



Universidad
Andrés Bello®

Facultad de Ingeniería
Carrera de geología

Naturaleza física, química y mineralógica de
suelos de cultivo en los viñedos Miró y
Estampa, Comuna de Marchigüe, Provincia
de Cardenal Caro, Región de O'Higgins,
Chile.

Memoria para optar al título de
geólogo

SEBASTIÁN HERNÁN FLORES LABARCA

PROFESOR GUIA:

RODRIGO LUCA PALACIOS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

MAURICIO CALDERÓN NETTLE

POLDIE OYARZÚN GUIÑEZ

SANTIAGO DE CHILE

2020

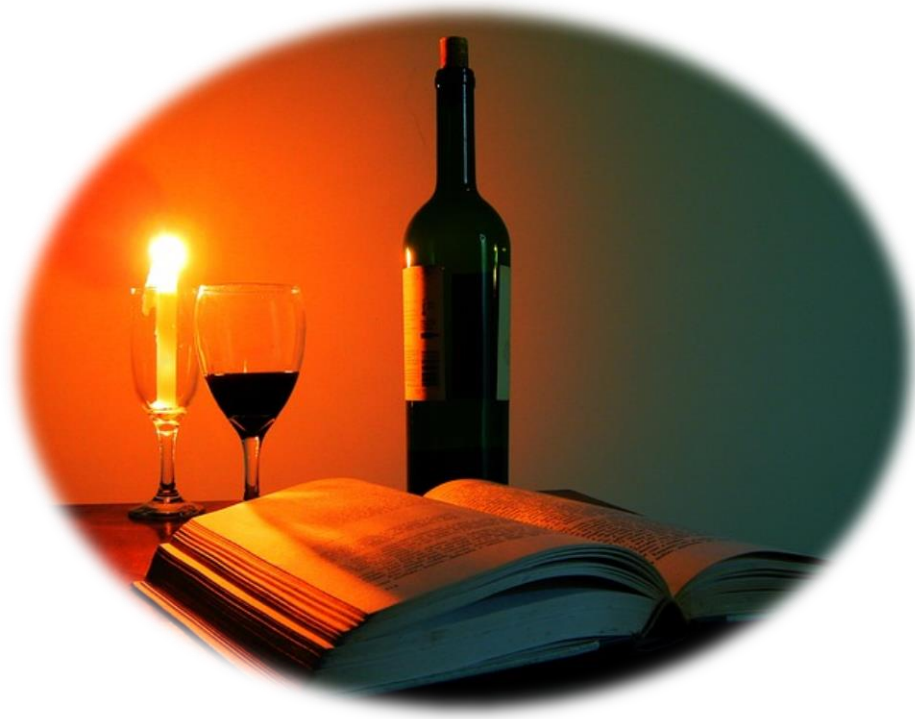
Resumen

El segmento estudiado, en la Comuna de Marchigue, corresponde a un cordón de rocas metamórficas de Paleozoico Tardío. Este relieve debe su ocurrencia a un control estructural que se ha desarrollado desde finales del Mioceno, bajo un régimen tectónico extensivo que alza las rocas en fallamiento normal y que coincide precisamente con el sistema de Fallas de Tanumé-Pichilemu.

A partir del análisis físico, químico y mineralógico de los suelos de cultivo de cepas Cabernet Sauvignon, en los viñedos Miró y Estampa, se lograron identificar características regionales y locales que respaldan la contribución del factor geológico dentro del sistema agrícola. Estas características permiten definir a los viñedos Miró y Estampa como únicos en su clase.

Mediante ensayos de permeabilidad, humedad, granulometría, porcentaje de material orgánico, química y mineralogía de los sedimentos que sustentan los suelos del cultivo, se obtiene que es posible relacionar las características y propiedades del sustrato con las necesidades fisiológicas de la vid. Entonces, a partir de los resultados se promueve el uso sostenible de los recursos dentro del sistema agrícola.

Por último, se tiene que los viñedos Miró y Estampa, desarrollados en el Valle de Marchigue, presentan características geológicas totalmente diferentes a los viñedos desarrollados en el Valle de Colchagua, por lo que sería correcto zonificarlos como de diferentes orígenes. Ahora, si bien los viñedos Miró y Estampa comparten el mismo origen geográfico, la misma cultura vitivinícola, el mismo relieve y la misma unidad geológica, estos difieren en litología y, por ende, en Terroir.



*“Nullius addictus iurare in verba magistri, quo me cumque
rapit tempestas, deferor hospes”*

Quinto Horacio Flaco

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi familia. A mis padres: Marcela Labarca y Héctor Flores, por el apoyo incondicional que me han brindado desde siempre. A mis hermanos: Matías, Francisca, Leonor y Bernardita, por las alegrías y buenos momentos que hacen mi vida más amena y relajada. A mis abuelos: José, Rosa, Marta y Daniel, por sus enseñanzas, amor y motivación. A mi tía: Claudia Labarca, por entregarme sabiduría y herramientas de vida. A mi tío: José Flores, por su apoyo en la excavación de la calicata. A mi segunda mamá: Leontina Núñez, por su cariño.

En segundo lugar, agradecer a mi novia. A mi compañera de vida: Camila Peña, por el apoyo incondicional, por siempre creer en mis capacidades, por darme fortaleza en los momentos de duda, por ayudarme en trabajos e informes, por enseñarme nuevas herramientas, por su compañía.

En tercer lugar, agradecer a mi comisión de memoria. A los profesores: Rodrigo Luca, Mauricio Calderón y Poldie Oyarzun, por apoyar este proyecto que para mí tiene una connotación importante, que tiene que ver con mis raíces. Agradecerles por sus enseñanzas, respeto, paciencia y buenas vibras.

En cuarto lugar, agradecer a mis amigos de vida. A mis amigos de Santiago: Dani Velozo, Mati Ormazabal y Rafa Martínez. A mis amigos de Marchigue: Diego Torres, Seba Torres, Mati Faundez, Ignacio Silva, Luis Madariaga, Luis Leiva y Mario Rojas. A mis amigos del fútbol: de Unión Maristas, de Unión Marchigue, de Anónimos FC, de Geo FC, de Blancos. A todos por ser mis amigos y darme tantos momentos de alegría.

Por último, agradecer a mis compañeros y profesores de universidad. A mis amigos: Yeris Nicolas, Carlos Bernal, Lucas Ruminot, Martín Labarca, Cristóbal Meza, JP Letelier, Juan Chesta. A los chicos del laboratorio: Dani Pla y Jonathan. A los profesores: Reynaldo Charrier, Francisco Hervé, Carlos Parraguez, Carlos Ramírez, Cristóbal Ramírez, Marcia Muñoz, Pierre Yves, Adrián Villar. Agradecerles por su calidad humana y académica, por su paciencia, disposición y por toda la ayuda desinteresada entregada en el proceso universitario.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Presentación	1
1.2. Planteamiento del problema.....	5
1.3. Hipótesis de trabajo.....	5
1.4. Potencialidad de la investigación	6
1.5. Antecedentes	7
1.6. Objetivos	10
1.6.1. Objetivos generales	10
1.6.2. Objetivos específicos.....	10
1.7. Área de estudio y vías de acceso	11
1.7.1. Comuna de Marchigüe	11
1.7.2. Ubicación geográfica	12
1.7.3. Acceso vial Santiago - Marchigüe.....	13
1.7.4. Acceso vial Marchigue – viñas Estampa y Miró.....	14
2. Marco Teórico.....	16
2.1. Generalidades.....	16
2.2. Conceptos vitivinícolas.....	20
2.3. Viñedos Miró y Estampa	24
2.4. Aspectos del cultivo de la vid	25

2.4.1.	Fisiografía.....	25
2.4.2.	Nutrición	29
2.4.3.	Patologías.....	31
3.	Marco Geológico.....	33
3.1.	Fisiografía	33
3.2.	Geología.....	35
3.2.1.	Generalidades	35
3.2.2.	Unidades estratificadas	37
3.2.3.	Unidades intrusivas	42
3.2.4.	Unidades no consolidadas.....	43
3.2.5.	Evolución geológica.....	44
4.	Metodologías de Trabajo	51
4.1.	Recopilación bibliográfica.....	51
4.2.	Trabajo de terreno.....	51
4.2.1.	Análisis de permeabilidad.....	52
4.3.	Trabajo de gabinete y laboratorio.....	54
4.3.1.	Análisis de humedad	54
4.3.2.	Análisis químico de material orgánico	56
4.3.3.	Análisis granulométrico.....	58
4.3.4.	Análisis mineralógico de alta definición Tescan-Tima	61

5. Resultados.....	63
5.1. Permeabilidad	63
5.2. Humedad.....	64
5.3. Materia orgánica	65
5.4. Granulometría	66
5.5. Mineralogía y química	69
6. Discusión	75
6.1. Características a escala regional	75
6.2. Características a escala local.....	78
7. Conclusión	83

Índice de Figuras

Figura 1: Vista de Viña Miró. Marchigue, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.....	4
Figura 2: Vista de Viña Estampa. Marchigue, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.....	4
Figura 3: Ubicación geográfica de la zona de estudio. Puntos rojos corresponden a las viñas Miró y Estampa. Cuenca del Río Tinguiririca de forma cóncava hacia el NNE en el sector medio del polígono, entre las cuencas del Río Cachapoal al norte y del Río Teno al sur.	12
Figura 4: Ruta de acceso vial desde Santiago a Marchigue. Se recorren ~140 km por Panamericana 5 Sur desde Santiago a San Fernando y ~82 km por Ruta 90 desde San Fernando a Marchigüe.	13
Figura 5: Ubicación referencial de las áreas de estudio en relación con Marchigue urbano. Polígonos en rojo corresponden a la viña Miró (al noroeste) y a la viña Estampa (al sureste).	14
Figura 6: Topografía de viñedos Miró (izquierda) y Estampa (derecha). Las cotas disminuyen en altitud de sur a norte.....	15
Figura 7: Vitis vinifera. Obtenida del libro de botánica "Köhler's Medicinal Plants", 1887.	23
Figura 8: Vitis vinifera de cepas Cabernet Sauvignon en épocas de vendimia (marzo-abril).	24
Figura 9: Unidades morfoestructurales en la zona volcánica sur de los Andes (ZVS), entre Santiago y Puerto Aisén. CC: Cordillera de la Costa; CD: Depresión Central; PC: Cordillera Principal. Imagen modificada de Charrier et al. (2007).	35

Figura 10: Mapa geológico entre los 34° y 35° de latitud sur. Imagen y leyenda extraídas del Mapa geológico de Chile escala 1:1.000.000 (Sernageomin, 2003). Leyenda solo contiene unidades cercanas al área de estudio.	36
Figura 11: Mapa geológico de las provincias de O'Higgins y Colchagua, entre los paralelos 34° y 35° de latitud sur. Mapa a escala 1:500.000 extraído de Charrier y Lillo (1973).....	37
Figura 12: Correlación estratigráfica en la Cordillera de la Costa, entre formaciones de la región estudiada y formaciones de la región más al norte. Cuadro obtenido de Charrier y Lillo (1973).	50
Figura 13: Descripción litológica y estratigráfica de los horizontes de suelo. Calicata de 1 m de ancho x 3 m de largo x 2.5 m de profundidad.	52
Figura 14: Cálculo de la permeabilidad en terreno mediante el método de Porchet. Calicata de 18 cm de diámetro x 25 cm de profundidad. Viña Miró.	53
Figura 15: A la izquierda, balanza de precisión modelo YP-2002N. A la derecha, muestras dentro del horno de secado.	55
Figura 16: Horno de secado marca Numak, modelo DHG.	55
Figura 17: Ensayo de materia orgánica. En la probeta de 500 ml se observa la mezcla en reacción, entre la muestra y la solución de H ₂ O ₂ al 10%.	58
Figura 18: Agitador Arquimed (modelo: RX-29-10). En su interior, la columna de tamices utilizados para el análisis.	60
Figura 19: Instrumentos utilizados para el análisis granulométrico. A la izquierda: mortero utilizado para la disgregación manual de los sedimentos posterior al proceso de secado. A la derecha, lupa binocular estereoscópica con aumento de 10x a 40x.	60

Figura 20: Proceso de preparación de briquetas. Imagen obtenida de Fierro, 2015.	62
Figura 21: Curvas granulométricas de viña Miró. Obtenidas a partir de la herramienta Exel.	66
Figura 22: Curvas granulométricas de viña Estampa. Obtenidas a partir de la herramienta Exel.	66
Figura 23: Gráfico de concentración por tamiz para los sedimentos de viña Miró..	67
Figura 24: Gráfico de concentración por tamiz para los sedimentos de viña Estampa.	68
Figura 25: Descripción mineralógica cualitativa y cuantitativa del horizonte HD de viña Miró.....	69
Figura 26: Descripción mineralógica cualitativa y cuantitativa del horizonte HB de viña Estampa.....	70
Figura 27: Mapa mineral del horizonte HD de viña Miró.	71
Figura 28: Mapa mineral del horizonte HB de viña Estampa.	72
Figura 29: Análisis elemental del horizonte HD de viña Miró.	73
Figura 30: Análisis elemental del horizonte HB de viña Estampa.	73
Figura 31: Perfil de suelo de viña Miró.	81
Figura 32: Perfil de suelo de viña Estampa.	82

Índice de Tablas

Tabla 1: Numero de tamiz y sus respectivos diámetros de abertura en mm.	59
Tabla 2: Resultados del análisis de humedad en viña Miró.	64
Tabla 3: Resultados del análisis de humedad viña Estampa.	64
Tabla 4: Resultados del análisis químico de material orgánico en viña Miró.....	65
Tabla 5: Resultados del análisis químico de material orgánico en viña Estampa.....	65
Tabla 6: Resultados de los coeficientes de uniformidad y curvatura para la viña Miró.	67
Tabla 7: Resultados de los coeficientes de uniformidad y curvatura para la viña Estampa.	67

1. Introducción

1.1. Presentación

El siguiente trabajo, abordará el estudio de la geología superficial, es decir, del material geológico expuesto sobre la superficie de la Tierra. Aunque, más concretamente, será enfocado sobre el concepto de suelo y de cómo sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas se relacionan con la actividad agrícola, particularmente en el cultivo de la vid.

Ahora, a pesar de estudiar la geología superficial, esta es apenas una de las tantas variables involucradas que pueden favorecer, o no, el óptimo desarrollo para el cultivo de vides. Es más, las características principales que se encuentran en el producto final de esta industria, es decir, en frutos y vinos (sabor, color, astringencia, grados Baumé, entre otras), se obtienen como resultado tanto del manejo y técnicas de cultivo, como del desarrollo del cultivo de una determinada cepa en una cierta región, la cual presentará características específicas. Haynes (1999) describe la presencia de 5 factores principales involucrados dentro de este sistema agrícola, pudiendo incidir con distinta intensidad, estos son:

1. Fisiográficos: tipos de relieve, elevación, aspectos de pendiente y gradiente, pendiente de drenaje.
2. Meteorológicos: temperaturas máximas y mínimas, horas de luz solar, condiciones de viento y lluvia.
3. Pedológicos: composición y porosidad de los suelos suprayacentes, mineralogía, química, granulometría y textura de los suelos, mineralogía de las arcillas.
4. Geológicos: geología del subsuelo y la geoquímica, petrología y textura de estratos individuales, tasas de flujo y química de aguas superficiales y subterráneas.

5. Vitivinícolas: métodos de enrejado de uva o de espaldera, espaciamiento entre hileras, adelgazamiento del racimo de uva y producción admisible, fertilización, adición mecánica de suelos o de material rocoso, sistemas de regadío e irrigación.

En relación con lo anterior, la entidad gremial “Wines of Chile” categoriza los sectores de cultivo para vinos en tres áreas de características geográficas definidas, estos son: áreas costeras, áreas de entre cordilleras y áreas cordilleranas. Así, las regiones chilenas productoras de vino muestran su mayor diversidad de cultivos en el sentido este-oeste, por sobre el norte-sur, siendo la zona de cultivo de la vid en el país más ancha que larga, geográficamente hablando. La mayoría de los viñedos se extienden desde el Valle del Elqui en el norte, hasta Malleco en el sur, y desde las laderas andinas en el este, hasta las colinas costeras del pacífico en el oeste, aunque nuevas zonas vitivinícolas constantemente están siendo descubiertas y exploradas.

De esta manera, por largo tiempo se ha promovido la producción de vinos tintos ácidos en los sectores occidentales de los Andes chilenos, debido al menor tiempo de exposición al sol y por la gran amplitud térmica existente entre el día y la noche. Por su parte, las uvas que crecen en los sectores de entre cordilleras se benefician de temperaturas más uniformes, suelos más fértiles y periodos más largos de maduración, por lo que se promueve la plantación de vinos tintos dulces y con mayor potencial de grados alcohólicos. Por último, se tiene que los viñedos en áreas costeras reciben la influencia del Pacífico, generándose condiciones más frías y neblinas matinales ideales para vinos blancos. Es más, la mayoría de las viñas en Chile, tanto grandes como boutique, tienen localidades especiales, incluso dentro de una misma viña, que producen vinos de calidades distintas. Este conocimiento se basa en historia, experiencia y, en la mayoría de los casos, prueba y error (Townley y Castillo, 2015).

Sin embargo, a pesar de este conocimiento, en nuestro país no se ha profundizado mayormente en estudios acerca de la relación entre la geología y la vid, por lo que no existen en la actualidad criterios geológicos respecto de localidades específicas donde desarrollar cultivos que pudieran lograr propiedades únicas.

Por lo tanto, el presente informe tendrá por objetivo caracterizar geológicamente a través de criterios físicos, químicos y mineralógicos, los suelos de cultivo de cepas Cabernet Sauvignon en los viñedos Miró y Estampa.

El área de estudio, localizada en la comuna de Marchigüe, Provincia de Cardenal Caro, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, se encuentra a unos ~37 km de la costa y a unos ~135 msnm, en el borde oriental de la Cordillera de la Costa, bajo condiciones de un clima mediterráneo con cierta influencia fría de la costa debido a la corriente de Humboldt. La precipitación anual es de 350 a 400 mm, mientras que la temperatura promedio durante la etapa de maduración de frutas es cercana a 25°C. Bajo estas circunstancias, Marchigüe ofrece un clima ideal para el desarrollo de cepas tintas como el Cabernet Sauvignon, ya que las cepas están expuestas a períodos de maduración largos, favoreciendo la intensidad de aromas y el carácter de los vinos. Dentro de las cepas predominantes que encontramos en Marchigüe tenemos; Carménère, Cabernet Sauvignon, Syrah, Cabernet Franc, Malbec y Petit Verdot.



Figura 1: Vista de Viña Miró. Marchigüe, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.



Figura 2: Vista de Viña Estampa. Marchigüe, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

1.2. Planteamiento del problema

Actualmente, si bien se han realizado estudios de diverso tipo en viñas alrededor del mundo, no se ha llegado a una demostración concluyente que determine una relación directa entre geología y calidad de frutos y vinos. Esto, se debe a que son muchos los factores que inciden en la calidad y sabor de los productos vitivinícolas. Entre las variables mencionadas se encuentran: geológicas y geomorfológicas, climáticas, técnicas de cultivo, cepa y técnicas de ensamblaje.

Entonces, a pesar de que en países de larga tradición e historia sobre productos vitivinícolas existen avances en estudios respecto a esta temática y, si bien es sabido que ciertos tipos de sustrato son particularmente preciados por algunas viñas, los efectos de una geología específica sobre calidad y tipificación de frutos y vinos sigue siendo un aspecto empírico en el mejor de los casos, desarrollado a través de experiencia.

En Chile, a diferencia de países con tradición en la industria vitivinícola, existe escasez de estudios geológicos que relacionen la calidad de los suelos con propiedades agrícolas y bioquímicas. Producto de lo anterior, el mercado nacional se encuentra limitado en comparación a frutos y vinos internacionales, los cuales basan su estrategia de mercado en una larga trayectoria de estudios de producción con una especificidad de las condiciones existentes en la viña. En países como Francia, Australia e Italia, las viñas cuentan con caracterizaciones muy detalladas de la geología y geomorfología, información que les otorga valor agregado a sus productos tanto desde el punto de vista de marketing, como también de proveerles criterios más objetivos en la búsqueda y evaluación de predios para sus cultivos.

1.3. Hipótesis de trabajo

En el presente informe, se abordará la recién mencionada y hasta la actualidad no concluyente temática que postula la existencia de una relación directa entre geología y calidad de frutos y vinos. Pues bien, bajo este supuesto y sobre el

hecho de que se obtienen vinos únicos, premiados y mundialmente conocidos a partir de los cultivos de vid en los Valles de Cardenal Caro, se propone lo siguiente:

“El gran rendimiento y calidad de frutos y vinos obtenidos a partir del cultivo de cepas tintas en la comuna de Marchigüe, particularmente las Cabernet Sauvignon, se debe a que estas se han plantado en un valle que entrega, entre otras cosas, características geológicas, morfológicas, geoquímicas, hidrológicas y climáticas ideales para su cultivo y desarrollo.”

Ahora, con la finalidad de corroborar la hipótesis propuesta, se realiza un estudio y análisis sobre una variedad de parámetros físicos, químicos y mineralógicos, que se determinan a partir de las propiedades intrínsecas presentes en los suelos de las viñas Estampa y Miró.

1.4. Potencialidad de la investigación

En primer lugar, el desarrollo de una metodología de trabajo sistemática, realizada a partir de una base geológica, que incluya la medición y análisis de diversos parámetros físicos, químicos y mineralógicos del suelo, de modo que sea representativo, conducirá a la reducción del sesgo de conocimiento que existe en nuestro país respecto a la hipótesis propuesta.

En segundo lugar, la implementación de estudios que incluyan información geológica, dentro del complejo sistema en que se encuentra el cultivo de vides, permitirá encasillar un mayor número de variables, aumentando la precisión de los resultados. Es decir, se podría disminuir el valor de la desviación estándar respecto a la obtención de un producto de calidad, ya que estudios realizados a partir de una metodología con base científica siempre representarán criterios más objetivos en comparación a ensayos aleatorios. A partir de esto, se podría, por ejemplo, identificar y caracterizar las propiedades geológicas intrínsecas de un cierto lugar, para posteriormente relacionarlas con las necesidades que demande el cultivo de una determinada cepa.

De este modo, el desarrollo de una metodología de análisis geológico de suelos permitirá, entre otras cosas: optimizar el tiempo, pudiéndose predecir el sitio ideal para el desarrollo del cultivo, disminuyéndose así los ensayos aleatorios de prueba-error. También, permitirá reducir gastos en inversiones innecesarias, por ejemplo, en nutrientes, fertilizantes químicos y pesticidas, ya que las necesidades de la vid podrían satisfacerse en gran medida a partir del propio sustrato. Esto último, promueve una mayor vida útil para el cultivo debido a la menor exposición con agentes químicos externos, resultando en una protección hacia el territorio y sus comunidades bióticas, las que además pueden controlar plagas y enfermedades. En otras palabras, se podría mejorar la calidad del producto final, naturalmente hablando, además de entregarle a los productores un importante valor agregado en temas de marketing.

En resumen, introducir estudios geológicos en un mercado nacional que históricamente no los ha tenido, podría permitir un mejoramiento en la optimización y protección de los recursos en la industria del vino, la cual es la segunda mayor exportadora a nivel país, convirtiéndose de esta forma en una potencial fuente de trabajo para futuros geólogos.

1.5. Antecedentes

En relación con la problemática a tratar, recordemos que esta se basa sobre lo siguiente: “si bien se han realizado estudios de diverso tipo en viñas alrededor del planeta, no se ha llegado a una demostración categórica que relacione rendimiento y calidad de frutos y vinos con la geología, geoquímica y mineralogía del sustrato a partir de la cual ellos se han derivado”. Entonces, con el objetivo de contextualizar, ahora serán mencionados algunos de estos estudios y sus respectivas conclusiones.

En el artículo “The role of vineyard geology in wine typicity”, Maltman (2008) presenta estudios sobre la relación entre geología, sustrato, suelos y vinos. Si bien llega a la conclusión de que la hipótesis es correcta y logra demostrar una relación

entre geología y algunos parámetros físicos en el rendimiento de viñas, señala que esto es indirecto y menor respecto de otras variables que se manipulan posteriormente en los procesos de preparación de los vinos. Por lo tanto, el autor sugiere que la noción general de que se puede degustar el sabor de la geología de una viña -a *goût de terroir*- es un aspecto romántico e interesante para aspectos de marketing, pero científicamente no demostrable. De esta manera, se concluye en Maltman (2008) que la variable geológica es un aspecto de baja relevancia para la calidad de un vino.

Sin embargo, aunque los estudios de Maltman (2008) resten relevancia a la relación que existe entre geología, geoquímica y calidad de frutos y vinos, las conclusiones a las cuales llega no dicen nada respecto de especificidad, aspecto que, si bien pudiera no ser detectable al gusto, si es detectable mediante metodologías analíticas de comparación entre la geoquímica del vino, la uva y el sustrato. De este modo, aunque los componentes principales que dan calidad y sabor a los vinos se deban a los procesos productivos y al arte de la preparación, esto también dependerá en enorme medida de su producto base, es decir, de la uva.

Sin ir más lejos, investigaciones en viñas de Europa y Norte América han demostrado la posibilidad de certificar el origen de un vino respecto a su lugar de procedencia (ej. Fiket et al., 2010). Todavía más, dichos estudios son también claros indicadores de que la composición geoquímica del vino puede ser muy específica según las condiciones geológicas, mineralógicas y geoquímicas del sustrato. Entre una diversidad de estudios científicos que buscan métodos de certificación de origen, tenemos: estudios realizados en viñas de Italia a partir de geoquímica de isotopos estables (Durante et al., 2016); estudios de controles microbiológicos en la composición geoquímica de elementos traza en vinos en Canadá (Greenough et al., 2005); estudios de As y otros elementos traza en vinos en Croacia (Fiket et al., 2011); estudios de diferenciación geoquímica de vinos y determinación de proveniencia en la República Checa (Kment et al., 2005); entre otros.

En el estudio “The role of soil chemistry in wine grape quality and sustainable soil management in vineyards”, los autores Mackenzie y Christy (2005) demuestran fehacientemente una relación entre la composición geoquímica del suelo y calidad de las uvas y la geoquímica del mosto y del sustrato. De hecho, argumentan que algunas propiedades de los jugos (Baumé y acidez) se correlacionan con la disponibilidad de ciertos elementos traza específicos disponibles en los suelos, los más notables: Ca, Sr, Ba, Pb y Si. Por lo tanto, concluyen que las concentraciones de elementos traza presentes en el sustrato incide sobre la calidad de la uva y que tal conocimiento puede ser empleado para mejorar la administración y producción de viñas, selección de tierras y/o métodos de manejo sustentable del territorio.

