



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TERRAZAS DEL MAIPO: TERROIR, GEOLOGÍA DE SITIO Y ENTORNO Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DE SUELOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

JAVIER ANDRÉS FORNÉS GRAELL

PROFESOR GUÍA:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

PROFESOR CO-GUÍA:
SEBASTIAN VARGAS SOTO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
PAMELA CASTILLO LAGOS
KATJA DECKART

Este trabajo ha sido financiado por el Centro de I+D de Concha y Toro S.A.

SANTIAGO DE CHILE
2025

Resumen

Este trabajo trata del últimamente constante acercamiento que presenta la Geología, con los procesos de meteorización, pedológicos y últimamente, biogeoquímicos para así, entender los rasgos y las características como textura de suelo, composición mineralógica y elemental de las terrazas formadas en el río Maipo (STRM o sistema de terrazas del río Maipo), en específico, en la zona de Pirque y Puente Alto, Región Metropolitana.

En la zona de estudio, se observa a gran escala notorios cambios en los tipos de depósito presente expresados en 3 terrazas agradacionales con sus terrazas degradacionales engranadas, las cuales se hipotetiza, generan distintas características pedológicas y por lo mismo, una posible diferencia en la calidad de la fruta y vino de las vides cv. Cabernet Sauvignon, insertas en estas terrazas y las cuales son manejadas por el Terroir Concha y Toro de Pirque.

Para dilucidar estas características, la metodología se basa en estudiar la topografía del SRTM, las texturas de suelo, las condiciones fisicoquímicas/elementales de este y la mineralogía presente, las interacciones de estas características reflejarían las condiciones parentales y de evolución del suelo estudiado.

En las fracciones de arcilla ($<75 \mu\text{m}$), a partir de DRX se observa un aporte importante de minerales como vermiculita, esmectitas y zeolitas en los cuarteles muestreados, y la presencia de estos en conjunción con texturas predominantemente arenosas a franco arenosas y valores neutros a levemente alcalinos de suelo, podrían explicar algunas deficiencias de elementos como Cu, Mn, Mo y Zn, además de valores limitantes al tóxico de As y Hg.

La conjunción de características estudiadas determina, en conjunto con el conocimiento limitado de viticultura, que sí existe una diferenciación de la calidad a partir de la geología única de las distintas terrazas, siendo a grandes rasgos, las terrazas degradacionales de T3, las que presentan mejores condiciones de suelo y, por tanto, una mayor calidad de suelo para cuarteles como C1, C9, C11 y C13, insertos en las terrazas T3D, T3B, T3B y T3C respectivamente.

“Nos paramos sobre los hombros de gigantes”

Bernardo de Chartres

Agradecimientos

No puedo negar, que dedico este trabajo, primero que todo, a mis más cercanos. Pero definitivamente creo en que cada uno de nosotros está parado encima de gigantes, y que nos influenciarnos entre todos de alguna forma. Este trabajo también está dedicado a todas las personas que conocí, conozco y conoceré en el camino.

De manera especial, les quiero agradecer a mis padres. Lily, por ser una súper madre, por infundirme valores y creencias que considero son la base de mi ser, y por darme un amor incondicional todos los días. A mi padre, Roberto, con el cual no nos hemos sabido entender siempre, pero por tratar, por enseñarme lecciones que de otra forma, quizás nunca las sabría.

A mi familia inmediata, mis tías, tíos, primas y primos, a mis hermanos que conocí tarde. No estamos de acuerdo en todo, y a veces uno se distancia, pero siguen siendo parte fundamental de mí. A mi abuela Molly y a mi Tata. Me encantaría que vean donde estoy ahora. Y a Jorge, mi aperrado y queridísimo “pa-tío”.

A mis amigos. No podría estar aquí sin uds. Tengo a unos increíbles amigos desde la época del colegio que siempre han estado, Katy, Pipe, Che, Sanchez, Juanfra, Rama, Tom, Pablo, Raúl, Vichos, Pili, Magda, Nicole, Cami, Benja, Laurence, Pia y Alain, son mi columna y ojalá que lo que ha estado hasta ahora dure por siempre. En la universidad hice más increíbles amistades y descubrí muchos aspectos de mí gracias a uds. Beltran, Taco, Cissy, Cami, Tronqui, Nacho, Monse, Toña, Amaru, Rafa, Joaco, Maga, Seba, Tincho, Thomas, Cata, Micos, Ale, Sofi’s y Lucas. Me dieron nuevas alas, visión y apoyo en una de las épocas más desafiantes de mi vida, y espero seguir cultivando la amistad en los años que vienen.

A todos mis profesores, en especial a Brian, Sebastian y Pamela, que hicieron posible que estudiara algo que me apasiona, me han ayudado y entendido muchísimas veces en este complicado proceso. Muchísimas gracias por la comprensión.

A Cata, Gabo y Manuel, mis queridos compañeros durante los trabajos de esta memoria. Me hicieron esforzarme, me ayudaron y me dieron nuevas perspectivas sobre el trabajo. Espero que les vaya excelente en el rubro si así lo siguen. También a la “Geocomunidad”, con sus funcionarios como Blanca, Tonya, Rosita, Mariela, Veronica, Julio, William, Luis, al igual que a mis compañeros de clase, de pasillo o de donde sea. Fueron una excelente familia y espero que se mantenga así.

Gracias a Concha y Toro, que me dieron herramientas y oportunidades para trabajar todos mis datos, y por darme la oportunidad de trabajar en un equipo interdisciplinario. Gracias también a Andrés por los consejos durante el procesamiento de datos, y a Roberto por siempre recibirme en su taller.

Pancito, gracias por ser mi mejor amiga, mi increíble polola, mi pana, mi confidente. Por estar, por preocuparte y por actuar. Te adoro y, lo que sea que nos depare el futuro, será con el cariño y las risas que siempre nos acompañan.

Por último, gracias a Bolo, mi compañero peludo. Espero que sepas lo mucho que te extraño y la importante compañía que siempre fuiste.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Ubicación y accesos	2
1.2. Clima y condiciones	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Metodología de trabajo	3
1.4.1. Mapeo geológico y geomorfológico de la viña.	4
1.4.1.1. Pre-terreno	4
1.4.1.2. Terrenos	5
1.4.1.3. Laboratorio	6
1.4.1.3.1. Granulometría	6
1.4.1.3.2. Lupa Binocular	7
1.4.1.3.3. DRX	7
1.4.1.3.4. Análisis Elemental	9
1.4.1.4. Gabinete	9
2. Geología local	9
2.1. Marco Geológico	10
2.1.1. Depósitos Cuaternarios	10
2.1.2. Depósitos Miocenos	12
2.2. Geomorfología y Geotectónica local.	15
2.2.1. Depresión intermedia	15
2.2.2. Cordillera de los Andes	16
2.2.3. Falla San Ramón	16
2.2.4. Terrazas presentes	17
3. Caracterización de las terrazas	20
3.1. Cuarteles	20
3.2. Estratigrafía presente	21
3.3. Granulometría física	24
3.4. Mineralogía de las muestras	29
3.4.1. Difracción de Rayos X	29
3.4.2. Resultados por lupa binocular	33

3.4.3. Concentraciones elementales foliar, edafológico y valores de pH, conductividad y %Arcilla³⁸	
4. Discusiones	44
4.1. En lo que respecta a las técnicas de procesamiento.....	44
4.2. Sobre la composición de terrazas y denominación de estas.....	45
4.3. Composición mineralógica y cómo puede afectar a valores estudiados.	47
4.4. Valores elementales en suelos y plantas	52
4.5. Análisis PCA	65
5. Conclusiones	70
6. Recomendaciones.....	72
7. Bibliografía.....	73
7.1. Anexos.....	78
Anexo A: Banda NDVI y Fotos.....	78
Anexo B: Columna estratigráfica tipo.....	91
Anexo C: Macrofotografías granulometría 500μ	92
ANEXO D: Tablas elementales.....	98
Anexo F: Proceso de refinamiento e Histogramas de Refinamiento por Rietveld.....	129

1. Introducción

Dentro de los estudios en conjunto que Concha y Toro ha realizado con estudiantes y profesores de Geología en la Universidad de Chile, ha surgido la búsqueda de indicadores de la calidad del suelo vía la geología como disciplina.

Aplicaciones como, entender las texturas presentes, estudiar cómo la geomorfología dio lugar a un viñedo, las consecuencias de ello en la composición de suelo y la importancia de minerales micáceos para factores como la capacidad de intercambio catiónico o la humedad presente son algunas de las aplicaciones en las que la geología se desempeña sobre la viticultura.

El viñedo Concha y Toro de Pirque ocurre estar situado en el sistema de terrazas del río Maipo (STRM), un sistema fluvial que en el sector de Pirque y Puente Alto presenta terrazas agradacionales y degradacionales con edades de 450 kyrs hasta tiempos recientes.

Sobre el STRM, se han situado variedades de viñedos por la morfología aterrazada presente. Observando cuarteles (una subdivisión areal designada dentro de un viñedo) entre terrazas, se han encontrado diferencias vitícolas notorias entre distintas terrazas, proponiéndose así, dilucidar si esta proviene de la influencia del suelo. Ejemplos de esta diferencia vitícola son observables en las distintas respuestas del espectro NDVI de la figura 1.

Las respuestas por NDVI se pueden dar por una gran variedad de razones, distintas calidades del suelo, contaminaciones antrópicas o propias del mismo, manejo de la vid y hasta por clima o condiciones anuales. Teniendo lo anterior en consideración, se realiza esta memoria, con el enfoque de estudiar muchas de las características que la geología otorga al suelo, principalmente textura,



Figura 1: Mapa satelital con índice NDVI = [0; 0,0299321] de la zona de estudio, destacándose una diferencia de respuesta para el sector dentro del viñedo Concha y Toro de Pirque.

mineralogía y geoquímica asociada, para analizar qué influencias posee la misma sobre las condiciones vitícolas in-situ.

Figura 1: Región de interés (o ROI) obtenido por el índice NDVI = [-0.11249831, 0.0299321]. Dentro del viñedo, las áreas iluminadas corresponden principalmente a las terrazas más bajas topográficamente. En el Anexo A.1, se observa el perfil de intensidades relativas del NDVI del área con el umbral utilizado para esta figura. En A.2.1, se observa su correspondiente y en A.2.2 el índice NDVI que abarca.

1.1. Ubicación y accesos

El viñedo Concha y Toro se encuentra ubicado en la comuna de Pirque (33°38'12.81"S; 70°34'38.62"W), Región Metropolitana. Posee acceso turístico y laboral en su lado sur por la calle Av. Virginia Subercaseaux y colinda al noreste con el edificio de la Ilustre Municipalidad de Pirque. En la figura 1 se observa su ubicación dentro de la Hoja Geológica de Talagante-San Francisco de Mostazal, además de los otros viñedos (Santa Isabel, San Adolfo y Quinta de Maipo) pertenecientes a Concha y Toro en el valle de Maipo. Se subdivide en dos divisiones, Pirque Viejo y Pirque, de estos dos, se estudió el primero de ellos en donde se presentan terrazas fluvio-aluviales por la ribera sur del Río Maipo.



Figura 2: Mapa de ubicación de los viñedos de Concha y Toro más cercanas al río Maipo en el sur de la Región Metropolitana. La zona de estudio se ubica en el viñedo “Pirque”.

1.2. Clima y condiciones

Según el Reporte de Vendimia 2024, la presencia relativamente reciente del fenómeno climático “El Niño” generó influencias climáticas y pluviométricas que se tradujeron en mayor nubosidad o condensación de agua, un mayor nivel de precipitaciones y temperaturas más elevadas hacia el interior del territorio. Particularmente en el Valle del Maipo, se registraron 379 mm de precipitación en Pirque y 438 mm en Puente Alto, muy superiores a los 216 mm y 178 mm respectivamente del año 2023.

Se declara también, que en términos térmicos, durante los meses de verano las condiciones fueron favorables, sin ser “ni bajas, ni extremadamente altas”. La acumulación térmica registrada fue de 1.722 G°D desde septiembre a fines de marzo, siendo frescos comparativamente con los 1.810 G°D en promedio de los últimos 10 años. Rodríguez (2024) resume las temperaturas mensuales promedio del viñedo Don Melchor (al norte de la zona de estudio) desde 1987 al 2022 con mínimos de 8°C en julio-agosto y máximas de 20°C en enero, al igual que las precipitaciones, con una máxima de 85 mm. en junio-julio y mínimas de 5 mm. durante el periodo diciembre-febrero.

A la fecha, aún no se encuentra disponible el reporte de la vendimia 2025, pero en el blog del 30 de abril de este año dispuesto en la página de la empresa, se destaca al Valle del Maipo por sus abundantes lluvias (501 mm), un clima cálido durante enero y febrero, luego siendo marzo registrado como más frío y gran amplitud térmica.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar las influencias geológicas, mineralógicas y geoquímicas del sustrato en el cultivo de la vid y los impactos de esto en las propiedades vitícolas de la vid.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los orígenes y propiedades del suelo a lo largo del viñedo Concha y Toro de Pirque, incluyendo aspectos de textura, composición mineral, geoquímica y propiedades fisicoquímicas presentes en los suelos y sustrato del viñedo.
- Determinar las propiedades vitícolas y/o foliares cuantificables de los cultivos de la vid en el viñedo y evaluar la variabilidad espacial de estas.

1.4. Metodología de trabajo

Para efectos de desarrollo y cumplimiento de los objetivos previamente establecidos este trabajo fue realizado mediante la conjunción estudios de gabinete, trabajo en terreno, toma de muestras y análisis de estas en laboratorios. Se realizaron dos campañas de terreno, estas en los veranos de 2024 y 2025.

1.4.1. Mapeo geológico y geomorfológico de la viña.

Para el mapeo geológico y geomorfológico de la zona de estudio, se revisaron los mapas de Ormeño (2007), y de Selles y Gana (2001). Las unidades geológicas pertenecientes a rocas fueron extraídas directamente de la Hoja de Talagante-San Francisco de Mostazal sin mayor modificación de sus polígonos.

En la determinación de las terrazas cuaternarias del área de estudio, se hizo una comparación de los polígonos determinados por Ormeño (2007) y sus criterios de elevación utilizados para determinar las terrazas en el sector del Cerro La Ballena. Luego se extendieron en dirección aguas abajo del Maipo los polígonos correspondientes al mismo trabajo vía continuidad óptica de la misma terraza, perfiles y curvas de nivel, procurando que cada terraza mantenga su pendiente interna cercana al 3%. Desniveles continuos mayores al 3% seguidos por terreno plano se consideraron como terrazas individuales inicialmente, sin correlación inicial más que la correspondiente entre su terraza superior y/o inferior local.

Las terrazas del viñedo de Pirque Viejo fueron estudiadas morfológicamente por observaciones en terreno y por el modelo de elevación de la zona (Anexos A3 a A10) y la relación interna entre ellas, como altura relativa entre cada una e incisión entre ellas.

Conforme se aumentaban los polígonos iniciados en el área del Cerro La Ballena hacia el área de estudio, se confirmaron continuidades entre las terrazas estudiadas vía topología directa y las estudiadas en terreno. Las que poseían continuidad directa (T3B, T3C, T3D y T2B) eran extendidas directamente, en caso contrario, se notó que los desniveles registrados entre terrazas disminuían aguas abajo de manera constante, lo que fue utilizado para realizar las correlaciones para las terrazas faltantes (T2, T2C y T1).

1.4.1.1. Pre-terreno

El pre-terreno correspondiente a los trabajos realizados durante la campaña de verano 2024 consistió en la preparación de objetivos y el estudio del área. En esa instancia, se estudió vía imagen satelital el área circundante al viñedo Concha y Toro. Se planificaron los días de terreno, los objetivos a cumplir para esa instancia, se realizaron las primeras capas básicas en el software QGIS y se realizó el estudio bibliográfico de los trabajos de Ormeño (2007) y Armijo et al. (2010).

El segundo pre-terreno consistió en la preparación de material bibliográfico para estudiantes en práctica asignados como asistentes en la campaña de verano 2025, preparación de objetivos a cumplir, el ordenamiento de una base de datos compartida en Drive, preparación de un proyecto en QGIS particular, revisión bibliográfica de los trabajos de Ormeño (2007), Armijo et al., (2010) y Castillo et al., 2020 y reuniones preliminares en las que se explicó la dinámica de trabajo, además de algunas expectativas para la campaña.

1.4.1.2. Terrenos

La campaña de Terreno 2024 consistió en el estudio del viñedo y sus alrededores en un periodo de 2 semanas y fracción. Durante este tiempo, se realizaron visitas diarias al área, en las que primero: (i) Se estudió la factibilidad de estudio del área debido al factor de desplazamiento a pie y se determinaron subdivisiones del área acordes a visitas diarias. (ii) La morfología y los tipos de depósitos presentes en las áreas arbitrariamente denominadas “Sur, Centro y Norte” del viñedo fueron estudiadas. (iii) Se estudió la ribera norte del Río Maipo frente a la localidad del viñedo. (iv) Se extrajeron muestras de suelo para caracterización textural y de detritos presentes, las cuales se exponen en la sección 3.3 y 3.4.

De este terreno, se destacan un primer modelo morfológico de las distintas terrazas, la elaboración de una columna estratigráfica representativa de todos los depósitos presentes y la determinación de la predominancia de depósitos fluviales en el viñedo, entre los cuales se presentan de manera secundaria depósitos aluvionales.

Con respecto a la campaña del año 2025, esta consistió en visitas diarias al viñedo con el objetivo principal de corroboración y levantamiento de información adicional.

Los resultados de esta campaña consisten en las descripciones de mano realizadas, estimaciones del tipo de suelo, se detalló la columna estratigráfica al igual que las transiciones de tipo de depósito entre terrazas. También se extrajeron las muestras para análisis elemental, textural, de DRX y mineralógico.

Para la toma de muestras realizada durante la campaña verano 2025, las calicatas fueron realizadas con pala, cuadrados, de aristas de 50 cm, de las cuales se extrajeron las muestras a 40 cm de profundidad, según recomendación del citado manual. Se realizaron 10 calicatas a lo largo del viñedo, estando ubicados estos sitios en los centros geográficos de los cuarteles (con denominación para este trabajo) 1, 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12 y 13, con la idea de tomar muestras representativas de las terrazas en las que están insertas.

En todos los sitios de toma de muestra, se realizaron duplicados diferenciados como M1 y M2 dentro de sus códigos identificadores, con el fin de control de calidad, en particular la reproducibilidad de las propiedades determinadas.

Por último, 2 días después de la toma de muestras de suelo, personal de Concha y Toro realizó una toma de muestras foliares en los mismos puntos GPS de las correspondientes a suelo, con el fin de enviarlas al Centro de Investigación e Innovación de la Viña Concha y Toro, para efectos de análisis de las concentraciones elementales foliares.

1.4.1.3. Laboratorio

De los duplicados, las muestras con código M1 fueron trabajadas en los laboratorios e instalaciones de la FCFM. Las muestras M2 fueron enviadas al centro ALS CHILE, en Colina, Región Metropolitana, para que la empresa realice los análisis de ICP-MS, textura, pH y Conductividad solicitados.

1.4.1.3.1. Granulometría

Con respecto al tratamiento de las muestras M1, estas fueron trabajadas en los laboratorios de tamizaje y sedimentología del Departamento de Geología de la Universidad de Chile. Antes de pesar y tamizar las muestras, cada bolsa es abierta, se deposita su material de manera individual y homogénea en una bandeja metálica numerada con su número de cuartel, para luego ser llevada al horno, En el cual cada muestra es secada por 24 horas a 40°C, esto para retirar la humedad en exceso que pueda tener el material y evitar la desnaturalización de las arcillas. Después de ello, sigue el proceso de pesaje y tamizado para cada muestra, que ocurrió de la siguiente manera:

1. Se deja la muestra sobre un recipiente de vidrio con peso conocido.
2. El peso total de la muestra es registrado.
3. La muestra es llevada a una primera torre de tamices la cual contenía los tamices de aperturas 75 mm, 63 mm, 50 mm, 37.5 mm, 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm y 2.36 mm en orden descendente de tamaño de malla, y que presenta un tope en su fondo.
4. La primera torre es agitada en el Agitador mecánico marca W.S. Tyler modelo Ro Tap 8" RX-29, por 5 minutos con una tapa superior.
5. Terminado el agitado, se retiraba la torre de la máquina y se procede al siguiente proceso para cada tamiz de la torre: Se separa el tamiz; se deposita su contenido en otro recipiente de vidrio con peso conocido; se registra el peso del material depositado, el material recién pesado es llevado a un recipiente recolector particular de la bolsa de muestra; por último, se prosigue con el tamiz siguiente.
6. Una vez terminada la primera torre, el material sobrante en el fondo de la primera torre es llevado a una segunda torre de tamices con las aperturas 2 mm, 1 mm, 0.425 mm, 0.25 mm, 0.149 mm y 0.075 mm. También está ordenada en orden descendente.
7. La segunda torre es llevada a la máquina agitadora por otros 5 minutos y se repite el paso 5.
 - a. Particularmente, de la segunda torre, la fracción 500 μm (0,5 mm) una vez pesada es separada en una bolsa en particular la cual se utiliza para la sección 1.4.1.3.2.
 - b. De igual manera que en a., las fracciones 75 μm (0,075 mm) y menor a 75 micrones también son separadas en una bolsa particular para ser usadas en 1.4.1.3.3.
8. Todo el material en el recipiente recolector es llevado a una nueva bolsa de muestra a la cual se le registra su código.
9. Se limpia cada tamiz utilizado con una brocha metálica y un cepillo según su tamaño de apertura y material, además de ser soplado el material restante en una cámara extractora para asegurarse de limpiar cualquier particulado sobrante.

Los pasos 1 a 9 se repiten para cada muestra.

Posterior al pesado, registrado y guardado de todas las muestras, los pesos por fracción son ingresados en el software Excel y se les grafica por valor phi (ϕ) en función de porcentaje particular y phi en función de porcentaje acumulado.

Las muestras M2 enviadas a ALS fueron tratadas según el método “*QWI-IO-GRANULO-01 (Issue A Modification 2)*” para granulometría; por último para la textura declaran haber usado “*QWI-IO-TEXT-01 (Issue A Modification 0)*”. Gracias a estos métodos, ALS entregó los pesos porcentuales por fracción de tamaño, y valores de %Arena, %Limo y %Arcilla en formato Excel y gracias a ello, se clasifican los gráficos ternarios, y porcentajes particulares y acumulados de la fracción granulométrica.

1.4.1.3.2. Lupa Binocular

La preparación de las muestras para estudio con lupa binocular corresponde a un proceso de separación, limpiado y secado, de los cuales la separación fue detallada en vii.a de la sección anterior.

Una vez separadas las fracciones 500 μ , estas son depositadas en un tamiz de apertura 350 μ y lavadas bajo chorro de agua para retirar cualquier material fino sobrante sobre los granos. Cuando se aprecian visualmente los granos individuales, estos se depositan en un frasco de cerámica, retirando en lo posible cualquier exceso de agua que se adicione. Los frascos son llevados al horno de secado del laboratorio de sedimentología de la Universidad de Chile y se les deja a unos 60°C con ventilación alta durante 24 horas.

Con las muestras secas, los granos son revueltos a manera de homogeneizarlos y, del frasco se toma una fracción de muestra la cual se deja sobre papel blanco y se observa bajo la lupa binocular del laboratorio de sedimentología.

Se realiza una identificación mineral en la lupa binocular “Olympus SZ” de la marca Arquimed a partir de las propiedades de brillo, fractura, color, hábito, clivaje y magnetismo. Los minerales son contados de manera porcentual, omitiendo del conteo objetos como vidrio antrópico, microplásticos, ramas/orgánicos/otros, pero se les registra como presentes de manera separada. Los minerales con porcentajes menores al 1% son descritos pero no se insertan en los gráficos de las figuras 14 y 15.

Se tomaron fotos representativas de cada observación por lupa binocular y el material se mantuvo separado del resto del suelo tamizado.

1.4.1.3.3. DRX

Para obtener los resultados necesarios para el análisis por Difracción de rayos X, se realizaron varias etapas. La primera de ellas consiste en la preparación de las muestras para el envío al Laboratorio de Cristalografía de la Universidad de Chile, en este primer paso, se separó la fracción

75 micrones y menores según lo especificado en la sección de “Granulometría”. Las fracciones separadas fueron molidas a mano en un mortero de porcelana por 7 minutos cada una, tiempo en el cual, las fracciones poseían una textura completamente fina y homogénea. El mortero era limpiado al moler granos de cuarzo hasta obtener su fracción fina entre cada molienda de muestra para evitar contaminaciones cruzadas.

Las muestras preparadas seguidamente enviadas al laboratorio, en el que se les realizó el proceso estándar con el difractor “Bruker Lynxeye D8 Advance”, con emisión de Cu K α 1 de 1,5604 Å a temperatura ambiente. Las mediciones obtenidas fueron enviadas y con ello inició el proceso de ser analizadas.

El proceso de análisis tomó unos 3 meses en total, en los cuales, se fue perfeccionando el proceso de refinamiento de Rietveld gracias a los manuales y tutoriales dispuestos en los softwares “Match!4”, “Maud”, “XPert Highscore Plus”, “FP Suite” y “Profex”. El proceso de prueba de los distintos softwares es de importancia en el entendimiento de cómo se correlacionan los parámetros de celda, en las cristalografías minerales presentes y cómo manipularlas según software, ya que estos presentan distintas metodologías para ello.

Las fases minerales encontradas por la búsqueda inicial son revisadas según los “peaks” con los que correspondan y se busca que sus diferencias de intensidad relativa entre su valor calculado y el valor experimental sean las menores posibles. Con cada fase seleccionada se repiten varios ciclos de refinamiento, y una vez que se aprecia que los perfiles calculados no tienen más mejorías notorias, es que se procede a revisar más opciones entregadas por el listado otorgado por el algoritmo de búsqueda.

Refinar y agregar fases se repite como proceso hasta cubrir todos los “peaks” presentes en el histograma experimental. En algunos casos, se puede notar que, aunque la posición (2θ) de la fase mineral propuesta sea correcta, el valor calculado no se adecúa en términos de la intensidad. Es en esos casos que la textura mineral puede ser revisada para el candidato y el parámetro “SPHAR(n°)” es aumentado (siendo n° un número del 2 al 10, el cual determina la complejidad de la función armónica asociada al crecimiento de celda unitaria para ese mineral, i.e. la magnetita del sistema cúbico nunca va a ser necesario refinarla por sobre el SPHAR2 por su sistema cúbico, pero un mineral como la actinolita o los tectosilicatos pueden requerir de funciones más complejas para modelar sus crecimientos. Durante todos los refinamientos, se buscaba obtener el menor valor del parámetro χ^2 , siendo el ideal $\chi^2 = 1,5$. Mayor detalle del proceso de refinamiento se presenta al inicio del Anexo F.

Por último, a las fases minerales se les reunió en grupos minerales según sus valores fisicoquímicos, siendo considerados la estructura cristalina, grupo mineral, composición general, y proveniencia principalmente.

1.4.1.3.4. Análisis Elemental

El análisis elemental por ICP-MS fue realizado por ALS en las muestras “M2” extraídas en terreno, y fueron enviadas a su matriz en Santiago de Chile vía despacho personal. ALS declaró en su ficha de despacho que las muestras fueron recibidas correctamente y los métodos utilizados para sus técnicas de laboratorio constan de: “*QWI-IO-CE-01 Emisión B mod. 6 QWI-IO-LIXI-01 Emisión B mod. 3 Método*” para la conductividad; para metales ICP-MS se ocuparon “*QWI-IO-ANA-02 ICPMS (Issue B Modification 3)*” y “*QWI-IO-EXT-02 (Issue B Modification 6)*”; por último, la medición de pH ocupó el método “*QWI-IO-pH-01 Emisión B mod.*” y “*4 QWI-IO-LIXI-001 Emisión B mod. 4*”. Estos métodos no son referenciados en la guía de métodos y cobros de ALS 2025 (ALS, 2025), siendo otros códigos referenciados como “ME-MS61L™” para la técnica de análisis ICP-MS por 4 ácidos solicitada para esta memoria. Se discute más de este detalle en la sección de Discusiones.

El trabajo de datos fue realizado principalmente en el software Excel para la generación de gráficos tipo “Box-plot” y tipo “Spider”. En la plataforma de programación “Colab” con el módulo “Plotly” se realizaron otras variaciones de gráficos de dispersión con escalas de colores para observar las relaciones de variables entre los datos de concentración, pH, Conductividad y porcentaje de arcilla.

1.4.1.4. Gabinete.

Además de las metodologías previamente mencionadas, el resto de las figuras que no fueron realizadas en programas de gráficos como Excel y Colab fueron realizadas o modificadas en los softwares Adobe Illustrator CS6 e Inkscape (imágenes modificadas), además de QGIS y ENVI 5.6 para la generación de varios gráficos (matemática de bandas y mapas geológicos). Con respecto a la generación de ciertos gráficos en Excel, se utilizó la plataforma de programación “*Visual Studio Code*” para hacer de interfaz en la programación de ciertos códigos de Python utilizados en la generación de gráficos. Por último, los datos topográficos DEM y las fotos satelitales de la zona son obtenidos de la página “*Earth Explorer*” de la USGS. También se adicionó para corroboración topográfica, los datos particulares de altura obtenidos por Google Earth Pro y por el dispositivo GPS Garmin Instinct 2 el cual dispone de las flotas satelitales GPS y GLONASS.

2. Geología local

Como se puede observar en la figura 2, el viñedo está inserto al sureste del valle de la Región Metropolitana, presentándose varios cerros y unidades de roca en las inmediaciones al sur, destacadas en la figura 3. Además de la roca, en conjunto con los procesos fluviales, de meteorización y erosión del río Maipo, todas estas unidades dieron lugar a las condiciones de sitio locales.

Geología Local de Viñedos de Concha y Toro en la Región Metropolitana
 Modificado de la Hoja Talagante-San Francisco de Mostazal; Selles y Gana, 2001

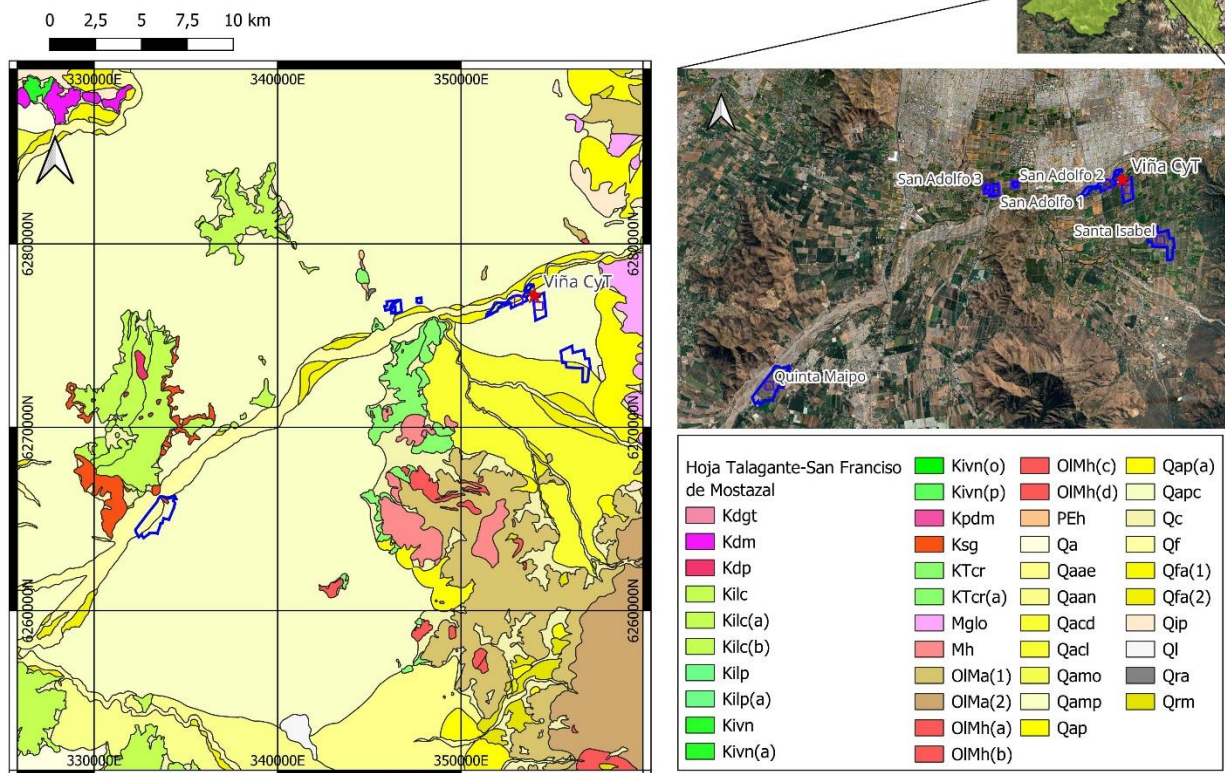


Figura 3: Mapa de ubicación del viñedo Concha y Toro inserto en la Hoja Talagante-San Francisco de Mostazal.

