso, equigranular de textura fanerítica, donde se reconocen minerales como:

- Cuarzo (25%) Cristales blancos de tonalidad lechosa, anhedrales de grano medio
- Feldespato – K (18%) Cristales de coloración blanca, subhedrales de grano fino - medio
- Plagioclasa (20%) Cristales tabulares, subhedrales de grano medio
- Biotita (27%) Cristales negros, escamosos de brillo metálico, subhedrales de grano medio – grueso
- Anfíbola (10%) Cristales negros prismáticos, subhedrales de grano medio

Según triángulo de clasificación QAP corresponde a granito de biotita

*Anexo 15. Muestra Q-D2P2 (Ar) utilizada para agregar consistencia a las piezas ceramicas. Se usa en conjunto con Q-D2P2 (GA).*



Anexo 16 Muestra Q-D2P2 (CB) utilizada para el sellado de las piezas, aporta los detalles de tonalidades blancas.