En lo que a Chile concierne, la escasez de estudios en la materia no permite determinar, mediante criterios geológicos, localidades específicas en las cuales desarrollar cultivos que pudieran lograr propiedades únicas. A pesar de ello, la mayoría de las viñas, grandes y boutique, tienen localidades especiales, incluso dentro de una misma viña, que producen vinos de calidades distintas. Este conocimiento se basa en historia, experiencia y, en la mayoría de los casos, prueba y error.

En un estudio piloto realizado en la Viña Veramonte, Valle de Casablanca, Poblete et al., (2007) demuestra que dentro de la misma viña existen diferencias geológicas y geomorfológicas mayores para distintos sectores, entre estas: diferencias de sustrato, diferencias de fragmentos de gravas y diferencias de origen de gravas según dirección de proveniencia. No obstante, a pesar de que en esta viña existe una zonificación del cultivo, determinado en base al rendimiento y producción de cepas, esto no se ha hecho considerando fundamentos científicos de caracterización de geología, mineralogía y geoquímica.

En conclusión, a pesar de que no existe una enorme abundancia de estudios de geología, mineralogía y geoquímica de viñas alrededor del mundo, los trabajos existentes, algunos aquí citados, sí demuestran que la especificidad geoquímica de los frutos y vinos puede ser empleada en la certificación de origen, esto vinculado a trazadores geoquímicos. Entonces, condiciones geológicas distintivas de una viña,

en efecto, conllevan a propiedades geoquímicas específicas de frutos y vinos. Ahora bien, si lo recién mencionado incide o no sobre las propiedades de calidad, esto aún no se ha demostrado de forma categórica (Townley y Castillo, 2015).

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivos generales

El objetivo principal de esta investigación consiste en caracterizar geológica y geomorfológicamente los sistemas en que se encuentran los cultivos de las cepas Cabernet Sauvignon en los viñedos Miró y Estampa, en la comuna de Marchigue.

En segundo lugar, se espera que el estudio aporte datos sobre los cuales se puedan obtener ventajas en sustentabilidad, tiempo y economía, promoviendo acciones como la planificación de los cultivos sobre un lugar geográfico que sostenga sus necesidades. Y, de paso, aportar a reducir la brecha de información respecto al conocimiento que existe entre los aspectos del cultivo de la vid y la geología.

Por último, se pretende dar un valor agregado a los productos finales de las viñas Miró y Estampa, en temas de marketing, indicando ciertas características de procedencia como, por ejemplo: geografía, origen geológico y geoquímica del sustrato.

1.6.2. Objetivos específicos

Ahora, con el fin de cumplir con los objetivos generales se realizan los siguientes trabajos específicos:

- I. Ida a terreno, recopilación de datos y extracción de muestras de suelo y sustrato.
- II. Análisis de parámetros físicos, químicos, mineralógicos y biológicos del suelo y sustrato en los que se desarrolla el cultivo.

III. Interpretación de resultados en relación con la geología regional y con las necesidades óptimas del cultivo de cepas Cabernet Sauvignon.

1.7. Área de estudio y vías de acceso

1.7.1. Comuna de Marchigüe

Marchigüe, del mapudungun *Machiwe* (*machi* = chaman y *we* = lugar), es una comuna del secano costero ubicada en la Provincia de Cardenal Caro, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile.

Este lugar, zona de huasos y de tradiciones arraigadas, se ha mantenido poblado desde los tiempos de la colonia, e incluso más atrás, con la presencia de indígenas Chiquillanes. Su arquitectura es propia de la zona central, con típicas casas de adobe y tejas.

En la actualidad, la comuna se dedica fundamentalmente a las actividades agrícolas, ganaderas y silvícolas. En materias agrícolas, destacan de forma importante los cultivos de vid, existiendo viñedos reconocidos nacional e internacionalmente, como: Concha y Toro, Montes, Estampa, Errazuriz Ovalle, entre otras.

Por último, en relación con sus características geográficas, Marchigüe presenta una superficie de 660 km² sobre la que predomina un clima templado de tipo mediterráneo cálido, con una estación seca de seis meses y un invierno relativamente lluvioso. La temperatura media anual es 15.8° C. Las precipitaciones en promedio son de 350 mm/año.

1.7.2. Ubicación geográfica

Espacialmente hablando Marchigüe se encuentra sobre la falda oriental de la Cordillera de la Costa, dentro de la cuenca del Río Tinguiririca, a una altitud media de 150 m.s.n.m. (Figura 3). El área específica de estudio corresponde a las coordenadas UTM 19H 259548.00 m E - 6189306.00 m S y 19H 257547.00 m E - 6191385.00 m S, para las viñas Estampa y Miró, respectivamente.

La cuenca del Río Tinguiririca está limitada hacia el norte por la cuenca del Río Cachapoal y al hacia el sur por la cuenca del Río Teno. Esta se presenta cóncava hacia el NNE, con un área de 4730 km². El Río Tinguiririca, nace en el glaciar oriental del Volcán Tinguiririca en la Cordillera de los Andes y desemboca en el Lago Rapel, en la comuna de Navidad. Este río, de orientación preferencial NNO, tiene una extensión de 167 km.

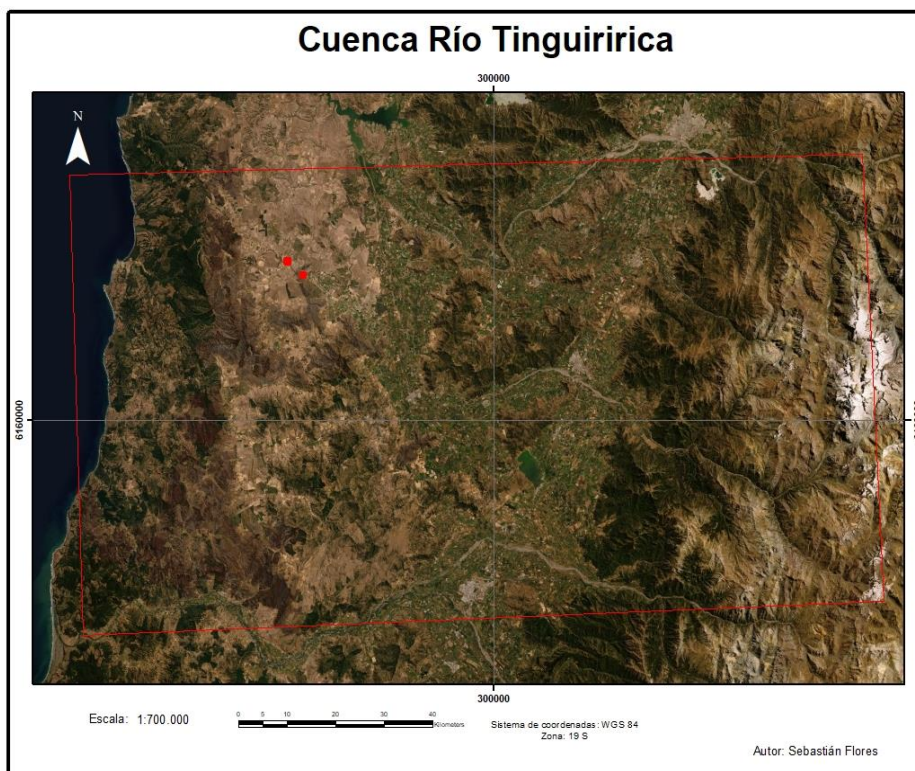


Figura 3: Ubicación geográfica de la zona de estudio. Puntos rojos corresponden a las viñas Miró y Estampa. Cuenca del Río Tinguiririca de forma cóncava hacia el NNE en el sector medio del polígono, entre las cuencas del Río Cachapoal al norte y del Río Teno al sur.

1.7.3. Acceso vial Santiago - Marchigüe

La comuna de Marchigüe se encuentra, en línea recta, a unos ~138 km al SO de la ciudad de Santiago. El mejor acceso vial partiendo desde el centro de la capital, es decir, desde el hito 0 de la Ruta 5 (intersección Carretera Panamericana-Alameda), consta de ~222 km que se recorren en un tiempo estimado de 2 horas y 30 minutos.

El camino hacia Marchigüe inicia con el acceso a la Autopista Central a partir del enlace Alameda-Toesca, que corresponde al km 0.1 de la Ruta 5 en dirección al sur. Una vez en la Ruta 5S se recorren ~140 km por un tiempo estimado de 1 hora y 30 minutos hasta la intersección con la Ruta 90 en la comuna de San Fernando. Para acceder a la Ruta 90 se debe tomar la salida en dirección Santa Cruz/San Fernando. Finalmente, ya en la Ruta 90, se recorren ~82 km en dirección a la costa por un tiempo estimado de 1 hora (Figura 4).

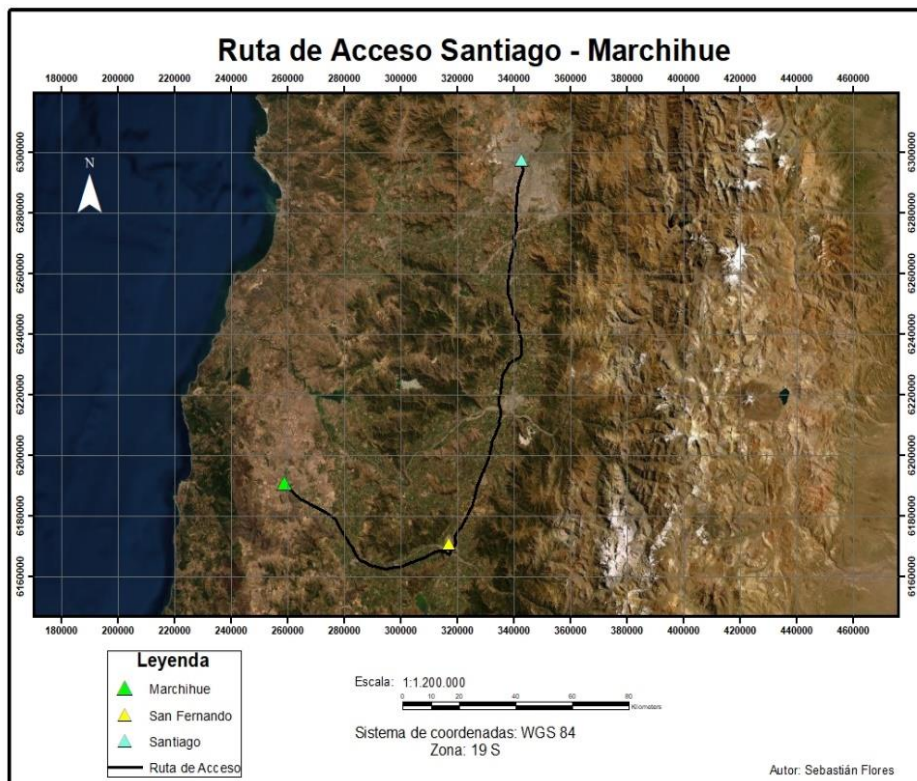


Figura 4: Ruta de acceso vial desde Santiago a Marchigüe. Se recorren ~140 km por Panamericana 5 Sur desde Santiago a San Fernando y ~82 km por Ruta 90 desde San Fernando a Marchigüe.

1.7.4. Acceso vial Marchigue – viñas Miró y Estampa

Primero, para acceder a viñedos Miró, se debe cruzar el pueblo de sur a norte por la calle principal, es decir, por la avenida Arturo Pratt, hasta su límite norte, donde se interseca con la calle Cadenas. Luego se recorren 2 km por la calle Cadenas en dirección NNW. Por su parte, para acceder a la viña Estampa, se tiene que ésta se encuentra a un costado de la Ruta 90, a una distancia de 2.5 km en dirección este saliendo de Marchigue urbano.

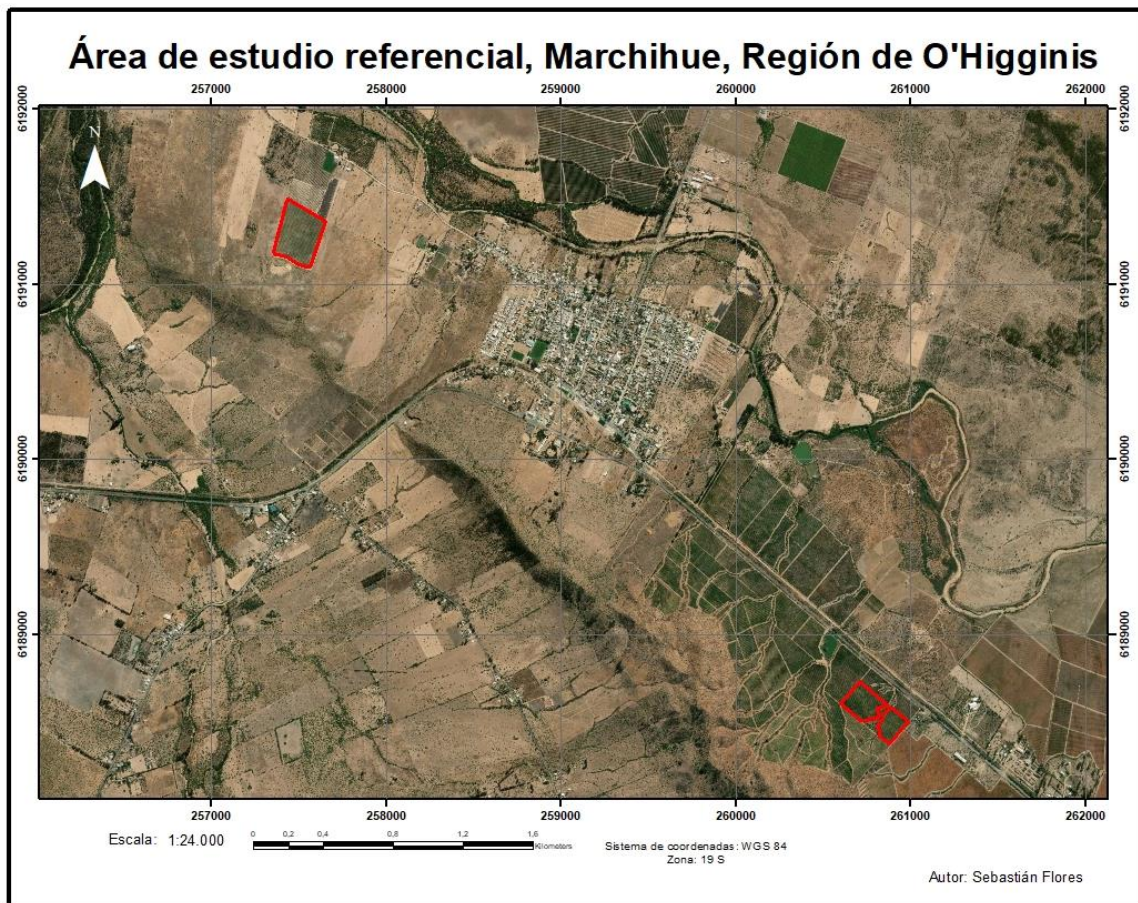


Figura 5: Ubicación referencial de las áreas de estudio en relación con Marchigue urbano. Polígonos en rojo corresponden a la viña Miró (al noroeste) y a la viña Estampa (al sureste).

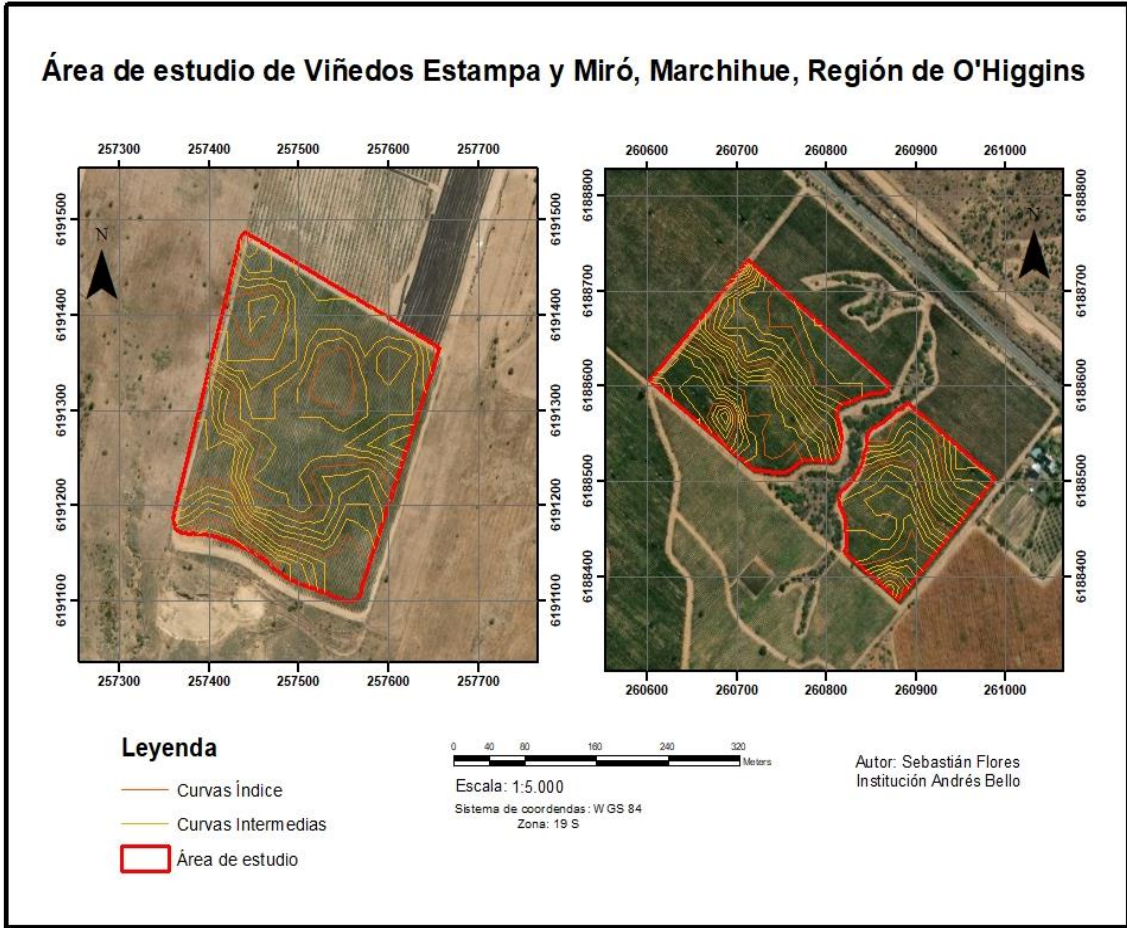


Figura 6: Topografía de viñedos Miró (izquierda) y Estampa (derecha). Las cotas disminuyen en altitud de sur a norte.

2. Marco Teórico

2.1. Generalidades

Pedología:

La pedología es la ciencia que se dedica a la descripción, génesis y clasificación de los suelos en su ambiente natural. En este sentido, la pedología puede considerarse tanto como una rama de la geografía, así como también un área especializada de la geología, la cual estudia el desarrollo de los suelos y sedimentos no consolidados.

Edafología:

La edafología es la ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea. En este sentido, la edafología puede considerarse tanto como una rama de la ecología, que estudia las relaciones e interacciones de los organismos animales y vegetales con el ecosistema, así como también un área especializada de la agronomía, que dedica su estudio al aprovechamiento de los suelos.

Suelo:

En geología, el concepto de suelo se refiere al conjunto de materiales, principalmente heterogéneo, que se obtiene como resultado de la interacción en el tiempo de múltiples factores tales como: el clima, el relieve, la naturaleza de la roca madre, organismos, entre otros. En otras palabras, el suelo es un sistema complejo y activo que está en constante cambio y evolución. Este se encuentra conformado por cuatro fases principales: sólida, líquida, gaseosa y biológica (Muñoz, 2010).

La fase sólida corresponde a fragmentos de roca y minerales. Dichos materiales geológicos son el producto de la acción conjunta de los procesos de meteorización y erosión, los cuales fraccionan y disgregan la roca madre y otras rocas en partículas más pequeñas, para luego transportarlas debido a la acción de agentes erosivos como el agua, el viento y la gravedad. Por su parte, la fracción

liquida del suelo está compuesta por el agua, incluyendo aquellos compuestos químicos que se encuentren en disolución. El agua se puede encontrar drenándose entre los sedimentos, entre los poros o fracturas de las rocas, así como también incorporada en la estructura de algunos minerales de arcilla. Un tercer tipo de componente corresponde a la fase gaseosa, cuya presencia en los suelos tiene directa relación con la interacción permanente entre la superficie terrestre y los gases atmosféricos. Producto de este vínculo, las moléculas de gas podrán ubicarse entre los sedimentos no consolidados y entre los poros de aquellas rocas que lo permitan, donde dichos espacios pueden haber sido ocupados anteriormente por agua. Además, existen gases liberados como deshecho, producto de la acción de bacterias o microorganismos al descomponer material orgánico. Por último, la fracción biológica del suelo es aquella formada por animales, plantas, bacterias, microorganismos, además de los restos y desechos orgánicos que ellos mismos puedan dejar.

En consecuencia, cada suelo tendrá características específicas (por ejemplo: porosidad y permeabilidad, compactación, fertilidad, mineralogía, entre otros) según el sitio en que se encuentre, pudiendo incluso variar dentro de pocos metros.

Materia orgánica:

La materia orgánica del suelo está constituida por un conjunto de sustancias depositadas de origen animal y vegetal. En general, la materia orgánica se clasifica en compuestos húmicos (material orgánico altamente descompuesto) y no húmicos (carbono lábil), además de microorganismos. Dentro de los primeros, se encuentran restos orgánicos frescos (tejidos vegetales y animales), productos excretados por organismos y productos de descomposición. El humus, es el principal componente de la materia orgánica, presentándose en al menos un 65% de esta. Por su parte, en los compuestos no húmicos o compuestos de síntesis (disponibles como fuente energética), persiste todavía la composición química e incluso la estructura física de los tejidos animales o vegetales originales.

Luego, los organismos del suelo descomponen este tipo de sustancias orgánicas dejando solamente residuos difícilmente atacables, como algunos aceites, grasas, ceras, proteínas, taninos, hidratos de carbono, entre otros. La cantidad de materia orgánica dependerá de la vegetación, el clima, la textura, drenaje y laboreo del suelo.

La materia orgánica está representada por el contenido total de carbono orgánico, el cual se mide por la cantidad de dióxido de carbono que se genera al oxidar esta materia en condiciones especiales.

Denominación de origen (D.O):

La Denominación de Origen (D.O.) corresponde a la identificación de un producto agrícola o alimentario como originario de un país, región o localidad. En Chile, el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) es el encargado de establecer las zonificaciones vitícolas o denominaciones de origen, además de fijar las normas para su utilización. Esto, a partir del Decreto de Agricultura N°464.

Antes bien, para que un territorio obtenga categoría de Denominación de Origen, este debe primero cumplir ciertos requisitos, entre ellos: la elaboración del vino debe ser dentro de los límites del territorio y con uvas procedentes exclusivamente de ese lugar; el territorio debe ser reconocido como región de producción de vinos de calidad, desde al menos cinco años antes; el territorio debe gozar de un prestigio por su origen, en términos de mercado; la producción del vino debe mantener características especiales y de calidad ante el consumidor.

Los vinos con Denominación de Origen incluirán en sus etiquetas la indicación geográfica que corresponda, precedida de la expresión “Denominación de Origen” o las iniciales “D.O”. Entre las ventajas que tiene un producto de formar parte de una Denominación de Origen destaca la calidad ante el consumidor y la protección legal hacia el productor.

Certificado de Denominación de Origen:

El Certificado de Denominación de Origen es un documento oficial que emite una empresa certificadora autorizada por el SAG. En dicho documento se entrega:

- Certificación de origen y variedad de uvas.
- Certificación de origen geográfico de vinos.
- Certificación de variedad o cepaje de vinos.
- Certificación de año de cosecha.
- Certificación de la condición de “Embotellado en Origen”.
- Certificación de variedad o cepaje y/o año de cosecha, en vinos sin denominación de origen.

Las empresas certificadoras autorizadas por el SAG tendrán un ámbito nacional, es decir, podrán operar en todas las regiones del país. Para acceder a ser una empresa certificadora autorizada se debe cumplir con las siguientes normas reguladoras:

- Ley N° 18.455.
- Decreto N° 78, Reglamento de la Ley N° 18.455.
- Decreto N° 464, Zonificación vitícola y denominación de origen.
- Decreto N° 138, Establece normas para la celebración de los convenios a que se refiere el artículo 12 de la Ley N° 18.455.
- Resolución Exenta N° 529, Norma el sistema nacional de autorización de terceros.

Para que una viña obtenga un Certificado de Denominación de Origen de uva y vino, esta debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Estar asociada a una empresa certificadora autorizada por el SAG.
- Tener la declaración de catastro vitícola al día en el sistema en línea de viñas y vinos del SAG.
- Tener la declaración de cosecha y existencia de vinos al día en el sistema en línea de viñas y vinos del SAG.

Terroir:

El termino Terroir, del latín *terra* (tierra), es un galicismo muy frecuente cuando se habla de agricultura y especialmente de vinos. No obstante, el Terroir es en realidad mucho más que sólo tierra, más bien, se trata de un espacio concreto, tangible y cartografiable, que resulta de la combinación entre los factores naturales de un viñedo en particular y la impronta de la mano del hombre.

Entonces, el termino Terroir se utiliza para designar a una extensión geográfica bien delimitada y homogénea que presente alguna particularidad llamativa, respecto a su producción agrícola. Dicha extensión, puede ser definida a través de factores geológicos, geográficos (pedológicos, geomorfológicos, hidrológicos, climatológicos, microclimáticos, etc.) y culturales (técnicas locales de vinificación y viticultura). En ese sentido, lo más probable es que no haya dos viñedos en todo el mundo con la misma combinación de estos factores, por lo que cada Terroir y cada vino se convierten en únicos.

2.2. Conceptos vitivinícolas

Vid (Vitis vinífera):

La vid, cuyo nombre científico es *Vitis vinifera* (Anexo 1), es una planta con flores, semileñosa y/o trepadora, que cuando se deja crecer libremente puede alcanzar hasta 30 metros. Su fruto, la uva, es comestible y también materia prima para la fabricación de vino y otras bebidas alcohólicas. A veces, se denomina a la vid con el nombre de parra, en particular a aquella cuyo producto es la uva de mesa. Se denomina viña al terreno plantado con vides, si este es muy extenso se le llama viñedo.

Respecto a su desarrollo, la vid tiene por lo general una vida muy larga, pudiéndose encontrar ejemplares de hasta más de 100 años. En concreto, esta planta tiene: un largo periodo juvenil (3-5 años), durante el cual no es capaz de producir flores; tiene un aparato radicular que se hace imponente con los años y; tiene un aparato epigeo (tronco, ramas, flores) que requiere de mucho tiempo para

desarrollarse, debido a que no puede renovarse con la misma facilidad que el de una planta herbácea. La necesidad de mantener vivo el aparato epigeo durante el invierno o en tiempos de sequía, hace a las plantas leñosas exigentes en cuestión de clima y fertilidad, de manera que estas no viven en alturas excesivas, demasiado cerca de los polos o en los desiertos.