2.1. Marco Geológico

2.1.1. Depósitos Cuaternarios

El área de estudio está inmersa en una zona con variados depósitos sedimentarios cuaternarios, de orígenes fluviales, aluviales y coluviales. Entre estos, los depósitos fluviales y aluvionales son los principales exponentes de sedimentos estudiados en terreno, y se presentan las caracterizaciones de estos depósitos sedimentarios expuestos en el documento de Sélles y Gana (2001). Todas las unidades geológicas descritas a continuación se presentan y referencian a la figura 2.

Depósitos fluviales Qf (Holoceno)

Sedimentos no consolidados, genéticamente relacionados con cursos fluviales activos (ríos Mapocho, Maipo, Clarillo, Angostura y Peuco y algunos cursos intermitentes). Predominan gravas y gravas arenosas clasto soportadas, compuestas por fragmentos de rocas volcánicas e intrusivas, redondeados a bien redondeados, de baja esfericidad, en parte imbricados, y matriz arenosa (facies de relleno de canal). Incluyen, además, lentes arenosas con estratificación plana horizontal y

cruzada, junto a escasos niveles de limos finamente laminados, depositados durante los períodos de bajo caudal (Sélles y Gana., 2001).

Depósitos Fluviales Antiguos Qfa(1), Qfa(2) (Pleistoceno Superior-Holoceno)

Sedimentos pobremente consolidados, genéticamente vinculados a cursos fluviales abandonados, constituidos por gravas y gravas arenosas de clastos redondeados volcánicos e intrusivos, además de niveles de arenas y limos (Sélles y Gana., 2001).

De esta unidad se distinguen dos niveles principales, pero solo los depósitos fluviales aterrizados se encuentran en el área de estudio. Estos son, depósitos con alturas entre 3 y 20 m sobre el curso fluvial actual, con cobertura de suelo bien desarrollada y vegetación silvestre o cultivos. Destacan los niveles aterrizados adosados al curso superior del río Maipo (Sélles y Gana., 2001).

Depósitos aluviales de piedemonte Qap, Qap(a) (Pleistoceno Superior-Holoceno)

Sedimentos pobremente consolidados, ubicados en la desembocadura de las quebradas mayores. Están constituidos por una alternancia de depósitos de remoción en masa, depósitos fluviales y mantos de crecida, que conforman abanicos aluviales de estructura radial y pendientes de 3 a 6°. En el piedemonte andino, frente a Puente Alto y Pirque, grandes conos aluviales coalescentes forman una morfología de bajada, que prograda sobre los depósitos aluviales (Qa) y de la Ignimbrita Pudahuel (Qip) (Sélles y Gana., 2001).

Ignimbrita Pudahuel Qip (Plioceno Superior?-Pleistoceno Medio?) (Wall et al., 1996)

Depósito de flujo piroclástico de ceniza y lapilli pumíceo, de composición riolítica, macizo, no soldado. Los afloramientos de mayor extensión se ubican en el sector de Las Vizcachas, donde alcanzan un espesor expuesto de 10 m. En Maipú y en el sector de Rinconada Lo Vial, se expone solo una parte de los depósitos de la Ignimbrita Pudahuel, puesto que su mayor extensión se extiende hacia el norte, fuera del mapa. Afloramientos aislados se observan en los lomajes ubicados entre Angostura y San Francisco de Mostazal, y otros, de menor dimensión, se ubican adosados al pie de la cordillera andina, al este de El Principal, y en el valle del río Peuco. Los depósitos, de colores blanco-amarillentos a pardo claro y rosado, se presentan medianamente a bien consolidados, y están constituidos principalmente por ceniza volcánica vítrea y fragmentos de cristales y pómez. Los fragmentos de pómez poseen tamaños entre 1 mm y 15 cm de diámetro, con escasa biotita. La Ignimbrita Pudahuel contiene, además, líticos accidentales, principalmente de rocas volcánicas y, esporádicamente, restos de madera carbonizada. Se encuentra cortada por el escarpe fluvial más alto del río Maipo, reconocido al norte de Las Vizcachas, mientras que, en los niveles aterrizados más bajos y en los sectores distales de los abanicos aluviales, la ignimbrita se presenta retrabajada y sus componentes incorporados en niveles de gravas y mezclados con arenas, gravas y limos que constituyen los depósitos aluviales. Esta ignimbrita representa a las facies distales de los productos generados en la erupción explosiva de la Caldera Diamante (Complejo Volcánico Maipo), ubicada en la cordillera andina, cuyo volumen de material eyectado se estima en 450 km³ (Stern et al., 1984) el que se esparció tanto hacia la Depresión Central de Chile como

hacia Argentina. Una edad, determinada por el método de trazas de fisión en circones de pómez, dio 450.000 ± 60.000 años AP (Stern et al., 1984). Recientes edades $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ ‘plateau’ en biotita contenida en las pómez, dieron $2,3 \pm 0,3$ Ma y $2,2 \pm 0,3$ Ma y una isocrona inversa de $1,4 \pm 0,8$ Ma (Wall et al., 2001). Estos antecedentes abren una discusión sobre una posible edad máxima pliocena superior para estos depósitos.

DEPOSITOS ALUVIALES Qa, Qamp, Qacl, (Plioceno-Pleistoceno Superior) (Sélles y Gana, 2001)

Sedimentos estratificados, moderadamente consolidados, que constituyen abanicos aluviales coalescentes de 2-10 km de radio, que rellenan la mayor parte de la Depresión Intermedia, y cuyas hoyas hidrográficas se encuentran en la cordillera de los Andes. Hacia las cabeceras, estos depósitos están cubiertos por depósitos coluviales (Qc) y aluviales de piedemonte (Qap). En las zonas proximales a la salida de las quebradas, predominan asociaciones de barras fluviales compuestas por una alternancia de gravas clastosoportadas y gravas arenosas con menor proporción de limos, estratificadas en capas de espesor variable entre 0,3 y 2 m. En las zonas distales, en tanto, predominan sedimentos de grano fino: arenas, limos y arcillas con esporádicos lentes de conglomerados correspondientes a facies canalizadas y depósitos de barra. Hacia los niveles superiores se intercalan depósitos de la Ignimbrita Pudahuel (Qip), que sobresalen de la llanura como pequeños lomajes o se encuentran retrabajados e incorporados a los depósitos aluviales. Se diferencian siete sistemas aluviales correspondientes a los cursos fluviales predominantes: Qamp: depósitos aluviales del río Maipo. Constituyen los depósitos más extensos de la zona (abanico de 10 km de radio), cubiertos parcialmente por el desarrollo urbano de la ciudad de Santiago, contienen fauna vertebrada fósil de Hippidion saldiasi, del Pleistoceno Superior (Alberdi y Frassinetti, 2000; localidad F4). Qacl: depósitos aluviales del río Clarillo y de la quebrada Honda.

2.1.2. Depósitos Miocenos

Granodiorita La Obra Mglo (Mioceno Inferior; 22-19 Ma) (Sélles y Gana, 2001)

Intrusivo granodiorítico a monzogranítico de biotita y anfíbola (70-73% SiO₂), que intruye la Formación Abanico en el borde oeste de la cordillera andina. Se expone elongado en dirección norte-sur, en una franja de aproximadamente 20 km² en el límite oriental del mapa. Lo constituyen rocas de color gris claro a muy claro, de grano medio a grueso, con moderada alteración a esmectita y clorita. (Sélles y Gana 2001). Kurtz et al. (1997), señalan una edad $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ en hornblenda de $21,6 \pm 4,9$ Ma que se interpreta como la edad de emplazamiento del plutón, y edades de enfriamiento en biotita, plagioclasa y feldespato potásico entre 19,6 y 16,2 Ma. Estas rocas son de tendencia calcoalcalina, con mediano contenido de potasio, evolucionadas principalmente mediante fraccionamiento de minerales anhidros que le imprimen patrones de tierras raras de baja pendiente y bajos valores de $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ (0,704005; Kurtz et al., 1997).

Intrusivos hipabisales intermedios-básicos OIMh(d) (Eoceno Superior-Mioceno Inferior; 34-19 Ma)

'Stocks', cuellos volcánicos, filones manto y diques que intruyen la Formación Abanico y los Estratos del Cordón Los Ratones en la mitad oriental de la hoja de Talagante-San Francisco de Mostazal, y la Formación Las Chilcas en la localidad de Angostura. Son cuerpos de hasta 3 km² de exposición, de composición intermedia a básica (49-65% SiO₂), y color gris medio a verde oscuro. En este grupo se distinguen gabros y dioritas de piroxeno y anfíbola (a), basaltos porfídicos de olivino y piroxeno (b), dioritas cuarcíferas de piroxeno±anfíbola (c) y pórfidos andesíticos de clino y ortopiroxeno (d). Los tipos (a) y (b) se concentran en el sector occidental del área, y están hospedados en los Estratos del Cordón Los Ratones y en el nivel inferior de la Formación Abanico (OLMa(1)) Los intrusivos OIMh son rocas de carácter toleítico, derivados de magmas anhidros, con bajo enriquecimiento en elementos incompatibles, similares a lavas coetáneas de la Formación Abanico, y se interpretan como sus conductos alimentadores. (Sélles y Gana, 2001)

(d) Pórfidos andesíticos de clinopiroxeno±ortopiroxeno (54-66% SiO₂), algunos de los cuales incluyen, de manera subordinada, anfíbola y olivino. Intruyen los niveles inferiores y superiores de la Formación Abanico. Son rocas de color gris oscuro o azulado, de textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa levemente alterados a esmectita, clinopiroxeno fresco, ortopiroxeno, escasa anfíbola y olivino, variablemente alterados a clorita y esmectita. La masa fundamental es intergranular de grano grueso, e incluye, de modo intersticial, esmectita, clorita, ceolita, calcita y epidota. Un dique andesítico correspondiente a este tipo petrográfico ha sido datado en 22,4±1,1 Ma (K-Ar roca total), edad que se interpreta como cercana a la cristalización. (Sélles y Gana, 2001)

Formación Abanico OIMa(1), OIMa(2) (Eoceno Superior?-Mioceno Inferior)

El siguiente párrafo es extraído y adaptado de (Aguirre, 1960; Wall et al., 1999)

Secuencia volcánica principalmente lávica, con intercalaciones piroclásticas, epiclásticas y sedimentarias continentales, con un espesor total de ca. 2.000 m. Aflora en la mitad oriental del mapa, donde se presenta intruida por 'stocks' y diques de edad oligoceno-miocena (OIMh) y por la Granodiorita La Obra (Mglo), con los que estaría genéticamente relacionada. Se dispone sobre los Estratos del Cordón Los Ratones (KTcr), al este de Alto Jahuel, mientras que en Angostura, en la ladera occidental del cerro Challay, se apoya mediante discordancia de erosión sobre domos riolíticos de la Formación Las Chilcas (Sellés, 2000a). Hacia el este, fuera del área de estudio, la secuencia está cubierta por estratos volcánicos de la Formación Farellones, de edad miocena media-superior. El contacto entre ambas formaciones es interpretado como de naturaleza concordante, discordante o tectónico en distintas localidades. Dataciones radiométricas practicadas a lavas de la Formación Abanico con valores entre 26 y 22 Ma se consideran edades de cristalización. Al norte del área, entre las ciudades de Santiago y Colina, la Formación Abanico cuenta con edades radiométricas de 28-20 Ma, y un dique datado en 34 Ma corta su base a los 33°04'S. Al sur de los 34°S se correlaciona con la Formación Coya-Machalí, en la que se han obtenido edades K-Ar en roca total de ca. 23 Ma y edades 40Ar/39Ar entre los 37 y 20 Ma, consistentes con el contenido de fauna de primates y roedores fósiles que, en conjunto, cubren el lapso Eoceno-Mioceno Inferior. Los productos volcánicos de la Formación Abanico son de afinidad toleítica, con contenidos de potasio bajo a medio y bajo enriquecimiento en elementos traza móviles. Sus bajas razones La/Yb

reflejan una evolución dominada por el fraccionamiento de fases minerales anhidras (olivino y piroxeno), y menor extracción tardía de plagioclasa (Sellés, 1999, 2000b). Estas características son similares a las que exhiben la Granodiorita La Obra y los intrusivos OIMh, interpretados como equivalentes profundos del sistema magmático de la Formación Abanico. (Sélles y Gana, 2001). En los alrededores del área de estudio, solo se presenta expuesto el nivel inferior de la Formación Abanico.

Nivel Inferior OIMh(1). Compuesto principalmente por lavas andesíticas y andesítico-basálticas, con dacitas subordinadas e intercalaciones de brechas autoclásticas y tobas brechosas, cuyo espesor total aproximado es de 1.000 m. La base del nivel inferior, que aflora en la localidad de Angostura, consiste en ca. 100 m de ortoconglomerados y areniscas que incluyen fragmentos de pórfidos de piroxeno y anfibola similares a intrusivos hipabisales del Cretácico Superior (Kdp). La mineralogía primaria de las lavas consiste en plagioclasa (An40-54), augita y magnetita; en menor proporción hiperstena, relictos de olivino y esporádicamente hornblenda, inmersos en una masa fundamental hialopilitica o pilotaxítica. Dataciones presentadas en Sélles y Gana, (2001) en K-Ar en roca total en las lavas de este nivel dan edades de $26,3\pm 0,9$, $22,7\pm 0,9$ y $21,6\pm 1,2$ Ma, interpretadas como cercanas a la cristalización. Edades de $20,0\pm 1,3$, $19,3\pm 1,6$, $15,0\pm 1,0$ y $13,7\pm 0,8$ Ma se consideran mínimas, dada la relación de intrusión con la Granodiorita La Obra (22-19 Ma).

ESTRATOS DEL CORDÓN LOS RATONES KTcr, KTcr(a) (Cretácico Superior? - Eoceno?) (Nueva unidad) Extraído de (Sélles y Gana, 2001)

Unidad informal, constituida por una secuencia volcánica y subvolcánica, con intercalaciones sedimentarias continentales de aproximadamente 450 m de espesor total, que aflora en el cordón de cerros del mismo nombre, al sur del río Maipo, y en pequeños cerros-isla al sur de esta localidad. Su base no aflora y se infiere una relación de discordancia con la suprayacente Formación Abanico. Localmente, se encuentra en contacto por falla con esta misma formación, al norte y oeste de los cerros del Principal. Está intruida por 'stocks' y diques datados en 36 y 22 Ma de las unidades PEh y OIMh(d), respectivamente. Los estratos basales consisten principalmente en tobas de lapilli y brechas piroclásticas, además de escasas lavas andesíticas e intercalaciones sedimentarias. Las tobas están constituidas por fragmentos andesítico-basálticos a dacíticos amigdaloidales, y fragmentos pumíceos, inmersos en una matriz vítrea fluidal o cinerítica frecuentemente oxidada y argilizada. Las brechas son clastosoportadas, compuestas por fragmentos andesíticos y dacíticos de 10 a 50 cm, en matriz tobácea de lapilli. Las intercalaciones sedimentarias corresponden a capas de arenitas tobáceas y litarenitas de ca. 0,5 m de espesor, y a estratos de conglomerados clastosoportados con fragmentos líticos de composición basáltica a dacítica y matriz arenosa cementada con limonitas, arcillas y yeso. Hacia el techo se intercalan, gradualmente, tobas de lapilli y de ceniza de composición dacítica a riolítica con fragmentos de pómez de hasta 3 cm, ocasionalmente colapsados, y escasas lavas dacíticas a riolíticas macizas y brechosas. Las tobas se encuentran en parte retrabajadas, formando capas de arenisca de color gris y amarillo, con laminación plana horizontal de escala centimétrica. Intruyen a esta sucesión diques y domos riolíticos (71-76%SiO₂) (a), que muestran marcado diaclasamiento columnar subhorizontal en su porción central, y pliegues de flujo y estructura brechosa hacia los bordes. La asociación basal de

depósitos piroclásticos sugiere una posición relativamente distal al centro de emisión, mientras que las ignimbritas y domos del nivel superior corresponderían a facies de complejo de caldera. Los productos ácidos de esta unidad presentan una tendencia calcoalcalina, con contenidos de potasio medio a alto, enriquecimiento en elementos móviles y participación de anfíbola y plagioclasa como fases residuales en su evolución (Sellés, 2000b). Su correlación litoestratigráfica más probable es con la Formación Lo Valle del Cretácico Superior, que aflora 45 km al norte, aunque la ausencia de antecedentes geocronológicos impide precisar la edad absoluta de estos estratos. Los Estratos del Cordón Los Ratones se encuentran deformados según pliegues abiertos de longitud de onda hectométrica. Aunque la relación estratigráfica con la suprayacente Formación Abanico no ha podido ser precisada, evidencias indirectas hacen suponer que una discordancia angular separaría ambas unidades, por la falta de continuidad de pliegues e intrusiones ácidas al pasar a la formación superior.

2.2. Geomorfología y Geotectónica local.

Así como fue expresado en el trabajo de Ormeño (2007), la influencia de la neotectónica en la geomorfología está presente en la geometría y disposición de las terrazas fluviales generadas por el Río Maipo. Estas terrazas se han formado frente a la Cordillera Principal dentro de la Depresión Intermedia, a partir de la influencia del Río Maipo desde el Pleistoceno a la Actualidad, siendo los periodos glaciares, interglaciares y la influencia de fallas activas como San Ramón los factores de mayor importancia en su generación.

2.2.1. Depresión intermedia

Según Sellés y Gana, (2001), esta se encuentra separando los dominios cordilleranos de la costa y andino, se desarrolla en una amplia cuenca elongada en dirección norte-sur, de cuyo relleno sedimentario plioceno-cuaternario, de hasta 800 m de espesor, sobresalen cerros-isla como los cerros Chena y Lonquén. Aunque no visible a la escala del mapa de la figura 1, el borde oriental de esta depresión forma un lineamiento rectilíneo de orientación norte-sur que, inmediatamente al norte de esta área, ha sido interpretado como la traza de la Falla Pocuro. En este lineamiento se han reconocido sedimentos cuaternarios fallados y surgencias de aguas termales alineadas a lo largo de la traza de la falla (Wall et al., 1999). Al sur de El Principal (Pirque), el borde de la cuenca se encuentra aproximadamente a unos 10 km más al oeste de la traza de este lineamiento, posiblemente controlado también, por fallas ocultas. La formación de esta cuenca habría tenido lugar, probablemente, a partir del Plioceno. El estrangulamiento de la depresión hacia el sur del río Maipo es máximo en la localidad de Angostura, en el sector sur del mapa, donde queda dividida en las cuencas de Santiago, al norte, y de Rancagua, al sur. Observaciones a una escala mayor, en el sector de Angostura, revelan que la Depresión Intermedia sufre un cambio de dirección norte-sur, hacia el norte, a una orientación noreste, hacia el sur. En la mitad sur del área, el borde occidental coincide con un sistema de fallas normales de orientación norte-sur a noroeste; sin embargo, no existen suficientes evidencias del papel que podrían haber jugado estas fallas en la formación de la Depresión Intermedia.

2.2.2. Cordillera de los Andes

Extraído y adaptado de Sélles y Gana, (2001)

Cercano a la localidad de Angostura se expone la discordancia entre las formaciones Las Chilcas (Cretácico Inferior) y Abanico (Eoceno?-Mioceno Inferior). Las dataciones efectuadas en ambas unidades revelan un hiatus de casi 90 Ma, que involucra desde la parte superior del Cretácico Inferior al Oligoceno (Sellés, 2000a). Hacia el norte, la Formación Abanico se apoya discordantemente sobre los Estratos del Cordón Los Ratones (Cretácico Superior-Eoceno?). Esta discordancia se reconoce fuera del área, en la cuesta Chacabuco, donde se registra un hiatus de ca. 37 Ma entre las formaciones Lo Valle y Abanico (Gana y Wall, 1997). Al oriente de la localidad de Angostura se exponen depósitos volcánicos y volcanoclásticos de la Formación Abanico, que se disponen de manera homoclinal con manteos de 10 a 25° al este. El nivel inferior de esta formación, constituido principalmente por flujos de lava, se presenta con escasa deformación y solo está afectado por fallas de alto ángulo de orientación noreste a norte-sur. El nivel superior de dicha formación, constituido, predominantemente, por litologías sedimentarias y volcanoclásticas, se encuentra deformado mediante pliegues apretados asimétricos, cuyos flancos occidentales llegan a ser incluso verticales, y sus ejes noreste a norte-sur se pueden reconocer por una decena de kilómetros, en los cordones al sur del río Peuco y hasta el límite sur del mapa. En la parte alta del cerro San Francisco, en tanto, la secuencia se encuentra afectada por fallas inversas de vergencia occidental y pliegues con longitud de onda de centenas de metros. Esta estructura se habría formado, aparentemente, durante una etapa de compresión en el Mioceno Superior, y que habría producido la inversión de la cuenca de la Formación Abanico. La cordillera de los Andes puede ser expresada entre dos dominios, el dominio de Alta Cordillera (DAC), en el cual predominan los depósitos glaciales, coluviales y de remoción en masa; un Dominio de Baja Cordillera (DBC), en el cual predominan terrazas fluviales agradacionales, posiblemente originadas durante períodos glaciales-deglaciales (Ormeño, 2007).

2.2.3. Falla San Ramón

La Falla San Ramón es una falla inversa multikilométrica con orientación N-S y vergencia W la cual genera el alzamiento diferencial entre el Frente Cordillerano y el interior del Cajón del Maipo (Ormeño, 2007). También se le define como la línea donde los sedimentos Cuaternarios y más antiguos de la Depresión Central son cabalgadas por las rocas de la Cordillera Principal de los Andes. Por más de medio centenar fue definida como una falla normal, pero es una importante falla inversa. Se propone su despegue cerca de la base de la cuenca Andina a unos ~12 km o más de profundidad estratigráfica y probablemente localizada cerca de las capas de yeso del Jurásico Tardío. (Armijo et al., 2010).

Esta falla explica un aumento en la tasa de incisión entre las terrazas del río Maipo al indicar evidencias de alzamiento neotectónico en el trabajo de Ormeño (2007), en el cual se observaron los niveles de incisión, las temporalidades de las distintas terrazas del sistema de terrazas del río Maipo e indicadores de desplazamiento cinemático en estas que validan esta propuesta, y en el trabajo de Armijo y compañía del 2010, el escarpe de piedemonte Pleistoceno de San Ramón fue

mapeado en detalle a lo largo de 15 km, y los escarpes de piedemonte más regulares indican un alzamiento promedio de ~60 m, con ocurrencias de lentes de la Ignimbrita Pudahuel, dando así una razón de alzamiento mínima de 0.13 mm/año en los últimos 450 kyr, este valor es cercano a los $0,151 \pm 0,01$ mm/año en la zona del FC registradas por Ormeño, el cual asume una edad de 450 kyr para la terraza T3.

Es por lo anterior y retomando de las conclusiones que estos autores dieron que se expresa que las diferencias en altura entre terrazas son mayores hacia el Este de la traza de la Falla San Ramón.

2.2.4. Terrazas presentes

Las terrazas estudiadas por Ormeño (2007), se presentan desde el DBC hasta la Depresión Central, pero solo en el DBC se observa la totalidad del sistema de Terrazas de San José de Maipo, constituido por cuatro terrazas fluviales agradacionales encajadas entre sí, denominadas, de más joven a más antigua, T1, T2, T3 y T4. Se concluyó que el patrón en abanico de las terrazas fluviales, observado en perfil longitudinal de este a oeste a lo largo del thalweg del río, es compatible con la tectónica inversa en el FC asociada a la Falla San Ramón, y que ha basculado el bloque cordillerano hacia el este.

Dentro del área de estudio, no se encuentra la terraza agradacional T4, pero si están presentes en el sector del frente cordillerano, tanto T3, T2 como T1 y presentan superficies erosivas retrógradas que conforman terrazas que dan lugar a un sistema telescópico de terrazas. Las identificadas, tienen los nombres de más baja a más alta de T2C, T2B, T3D, T3C y T3B (Ormeño, 2007). La expresión más cercana de la terraza agradacional T3 solo está presente al noreste del Cerro La Ballena, fuera del área de estudio.

Sobre las terrazas, Ormeño (2007) las caracteriza de las siguientes maneras:

Terraza T1

Esta terraza se ubica aproximadamente entre 3 y 7 m sobre el nivel actual del río, y un ancho promedio no superior a los 50 m, aunque hay sectores donde se puede encontrar esta terraza con anchos cercanos a los 150 m, encontrando el trecho mejor preservado en el sector de Guayacán. Se encaja tanto en T2 como en T3 a lo largo del curso del río Maipo. La terraza se compone principalmente de sedimentos fluviales, aunque hay sectores en que éstos adquieren características aluviales, lo que indica que esta terraza se formó en un período de tiempo reducido, con grandes descargas, tanto de agua como de sedimentos.

Esta terraza corresponde probablemente a la llanura de inundación subactual – actual, con crecidas del río anormalmente grandes y esporádicas, debido a que hay sectores de esta terraza que presenta abundante vegetación de arbustos y árboles pequeños, y en otros sectores presenta poca a muy poca vegetación.

Terraza T2

La terraza T2 se ubica en toda el área de definición del sistema, tiene una altura variable, donde en el sector del Frente Cordillerano (Las Vizcachas) se ubica en promedio en unos 20m sobre el thalweg, mientras que aguas arriba, en los alrededores de San José de Maipo, presenta una altura aproximada de 12 m. El ancho de esta terraza se encuentra en un rango entre los 50 y 150 m, encontrándose sectores que superan los 200 m. Los depósitos que conforman esta terraza son fluviales, con facies más finas relacionadas a un ambiente de desborde del curso fluvial en la llanura de inundación. No posee gran aporte de depósitos aluviales o de RM por flujos, a diferencia de lo observado en T3.

Esta terraza es interpretada como producto de una agradación, posterior a un período de incisión. La edad de esta terraza es desconocida, aunque por correlaciones tentativas con T2 del sistema El Ingenio – San Gabriel, se puede inferir que esta terraza está relacionada con el LGM (último máximo glacial) la y posterior deglaciación. (Ormeño, 2007)

Sobre este trabajo, las expresiones degradacionales de T2 están fuertemente presentes en toda la explanada aledaña y al suroeste del Puente San Ramón, que une las comunas de Pirque con Puente Alto.

Terraza 3

T3 es la principal terraza del área de estudio, y es donde están edificados los principales asentamientos de la zona. Se encuentra a partir del Frente Cordillerano a lo largo de todo el tramo en el DBC. La altura de esta terraza disminuye a medida que se avanza aguas arriba del Cajón del Maipo. En el sector de Las Vizcachas, T3 tiene una altura promedio de 72 m, mientras que en el sector de San José de Maipo, presenta una altura promedio de 25 m. Esta terraza además es la más ancha de las 4 que forman este sistema, presentando un ancho promedio de 350 m, que en sectores puede extenderse por más de 1 km, especialmente en la zona cercana al Frente Cordillerano. Los depósitos que forman esta terraza son fluviales en la base, de flujos de detritos, de lahar, y lacustre en el techo, en el sector de la confluencia entre los ríos Maipo y Colorado (figura 4 de este trabajo, y llamada Figura 5.9, presente también en Anexo E de Ormeño 2007). Existen escasos depósitos de RM en esta terraza. Hacia la base de la terraza, se encuentra una potente unidad de depósitos fluviales. En el tercio superior, se aprecian cada vez más paleocanales, y finalmente una serie de flujos de detritos. Sobre los flujos de detritos, aparecen sedimentos asociados a un flujo hiperconcentrado, con presencia de pómez soldadas, interpretado como lahar, y sobre éstos, en el sector de El manzano, aparecen tobas correlacionables con los depósitos de cenizas de la ignimbrita Pudahuel. En el sector de la confluencia de los ríos Maipo y Colorado, existen sedimentos de facies finas laminadas, asociadas al desarrollo de un ambiente lacustre. (Ormeño, 2007)

La columna de la figura 5.9 (figura 4 en este trabajo) representa una evolución normal de un evento agradacional de una terraza fluvial, donde la última parte de ésta es cuando el nivel alcanza un nivel de equilibrio, dando paso a la llanura de inundación, ocupada durante eventos aluviales extremos y esporádicos, depositando potentes sedimentos de flujos de detritos. Los depósitos lacustres reconocidos se ubican solamente aguas arriba de la confluencia de los ríos Maipo y

Colorado. Poseen un espesor reducido y poca extensión areal. Se interpretan como producto de un entrapamiento temporal del río Maipo, contemporáneamente al desarrollo de T3, debido probablemente de una remoción en masa que bajó por el río Colorado, que generó una pequeña represa, formando un pequeño y efímero lago aguas arriba de este sector. (Ormeño, 2007).

En la figura 5, se puede observar que las terrazas degradacionales T3B, T3C y T3D son las más altas topográficamente en la zona de estudio si se considera siempre cualquier punto de medición arbitrario con el cual medirlas (un punto aguas arriba va a estar naturalmente más alto que uno aguas abajo). La altura que estas poseen se observa a partir de la numeración que poseen y, la superficie de Pirque está principalmente situada sobre la terraza T3B, mientras que Puente Alto está principalmente situado sobre la terraza T3C, la cual no tiene una extensión bien definida hacia el norte.