Morfológicamente, la vid es un arbusto constituido por raíces, tronco, sarmientos, hojas, flores y fruto (Figura 7). En cuanto a sus funciones, la planta se sustenta a través de las raíces, mediante la absorción de humedad y sales minerales esenciales. El tronco y los sarmientos son meros vehículos de transmisión por los que circula el agua con los componentes minerales. La hoja, es el órgano más importante de la vid, debido a que son las encargadas de transformar la sabia bruta en elaborada, son las ejecutoras de las funciones vitales de la planta (transpiración, respiración y fotosíntesis) y, además, es en ellas dónde a partir del oxígeno y el agua se forman las moléculas de los ácidos y azúcares que se van a acumular posteriormente en el grano de uva. La clorofila es la encargada de captar a partir de los rayos del sol la energía suficiente para llevar a cabo todos los procesos recién mencionados.

En el mes de septiembre, cuando el calor comienza a hacerse notar, la savia se pone en movimiento y se produce el denominado “lloro” de la vid, que se expresa a través de los sarmientos. La circulación de la savia hace que la vid vuelva a la vida y se prepare para brotar, florecer y transformar sus flores en uvas. A finales de noviembre o principios de diciembre aparecen los embriones de las flores y la floración se produce en pleno mes de diciembre. Las flores, blancas y minúsculas, se abren esperando ser polinizadas por el viento y los insectos. Una vez la flor polinizada, se empezará a desarrollar el grano de uva. Se denomina “cuajado” al fenómeno de transformación de la flor en fruto. El cuajado se completará en 2 o 3 semanas después de la floración. En un principio, el fruto surge muy verde pues está saturado de clorofila, a partir de ahí toda la planta empieza a ejercer servidumbre a favor del fruto que poco a poco irá creciendo.

La uva verde, sin madurar, contiene una gran carga de ácidos tartáricos, málicos y, en menor medida, cítricos. El contenido de estas sustancias dependerá en gran medida del tipo de variedad y de las condiciones geoclimáticas (luz, temperatura y humedad), que van a ser decisivas en la conformación de los ácidos orgánicos. El momento en que la uva cambia de color recibe el nombre de “envero”. Del verde pasará al amarillo, si la variedad es blanca y, al rojo claro, que se irá oscureciendo, si es tinta. Durante el proceso de maduración de la uva los ácidos van cediendo terreno a los azúcares procedentes de la frenética actividad ejercida por las hojas, merced al proceso de fotosíntesis. Los troncos de la planta también contribuyen al dulzor de la uva, ya que actúan como acumuladores de azúcares. Debido a esta razón, las vides viejas son capaces de proporcionar un fruto más regular y una calidad más constante.

Entrando de lleno en el fruto, cabe hacer una primera división entre lo que es el “raspón”, o parte leñosa que forma el almacén del racimo y el grano de uva. El raspón, aunque lógicamente no es la parte fundamental del fruto, tiene su importancia por cuanto es capaz de aportar ácidos y sustancias fenólicas (taninos) dependiendo de su participación o no, en los procesos de fermentación. El grano de uva, a su vez, puede ser dividido en tres partes, cada una de ellas con un aporte específico de características y componentes: la piel, la pulpa y las pepitas. La piel, también denominada hollejo, contiene la mayor parte de los componentes colorantes y aromáticos de los vinos. En la pulpa se encuentran los principales componentes del mosto (agua y azúcares) que, posteriormente, mediante la fermentación se transformarán en vino. Por último, las pepitas o semillas se encuentran dentro de la pulpa y difieren según las variedades, llegando incluso a encontrarse uvas que no las contienen. Las pepas poseen una capa muy dura y proporcionan taninos al vino.



Figura 7: Vitis vinifera. Obtenida del libro de botánica "Köhler's Medicinal Plants", 1887.

Cabernet Sauvignon:

La variedad de uva Cabernet Sauvignon es una de las cepas tintas más conocidas del mundo. Esta cepa, aparecida en el siglo XVII, es el producto del cruce entre la Cabernet Franc y la Sauvignon Blanc. Desde su natal Medoc, ubicada en la región vitivinícola de Burdeos, Francia, la uva se ha extendido por toda Europa y América. La clave de su éxito es que se trata de una variedad de fácil cultivo. Crece en casi todas las grandes zonas vitícolas, en un diverso espectro de suelos, climas y latitudes. A pesar de ello, la Cabernet Sauvignon siempre mantiene su particular carácter.

Entre sus características, la Cabernet Sauvignon es una variedad vigorosa, de brotación medio-tardía. Presenta un pámpano de porte medio erguido. Las bayas de una tonalidad de profunda pigmentación oscura son pequeñas y esféricas, con un hollejo grueso que le proporcionan al vino un marcado carácter tánico.

El vino tinto con Cabernet Sauvignon es de un tono rojo intenso, astringente y de gran cuerpo. Presenta aromas frutales, florales y herbales que se vuelven más complejos con la crianza. De hecho, los vinos elaborados con Cabernet Sauvignon, al envejecer, tanto en barrica como en botella, ganan mucho en finura, aroma y sabor. Cuando son jóvenes son afrutados, aromáticos, se presentan como ligeramente herbáceos, de acentuado color rojo frambuesa y tonalidades violáceas. Cuando son maduros se presentan con sabores amermelados y aromas a grosellas negras guisadas.

El maridaje idóneo para el vino tinto de crianza con cepas Cabernet Sauvignon es con carnes rojas, tanto a la brasa como asadas. Mientras que, para un Cabernet Sauvignon más joven, el maridaje ideal es con carnes guisadas.



Figura 8: Vitis vinifera de cepas Cabernet Sauvignon en épocas de vendimia (marzo-abril).

2.3. Viñedos Miró y Estampa

Viña Miró:

Viñedos Miró es una viña boutique que posee alrededor de 8 hectáreas dedicadas a la producción de cepas Cabernet Sauvignon. Inicia sus actividades a partir del año 2010 y es propiedad de la Sociedad Agrícola Flores y Cornejo Ltda. Actualmente, alrededor del 90% de sus uvas se vende a la Viña Montes, mientras que el 10% restante se deriva a la producción de vinos propios. El embotellado de estos vinos está a cargo de la Viña Caven.

Viña Estampa:

Viña Estampa, propiedad del empresario Miguel González Ortiz, inicia su trayectoria vitivinícola a partir del año 2001. Actualmente posee más de 400 hectáreas de viñedos con riego tecnificado en tres orígenes diferentes: Palmilla, Paredones y Marchigüe. De estos viñedos, se selecciona solo un 10% de la fruta para destinarlo a sus propios vinos. Para la elaboración de vinos, Estampa cuenta con la valiosa asesoría de un reconocido grupo de profesionales, entre los que se encuentran: Johana Pereira (enóloga), Attilio Pagli (enólogo) y Stefano Dini (viticultor).

La filosofía detrás de los vinos de Estampa es la búsqueda del equilibrio, por lo cual prácticamente todos son ensamblajes de dos o más variedades. La técnica del ensamblaje consiste en la cuidadosa mezcla de dos o más cepas nobles, cada una aportando sus mejores características, ya sea aroma, sabor, color, entre otras. Es más, Estampa es la única viña en Chile especializada en la producción de este tipo de vinos, los cuales son elaborados con uvas propias y exportados a más de 30 países.

2.4. Aspectos del cultivo de la vid

2.4.1. Fisiografía

Exigencias de clima:

En primer lugar, se tiene que el clima impone ciertos límites de altura y latitud para el óptimo desarrollo del cultivo de vides. Aunque, dichos límites macroclimáticos pueden ser ampliamente rebasados en muchas regiones, debido a que el viñedo se planta en pendientes muy bien orientadas. Cuando esto ocurre, se habla entonces de microclima. Así, un cultivador puede plantar variedades más precoces en terrenos menos soleados y variedades más tardías en terrenos mejor orientados, nada más adecuándose a las exigencias determinadas por el microclima.

Segundo, existen límites mínimos y máximos de temperatura para el óptimo desarrollo del cultivo de vides. En efecto, las temperaturas mínimas que puede aguantar la vid en invierno son de hasta -20° C, ya que por debajo de ella, la plantación sufriría graves daños. Se consideran daños ligeros a la necrosis de la médula y el diafragma, mientras que se consideran daños muy graves a la muerte de las yemas en los sarmientos de un año. Estos males afectan en mayor medida a vides jóvenes, a vides vigorosas y a vides que ya han producido mucho. También, heladas por debajo de los -2° C después de la brotación pueden destruir completamente la cosecha.

Respecto a la mitigación de las heladas, existen algunas medidas tales como: las nieblas artificiales y el riego por aspersión. También, se pueden adoptar variedades de brotación tardía, o retrasar la poda, de modo que, aunque haya habido daños, aun existan brotes utilizables. Por lo general, los cultivos elevados son menos castigados que los bajos.

Ahora, en relación con las temperaturas demasiado altas ($30-34^{\circ}$ C), especialmente si van acompañadas de sequedad, pueden terminar quemando hojas y racimos. Por ende, al igual que las heladas, las condiciones recién mencionadas pueden provocar daños irreparables al cultivo dentro de una temporada.

Dicho lo anterior, las temperaturas óptimas para el cultivo de la vid en sus distintas etapas de desarrollo serían las siguientes:

- Apertura de yemas: $9-10^{\circ}$ C.
- Floración: $18-22^{\circ}$ C.
- Floración a cambio de color: $22-26^{\circ}$ C.
- Cambio de color a maduración: $20-24^{\circ}$ C.
- Vendimia: $18-22^{\circ}$ C.

En tercer lugar, están las lluvias, las cuales pueden favorecer tanto positiva como negativamente al cultivo de vides. Esto dependerá de la precipitación media anual y de la forma en la que se presente la lluvia. La óptima distribución de las lluvias (en forma de gotas de agua) durante el desarrollo anual del cultivo, sería aproximadamente la que se indica:

- Brotación: 14-15 mm. Hay una intensa actividad radicular promovida por la lluvia.
- Floración: 10 mm. Las lluvias resultan por lo general perjudiciales.
- Floración a cuajado de frutos: 40-115 mm. Es necesaria una intensa fotosíntesis.
- Cuajado a maduración de frutos: 80-100 mm. Es necesaria una intensa fotosíntesis.
- Vendimia: 0-40 mm. Las lluvias suelen ser perjudiciales.

Por su parte, los granizos son los meteoros más dañinos para la viticultura. Los daños provocados por una lluvia de este tipo son de diversa naturaleza, encontrándose: granos de uva que quedan hendididos o aplastados; fácilmente sobreviven mohos y marchiteces; las hojas son agujereadas o laceradas y, a menudo, arrancadas, lo que implica una pérdida de superficie fotosintetizante; en los sarmientos queda dañada la corteza, pero también con frecuencia el leño; etc.

Para luchar contra el granizo, algunos investigadores han indicado que el bombardeo de las nubes con sustancias formadoras de núcleos de condensación puede determinar su transformación en lluvia antes que en granizo. También, existen medios como las mallas antigranizo, que suelen tener una duración de unos diez años. Por último, están los seguros contra granizo que hoy en día tienen muy buena aceptación.

Exigencias de terreno:

En la actualidad, el cultivo de vides suele ser simple producto que esta planta tiene la capacidad de adaptarse a muchísimos terrenos. Más aun, hay una cierta gama de portainjertos que permite que la vid se adapte a condiciones incluso adversas, alcanzando las más variadas exigencias.

Un componente importante del terreno es la materia orgánica, categorizándose de la siguiente manera:

- Terreno pobre: < 1,5 %.
- Terreno suficientemente dotado: 1,5-2,5 %.
- Terreno bien dotado: 2,5-3,5 %.

También, estos valores han de ser interpretados en base a la granulometría. Un contenido del 1 % de materia orgánica indica un estado de pobreza mucho más grave en un terreno con sedimentos arcillosos, donde la descomposición es normalmente lenta, respecto a un suelo con sedimentos tamaño arena, donde la descomposición es generalmente rápida.

Otro componente importante del terreno es el pH. Esta variable permite indicar la capacidad de reacción del terreno, siendo de fundamental importancia para la elección del portainjerto. Un pH alcalino determina clorosis, si la vid está sobre portainjertos inadecuados. La presencia de un pH elevado puede indicar tanto la presencia de carbonato cálcico, como la presencia de una alta salinidad en el suelo o en el agua de riego. Normalmente, un terreno con valores de pH de entre 6 y 7 es el más óptimo para el desarrollo de la vid.

Por otro lado, también está la capacidad de intercambio catiónico, que es la capacidad del suelo de mantener y cambiar cationes. La C.I.C. se mide en miliequivalentes, los cuales crecen con el contenido de arcilla y de materia orgánica. En los terrenos ácidos, la C.I.C. está parcialmente saturada de iones de hidrógeno y aluminio, mientras que en los terrenos neutros y alcalinos está parcialmente saturada de bases como calcio, potasio y magnesio.

2.4.2. Nutrición

Abonado de fondo:

El abonado de fondo tiene como finalidad enriquecer el suelo hasta una cierta profundidad con fósforo, potasio y materias orgánicas, ya que, una vez hecha la plantación, no se podrán realizar nuevas labores profundas. Para ello, se suministran grandes cantidades de estiércol: si es posible, hasta 50-60 toneladas por hectárea. Las dosis sugeridas de P_2O_5 giran en torno a los 500-600 kg por hectárea. Las dosis de K_2O son variables, esto dependerá de la capacidad de retención del potasio por parte del terreno: de entre 200-2000 kg por hectárea.

Abonado del viñedo:

El abonado del viñedo es una práctica que debe realizarse cada año, con el fin de asegurar la producción. Así, cuando se acerca la primavera, se comienzan a administrar los abonos nitrogenados. Debido a que normalmente el nitrógeno es absorbido poco a poco, el primero en aplicarse, en invierno, es el estiércol (renueva las pérdidas de humus en el terreno, sobre todo en terrenos labrados). Enseguida, se aplican el nitrógeno ureico, amoniacal y nítrico. Las formas amoniacal y ureica se administran antes que el nitrógeno nítrico, porque son de efecto menos inmediato y se calcula que su efecto durará más tiempo. El abonado veraniego con productos nitrogenados prolongaría la vegetación y enriquecería el contenido en nitrógeno de los racimos, cosa que no se considera deseable. Otros abonos nitrogenados más simples son: sulfato amónico, nitrato amónico, nitrato de calcio.

Por su parte, los abonos potásicos suelen suministrarse a finales de invierno. Aunque, a menudo se suministra una porción de estos de forma más tardía, después de la floración, hasta poco antes del cambio de color de las uvas. En terrenos arcillosos, donde los componentes pueden fijarse de mejor manera al terreno, lo óptimo es administrar el abono potásico durante invierno. Entre los abonos ricos en potasio se encuentran: cloruro potásico, sulfato potásico.

Por último, respecto al abono fosforado, se tiene que este es menos necesario en comparación con los abonos nitrogenados y potásicos. Entre los abonos fosforados se encuentran: superfosfato, escorias Thomas (terrenos ácidos).

Ahora, en relación con los síntomas que presenta la vid respecto a las principales carencias alimenticias, se encuentran:

- Nitrógeno: Esta carencia suele aparecer en primavera y se localiza en la planta a partir de las hojas basales. Presenta una coloración verde claro en las hojas, con los pedúnculos en tonos rojos. La consecuencia es una disminución de la fertilidad (nº de racimos y nº de bayas por racimo).
- Potasio: Esta carencia suele aparecer en diciembre, sobre todo en las hojas apicales. Las hojas se vuelven rojizas y amarillentas. Como consecuencia se tendrá una reducción en las dimensiones de las bayas y retrasos en la maduración.
- Magnesio: Esta carencia suele aparecer después del cuajado y durante la maduración, sobre todo en las hojas basales. El tejido foliar que rodea la nervadura permanece verde y entre los nervios aparecen unas tonalidades amarillo-rojizas. En casos extremos puede haber un secado del raquis y una mala maduración en general.
- Hierro: Esta carencia suele aparecer en primavera y hasta diciembre, sobre todo en el ápice de los brotes. Aparece clorosis (excepto en los nervios, que permanecen por mucho tiempo verdes) y necrosis foliar. La consecuencia suele ser una caída de flores y presencia de granos pequeños (reducción de la fertilidad). Los brotes y sarmientos tienen un aspecto raquítrico, frondoso por la emisión de muchas hembrillas.

- Boro: Esta carencia suele aparecer en noviembre-diciembre, en las hojas apicales. En las hojas aparece un mosaico amarillo o rojo, el limbo granuloso, borde foliar acanalado, deformaciones características y reducción de las dimensiones de las hojas. Hay una caída general de las flores, presencia de granos pequeños y achatamiento de las bayas.

Finalmente, debido a que muchos elementos pueden ser absorbidos por las hojas (nitrógeno ureico, fósforo, potasio, magnesio, boro, hierro bajo ciertas formas, entre otros), es posible realizar un abonado foliar, con el fin de corregir carencias rápidamente, mejorando así la nutrición de la vid y, por ende, la producción. Los productos utilizados deberán ser fácilmente solubles en agua y no fitotóxicos. Generalmente se considera suficiente el abonado del terreno. El abonado foliar resulta ventajoso cuando las raíces no están en condiciones de absorber suficientemente, por ejemplo, en climas muy áridos.

2.4.3. Patologías

En muchas ocasiones es posible encontrar problemas dentro de un cultivo, asociándose comúnmente a enfermedades, aunque no siempre lo sean. Una fisiopatía es una alteración funcional de una planta que muestra un determinado estrés, un desequilibrio nutricional o una mala práctica de cultivo. Así que, como todas las plantas, la vid no está exenta de sufrir ciertas patologías.

Por ejemplo, algunos hongos pueden anidar en los restos de viejas raíces y dar lugar a infecciones y daños en las estacas más jóvenes. Además, en todos los viñedos están presentes las virosis. El vehículo de transmisión de las virosis a las nuevas estacas lo constituyen las viejas raíces, que pueden mantenerse vivas en el terreno por más de un año y dejar residuos dañinos aún después de muertas. Una buena práctica es la fumigación del terreno. Se usan fumigantes de tipo y fórmula diversa, en forma líquida o granular.

También, parásitos como el mildiu o peronospora se dan infaliblemente. La rapidez y desarrollo de la infección que puedan provocar estos protistas dependerá de la temperatura, humedad y virulencia. Los consorcios antimildiu fijan la fecha de los tratamientos en base a una recogida sistemática y a tiempo de dichas informaciones.

En el caso de la lucha contra la polilla, la recogida de datos consiste en el empleo de trampas de feromonas. Por el número de mariposas capturadas en las trampas se puede deducir el momento oportuno de la intervención, así como el grado de peligrosidad del parásito.

Ahora, a pesar de la gran cantidad de patologías que pueden afectar a las plantas de vid, son de temer los efectos colaterales del tratamiento insecticida, por lo que estos deben ser utilizados sólo en el caso de ser estrictamente necesarios. Muchos insecticidas en realidad favorecen la multiplicación de ácaros o cicadélidos, ya sea por la desaparición de sus depredadores naturales o por la fitotoxicidad generada, la cual determinaría en las plantas una composición de jugos celulares apta para la sobrevivencia del parásito (trofobiosis).

Las plagas y enfermedades que más incidencia tienen en la vid son: Peronospora, Oidio, Botrytis Cinerea, Araña Roja, Araña Gallo, Tortrix, Cigarrero y Cigarra.

3. Marco Geológico

3.1. Fisiografía

La comuna de Marchigue, perteneciente a la provincia de Cardenal Caro, Región de O'Higgins, se ubica entre los paralelos 34° y 35° de latitud sur, en Chile Central. Desde los 34° a los 37° de latitud sur el país presenta dos unidades morfoestructurales mayores que se manifiestan en forma continua y una tercera unidad que aparece ocasionalmente interrumpida por las otras dos, estas son: Cordillera Principal, Cordillera de la Costa y Valle Central de Chile (Figura 9). Estas unidades presentan una elongación mayor que varía en rumbo entre N y NNE.

La Cordillera Principal, es una cadena montañosa del sistema andino en la que se encuentran algunas de las mayores alturas del continente. Está principalmente formada por bloques levantados en fallamiento normal, los cuales se han ido erosionados por la acción glacial y fluvial. La línea de las altas cumbres forma la separación del drenaje y corresponde a la frontera con Argentina, perteneciendo la parte oriental de esta unidad a la República Argentina. La Cordillera Principal está limitada al este por otra unidad morfoestructural denominada Cordillera Frontal.

La Cordillera Principal y la Cordillera Frontal se han formado en el Plioceno-Pleistoceno, durante un período extensivo que se continúa hasta el Presente. Este proceso extensivo generó un sistema de graben y horst que tiene un ancho superior a los 400 km y en el cual probablemente haya que incluir también a la Fosa de Atacama, adyacente al margen continental.

El movimiento de ascenso a lo largo de fallas normales de la Cordillera Principal respecto al Valle Central no ofrece dudas, sin embargo, para el movimiento ascendente de la Cordillera de la Costa respecto a la Depresión Longitudinal las fallas no son tan evidentes y la situación tectónica no está todavía completamente aclarada (Charrier y Lillo, 1973).

El Valle Central, es una depresión longitudinal paralela al margen continental que separa a las Cordilleras de la Costa y de los Andes. No obstante, esta unidad fisiográfica mayor se encuentra ocasionalmente interrumpida por prolongaciones de ambas cordilleras. El tramo en que el Valle Central se encuentra interrumpido corresponde al sector comprendido entre Rengo y San Fernando. Desde San Fernando hacia el sur, el Valle Central se encuentra ininterrumpido. También, desde San Fernando hacia el sur se tiene que la Depresión Longitudinal presenta una marcada pendiente decreciente y un aumento en su extensión.

El drenaje presenta una configuración en la que se aprecian notables desviaciones de los ríos mayores en su paso por el valle. En la región de estudio, los ríos Cachapoal y Tinguiririca se desvían hacia el norte y el Río Teno hacia el sur. Este efecto es también notable en los esteros y ríos menores. La Depresión Longitudinal ha sido abundantemente rellenada por depósitos cuaternarios fluviales y aluviales provenientes de la Cordillera de la Costa y principalmente de la Cordillera de los Andes.

Aun cuando se ha afirmado que el Valle Central corresponde a una depresión tectónica (Frutos, 1967), al menos en algunos sectores, al oeste, se reconoce que esta situación no está completamente aclarada (Charrier y Lillo, 1973).

La Cordillera de la Costa, que se extiende al oeste del Valle Longitudinal, corresponde a una unidad montañosa de alturas poco espectaculares que ha sido desarrollada desde tiempos paleozoicos, siendo más antigua respecto a las unidades morfoestructurales recientemente mencionadas.

El relieve es generalmente suave, con valles anchos rellenos con abundantes depósitos cuaternarios. En la región estudiada, la Cordillera de la Costa presenta una orientación de N25°E y un ancho que varía entre 90 y 100 Km. Por su parte, las alturas máximas alcanzan aproximadamente los 1200 m. De norte a sur, esta unidad fisiográfica tiende a disminuir en altura y extensión.

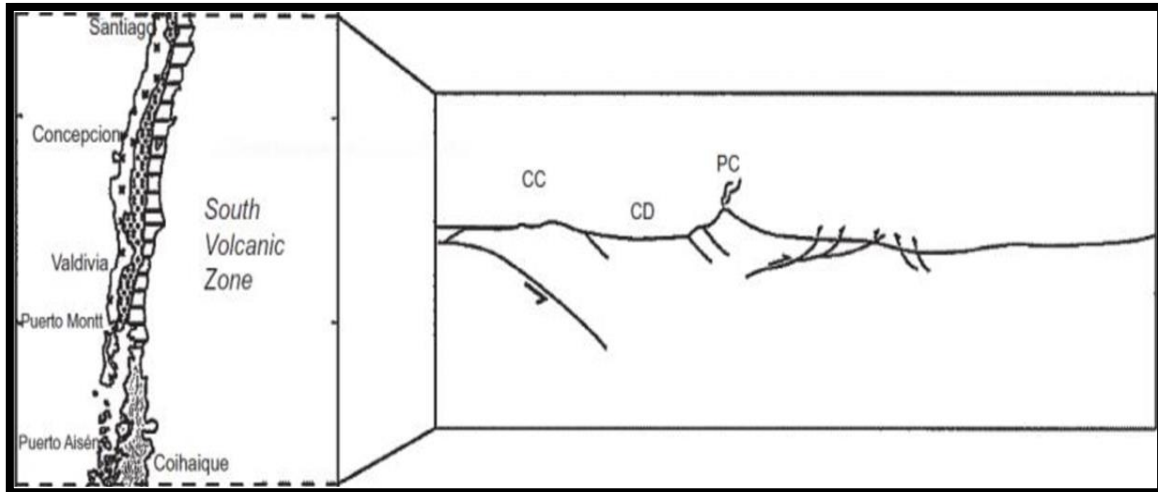


Figura 9: Unidades morfoestructurales en la zona volcánica sur de los Andes (ZVS), entre Santiago y Puerto Aisén. CC: Cordillera de la Costa; CD: Depresión Central; PC: Cordillera Principal. Imagen modificada de Charrier et al. (2007).