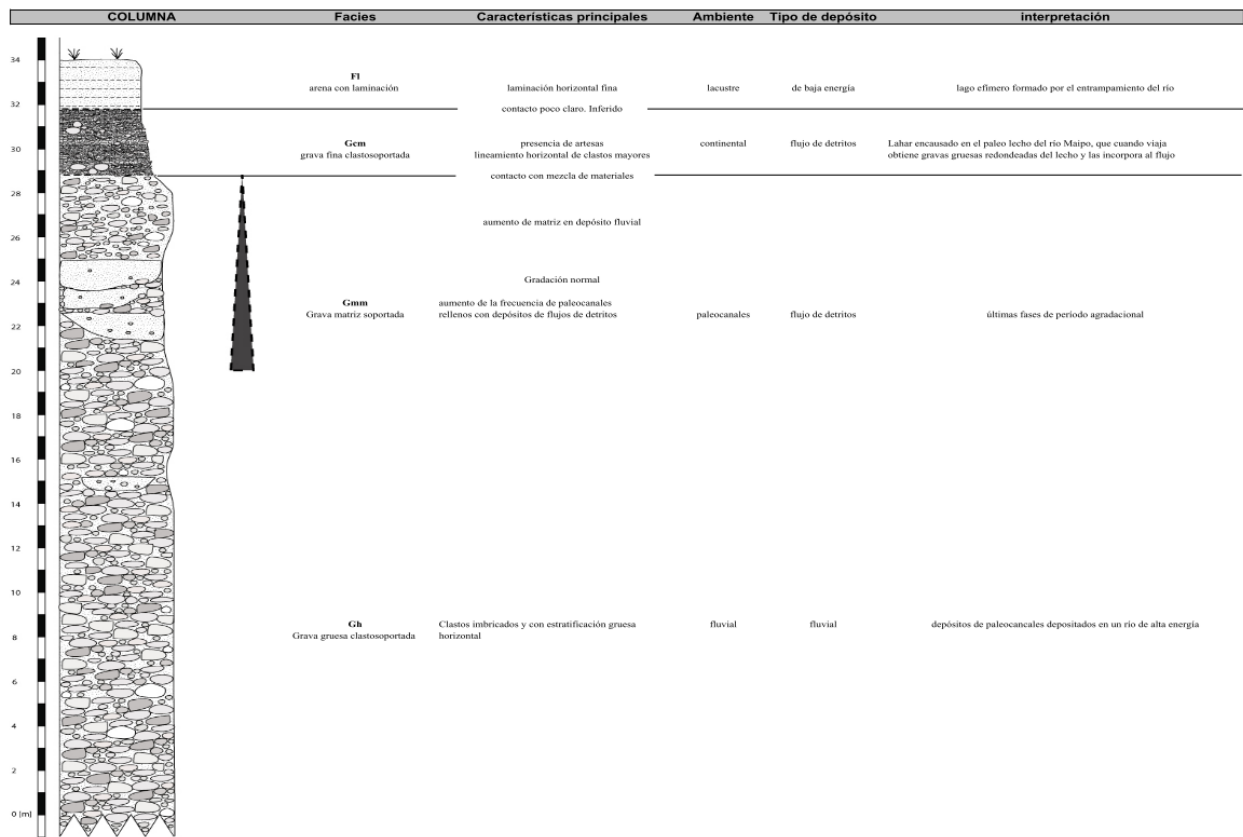


Figura 4: Se observa la nombrada Figura 5.9 extraída en la tesis de Ormeño, (2007). Es la columna estratigráfica que representa la totalidad de las litofacies presentes para la terraza T3 y que muestra el cambio de facies para el proceso de agradación fluvial en la terraza.

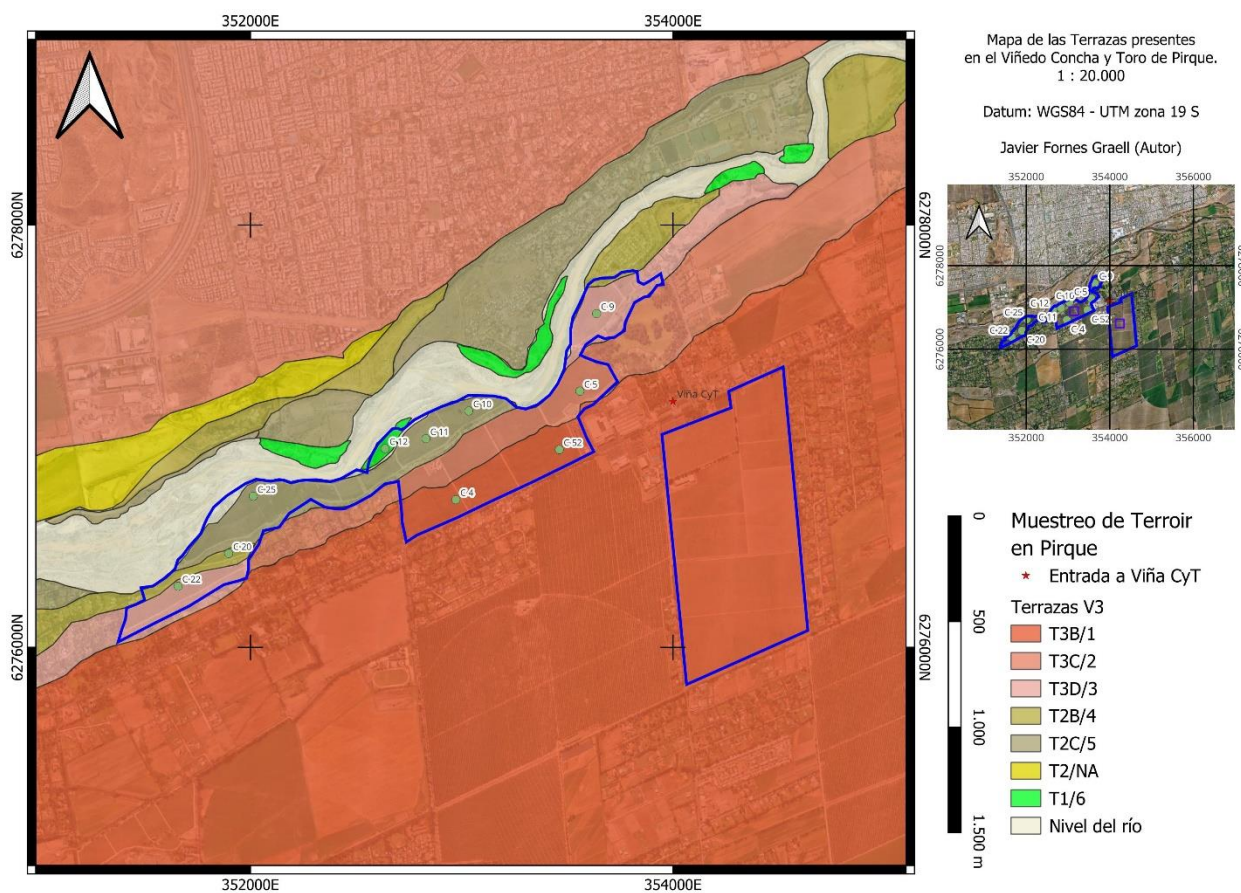


Figura 5: Mapa de las terrazas propuestas en el sitio de estudio (Viña Concha y Toro, y alrededores) a escala 1:20.000. Muestra la presencia de las terrazas agradacionales T2 y T1, en conjunto con las degradacionales T3B, T3C, T3D, T2B y T2C. Además, se enumeran las terrazas de las que se tomaron muestras en numeración del 1 al 6 según altura y pertenencia al tipo de terraza, siendo T3B/1 la más alta topográficamente y la más antigua cronológicamente. Presenta en puntos verdes la numeración de cuarteles utilizada por Concha y Toro y por último, en polígono azul se dispone el área correspondiente a la Viña Concha y Toro entera (Pirque Viejo y Pirque).

3. Caracterización de las terrazas

Dada la ubicación espacial de los cuarteles estudiados sobre las terrazas fluvio-aluviales, se presenta la oportunidad de caracterizarlos acorde a su ubicación y de estudiar sus relaciones estratigráficas con la bibliografía existente.

3.1. Cuarteles

El viñedo Concha y Toro presenta en Pirque Viejo un total de 14 cuarteles, todos tienen plantados la variedad Cabernet Sauvignon la cual es la misma variedad que en el viñedo Don Melchor de Puente Alto. Pirque Viejo posee cuarteles sobre todas las terrazas degradacionales, además de presentar un cuartel sobre la terraza T1 más reciente. En la figura 5 se presenta la disposición de estos con respecto a las terrazas mencionadas. Para este trabajo, se tratarán a los cuarteles con denominación original C22, C20, C25, C11, C12, C10, C4, C52, C5 y C9 como los cuarteles C1,

C2, C3, C6, C7, C8, C9, C11, C12 y C13, respectivamente. El nombramiento es en orden sur a norte dentro del viñedo y de manera numérica ordenada como se puede observar en la figura 6 según el orden de visita y toma de muestra realizadas.

Siendo la toma de muestra realizada al centro del cuartel, un caso excepcional a ello es el denominado cuartel 9 (C9), el cual está inserto entre las terrazas T3B y T3C, siendo su muestra tomada en el centro del área correspondiente a T3B de este cuartel.

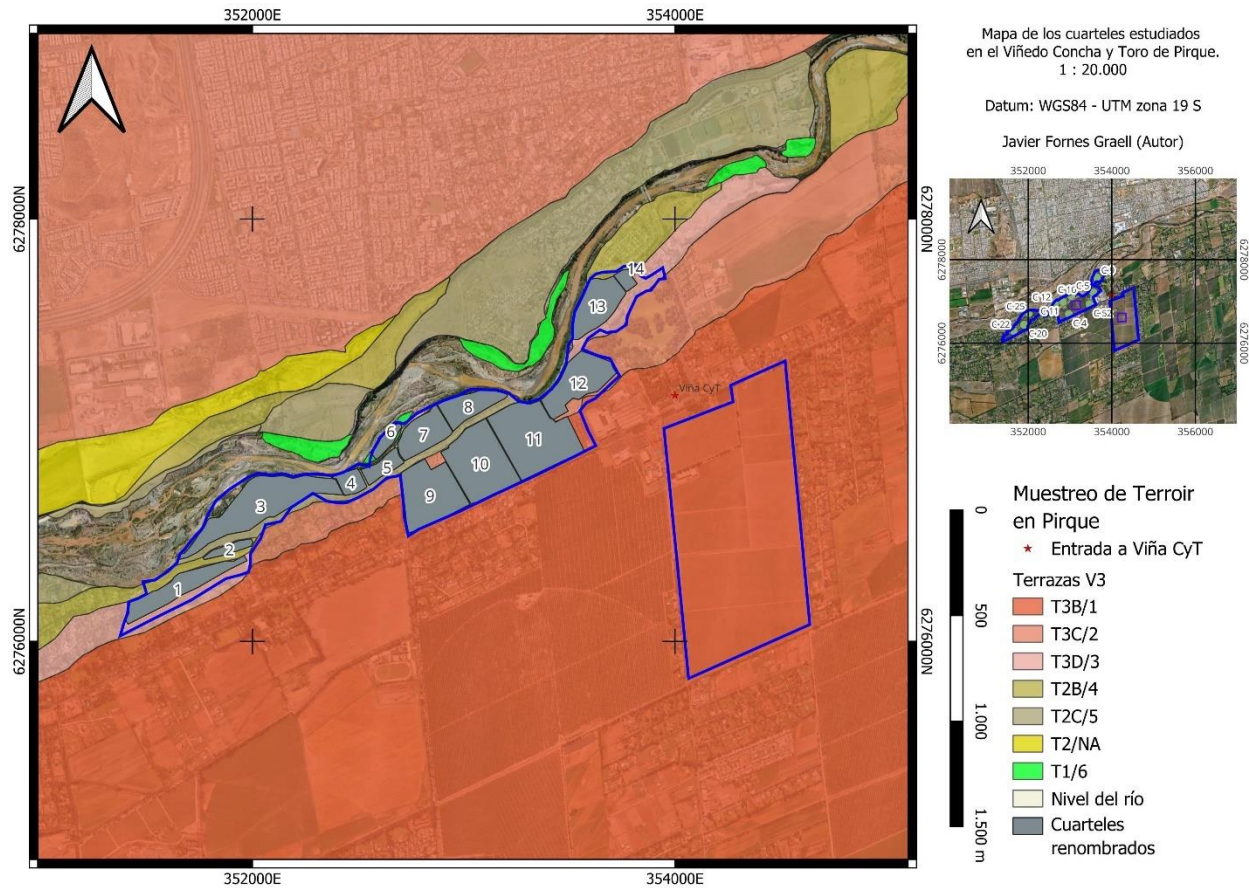


Figura 6: Mapa de los cuarteles estudiados en el área de estudio a escala 1:20.000. Muestra las mismas terrazas que la figura 5. Además, se enumeran los cuarteles de las que se tomaron muestras en numeración del 1 al 14 según orden de toma de muestra. Por último, en polígono azul se dispone el área correspondiente a la Viña Concha y Toro.

3.2. Estratigrafía presente.

Entre los cuarteles C10 y C5, se presenta un escarpe que separa las terrazas T3C y T2C, este se pudo estudiar a detalle gracias a un descenso antrópico presente entre los cuarteles mencionados, otorgando así, una mirada de la estratigrafía local presente y la cual se puede apreciar esquematizada en la figura 4, la cual es una sección particular de la columna presente en el Anexo B. El escarpe muestra la presencia de varios estratos pertenecientes a la transición entre las terrazas T3 y T2, sus procesos de corte y formación. Cabe notar, una vez pasado el nivel del suelo, cualquier

horizonte posiblemente identificable en términos edafológicos es perdido cerca del metro de profundidad, dando lugar a los niveles estratigráficos que se describirán.

A unos 670 m.s.n.m. se presenta el nivel de suelo de la terraza T3C al inicio del descenso. El estrato observado (E1) es un suelo marrón claro a levemente grisáceo, compuesto principalmente de arena fina y limo. En él, se encuentran cuerpos lenticulares de arena fina a media, y los clastos presentes son medianamente esféricos, angulosos a sub-angulosos. Se observa una fuerte meteorización de varios clastos en la fácil disgregación de estos y el tacto “arcilloso” que estos presentan al tacto. Lateralmente, se observa en la base de E1 una variedad en la presencia de los cuerpos lenticulares, estando variablemente presentes en su extensión.

Alrededor de los 80 cm de profundidad con respecto al suelo de C10, E1 tiene un cambio aparentemente neto al Estrato 2 (E2, aunque la continuidad lateral de este cambio no es completamente clara. E2 se presenta como un material marrón rojizo, matriz soportado, bastante cohesionado y notable resistencia al ser apuntalado con el martillo geológico. Visualmente, se le observa compuesto principalmente de arena fina, limo y terciariamente arena media. Posee clastos polimícticos de 4 a 10 cm aproximadamente, poco esféricos y mayoritariamente angulosos. De estos se identificaron presentes tobas líticas rojizas, rocas porfíricas andesíticas grises y minoritariamente, bolones graníticos subredondeados, alterados superficialmente. Los clastos representan menos del 30% del estrato 2.

De manera difusa/leve, E2 adquiere un aumento en la cantidad y tamaño de los clastos, y su matriz llega a la arena gruesa como límite superior. También el sedimento es aún más cohesionado y resistente a ser picado. A este cambio se le determinó como un nuevo estrato (E3). En conjunto con las características previamente mencionadas, E3 posee la distinción notoria con E2 en que sus poblaciones de clastos de mayor tamaño (10 a 20 cm) son predominantemente redondeadas, las de menor tamaño mayoritariamente angulosas y el material sedimentario reacciona fuertemente con HCl, siendo la respuesta de E2 nula o poco notoria.

Alrededor de los 6 metros de profundidad con respecto al suelo de C10, se presenta una disconformidad en la base de E3 que da lugar al Estrato 4. Es un cuerpo estratiforme, de 110 cm de potencia, clastosoportado, compuesto de una matriz gris levemente rojiza de limo a arena gruesa fuertemente magnética. Predominan en E4, un 70% de clastos con respecto a la matriz, siendo estos polimícticos, poco a nulamente esféricos, angulosos a sub-angulosos, alineados/basculados de manera horizontal con tamaños que promedian los 7 cm y más de la mitad de estos son rocas porfíricas (primariamente tobas cristalinas y vítreas).

Subyaciendo a E4, se presenta otra disconformidad que da lugar al Estrato 5 (E5), otro nivel estratiforme, marrón grisáceo, de unos 70 cm de espesor, fácilmente disgregable y polimíctico. Es predominantemente matriz soportado cerca de su techo, siendo limos a arenas medias principalmente, y cercano a su base, la relación clasto/matriz es del 50% aproximadamente, la matriz aumenta granocrecientemente y sus clastos tienen tamaños de entre 4 a 10 cm. Estos últimos,

son preferentemente angulosos, tienen variados grados de alteración y no se observa preferencia por material porfírico.

A la base de E5 se encuentra una disconformidad irregular, aparentemente erosiva, que le separa del Estrato 6 (E6). E6 es un cuerpo de gravas fluviales que está presente como mínimo hasta los 630 m.s.n.m. cómo se puede observar en la columna completa del Anexo B y en la foto A.9 del Anexo A. Según lo observado en terreno, niveles de gravas fluviales están mayoritariamente presentes desde el suelo de C5 hasta el nivel del Río Maipo, con algunas variaciones de barras fluviales, bancos de arena y un notable relleno de paleocanal en la base del estrato (foto A.9). E6 está fuertemente clasto soportado, posee en el escarpe un basculamiento de sus clastos indicando flujo general al suroeste. Estas gravas son ovoides a secundariamente esféricas, redondeadas y poseen un tamaño promedio de 17 cm, pero encontrándose ejemplares por sobre los 25 cm. En los primeros 50 cm se aprecian clastos de tamaños menores que el resto del cuerpo, y una nula presencia de arenas finas o menores en su reducida matriz, la cual es principalmente de arena media a lo largo del espesor de E6, pero se aprecian insertas varias gradaciones normales entre arenas finas-limos a arenas gruesas. El paleocanal en la base de E6 presenta aparente continuidad hacia el suroeste según fotos A.7, a A.11 y la expresión de este en el borde de la ribera sur de C7, el cual presenta niveles de suelo con grietas de desecación y está en lineamiento con A.7 y A.9

Aparte de la caracterización estratigráfica del escarpe estudiado, hacia el norte del viñedo, el borde noroeste entre C13 y C14 a unos 667 m.s.n.m. presenta una transición entre sus estratos más superficiales desde flujo de detritos a fluvial similar a un cambio directo entre E2/E1 a E6. Al borde sureste de estos dos cuarteles, la ladera existente se presenta notoriamente como material matriz soportado similar a E2, pero con un aumento leve del redondeamiento de sus clastos y la presencia de restos de ejemplares de *Gastropoda indet.* (Anexo A.3). De manera similar al sur, en el borde noroeste de C1, en el camino de descenso cerca de los 645 m.s.n.m. se observa también una transición de material detrítico a fluvial. Los cuarteles C2, C3, C4, C5, C6, C7 y C8 se caracterizan por ser terrazas con variaciones laterales entre gravas fluviales y barras de arena, siendo el cuartel 2 uno en transición entre C1 y C3 a 647 m.s.n.m. en promedio. Por último, el cuartel 6 se presenta compuesto mayoritariamente arenas poco consolidadas y estando topográficamente separado del resto de cuarteles.

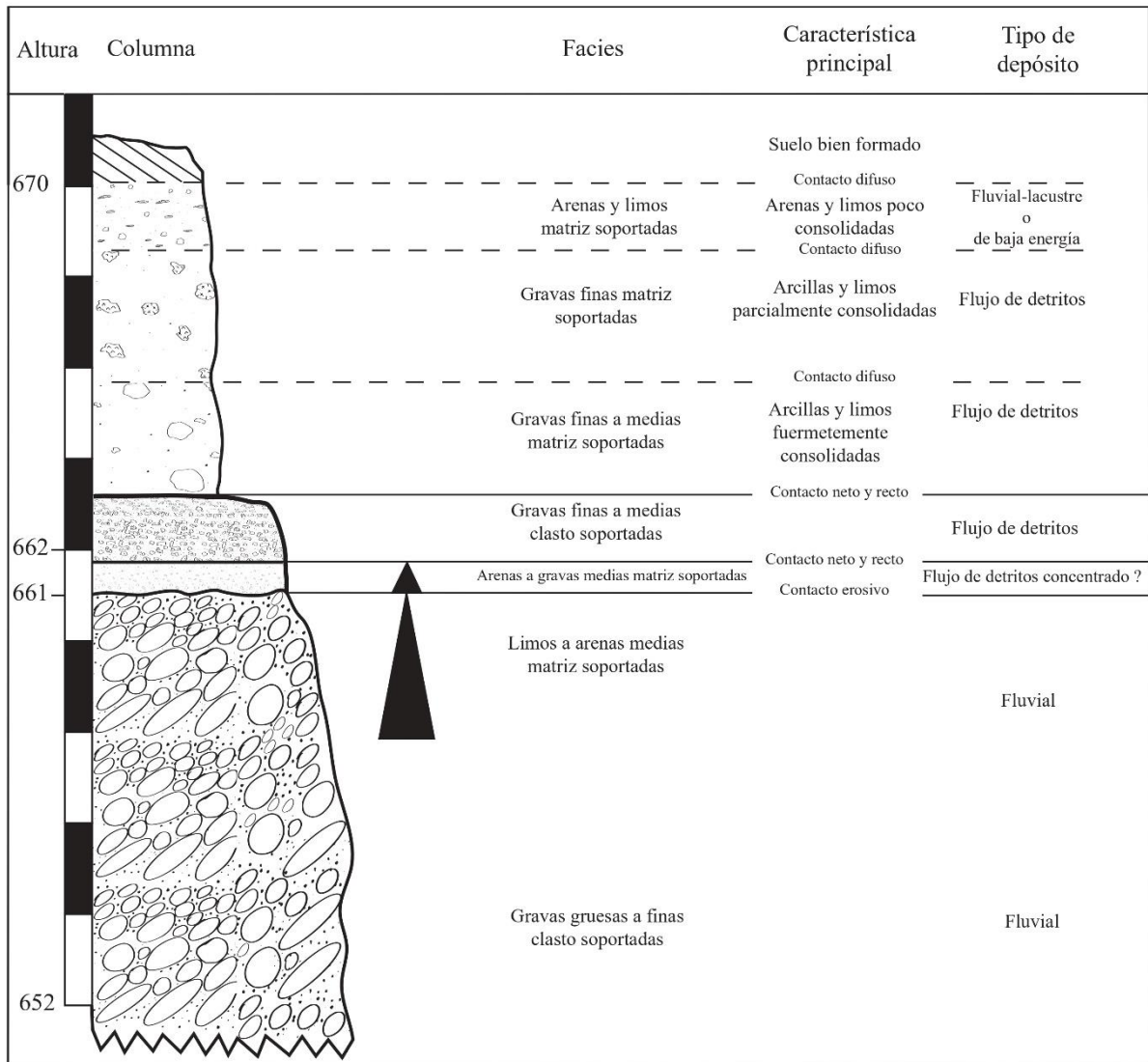


Figura 7: Recortado de la columna estratigráfica del escarpe presente entre C10 y C5 presentada en el Anexo B. La columna presenta los 6 estratos existentes y sus correlaciones de corte, además de una breve descripción de su tipo de depósito asociado, facies y gradaciones.

3.3. Granulometría física

Gracias a los trabajos en el taller de Sedimentología de la universidad y al análisis granulométrico de ALS, se obtuvieron las relaciones granulométricas presentes en la zona de estudio.

Con respecto a la clasificación textural de los suelos, estos se presentan en la figura 8, en la que se observan los extremos de la clasificación del suelo muestreado, siendo desde francosa hasta la arenosa, y los miembros extremos de esta variación los cuarteles C8 y C3 respectivamente.

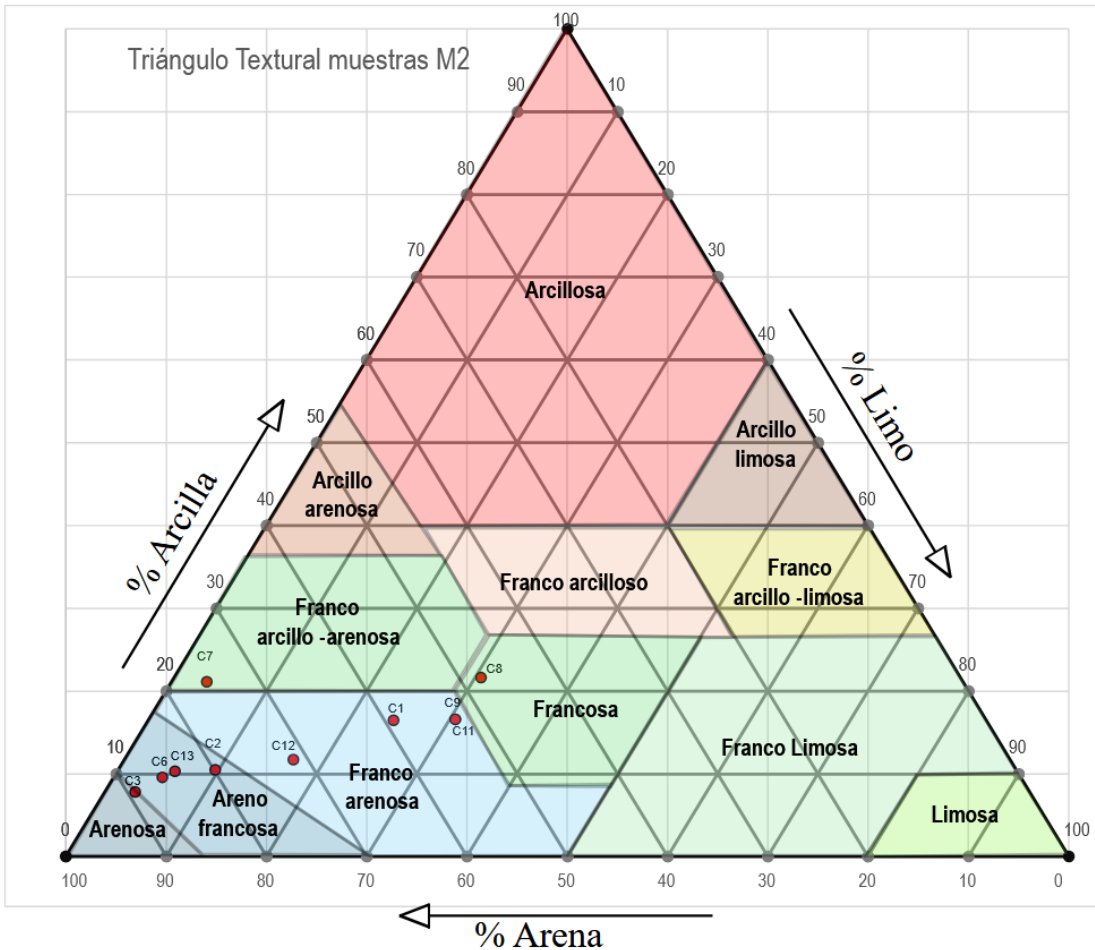


Figura 8: Gráfico ternario con las clasificaciones texturales de cada cuartel muestreado, en punto rojo, los valores clasificados para cada cuartel (nombre arriba de cada punto). Modificado de Groenendyk et al., (2015)

Al observar en detalle cómo se distribuyen estos suelos con respecto a sus terrazas, se pueden notar en la figura 9 que, dentro de cada unidad morfoestratigráfica, conforme se disminuye en altura, se presentan mayores porcentajes de arenas en el suelo.

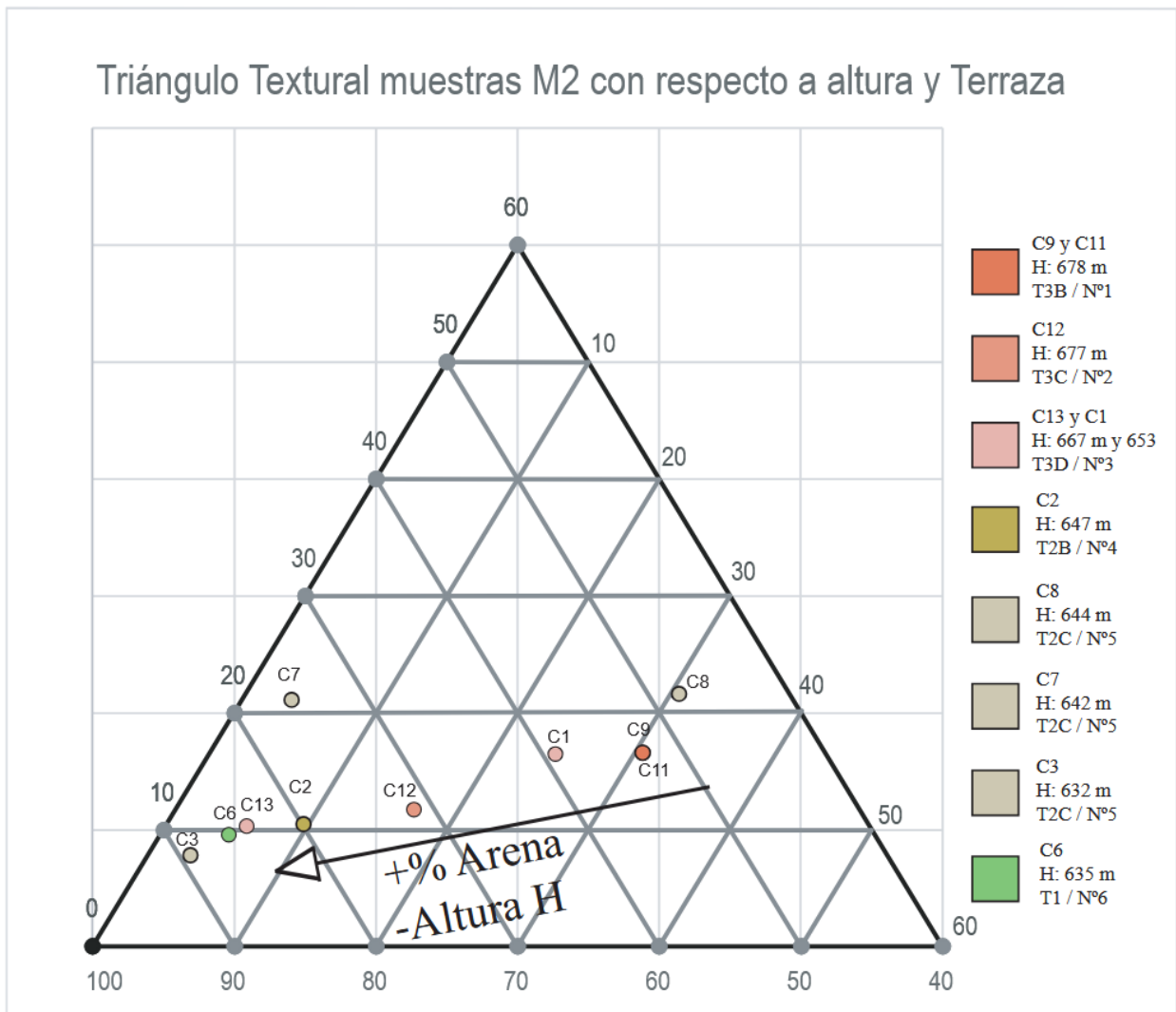


Figura 9: Gráfico ternario con las clasificaciones texturales de cada cuartel y mostrando la variedad de alturas y terrazas presentes en el viñedo a partir de la coloración de cada punto la cual es la misma que en la leyenda disponible. Se observa un aumento del % de Arena conforme disminuye la altura y las terrazas se presentan más actuales. Modificado de Groenendyk et al., (2015)

En conjunto con los resultados anteriores, se pueden comparar las curvas obtenidas durante los trabajos realizados en el Laboratorio de Tamizaje y por el laboratorio de ALS descritas en 1.4.1.3.1 en el respecto de las distintas curvas de porcentaje y acumulación en función de ϕ .

En las figuras 10 y 11, se comparan las curvas de porcentaje por fracción y valor phi de cada cuartel, notar que no presentan los mismos valores de ϕ entre ellas por las diferencias en instrumentación. Con esas diferencias en mente, cabe notar que ambos gráficos muestran un notorio descenso en el porcentaje inmediato en valores cercanos a $\phi=0$ y $\phi=-1$. Se observan también, porcentajes más altos en las muestras M1 de los valores de arena gruesa a arena fina ($\phi=[0,2]$).

De la figura 10, se puede notar que en su extremo de $\phi > 3,737$ se tienden a presentar los cuarteles más antiguos (y más altos topográficamente) con mayores porcentajes que los cuarteles más recientes, teniéndose de excepción notoria el cuartel 6, el cual posee el segundo valor más alto de $\phi > 3,737$.

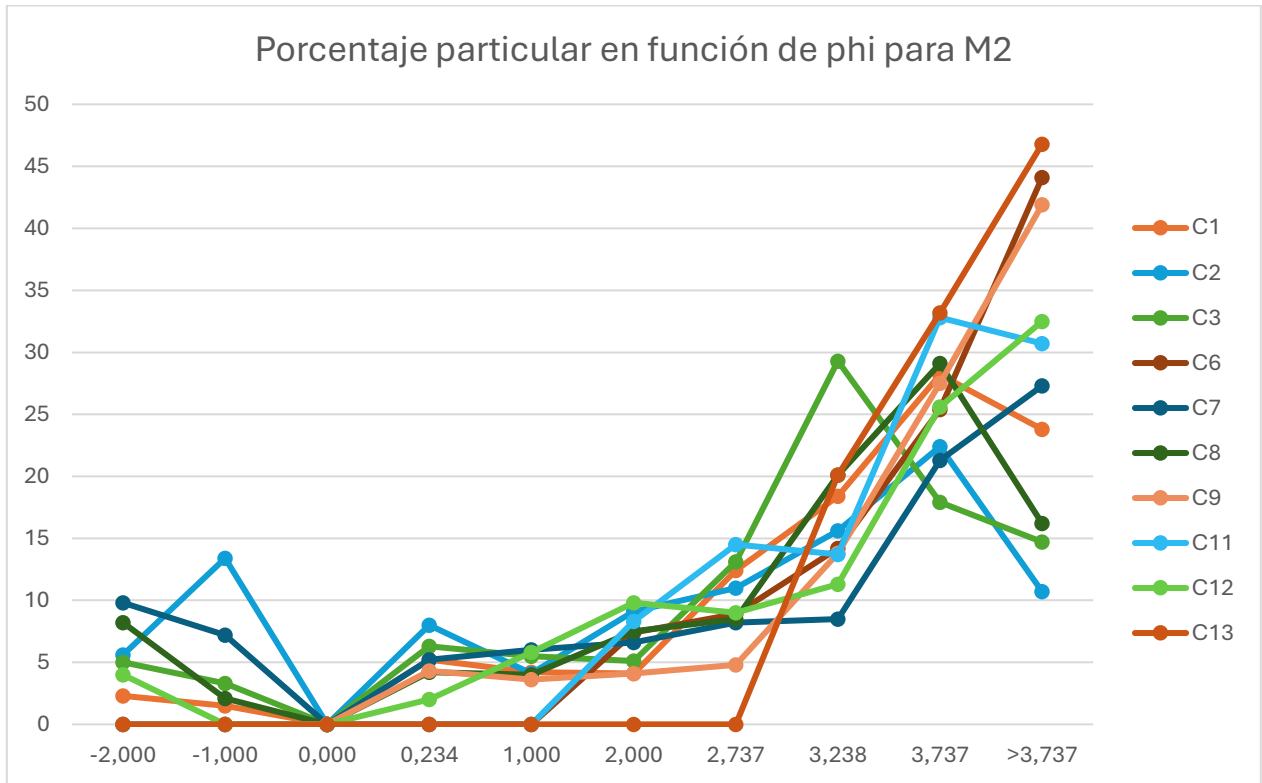


Figura 10: Gráfico de valores porcentuales (eje Y) con respecto al valor Phi ϕ en particular de las muestras M1 trabajadas por ALS. Los valores de ϕ están determinados por la granulometría utilizada por la empresa.

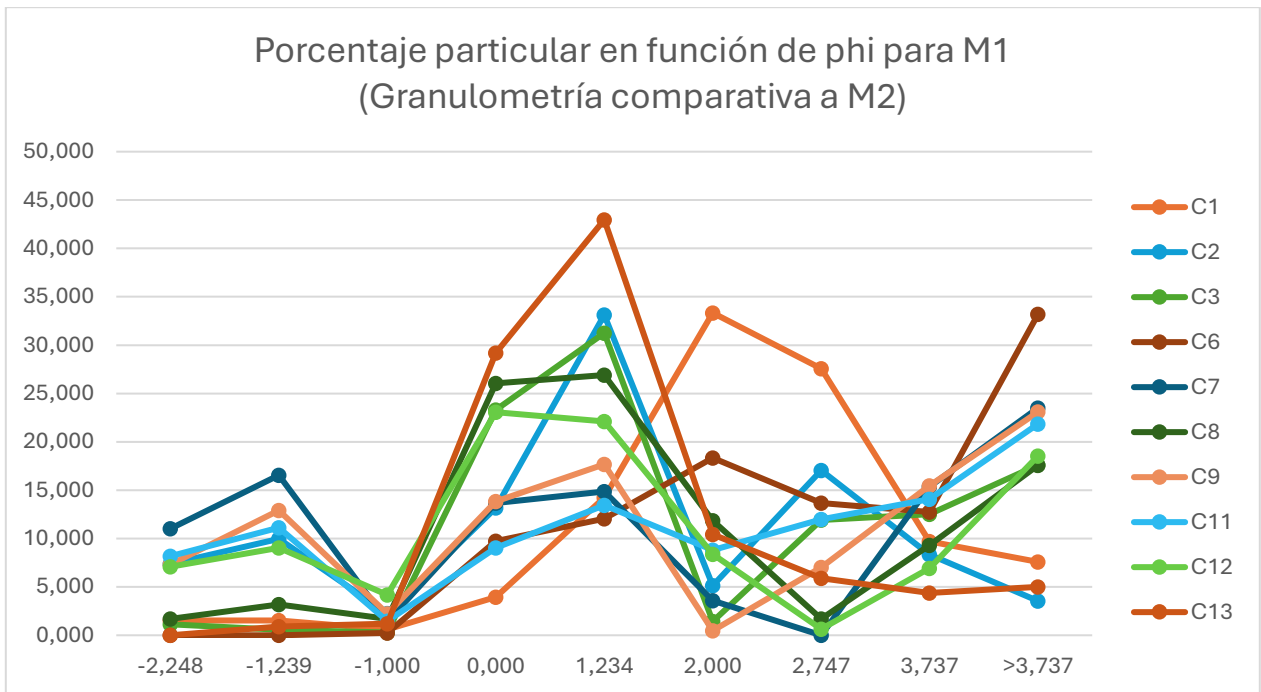


Figura 11: Gráfico de valores porcentuales (eje Y) con respecto al valor Phi ϕ en particular de las muestras M2 trabajadas en 1.4.1.3.1. Los valores de ϕ están determinados por la granulometría disponible utilizada en el laboratorio.

En la figura 12 es más notoria la presencia alta de fracciones pequeñas en los cuarteles más antiguos y se observa un ordenamiento en el que las fracciones de los cuarteles “tienden” a mantenerse en su posición relativa (C2, C7/C3, C3/C7, C8, C1, C12, C9, C11, C6 y C13) mientras que en la figura 13, se pueden notar cuarteles con valores altos en sus granulometrías bajas tanto para varios antiguos como algunos nuevos.

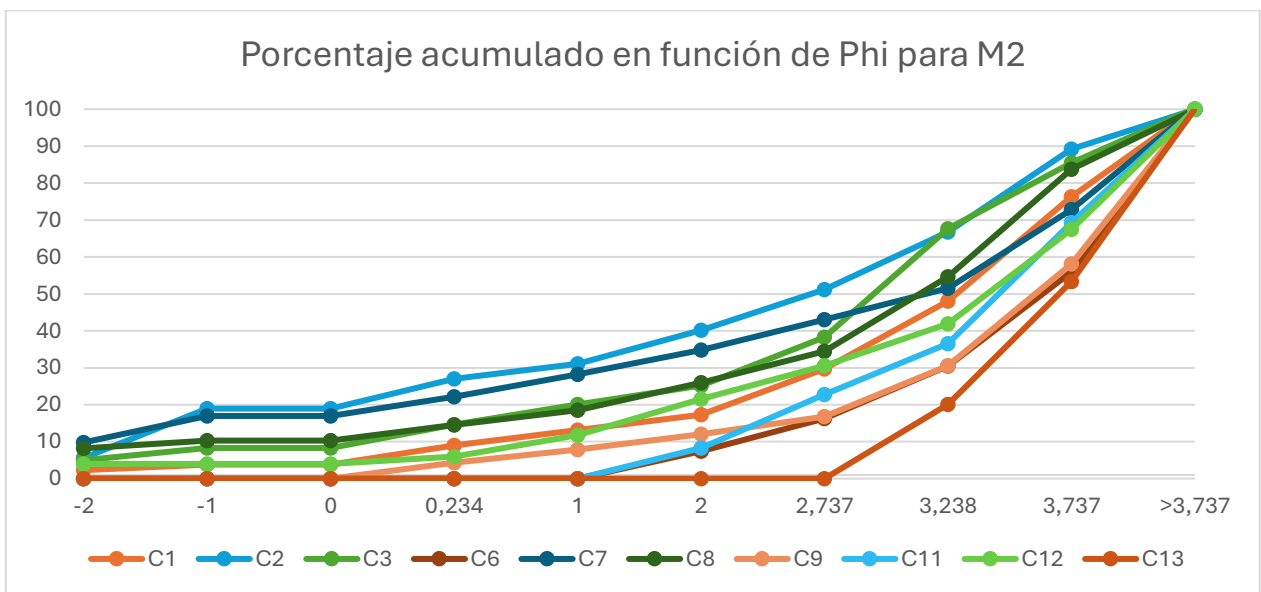


Figura 12: Gráfico de valores porcentuales acumulados (eje Y) con respecto al valor Phi ϕ de las muestras M1 trabajadas por ALS descritas en 1.4.1.3.1. Los valores de ϕ están determinados por la granulometría disponible por la empresa.

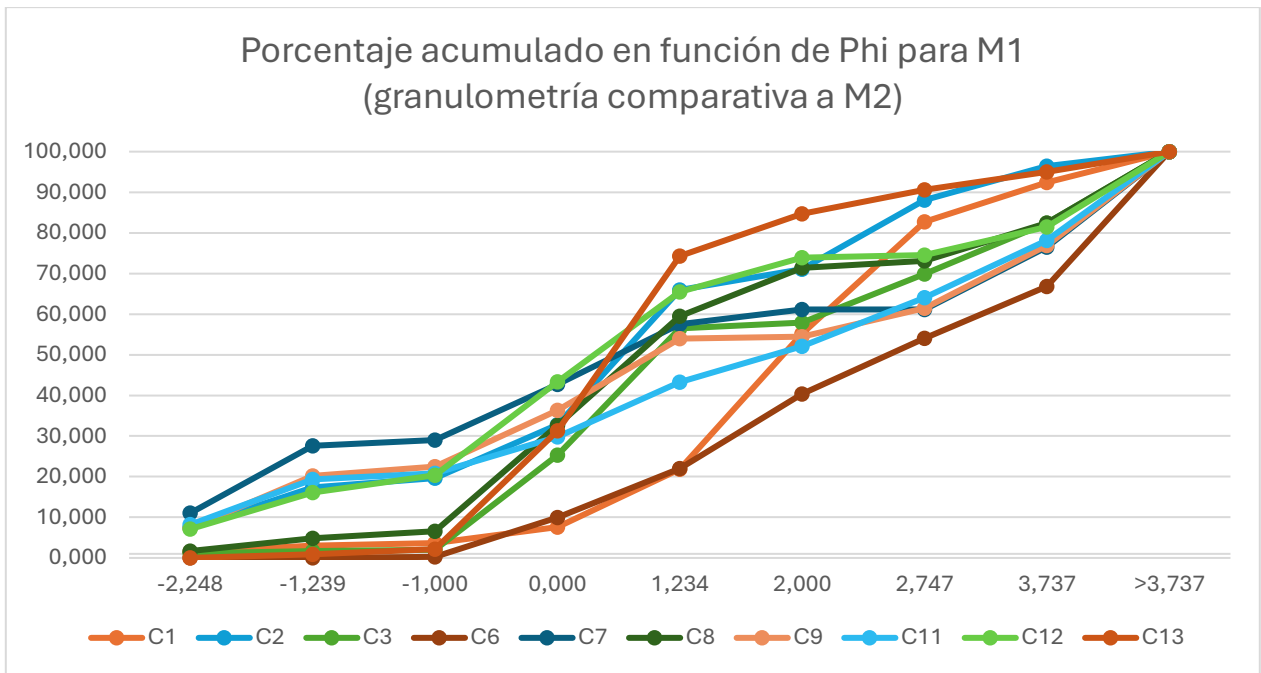


Figura 13: Gráfico de valores porcentuales acumulados (eje Y) con respecto al valor Phi ϕ en particular de las muestras M2 trabajadas en 1.4.1.3.1. Los valores de ϕ están determinados por la granulometría disponible utilizada en el laboratorio.

3.4. Mineralogía de las muestras

3.4.1. Difracción de Rayos X

Gracias a la metodología desarrollada para el procesamiento de los datos de difracción en las muestras M2, se pudieron obtener 33 fases minerales reconocidas por el software “Profex”, el cual, calcula a partir del análisis semi-cuantitativo, una concentración porcentual de las distintas fases minerales.

Las fases minerales utilizadas son: cuarzo, oligoclasa, bytownita, esmectita, vermiculita, muscovita, hematita, illita, actinolita, ortopiroxeno, clinopiroxeno, calcita, titanita, nefelina, mordenita, estilbita, clinoptilolita, cordierita, hornblenda, casiterita, cianita, biotita, clorita, apatito-F, sanidina, caolinita, dickita, lepidocrocita, clinozoisita, labradorita, goethita, magnetita y el metafosfato de potasio el cual se asume es un componente antrópico.

Y estas fueron agrupadas en los grupos presentes de las siguientes 3 tablas, a partir de sus características mineralógicas, estructura, relación antrópica y composición.

La agrupación de “Feldspatos” incluye a la oligoclasa, bytownita, sanidina y labradorita. De los anteriores, se reconoce el hecho de que la sanidina es un feldespato alcalino, en comparación con el resto de las plagioclasas estudiadas.

Las agrupaciones de los filosilicatos esmectita, vermiculita, biotita, muscovita, clorita, illita y el grupo de la caolinita están relacionados con las distintas estructuras de estas variadas arcillas y sus estructuras cristalinas, las cuales difieren en sus grupos según sus cationes “T”, que son cationes “hexagonales” como Si^{4+} , Al^{3+} y Fe^{3+} coordinados con 6 oxígenos y los cuales están enlazados con cationes octaédricos de Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} y Fe^{2+} por sus bordes. Estos últimos a su vez, forman capas simétricas hexagonales o pseudo-hexagonales según la posición y enlace del octaedro “OH” u “ Ox_6 ” y se les llama también como capas “O”. Las capas tipo “O” que posean todos los 6 sitios de enlace de sus octaedros ocupados se les llama trioctaédricos. En cambio, si 4 de los 6 sitios están ocupados, se les llama dioctaédricos. (Brigatti et al., 2013). Es según las estructuras de capas T y O, y el tipo de capa O, que se separaron los distintos grupos de arcilla.

Esmectita dentro de Profex poseía su propio archivo manejable y por tanto, su área asociada dentro del refinamiento realizado, aun así, durante el proceso de búsqueda previa fue encontrada en varias ocasiones, la posibilidad de incluir los minerales como montmorilonita y nontronita, los cuales pertenecen a la clasificación de esmectita según la “*Society of Science*” canadiense (Krzic et al., 2021). A pesar de que la esmectita, vermiculita, moscovita y biotita sean todas micas de estructuras tipo 2:1, poseen diferencias composicionales importantes y entre sí poseen también diferencias en sus capas O, y en los espacios entre capas, lo que genera la necesidad de separación para las mismas.

De forma similar a esmectita, la caolinita posee su propio archivo de trabajo, pero este no se traslapa tan fuertemente con la dickita, por lo cual, debido a sus mismas estructuras 1:1 de T y O, se les reúne como mismo grupo para efectos de conteo porcentual.

Y están los casos de los grupos de la clorita y la illita; la clorita es el grupo de filosilicatos de estructura 2:1:1, ningún otro candidato presenta ese tipo de estructura y a pesar de que la Illita es un mineral con estructura 2:1, en los trabajos recopilados por (Brigatti et al., 2013), promueven la separación de la illita de minerales como la moscovita a partir de: no poseer capas expandibles, variedad de composiciones químicas, presentar una población de cationes entre capas de (80%) K^+ y moléculas de agua, además de presentar un mayor porcentaje de capas trans-vacantes que cis-vacantes y desorden rotacional. Aun así, no niegan la similitud de este mineral con la moscovita.

En las agrupaciones de Anfíboles y Piroxenos se encuentran la actinolita y la hornblenda (entendiendo de igual forma a la hornblenda como una denominación de nombre para el grupo de anfíboles cálcicos en los que se pueden encontrar a la magnesio-hornblenda, la ferro-hornblenda entre otros (Hawthorne et al., 2012)). Y se tiene a Piroxenos como la agrupación general de tanto ortopiroxenos como clinopiroxenos.

Las Zeolitas se consideran como la agrupación de estilbita, mordenita y clinoptilolita. En Epidota, se refiere a la variedad de clinozoisita. En el grupo de óxidos de hierro se agrupan a la magnetita, hematita, goethita y lepidocrocita por su composición química. A la casiterita y a la titanita se les reúne en un solo grupo debido a sus bajas concentraciones, fórmula química y al aporte que pueden proveer de sus elementos principales. La nefelina es un feldespatóide y por lo mismo es separada del grupo de los feldspatos ya descrito. Finalmente, el resto de las agrupaciones son fases minerales individuales. Los gráficos tipo “Pie” de cada uno de los cuarteles se observan en el Anexo E (figuras E1 a E10).

Concentraciones minerales por Cuartel obtenidas vía DRX.

Cuarteles	Cuarzo	Feld's	Anfiboles	Piroxenos	Calcita	Zeolitas	Apatito	Epidota
C1	8,72	39,46	6,65	0,71	2,94	9,22	1,45	1,39
C2	7,65	41,11	5,29	0,46	0,41	11,16	0,68	1,62
C3	8,16	41,59	8,03	0,29	1,85	6,28	0,97	1,68
C6	9,06	40,98	11,3	1,1	4,1	5,49	0,35	2,01
C7	9,86	44,08	4,38	3,2	1,76	3,75	0,46	1,62
C8	7,73	41,04	6,08	1,85	1,51	7,6	1,12	1,33
C9	10,19	37,21	10,07	0,92	1,7	5,59	0,99	2,89
C11	12,64	44,55	8,22	2,8	2,31	4,14	0,68	1,68
C12	7,66	37,89	11,69	0,15	1,49	10,64	1,26	0,68
C13	7,53	46,02	12,27	0,47	0,71	5,27	0,26	2,04
Promedio	8,92	41,39	8,4	1,2	1,88	6,91	0,82	1,69
Desv. Estandar	1,53	2,69	2,67	1,02	1	2,49	0,38	0,54
Q1	7,66	39,07	5,88	0,42	1,3	4,99	0,43	1,38
Q2	8,44	41,08	8,13	0,81	1,73	5,94	0,83	1,65
Q3	9,94	44,2	11,4	2,09	2,47	9,57	1,15	2,02
Q4	12,64	46,02	12,27	3,2	4,1	11,16	1,45	2,89

Tabla 1: Tabla de concentraciones porcentuales de los minerales especificados (Qz, Fds, Anf, Px's, Calc, Zeol, Ap y Ep) junto con valores estadísticos de cada uno de estos considerando todos los cuarteles. La coloración de celda está considerada según la terraza a la que pertenece cada cuartel. En el Anexo E se poseen los gráficos tipo “Pie-chart” realizados para cada cuartel según los resultados de las tablas 1, 2 y 3.

Cuarteles	Esmectita	Vermiculita	Moscovita	Biotita	Clorita	Grupo Caolinita	Ilita
C1	7	0,36	0,9	0	5,08	5,43	0,7
C2	8,73	1,42	2,8	0	0,21	10,3	1,5
C3	7,73	1,23	2,9	0	2,97	10,15	0,23
C6	3,32	0,65	0	0,55	2,64	6,45	2,2
C7	9,06	1,2	4,9	0	1,74	8,21	0,6
C8	5,05	1,54	0,9	0,56	2,72	10,59	2,2
C9	5,29	0,64	0,12	0	1,83	10,75	2,9
C11	4,01	0,46	0	0,22	2,33	11,16	0,32
C12	5,05	0,69	1,9	0	0,98	11,18	0,3
C13	2,83	2,97	0,48	1,3	2,59	10,25	0,19
Promedio	5,81	1,12	1,49	0,26	2,31	9,45	1,114
Desv. Estandar	2,1	0,73	1,53	0,41	1,23	1,94	0,951916
Q1	3,84	0,59	0,39	0	1,55	7,77	0,315
Q2	5,17	0,95	1,195	0	2,46	10,28	0,825958
Q3	7,98	1,45	2,125	0,55	2,78	10,85	1,675
Q4	9,06	2,97	4,9	1,3	5,08	11,18	2,9

Tabla 2: Tabla de concentraciones porcentuales de los minerales especificados (Smec, Verm, Musc, Biot, Chl, Kaol e Ilita) junto con valores estadísticos de cada uno de estos considerando todos los cuarteles. La coloración de celda está considerada según cada columna mineral y los valores máximos y mínimos.

Cuarteles	Ox's de Fe	Metales (Ti+ Sn)	Nefelina	KPO3	Cordierita	Cianita
C1	1,07	0,75	0	3,83	0	2,08
C2	1,03	0,08	0	3,34	0	0,14
C3	0,95	0,24	0,04	2,23	0,21	0,5
C6	0,45	0,46	0,003	3,28	0	2,78
C7	0,84	0,49	0	1,09	0,79	0,88
C8	0,77	0,62	0	2,98	0,19	0,64
C9	0,71	0,25	0	0,71	0,34	2,47
C11	1,24	0,27	0	0,93	1,73	0
C12	1,32	0,36	0	3	0,66	2,51
C13	1,23	0,4	0	1,63	0,08	0
Promedio	0,96	0,39	0	2,3	0,4	1,2
Desv. Estandar	0,26	0,19	0,01	1,08	0,52	1,07
Q1	0,75	0,25	0	1,05	0	0,11
Q2	0,99	0,38	0	2,61	0,2	0,76
Q3	1,23	0,52	0	3,3	0,69	2,48
Q4	1,32	0,75	0,04	3,83	1,73	2,78

Tabla 3: Tabla de concentraciones porcentuales de los minerales especificados (Óxidos de Fe, Casiterita y titanita para metales de Sn y Ti, Nefelina, KPO₃, Cord, Kya) junto con valores estadísticos de cada uno de estos considerando todos los cuarteles. La coloración de celda está considerada según cada columna mineral y los valores máximos y mínimos.

3.4.2. Resultados por lupa binocular

A partir de la observación con lupa binocular, se dilucidaron los porcentajes minerales de los minerales observables a 500 μ gracias a sus propiedades diagnósticas observadas, las cuales se presentan en las figuras 14 y 15. En todos los cuarteles, se observaron variables cantidades de cuarzo, feldespatos (potásicos y plagioclasa), biotita, anfíboles, magnetita, epidota y calcita, además de cantidades importantes de líticos, fragmentos de masas fundamentales y/o matriz de variadas coloraciones, los cuales, en ocasiones se observaron con algunos de los minerales mencionados o con masas amorfas de propiedades similares a los ya mencionados (i.e. un lítico que presente un cuerpo amorfo adosado con brillo metálico/sub-metálico y notable magnetismo se asumirá como un lítico con magnetita).

En conjunto con los mencionados, ciertos cuarteles mostraron la presencia de minerales como calcita y sericita, también variadas cantidades de óxidos y meteorización, fragmentos de conchas y vidrios posiblemente antrópicos. Las macrofotografías de 8 de los 10 cuarteles muestreados se presentan en el Anexo C.

Las descripciones de las observaciones realizadas para cada cuartel se proveen en adelante:

Cuartel 1: Posee granos sub-angulosos a sub-redondeado, siendo también uno de los cuarteles con fragmentos de conchillas, aunque estas se observan notoriamente redondeadas. Sus líticos son principalmente grisáceos, con anaranjados y rojizos de manera secundaria, y la mayoría de los fragmentos rojizos y grisáceos se observan más redondeados; se observan algunos fragmentos de pómez muy angulosos. Cuarzo y los feldespatos observados son principalmente incoloros y blanquecinos lechosos, y tienden a ser sub-angulosos. (Anexo C1)

Cuartel 2: Una gran mayoría de sus granos se presentan con una capa de aparente óxido, siendo estos de color amarillo y marrón principalmente, sobre granos principalmente grises y angulares a sub-angulares, los cuales presentan magnetismo notorio. No se observan claros fragmentos de pómez y algunos fragmentos de líticos porfíricos muestran algunos cristales tabulares máficos que no se distinguen si son piroxenos o anfíboles. Los tectosilicatos encontrados (Qz y Fds) se presentan o insertos en masa fundamental o poseen fracturas irregulares. (Anexo C2)

Cuartel 3: Este cuartel presenta en su granulometría, poblaciones de líticos máficos subredondeados con pátinas de óxido amarillo marrónáceo y líticos más félsicos en general subangulosos. También se observan restos de conchillas, notablemente de *Gastropoda indet.* Presenta fragmentos de Qz incoloro y también de tonalidades amarillentas fracturados de manera concoidea. Se identificó un microplástico notoriamente verde presente en (Anexo C3). Por último, se observaron fragmentos blanquecinos con oquedades y otros con texturas más porosas, los cuales se les asocian con pómez.

Cuartel 6: Los granos dispuestos se muestran subredondeados a subangulosos. Los fragmentos líticos presentan tonalidades grises y oscuras mayoritariamente, con signos de oxidación. La magnetita presente se encuentra como parte de los granos en masas amorfas. (Anexo C4)

Cuartel 7: Presenta una notoria cantidad de material orgánico en forma de hojas y ramas secas, presenta cantidades homogéneas de granos subangulosos a subredondeados. Se denotan dos tonalidades principales de líticos, rojizos y grisáceos, estos últimos presentan menor cantidad de cristales de plagioclasas que los rojizos, además de ser preferencialmente magnéticos.

Cuartel 8: Este es otro de los cuarteles en los que se presentan restos de conchillas (notoriamente trituradas). Sus granos se presentan subangulosos a subredondeados de manera similar a C7 y se destaca la presencia de epidota en granos singulares. De igual manera a C7, presenta las poblaciones de líticos rojizos y grisáceos previamente descritos y los feldespatos presentes se encuentran de coloraciones rosáceas a amarillentas, indicando posible oxidación de estos. (Anexo C5)

Cuartel 9: Se observa un leve aumento del tamaño en los granos observados. Estos son principalmente subangulosos y se presentan líticos grisáceos, rojizos y marrónáceos. Los cuarzos muestran coloraciones amarillentas internas indicando impurezas y algunos están fracturados concoideamente. Los máficos como la magnetita se presentan con distintos grados de oxidación y

muchos de ellos se observan como masas amorfas. Algunos líticos notoriamente angulosos y gris claro se presentan, los cuales podrían ser fragmentos de pómez.

Cuartel 11: Los granos se observan mayoritariamente sub-angulosos, con respecto a los fragmentos de cuarzo se observan de variados tamaños, fracturados concoidea e irregularmente y con coloraciones amarillentas que sugieren impurezas. Los líticos presentan coloraciones grises, rojizas y marronáceas, también se les observan plagioclasas insertas, las cuales presentan sericita en cantidades variables asociadas a brillos nacarados y coloración blanquecina. Las biotitas encontradas poseen bordes meteorizados. (Anexo C6)

Cuartel 12: Al igual que C11, los granos en esta fracción se presentan principalmente sub-angulosos. Sus líticos presentan tonalidades rojizas, amarillentas y grisáceas, estos últimos poseen una textura porosa sugiriendo fragmentos de pómez, además de poseer varios minerales fracturados, tabulares, con clivajes de 90°, perpendiculares entre sí y rojizos, sugiriendo piroxenos pero estos no son lo suficientemente abundantes para ser contabilizados. Al igual que C11, presenta cuarzo con variables tonalidades amarillentas. También feldespatos de coloraciones rosáceas y blanquecinas lechosas (indicando aparente alteración por oxidación de estos), en ellos también se observan brillos asociados a sericita. Se identificó también un cuerpo circular a ovoide parcialmente fracturado con un patrón de relieve homogéneo y radial, el cual presenta un brillo vítreo o graso, el cual es posiblemente polen del género *Portulaca*, y su especie sea muy probablemente *oleracea*, la cual está mundialmente distribuida en el mundo (en (*Portulaca Granulatostellulata* - Atlas Digital de Semillas de las Islas Canarias (ADSIC), s. f.) se puede encontrar un ejemplar de pólen de *Granulatostellulata*, la cual no está mundialmente distribuida). Su foto correspondiente se puede observar en el Anexo C.7

Cuartel 13: Granos mayoritariamente subangulosos, con poblaciones de subredondeados. Los fragmentos líticos son principalmente oscuros y grisáceos, con una menor proporción de tonalidades rojizas. La magnetita se presenta principalmente en masas amorfas en los granos. La mayoría de los minerales exhiben pátinas de alteración por óxidos, y en algunos casos se evidencia un color anaranjado intenso de estas pátinas. Se notifica un mineral azuláceo, amorfo, mate, el cual podría ser cianita o fluoroapatito según los posibles candidatos de la sección pasada, su grano asociado no es magnético por lo que se descarta magnetita, posiblemente adosado a un lítico. Estos se pueden observar en el Anexo C8.

**Porcentajes minerales en Lupa Binocular
(C1, C2, C3 y C6)**

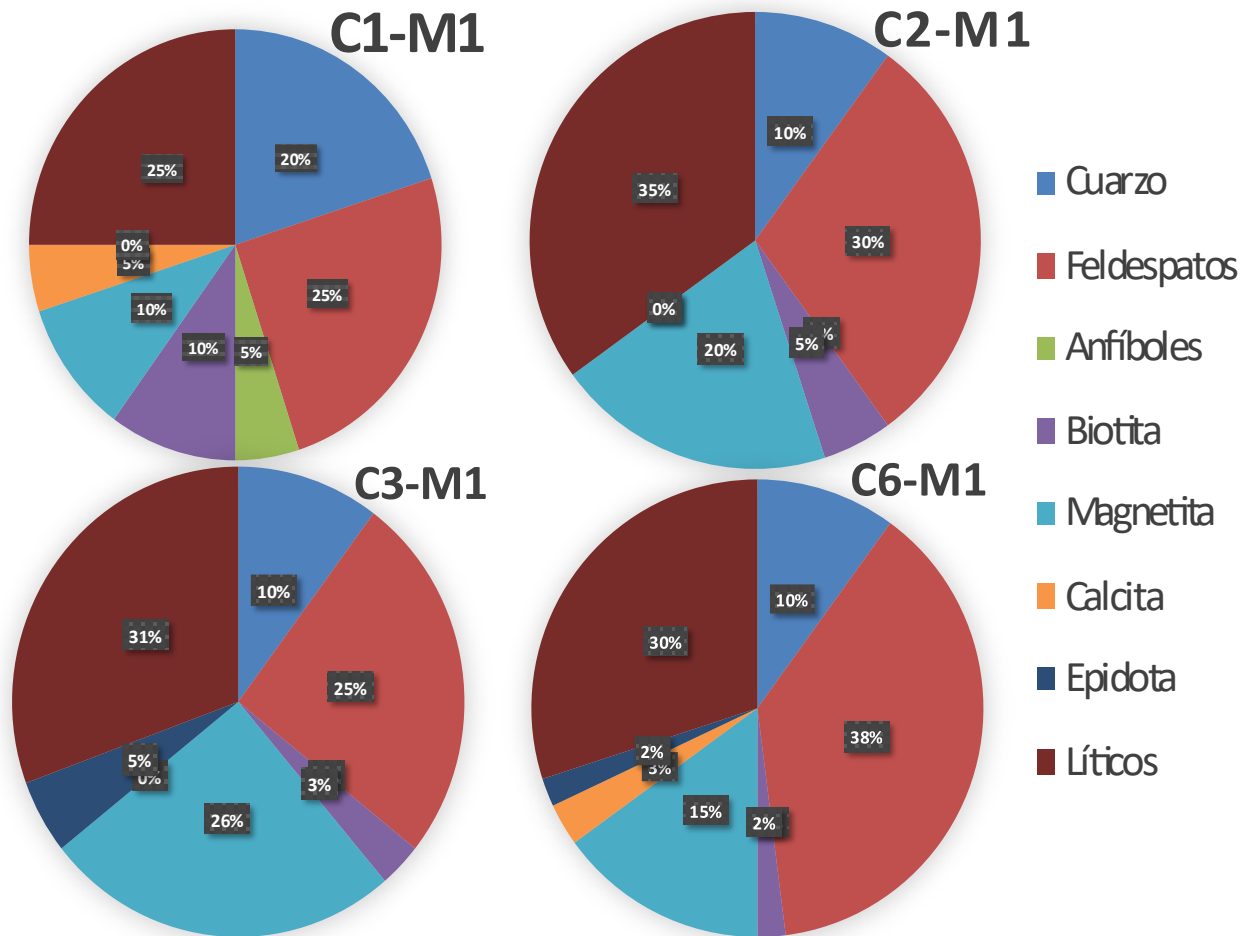


Figura 14: Gráficos tipo “Pie-Chart” con los porcentajes definidos en la lupa binocular de los cuarteles C1, C2, C3 y C6. C2 y C3 poseen una notoria similitud entre sí, y los líticos se encuentran en el rango de 25 a 35% del total muestreado.