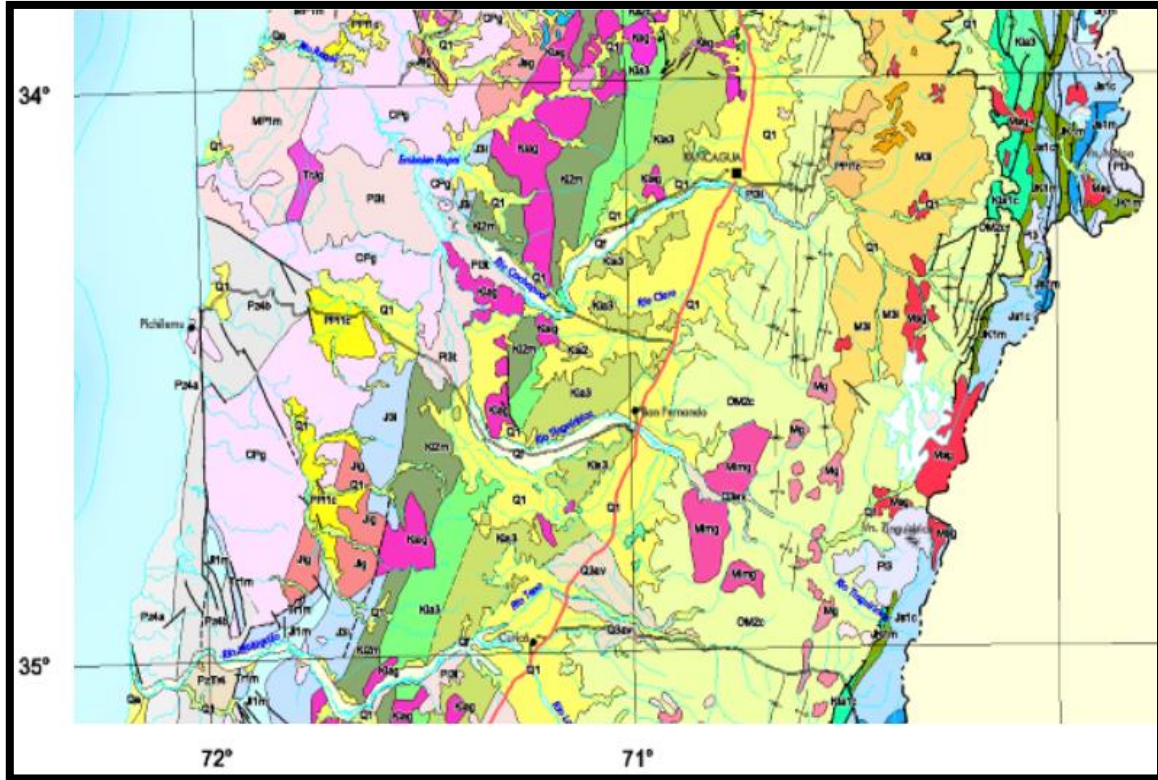
3.2. Geología

3.2.1. Generalidades

El área de estudio se localiza en el borde oriental de la Cordillera de la Costa, entre los 34° y 35° de latitud sur. En este lugar, se encuentran unidades geológicas con edades comprendidas entre el Paleozoico y el Cuaternario. Se reconocen rocas metamórficas, cuerpos intrusivos, formaciones volcánicas y volcanosedimentarias y depósitos sedimentarios marinos y continentales.

La distribución, extensión y características de las rocas presentes en la región de estudio se obtienen de los documentos emitidos por: Sernageomin, 2003; Charrier y Lillo, 1973. (Figuras 10 y 11).

También, se muestra un cuadro en el que se correlacionan estratigráficamente las formaciones de la Cordillera de la Costa, entre las unidades presentes en la zona de estudio y aquellas ubicadas más al norte (Figura 12). La correlación estratigráfica se muestra al final de este capítulo.



Leyenda

- | | | |
|--|---|---|
| <p>Q1
Pleistoceno-Holoceno
Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvio-glaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones Metropolitana a IX: abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvio-glaciales con intercalación de depósitos volcanoclasticos.</p> | <p>K1g
Cretácico Inferior alto-Cretácico Superior bajo (123-85 Ma)
Dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzogranitos de hornblenda y biotita. En la Cordillera de la Costa, regiones II a IV, al este del Sistema de Fallas Alacama-El Romeral y asociados a mineralización de Fe-Cu-Au (Candelaria) y Cu-Au (Andacollo); en la Cordillera de la Costa, regiones V a X.</p> | <p>TrJg
Triásico-Jurásico (212-180 Ma)
Granodioritas, monzogranitos, monzodioritas, dioritas y gabros de piroxeno y hornblenda; sienogranitos. En Cordillera de la Costa, regiones III a V.</p> |
| <p>PI3t
Pleistoceno
Depósitos piroclásticos principalmente riolíticos, asociados a calderas de colapso. En la Depresión Central y valles de la Cordillera Principal, regiones V a VII: Ignimbrita Pudahuel y Toba Loma Seca.</p> | <p>K2m
Cretácico Inferior (Neocomiano)
Secuencias volcánicas y sedimentarias marinas: lavas andesíticas y basálticas, tobas y brechas volcánicas y sedimentarias; areniscas y calizas fosilíferas. En la Precordillera, región III: Estratos Cerro El Águila; en la Cordillera Principal, región IV: Formación Los Polambres; en la Cordillera de la Costa, regiones V y Metropolitana: Formación Lo Prado.</p> | <p>CPg
Carbonífero-Pérmico (328-235 Ma)
Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de hornblenda y biotita, localmente de muscovita. En la Precordillera y Cordillera Principal, regiones I a IV: Batolitos compuestos, 'stocks' y cuerpos hipabisales (Sierra Moreno, Cordillera de Domeyko, Batolito Elqui-Limari); en la Cordillera Principal, regiones X y XI: Batolito Panguipulli-Riñihue y 'Stock' Leones.</p> |
| <p>PPI1c
Plioceno-Pleistoceno
Conglomerados, areniscas, limolitas y arcillolitos, generalmente consolidados, de facies principalmente aluviales, subordinadamente lacustres y eólicas. En las regiones I a III forman abanicos aluviales inactivos mientras en Chile central (Estratos de Potrero Alto) son niveles aterrazados adosados al sustrato de la zona costera.</p> | <p>J3i
Jurásico
Secuencias volcánicas continentales y marinas: lavas y aglomerados basálticos a andesíticos, tobas riolíticas, con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales. En la Cordillera de la Costa, regiones I a III: formaciones Camaraca y La Negra; en la Cordillera Principal, región VIII: Formación Nacientes del Biobío (Miembro Icalma).</p> | <p>Pz4a
Silúrico?-Carbonífero
Esquistos muscovíticos y metabasitas, metachert y serpentinitas con metamorfismo de alto gradiente P/T (Serie Occidental) y metamorfismo del Carbonífero temprano. En la Cordillera de la Costa, regiones VI a IX.</p> |
| <p>MP1m
Mioceno Superior-Plioceno
Secuencias sedimentarias marinas transgresivas: areniscas, limolitas, coquinas, conglomerados, calizas y fangolitas. En la costa, regiones II a VIII: formaciones La Portada, Bahía Inglesa, Coquimbo, Navidad y Tubul.</p> | <p>J1g
Jurásico Inferior (202-178 Ma)
Dioritas, gabros y monzodioritas de piroxeno, dioritas cuarcíferas y granodioritas y tonalitas de hornblenda y biotita. En la Cordillera de la Costa, regiones II a III: plutones Flamenco y Caldera-Pajonales.</p> | <p>Pz4b
Silúrico?-Carbonífero
Pizarras, filitas y metaareniscas con metamorfismo de bajo gradiente P/T (Serie Oriental) del Carbonífero temprano. En la Cordillera de la Costa, regiones VI a IX.</p> |

Figura 10: Mapa geológico entre los 34° y 35° de latitud sur. Imagen y leyenda extraídas del Mapa geológico de Chile escala 1:1.000.000 (Sernageomin, 2003). Leyenda solo contiene unidades cercanas al área de estudio.

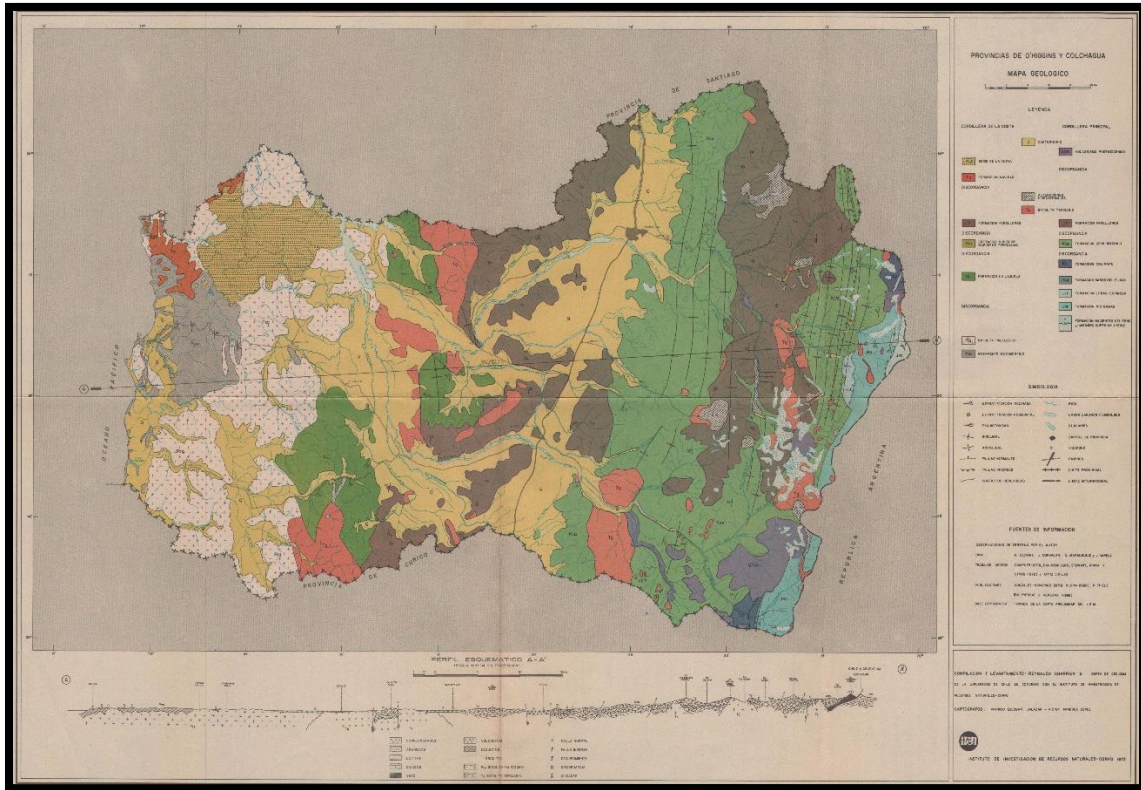


Figura 11: Mapa geológico de las provincias de O'Higgins y Colchagua, entre los paralelos 34° y 35° de latitud sur. Mapa a escala 1:500.000 extraído de Charrier y Lillo (1973).

3.2.2. Unidades estratificadas

3.2.2.1. Paleozoico

Las rocas estratificadas del Paleozoico presentes en la región de estudio corresponden al Basamento Metamórfico. Este basamento ocurre a lo largo de la Cordillera de la Costa de Chile Central, entre los 34° y 38° de latitud sur. El límite norte corresponde a la Zona de Falla de Tanumé-Pichilemu, mientras que el límite sur corresponde a la Zona de Falla de Lanalhue. Al este, el Basamento Metamórfico se encuentra limitado por el Batolito Costero.

La evolución geodinámica del Basamento Metamórfico se encuentra ligada a un proceso orogénico que se produce por la subducción de la Placa Paleo-Pacífica bajo el margen occidental de Gondwana. Este proceso orogénico dio lugar a un complejo acrecionario desarrollado entre el Carbonífero y el Pérmico (Hervé et al.,

1981). El complejo acrecionario muestra características de un cinturón pareado metamórfico (Miyashiro, 1961), distinguiéndose dos franjas N-S que difieren en gradiente metamórfico y protolito. Se les ha llamado: Serie Oriental (BP/AT) y Serie Occidental (AP/BT) (Godoy, 1970; Aguirre et al., 1972).

La Serie Oriental está constituida por metagrauvascas, filitas, metareniscas, mica-esquistos pelíticos, rocas córneas y gneises. Las rocas originales fueron probablemente formadas en un ambiente marino de poca profundidad, bajo un régimen de sedimentación de tipo flyschoides (Hervé, 1977). También, han sido interpretadas como sucesiones turbidíticas de origen continental (Kato, 1985; Hervé, 1988). Rocas de origen oceánico como metacherts, metabasitas y serpentinitas son ampliamente ausentes, siendo este el criterio para distinguir la Serie Oriental de la Serie Occidental (Godoy y Kato, 1990; Glodny et al., 2005).

La Serie Oriental ha sido afectada por un metamorfismo de gradientes P/T relativamente bajos. Este gradiente, es producto del metamorfismo de contacto generado por la intrusión del Batolito Costero, donde el grado metamórfico de las rocas aumenta de oeste a este, a medida que nos acercamos al contacto con el cuerpo ígneo. En las cercanías del contacto con el intrusivo se logran alcanzar las facies de anfibolitas y granulitas (González-Bonorino, 1970).

Por otra parte, se tiene que en la Serie Oriental son preservadas estructuras primarias (S0) (Godoy, 1984) y lentes de rocas calcosilicatadas, probablemente depositadas en un ambiente en una cuenca de antearco (Charrier et al., 2007).

Respecto a las relaciones de contacto, Rodríguez et al., (1999) indica que las rocas de la Serie Oriental son instruidas por el Batolito Costero (Carbonífero Tardío-Pérmico Temprano) y suprayacidas en disconformidad por depósitos volcánicos y sedimentarios del Triásico Tardío.

La Serie Occidental está compuesta por mica-esquistos, metabasitas, metacherts y serpentinitas. Las metabasitas derivaron de una serie volcánica con características afines a las de las toleítas abisales. En algunas de estas rocas se

pueden distinguir estructuras de almohadilla, asociadas con serpentinitas y rocas diabásicas que parecen construir una secuencia de tipo ofiolítica (Hervé, 1977; Godoy, 1979). Las bajas razones isotópicas de Sr obtenidas en la Serie Occidental parecen confirmar su afinidad oceánica (Hervé et al., 1984).

La Serie Occidental ha sido afectada por un metamorfismo de gradientes P/T altos. Este gradiente, es producto del metamorfismo regional generado por la convergencia de placas. El grado metamórfico de las rocas aumenta hacia el oeste.

Respecto a las edades del Basamento Metamórfico, Hervé et al. (1984) determinó que: la Serie Oriental presenta edades de 368 ± 42 Ma en la zona de la sillimanita y 347 ± 32 Ma en la zona de estaurolita-andalucita, es decir, la edad disminuye a medida que nos alejamos del contacto con el Batolito Costero. Por su parte, la Serie Occidental presenta edades de 311 ± 10 Ma en esquistos glaucofánicos. Las edades se determinaron mediante el método de datación Rubidio-Estroncio en roca total.

Trabajos recientes realizados por Hervé et al., (2013) determinan que, en el área de Tanumé, la edad de los circones ígneos detríticos más jóvenes es de 345 Ma para la Serie Oriental y de 307 Ma para la Serie Occidental, con un 59% de circones proterozoicos. Estas edades se consideran cercanas a la edad de sedimentación de los protolitos de ambas series. Entonces, a partir de Hervé et al. (1984; 2013) es correcto decir que: la edad del Basamento Metamórfico de Chile Central está limitada en tiempos carboníferos.

En relación con el contacto entre ambas series, se tiene que la Serie Oriental y la Serie Occidental parecen estar yuxtapuestas a lo largo de una profunda discontinuidad estructural, debido al contraste que estas presentan tanto en la paragénesis mineral como en la historia deformacional. La estructura, denominada Coast Range Suture (Ernst, 1975), no ha sido demostrada en terreno debido a la escasez de afloramientos, por lo que está sugerida a ser real y a representar un longevo acople de placas convergentes (Charrier et al., 2007).

3.2.2.2. Mesozoico

En la región de estudio las rocas mesozoicas están representadas principalmente por secuencias volcánicas y sedimentarias de edades jurásicas y cretácicas, tanto de origen marino como continental. Estas secuencias están distribuidas en franjas longitudinales de rumbo N-NNE y al este del Batolito Paleozoico, sobre el borde oriental de la Cordillera de la Costa.

Las formaciones jurásicas ocurren como secuencias volcánicas continentales y marinas (lavas y aglomerados basálticos a andesíticos, tobas riolíticas) intercaladas con capas de conglomerados, areniscas y calizas marinas (Sernageomin, 2003). Esta unidad sobreyace de manera discordante a las rocas del Basamento Cristalino, es decir, se dispone sobre el Batolito Costero y sobre las rocas metamórficas de la Serie Oriental.

Las formaciones cretácicas ocurren como secuencias volcánicas y sedimentarias marinas y continentales, encontrándose: andesitas y basaltos, tobas riolíticas, brechas volcánicas y sedimentarias, conglomerados, areniscas y calizas fosilíferas (Sernageomin, 2003). En la región de estudio las secuencias cretácicas corresponden a la Formación La Lajuela (Muñoz Cristi y Karzulovic, 1958).

En un estudio realizado en la Cordillera de la Costa entre los ríos Aconcagua y Mataquito, Corvalán y Dávila (1964) se refieren a las capas de La Lajuela con el nombre de Formación Lo Prado, estableciendo de esta manera una correlación con la región de la Cordillera de la Costa estudiada por Thomas (1958), ubicada al norte del área analizada en el presente informe.

La Formación La Lajuela se puede observar en la parte suroriental de la región de estudio. La base de esta unidad se apoya en discordancia sobre las rocas graníticas paleozoicas, mientras que el techo está cubierto en discordancia angular por la Formación Farellones. Se reconocen afloramientos pertenecientes a esta formación cretácica en la región alrededor de Santa Cruz, en la región de la Laguna de San Vicente de Tagua-Tagua y el cordón al norte de la localidad de Las Cabras.

3.2.2.3. Cenozoico

En la región de estudio las rocas cenozoicas están representadas por depósitos volcánicos y sedimentarios de origen marino y continental, con edades que van desde el Mioceno al Pleistoceno. Estos depósitos ocurren en zonas de pendiente negativa presentes en el momento de la depositación, generadas por la tectónica.

En primer lugar, se presentan secuencias sedimentarias marinas transgresivas de edad Mioceno Superior-Plioceno. Estas secuencias se caracterizan por la presencia de: areniscas, limolitas, conglomerados, calizas y fangolitas (Sernageomin, 2003). Los depósitos se encuentran principalmente en la zona costera de Topocalma y corresponden a la Formación Navidad.

La Formación Navidad (Darwin, 1846), está constituida por cuatro miembros de areniscas amarillas de grano medio a grueso con algunas intercalaciones conglomerádicas y abundantes concreciones calcáreas. La base de esta formación se apoya en discordancia angular y de erosión sobre esquistos del Basamento Metamórfico. El techo corresponde a los conglomerados sobre los cuales se disponen las areniscas marinas fosilíferas de la Serie de La Cueva, de edad Plioceno (Charrier y Lillo, 1973).

La Serie de La Cueva (Brüggen, 1950) está constituida por sedimentos marinos con intercalaciones de niveles conglomerádicos continentales. Se ubica hacia la parte noroccidental de la región de estudio, presentando amplia exposición y gran abundancia de fósiles (Charrier y Lillo, 1973).

En segundo lugar, se presentan depósitos sedimentarios continentales del Plioceno-Pleistoceno. Estos están constituidos por: conglomerados, areniscas, limonitas y arcillolitas, de facies principalmente aluviales, subordinadamente lacustres y eólicas (Sernageomin, 2003). Los depósitos se distribuyen al este del área estudiada.

Por último, se presentan depósitos volcánicos piroclásticos del Pleistoceno. Estos corresponden a tobas riolíticas asociadas a calderas de colapso. Se distribuyen en la Depresión Central y en valles de las Cordilleras de la Costa y de los Andes. De la región de Valparaíso hasta la región del Maule estos depósitos corresponden a la Ignimbrita de Pudahuel (Sernageomin, 2003).

3.2.3. Unidades intrusivas

Las rocas intrusivas encontradas en la región analizada se pueden subdividir en dos grupos mayores: rocas graníticas paleozoicas asociadas al Ciclo Orogénico Hercínico y rocas graníticas mesozoicas asociadas al Ciclo Orogénico Andino.

Respecto a las primeras, se tiene que el Basamento Granítico Paleozoico esta espacialmente relacionado al Basamento Metamórfico. Ambos forman un conjunto conocido como Basamento Cristalino. El cuerpo ígneo, también denominado Batolito de la Costa, intruyó a las rocas del Basamento Metamórfico y su efecto de contacto se traduce en el metamorfismo térmico de la Serie Oriental. Las rocas graníticas que conforman esta unidad se distribuyen formando una ancha franja de orientación N-NNE paralela al Basamento Metamórfico y al oriente de este.

El Basamento Granítico consiste fundamentalmente en tonalitas y granodioritas de grano medio a grueso. En general, las rocas muestran haber estado sometidas a fuertes efectos cataclásticos, presentándose muy alteradas y formando relieves suaves. Los granitoides que conforman el Basamento Granítico muestran a menudo grandes cristales de microclina, los que les son característicos, no siendo observados en granitos de otras edades en la región de estudio.

La edad del Basamento Granítico suscita problemas por cuanto las dataciones radiométricas, ya que, si bien se han realizado bajo diferentes métodos, resultan edades diferentes incluso en muestras de una misma localidad (Levi et al, 1963; Muñoz Cristi, 1964; González-Bonorino, 1967; Corvalán y Munizaga, 1972). A pesar de estas diferencias, los resultados concuerdan en una edad paleozoica.

En relación con las rocas graníticas mesozoicas, estas se presentan repartidas en toda la zona de estudio. Se trata principalmente de granodioritas de grano más fino y menos alteradas respecto a los granitos paleozoicos. Los granitos mesozoicos forman relieves más prominentes que los granitos antiguos e intruyen a las distintas formaciones aquí reconocidas, incluso al Batolito Costero. Es más, algunos de los cuerpos que en oportunidades anteriores han sido asignados al Basamento Granítico podrían corresponder en realidad a varios eventos intrusivos del Mesozoico.

Las edades de las intrusiones graníticas desarrolladas durante el Ciclo Orogénico Andino disminuyen de oeste a este. Esta migración de las intrusiones, que acompaña a la migración de las fases de plegamiento, fue puesta en evidencia por Charrier y Vicente (1970) y confirmada por las dataciones realizadas por Farrar et al. (1970) en la región de Copiapó. En el área de estudio, las edades de estas rocas corresponden al Triásico Superior-Jurásico Inferior y al Cretácico Inferior Tardío- Cretácico Superior Temprano (Sernageomin, 2003).

3.2.4. Unidades no consolidadas

En la región analizada, esta unidad comprende sedimentos cuaternarios no consolidados de edades que van desde el Pleistoceno-Holoceno hasta el Presente. Los depósitos están constituidos por sedimentos aluviales, coluviales y de remoción en masa, en menor medida fluvio-glaciares, deltaicos, litorales o indiferenciados (Sernageomin, 2003), que se encuentran rellenando los valles.

Los depósitos no consolidados tienen una amplia distribución y presentan bastante variedad. No obstante, la mayor expresión de esta unidad se encuentra en el Valle Longitudinal, donde existe una gran acumulación de material meteorizado in situ, además de los aportes laháricos, fluviales y conos de eyección que traen el producto de la denudación de la Cordillera de los Andes. Estos materiales frecuentemente aparecen formando terrazas (Escobar et al., 1977).

En la región de Marchigüe y Peralillo, en el valle del Río Tinguiririca, se observan potentes depósitos aluviales de color amarillo, constituidos casi exclusivamente por cenizas volcánicas (Charrier y Lillo, 1973).

3.2.5. Evolución geológica

Los antecedentes tectónicos, estratigráficos, sedimentológicos y estructurales de esta región permiten realizar una reconstrucción bastante completa de la evolución geológica entre los 34° y 35° de latitud sur. La historia geológica expuesta a continuación se basa en estudios, datos e interpretaciones obtenidos de: González-Bonorino, 1970; Charrier y Lillo, 1973; Hervé et al., 2013; García Sansegundo et al., 2014; Palape, 2014; Heredia et al., 2017.

3.2.5.1. Paleozoico

La historia geológica del segmento estudiado comienza aproximadamente desde tiempos del Paleozoico Medio, cuando el Terreno Chilenia-Cuyania se aproximaba a colisionar con el margen occidental de Gondwana. Durante esta era y hasta el periodo Carbonífero Temprano, se fueron acumulando sedimentos provenientes de Chilenia sobre una cuenca ubicada al oeste de dicho terreno.

En el Carbonífero Temprano, una vez acrecionado el terreno alóctono Chilenia, comienza la subducción de la Placa Paleo-Pacífica bajo el margen occidental de Gondwana, dando origen al primer evento orogénico conocido del tipo no colisional. La Orogenia Gondwánica se desarrolla desde el Carbonífero Temprano al Pérmico Tardío.

En las primeras etapas del Ciclo Gondwánico y producto de la subducción, los sedimentos previamente depositados comienzan a ser arrastrados y adosados al continente, generándose un prisma de acreción. Esta morfoestructura continúa desarrollándose durante todo el Carbonífero, dando como resultado una nueva configuración paleogeográfica. El complejo acrecionario separa dos tipos de ambientes sedimentarios donde, al oeste del prisma predominaban sedimentos

marinos, mientras que al este del prisma predominaban sedimentos marinos y continentales. Los sedimentos al este del prisma de acreción corresponden a aquellos que han sido acrecionados frontalmente (Serie Oriental) y a aquellos depositados producto del alzamiento y consecuente erosión de dicho relieve.

Al mismo tiempo, se depositaban sedimentos marinos al oeste del prisma de acreción, los que eran arrastrados a la fosa junto con fragmentos de corteza oceánica. De estas rocas y sedimentos, aquellos que no fueron subductados se acumularon en la base del prisma y comenzaron a metamorfinizarse bajo condiciones de alta presión-baja temperatura, dando paso a la Serie Occidental.

Posteriormente, en tiempos del Carbonífero Tardío, ocurre la intrusión del Batolito Costero, al este del prisma de acreción. Este evento magmático causa el metamorfismo de los sedimentos continentales acrecionados frontalmente y depositados dentro de la cuenca de antearco, bajo condiciones de baja presión-alta temperatura, dando paso a una sobreimposición metamórfica en la Serie Oriental. El batolito corresponde a un magmatismo de arco con afinidades calcoalcalinas.

El magmatismo y la deformación asociados al orógeno no colisional comienzan a migrar rápidamente hacia el este. No obstante, un relieve oceánico habría llegado a la fosa en el Pérmico Medio, provocando una importante deformación circunscrita al margen continental. Esta deformación sería la responsable de la exhumación del complejo acrecionario y de la obducción de parte de la Placa oceánica Paleo-Pacífica que estaba siendo subductada. Entonces, tanto la Serie Oriental como la Serie Occidental habrían sido exhumadas brevemente después del evento metamórfico que las formó.

Respecto a la configuración paleogeográfica del Paleozoico Tardío, que se obtiene producto de la Orogenia Gondwánica, de oeste a este, corresponde a: un prisma de acreción, una cuenca de antearco, un arco magmático, una cuenca de retroarco (Charrier et al., 2007).

3.2.5.2. Mesozoico

El Mesozoico está representado en la región de estudio por abundantes rocas ígneas y sedimentarias, con edades que van desde el Jurásico Temprano hasta el Cretácico Tardío. Estas rocas forman parte del Ciclo Orogénico Andino. Existen escasas evidencias del Ciclo Pre-Andino desarrollado durante el Permo-Triásico.

La primera etapa del Ciclo Andino, que se desarrolla desde el Jurásico Inferior hasta el Cretácico Inferior Tardío, se caracteriza por la predominancia de un régimen tectónico extensional que se produce producto de una subducción de tipo marianas, es decir, producto de una subducción de alto ángulo. Como consecuencia, se genera una nueva configuración paleogeográfica que, de oeste a este, corresponde a: una fosa, un arco magmático, una cuenca de trasarco.

Primero, en el Jurásico Inferior, ocurre la intrusión de cuerpos ígneos plutónicos dentro del Batolito de la Costa. Estos plutones, que presentan composiciones básicas y afinidades calcoalcalinas, son parte del primer arco andino (Arco Jurásico), el cual se desarrolla a lo largo de casi toda la costa chilena. La composición básica del magmatismo se debe a que la corteza continental se encontraba adelgazada producto de la extensión generalizada ocurrida durante el Ciclo Pre-Andino.

Segundo, ocurren secuencias volcánicas y sedimentarias marinas y continentales, con edades que van desde el Jurásico Inferior Tardío hasta el Cretácico Inferior Tardío. Estas secuencias están representadas dentro de la cuenca de trasarco por dos ciclos de transgresión-regresión.

El primer ciclo de transgresión-regresión, reconocido como parte de la primera subetapa de la primera etapa del Ciclo Andino, ocurre desde el Jurásico Inferior al Jurásico Superior. En este periodo se desarrolló una intensa actividad volcánica sobre el Arco Jurásico. Los productos volcánicos eran depositados hacia el este, dentro de una cuenca marina de tras arco donde además se acumulaban lutitas y areniscas y donde localmente existían las condiciones adecuadas para el

desarrollo de organismos biohermales y para la precipitación de carbonatos. Las sucesivas coladas derramadas en esta cuenca conformaban una topografía muy irregular, permitiendo la existencia de ambientes muy diversos. Esto último, explicaría la fuerte variación en las facies de los ambientes sedimentarios.

A partir de variaciones laterales en las facies sedimentarias se indica que los aportes de materiales detríticos provenían desde el oeste, donde necesariamente debían existir tierras emergidas. Por su parte, variaciones verticales en las facies sedimentarias indican que hubo una profundización de la cuenca de trasarco durante el Calloviano y el Oxfordiano. A fines del Oxfordiano, habrían ocurrido movimientos verticales de ascenso que provocaron un rápido alzamiento del fondo marino, comenzándose la depositación de algunos niveles de yeso intercalados en la serie calcárea. La regresión marina, asociada al evento compresivo araucano, continuó con notable rapidez provocando el casi total aislamiento de la cuenca de trasarco respecto al mar abierto.

El segundo ciclo de transgresión-regresión, reconocido como parte de la segunda subetapa de la primera etapa del Ciclo Andino, ocurre desde el Jurásico Superior al Cretácico Inferior Tardío. El ciclo comienza una vez terminado el paroxismo de la Fase Araucana, como consecuencia del relajamiento tectónico. Al igual que en la primera subetapa de la primera etapa del Ciclo Andino, la segunda subetapa comienza con una intensa actividad volcánica a lo largo del arco. Los productos volcánicos se depositaron en la cuenca de trasarco, mezclándose con sedimentos fosilíferos calcáreos y lutíticos. Esta situación permitió en el Titoniano y el Neocomiano la acumulación de la Formación La Lajuela.

Posteriormente, a partir de variaciones verticales graduales en las facies sedimentarias de la Formación La Lajuela, desde facies marinas Neocomianas a facies continentales Aptianas-Albianas, se indica que habría habido un alzamiento lento de la cuenca de trasarco y una nueva y última regresión en este dominio. Esta regresión se asocia a un importante evento tectónico compresivo que ocurre aproximadamente a los 100 Ma, conocido como Fase Subhercínica o Peruana. La Fase Peruana, que marca el fin de la primera etapa y comienzo de la segunda etapa

del Ciclo Andino, generó además una importante deformación en las rocas occidentales previamente depositadas.

La segunda etapa del Ciclo Andino, que se desarrolla durante todo el Cretácico Superior, comienza una vez terminado el paroxismo de la Fase Peruana, como consecuencia del relajamiento tectónico. La extensión provocó un nuevo período de intensa actividad volcánica que se inició con efusiones ácidas. Los productos volcánicos, desarrollados sobre el Arco Cretácico y al este del Arco Jurásico, se derramaron sobre los relieves que generó la Fase Subhercínica y recubrieron a las distintas formaciones que afloraban en ese momento.

3.2.5.3. Cenozoico

El Cenozoico está representado en la región de estudio por rocas sedimentarias marinas y continentales, por rocas volcánicas asociadas al volcanismo andino joven y por sedimentos no consolidados. Las edades de estas unidades geológicas van desde el Mioceno Superior al Presente.

Las rocas cenozoicas más antiguas corresponden a rocas sedimentarias marinas y continentales de la Formación Navidad, de edad Mioceno Superior-Plioceno. Esta formación se habría depositado posterior al evento compresivo incaico ocurrido en el Eoceno Superior-Oligoceno Inferior, bajo condiciones extensionales. Las condiciones existentes provocaron un nuevo descenso del margen continental, permitiendo la ingesión del mar a través de un embahiamiento en la región de Navidad. Sin embargo, la invasión marina tuvo poca extensión y duración.

En el Mioceno Superior, el mar debió retirarse debido a un suave alzamiento que sufrió el margen continental, posiblemente como respuesta a algún fenómeno diastrófico centrado en regiones más orientales. La edad Mioceno Superior de esta regresión sugiere alguna relación con la Fase Quechua, que es la última fase compresiva de los Andes.

Posterior al evento compresivo quechua, en el Mioceno Superior, comenzó un período de extensión este-oeste que se mantiene hasta la actualidad. Estas nuevas condiciones permitieron una transgresión sobre la parte más occidental del continente y también una abundante actividad volcánica, que se concentra fundamentalmente en la Cordillera Principal.

La transgresión ocurrida en el Plioceno Superior permitió la depositación en discordancia de los sedimentos litorales de la Serie de La Cueva sobre los depósitos marinos y continentales de la Formación Navidad.

En el Pleistoceno, fluctuaciones eustáticas del nivel del mar permitieron la formación de terrazas y la acumulación de algunos sedimentos marinos en el borde más occidental del área estudiada.

Respecto al volcanismo andino joven, se tiene que en la región de estudio este está representado por afloramientos de tobas de ceniza riolíticas asociados a la Ignimbrita Pudahuel, de edad Pleistoceno. La Ignimbrita Pudahuel ocurre producto del colapso de la Caldera el Diamante. Si bien la actividad volcánica postmiocénica se concentra casi exclusivamente en la Cordillera Principal, en la región estudiada se encontraron evidencias de este volcanismo en numerosas localidades.

Por último, en relación con los depósitos no consolidados, se tiene que estos están relacionados con procesos sedimentarios activos, entre los que se encuentran: formación de dunas en la región costera, profundización de valles y consecuente formación de terrazas fluviales y aluviales, entre otros.

CORDILLERA DE LA COSTA: CORRELACIONES ENTRE FORMACIONES DE LA REGION ESTUDIADA Y REGIONES UBICADAS MAS AL NORTE

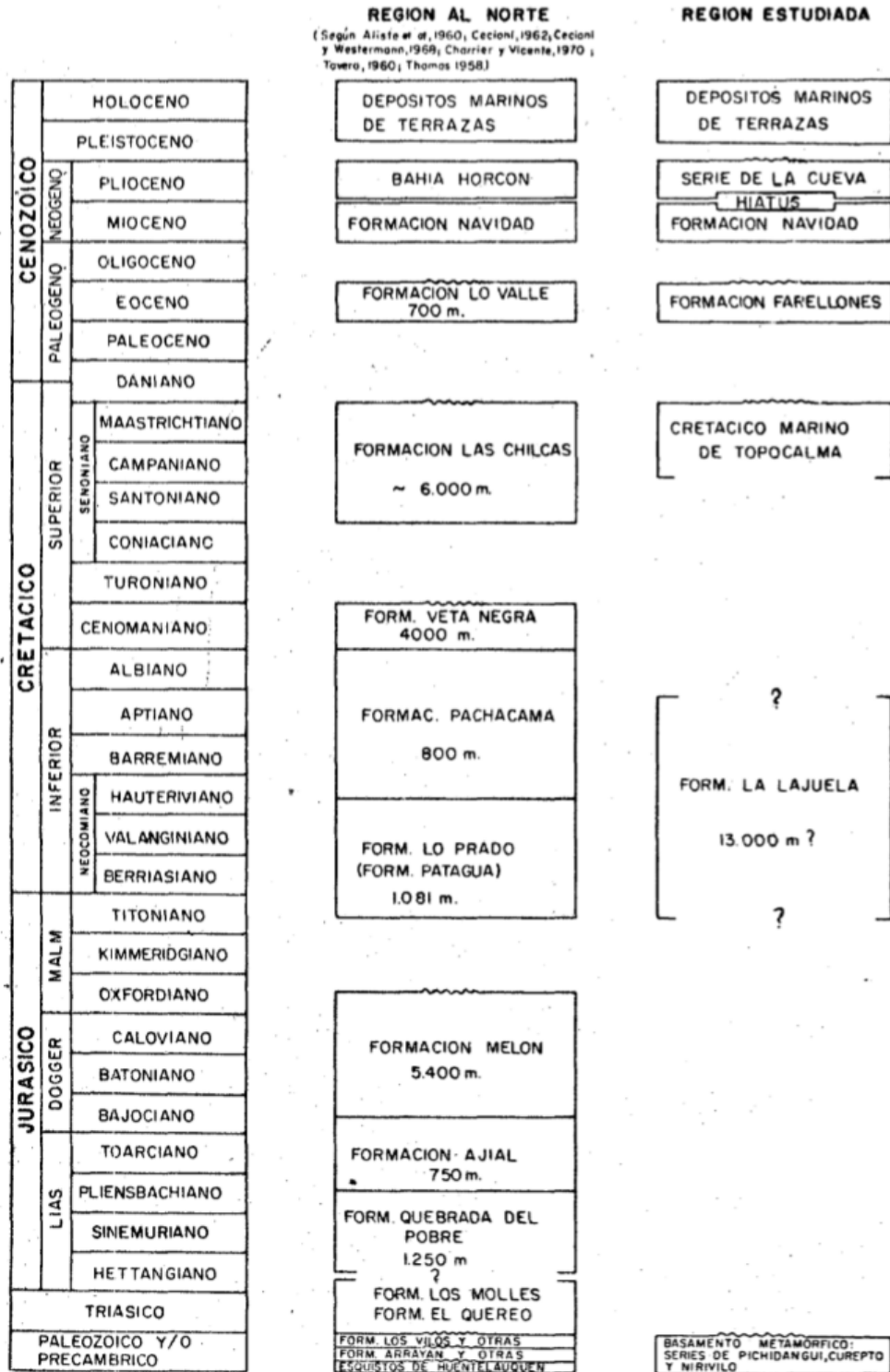


Figura 12: Correlación estratigráfica en la Cordillera de la Costa, entre formaciones de la región estudiada y formaciones de la región más al norte. Cuadro obtenido de Charrier y Lillo (1973).

4. Metodologías de Trabajo

4.1. Recopilación bibliográfica

En primer lugar, se recaba información general de la zona de estudio, a modo de contextualizar el lugar respecto a su ubicación geográfica, geología, toponimia y etimología, historia y su relación con la cultura vitivinícola.

En segundo lugar, se definen los conceptos que permitirán relacionar los resultados de este estudio con las necesidades fisiológicas de la vid, entre los que se encuentran: aspectos climáticos y propiedades del terreno, nutrición y patologías.

Por último, para la evaluación e interpretación de resultados, se recopilan antecedentes sobre: fisiografía y geomorfología; geología estructural; litología y estratigrafía; geoquímica y mineralogía; meteorología; pedología, edafología y enología. Todo esto, para lograr un mayor entendimiento del complejo sistema en el que se desarrollan los cultivos.

4.2. Trabajo de terreno

El trabajo de terreno consta de 4 visitas efectivas por el día a las plantaciones de cepas Cabernet Sauvignon en los viñedos Miró y Estampa. En estas salidas se lleva a cabo una recopilación sistemática de datos además de la obtención de muestras para su posterior análisis en laboratorio.

Para la captura de muestras y datos, antes se requiere la excavación de calicatas de 2 metros de profundidad en sectores colindantes a las viñas, mediante el uso de retroexcavadora. Una vez hechas las perforaciones se procede a realizar la descripción visual de litologías y estratigrafía, además de la extracción de muestras para cada horizonte de suelo. Por otra parte, también se realizan ensayos de permeabilidad (mediante el método de Porchet) en superficie.



Figura 13: Descripción litológica y estratigráfica de los horizontes de suelo. Calicata de 1 m de ancho x 3 m de largo x 2.5 m de profundidad.

4.2.1. Análisis de permeabilidad

La infiltración, es el proceso mediante el cual una fracción del agua precipitada o que escurre superficialmente penetra a través del suelo, mientras que, la permeabilidad o tasa de infiltración, se define como la capacidad de un medio poroso para permitir que un fluido circule a través de él. De esta manera, el análisis de permeabilidad nos permitirá determinar cuál es la capacidad de infiltración en los sedimentos del área estudiada. La unidad en que comúnmente se expresa la permeabilidad es en mm/hora o m/día, es decir, tiene dimensiones de una velocidad.

Por otra parte, existen factores intrínsecos que controlan la capacidad de infiltración de un terreno, dentro de los que se encuentran: la naturaleza del suelo, especialmente sus características sedimentológicas y estratigráficas; el grado de compactación natural o antrópico del suelo; la pendiente del terreno; la humedad inicial del suelo; la existencia de una cobertura vegetal, ya que esta genera

esponjosidad en el terreno y por consiguiente facilita la infiltración, su no existencia tiende a disminuirla.

Uno de los métodos que permite medir la tasa de infiltración es el de Porchet. Este método consiste en excavar en el suelo una calicata cilíndrica de profundidad y radio constante, determinando su volumen. Luego, se agrega agua con un balde en el interior de la calicata hasta llenarla e inmediatamente se comienza a medir con una guincha el descenso del fluido, en función del tiempo en minutos. La superficie (S) a través de la cual se infiltra el agua se expresa de la siguiente manera:

$$S = \pi R (2h + R)$$

La variación del volumen de agua al interior de la calicata, debido a la infiltración a tasa constante a través de la superficie indicada, permite finalmente determinar la expresión que mide la tasa de infiltración o coeficiente de permeabilidad (K), esta es:

$$K = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} * \ln \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R}$$

Donde, R corresponde al radio de la calicata y h es la altura de agua al interior de ella, t es el tiempo en minutos.



Figura 14: Cálculo de la permeabilidad en terreno mediante el método de Porchet. Calicata de 18 cm de diámetro x 25 cm de profundidad. Viña Miró.

4.3. Trabajo de gabinete y laboratorio

El trabajo de gabinete y laboratorio comienza una vez recopilada la información bibliográfica y posterior a la obtención de datos y muestras en terreno. En esta etapa de la investigación se procede al estudio de las muestras mediante diversos análisis, entre los que se encuentran: análisis de humedad, análisis químico de material orgánico, análisis granulométrico y análisis químico-mineralógico. Finalmente, a partir de los resultados se interpretan los valores y se logran conclusiones.

4.3.1. Análisis de humedad

El contenido de humedad se define como la relación entre el peso del agua en una masa dada de suelo y el peso de las partículas sólidas, expresado como porcentaje. En efecto, este análisis se realiza con el objetivo de medir el porcentaje de humedad que presenta el terreno y sus respectivos horizontes.

Por otra parte, para que los valores sean representativos, las muestras se deben extraer idealmente un día con nubosidad, en un área que no estuvo expuesta a riegos o precipitaciones durante al menos dos semanas. Además, debido a que se requiere de una estufa de secado y de una balanza de precisión, las mediciones se deberán realizar en laboratorio antes de pasadas 24 horas desde la extracción de las muestras, procurando que estas se mantengan en condiciones similares al lugar en que se encontraban, evitando así pérdidas de humedad por condensación dentro de la bolsa en que se almacenan y transportan.

El procedimiento analítico comienza con la medición de la masa de una placa de vidrio vacía y luego con muestra, obteniéndose el valor en gramos de esta última antes del secado. A partir de esto, tenemos una masa inicial (masa placa + masa muestra húmeda). Posteriormente, se procede a secar la muestra dentro de la estufa marca Numak, modelo: DHG, dejándose por 120 minutos a una temperatura de 90°C. Una vez concluido el tiempo, se retira la muestra y se mide la masa nuevamente, obteniéndose un valor final (masa placa + masa muestra seca).

Finalmente, obtenidos los valores iniciales y finales en gramos, se procede a calcular el porcentaje de humedad a partir de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{masa inicial} - \text{masa final}) \times 100}{\text{masa muestra seca}}$$

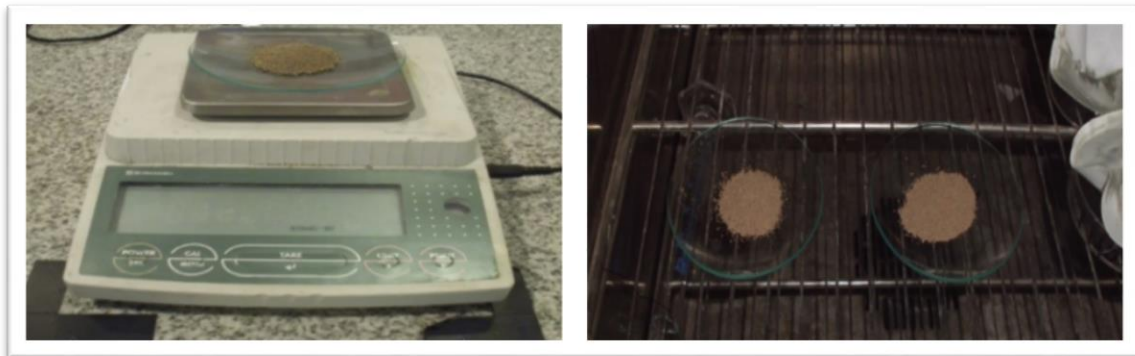


Figura 15: A la izquierda, balanza de precisión modelo YP-2002N. A la derecha, muestras dentro del horno de secado.



Figura 16: Horno de secado marca Numak, modelo DHG.

4.3.2. Análisis químico de material orgánico

Este análisis tiene por objetivo medir el porcentaje o cantidad de material orgánico presente en cada uno de los horizontes de suelo, a partir de la acción catalizadora de la enzima catalasa, la cual es una enzima antioxidante que se encuentra presente en la mayoría de los organismos aerobios. Las enzimas son moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas, en este caso, la catalasa provoca la dismutación del peróxido de hidrógeno (H₂O₂) en agua y oxígeno. Las especies de oxígeno reactivas como el H₂O₂ pueden dañar tanto proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, por lo que se requieren sistemas antioxidantes eficientes, entre los que se incluyen ciertas enzimas, como la catalasa.

Para realizar el ensayo, es necesario contar previamente con ciertas sustancias y materiales, estos son:

Reactivos:

- 800 ml de agua desionizada y desmineralizada, idealmente descarbonatada.
- 400 ml de H₂O₂ al 30% (Merk).
- 1200 ml de solución preparada de H₂O₂ al 10%
- 50 gr de muestra de cada horizonte al natural (20°C)

Materiales:

- Probetas de 150 y 500 ml
- Matraz aforado de 250 y 1000 ml

El procedimiento comienza con la preparación de ocho soluciones de 150 ml de H₂O₂ al 10%. Para esto, dentro del matraz de aforo de 250 ml se diluyen 83.3 ml de H₂O₂ al 30% en 166.67 ml de agua desionizada, mientras que en el matraz de aforo de 1000 ml se diluyen 333 ml de H₂O₂ al 30% en 667 ml de agua desionizada. La cantidad necesaria de soluto y solvente para las soluciones, aforando a 250 y 1000 ml, se obtuvieron utilizando la siguiente ecuación:

$$Vx * [x] = Vy * [y]$$

Luego, por cada horizonte se mezclan 50 gr de muestra con 150 ml de solución preparada de H₂O₂ al 10% dentro de una probeta de 500 ml, en una razón de 1:3. Seguidamente se procede a revolver con una varilla para homogenizar. A continuación, se debe medir la altura de la espuma generada por la reacción, obteniéndose una altura inicial. Posteriormente, se deja reposar la mezcla por 10 minutos y se mide la altura final de la espuma. Una vez medidas las alturas iniciales y finales de cada muestra, en términos volumétricos, se calcula la diferencia entre ellas, consiguiéndose la variable necesaria para medir la masa de material orgánico que se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$m = \rho * V$$

El carbono constituye a todas las moléculas orgánicas que forman a los seres vivos, encontrándose en la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO₂), en el suelo y disuelto en el agua. La materia orgánica de los suelos es el producto de la descomposición química de las excreciones de animales y microorganismos, de residuos de plantas o de la degradación de cualquiera de ellos tras su muerte, luego de esto, el carbono es devuelto al ambiente. Entonces, como estamos midiendo la masa en relación con el contenido de materia orgánica, tenemos:

$$m (CO_2) = \rho (CO_2) * [V (CO_2) = (\Delta h)]$$

Por último, una vez obtenida la masa de CO₂ en gramos, se puede transformar a moles (1) o a porcentaje (2), de la siguiente manera:

$$(1) \quad \frac{44,01 \text{ gr}}{\text{masa } CO_2 \text{ resultante}} = \frac{1 \text{ mol } CO_2}{x \text{ mol } CO_2}$$

$$(2) \quad \text{Materia orgánica (\%)} = \frac{m (CO_2)}{m (muestra)} * 100$$



Figura 17: Ensayo de materia orgánica. En la probeta de 500 ml se observa la mezcla en reacción, entre la muestra y la solución de H₂O₂ al 10%.

4.3.3. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico de sedimentos no consolidados tiene por objetivo poder clasificar el suelo a partir de la obtención de una curva granulométrica, la cual es una representación gráfica de los resultados obtenidos en laboratorio cuando se analiza la estructura del suelo desde el punto de vista del tamaño de las partículas que lo forman, es decir, se obtienen resultados a partir de un proceso de selección por tamaño de los sedimentos de cada muestra. La curva granulométrica permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas.

El procedimiento comienza con el secado de las muestras, cuya finalidad es eliminar la humedad presente en los sedimentos. Este paso, previo al tamizado, es necesario producto que la humedad promueve la cohesión entre las partículas finas además de la retención de los sedimentos en las mallas de los tamices, evitando así un análisis poco representativo. De esta manera, las muestras se dejan dentro del horno de secado por un tiempo de 48 horas a una temperatura de 60°C. Una

vez seca la muestra, se calcula su peso inicial, se disgregan las aglomeraciones con un mortero y finalmente se procede a tamizar.

Para realizar el proceso mecánico de selección por tamaño se utilizan 7 tamices (Tabla 1), los cuales se ensamblan en forma de columna disponiéndose de base a techo los que presentan menor a mayor diámetro de abertura. Luego, se agrega la muestra dentro del tamiz de mayor diámetro en la parte superior de la columna, se tapa y se ingresa al agitador Arquimed (modelo: RX-29-10), donde es sometida a vibraciones y movimientos rotatorios intensos por un periodo de 10 minutos. Posteriormente, al terminar la actividad del agitador, se retira la columna de tamices y se desensambla, para finalmente proceder a medir de forma individual la masa de material retenido en cada uno de los ellos.

Tabla 1: Numero de tamiz y sus respectivos diámetros de abertura en mm.

Nº tamiz (#)	Diámetro abertura (mm)
7	2,80
12	1,68
25	0,71
50	0,30
80	0,18
140	0,11
230	0,06
fondo	0,00

Por otra parte, a partir de la sumatoria de material retenido se obtiene el peso final de la muestra. Para que los datos sean representativos y puedan ser registrados, es necesario que la pérdida de material en relación con el peso inicial y final sea inferior al 0,7%.

Finalmente, una vez confirmada la representatividad del análisis se continúa con la segunda parte, es decir, la realización de una curva granulométrica para cada horizonte de suelo. A partir de estas curvas, graficadas con la herramienta de Microsoft Excel, se podrán calcular los siguientes parámetros secundarios: Coeficiente de uniformidad (Cu) y Coeficiente de curvatura (Cc). El primero, definido originalmente por Terzaghi y Peck (1967), se utiliza para evaluar la uniformidad del

tamaño de las partículas de un suelo. El segundo, se utiliza para la interpretación de la graduación del suelo, permitiendo diferenciar entre suelos seleccionados (bien graduados) y pobremente seleccionados (mal graduados). A continuación, se presentan las ecuaciones que permiten obtener los coeficientes de uniformidad (1) y de curvatura (2).

$$(1) \quad C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$(2) \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$



Figura 18: Agitador Arquimed (modelo: RX-29-10). En su interior, la columna de tamices utilizados para el análisis.



Figura 19: Instrumentos utilizados para el análisis granulométrico. A la izquierda: mortero utilizado para la disgregación manual de los sedimentos posterior al proceso de secado. A la derecha, lupa binocular estereoscópica con aumento de 10x a 40x.

4.3.4. Análisis mineralógico de alta definición Tescan-Tima

El análisis mineralógico de alta definición puede englobar diversas técnicas analíticas, todas ellas complementarias, entre las que se encuentran: DRX, microsonda, mineralogía automatizada mediante SEM, etc.

Para efectos de este estudio, se realiza un análisis de mineralogía automatizada mediante un equipo de microscopía electrónica de barrido (SEM) de última generación marca TESCAN, que cuenta con filamentos de W y con el software mineralógico TIMA. La técnica analítica consiste en utilizar las imágenes de un microscopio electrónico de barrido combinado con fluorescencia de rayos X.

En concreto, el equipo TESCAN-TIMA permite realizar barridos completos o puntuales de una muestra, ya sea de roca o pulverizadas. Para ello, el instrumento consta de 4 tipos de detectores, los cuales entregan información sobre: composición mineralógica, tamaño de grano, tamaño de partículas, asociaciones minerales, composición química, entre otras.

La organización a cargo de analizar las muestras de sedimento es la empresa SEMMA (Soluciones en Microscopía y Mineralogía Aplicada), ubicada en la ciudad de Calama, Chile.

Por otra parte, para enviar los sedimentos al proceso de análisis, es antes necesario preparar las muestras en forma de briquetas. Las muestras para mineralogía automatizada se preparan mezclando el sedimento con resina epóxica y grafito en polvo. El grafito en polvo cumple la función de proveer conductividad a la muestra, necesaria para una adecuada conducción del haz de electrones, además de evitar aglomeración de las partículas, lo que puede conducir a error en la determinación de sus tamaños. La mezcla se vierte y se homogeniza en un molde cilíndrico de 30 mm de diámetro, luego se rotula por la parte posterior y enseguida se deja endurecer con calor dentro de una olla de curado, por un periodo de 24 horas. Una vez endurecida la mezcla se obtienen briquetas cilíndricas, las cuales deben desbastarse y pulirse con una pulidora automática. Finalmente, las briquetas deben ser recubiertas con una fina capa de carbón en un evaporador de grafito.