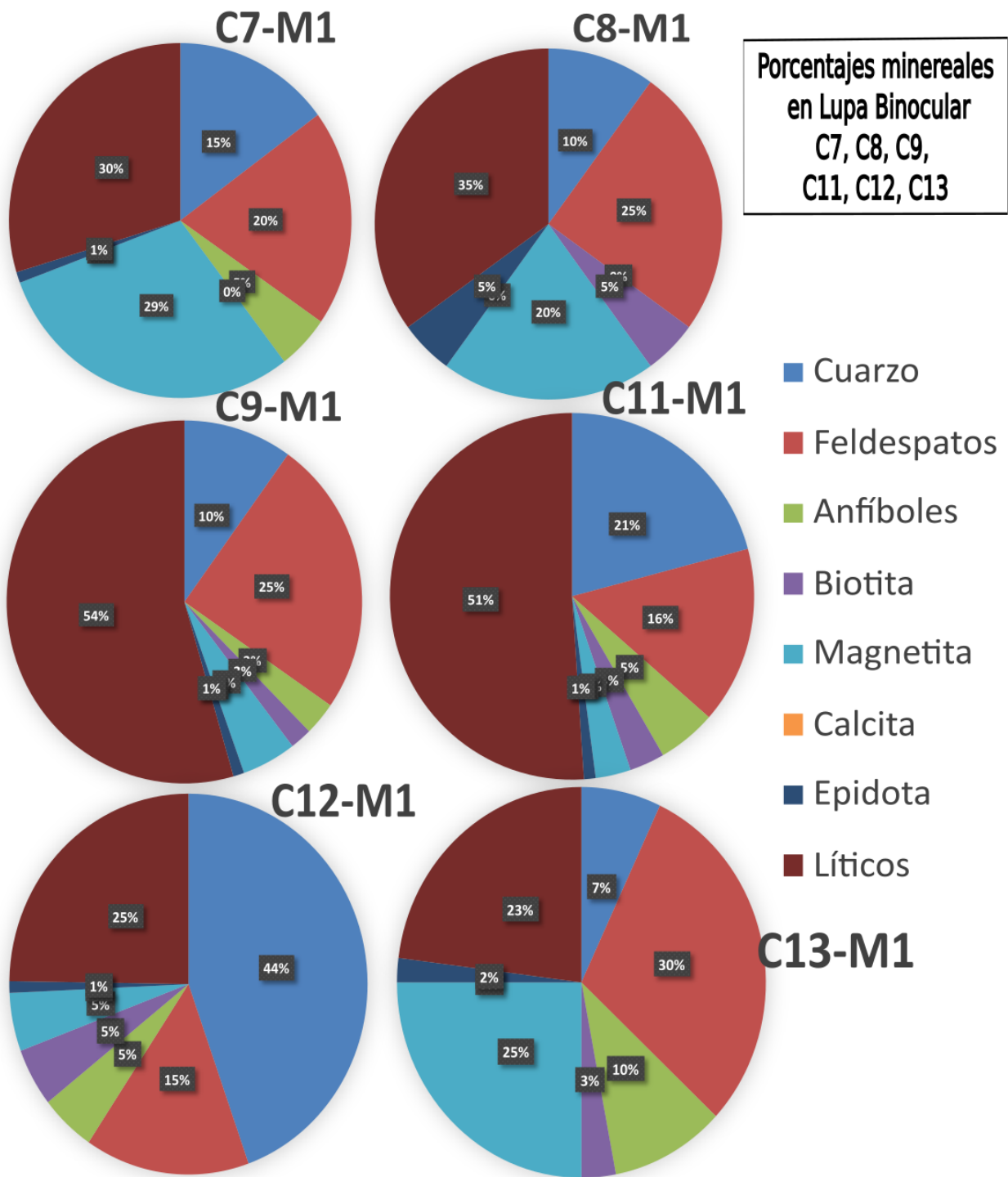


Figura 15: Gráficos tipo “Pie-Chart” con los porcentajes definidos en la lupa binocular de los cuarteles C7, C8, C9, C11, C12 y C13. C9 y C11 son los dos cuarteles con valores atípicos de líticos, estando el resto de cuarteles dentro del rango del 25 a 35% de total.

3.4.3. Concentraciones elementales foliar, edafológico y valores de pH, conductividad y %Arcilla

Uno de los primeros motivantes para la realización de esta memoria es la determinación de la importancia elemental en la calidad edafológica. En un ambiente natural, las plantas obtienen N a partir de la fijación biológica y al C, H y O de la atmósfera y el agua, el resto de macro y micronutrientes son provenientes de la litósfera (Castillo et al., 2021). Es por esto, que se impulsa a estudiar el rol de la geología sobre su influencia en pedología y los elementos disponibles en el suelo durante este estudio.

Lamentablemente, nunca se puede descartar la influencia de fertilizantes agregados, pesticidas, agroquímicos, polutantes atmosféricos, del agua de irrigación o de las prácticas agrícolas en lo que respecta a la contaminación de elementos, propiedades del suelo y la evolución de procesos pedogenéticos (Castillo et al., 2021). El viñedo Pirque Viejo presenta una oportunidad notoria de estudio gracias al detalle de manejo en lo que respecta a manejo vitícola, presentándose fechas y cantidades utilizadas de fertilizantes y agroquímicos como tiosulfato de potasio, fósforo líquido, nitrato de potasio líquido, “*bachumus eco*”, “*aminochem M.O.*” y “*cutsalt*”. (Programa de fertilización Pirque 2024-2025, información particular de la empresa).

Las tablas D3 a D7 del Anexo D muestran las concentraciones elementales en suelo obtenidas de las muestras M2 por análisis ICP-MS de Al, Sb, As, Ba, Be, Bi, Cd, Ca, Zn, Co, Cu, Cr, Sn, Sr, P, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, K, Rb, Se, Na, Ta, Ti, U y V; las concentraciones de B, Hg, Ag y Te también fueron valores solicitados, pero o son menores al límite de detección o no son estadísticamente válidas como se especifica en la sección 1.4.1.3.4. Se destacan por su gran concentración en estas tablas, al Fe, Ca, Al, Mg, K, P, Mn, Ti y Na en orden descendente las cuales se observan en los diagramas “*Spider*” de las figuras D8 y D9 del Anexo D.

Los valores elementales de las tablas D1 y D2 son las concentraciones foliares de N, B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S y Zn. De los dos grupos de elementos, se pueden comparar al Fe, Ca, Mg, K, P, Mn, Cu y Zn, puesto que Al y Ti no son medidos en las muestras foliares y N, B y S no son medidas en las muestras de suelo. La comparación de valores se observa en la figura 16 a partir de las concentraciones promedio de estos dos grupos, y en las figuras 17 y 18 se observan los diagramas “*Spider*” de cada caso, mostrando las concentraciones relativas de cada cuartel.

La figura 16 muestra una tendencia esperable en la que los promedios elementales en el suelo son mayores que en hoja, siendo la excepción a ello el Ca, K y ligeramente notorio el P. Esto podría sugerir un comportamiento de los datos similar a una relación directa entre suelo y hoja. Las concentraciones foliares y pedológicas son comparadas también en la figura D.3 (a,i) del Anexo D vía “*Box-Plot*”

Los valores de Conductividad, % de Arcilla y pH obtenidas también se presentan en las tablas D3 a D6, y los valores de estos son graficados en las figuras 19, 20 y 21 respectivamente. En búsqueda de correlaciones notorias, se tienen las figuras D4 a D28 del Anexo D en las que se pueden observar vía líneas de tendencia, las concentraciones elementales en función de cada uno de los factores.

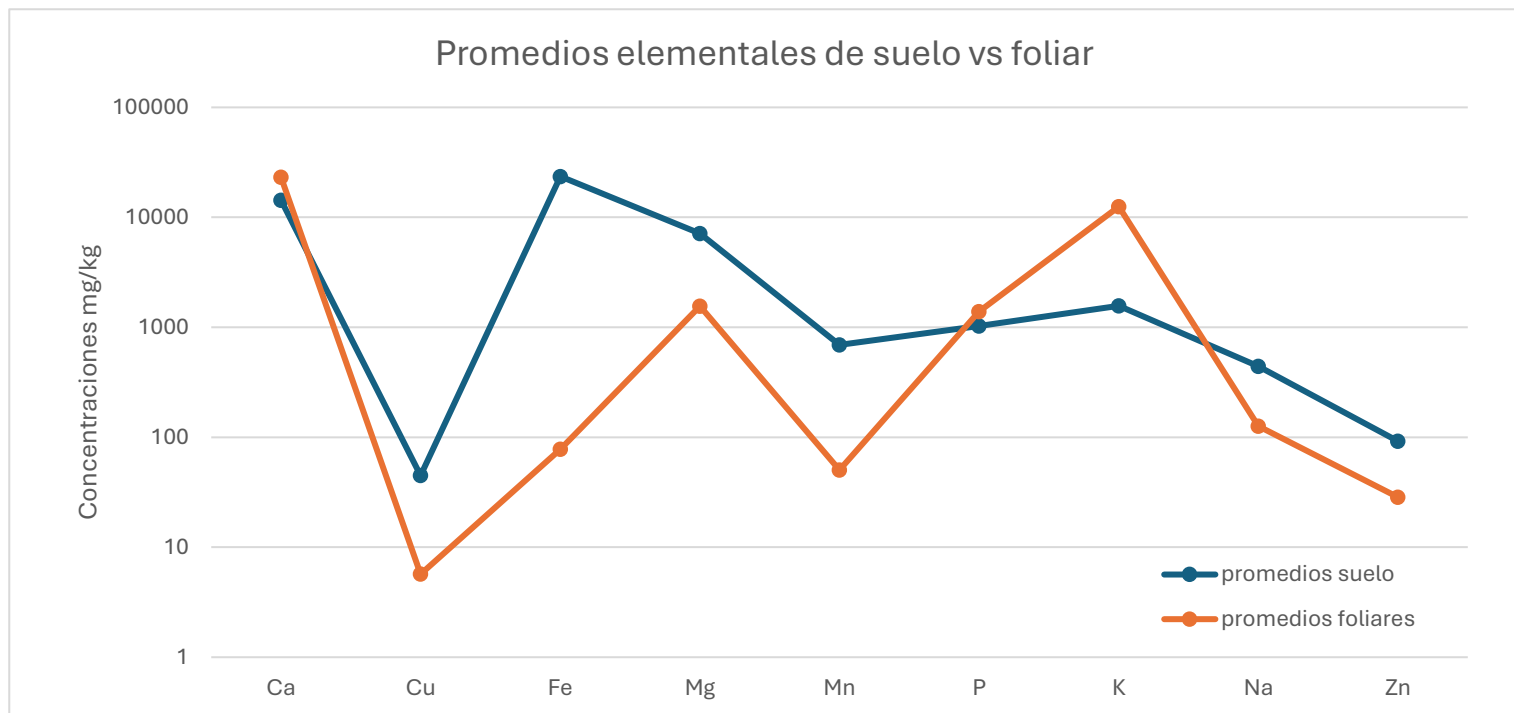


Figura 16: Gráfico Spider con los promedios de concentraciones (mg/kg) para los elementos Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, P, K, Na y Zn en las series de valores obtenidos por el muestreo foliar y de suelo en la viña Concha y Toro de Pirque.

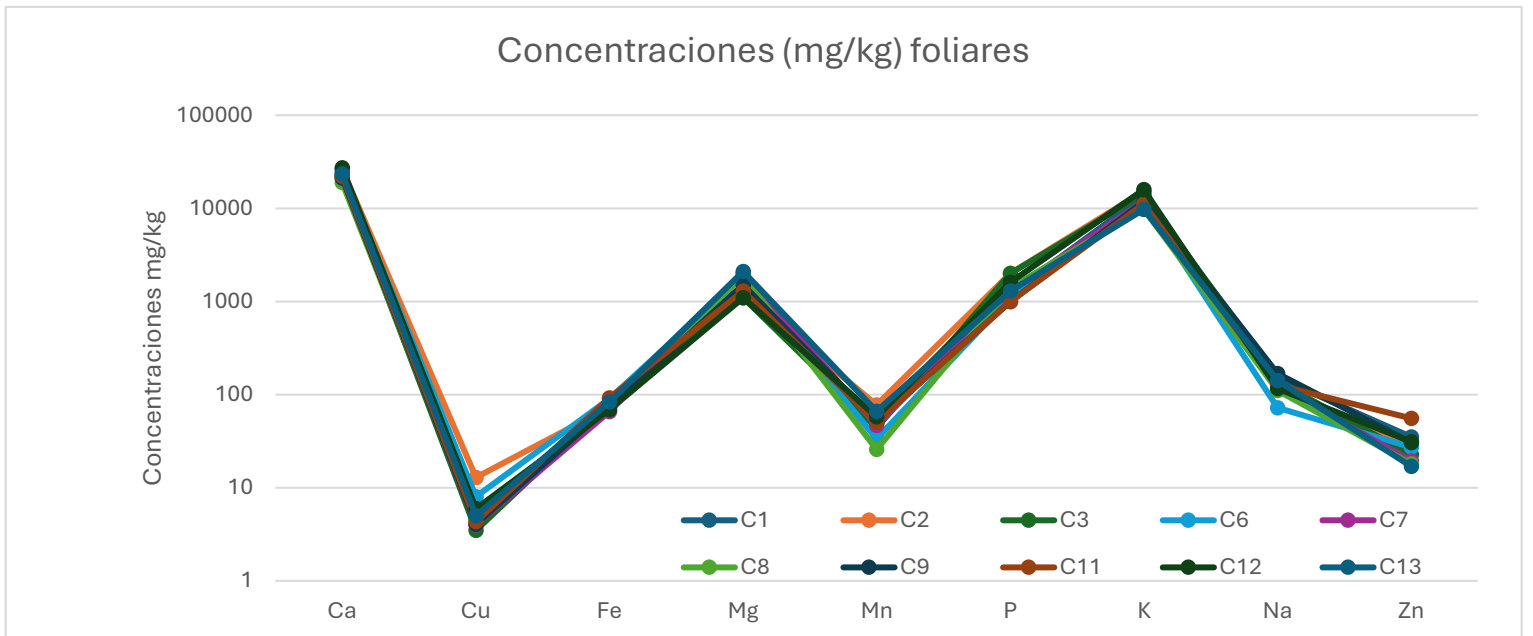


Figura 17: Gráfico Spider con los valores de concentraciones (mg/kg) para los elementos Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, P, K, Na y Zn de cada cuartel muestreado y sus valores obtenidos por el muestreo foliar en la viña Concha y Toro de Pirque. Se observan variaciones notables entre cuarteles para Cu, Mn, Na y Zn.

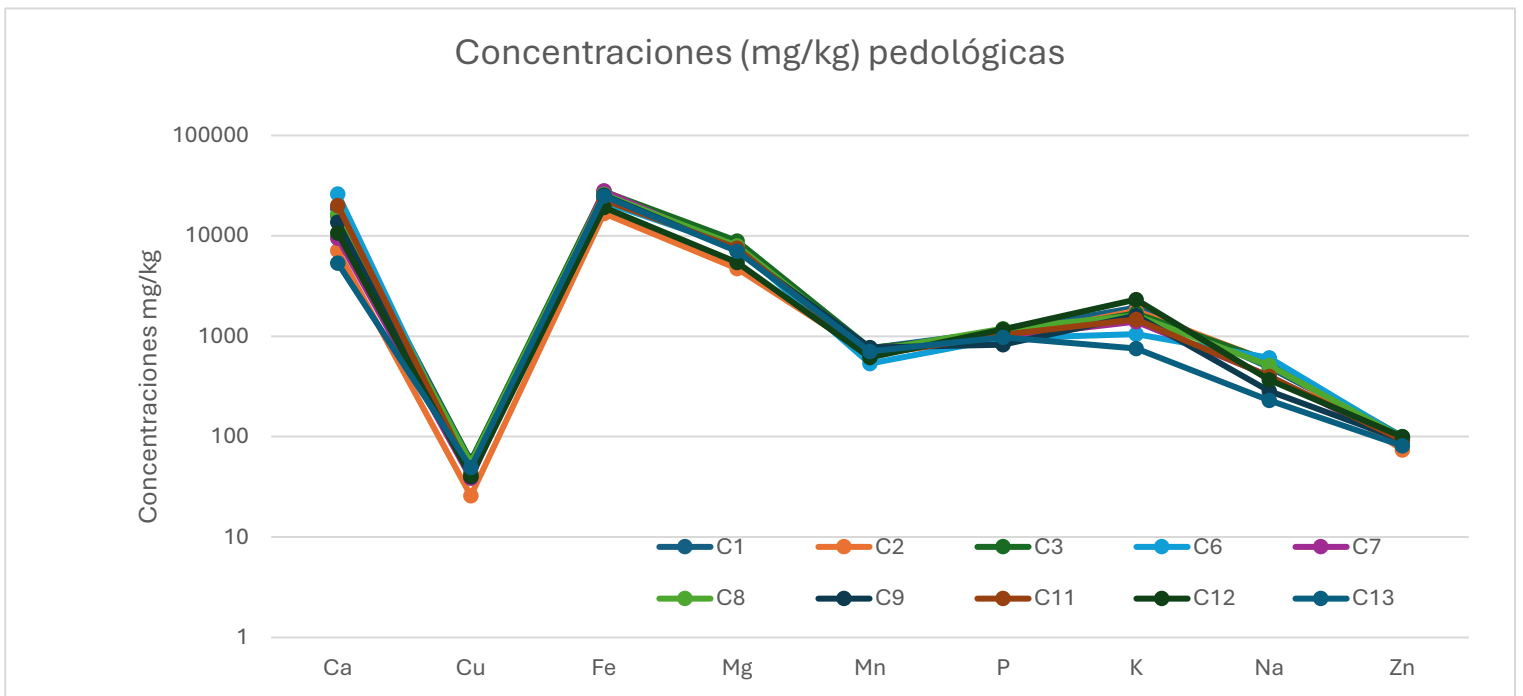


Figura 18: Gráfico Spider con los valores de concentraciones (mg/kg) para los elementos Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, P, K, Na y Zn de cada cuartel muestreado y sus valores obtenidos por el muestreo de

suelo en la viña Concha y Toro de Pirque. Se observan variaciones notables entre cuarteles para el Ca, Cu, Mg, K y Na.

Al comparar los valores de la figura 16, se pueden resumir las concentraciones elementales foliares en empobrecimientos o enriquecimientos con respecto al suelo en el siguiente listado:

- Ca presenta una concentración del 161,4% con respecto al suelo
- Cu presenta una concentración del 12,6% con respecto al suelo
- Fe presenta una concentración del 0,33% con respecto al suelo
- Mg presenta una concentración 22% con respecto al suelo
- Mn presenta una concentración del 7,26% con respecto al suelo
- P presenta una concentración del 35,3% con respecto al suelo
- K presenta una concentración del 800% con respecto al suelo
- Na presenta una concentración del 28,6% con respecto al suelo
- Zn presenta una concentración del 31% con respecto al suelo

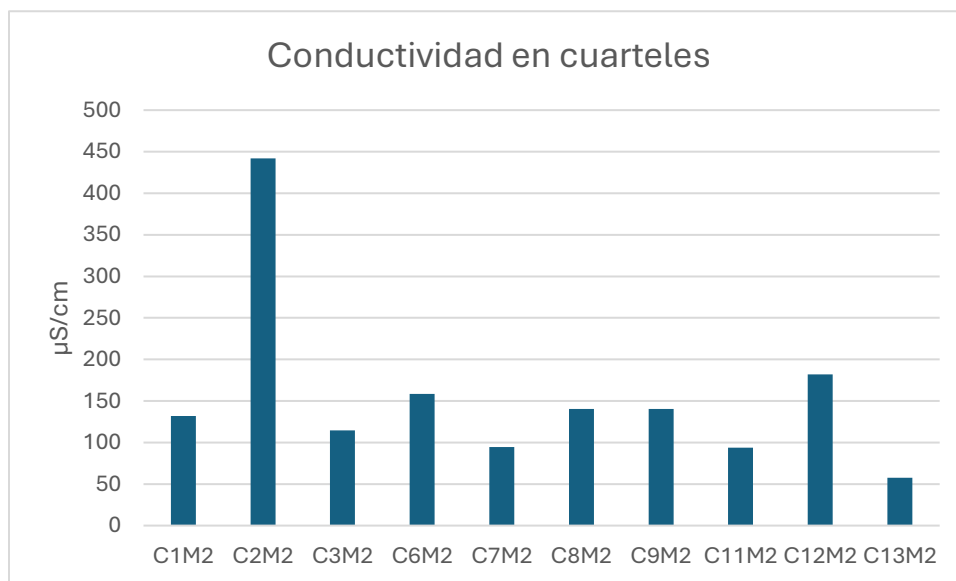


Figura 19: Gráfico de barras con las conductividades medidas para cada cuartel a partir de las muestras M2. Se observan valores dentro del rango 181 a 57 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para todos los cuarteles excepto el cuartel 2, que presenta 442 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Todos los valores de conductividad entran dentro del rango de “Suelos no salinos” exceptuando al cuartel 2 el cual entra en el rango de suelo “muy ligeramente salino”. (*“National Soil Survey Handbook”, 2024*)

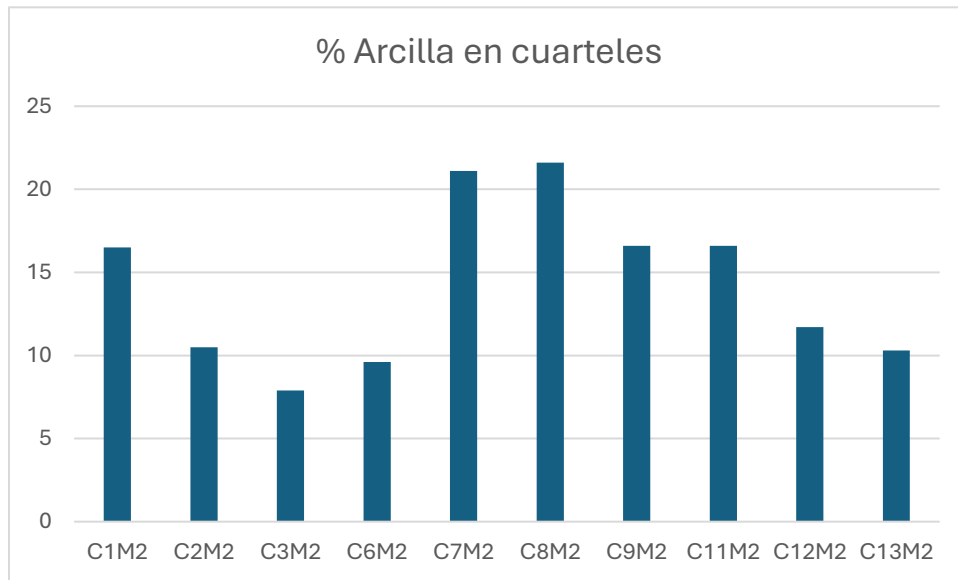


Figura 20: Gráfico de barras con los porcentajes de arcilla total para cada cuartel considerando al 100% como la suma de los porcentajes de arena, limo y arcilla. Los rangos de los cuarteles van desde 7,9% de arcilla a 21,6%.

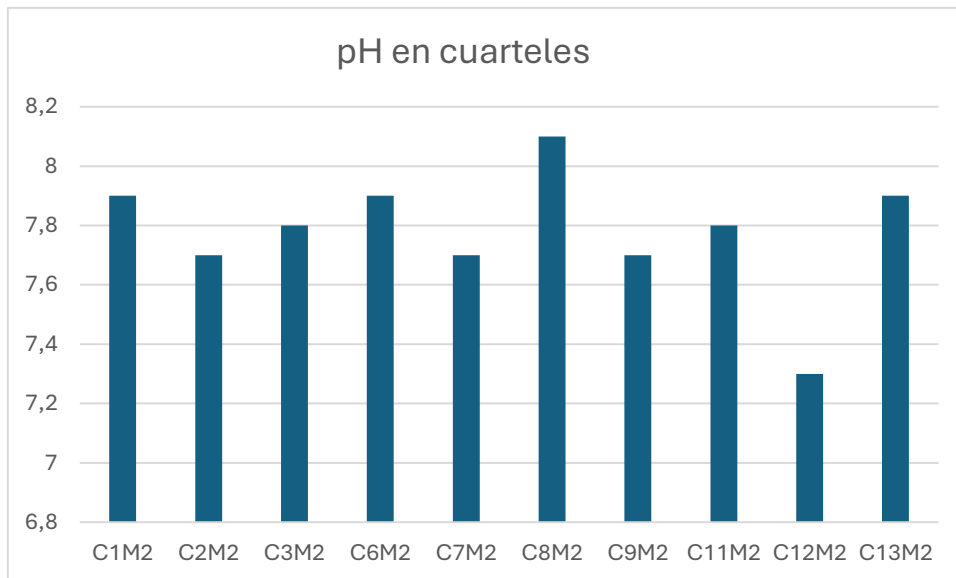


Figura 21: Gráfico de barras con los valores de pH para cada cuartel de las muestras M2 trabajadas por ALS. Los cuarteles poseen valores alcalinos en sus suelos para el estándar de viticultura, teniendo valores en la escala pH desde los 7,3 a 8,1.

La conjunción del comportamiento elemental en el viñedo con respecto a las características fisicoquímicas estudiadas se observa en las figuras D.4 a D28 del Anexo D y de estos se pueden rescatar las siguientes características.

En términos de % de Arcilla:

- Na + Ti + Mn + P + Mg presenta concentraciones aparentemente constantes con respecto al % de Arcilla.
- Al + Fe muestran los comportamientos más aparentemente proporcionales de los elementos estudiados.
- K + Ca son calculadas como tendencias positivas pero la distribución de sus datos no es fuertemente concluyente a ello.

En términos de conductividad:

- Fe + Mg + Ti + Cu + V ± Mn ± Co ± Zn se presentan inversamente proporcionales a la conductividad presente (Mn y Co sin el valor de C2 presentan un comportamiento mucho más constante con respecto a la conductividad, en especial sin el aporte de C2, de manera similar, Zn sin el valor de C2 presenta una clara tendencia positiva)
- K + Na + Rb ± P ± Al ± Ba ± Ni presentan un comportamiento aparentemente proporcional a la conductividad presente (los casos de P, Al, Ba y Ni no muestran una clara tendencia gracias a los valores de conductividad de C2)

En términos de pH:

- Na + Ti + Mn + P + Al + Sr + V + Cu + Zn + Co muestran tendencias “OLS” positivas a constantes con el pH, aunque la dispersión de sus datos y en especial la de C12 generan dudas de estos comportamientos.
- K + Ba + Rb ± Cr presentan mayores concentraciones conforme disminuye el pH (siendo el Cr un elemento notoriamente más constante en su distribución de datos).
- Mg + Fe + Ca presentan aumentos de concentración conforme aumenta el pH.

4. Discusiones

4.1. En lo que respecta a las técnicas de procesamiento.

Varias inquietudes florecen a partir del trabajo con los datos realizados, en especial, con algunas de las tendencias observadas en los resultados. Iniciando con todos los resultados de laboratorio realizados por ALS, llaman a la atención el comportamiento de la fracción $\phi=0$ en la figura 10 y el valor de conductividad del cuartel 2 en la figura 19.

Los valores porcentuales por cada fracción granulométrica de la figura 10 indican que, para las fracciones anteriores y posteriores a $\phi=0$, se tienen granulometrías presentes, pero que particularmente todas las muestras presentan 0% de acumulación en la fracción $\phi=0$ equivalente a una abertura de 1 mm. Siendo algunas de las muestras estudiadas, pertenecientes a suelos predominantemente fluviales (C6, C7 y C8), se espera que sea minúscula, la posibilidad de que se no se encuentren acumulaciones dentro de la fracción “Arena gruesa” como ocurre en $\phi=0$. Además, los resultados obtenidos tanto por la comparación con M1, como los obtenidos por Manuel Rodríguez en su tesis del 2024, muestran respectivamente que las fracciones de arena fina y de $\phi=1$ poseen disminuciones relativas con el resto de las fracciones de arena, pero no presentan un comportamiento de nula acumulación como se predispone por la figura 10.

La conductividad eléctrica de un suelo es una medida relacionada a la cantidad de sales solubles en el mismo ((Arbelo et al., 2006; Etana et al., 2025; Gharaibeh et al., 2021, Speight et al., 2024), por consiguiente, es esperable que suelos similares posean conductividades eléctricas similares debido a sus proveniencias. Valores comparativos de la salinidad en suelos se ven en técnicas como las pastas saturadas que resultan en valores de E_{Ce} son resultados dependientes de la técnica utilizada, textura y composición del suelo (Gharaibeh et al., 2021; National Soil Survey Handbook, 2024), y llevan a la atención si las prácticas de laboratorio para la determinación de la conductividad eléctrica pudieron haber llevado a grandes diferencias si no son correctamente tratadas. Suponiendo el caso de correctas mediciones, explicar la alta conductividad local del cuartel 2 se vuelve un debate de suposiciones.

La conductividad eléctrica proviene de los aportes de sales solubles (National Soil Survey Handbook, 2024) siendo algunas sales posibles, de Na, K, Rb, nitratos, acetatos, percloratos, cloruros, bromuros entre otros mencionados por Petrucci et al., (2011), y aunque en un suelo se presenten altas concentraciones de arcillas con alta capacidad de intercambio (CIC) catiónico como la esmectita, ilita y caolinita, estas mismas no aportan directamente a la conductividad eléctrica del mismo, pero sí son una componente importante de la CIC del suelo, al igual que el material orgánico como ácidos húmicos y fúlvicos (Sharma et al., 2015). Por tanto, se descartan las influencias de arcillas en el aporte anómalo de CE en C2. (Kaur et al., 2024) muestra que, para terrazas construidas, en suelos arcillosos y con el aporte de cultivos de cubierta (CC), la posición de estas mismas con respecto a distintas posiciones dentro de una elevación afecta a su textura y propiedades químicas al igual que la concentración de agregados estables al agua, llamando a la posibilidad de que la posición de toma de muestra de C2 (en relativa pendiente, con otra terraza

suprayaciéndole y con un posible factor del manejo del agua generando concentraciones locales) haya generado el aumento en valor con respecto a la media del resto de cuarteles.