Entonces, el resultado de la preparación de muestras, para el análisis de mineralogía automatizada, es una briqueta conductora con la muestra del mineral en la superficie pulida, sobre la cual se podrá observar de forma enfocada con el microscopio de barrido electrónico (Fierro, 2015).

Por último, respecto al origen de los sedimentos analizados, estos corresponden a muestras extraídas bajo el metro de profundidad, desde los horizontes en que se encuentra el mayor desarrollo radicular de la vid. En otras palabras, son muestras obtenidas de los horizontes a partir de los cuales la planta está alimentándose. Para viña Miró, el horizonte analizado es HD. Para viña estampa, el horizonte de suelo analizado es HB.

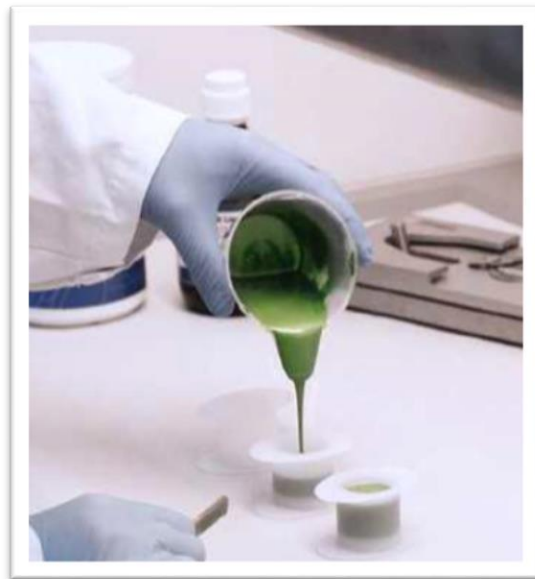


Figura 20: Proceso de preparación de briquetas. Imagen obtenida de Fierro, 2015.

5. Resultados

5.1. Permeabilidad

Los valores obtenidos en los coeficientes de permeabilidad (K) para las viñas Miró (a) y Estampa (b), a partir del análisis de terreno mediante el método de Porchet, son los siguientes:

$$(a) \quad K = \frac{9}{2*(35-0)} * \ln \frac{2*25+9}{2*13,3+9} = 0,06495 \frac{cm}{min} = 3,89719 \frac{cm}{hr}$$

$$(b) \quad K = \frac{7,5}{2*(30-0)} * \ln \frac{2*22+7,5}{2*3,4+7,5} = 0,16017 \frac{cm}{min} = 9,60992 \frac{cm}{hr}$$

Según la clasificación de Cisneros (2010), los resultados numéricos de K logrados en este análisis permiten determinar que: el suelo de viña Miró presenta una permeabilidad moderada, mientras que el suelo de viña Estampa presenta una permeabilidad relativamente rápida (Anexo 2).

Por otra parte, a partir de la clasificación de Vásquez (2000), se puede obtener una relación entre textura y permeabilidad, donde se indica que mientras más fina sea la textura del suelo habrá una menor permeabilidad y viceversa. Bajo estas circunstancias, se tiene que: la grava limpia, las arenas limpias o mezcladas con grava y las arenas finas tienen una permeabilidad rápida; los limos orgánicos e inorgánicos y las mezclas de limo y arcilla tienen una permeabilidad moderada; los depósitos estratificados de arcilla y las arcillas homogéneas por debajo de la línea de meteorización tienen una permeabilidad lenta.

En relación con lo anterior, según Vásquez (2000) se determina que: los suelos de viña Estampa y Miró presentan una textura franco-arenosa (Anexo 3).

5.2. Humedad

Los valores obtenidos del porcentaje de humedad en los horizontes de suelo de las viñas Miró y Estampa, son los siguientes:

Tabla 2: Resultados del análisis de humedad en viña Miró.

Horizonte	Masa muestra húmeda + tara (gr)	Masa muestra seca + tara (gr)	Masa del agua (gr)	Humedad (%)
A	125	121,2	3,8	4,5
B	131,6	125,4	6,2	7
C	101,8	98,3	3,5	5,8
D	119,7	114	5,7	7,3
E	117,3	105,4	11,9	17,8
F	102,2	90,8	11,4	20,8

Tabla 3: Resultados del análisis de humedad viña Estampa.

Horizonte	Masa muestra húmeda + tara (gr)	Masa muestra seca + tara (gr)	Masa del agua (gr)	Humedad (%)
A	108	103,9	4,1	6
B	125,6	119,7	5,9	7,3

A partir de los resultados, es posible determinar dos cosas. En primer lugar, todos los horizontes de suelo analizados se encuentran dentro de la zona vadosa o zona subsaturada, es decir, sobre la tabla de aguas. En segundo lugar, el porcentaje de humedad aumenta progresivamente con la profundidad.

El mayor contenido de agua en los niveles más profundos, respecto a los niveles más someros, podría explicarse debido a que se encuentran menos expuestos a la evaporación, la cual se manifiesta principalmente en los primeros 1,5 metros del perfil de suelo (Anexo 6).

Por otra parte, la magnitud de la evaporación también dependerá en gran medida del tipo de suelo, por ejemplo, algunas arcillas tienen la capacidad de retener agua dentro de su estructura, necesiándose gran cantidad de energía calórica para que esta se evapore.

Dicho lo anterior, el mayor contenido de humedad en los horizontes más profundos de viña Miró (HE-HF), respecto al horizonte más profundo de viña Estampa (HB), obedecería a que en ellos existe entre dos y tres veces más material fino capaz de retener agua (arena fina, limo y arcilla).

5.3. Materia orgánica

Los valores obtenidos del porcentaje de material orgánico para los horizontes de suelo de las viñas Miró y Estampa, a partir de la reacción química entre la encima catalasa presente en los sedimentos y el peróxido de hidrogeno, son los siguientes:

Tabla 4: Resultados del análisis químico de material orgánico en viña Miró.

Horizonte	Altura inicial [m]	Altura final [m]	Δh [m]	Masa materia orgánica (gr)	Materia orgánica (%)
A	850	220	630	1,24	2,49
B	200	180	20	0,04	0,08
C	250	220	30	0,06	0,12
D	210	205	5	0,01	0,02
E	220	205	15	0,03	0,06
F	210	200	10	0,02	0,04

Tabla 5: Resultados del análisis químico de material orgánico en viña Estampa.

Horizonte	Altura inicial [m]	Altura final [m]	Δh [m]	Masa materia orgánica (gr)	Materia orgánica (%)
A	450	185	265	0,52	1,05
B	230	215	15	0,03	0,06

A partir de los resultados, se determina que: los horizontes HA de las viñas Miró y Estampa presentan una cantidad significativamente mayor de materia orgánica respecto a los horizontes que los subyacen.

En este sentido, según Tavera (1985) los horizontes de suelo de las viñas Miró y Estampa se clasifican como: suelos medios (HA Miró), suelos pobres (HA Estampa) y suelos muy pobres (HB Estampa y HB, HC, HD, HE, HF Miró) en contenido de material orgánico (Anexo 7).

El mayor desarrollo de la actividad biológica en superficie se debe a que el metabolismo aeróbico es más versátil y completo que el anaeróbico, por lo que la disminución del porcentaje de material orgánico con la profundidad tiene directa relación con la menor cantidad de oxígeno disponible. Es más, la encima catalasa se encuentra principalmente en los organismos aerobios.

5.4. Granulometría

Los resultados obtenidos a partir del ensayo granulométrico corresponden a curvas granulométricas (Figuras 21 y 22), que representan el porcentaje de masa pasante en relación con el diámetro de abertura de los tamices, en escala logarítmica.

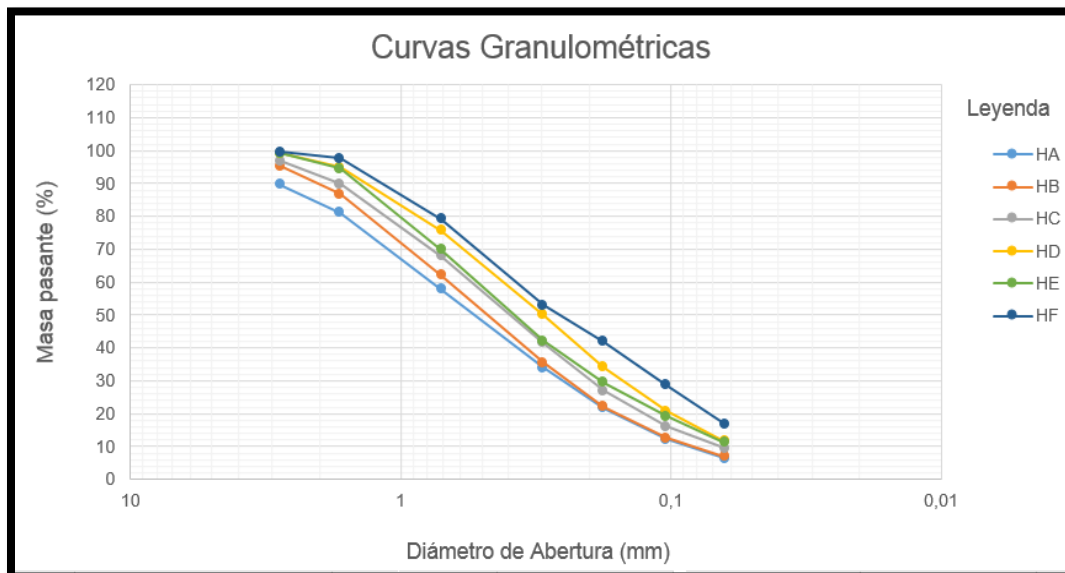


Figura 21: Curvas granulométricas de viña Miró. Obtenidas a partir de la herramienta Exel.

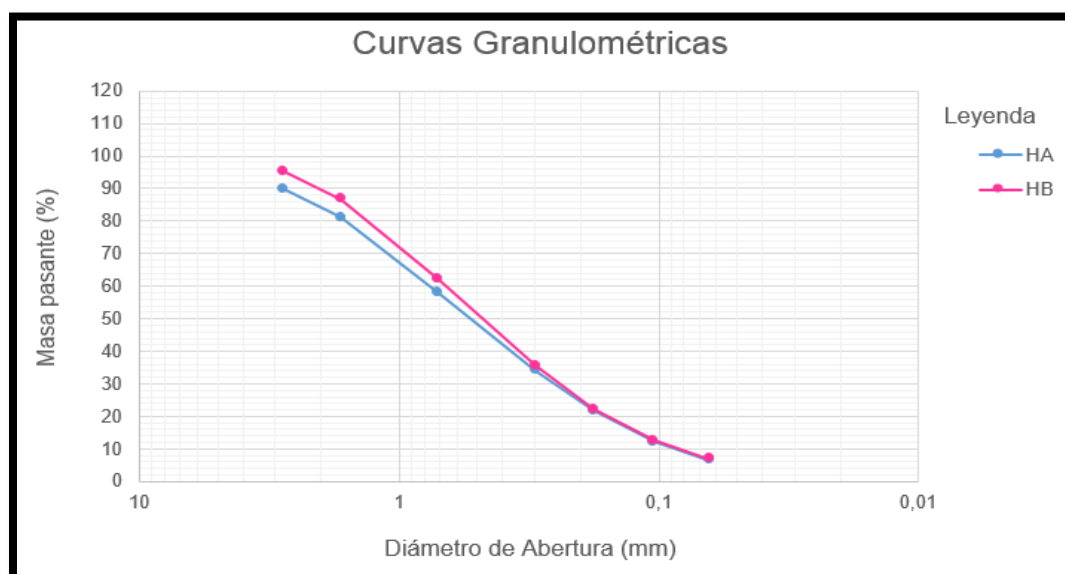


Figura 22: Curvas granulométricas de viña Estampa. Obtenidas a partir de la herramienta Exel.

Luego, a partir de las curvas granulométricas, se determinan las variables D10, D30 y D60 para cada horizonte de suelo. Una vez hecho esto, se procede a calcular los coeficientes de uniformidad y curvatura de los sedimentos.

Tabla 6: Resultados de los coeficientes de uniformidad y curvatura para la viña Miró.

	D10 (mm)	D30 (mm)	D60 (mm)	Coefficiente de uniformidad	Coefficiente de curvatura
HA	0,09	0,26	0,79	8,88	0,96
HB	0,09	0,25	0,67	7,88	1,10
HC	0,07	0,20	0,55	8,33	1,10
HD	0,06	0,16	0,41	7,19	1,10
HE	0,06	0,18	0,52	8,97	1,07
HF	0,05	0,12	0,38	7,76	0,77

Tabla 7: Resultados de los coeficientes de uniformidad y curvatura para la viña Estampa.

	D10 (mm)	D30 (mm)	D60 (mm)	Coefficiente de uniformidad	Coefficiente de curvatura
HA	0,09	0,26	0,78	8,86	0,98
HB	0,08	0,24	0,67	7,98	1,02

Por otra parte, para clasificar el suelo es también necesario determinar el tipo sedimento en relación con el tamaño de los granos. Para esto, se utilizan gráficos de barras de concentración por tamiz, que representan el porcentaje de masa retenida en cada una de las mallas (Figuras 23 y 24).

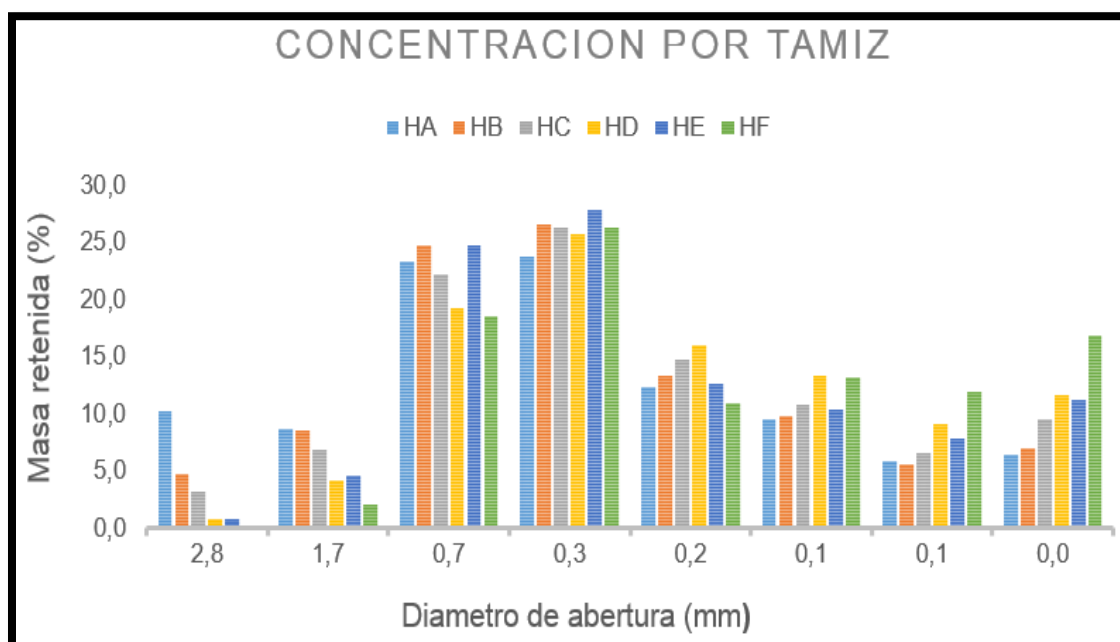


Figura 23: Gráfico de concentración por tamiz para los sedimentos de viña Miró.

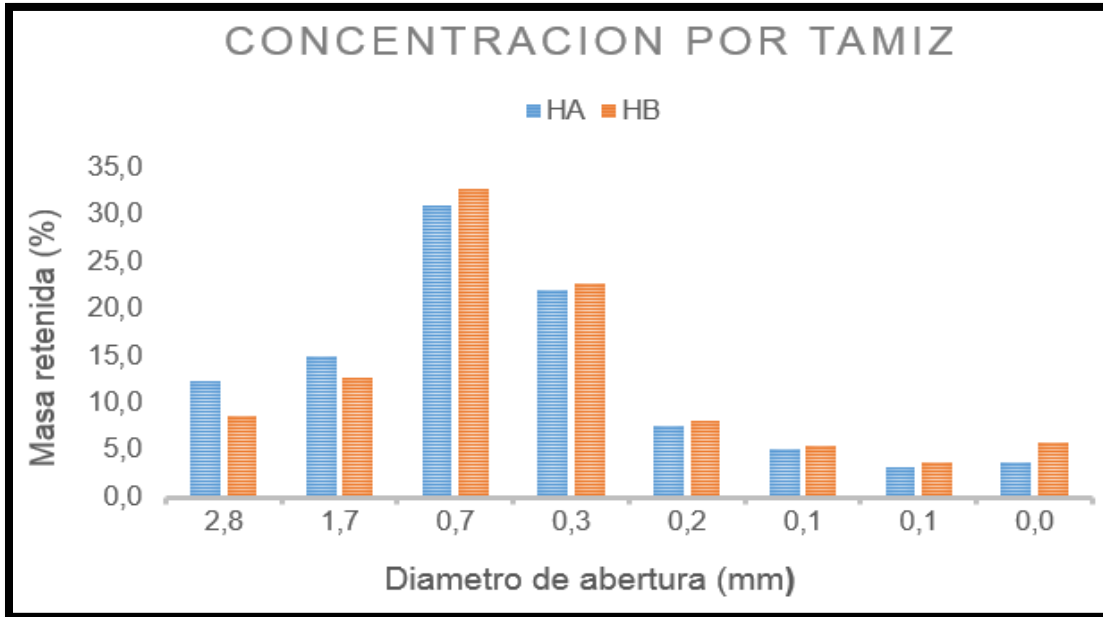


Figura 24: Gráfico de concentración por tamiz para los sedimentos de viña Estampa.

En relación con lo anterior, se tiene que: los horizontes de suelo de las viñas Miró y Estampa presentan alrededor de un 80% de sedimentos entre 0,05 y 2 mm. Según Atterberg (s.f.), estos se clasifican como sedimentos tamaño arena, variando de finas a gruesas (Anexo 10). Para que una arena sea bien graduada, se debe cumplir la siguiente condición:

$$Cu > 6 \quad y \quad 3 < Cc < 1$$

Finalmente, según el tipo de sedimento y de los valores obtenidos en los coeficientes de uniformidad y curvatura, la clasificación internacional del USCS (1952) permite determinar que: los suelos de las viñas Miró y Estampa corresponden a arenas limosas (SM) y arenas bien graduadas y arenas limosas (SW-SM), respectivamente (Anexo 11).

Por otra parte, en las viñas Miró y Estampa se tiene que los sedimentos más finos están principalmente ligados a los horizontes más profundos, por lo que ambos depósitos se definen como secuencias progradantes o de gradación inversa, en relación con el tamaño de los sedimentos.

5.5. Mineralogía y química

Los resultados obtenidos a partir del análisis Tescan-Tima permiten identificar tanto de forma cualitativa como cuantitativa los elementos químicos y la mineralogía presente en los horizontes HD y HB, de viñas Miró y Estampa, respectivamente.

En primer lugar, con respecto a la mineralogía, esta es representada en gráficos Primary phases vs Mass (%). Es decir, se muestra la proporción en masa de cada fase mineral presente en el sedimento en relación con la masa total de la muestra (Figuras 25 y 26).

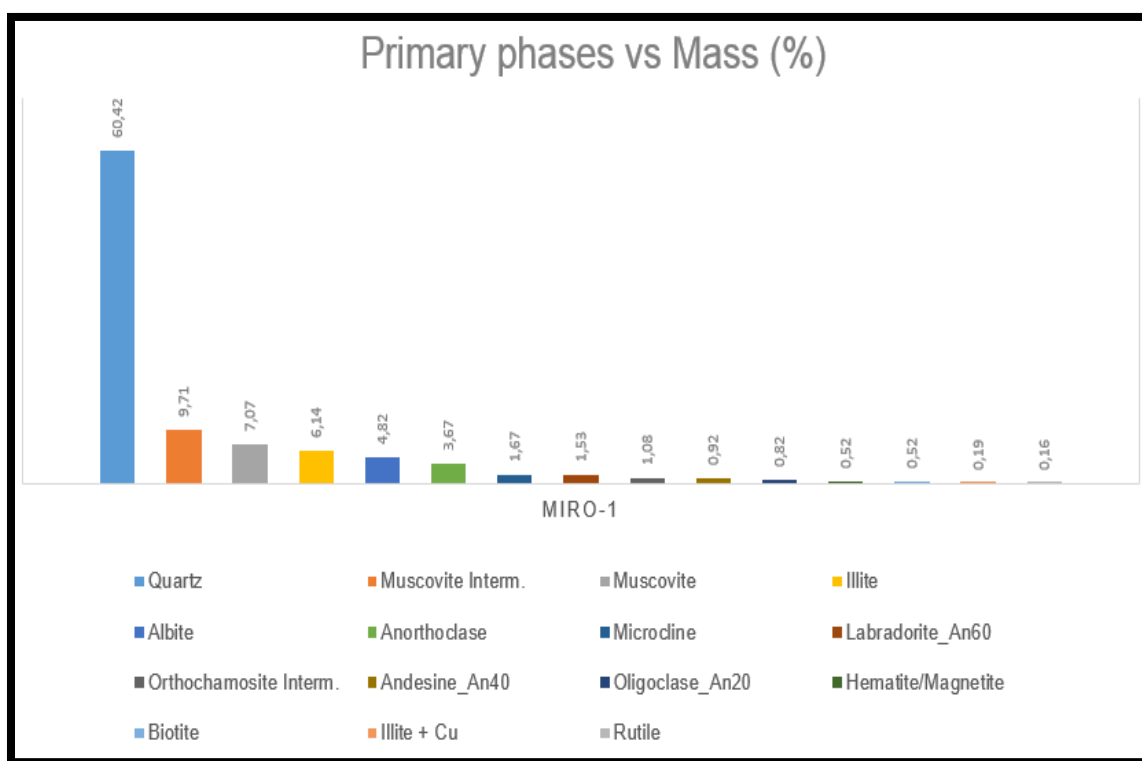


Figura 25: Descripción mineralógica cualitativa y cuantitativa del horizonte HD de viña Miró.

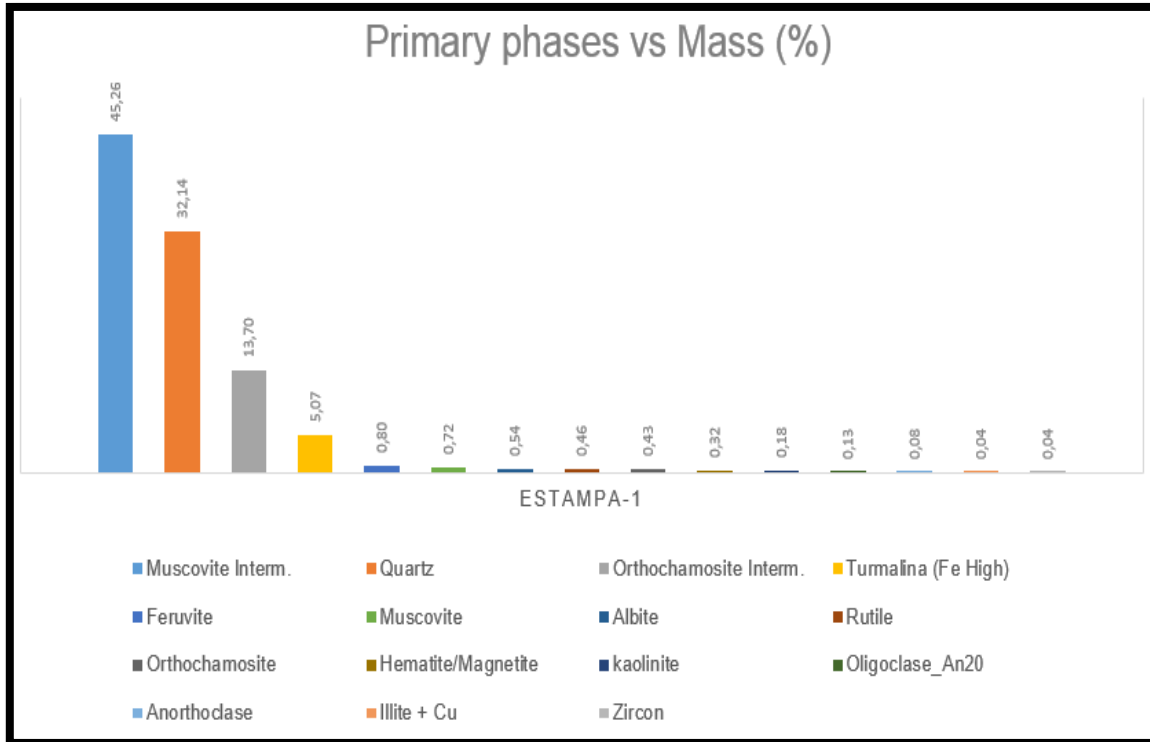


Figura 26: Descripción mineralógica cualitativa y cuantitativa del horizonte HB de viña Estampa.

A propósito de lo anterior, la descripción mineralógica muestra que: las especies minerales más abundantes de viña Miró corresponden al cuarzo, micas blancas, feldespatos y plagioclasas, menor biotita y arcillas illitas. Por su parte, las fases minerales principales de viña Estampa son micas blancas, cuarzo, ortocamosita, turmalina y feruvita, escasas plagioclasas y feldespatos (ambos asociados a fases de baja temperatura), trazas de rutilo y zircón, biotita ausente.

A continuación, se muestran mapas minerales de los horizontes HD y HB de las viñas Miró y Estampa, respectivamente, pudiéndose observar la composición mineralógica, la relación de tamaño entre las partículas y las relaciones de ocurrencia (Figuras 27 y 28).