Los factores antes mencionados sugieren que el valor de C2 es posiblemente anómalo, y, aunque ALS no esté acreditado por norma chilena, si cumple con la acreditación de la normativa ISO/IEC 17025:2017 por acreditación de la SCC (Standards Council of Canada) para los laboratorios de Santiago en los cuales se realizaron los ensayos de laboratorio, descartando notoriamente la posibilidad de error en medición para granulometría, concentraciones elementales y las otras técnicas solicitadas. El valor de CE para C2 se estima que deba ser considerado con precaución por lo pronto y una medición in-situ podría ser recomendable.

Por último, en lo que respecta a las fases minerales dispuestas como presentes en los análisis de DRX, siendo el valor ideal de χ^2 en un refinamiento de Rietveld igual a 1,5. A pesar de que este valor fue buscado en más de una ocasión en los varios softwares utilizados, probando estrategias como repetidas búsquedas de las fases minerales posibles vía algoritmos de búsqueda o el refinamiento de todos los parámetros de celda para cada fase individual, ninguna estrategia fue exitosa en alcanzar el valor idealizado. Sobre esta problemática, se consultó al técnico encargado del Laboratorio de Cristalografía de la Universidad, y, después de revisar los perfiles obtenidos con 33 fases minerales y χ^2 de alrededor de 3,5 declaró que se observaban buenos resultados, los cuales pueden ser apreciados en las figuras del Anexo F1 a F10.

4.2. Sobre la composición de terrazas y denominación de estas.

Por su continuidad espacial, observaciones en terreno, estratos presentes, granulometría y mineralogía observable presente, las terrazas denominadas “T3(Letra)” se declaran con bastante certeza, como terrazas degradacionales de la T3. Estas terrazas son principalmente de composiciones aluviales del curso del río Maipo (Qamp) similares a las descritas por Selles y Gana (2001), pero en el sector donde se presenta la columna B.1 se observan las facies de la canalización del flujo lahárico producido por la erupción de la Caldera El Diamante hace 450 kyrs, expresando facies de flujo de detritos relativamente concentrados para E5 y E4, los cuales van gradando a flujos de detritos menos concentrados hacia el techo con E3 correlacionables al flujo piroclástico no soldado.

Debido a las diferencias topográficas entre T3B y T3C en la ribera sur, y la falta de expresión de E5 y E4 en el mismo, la expresión del flujo lahárico aparenta estar zonificado a sectores sin expresiones secundarias de los flujos aluviales del río Maipo, como ocurre en C1, C2 y aparentemente toda la ribera norte del río Maipo, con posible mezcla del flujo piroclástico con material aluvial secundario para este último. Estas expresiones de material se pueden explicar a partir de las distintas incisiones que el Maipo haya generado, viéndose un esquema de evolución en la figura 22. La preferencia por bajos topográficos (el cauce del río Maipo durante el transporte del lahar) la geometría y periodos de incisión del Maipo a lo largo de 450.000 años generaron la

variación en material presente y determinaron la notoria presencia particular de las facies E3/E2 en el techo de las terrazas T3, al igual que la falta de E4 y E5 en la extensión de Qamp.

Gracias a las incisiones y la presencia de material lahárico en ciertos sectores, aún se pueden encontrar restos de material pumíceo en cuarteles de menor topografía como C1 y C3 que morfológicamente muestran un retroceso del río Maipo, en comparación con una incisión fuerte que haya removido este material. En conjunción a ello, las incisiones y retrabajos durante la formación de T2 y sus terrazas degradacionales habrían removido aún más del material de E5 y E4 para cuarteles como C4 a C8, y depositado mayores expresiones de material fluvial durante los periodos agradacionales, los cuales están mezclados con la previa presencia de E6. Además, los sectores de menor incisión se corresponderían con zonas de abandono del río o en las riberas opuestas al meandro del Maipo, dando la oportunidad de mantener algunas expresiones de aluvionales y la afloración de animales o flora, como se observa en la topografía entre C12 y C13, en conjunto con la presencia de conchillas presentes en esta y en varios de los cuarteles descritos.

(a) Modelo de evolución paleoclimática en el sector Pirque-Puente Alto.

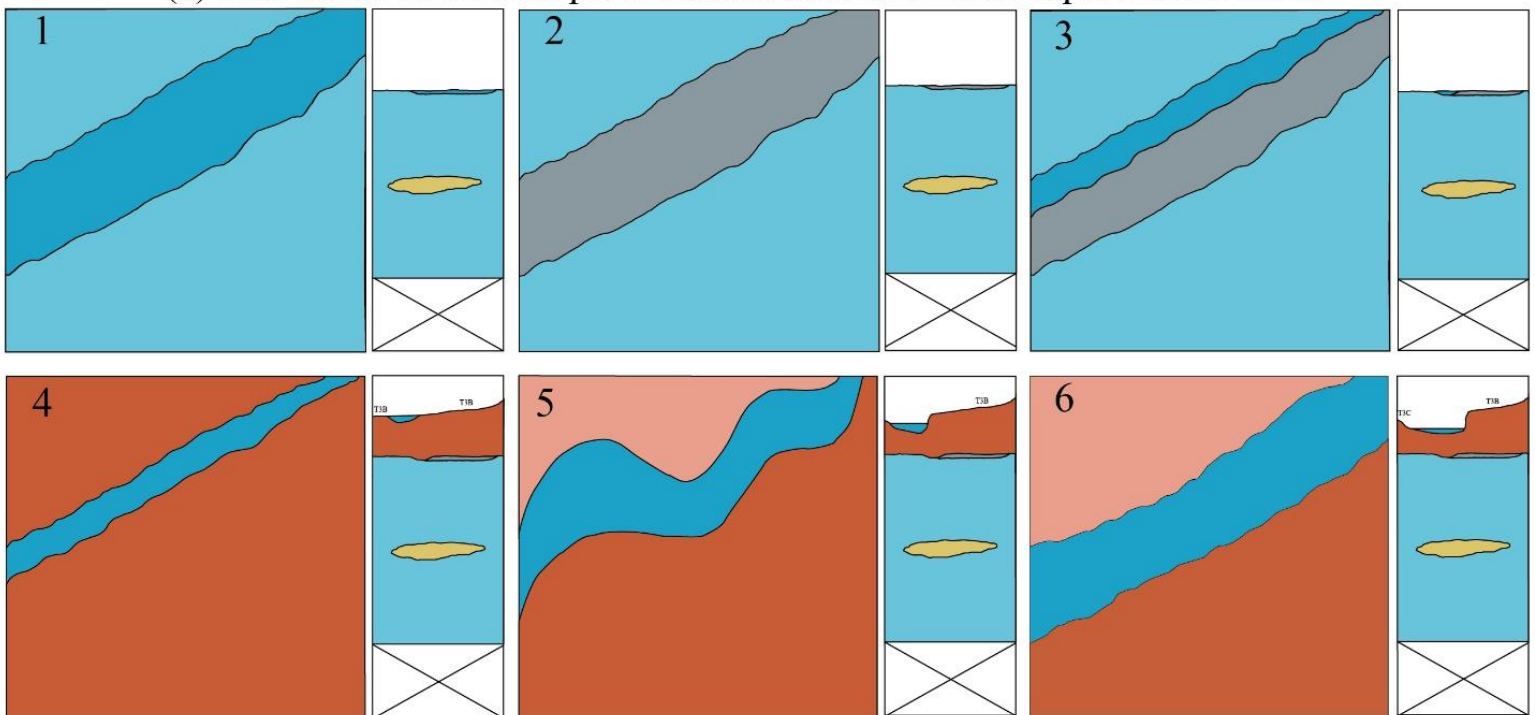
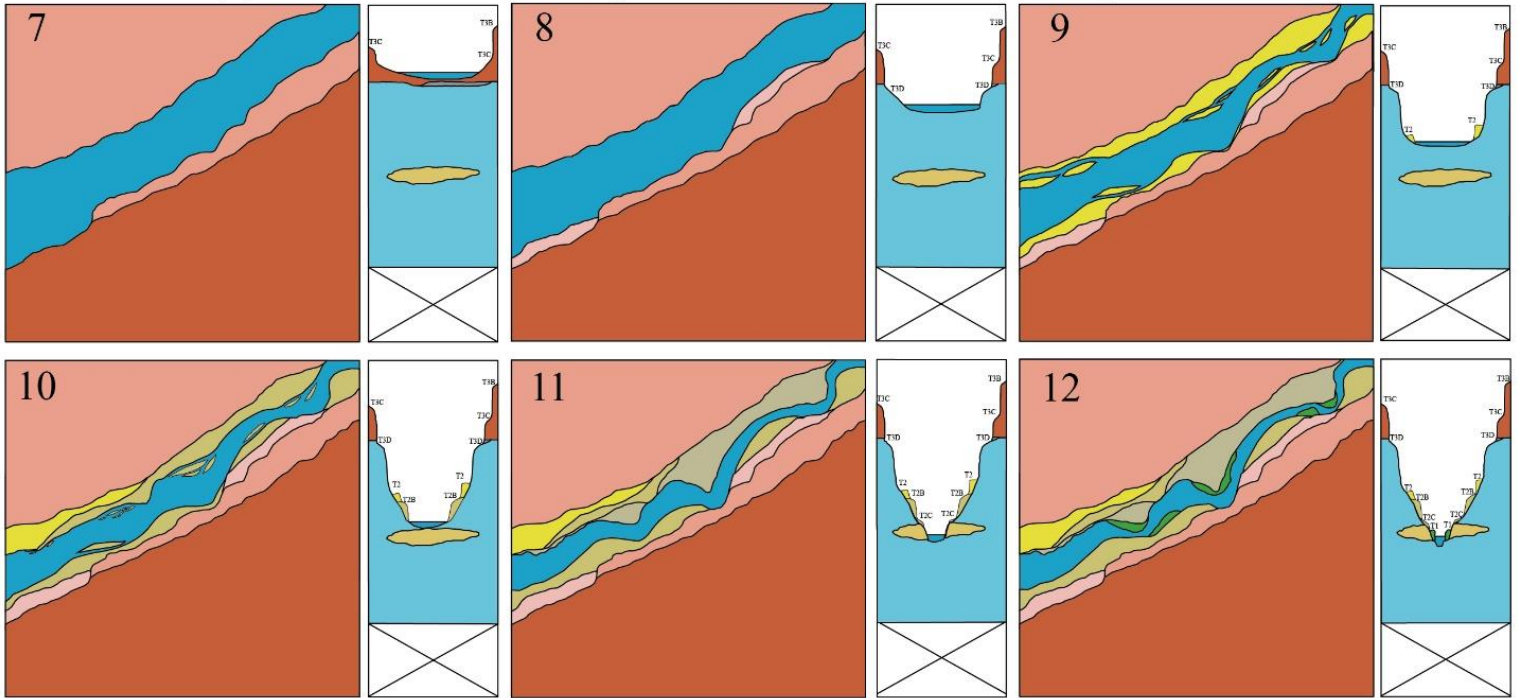


Figura 22 (a) y (b): Modelo temporal que muestra la evolución de las terrazas presentes en el área de Pirque-Puente Alto. Se muestran 12 etapas destacadas. En (a), (1) Material fluvial (celeste y paleocanal) depositado previo a la formación de T3 junto con el río Maipo en cauce hipotético (azul). (2, 3 y 4) Paso del lahar asociado a Caldera el Diamante (450 kyrs), parcial erosión posterior y deposición de material aluvial posterior. (5 y 6) Desplazamiento meándrico del Maipo y establecimiento de este por aumento incisión, establecimiento de T3B y T3C.

(b) Modelo de evolución paleoclimática en el sector Pirque-Puerto Alto.



En (b), (7 y 8) Progresivo aumento de la incisión y formación estable de las terrazas T3C y T3D. (9) Formación de terraza agradacional T2 por temporal periodo de agradación del Maipo. (10 y 11) Aumento de la incisión y formación de las terrazas T2B y T2C. (12) Formación de T1 holocénica-actual por agradación del Maipo.

4.3. Composición mineralógica y cómo puede afectar a valores estudiados.

La expresión del cauce del Maipo afectó a las facies presentes en las terrazas y cuarteles estudiados, además de otorgar variabilidad en la mineralogía misma presente. Los minerales presentados en las tablas 1, 2 y 3 fueron obtenidos por refinamiento de Rietveld y sus porcentajes totales no deberían de diferir notoriamente a pesar de la aparente presencia de una influencia amorfa en los valores superiores a $20^\circ 2\theta$ (la subida del conteo medido con respecto al fondo calculado, observable cerca del valor de $20^\circ 2\theta$). Si esta fase amorfa estuviera presente bajo los 20° , se la podría atribuir a una sobre molienda de las muestras durante su preparación, puesto que varios de los filosilicatos se presentarían con “*peaks*” amorfos. Como no es el caso, se le atribuye a la presencia de microfases de los principales minerales (Qz, Fds, etc) y a la presencia de masa fundamental en muchos de los clastos estudiados. Teniendo las fases minerales valores aparentemente correctos, la tabla 1 presenta el conjunto de algunos de los minerales más típicos presentes en rocas, y no presentan variaciones notorias o esperables a excepción de la calcita y las zeolitas, las cuales se estudiarán más adelante.

La calcita es un mineral poco esperable debido a que la única presencia de calcita en roca declarada según Selles y Gana (2001) está en los depósitos hipabisales OIMH(d), los cuales no poseen cercanía ni depósitos que puedan otorgar una parentalidad a las concentraciones de calcita presentes

en la tabla 1. Otras parentalidades de calcita pueden provenir de rocas desplazadas por el mismo Maipo (i.e. calizas provenientes de la Fm. Lo Valdés) aunque no se puede descartar la influencia de la fauna ni los procesos pedogenéticos con respecto a la presencia de calcita. Las conchas de los moluscos son influenciadas fuertemente a partir de la extracción de los cationes disponibles presentes en su ambiente, formando conchas de aragonito o calcita según la razón de Mg/Ca disponible. En ríos, la razón Mg/Ca es bastante baja y por lo anterior, es poco probable la formación de conchas aragoníticas en moluscos de agua dulce (Huang & Zhang, 2022). Lo que sugiere que existe un porcentaje no determinado de la calcita presente a partir de la influencia orgánica. La recristalización y acumulación de calcita dispersa en suelo en forma de calcreta, microesparita y otros puede ocurrir en órdenes de miles de años (Zamanian et al., 2016), y ser afectada por el paso de agua en el mismo, podría explicar la presencia en calcita a lo largo de todos los cuarteles, y las concentraciones del mineral en los cuarteles C2, C13 y C6, al poseer clasificaciones arenosa francosa y arenosa estos presentan mayor permeabilidad para la movilización gravitacional de la calcita (en C2 esta se movilizaría idóneamente a C3 o hacia abajo, de manera similar a lo que ocurriría en C13, mientras que en C6, el nivel freático se presenta mucho más cercano y puede generar una zona de concentración para el mineral). Variaciones locales y sesgos por población única no deben de ser descartados para este, ni ningún caso mineral.

Aparte de los valores de la tabla 1, los de las tablas 2 y 3 (principales filosilicatos y otros respectivamente) son valores minerales esperables. Iniciando por la tabla 3, los óxidos de hierro son los únicos llamativos en su concentración, aunque los valores alcalinos de los suelos del viñedo podrían aportar a su baja presencia; la casiterita, titanita, cordierita y cianita son minerales accesorios en rocas máficas y félsicas, la nefelina es un feldespatóide poco común para el contexto geológico de las rocas cercanas y los valores de KPO₃ pueden ser atribuidos al manejo antrópico. El caso de la concentración de óxidos de hierro es discordante con las observaciones macroscópicas, que definen altas concentraciones de magnetita. Esta problemática puede ser explicada gracias a que, debido a la dificultad en distinguir masas fundamentales grisáceas a oscuras de minerales máficos como la magnetita, se tomó una aproximación de la cantidad de magnetita según la cantidad de granos afectados por magnetismo del rayador. Tomando ese tipo de acercamiento, es muy posible haber generado una sobre estimación de la magnetita presente, gracias a su alta susceptibilidad magnética y el error humano en la distancia de acercamiento del imán al momento de estimar los porcentajes de material magnético.

Los valores de concentración para las micas se reportan como esperables, aunque comparativamente a los porcentajes de arcilla total en suelos, las sumas de todos los minerales “arcillosos” de manera general es mayor que los valores de % de arcilla en suelo. Esta diferencia se asume que proviene de haber estudiado una muestra con poblaciones iguales o menores a los 75 μ , generando sesgo de población, y es posible que también afectó a los porcentajes de magnetita previamente estudiados.

Las micas (o minerales arcillosos) ayudan en la observación de algunas propiedades fisicoquímicas no medidas como la CIC (capacidad de intercambio catiónico) a partir de su cercana relación con la superficie específica de los distintos minerales y esta a su vez, influencia a la afinidad de

elementos trazas al suelo gracias a diferencias en el CIC (en conjunto con pH, Eh, contenido orgánico, fracción 0,02 mm, óxidos e hidróxidos de Al, Fe y Mn y microorganismos) (Kabata-Pendias, 2011).

Entendiendo a la CIC como la cantidad de cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+) que un material puede mantener y que este valor es utilizado como “*proxy*” para describir la fertilidad de suelos gracias a que la mayoría de los nutrientes utilizados por plantas y microbios están en su forma iónica (Weber & Quicker, 2018), se especula que es posible realizar una aproximación de la CIC relativa entre cuarteles, a partir de entender las proporciones relativas entre los minerales con valores notorios de CIC. Para ello, se utiliza el promedio de los valores de CIC en la tabla 3.11 de Kabata-Pendias (2011) y el producto del peso porcentual normalizado de cada mineral con su valor promedio, los cuales se acumulan linealmente de los minerales arcillosos + zeolitas entre cuarteles. En la tabla 4, se puede observar el porcentaje normalizado de cada mineral con alta CIC promedio por cuartel. De los valores de CIC promedio, destacar el alto valor que poseen las zeolitas en comparación a los otros minerales.

Minerales	Esmectita	Vermiculita	Moscovita	Biotita	Clorita	Grupo Caolinita	Illita	Zeolitas
Valor promedio CIC	115	105	25	25	25	12,5	35	482,5
Cuarteles/ Minerales	Esmectita (%)	Vermiculita (%)	Moscovita (%)	Biotita (%)	Clorita (%)	Grupo Caolinita (%)	Illita (%)	Zeolitas (%)
C1	24,4	1,25	3,14	0	17,71	18,93	2,44	32,14
C2	24,17	3,93	7,75	0	0,58	28,52	4,15	30,9
C3	24,55	3,91	9,21	0	9,43	32,23	0,73	19,94
C6	15,59	3,05	0	2,58	12,39	30,28	10,33	25,77
C7	30,75	4,07	16,63	0	5,91	27,87	2,04	12,73
C8	16,21	4,94	2,89	1,8	8,73	33,99	7,06	24,39
C9	19,51	2,36	0,44	0	6,75	39,64	10,69	20,61
C11	17,71	2,03	0	0,97	10,29	49,29	1,41	18,29
C12	16,43	2,24	6,18	0	3,19	36,37	0,98	34,61
C13	10,94	11,48	1,85	5,02	10,01	39,61	0,73	20,36

Tabla 4a: Acercamiento lineal a los valores de CIC a partir de promedio de valores en la tabla 3.11 de Kabata-Pendias (2011) y cantidades porcentuales normalizadas para los minerales de la tabla 2 y las zeolitas de la tabla 1.

Cuarteles	Suma total de productos (Indicador CIC)	% Comparativo
C12	19548,63	100,00
C1	19286,60	98,66
C2	18810,22	96,22
C6	15663,62	80,13
C8	15158,30	77,54
C3	13750,00	70,34
C9	13485,80	68,99
C13	13230,68	67,68
C11	12020,54	61,49
C7	11089,27	56,73

Tabla 4b: Valores numéricos del producto entre porcentaje mineral y promedio de CIC, posteriormente sumados por cuartel. Se toma a la suma total más alta como punto de comparación y se observa

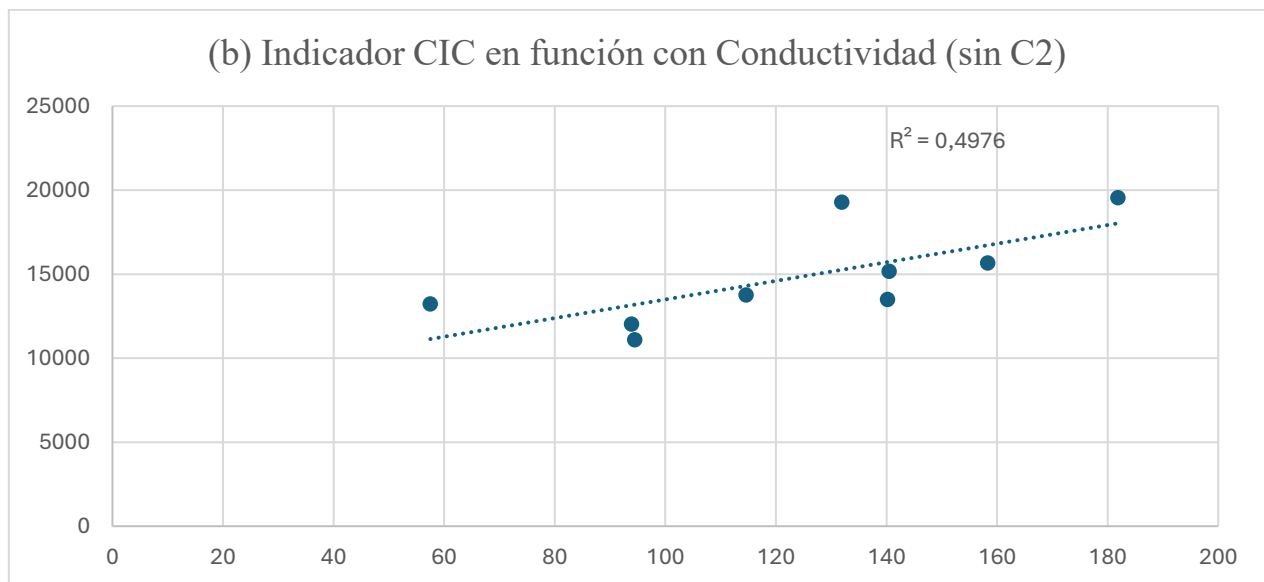
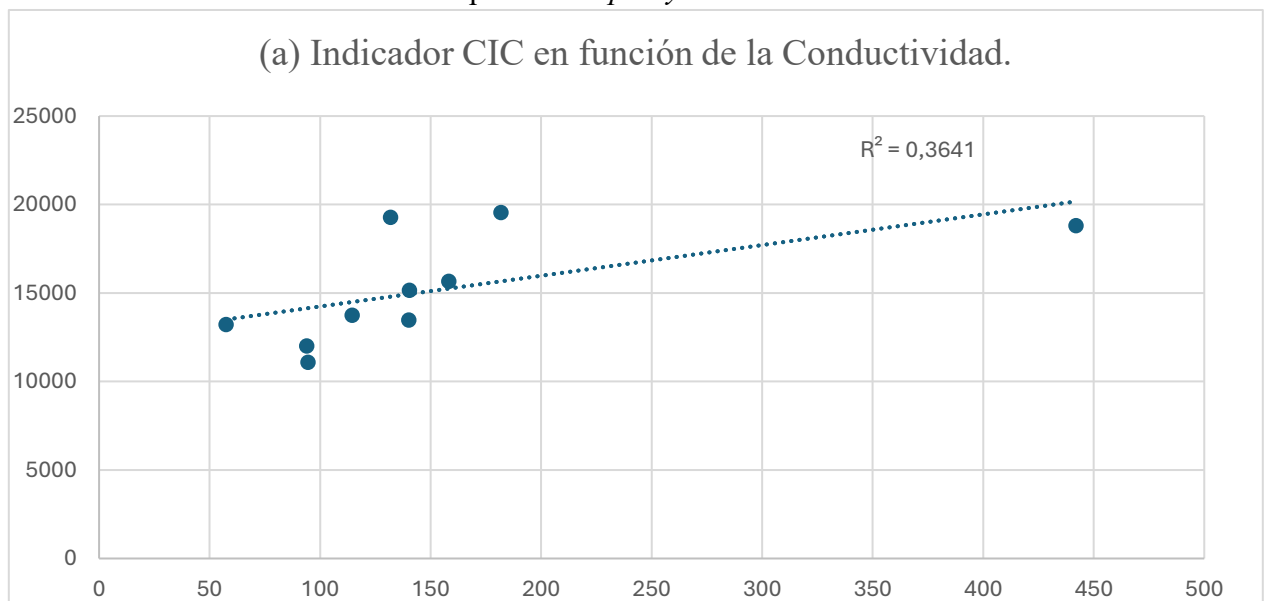
Entonces, al realizar el producto de los promedios minerales por cuartel con el valor de CIC promedio por mineral (multiplicar cada celda porcentual con su valor mineral correspondiente) y sumar estos valores, se genera un primer proxy a posibles condiciones de CIC in-situ, donde valores mayores indicarían CIC teóricos más altos en comparación a otros viñedos. La tabla 4b muestra la comparación de los cuarteles a manera porcentual, tomando al cuartel C12 (el de mayor valor total) como el 100% y al resto como un porcentaje de ese valor máximo.

El acercamiento anterior, además de posiblemente reflejar los valores in-situ de CIC por cuartel, también podrían ser indicadores del nivel de meteorización o alteración del material parental. Lo anterior, ya que aparte de procesos hidrotermales, las micas y las zeolitas son comúnmente minerales secundarios que se forman en condiciones ambientales. Algunos textos como el de Steven Earl “*Environmental Geology*” en el capítulo de “*Clay Minerals*” (Libretexts, 2025) y Wilson (2004) ejemplifican respectivamente la formación de arcillas como caolinita a partir de feldspatos y la vermiculización de biotita en condiciones ambientales (esta última podría dar una notoria explicación a los bajos valores de biotita en todos los cuarteles), además de otras arcillas montmorillonita, halloysita, etc. Y Marantos et al., (2012) explicita que las zeolitas son el principal producto de la alteración de rocas volcanoclásticas en variadas condiciones, incluyendo las ambientales. Gracias a que estos productos pueden ser formados en condiciones ambientales, y que parte de las arcillas parentales habrán sido removilizadas por efecto del río Maipo, es que se propone el “*proxy*” de los valores de CIC como indicadores de meteorización y pedogénesis.

Este valor teórico al ser ordenado de mayor a menor se observa en la tabla 4b e inicialmente muestra algunas agrupaciones de interés, como valores reducidos para los cuarteles C9 y C11 los cuales pertenecen a la misma terraza, los valores cercanos de C3 con C8, o los valores altos de C12 con

C1, los cuales pertenecen a la misma terraza pero se diferenciarían por los procesos de corte y tipo de terraza degradacional. Aún siendo el caso, se presentan variaciones importantes para estas agrupaciones, los valores de C13 o de C7 para las terrazas de T3C y T2C. Para corroborar la importancia de la terraza y el reflejo de procesos pedogenéticos a partir de la mineralogía de micas, se requerirán más muestras por cuartel, y por terraza.

Las figuras 23a y 23b ilustran la búsqueda de otras posibles correlaciones de este indicador del CIC en el contexto de estas terrazas. Estas figuras muestran entonces, los valores del indicador en función de la Conductividad. Comparativamente a otros parámetros inmediatamente estudiados (pH/texturas de suelo) la Conductividad presenta uno de los R^2 más altos, lo cual se considera bastante plausible, ya que la CIC refleja la “cantidad” de cationes intercambiables, mientras que la Conductividad es un indicador directo de los iones solubles en agua. Se sugiere entonces a este indicador de CIC como un posible “*proxy*” de la Conductividad de un suelo.



Figuras 23 (a) y (b): Valores de CIC teórico (la suma de producto total) en comparación a los valores de Conductividad en suelo. En (a) se presenta al gráfico con todos los cuarteles presentes y su línea de tendencia, además de valor R^2 . En (b) se presentan las mismas condiciones para el gráfico pero omitiendo los valores de C2, el cual es un posible “outlier”.

4.4. Valores elementales en suelos y plantas

Así como se mencionó en la sección anterior, los principales nutrientes que las plantas y microorganismos adquieren son compuestos iónicos. A pesar de ello, Castillo et al., (2021) define al menos 17 EMNs (“*essential mineral nutrients*” por sus siglas en inglés) para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los macronutrientes correspondientes a C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S que son parte de la estructura orgánica constituyente de las plantas, mientras que Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo y Cl son considerados micronutrientes y su función se relaciona principalmente a actividad enzimática. Otros elementos que también se definen son el Na, Si, Co, V e I, los cuales, aunque no sean esenciales, han sido descritos como beneficiosos en ciertas plantas.

Con respecto a esta sección, el primer punto para la caracterización elemental de los cuarteles se basa en la deficiencia o abundancia relativa de elementos en los suelos estudiados. Primero, se realiza una comparación de los datos obtenidos, con los datos que Castillo et al., (2021) reporta en suelo y en fruta.

Los valores elementales de suelo en bruto reportados por Castillo y compañía (2020) se basan en el muestreo de 4 viñedos con distintos tipos de rocas parentales (tonalita, aplita, arcosa, granodiorita y toba vítrea), sus suelos consecuentes y el reporte de Ca, Fe, Na, K, Mg, Mn, P, Zn y Cu. Al comparar los datos elementales en suelo correspondientes (tablas D.1 a D.3 y material suplementario de Castillo 2020), se pueden observar dos tendencias notorias; los valores muestreados en este trabajo de Fe, Mg y Cu presentan valores similares de concentración con los suelos provenientes de la tonalita de Casablanca, mientras que los de Ca y Mn son similares a los de toba vítrea de San Javier. Particularmente, la aplita muestreada por Castillo et al., (2021) en Casablanca también presenta valores similares de Ca con los obtenidos en este trabajo, Zn se presenta cercano a uno de los promedios de la arcosa de San Antonio, Na y K en este estudio se presentan empobrecidos con respecto a los valores de Castillo (en 1 orden de magnitud menor y cerca de la mitad del valor más bajo reportado por Castillo y compañía). En contraste, el P de este trabajo está al menos 4 veces por sobre cualquier valor reportado en los viñedos de Casablanca, San Antonio, Santa Cruz y San Javier.

La similitud en valores promedio de Fe, Mg y Cu con material parental de aplita y tonalita, y los de Ca y Mn con toba vítrea podrían dar una primera impresión de que las terrazas del río Maipo poseen material parental similar (e.g. Granodiorita La Obra y el material de flujo detrítico de E1, E2 y $E3 \pm E4 \pm E5$). Aunque esta idea no se descarta en este trabajo, las condiciones para que se sobre impongan dos patrones de concentración por parentalidad de roca sin ser afectados por las condiciones fisicoquímicas *in situ* se supondrían como muy específicas y no se tiene la información suficiente de las parentalidades para dar un análisis satisfactorio. Con la información presente, se

sabe que la mineralogía predominante es porfírica a vítrea en las muestras, descartando un fuerte aporte de Mglo como mínimo. Algunas de las implicancias que los datos de 3.4.3 pueden otorgar en complemento de los valores promedios comparados con los de Castillo y con datos de Kabata-Pendias se enlistan en adelante:

Sobre valores de elementos biodisponibles y “root-uptake”:

A pesar de que específicamente no se midieron los niveles de elementos biodisponibles, las concentraciones foliares/suelo ayudan a ciertas suposiciones. Ca y K poseen un enriquecimiento en las hojas de las vides con respecto a las concentraciones en suelo. La mayoría de los EMNs estudiados presentan sus orígenes por meteorización del material parental o por aportes de agroquímicos los cuales estarían considerados dentro de las concentraciones de suelo medido, por lo que un enriquecimiento de estos dos elementos en las hojas probablemente indica que las plantas lo obtienen de otros horizontes, probablemente más superficiales debido a la acumulación de KPO₃ en el horizonte muestreado y a que Castillo et al., (2021) menciona la rápida absorción de K biodisponible por raíces y la fijación del mismo por arcillas 2:1 como la vermiculita. La acumulación de KPO₃ en el horizonte estudiado también podría indicar una aplicación mayor a la necesaria de fertilizantes de potasio en el suelo.