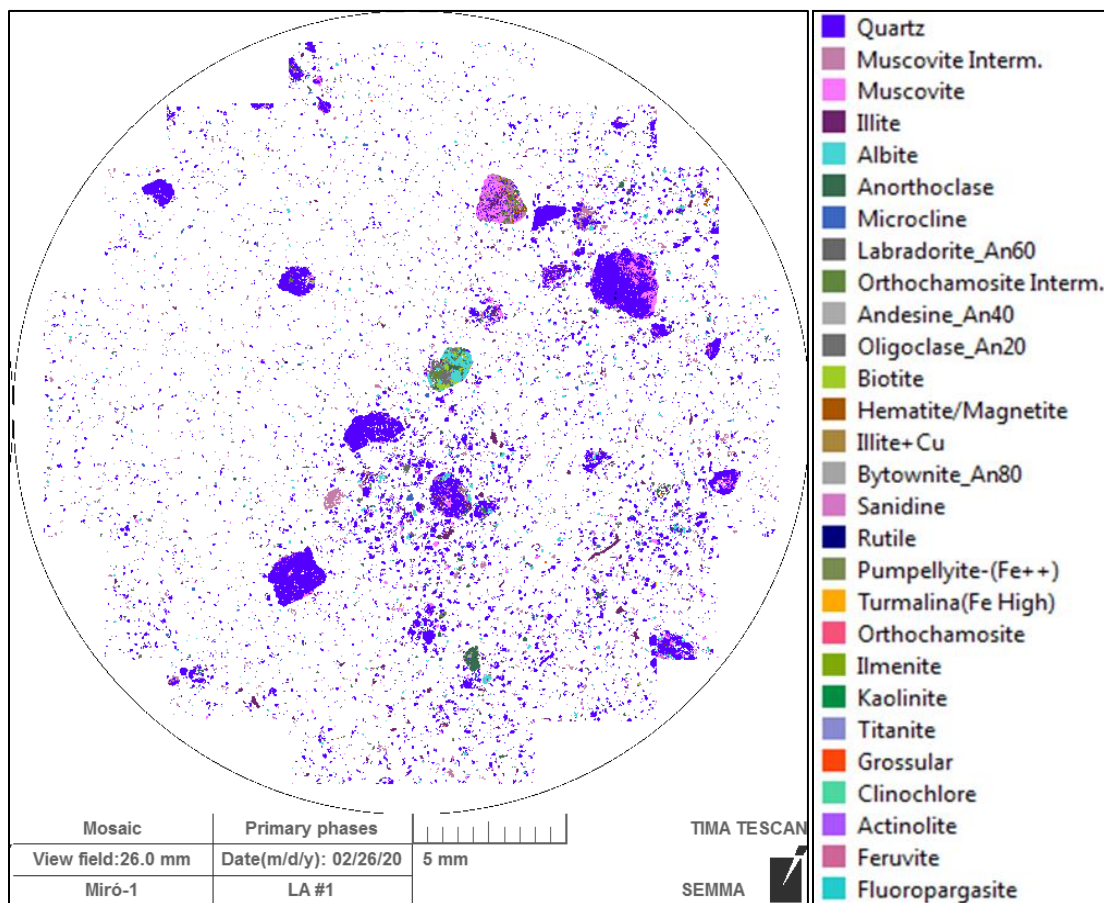


Figura 27: Mapa mineral del horizonte HD de viña Miró.

El mapa mineral de la viña Miró muestra que el cuarzo es el mineral más abundante, lo que está directamente relacionado con el tamaño sus partículas. También, es posible identificar relaciones de reemplazo e intercrecimiento. El cuarzo y la albita están en intercrecimiento la con moscovita, la moscovita está alterándose a Illita. La biotita está asociada con albita, ortocamosita y moscovita intermedia. Por otra parte, los granos minerales se muestran subredondeados a subangulosos y con una esfericidad media-alta.

Respecto a lo anterior, es posible definir que los sedimentos del horizonte HD de viña Miró poseen una alta madurez composicional y una madurez textural media-alta, por lo que el área fuente de los sedimentos estaba probablemente lejana al lugar de depositación.

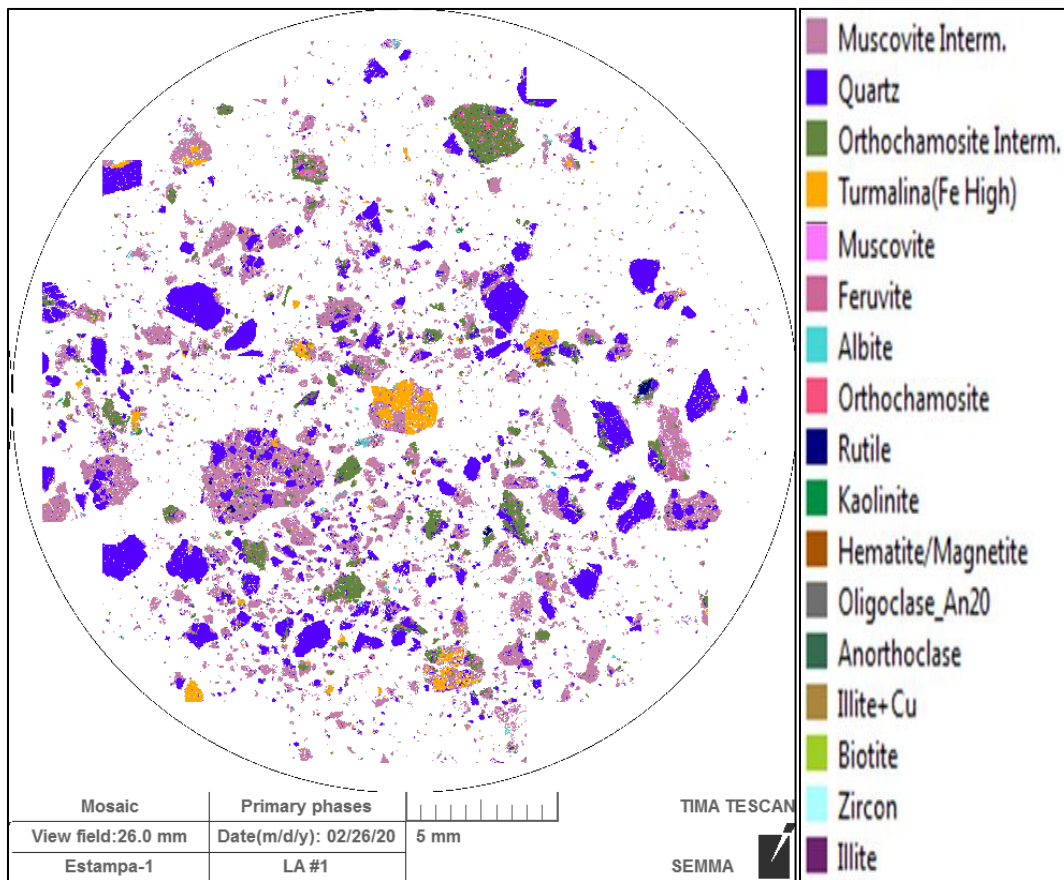


Figura 28: Mapa mineral del horizonte HB de viña Estampa.

El mapa mineral de la viña Estampa muestra una tendencia más heterogénea respecto al mapa de viña Miró. Los minerales más abundantes y de mayor tamaño son la moscovita intermedia, el cuarzo y la ortocamosita intermedia. Las relaciones de intercrecimiento y de reemplazo corresponden a: moscovita intermedia en intercrecimiento con turmalina; cuarzo y ortocamosita intermedia en intercrecimiento con moscovita intermedia; ortocamosita reemplazando a ortocamosita intermedia. Rutilo asociado a ortocamosita intermedia; hematita asociada a ortocamosita intermedia y turmalina. Por otra parte, se tiene que los cristales se muestran generalmente angulosos a muy angulosos y con baja esfericidad.

Dicho lo anterior, es posible definir que los sedimentos del horizonte HB de viña Estampa poseen una baja madurez textural y composicional, por lo que el área fuente de los sedimentos estaba probablemente cercana al lugar de depositación.

Ahora, una vez descrita la mineralogía, es posible detallar el contenido elemental en los horizontes HD y HB de las viñas Miró y Estampa, respectivamente. El análisis de elementos es representado en gráficos Element vs Mass (%), en los cuales se muestra la proporción en masa de cada elemento químico respecto a la masa total de la muestra (Figuras 29 y 30).

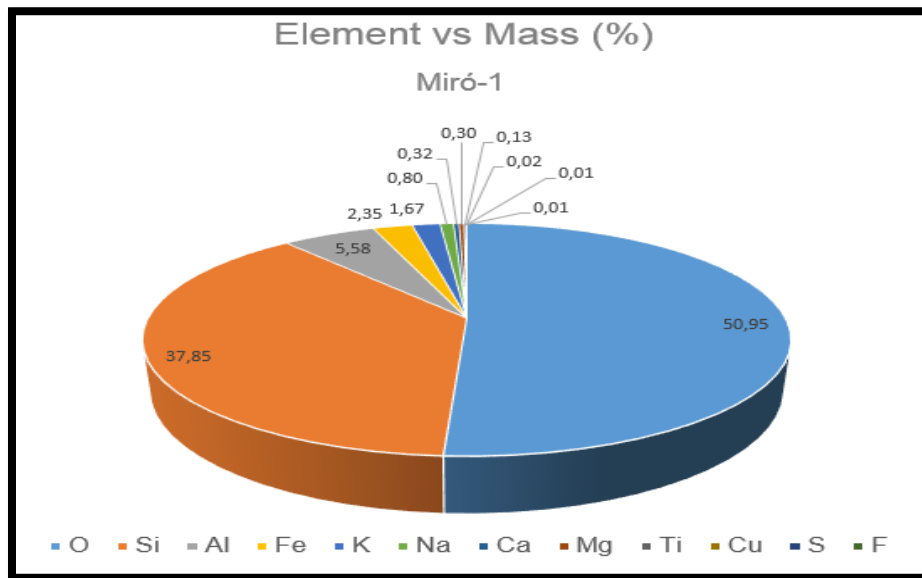


Figura 29: Análisis elemental del horizonte HD de viña Miró.

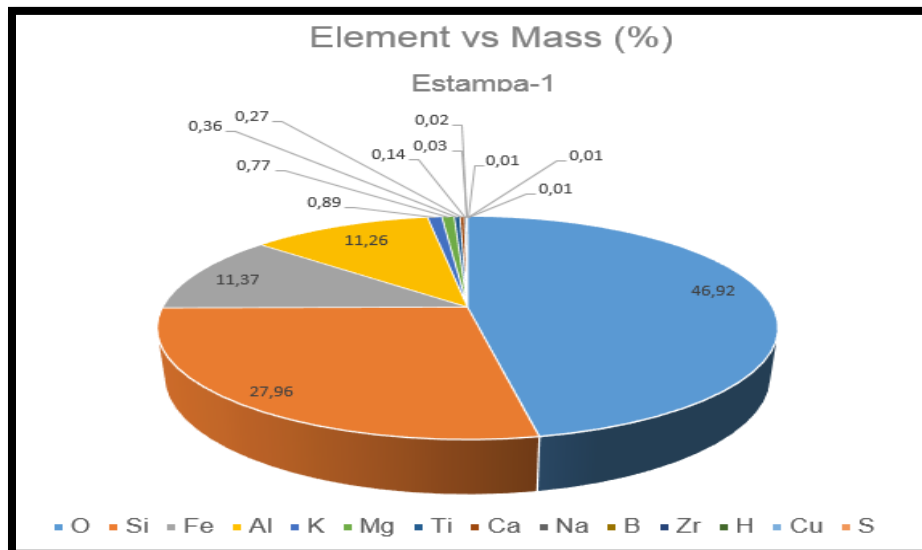


Figura 30: Análisis elemental del horizonte HB de viña Estampa.

Los mapas elementales recientemente expuestos, muestran que: entre los elementos químicos más abundantes para viña Miró se encuentra el O, Si, Al, Fe, K, Na, Ca y Mg, mientras que para viña Estampa estos son el O, Si, Al, Fe, K, Mg, Ti, Ca y Na. Más aun, estos elementos son comparables con los elementos químicos más abundantes sobre la corteza terrestre (Anexo 12).

Finalmente, se tiene que: el tipo de elemento químico y su abundancia en la muestra está estrechamente relacionado con las fases minerales presentes en el sedimento. Estas fases minerales provienen principalmente de la desintegración de rocas circundantes, de los procesos erosivos y, en menor medida, de los procesos diagenéticos que alteran la mineralogía y química previamente depositada.

Por otra parte, existe un porcentaje de elementos que podrían estar relacionados a las técnicas de manejo del cultivo de la vid, es decir, a partir del uso de fertilizantes o pesticidas. Este tipo de elementos no necesariamente se encuentran formando compuestos minerales, sino que, más bien, se presentan en forma de iones libres.

6. Discusión

El análisis físico, químico y mineralógico de los suelos de cultivo de cepas Cabernet Sauvignon, en los viñedos Miró y Estampa, entrega datos importantes para el entendimiento del sistema dentro del cual se desarrollan las vides marchiguanas. No obstante, el sistema agrícola está compuesto por múltiples variables, por lo que el porcentaje de incidencia del factor geológico en el comportamiento y rendimiento de las viñas aún no está claramente definido.

A propósito de lo anterior, para efectos prácticos, se tiene que los análisis de suelos se realizaron en viñas que presentaran: la misma cepa, el mismo clima, la misma altura respecto a la superficie marina, la misma orientación y el mismo tiempo de exposición solar. También, similares técnicas de cultivo (irrigación, fertilización, control de plagas, tiempo de maduración y cosecha). Esto, con el fin de disminuir al mínimo la variabilidad de factores que inciden en el desarrollo de los cultivos.

Una vez fijados varios de los factores que forman parte del complejo sistema agrícola, es posible determinar diferencias respecto al factor de interés de este estudio, es decir, respecto al factor geológico. Sin ir más lejos, se discutirán a continuación las características geológicas que convierten a las viñas Miró y Estampa únicas en su clase.

6.1. Características a escala regional

En relación con la geología regional, tenemos que esta cumple un rol particularmente importante. Las viñas Miró y Estampa han sido plantadas sobre el flanco norte de una pequeña colina de rumbo N50°W que se alza sobre un valle dispuesto en el borde oriental de la Cordillera de la Costa. Este relieve constituye actualmente la única fuente de aporte de los sedimentos, por lo que los materiales que sustentan a ambas viñas presentan un origen geológico acotado. Por el contrario, las viñas plantadas en sectores del Valle de Colchagua, alrededor de las comunas de Nancagua, Santa Cruz, Palmilla y Peralillo, se disponen sobre extensas

terrazas fluviales y aluviales, en el Valle Longitudinal. Los materiales que sustentan a las viñas del Valle de Colchagua presentan un origen geológico muy variado.

Por otra parte, si bien las viñas Miró y Estampa están dispuestas sobre el mismo relieve, estas se desarrollan sobre rocas y sedimentos que difieren en litología.

La viña Miró, está dispuesta sobre areniscas cuarcíferas (Anexo 13). Esta litología, puede asociarse tanto a las metareniscas paleozoicas de la Serie Oriental como también a los depósitos sedimentarios cenozoicos de la Formación Navidad, ya que ambas unidades presentan secuencias de este tipo dentro del dominio estudiado.

A partir del análisis mineralógico realizado en el horizonte HD de viña Miró, se obtiene lo siguiente: la presencia de microclina (característica del Basamento Granítico) en los sedimentos podría indicar que las areniscas cuarcíferas son producto de la erosión del Batolito Paleozoico y, por ende, posteriores a la Serie Oriental. No obstante, debido a que el horizonte HD presenta abundante matriz fina y escasa graduación, es posible que la depositación del feldespatos se deba, más bien, a un proceso sedimentario del tipo aluvial. Por lo tanto, el horizonte HD correspondería, en realidad, a los sedimentos del Plioceno-Pleistoceno, tal como aparece en el mapa geológico elaborado por el Sernageomin (2003). En conclusión, los sedimentos del horizonte HD de viña Miró no son representativos de las areniscas cuarcíferas.

La viña Estampa, está dispuesta sobre esquistos micáceos (Anexo 14) de orientación N55°W y buzamientos de 40° al NE. Esta litología, está directamente relacionada con el Basamento Metamórfico del Paleozoico.

A partir del análisis mineralógico realizado en el horizonte HB de viña Estampa, se obtiene lo siguiente: la ausencia de minerales hidratados como anfíboles y biotitas junto con la presencia de abundante moscovita, cuarzo y turmalina son evidencias de un metamorfismo retrogrado de alta temperatura (facie de granulitas). Además, se indica el origen pelítico de los sedimentos. En

conclusión, los sedimentos del horizonte HB de viña Estampa si son representativos de los esquistos micáceos de la Serie Oriental.

Ahora, acerca de la ocurrencia del relieve en que se desarrollan los cultivos de las viñas Miró y Estampa, si bien las rocas del Basamento Metamórfico, por lo general, se encuentran distribuidas al oeste del Batolito Costero, existen afloramientos que no cumplen dicho patrón, un ejemplo de aquello, son las rocas metamórficas mapeadas por Charrier y Lillo (1973) en el área de Marchigue.

Las rocas metamórficas de Marchigue se presentan exhumadas y alzadas por sobre las rocas volcánicas y sedimentarias mesozoicas y cenozoicas. Más aún, el relieve de orientación N50°W sobre el que se desarrolla este trabajo coincide perfectamente con la traza de la Falla Tanumé-Pichilemu de orientación N45°W, que ha sido mapeada más hacia el occidente (Sernageomin 2003). El sistema de Fallas Tanumé-Pichilemu, que corresponde a una estructura de carácter regional y cuya componente se infiere normal, sería también la responsable de la generación del Graven de Topocalma.

En conclusión, la ocurrencia del relieve de Marchigue se debe a un control netamente estructural. El alzamiento de las rocas metamórficas sería producto del fallamiento normal generado durante el régimen actual extensional E-W. Este proceso extensivo, posterior a la Fase Quechua, generó un sistema de graven y horst que tiene un ancho superior a los 400 km y en el cual probablemente haya que incluir también a la Fosa de Atacama, adyacente al margen continental. Sin embargo, según Charrier y Lillo (1973) el movimiento ascendente de la Cordillera de la Costa respecto al Valle Central no está todavía completamente aclarado.

Por último, en relación con el contacto entre los esquistos micáceos y las areniscas cuarcíferas, se estima que este es de tipo concordante, ya que, en la base de las areniscas aparecen rocas foliadas muy alteradas de rumbo N45°W atribuibles a los esquistos. Entonces, a partir del tipo de contacto y a la continuidad del relieve de orientación N50°W sobre el que se disponen las viñas estudiadas, se sugiere que ambas litologías forman parte de la misma secuencia, en este caso, de la Serie Oriental del Paleozoico.

6.2. Características a escala local

Las características físicas, químicas y mineralógicas determinadas en el presente trabajo (Figuras 31 y 32), son en realidad el producto de procesos geológicos mayores. Entonces, una vez descritos los rasgos geológicos a gran escala, ahora discutiremos como los resultados de los ensayos de permeabilidad, humedad, granulometría, material orgánico, química y mineralogía de los sedimentos pueden influir en el desarrollo del cultivo de vides en los viñedos Miró y Estampa.

Primero, a partir de los resultados de granulometría, permeabilidad y humedad, se tiene que: el carácter progradante de las secuencias estudiadas promueve la disminución de la permeabilidad y el aumento del porcentaje de humedad, desde los niveles someros a los niveles profundos.

La menor permeabilidad en las capas profundas, respecto a las capas más someras, se debe al mayor porcentaje de material fino y a la menor graduación de las partículas. El mayor porcentaje de humedad en las capas profundas se debe a la menor exposición a la evaporación, a la menor permeabilidad y al mayor porcentaje de material arcilloso capaz de retener agua en su estructura y adsorber agua en su superficie.

En resumen, el carácter progradante en las secuencias sedimentarias de las viñas Miró y Estampa permite que el agua de riego se infiltre fácilmente por las capas superficiales y se tienda a acumular en los horizontes más profundos, donde se encuentran las raíces.

A partir de lo anterior, se sugiere que la irrigación en los viñedos sea programada en función de las propiedades intrínsecas del suelo, según la relación que exista entre la capacidad y tiempo de retención de la humedad por parte de los sedimentos y la capacidad de absorción del agua por parte de las raíces. Esto permitiría determinar la necesidad de aumento o disminución en los riegos, según las necesidades hídricas de la vid. Mas aun, con la presencia de suelos capaces de

almacenar humedad se podría incentivar el consumo sostenible de aguas dentro de un viñedo.

En la industria vitivinícola, el contenido de humedad en los suelos de cultivo es algo a tener en consideración, puesto que, un mal manejo podría llevar a pérdidas económicas importantes.

Durante la temporada de primavera y verano los agricultores deben evitar un bajo porcentaje de humedad que pueda acelerar la defoliación, ya que, al perder las hojas, la planta no puede seguir realizando fotosíntesis para mantener y completar las reservas de carbohidratos que utilizará en el siguiente ciclo. Por el contrario, un exceso de humedad aumentará considerablemente la fotosíntesis y por ende también la producción y rendimiento de la viña. Esto último tiene un efecto adverso respecto a la calidad de la uva en relación con la concentración de azúcares.

Durante la defoliación otoñal de la vid los agricultores deben evitar la presencia de un elevado contenido de humedad en el suelo que favorezca la rebrotación, ya que esto estimula el uso de carbohidratos, lo que hace a las yemas más susceptibles al daño por las bajas temperaturas del invierno. Este efecto, provoca que al año siguiente disminuya la brotación y producción de uva. Por el contrario, aplicar una deficiencia de agua después de la cosecha puede provocar una mayor y temprana brotación.

Entonces, las necesidades hídricas de la vid, aun cuando sean bajas, deben extenderse durante toda la temporada y hasta la postcosecha, siempre bajo un estricto seguimiento.

Segundo, a partir de los resultados del ensayo químico de material orgánico, se tiene que: los suelos de cultivo de las viñas Miró y Estampa se clasifican, por lo general, como muy pobres en materia orgánica.

Para que las plantas puedan absorber la materia orgánica, esta primero debe estar mineralizada. La mineralización de la materia orgánica ocurre en gran medida por la acción de microorganismos. En esta transformación biogeoquímica, los

microorganismos convierten el material orgánico a una forma inorgánica. La tasa y alcance de la mineralización dependerá de la disponibilidad de oxígeno.

Entonces, la fertilidad de un suelo estará directamente relacionada con la disponibilidad de materia orgánica. Por lo general, las plantas de vid, particularmente las cepas tintas, no necesitan suelos muy fértiles para desarrollarse.

Tercero, a partir de los resultados del ensayo químico y mineralógico, se tiene que: los nueve elementos químicos más abundantes en los horizontes de suelo estudiados coinciden precisamente con los nueve elementos químicos más abundantes sobre la superficie terrestre.

Ahora, si comparamos el porcentaje en peso de los elementos químicos más abundantes en las viñas Miró y Estampa con el porcentaje en peso de los elementos químicos más abundantes en la corteza terrestre, tenemos que: los suelos de viña Miró presentan exceso de O y Si y déficit de Al, Fe, Ca, Na, K, Mg y Ti. Por su parte, los suelos de viña Estampa presentan igual porcentaje en peso de O y Si, exceso de Al y Fe y déficit de Ca, Na, K, Mg y Ti.

A partir de lo anterior, se sugiere que la fertilización en los viñedos sea programada en función de las propiedades intrínsecas del suelo. En lo práctico, esto podría realizarse una vez identificadas las relaciones que existan entre la mineralogía y química de los sedimentos y la capacidad de absorción de los minerales por parte de las raíces. En otras palabras, se podría determinar la cantidad precisa de elementos a utilizar en la fertilización, según las propiedades del suelo y según las necesidades alimenticias de la vid. Más aún, a partir de la identificación de la química y mineralogía de suelos se podría incentivar el desarrollo sostenible del territorio y también asegurar el óptimo desarrollo del viñedo.

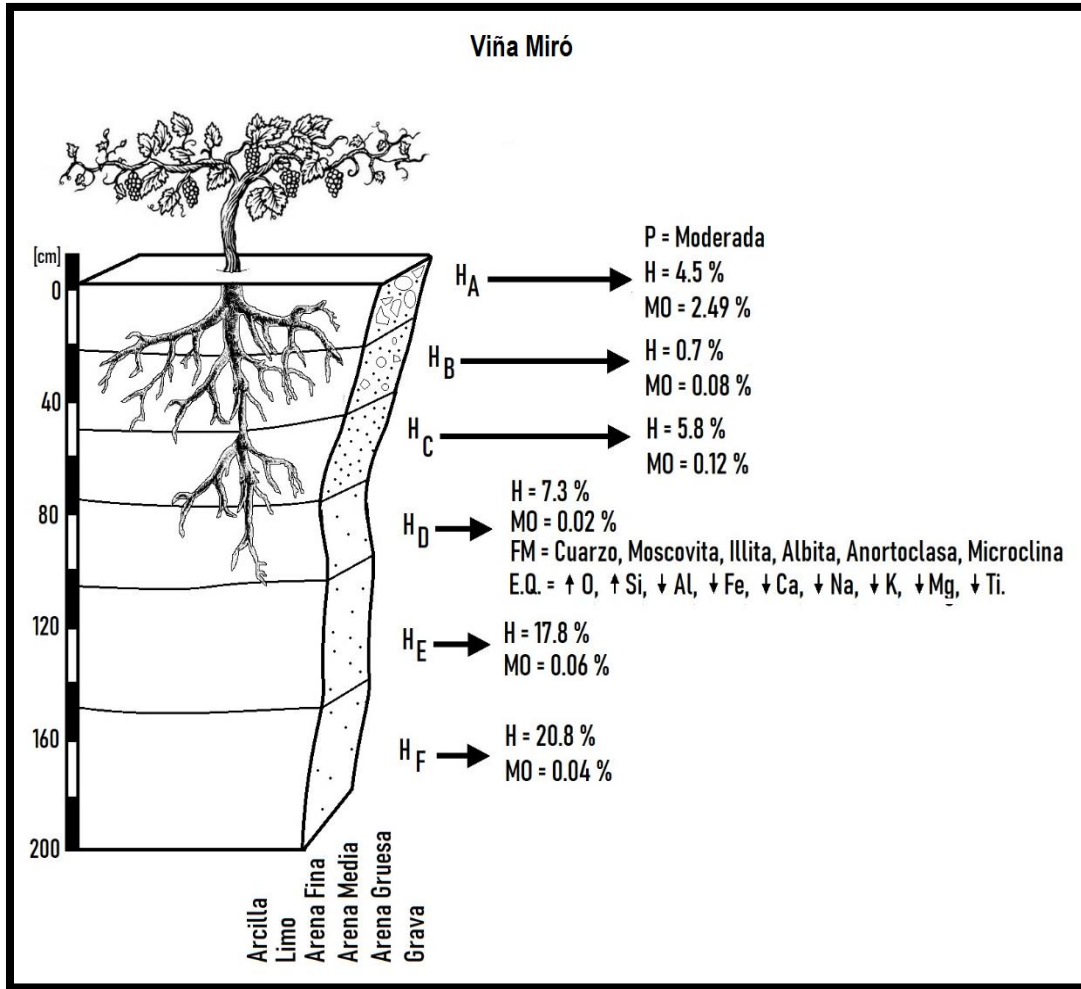


Figura 31: Perfil de suelo de viña Miró. P: permeabilidad (cm/hr); H: humedad (%); MO: material orgánico (%); FM: fases minerales principales; EQ: elementos químicos principales, comparados respecto al porcentaje en masa de los elementos más abundantes en la corteza terrestre.