El empobrecimiento de Cu, Mg, Mn, P, Na y Zn en las plantas, las cuales presentan magnitudes alrededor de una unidad (10^{-1}) inferior a las concentraciones presentes en suelo indican que no existen deficiencias aparentes de estos elementos (sean EMNs presentes en formas biodisponibles o no). Para el caso particular del Fe, en el documento de Castillo y compañía se menciona la baja biodisponibilidad de Fe debido a las condiciones pH y redox de la mayoría de los suelos bien drenados, los cuales generarían la precipitación de óxidos de hierro no disponibles para el consumo de plantas. Esta problemática fue estudiada gracias a la búsqueda de valores de toxicidad y deficiencias de EMNs y elementos trazas en plantas y debido a que el Fe es un componente importante para procesos como la fotosíntesis, la fijación de N₂ y cambios de valencia dentro de la planta (Kabata-Pendias, 2011). En Gruber y Kosegarten, (2002) especifica que vinos cultivados fuera de suelos calcáreos están suficientemente aportados con Fe si la concentración del mismo en hoja está en el rango de 80 µg y que deficiencias de Fe en hojas se da por restricciones en la translocación del elemento hacia las hojas desde el apoplasto al simplasto de los distintos órganos de la planta.

Además de los elementos previamente mencionados, queda por analizar las concentraciones de boro en los suelos del viñedo, además de algunas estimaciones de elementos traza. Las concentraciones de boro foliares se presentan en la tabla D.2, mientras que en suelo este elemento se presenta debajo del límite de detección (2,5 mg/kg para el B), lo que implicaría una clara deficiencia de boro en suelo para explicar las concentraciones foliares. De manera similar a Ca y K, se hace la suposición que existen otros horizontes con concentraciones de boro o se aplican fertilizantes de boro (i.e. bórax) que logren sustentar las concentraciones en las plantas. Pero el caso del boro es llamativo por las particularidades de que: (i) posee un factor de transferencia (Kabata-Pendias, 2011) entre planta/suelo de 1 (el orden de magnitud de concentración en suelo es

muy similar al presente en la planta); (ii) B es el elemento más móvil entre los micronutrientes y el movimiento de este sigue el flujo de agua en suelo, en suelos de zonas frías y húmedas tiende a drenarse hacia abajo en el perfil de suelo, y en suelos de zonas cálidas y húmedas o áridas/semi-áridas es posible que se concentre en capas superficiales, al igual que ha sido observado que su solubilidad es disminuida en suelos fuertemente fertilizados con K (Kabata-Pendias, 2011); (iii) El boro en su forma soluble está fácilmente disponible para plantas en su forma de ácido bórico no-asociado y es consumido por estas por transporte de masa según gradientes de concentración y flujo hídrico (Ahmad et al., (2012); Kabata-Pendias, (2011)); (iv) La deficiencia de boro se ha reportado en suelos fuertemente drenados o desarrollados de depósitos calcáreos, aluviales y loessicos (v) El boro es un elemento demasiado móvil al momento de ser detectado por la técnica ICP-MS. Varios factores influyen en la deficiencia de B en suelos, como bajo contenido de materia orgánica, texturas gruesas del suelo/arenosas, alto pH, sequías, cultivación extensiva y sobre consumo nutricional sin apropiada aplicación de fertilizantes (Ahmad et al., (2012). A menos que se puedan demostrar cambios suficientemente notorios de temperatura en los suelos del viñedo y alrededores, es prácticamente concluyente que los suelos estudiados están fuertemente empobrecidos de B y toda la concentración foliar de este proviene de manera exógena al suelo (fertilizantes \pm aporte hídrico).

Retomando el factor de transferencia, este índice nos indica los órdenes de magnitud esperables para elementos traza medidos por ICP-MS en las *Vitis vinifera* cv. Carmenere del viñedo estudiado. La sección 3.4.3 nos presenta el FT de Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, P, K, Na y Zn en magnitudes de 10, 10^{-1} , 10^{-3} , 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-1} , 10, 10^{-1} y 10^{-1} respectivamente y considerando el uso de fertilizantes para Ca y K. Kabata-Pendias (2011) reporta factores de transferencia generalizados para la mayoría de las plantas en los elementos de Cd, B, Br, Cs, Rb, Ag, Co, Cu, Ge, Hg, Mo, Pb, Sr, Te, Zn, Be, As, Li, F, I, Mn, Ni, Sb, Ba, Bi, Ga, Fe, Se, V, Tl y Zr. Se puede corroborar que el FT de Cu, Fe, Mn y Zn calculados coincide con los reportados teóricos de Kabata-Pendias y a partir de esta corroboración, se presenta en la tabla 5, el ejercicio de corroborar si alguno de los cuarteles estudiados podría presentar valores anómalos de elementos traza a partir de sus TF teóricos en las vides y los reportes de valores deficientes, normales, tóxicos y tolerables en cultivos agronómicos de la tabla 5.4 de Kabata-Pendias (2011).

Valores foliares Calculados por FT y reportados	C1	C2	C3	C6	C7	C8	C9	C11	C12	C13
Al ^a	12,717	11,421	14,583	10,272	14,15	13,378	15,086	11,445	10,799	10,269
Ag	0,01	BLD	0,013	BLD	BLD	BLD	BLD	0,011	BLD	BLD
As	0,2215	0,0916	0,2599	0,1385	0,1676	0,2187	0,1653	0,1926	0,1357	0,0941
B (reportado foliar)	48,05	47,57	46,67	57,45	77,28	36,4	64,09	37,52	74,07	64,56
Ba	0,1243	0,1046	0,1127	0,07774	0,1221	0,09897	0,1017	0,0988	0,1299	0,04605
Be	0,0078	0,0059	0,0051	0,0024	0,0072	0,0065	0,0061	0,0076	0,0048	0,0055
Bi	0,00027	0,00015	0,00028	0,00019	0,00018	0,00022	0,00018	0,00022	0,00018	0,00005
Cd ^a	0,0034	0,0019	0,0033	0,0023	0,0031	0,0032	0,0025	0,0026	0,0026	0,0005
Co	1,081	0,748	1,244	0,957	1,143	1,13	1,087	0,971	0,878	1,054
Cr ^a	0,01081	0,00748	0,01244	0,00957	0,01143	0,0113	0,01087	0,00971	0,00878	0,01054
Cu (reportado foliar)	4,83	12,9	3,49	8,03	3,98	4,37	4,05	4,32	5,96	5,02
Fe (reportado foliar)	77,84	73,53	78,91	89,82	65,8	75,73	74,2	92,07	68,91	83,31
Hg	BLD	BLD	BLD	BLD	0,217	BLD	BLD	BLD	BLD	BLD
Li	0,1272	0,1182	0,1647	0,1172	0,1604	0,1488	0,1542	0,1225	0,0522	0,0705
Mn (reportado foliar)	49,66	77,36	43,81	33,4	46,59	25,8	51,33	50,73	57,89	66,35
Mo	0,223	0,145	0,212	0,153	0,167	0,196	0,194	0,22	0,171	0,06
Ni	0,1273	0,1233	0,1406	0,097	0,1084	0,1221	0,1142	0,1158	0,1049	0,0587
Pb	1,289	0,848	1,543	0,938	0,928	1,048	0,901	1,021	1,016	0,345
Se	0,00114	0,00078	0,00109	0,00056	0,00116	0,00106	0,00025	0,00034	0,00135	0,00056
Sn ^a	0,0131	0,0231	0,0253	0,0251	0,0237	0,0101	0,0113	0,0131	0,0132	0,0231
Sb	0,0039	0,0029	0,0043	0,0027	0,0032	0,0034	0,0034	0,0036	0,0027	0,0021
Ti (sin conversión)	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
Tl	0,0002	0,00017	0,0002	0,00011	0,0002	0,00018	0,00017	0,00015	0,00028	0,00005
V	0,04356	0,02616	0,05428	0,04257	0,05768	0,0492	0,04936	0,04518	0,03655	0,04269
Zn (reportado)	35,06	27,93	22,81	27,35	19,41	18,14	30,48	55,7	31,19	16,94

Tabla 5: Reporte de valores calculados por FT teórico y valores reportados en las hojas de cada cuartel estudiado, valores en mg/kg. La coloración de celdas y de los valores es indicador de los siguientes casos: Las celdas en verde reportan valores normales y/o por debajo del tolerable en cultivos agronómicos (en letras rojas, Boro presenta algunos valores por sobre el reportado como “Tóxico” pero por debajo del tolerable en cultivos agronómicos. En naranja, los valores declarados como “Deficientes” para cada elemento y en rojo, los valores por sobre los tolerables en cultivos agronómicos. Las celdas en blanco no poseen conversión o no se presenta ninguna clasificación de

concentraciones esperables en el elemento. Por último, en amarillo, están los elementos por debajo de los valores considerados “normales” pero sin especificación de valores deficientes o entre los rangos declarados como deficientes y normales. SC: Sin conversión; BLD: Debajo del límite de detección en suelo. Valores con (a) son calculados por FT encontrado a partir de Perissinotto, L. (20218)

De la tabla se rescatan los elementos (Ag, Be, Co, Li, Ni y Pb) calculados de manera teórica con valores básicamente normales, los que poseen rangos normales con ciertas deficiencias (Cu, Mn, Mo y Zn), rangos normales con valores tóxicos (As y Hg), y los que no se tiene claridad de deficiencias (Bi, Cd, Cr, Se, Sn Tl y V), además de Ti el cuál no posee conversión encontrada.

Sobre el Fe, se debe especificar que no posee rangos clasificados por Kabata-Pendias (2011) y se discutió previamente el caso de deficiencias, por lo que se espera como valores normales del elemento. El caso de los FT encontrados por el trabajo de Perissinotto, L. (2018) se da gracias a elementos como Cd y Sn los cuales están reportados con FT de 10 para Cd y sin FT declarado por Kabata-Pendias, el caso de Cd con este FT indicaría una completa presencia de valores por sobre los aceptados agrónomicamente en todos los cuarteles muestreados. El trabajo de Perissinotto es valioso para extraer FT reales en este estudio pues hizo la caracterización elemental de los cultivos Glera, Garganega y Cabernet-sauvignon en suelos neutros de Italia, ofreciendo un mejor acercamiento a los TF de elementos como Al, Cr, Ni, As, Cd, Sn y Pb en la variedad *Vitis vinifera* que los valores generales de Kabata-Pendias. Las mayores diferencias en TF extraídas de Perissinotto con respecto a Kabata-Pendias (K-P) son de Al (TF = 10^{-3} , no expresado en K-P), Cd (TF = 10^{-2} , reportado como TF = 10 en K-P) y Sn (TF = 10^{-2} , no expresado en K-P). El resto de elementos coincide en los TF reportados por K-P. Del trabajo de Perissinotto, L. (2018), también se rescata que existe una relación directa entre la edad de la planta y la concentración elemental en las hojas de los *cultivar*, por lo que se podrían esperar mayores concentraciones de elementos (en especial contaminantes no desechables) en cuarteles y plantas más antiguas.

Los elementos sin claridad en sus deficiencias (Bi, Cd, Cr, Se, Sn, Tl y V), presentan una variedad de características con respecto a sus funciones en plantas y presencias en suelo, en el documento de Kabata-Pendias (2011), se dan extensivas características de todos los elementos traza en plantas, y en las próximas caracterizaciones, se resumen algunas de estas con respecto a las concentraciones en suelo y las utilidades que estos elementos posean sobre las plantas.

- Bi: El contenido de Bi está directamente asociado al material parental y en suelos se encuentra en promedios de 0,42 mg/kg. Es estable en su forma carbonatada y en plantas terrestres se le encuentra en valores de $<20 \mu\text{g/kg}$ (Kabata-Pendias, 2011). No es un elemento que se de en grandes concentraciones y la falta del mismo no está reportada como problemática para ninguna planta.
- Cd: El cadmio es un elemento con varias propiedades similares al Zn, pero es más móvil en ambientes ácidos por su afinidad al S. Este elemento se forma en compuestos simples fácilmente solubles durante el proceso de meteorización (CdO , Cd(OH)_2 , CdCl_2 y CdF_2).

El promedio de concentración de este elemento en suelos está estimado en 0,41 mg/kg, con rangos de 0,2 a 1,1 mg/kg (Kabata-Pendias, 2011). Los suelos estudiados poseen un promedio de 0,28 mg/kg, cercano al promedio de suelos francos). Aparentemente, los valores por sobre los promedios generales de Cd indicarían una contaminación antrópica, en especial en horizontes más profundos, por lo que se argumenta suelos no contaminados dentro del viñedo. Cd no es esencial para procesos metabólicos, normalmente interrumpe la actividad enzimática, aunque un autor reportado por Kabata-Pendias (2011) indica que existen enzimas no conocidas que dependen del Cd para su funcionamiento normal. Según la Comisión de Regulación EC del 2006 reportada por Kabata-Pendias, los máximos niveles de Cd en mg/kg debieran ser de 0,1 para la mayoría de cereales; 0,05 para vegetales y papas; y de 0,2 para hojas vegetales y champiñones.

- Cr: El contenido de Cr en suelos está muy relacionado al material parental, en suelos derivados de rocas máficas y sedimentos argílicos se presenta más concentrado. El promedio mundial de Cr en suelos es de 60 mg/kg (Suelos del viñedo promedian 9,76 mg/kg). Sus componentes son muy estables en el suelo y la sorción de Cr está asociada principalmente al contenido de arcilla, hidróxidos de Fe y SOM (materia orgánica soluble). No hay evidencia de un rol esencial del Cr en el metabolismo de las plantas y está comúnmente concentrado en sus raíces por su dificultad en ser translocado y lo propenso del Cr⁺³ a adherirse a las paredes celulares.
- Se: El selenio tiende a estar más concentrado en rocas máficas (cerca de 0,5 mg/kg) y el promedio mundial del mismo es de 0,44 mg/kg (suelos del viñedo están en 0,83 mg/kg), aunque el rango de este en varios tipos de suelo ronda los 0,05 a 1,5 mg/kg. El tipo de compuesto que forme el Se es bastante dependiente del Eh y pH del mismo, aunque en suelos como los que presenta el viñedo, se debieran esperar principalmente selenitas, las cuales son moderadamente móviles. Las concentraciones en el viñedo de Se, calculadas teóricamente (1,1 a 0,2 µg/kg) son ligeramente menores a las medias reportadas por Kabata-Pendias (2011) y, sin muchas evidencias de usos esenciales del Se en plantas, no se declaran problemáticas con los contenidos traza de este elemento.
- Sn: El contenido promedio de Sn en la corteza terrestre y en suelos es de 2,5 mg/kg, tiende a ser un elemento más presente en sedimentos arcillosos y es uniformemente distribuido entre distintos tipos de suelos en un rango de <0,1 a 5 mg/kg (siendo el promedio del viñedo 1,81 mg/kg). El estaño soluble sigue el comportamiento del Fe y Al, y tiende a mantenerse en los hidróxidos de esos metales, al igual que en complejos con materia orgánica soluble. La contaminación exógena aumenta las concentraciones de Sn en suelos (siendo el tope aceptado de 50 mg/kg). No existe evidencia de que sea esencial para las plantas y hasta es considerado como tóxico en plantas superiores y hongos. Tiende a ser acumulado en raíces y se reportan valores de <0,04 y <0,1 mg/kg en plantas comestibles (Kabata-Pendias, 2011). Del trabajo de Perissinotto, L. (2018) se rescata que sus concentraciones de Sn en suelo y en hojas son mayores a las del suelo (muestreadas) y en hojas (calculadas) en los viñedos

de CyT, no siendo reportados en el primero contaminaciones notorias por Sn de sus *cultivar*, lo que podría sugerir que las concentraciones aceptables de Sn dispuestas para plantas comestibles en Kabata-Pendias (2011) podrían tener un rango mayor del esperado.

- Tl: El talio en varios grupos de suelos varía desde los 0,014 a 2,8 mg/kg, con un promedio de 0,5 mg/kg (teniendo los suelos del viñedo un promedio de 0,18 mg/kg). Está asociado con la fracción arcilla y con SOM. El contenido de Tl en plantas es en función de la concentración del mismo en suelo, se presenta en estas predominantemente como el catión Tl^+ y se reporta un contenido referencial en plantas de 0,05 mg/kg (teóricamente las plantas muestreadas presentan una concentración dos magnitudes menores a la referencial de Kabata-Pendias). No se declaran afectos adversos a la falta de Tl en plantas o usos metabólicos esenciales del elemento en estas.
- V: En material parental, el V tiende a concentrarse en rocas máficas y arcillosas (130 y 250 mg/kg respectivamente). En condiciones meteóricas, el catión V^{+5} tiende a predominar y en este estado tiene relación isomórfica con cationes como As^{+5} y Mo^{+5} . La mayoría de los minerales con V son de orígenes secundarios, aunque comúnmente se le asocia también a piroxenos, horblenda, biotita y magnetita. Las concentraciones de V en suelo están fuertemente asociadas al material parental, con valores mundiales promedio de 129 mg/kg y en un rango de 69 a 320 mg/kg (las muestras estudiadas promedian 44,72 mg/kg, algo empobrecidas en comparación). Texturas arenosas en suelos tienden a presentar valores bajos de V, lo cual es apreciable de la concentración promedio muestreado. En los suelos, este elemento se queda en los minerales primarios residuales o es adsorbido/incorporado por arcillas y óxidos de Fe. Es más rápidamente absorbido por raíces en especial en suelos ácidos con cationes como VO^{+2} que en suelos neutros a alcalino como V^{-3} y HV_4^{+2} . No es considerado un elemento esencial para plantas superiores, aunque hay evidencias de que sirve de catalizador específico para la fijación de N_2 y que podría substituir parcialmente al Mo en esta función. Aún con la última posibilidad cumpliéndose, se postula que el V en los suelos de CyT no podría ser fácilmente usado como reemplazo de Mo para las plantas en caso de ser necesitado gracias a las condiciones levemente alcalinas de sus suelos y el menor factor de transferencia que posee el V en plantas comparativamente al Mo.

De los elementos con valores tóxicos (As y Hg) se pueden rescatar (principalmente de Kabata-Pendias, 2011) las siguientes características focalizadas en las toxicidades de estos elementos:

- As: Es un elemento conocido por ser tóxico en altas concentraciones, su contenido promedio de As en la corteza es de 1,8 mg/kg y se encuentra abundantemente en sedimentos arcillosos. El promedio general de As en distintos suelos es de 6,83 mg/kg y en distintos suelos sus valores base son entre <0,1 a 67 mg/kg. (Los valores en los suelos de CyT se reportan con un promedio de 16,86 mg/kg, con rangos de 25,99 a 9,16 mg/kg). Típicamente, valores menores de As se encuentran en suelos arenosos, mientras que los valores más altos de As se encuentran comúnmente en suelos aluviales ricos en SOM, en

este sentido, los suelos estudiados poseen una dicotomía por su origen fluvial-aluvial y por ser principalmente arenosos.

El hidróxido férrico generalmente posee un rol en las concentraciones de As en suelos (principalmente As en los compuestos de AsO_2^- , HAsO_4^{2-} , $\text{H}_2\text{AsO}_3^{2-}$, As^{3+} y As^{5+}). Aunque los minerales y compuestos de As son fácilmente solubles u oxidables, su movilidad está fuertemente limitada por la fuerte sorción de arcillas, hidróxidos y SOM. La razón de sorción es controlada por los óxidos y Eh en suelo, mientras que el pH controla la concentración de especies siendo sorbidas. Entre un 27 a 90% del As puede estar fijada por la fracción de arcillas en un suelo y los compuestos (AsO_2^- , AsO_4^{3-} , HAsO_4^{2-} y H_2AsO_4^-) son las formas más móviles de As y se sorben preferentemente en el rango pH de 7 a 9 (los factores como presencia de zeolitas, arcillas, óxidos de Fe y pH son condicionantes ideales para que el As móvil sea mantenido en el suelo y no ingrese a los sistemas planta). Sin embargo, As al igual que óxidos de Fe y Al podrían ser liberados por hidrólisis al disminuir el potencial de suelo.

Existen reportes de la relación lineal entre la concentración de As en suelo y en plantas, sugiriendo un ingreso pasivo a través del agua del elemento. Las concentraciones de As en plantas creciendo en suelos no contaminados varían desde 0,5 a 80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (las concentraciones de Perissinotto, L. (2018) indican concentraciones de 80 a 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de As, con concentraciones en suelo menores que las estudiadas en este trabajo, pero las concentraciones de arcilla no son especificadas y el pH es levemente menor, de todas formas, se presenta una posibilidad no menor de contaminación con As en las plantas del viñedo CyT). Un estudio también reportado en Kabata-Pendias (2011) en frijoles, demostró que plantas crecidas con una solución de As 10^{-4} M/L acumularon 4, 19 y 42 mg/kg de As en sus hojas, tallos y raíces respectivamente, el cual podría indicar sobre las tendencias de acumulación del As de manera general ($\text{As}_{\text{raíces}} > \text{As}_{\text{stallo}} > \text{As}_{\text{hojas}}$). Otro estudio reportado indica la disminución de As disponible en *Lolium perenne* L. al serle aplicado compost con 5% FeOx y/o 5% de zeolita, presentando algunas posibles medidas de remediación contra la contaminación por As. Por todos los factores previos, se sugiere hacer más revisiones con enfoque en las concentraciones de As en el viñedo Concha y Toro de Pirque.

- Hg: El mercurio es un contaminante ambiental mundial el cual puede generar daños neurológicos y de coeficiente intelectual con su exposición en personas. Particularmente, en este estudio se reportan 2,17 mg/kg de Hg en solo uno de los 10 cuarteles muestreados lo cual es llamativo en sí, pero la realidad de tener esas concentraciones en cualquier suelo del viñedo es una aún más llamativa y la cual descarta inicialmente una contaminación atmosférica. El Hg en la corteza se presenta en la manera: sedimentos arcillosos > rocas sedimentarias > rocas ígneas. Es un calcófilo con fuerte afinidad a formar enlaces con S, puede formar compuestos organomercuriales, gaseosos (Me-Hg) y en su forma elemental es volátil. Ambientalmente se le encuentra como Hg^0 , HgCl_2 , HgO , HgS , CH_3HgCl y $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ y cada compuesto posee comportamientos distintos según el ecosistema, pero estos compuestos muestran una combinación de las siguientes propiedades: fácil volatilización y/o solubilización, baja movilidad y no reactividad. La concentración

promedio de varios suelos en el mundo ronda los 0,58 a 1,8 mg/kg, y se ha mostrado que los niveles de base en superficie no superan los 1,5 mg/kg. Un cálculo por Kabata-Pendias (2011) expresa que 1-3% de del Hg total en suelos superficiales está en la forma de Me-Hg (Metil mercurio). El mercurio es retenido en suelos principalmente como complejos orgánicos levemente móviles y su acumulación está controlada por la formación de estos complejos y por precipitación. La migración del elemento es algo limitado y por tanto tiende a irse concentrando lentamente, aunque se ha reportado un caso en el que se generan pérdidas en suelo de Hg por volatilización (de Hg⁰), la cual estaría acrecentada con la temperatura del suelo y con valores alcalinos más altos. El drenado de Hg también podría estar controlado por el drenado de SOM.

Las plantas adquieren fácilmente Hg en solución y se ha evidenciado que mayores concentraciones en suelo suelen indicar incrementos en las plantas, las cuales translocan Hg a toda la planta y pueden absorber directamente vapor de mercurio. La afinidad del Hg a grupos sulfhidrilo es la reacción clave en la interrupción metabólica dentro de las plantas y, en plantas superiores, se han reportado algunas tolerancias al Hg. La concentración de mercurio en varias plantas se presenta en rangos desde los 2,6 a 86 µg/kg (según el FT del Hg = 10⁻¹, las hojas de las vides en C7 debieran poseer algún valor cercano a las 200µg/kg) y también se han tratado de estimar límites permisibles de Hg en plantas comestibles, por ejemplo de 50 µg/kg, se han estimado los niveles de base de esta variedad de plantas en un rango de 1 a 100 µg/kg.

Por observación en terreno, no se tuvo un notorio cambio de las plantas en C7 para poder suponer con más hechos una contaminación por Hg, pero dado el caso del valor de Hg en este cuartel, se propone una contaminación por influencia hídrica como un posible causante, ya que no se registran valores de Hg en ningún otro cuartel estudiado y existe una (¿planta de tratamientos de agua?) topográficamente encima de la ubicación de toma de muestra para C7.

Fuera del paleocanal en sus inmediaciones, el material de este cuartel no es muy disimilar al de C8 a primera vista, pero en detalle y con respecto a C8, C7 presenta mayores concentraciones de limo, es media unidad más bajo en pH, posee leves concentraciones mayores de Esmectita y Óxidos de Fe pero menores concentraciones en cualquier otro tipo de arcilla y notoriamente de zeolitas, además de que macroscópicamente se le encontró altas concentraciones de ramas, raíces y otros materiales orgánicos. Todos estos factores podrían influenciar en la concentración de Hg en C7 a diferencia de C8, y C6 es un cuartel con muy poco material orgánico, arcillas y notoriamente arenoso el cual posee pocos factores que aportan a la concentración de Hg en él.

El resto de elementos (Cu, Mn, Mo y Zn), los que poseen algunas leves a moderadas deficiencias serán rápidamente revisados en conjunto con la bibliografía de Kabata-Pendias (2011) y otras mencionadas oportunamente, en términos de sus funciones metabólicas, las implicancias de deficiencias y por qué podrían darse, además de algunos datos de concentración promedio. Por último, se darán algunas hipótesis por cuartel de las deficiencias presentes.

- Cu: Uno de los primeros ejercicios a realizarse antes de explicar posibles deficiencias, es la de comparar las concentraciones de Cu en hoja de otros ejemplares de *Vitis vinifera*. Liu et al., (2024) presenta en su estudio una simulación de crecimiento de Moscatel Shine en condiciones de deficiencia de cobre contra un grupo de control estándar, sus resultados arrojan valores de $5.96 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ y $16.77 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ respectivamente entre estos dos grupos, con signos fisiológicos de deficiencia de Cu en el primer grupo. Estos valores sugieren que en efecto, se puede estar en presencia de una deficiencia de Cu en algunos de los cuarteles de CyT, y las caracterizaciones siguientes de Kabata-Pendias (2011) sobre el Cu dejan en duda las razones de por qué.

El cobre varía en rangos de 14 a 109 mg/kg en distintos tipos de suelos del mundo, es relativamente inmóvil y comúnmente se presenta en menores cantidades en suelos arenosos/ligeros, siendo la fracción arcilla en un suelo uno de los principales parámetros en la concentración de cobre, el cual tiende a concentrarse en las capas más superiores del suelo, pero puede ser adsorbido por SOM, carbonatos, minerales de arcilla y oxihidróxidos de Mn y Fe, por lo que puede ser acumulado en capas inferiores. La solubilidad del Cu disminuye notoriamente para cationes y aniones en el rango pH de 7 a 8, y la formación de complejos orgánicos presenta prominentes implicancias prácticas para la biodisponibilidad y migración del Cu, siendo la solubilidad de los complejos de Cu aumentada por compuestos de menor peso molecular y mayores concentraciones. De manera general se pueden indicar deficiencias de cobre con contenidos menores a 10 mg/kg según el suelo.

Se ha aumentado la evidencia que la absorción del Cu en plantas es un proceso activo, a menos que se trate de suelos con rangos tóxicos del metal en solución. El Cu es también uno de los EMNs con las menores razones de absorción en plantas superiores, variando de pico- a $\mu\text{M}/\text{h}/\text{g}$ en raíces, aunque la especie de Cu importa, siendo el óxido de Cu antropogénico más disponible para ciertas plantas que el Cu pedogenético. La movilidad del Cu dentro de las plantas es baja, tiende a acumularse en raíces y hojas viejas, también se ha observado que los tejidos en raíces tienen una fuerte capacidad de retener el transporte de Cu en condiciones de deficiencia y exceso del elemento.

Las propiedades previamente mencionadas son extrañas para la condición de deficiencia de los cuarteles C1, C3, C7, C8, C9 y C11, a modo de ejemplo, C2 (el cuartel con mayor concentración de Cu foliar) comparado con C3 (el con menor concentración de Cu foliar) posee: cerca de la mitad de concentración de Cu en suelo, una muy leve diferencia (0,1 de pH) con C3, mayor porcentaje de la fracción arcilla (de las cuales, no difiere mucho en % de “Esmectita”, “Vermiculita” ni del Grupo de Caolinita, pero sí posee un mayor % de zeolitas). Con la información geológica y el entendimiento biogeoquímico presente, se proponen tres situaciones posibles: (i) Los suelos de C1, C3, C7, C8, C9 y C11 podrían presentar niveles excesivos de Cu biodisponible, generando entrapamiento de este en las raíces de las vides, por lo que habría que estudiar las variedades de Cu biodisponible. (ii) La interacción mutualista y antagonística de ciertos elementos (Ca, Fe, Mn, Zn, Al, entre otros) en conjunto con la suma de las condiciones fisicoquímicas, generan en total una disminución de Cu biodisponible en estos suelos o (iii) Las hojas muestreadas son

relativamente jóvenes en comparación con la planta en general, lo cual debido a la baja movilidad de Cu dentro de las plantas, podría explicar la baja concentración foliar.

- Mn: La búsqueda por rangos que indiquen la deficiencia de Mn en *Vitis vinifera* conllevó al trabajo de Alejandro et al. (2020), donde se redefine el rango general de la deficiencia de Mn en plantas a valores entre 10 a 20 mg/kg, y a caracterizar esta patología como un desorden latente sin claros síntomas visuales. La deficiencia de Mn y de muchos elementos, idealmente debe ser considerada de caso a caso, con la redefinición del rango de deficiencias por un trabajo más reciente llama a la reconsideración de la clasificación de “deficiente”, pero se considera prudente una leve caracterización pedológica y en plantas del Mn.

Kabata-Pendias explicita al Mn como un elemento que durante el proceso de meteorización se oxida y se reprecipita en forma de minerales secundarios de Mn en concreciones o nódulos. Es geoquímicamente similar al Fe, siguiendo varios de los ciclos terrestres que el Fe presente y su catión más común, Mn^{2+} (generalizado) tiende a reemplazar a otros cationes divalentes (Fe^{2+} , Mg^{2+}), siendo sus óxidos junto con los de Fe, algunos de los componentes más abundantes que funcionen de terminales aceptoras de electrones en el metabolismo microbiano. La concentración de Mn en suelos ronda los 411 a 550 mg/kg (siendo 692 mg/kg el promedio de suelos estudiados), y las condiciones Eh-pH son de los factores predominantes en su concentración. Su movilidad es relativamente alta, puede ser removilizado por soluciones ácidas como bicarbonato o en complejos con SOM.