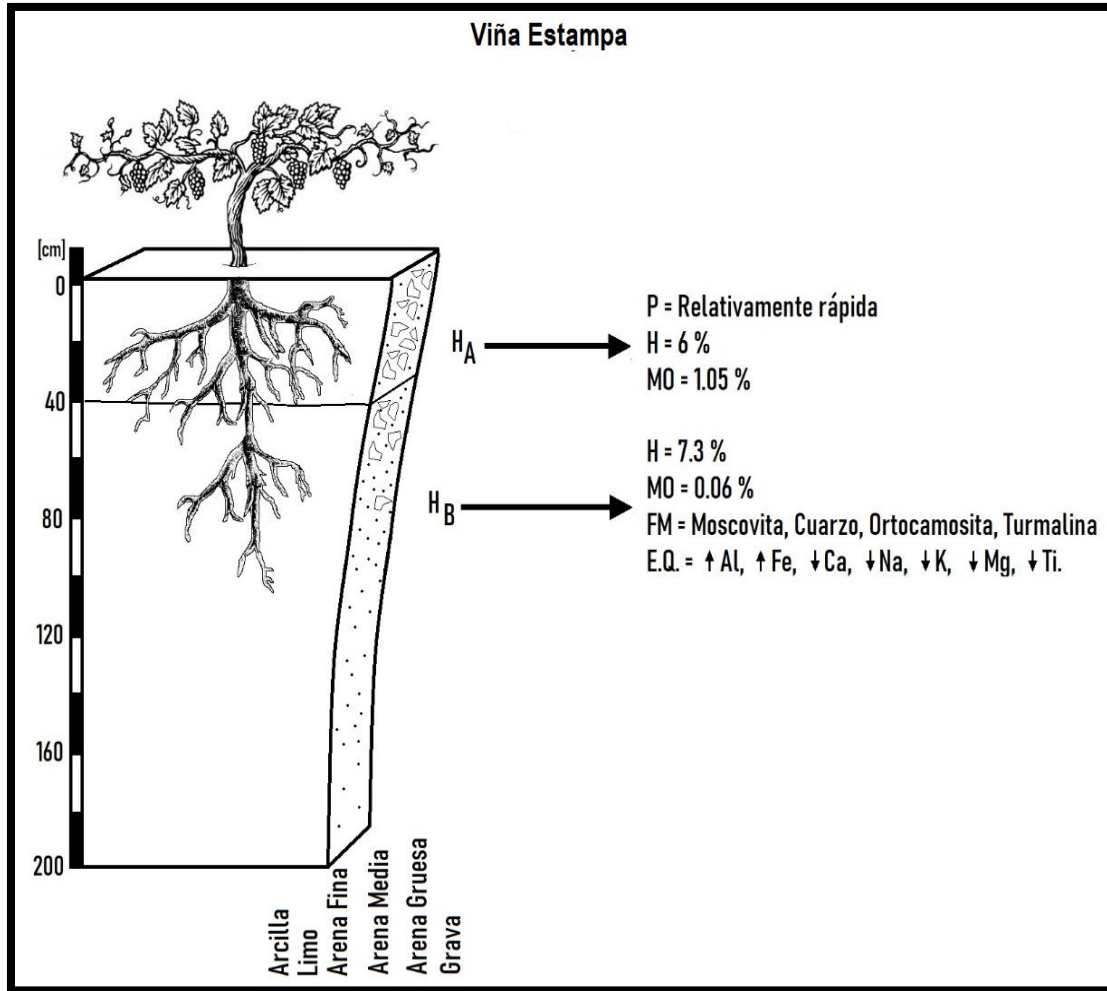


Figura 32: Perfil de suelo de viña Estampa. P: permeabilidad (cm/hr); H: humedad (%); MO: material orgánico (%); FM: fases minerales principales; EQ: elementos químicos principales, comparados respecto al porcentaje en masa de los elementos más abundantes en la corteza terrestre.

7. Conclusión

Actualmente, si bien se han realizado estudios de diverso tipo en viñas alrededor del mundo, no se ha llegado a una demostración concluyente que determine una relación directa entre la geología del sustrato y la calidad de frutos y vinos (sabor, color, aroma, astringencia, entre otras). Esto se debe a que son muchos los factores que inciden en la calidad de los productos vitivinícolas.

A pesar de lo anterior, sí hay claridad respecto a la especificidad geoquímica, aspecto que, si bien pudiera no ser detectable al gusto, sí es detectable mediante metodologías analíticas de comparación entre la geoquímica del vino, la uva y el sustrato. Es más, a partir de la especificidad geoquímica es posible certificar el origen de un vino respecto a su lugar de procedencia.

Para efectos prácticos, en el presente trabajo se fijaron las variables: cepa, clima, altura, orientación, horas de luz y técnicas de cultivo (irrigación, fertilización, control de plagas, tiempo de maduración y cosecha). Esto se realizó con objetivo de disminuir al mínimo la variabilidad de factores que inciden en el sistema agrícola, pudiendo así identificar el efecto de la geología respecto al desarrollo de los cultivos.

Una vez fijadas las variables, se tiene que a partir del análisis físico, químico y mineralógico de los suelos de cultivo de cepas Cabernet Sauvignon, en los viñedos Miró y Estampa, se obtienen importantes avances respecto a la comprensión del sistema agrícola dentro del cual se desarrollan las vides marchiguanas. Más aún, mediante el análisis de suelos es posible identificar características geológicas que convierten a las viñas estudiadas como únicas en su clase. Aunque, la tasa de incidencia de la geología aún no está claramente definida.

Entonces, mediante el análisis físico, químico y mineralógico de los suelos de cultivo de cepas Cabernet Sauvignon, en los viñedos Miró y Estampa, se concluye que:

Los sedimentos que sustentan a las viñas Miró y Estampa tienen sus orígenes propios en el Valle de Cardenal Caro. Estos sedimentos provienen de una geología acotada, constituida principalmente por rocas paleozoicas y cuya ocurrencia está ligada a un control estructural. El Valle de Cardenal Caro, dispuesto sobre el borde oriental de la Cordillera de la Costa, difiere notablemente respecto al Valle de Colchagua, dispuesto sobre la Depresión Longitudinal, ya que las viñas plantadas en el Valle de Colchagua se sustentan principalmente de sedimentos cenozoicos de origen fluvial y aluvial, encontrándose una geología bastante diversa. No obstante, la zonificación vitivinícola actual, determinada por el SAG, indica que todas las viñas desarrolladas en la Provincia de Cardenal Caro son parte del Valle de Colchagua, aun cuando las diferencias geológicas, geográficas y climáticas son claras. Lo correcto sería realizar una nueva zonación.

- A partir de las propiedades intrínsecas del suelo y su relación dinámica con las plantas, es posible programar tanto los procesos de irrigación como de fertilización, según las necesidades fisiológicas de la vid. Por lo tanto, mediante el conocimiento del territorio es posible aplicar un uso sostenible de los recursos hídricos y minerales.
- Finalmente, si bien las viñas Miró y Estampa comparten el mismo origen geográfico, la misma cultura vitivinícola, el mismo relieve y, aparentemente, la misma unidad geológica, estas presentan distinta litología y, por lo tanto, distinto Terroir.

Referencias

- Aguirre, L., Hervé, F., & Godoy, E. (1972). *Distribution of Metamorphic Facies in Chile: an outline*. Chile: Krystallinikum n° 9.
- Brüggen, J. (1950). *Fundamentos de la Geología de Chile*. Chile: Instituto Geográfico Militar.
- Charrier, R., & Lillo, F. (1973). *Geología Regional y Geoquímica del Drenaje de las Provincias de O'Higgins y Colchagua*. Santiago: Instituto de Investigación de Recursos Naturales.
- Charrier, R., & Vicente, J. (1970). *Liminary and Geosynclinal Andes: Major Orogenic Phases and Synchronical Evolutions of the Central and Magellan Sectors of the Argentine-Chilean Andes*. Buenos Aires: Solid Earth Problems Conf., Upper Mantle Project, V. II, p. 451-470.
- Charrier, R., Pinto, L., & Rodríguez, M. (2007). *Tectonostratigraphic Evolution of the Andean Orogen in Chile*. Reino Unido: The Geology of Chile, The Geological Society .
- Cisneros, R. (2010). *Apuntes de la Materia de Riego y Drenaje*. Colombia: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería.
- Corvalán, J., & Dávila, A. (1964). *Observaciones Geológicas en la Cordillera de la Costa entre los Ríos Aconcagua y Mataquito*. Chile: Resúmenes, Sociedad Geológica de Chile, N° 9, p. 7.
- Corvalán, J., & Munizaga, F. (1972). *Edades Radiométricas de Rocas Intrusivas y Metamórficas de la Hoja Valparaíso-San Antonio*. Chile: Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín N.º 28.
- Darwin, C. R. (1846). *Geological Observations on South America*. Reino Unido: Smith Elder and Co.

- Durante, C., Bertacchini, L., Bontempo, L., Camin, F., Manzini, D., Lambertini, P., . . . Paolini, M. (2016). *From Soil to Grape and Wine: Variation of Light and Heavy Elements Isotope Ratios*. Italia: Food Chemistry.
- Ernst, W. (1975). *Systematics of Large-Scale Tectonics and Age Progressions in Alpine and Circum-Pacific Blueschist Belts*. *Tectonophysics*, 26, 229–246.
- Escobar, F., Guzmán, R., & Vieira, G. (1977). *Avance Geológico de las Hojas Rancagua-Curicó, Talca-Linares, Chanco, Concepción-Chillán*. Santiago: USGS, CCHEN, IIG. 56p.
- Farrar, E., Clark, H., Haynes, S., & et al.. (1970). *K-Ar Evidence for the Post-Paleozoic Migration of Granitic Intrusión Foci in the Andes of Northern Chile*. Chile: Earth Planet. Sci. Lett., Vol. 10, No 1, p. 60-66.
- Fierro, P. (2015). *Análisis Mineralógico de Alta Definición Tescan-Tima*. Chile: SAX - Soluciones Analíticas SP.
- Fiket, Z., Mikac, N., & Kniewald, G. (2010). *Determination of Trace Elements in Wines by High Resolution Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*. Croacia: Division for Marine and Environmental Research, Ruder Boškovic Institute.
- Fiket, Z., Mikac, N., & Kniewald, G. (2011). *Arsenic and Other Trace Elements in Wines of Eastern Croatia*. Croacia: Food Chemistry.
- Frutos, J. (1967). *Palinología de los Niveles Carboníferos del Terciario de Arauco*. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología.
- García-Sansegundo, J., Farias, P., Heredia, N., Gallastegui, G., Charrier, R., Rubio-Ordóñez, A., & Cuesta, A. (2014). *Structure of the Andean Palaeozoic Basement in the Chilean Coast at 31° 30' S: Geodynamic Evolution of a Subduction Margin*. Chile: *Journal of Iberian Geology* 40 (2) 2014: 293-308.

- Glodny, J., Lohrmann, J., Echtler, H., Gräfe, K., Seifert, W., Collao, S., & Figueroa, O. (2005). *Internal Dynamics of a Paleoaccretionary Wedge: Insights from Combined Isotope Tectonochronology and Sandbox Modelling of the South-Central Chilean Fore-Arc*. Earth and Planetary Science Letters 231.
- Godoy, E. (1970). *Estudio Petrográfico del Granito de Constitución y su Aureola de Metamorfismo de Contacto*. Santiago: Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Godoy, E. (1979). *Metabasitas del Basamento Metamórfico Chileno. Nuevos Datos Geoquímicos*. Chile: Actas Segundo Congreso Geológico Chileno, 3: E133-E148.
- Godoy, E. (1984). *Reflexiones acerca de Transiciones Metamórficas en el Basamento de Chile Central-Sur*. Chile: Revista Geológica de Chile No. 23.
- Godoy, E., & Kato, T. (1990). *Late Paleozoic Serpentinites and Mafic Schists From the Coast Range Accretionary Complex, Central Chile: Their Relation to Magnetic Anomalies*. Geologische Rundschau, Vol. 79.
- González-Bonorino, F. (1967). *Nuevos Datos de Edad Absoluta del Basamento Cristalino de la Cordillera de la Costa de Chile Central*. Chile: Comunicación, U. de Chile, Depto. de Geología (n. 12): 6p.
- González-Bonorino, F. (1970). *Series Metamórficas del Basamento Cristalino de la Cordillera de la Costa, Chile Central*. Chile: Universidad de Chile, Departamento de Geología, Publicación 37.
- Greenough, J., Mallory, L., & Fryer, B. (2005). *Geology and Wine 9: Regional Trace Element Fingerprinting of Canadian Wines*. Canada: Geoscience Canada.
- Haynes, J. (1999). *Geology and Wine 1. Concept of Terroir and the Role of Geology*. Canada: Department of Earth Sciences, Brock University.

- Heredia, N., García-Sanseguendo, J., Gallastegui, G., Farias, P., Giacosa, R., Giambiagi, L., . . . Ramos, V. (2017). *Review of the Geodynamic Evolution of the SW Margin of Gondwana Preserved in the Central Andes of Argentina and Chile (28°-38° S Latitude)*. *Journal of South American Earth Sciences* xxx (2017) 1-8.
- Hervé, F. (1977). *Petrology of the Crystalline Basement of the Nahuelbuta Mountains, Southcentral Chile*. Japón: Japan Society for the Promotion of Science, Japan Society for the Advancement of Science.
- Hervé, F. (1988). *Late Paleozoic Subduction and Accretion in Southern Chile*. Chile: IUGS, UNESCO, IGCP.
- Hervé, F., Calderón, M., Fanning, C., Pankhurst, R., & Godoy, E. (2013). *Provenance Variations in the Late Paleozoic Accretionary Complex of Central Chile as Indicated by Detrital Zircons*. *Chile: Gondwana Research* 23 (2013) 1122–1135.
- Hervé, F., Davison, J., Godoy, E., Mpodozis, C., & Covacevic, V. (1981). *The Late Palaeozoic in Chile: Stratigraphy, Structure and Possible Tectonic Framework*. Brasil: Revista da Academia do Ciencias Brasil.
- Hervé, F., Kawashita, K., Munizaga, F., & Bassei, M. (1984). *Edades Isotópicas Rb-Sr del Paleozoico Tardío. Rocas Metamórficas del Centro de Chile*. Reino Unido: *Journal of the Geological Society London*, 141, 877-884.
- Kato, T. (1985). *Pre-Andean Orogenesis in the Coastal Ranges of Central Chile*. EEUU: *Geological Society of America Bulletin*, Department of Earth and Space Sciences, University of California.
- Kment, P., Mihaljevic, M., Ettlér, V., Sebek, O., Strnard, L., & Rohlová, L. (2005). *Differentiation of Czech Wines Using Multielement Composition – A Comparision With Vineyard Soil*. República Checa: Food Chemistry.

- Levi, B., Meech, S., & Munizaga, F. (1963). *Edades Radiométricas y Petrografía de los Granitos Chilenos*. Santiago: Ins. Inv. Geol. Bol. NO 12.
- Mackenzie, D., & Christy, A. (2005). *The Role of Soil Chemistry in Wine Grape Quality and Sustainable Soil Management in Vineyards*. Australia: Water Science and Technology, Department of Earth and Marine Sciences, The Australian National University.
- Maltman, A. (2008). *The Role of the Vineyard Geology in the Wine Typicity*. Reino Unido: Journal of Wine Research.
- Mark, W. (2009). *An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III*. Reino Unido: The Linnean Society of London, Botanical Journal of the Linnean Society, 2009, 161, 105–121.
- Miyashiro, A. (1961). *Evolution of Metamorphic Belts*. Japón: Journal of Petrology 2.
- Muñoz Cristi, J. (1964). *Estudios Petrográficos y Petrológicos sobre el Batolito de la Costa de las Provincias de Santiago y Valparaíso*. Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Anales 20-21: 9-93.
- Muñoz Cristi, J., & Karzulovic, J. (1958). *Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la Cordillera de la Costa, al Sur del Río Maipo, Entre Melipilla y Laguna de Aculeo (Chile Central)*. Santiago: Revista Geológica de Chile No. 16.
- Muñoz, A. (2010). *Geología y Vinos de España*. España: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
- Palape, C. (2014). *Deformación del Basamento Metamórfico Paleozoico en la Transecta Tanumé-Pichilemu, Entre los 34,2° y 34,5° S, Cordillera de la Costa de Chile Central*. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología.

- Poblete, J., Luca, R., Soto, C., Santelices, R., López, L., Guzmán, C., . . . Peña, A. (2007). *Geochemical and Mineralogical Soil Study of the Veramonte Vineyard, Casablanca Valley, Central Coastal Chile*. España: 23rd International Applied Geochemistry Symposium (IAGS23).
- Rodríguez, C., Pérez, Y., Moreno, H., Clayton, J., Antinao, J., Duhart, P., & Martin, M. (1999). *Área de Panguipulli-Riñihue, Región de Los Lagos*. Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos 10, 1:100.000.
- SERNAGEOMIN. (2003). *Mapa Geológico de Chile: Versión Digital*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital 4.
- Tavera, S. (1985). *Criterios para la Interpretación y Aprovechamiento de los Reportes de Laboratorio para las Áreas de Asistencia Técnica*. México: Publicación 3, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Delegación La Laguna, Matamoros.
- Terzaghi, K., & Peck, R. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. EEUU: John Wiley and Sons, New York.
- Thomas, H. (1958). *Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de La Ligua y la Cuesta de Barriga*. Chile: Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín N° 2, 86 p.
- Townley, B., & Castillo, P. (2015). *Geología, Geoquímica y Vinos*. La Serena: XIV Congreso Geológico Chileno. Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- USCS (1952). *Standard Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes*. EE.UU: ASTM Designation: D 2487-93.
- Vásquez, A. (2000). *Manejo de Cuencas Alto Andinas*. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Anexos

Anexo 1: Taxonomía de la Vid. Basado en el sistema de clasificación de plantas APG III (2009), que es la anteúltima versión del sistema para la clasificación de las angiospermas, según criterios filogenéticos.

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Vitales
Familia	Vitaceae
Género	Vitis
Especie	Vitis vinifera

Anexo 2: Clasificación propuesta por Cisneros (2010) para indicar la permeabilidad.

Clasificación	Permeabilidad (cm/hr)
Muy lenta	menos de 0,15
Lenta	0,15 a 0,50
Relativamente lenta	0,5 - 2,0
Moderada	2,0 - 6,5
Relativamente rápida	6,5 - 15,0
Rápida	15 a 25
Muy rápida	más de 25

Anexo 3: Relación de la textura del suelo con la permeabilidad (Vásquez, 2000).

Textura del suelo	Permeabilidad
Franco arcilloso y arcilloso	Baja
Franco limoso	Baja a moderadamente baja
Franco arenoso	Moderada a moderadamente rápida
Arena gruesa	Moderadamente rápida a rápida

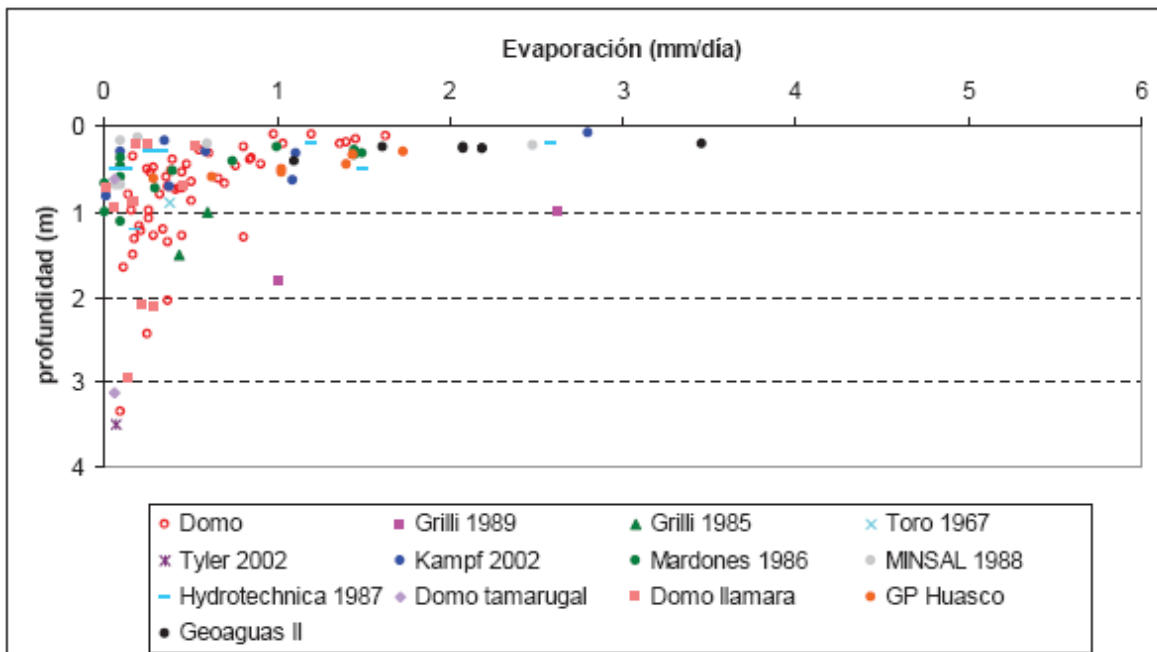
Anexo 4: Profundidad de los horizontes de suelo en viña Miró. Marchigüe.

Profundidad viña Miró (cm)	
Horizonte A	0 - 22
Horizonte B	22 - 38
Horizonte C	38 - 65
Horizonte D	65 - 100
Horizonte E	100 - 145
Horizonte F	145 - 200

Anexo 5: Profundidad de los horizontes de suelo en viña Estampa. Marchigüe.

Profundidad viña Estampa (cm)	
Horizonte A	0 - 40
Horizonte B	40 - 200

Anexo 6: Diagrama de Evaporación vs Profundidad del suelo. Fuente: DICTUC-DGA 2009.



Anexo 7: Clasificación del suelo según su contenido de materia orgánica (Tavera, 1985).

Clase	Materia orgánica (%)
Muy pobre	< 1
Pobre	1 - 2
Medio	2 - 3
Rico	3 - 5
Muy rico	> 6

Anexo 8: Tabla de datos utilizados para la realización de la curva granulométrica de viña Miró, según el porcentaje de masa pasante.

N° tamiz (#)	Diámetro de abertura (mm)	HA	HB	HC	HD	HE	HF
		Masa pasante (%)	Masa pasante (%)	Masa pasante (%)	Masa pasante (%)	Masa pasante (%)	Masa pasante (%)
7	2,794	89,8	95,3	96,9	99,2	99,2	99,7
12	1,679	81,1	86,8	90,0	95,0	94,5	97,6
25	0,706	57,8	62,1	67,9	75,8	69,9	79,2
50	0,297	34,0	35,5	41,6	50,1	42,1	52,9
80	0,178	21,7	22,2	26,9	34,1	29,5	42,0
140	0,104	12,2	12,5	16,2	20,7	19,1	28,7
230	0,064	6,4	6,9	9,6	11,6	11,3	16,8
Fondo	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Anexo 9: Tabla de datos utilizados para la realización de la curva granulométrica de viña Estampa, según el porcentaje de masa pasante.

N° tamiz (#)	Diámetro de abertura (mm)	HA	HB
		Masa pasante (%)	Masa pasante (%)
7	2,794	87,6	91,3
12	1,6789	72,6	78,7
25	0,7061	41,6	46,0
50	0,2972	19,6	23,2
80	0,1778	12,0	15,0
140	0,1041	6,9	9,6
230	0,0635	3,6	5,9
Fondo	0	0,0	0,0

Anexo 10: Tabla de clasificación de los sedimentos por tamaño. Obtenido de la clasificación Internacional – Atterberg.

Clasificación de Suelos - Atterberg	
Dimensión de la partícula elemental (mm)	Atterberg (Sistema Internacional)
< 0,001	Arcilla
< 0,002	
0,005	Limo
0,01	
0,02	
0,05	Arena Fina
0,1	
0,25	
0,2	
0,5	Arena Gruesa
1,0	
2,0	
3,0	Grava Fina
5,0	
10,0	Grava
20,0	Grava gruesa y Piedras
> 20,0	

Anexo 11: Tabla de clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (1952).

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)
INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	DETERMÍNENSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos del 5%: GW, GP, SW, SP; más del 12%: GM, GC, SM, SC. Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles **		
		GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GP Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos			
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas		* GM d u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
					GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas		SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.
					SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* SM d u		Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	
			SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	
	SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML		Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad
			CL		Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
			OL		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
			LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50		MH	
CH				Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.		
OH				Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.		
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.	<p align="center">CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)</p>		
<p>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. Cu = D₆₀ / D₁₀ Cc = (D₃₀)² / (D₁₀)(D₆₀)</p>						
NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.						
LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.		Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.				
LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.		de símbolos dobles.				
Cu = D ₆₀ / D ₁₀ mayor de 6 ; Cc = (D ₃₀) ² / (D ₁₀)(D ₆₀) entre 1 y 3.						
No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW						
LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.					
LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	de símbolos dobles.					

** CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.

⊕ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.

* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS UNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFJO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFJO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28

Anexo 12: Elementos más abundantes en la corteza terrestre.

Elemento	% en peso	Óxidos
Oxígeno	46,40	---
Silicio	28,15	SiO ₂ ; sílice
Aluminio	8,23	Al ₂ O ₃ ; alúmina
Hierro	5,63	Fe ₂ O ₃ ; óxido férrico
Calcio	4,15	CaO ; cal
Sodio	2,36	Na ₂ O ; soda
Magnesio	2,33	MgO ; óxido de magnesio
Potasio	2,09	K ₂ O ; potasa
Titanio	0,57	TiO ₂ ; óxido de titanio
Fósforo	0,105	P ₂ O ₅ ; pentóxido de fósforo
Manganeso	0,095	MnO ; óxido de manganeso

Anexo 13: Areniscas cuarcíferas de viña Miró.



Roca sedimentaria de grano medio, compuesta por alrededor de un 90% de cuarzo y un 10% de fragmentos líticos, con tamaños que varían entre 0.5 y 1 mm. Bien seleccionada. La matriz es escasa y de color blanquecino. Roca muy compacta, de alta dureza y alto peso específico relativo a percepción. Los granos minerales se presentan subredondeados y con buena esfericidad, sugiriendo que esta roca posee una alta madurez composicional y textural.

Anexo 14: Esquistos micáceos de Viña Estampa.



Roca metamórfica de origen metasedimentario pelítico, cuyo protolito probable corresponde a metaturbiditas o filitas. La muestra corresponde a una roca foliada de grano medio a grueso, de colores pardos, amarillos y grises. Notoria presencia de micas, principalmente moscovita.