Alejandro et al., (2020) indica que, en plantas, su homeostasis está pobremente investigada a pesar de su importancia fotosintética, y que la deficiencia de Mn es un serio riesgo nutricional en suelos con alto pH y presiones parciales de O_2 , donde su biodisponibilidad puede ser reducida a niveles por debajo del normal. Además, indica que la fertilización con sales de Mn no es muy efectiva, debido a que Mn soluble (Mn^{2+}) es rápidamente oxidado en formas no biodisponibles, en especial en suelos arenosos y alcalinos. Remediaciones en la deficiencia de Mn se pueden obtener vía corrección de pH y aplicación de fertilizantes de Mn, o también vía aplicación de Mn foliar, siendo esta última una estrategia costosa y poco efectiva a largo plazo debido a la baja movilidad del Mn dentro de plantas, generando deficiencias en hojas posteriores a la aplicación foliar (Alejandro et al., 2020)

De la identificación por DRX no se vislumbraron minerales de Mn, aunque no se consideraron compuestos orgánicos en las fases a identificar, pudiendo explicar la falta de compuestos u óxidos de Mn. Aparte de ello, las concentraciones pedológicas de este elemento son normales, siendo solo uno de los cuarteles (C8), el que presenta valores “deficientes” según los rangos dispuestos por Kabata-Pendias (2011), y lo más llamativo del mismo, su clasificación “francosa” y su alto pH, dos características relativamente antagónicas para la biodisponibilidad del Mn en suelo. Es posible una leve deficiencia, en especial presente en las hojas más nuevas en relación a la planta en general, y siendo C8 uno de los cuarteles que presenta más deficiencias en comparación al resto, se considera prudente una investigación más a detalle a nivel fisiológico.

- Mo: Kabata-Pendias (2011) indica al promedio en suelo de Mo en 1,1 mg/kg (rangos de 0,9 a 1,8 mg/kg, teniendo los suelos muestreados un promedio 1,74 y rangos de 0,6 a 2,23 mg/kg), siendo el contenido en suelos muy asociado a su material parental. Además, el promedio de Mo según el tipo de suelo varía de 1,3 mg/kg en suelos podsol arenosos a 2,8 mg/kg para cambisols francos. El comportamiento del Mo es particular debido a su mínima solubilidad en suelos ácidos, mientras que su movilidad y biodisponibilidad aumentan en suelos alcalinos, además, la solubilidad del Mo es muy cercana a la de $PbMoO_4$ en suelos, y se fija fuertemente con materia orgánica y óxidos hidratados de hierro.

Las plantas absorben Mo en forma de iones de molibdato, y esta absorción es proporcional a su concentración en suelo, aunque existen sugerencias de que es un proceso activo. Tanto Kabata-Pendias (2011) como Roychoudhury y Chakraborty (2021) indican que la concentración mínima idónea de Mo en plantas es de 0,2 mg/kg, aunque se discrepa del valor tope entre 5 y 2 mg/kg respectivamente, e indican un importante número de funciones metabólicas para el elemento, siendo parte importante de enzimas asociadas al nitrógeno, catabolismo, síntesis de fitohormonas entre otras, y la deficiencia de Mo puede generar clorosis, necrosis y millerandage.

La menor concentración pedológica (y por tanto foliar calculada) de Mo se presenta en el C13 (solo 0,6 mg/kg), mientras que el resto de los cuarteles presenta valores por encima de 1 mg/kg en suelo y son teóricamente deficientes, C13 es un cuartel areno francoso con el segundo valor de pH más alto de los calculados y la 3ra concentración más alta de óxidos de Fe, además que en terreno es notoriamente granular, bien drenado y falto de material orgánico, lo cual también se observa en su fracción 500 μ m. La concentración pedológica que posee y condiciones idóneas para el drenado de Mo lo vuelven un cuartel el cual realísticamente puede poseer una notable deficiencia de Mo en sus plantas. Una remediación inicial posible que se sugiere de este estudio sería la adición de hummus u otro material orgánico que pueda aportar a la fijación, mantención de la humedad y formación de molibdatos en este suelo.

- Zn: De la información de Kabata-Pendias (2011) se extrae que el contenido promedio de Zn en suelos y en la corteza está estimado en 70 mg/kg (el promedio_{suelos} = 92,12 mg/kg). Es un elemento móvil durante la meteorización y sus compuestos son fácilmente precipitados en reacciones con carbonatos, otros minerales o compuestos orgánicos, especialmente en la presencia de aniones de azufre. La concentración de zinc en suelo se asocia fuertemente al material parental, la textura del suelo, los procesos pedogenéticos, la concentración de materia orgánica y la fracción arcilla (en especial de vermiculita y gibbsita). En suelos neutros a alcalinos, SOM y arcillas pueden retener fuertemente al Zn del resto del ambiente, aún con la alta movilidad y solubilidad que los compuestos de Zn poseen. Los compuestos solubles de Zn son biodisponibles y su relación lineal con el Zn nutricional podría indicar una absorción pasiva, la cual difiere según la especie vegetal y medioambiente. Existen reportes aparentemente contradictorios del contenido y fluctuaciones del Zn dentro de una planta, presentándose evidencias de concentraciones constantes y fluctuantes dependiendo del reporte y especie estudiada, aunque el trabajo de Nambiar y Motiramani (1981) es uno de los más interesantes al reportar casos de plantas

(maíz) con deficiencias de Zn aún con concentraciones por sobre las deficientes, y que la razón Fe/Zn (en planta) entregaba un factor mucho más acertado a los síntomas de la deficiencia de Zn, siendo $Fe/Zn \geq 6$ un indicador veraz de la patología para el maíz.

Para este estudio, los cuarteles C7, C8 y C13 presentan una deficiencia de Zn según la clasificación de Kabata-Pendias 2011, cuando se observa sus razones Fe/Zn, particularmente estos cuarteles presentan los mayores valores (3,39; 4,17 y 4,92 respectivamente) siendo el resto de cuarteles menores a 3 exceptuando por C3 y C6 (3,45 y 3,28 respectivamente). Sea esta razón un indicador de la deficiencia de Zn en la variedad Cabernet Sauvignon, estaría presente entre 3 a 3,5 y debe ser estudiada en conjunto con caracterizaciones fisiológicas a detalle que determinen una real deficiencia de las plantas en estos cuarteles.

“Sobre las clasificaciones de Concha y Toro”

Además de la verificación teórica por FT y rangos de Kabata-Pendias (2011), se tiene el dato particular (información adicionada de manera informal) de los rangos nutricionales foliares óptimos para el cultivo de la vid, con clasificaciones según tipo de calidad esperada. Los rangos aceptables como “alta calidad” para las hojas de los viñedos de Concha y Toro se observan en la tabla 6, la que muestra en su lado izquierdo los elementos y rangos foliares aceptados como de “alta calidad”. Considerar que, otras clasificaciones como “calidad baja” o “calidad media” comparten muchos de los valores mínimos aceptables que “calidad alta” presenta (siendo las diferencias de una a 5 unidades de medida en general).

Bajo la clasificación alta, los EMN’s N, Ca, Mg, Mn, Cu y Na poseen valores por debajo del esperado (en naranja), siendo especialmente notorios los casos del Mg y Cu con muchos cuarteles considerados y valores notoriamente bajos al valor mínimo.

Elementos		Calidad alta		Cuarteles									
Nutriente	Unidad	Valor mínimo	Valor máximo	C1	C2	C3	C6	C7	C8	C9	C11	C12	C13
N	%	1,7	2,4	1,73	1,53	2,14	2,01	2,2	1,92	1,71	1,71	1,62	1,78
P	%	0,08	0,27	0,12	0,2	0,2	0,11	0,13	0,14	0,1	0,1	0,16	0,13
K	%	0,6	1,4	1,37	1,53	1,44	1,16	1,2	0,98	1,19	1,11	1,59	0,97
Ca	%	2	3,1	2,37	2,63	2,11	2,52	2,24	1,89	2,11	2,22	2,73	2,34
Mg	%	0,21	0,5	0,15	0,12	0,11	0,19	0,2	0,19	0,15	0,13	0,11	0,21
Fe	ppm	50	145	77,84	73,53	78,91	89,82	65,8	75,73	74,2	92,07	68,91	83,31
Mn	ppm	40	300	49,66	77,36	43,81	33,4	46,59	25,8	51,33	50,73	57,89	66,35
Zn	ppm	9	40	35,06	27,93	22,81	27,35	19,41	18,14	30,48	55,7	31,19	16,94
Cu	ppm	5	16	4,83	12,9	3,49	8,03	3,98	4,37	4,05	4,32	5,96	5,02
B	ppm	20	72	48,05	47,57	46,67	57,45	77,28	36,4	64,09	37,52	74,07	64,56
Na	ppm	100	700	151,2	117,34	138,07	72,39	123,08	110,37	167,57	126,55	116	141,37

Tabla 6: Tabla de clasificaciones para “Calidad Alta” en los EMN’s foliares presentes para los viñedos de CyT. En naranja, los valores por cuartel por debajo del valor mínimo aceptado y en rojo, los valores por encima del aceptado.

Los EMN's K, Zn y B poseen valores por encima de la clasificación alta (destacados en rojo; con C12 dentro de las clasificaciones media y baja para B; C11 por encima de cualquier clasificación para el Zn y K estando por encima de cualquier clasificación para todos los cuarteles en rojo).

Las concentraciones de elementos como N, K, Ca y Mg podrían estar directamente relacionadas a la aplicación de los agroquímicos dispuestos para el viñedo (tiosulfato de potasio, fósforo líquido, nitrato de potasio líquido, “*bachumus eco*”, “*aminochem M.O.*” y “*cutsalt*”), los cuales presentan aplicaciones más directas a la planta. Particularmente, la aplicación de fertilizantes de K puede disminuir la concentración de Mg biodisponible en suelo (Kabata-Pendias, 2011). Na también puede poseer una influencia de los fertilizantes al ser desplazado del complejo arcillo-húmico por agroquímicos como la “*cutsalt*”, con posterior drenaje del sodio (*Cut Salt – Chemie*, s. f.), siendo C6 uno de los cuarteles con mayor % Arena presentes, esta posibilidad está fuertemente sugerida.

Entran nuevamente en discusión, los EMN's de B, Cu, Mn y Zn. De estos elementos, solo “*bachumus eco*” presenta B, Cu, Mn y Zn (concentraciones respectivas de 1,22 ppm; 4,46 ppm; 0,001% y 0,002% por cada 20 litros de fertilizante según Agro (s. f.)). Tanto Mn como Zn poseen mayores concentraciones foliares en cuarteles pertenecientes a T3, asociando principalmente este hecho a la mayor concentración de % Arcilla para esta terraza, las micas ayudando así, en conjunto con SOM, a la retención de estos elementos en suelo. El caso del Cu, a pesar de también ser retenido por micas varias y SOM, posee una menor biodisponibilidad del mismo en suelos alcalinos y una menor concentración presente en el agroquímico con respecto a Mn y Zn.

4.5. Análisis PCA

Para finalizar la sección de Discusiones, se realizó un análisis PCA vía Colab de todos los datos numéricos presentes en este trabajo (omitiendo indicador CIC y concentraciones aplicadas de agrofertilizantes).

Se realizaron PCA para todos los datos numéricos y varios “*subsets*” de datos, y se observan los mismos valores de correlación entre dos variables a pesar de que cambien los “*subset*” estudiados. También, se observaron leves diferencias entre la correlación vía método de *Spearman* y *Pearson*.

Se recopila en el punteo final, todas las correlaciones ($|r|$) mayores a 0,7 y/o que sean de interés para este estudio.

Del listado final, algunas correlaciones destacables que se pueden suponer como causales vía el análisis de este trabajo son:

(% Arena negativa %Limo/%Arcilla) y (Altura negativa con Caolinita) pueden ser fuertes correlaciones que evidencian los procesos de formación de las terrazas estudiadas, el aumento de la incisión del Maipo y la influencia de las terrazas en los suelos del viñedo. En conjunto con estas

evidencias, Piroxenos posee una correlación positiva con % Arcilla, probablemente evidenciando este mismo fenómeno al presentarse menores influencias fluviales en cuarteles de terrazas más altas y antiguas y, por tanto, menor alteración de estos minerales.

Varios elementos metálicos en suelo (As, Cd, Cr, Li, Mo, Ni, Pb, Sr, Ti, entre otros) poseen correlaciones positivas entre sí. Estas correlaciones positivas en elementos presentes en suelo sin notorias correlaciones a elementos foliares se proponen como reflejo de la mineralogía, la cual puede contener en su estructura cristalina a la mayoría de estos elementos, ser detectados por ICP-MS, pero no estar biodisponibles en la solución del suelo.

Conductividad y pH poseen una leve correlación negativa ($|r| = 0,26$). Esta leve correlación negativa puede estar asociada a la “competencia” que los aniones positivos considerados para la Conductividad puedan poseer con los aniones H^+ del pH.

Cu foliar posee correlación negativa con algunos elementos en suelo, de estos (Co, Cu, Fe, Mg, Ti y V), cabe destacar a Cu, el cual se podría explicar, a partir de un origen principalmente parental para el Cu en las plantas del viñedo. Aparte, Cu en suelo posee una correlación de Spearman positiva con el pH, por lo que una menor biodisponibilidad del Cu en suelos con mayor pH es una causalidad fuertemente supuesta.

Fe en suelo posee una correlación positiva con Mg, Ti y Vn (además de con Mn según la correlación de Spearman), estas correlaciones pueden reflejar el comportamiento biogeoquímico similar de estos elementos y la alta concentración de Fe+Mg en minerales máficos. Además, presenta una correlación negativa con Cu foliar y positiva con N foliar. El caso de Cu foliar se especula como interacción antagonística del Fe sobre el Cu biodisponible y el caso del N puede reflejar la importancia del nitrógeno en la absorción y transporte del Fe, aunque no se tienen correlaciones fuertes del N con Fe foliar.

De todos los minerales micáceos, solo Vermiculita y Zeolitas poseen una correlación elemental fuerte y probablemente causal (Zn foliar para el primero y K en suelo y foliar para la segunda). En Vermiculita se evidencia la importancia de este mineral con la fijación del Zn y posiblemente, de otros elementos. En las Zeolitas se puede estar reflejando la adsorción de estos minerales para los cationes de K^+ . Además, estas últimas poseen una correlación positiva con Conductividad, un posible “efecto de esponja” que estos minerales poseen para la adsorción y liberación de elementos.

Listado de correlaciones positivas y negativas con $|r| \geq 0,7$. (Asúmase correlación de Pearson a menos que se especifique la de Spearman):

- % Arena:
 - Se correlaciona negativamente con %Limo y % Arcilla (-97% y 77% a lo largo de varios PCA)
 - Positiva con Sn en suelo.

- % Limo:
 - Negativa con Sn en suelo.
- % Arcilla:
 - (Spearman) Negativa con Sn en suelo.
 - (Spearman) Positiva con Be en suelo.
- Altura
 - Negativa con Na en suelo y (Spearman) con N foliar.
 - (Spearman) Positiva con Caolinita
- Aluminio:
 - (Spearman) Positiva con Sb, Co, Cr, Li, Mn, V.
- Anfíboles:
 - Negativa con granulometrías N° (5,10 y 20).
 - Positiva con granulometría % Fino.
- Sb en suelo:
 - Positiva con As, Bi, Cd, Cr, Pb, Li, Mo, Ni, Sr y Granulometría N° 100
- KPO₃:
 - Positiva con Ceolitas
 - Negativa con Ti en suelo.
 - (Spearman) Positiva con Cu foliar ($|r| = 0,67$)
- Apatito:
 - Positiva con Ba, K, Rb, Tl y U.
- As en suelo:
 - Positiva con Bi, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mg, Mo, Ni, Sr y Zn.
- Ba en suelo:
 - Positiva con Cd, Cr, Pb, Mo, Ni, K, Rb, Tl, U y Granulometría N°35
- Biotita:
 - Negativa con K foliar, Ba, Cd, Cr, Mo, Ni, K, Rb y Tl.
- Bi en suelo:
 - Positiva con Cd, Cr, Pb, Mo, Ni, Sr, Zn y Granulometría N ° 100.
- Ca foliar:
 - Negativa con Co, Fe, Li, Mg y V (todas en suelo).
- Ca en suelo:
 - (Spearman) Positiva con Mg en suelo.
- Cd en suelo:
 - Positiva con Cr, Pb, Mo, Ni, Sr, Tl y U.
- Calcita:
 - Positiva con Ca en suelo. (Spearman) también con Bi en suelo.
- Ceolitas:
 - Positiva con Conductividad, K foliar, K en suelo y Rb.
 - Negativa con Fe, Ti y V en suelo.
- Clorita:
 - Positiva con Cu en suelo.
- Co en suelo:
 - Positiva con Cu, Fe, Mg, Ti, V en suelo.

- Cu en suelo:
 - Positiva con Mg en suelo.
- Conductividad:
 - Positiva con Cu foliar.
 - Negativa con Co, Fe, Mg, Ti, V y Granulometría N°10
 - (Spearman) Negativa con Feldespatos ($|r| = 0,68$)
 - (Spearman) Positiva con Ceolitas.
- Cr:
 - Positiva con Pb, Mo, Ni, Sr y Zn en suelo.
- Cu foliar:
 - Negativa con Co, Cu, Fe, Mg, Ti, V en suelo.
- Cuarzo:
 - Positiva con cordierita y Zn foliar.
- Esmectita:
 - Positiva con Muscovita y Granulometrías N° (5, 10, 20, 35)
 - Negativa con Anfíboles, Biotita y Granulometrías N° 200 y % Fino.
- Sr en suelo:
 - Positiva con Zn.
- Fe foliar:
 - Negativa con Granulometrías N° 5 y 35.
- Feldespatos:
 - Negativa con cianita, apatito y K en suelo.
- P:
 - Positiva con Se en suelo.
- Granulometría N° 10
 - Positiva con Granulometría N°20
- Granulometría N° 20
 - Positiva con Granulometría N°35
 - Negativa con Granulometría % Fino
- Granulometría N° 5
 - Positiva con Granulometría N° 35
- Fe en suelo
 - Positiva con Mg, Ti y V en suelo. (Spearman) también con Li y Mn en suelo.
- K foliar:
 - Positiva con K, Rb y Tl en suelo. (Spearman) también con Ba en suelo y Granulometría N°35.
 - Negativa con Mg foliar.
- Mg en suelo:
 - Positiva con V en suelo.
- Metales (Ti, Sn):
 - Positiva con Clorita.
- Mg foliar:
 - Positiva con S foliar.
 - Negativa con K y Rb en suelo.

- Mn foliar:
 - Negativa con Ca, Mg, Sr y Zn en suelo.
- Mo en suelo:
 - Positiva con Ni, Sr en suelo y con Granulometría N° 100
- Muscovita:
 - Negativa con Fe foliar y con Granulometría N° 200.
 - Positiva con Granulometrías N° 4 y 35.
- N foliar:
 - Positiva con Co, Fe, Mg, Ti y V en suelo.
 - (Spearman) Negativa con Mn foliar.
- Na foliar:
 - Positiva con Mn en suelo.
- Ni en suelo:
 - Positiva con Sr en suelo y Granulometría N° 100
 - Negativa con Granulometría % Fina
- Ox's de Fe:
 - Negativa con Illita.
- P foliar:
 - Negativa con Granulometría % Fina.
- pH:
 - (Spearman) Positiva con Cu en suelo (correlación de 0,69) y con biotita y clorita.
 - Negativa con K foliar.
 - (Spearman) Levemente negativa con Conductividad (correlación de -0,26)
- Piroxenos.
 - Positiva con % Arcilla.
- Pb:
 - Positiva con Mo, Ni, Sr en suelo y Granulometría N° 100
- K en suelo:
 - Positiva con Rb, Tl, U en suelo y Granulometría N° 35.
- Rb en suelo:
 - Positiva con Tl, U y Granulometría N° 35.
- S foliar:
 - Negativa con Rb en suelo.
- Se en suelo:
 - Positiva con Granulometrías N° 5 y 35.
- Tl en suelo:
 - Positiva con U y Granulometría N° 35.
- Ti en suelo:
 - Positiva con V en suelo.
- Vermiculita:
 - Positiva con Biotita.
 - Negativa con Bi, Cr y Mo en suelo. (Spearman) también con Zn foliar, calcita y cuarzo.

5. Conclusiones

La caracterización morfológica y textural de las terrazas del STRM en Pirque y Puente Alto indican la presencia de 3 terrazas agradacionales, T3, T2 y T1 con sus respectivas terrazas degradacionales las cuales empezaron a tomar su forma definitiva una vez sucedida la erupción de la Caldera El Diamante hace 450.000 años. Esta erupción dio por consiguiente un flujo lahárico el cual se presenta expresado en los estratos E4 y E5, y fue superyacido por flujos de barro y detritos (E3 a E1), los cuales presentan leves similitudes en tipo de depósitos, al flujo piroclástico que puede ser observado superyaciendo al lahárico por Ormeño (2007) pero no presentan una composición que les pueda conferir el estatus de depósito por flujo piroclástico, indicando posibles génesis posteriores al periodo aluvional de río Maipo (Qamp).

Las variaciones climáticas y el aumento de incisión producido por la neotectónica de la Falla San Ramón generaron terrazas degradacionales (T3B, T3C, T3D, T2B y T2C) siendo estas, las principales terrazas expresadas en el área de estudio, además de la terraza más reciente T1. Los depósitos fluviales (E6) y aluvionales (E3 a E1) son los más presentes geográficamente en toda la zona y, a partir de la distribución geográfica de las terrazas, generaron una variación espacial en el tipo de material parental para las distintas terrazas, generando suelos desde la clasificación franca a la arenosa, y que reflejan en promedio, el aumento de incisión conforme disminuye la antigüedad del material al aumentar el porcentaje de arena, el cual también se ve afectado por variaciones locales como bancos de arena y que dan lugares a zonas donde la fauna y la flora se pudo asentar en las paleo-riberas del Maipo.

Las variaciones de material y la meteorización generaron suelos neutros a levemente alcalinos, formando y generando la precipitación de óxidos, formación de arcillas y zeolitas con estimada baja cantidad de material orgánico soluble, el cual debe ser medido para confirmación. Estas condiciones son propicias para la adsorción de varios metales trazas por las arcillas y zeolitas expresado en los altos valores de CIC de estos minerales, pero, dependiente del metal, no propician condiciones excelentes para la absorción de estos en sus formas solubles para las plantas de la variedad Cabernet Sauvignon, observándose posibles deficiencias de Cu, Mn, Mo y Zn principalmente, y toxicidades por revisar de As y Hg, las cuales podrían estar influenciadas por el material parental en el primer caso y de manera antrópica para el segundo.

Mayores concentraciones de EMN's foliares (en especial de Mn y Zn) se observan en terrazas más antiguas, más altas y de mayor porcentaje de arcilla. Estas concentraciones pueden explicarse por una mayor adsorción que presentan las arcillas y la mayor temporalidad para la alteración de minerales en suelo. En contraste la influencia fluvial es más potente en la textura presente del suelo, otorgando buen drenaje y bajo contenido de material orgánico principalmente como se observa en las caracterizaciones de la fracción 500 μ .

Se observaron las posibilidades de utilizar razones elementales (Fe/Zn) foliares para la detección de deficiencias de metales, la cual aparentemente indicaría deficiencias de Zn cuando los valores son mayores a un rango de 3 a 3,5 para la variedad cv. Cabernet Sauvignon. Además de esta, las interacciones antagonísticas entre elementos en suelo y de manera foliar deben ser mayormente

estudiados. Considerar además, de estudiar las concentraciones de elementos a lo largo de la estructura de las vides.

Finalmente, se hipotetiza a los cuarteles C1, C9, C11 y C13 (todos cuarteles de las terrazas degradacionales de T3), como algunos de los que podrían presentar las condiciones de mayor calidad en términos pedológicos para las vides de Concha y Toro debido a: porcentajes de arcilla otorgados por los depósitos aluvionales, composiciones elementales en suelo y foliar con pocas deficiencias/toxicidades, cumplimiento de los rangos para clasificar calidad alta de sus hojas y texturas retensoras de humedad/iones (%Arcilla, %Limo), las cuales permiten un mejor manejo antrópico sobre la vid y un generar un mayor estrés hídrico sobre la planta.

6. Recomendaciones

Para estudios de carácter geológico futuros, se podrían estudiar las relaciones estratigráficas presentes en toda la zona de estudio y sus espesores, para dilucidar las temporalidades de deposición y formación de suelo. En conjunto, se pueden estudiar de estas relaciones estratigráficas, la influencia del “*uplift*” generado por la Falla San Ramón, o las parentalidades de los depósitos sedimentarios.

Se debe revisar a mayor detalle la aplicación de agrofertilizantes (i.e. de K y Ca), las razones de degradación de estos y los efectos de estos sobre los elementos presentes vía parentalidad del material. Para ello se recomienda tener un área de control por cuartel los cuales no tengan adición de fertilizantes y a los cuales se les contraste con cada control realizado sobre el cuartel.

Muchos de los elementos estudiados poseen relaciones antagonísticas tanto en suelo, como dentro de las plantas (i.e. metales como Al, B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn). Poder contrastar la biodisponibilidad de los EMN's con los presentes en suelo es fundamental para entender a ciencia cierta las influencias del material parental (depósito aluvional vs fluvial) sobre la vida y la una posible sobre fertilización de estos mismos.

El caso más idóneo de estudio para el punto anterior, es si se tienen los valores de suelo, los biodisponibles y los foliares/en baya para ir viendo las relaciones entre material parental y los procesos de meteorización que dieron lugar a un suelo, pero, en caso de priorizarse, se recomienda tener las concentraciones biodisponibles, luego en planta, y finalmente el suelo, las cuales pueden ser complementadas con valores de pH, Eh, CIC, Materia orgánica y textura, además que, con una semi-cuantificación por RDX, se pueden entender los minerales con menores concentraciones (i.e. máficos) para presentar una idea de qué elementos fueron liberados al suelo por el material parental.

También se pueden estudiar a detalle, las concentraciones de metales como As, Cd, Hg, Sn u otros en distintos tejidos de *Vitis vinífera* (o derechamente en cv. Cabernet Sauvignon) y en suelo, lo cual puede entregar más información sobre la forma de absorción, influencia pedológica y toxicidades de estos metales para estas variedades de plantas.

7. Bibliografía

Aguirre, L. 1960. Geología de los Andes de Chile Central. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín, No. 9, 70 p.

Agro, M. |. M. y. V. |. S. P. E. (s. f.). *BACHUMUS ECO (20 LT) GW | MYV*. MyV. <https://www.myv.cl/HOME/NUTRICION-VEGETAL-Y-BIOESTIMULANTES/NUTRICION-VEGETAL-Y-BIOESTIMULANTES/ESPECIALIDADES-DE-SUELO/BACHUMUS-ECO/p/20001686>

Ahmad, W., H, M., S, S., Niaz, A., & Saifullah, N. (2012). Boron Deficiency in Soils and Crops: A Review. *InTech eBooks*. <https://doi.org/10.5772/36702>

Alberdi, M.T.; Frassinetti, D. 2000. Presencia de Hippidion y Equus (Amerhippus) (Mammalia, Perissodactyla) y su distribución en el Pleistoceno Superior de Chile. *Revista de Estudios Geológicos*, Vol. 56, p. 279-290. Madrid

Alejandro, S., Höller, S., Meier, B., & Peiter, E. (2020). Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation. *Frontiers In Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00300>

ALS. (2025). *ALS Geochemistry: Schedule of services & fees (AUD)*. ALS Limited. <https://www.alsglobal.com>

Arbelo, C.D., Rodríguez-Rodríguez, A., Guerra, J.A., Mora, J.L., Notario, J.S. and Fuentes, F. (2006), Soil degradation processes and plant colonization in abandoned terraced fields overlying pumice tuffs. *Land Degrad. Dev.*, 17: 571-588. <https://doi.org/10.1002/ldr.735>

Armijo, R., Rauld, R., Thiele Cartagena, R., Vargas Easton, V., Campos Muñoz, J., Lacassin, R. y Kausel Elicagaray, E. (2010). The West Andean Thrust, the San Ramón Fault, and the seismic hazard for Santiago, Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/125723>

Bergmann, J., & Taut, T. (2005). *BGMN: Rietveld analysis program manual* (4th rev. ed.). Dresden, Germany. <http://www.bgm.de>

Castillo, P., Serra, I., Townley, B., Aburto, F., López, S., Tapia, J., & Contreras, M. (2020). Biogeochemistry of plant essential mineral nutrients across rock, soil, water and fruits in vineyards of Central Chile. *CATENA*, 196, 104905. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104905>

Concha y Toro. (2025). Reporte de Vendimia 2024 *Luxury Brands* de Concha y Toro <https://conchaytoro.com/content/uploads/2024/08/Reporte-Vendimia-2024-Luxury-Brands-Concha-y-Toro-ESP-comprimido-comprimido.pdf>

Control de calidad y garantía. (s. f.). <https://www.alsglobal.com/es/geochemistry/qc-and-assurance>

Cut salt – chemie. (s. f.). <https://chemiesa.com/producto/cut-salt/>

Directorio de Acreditados. (s. f.). <https://acreditacion.innonline.cl/>

Döbelin, N., Kleeberg, R., „Profex: a graphical user interface for the Rietveld refinement program *BGMN*„, *Journal of Applied Crystallography* 48 (2015), 1573-1580. [doi:10.1107/S1600576715014685](https://doi.org/10.1107/S1600576715014685)

Döbelin, N. (2019). *Profex user manual: Part 3 – User interface* (Version 4.0). <http://profex.doebelin.org>

Döbelin, N. (2021). *Profex user manual: Part 2 – Using Profex* (Version 4.3). <https://www.profex-xrd.org>

Groenendyk, Derek & Ferré, Ty & Thorp, Kelly & Rice, Amy. (2015). Hydrologic-Process-Based Soil Texture Classifications for Improved Visualization of Landscape Function. *PloS one*. 10. e0131299. [10.1371/journal.pone.0131299](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131299).

Gruber, B., & Kosegarten, H. (2002). Depressed growth of non-chlorotic vine grown in calcareous soil is an iron deficiency symptom prior to leaf chlorosis. *Journal Of Plant Nutrition And Soil Science*, 165(1), 111. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200202\)165:1](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200202)165:1)

Hawthorne, F. C., Oberti, R., Harlow, G. E., Maresch, W. V., Martin, R. F., Schumacher, J. C., Welch, M. D. (2012) Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*

Huang, J., & Zhang, R. (2022). The Mineralization of Molluscan Shells: Some Unsolved Problems and Special Considerations. *Frontiers In Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.874534>

Instituto Nacional de Normalización [INN]. (2022). ALCANCE DE LA ACREDITACION DEL ALS LIFE SCIENCES CHILE S.A., LABORATORIO ALS ENVIRONMENTAL, SANTIAGO, COMO LABORATORIO DE ENSAYO. En <https://acreditacion.innonline.cl/> (LE 224). Eduardo Ceballos Osorio; Sergio Toro Galleguillos. <https://acreditacion.innonline.cl/PDF.aspx?ID=838&ac=0> “Acreditación Válida de ALS 2022 a 2027”. (a)

Instituto Nacional de Normalización [INN]. (2022). ALCANCE DE LA ACREDITACION DEL ALS LIFE SCIENCES CHILE S.A., LABORATORIO ALS ENVIRONMENTAL, SANTIAGO, COMO LABORATORIO DE ENSAYO. En <https://acreditacion.innonline.cl/> (LE 1535). Eduardo Ceballos Osorio; Sergio Toro Galleguillos. https://www.inn.cl/sites/default/files/cert_cancelados/le1535.pdf “Acreditación Inválida de ALS 2022 a 2027” (b)

Kabata-Pendias, Alina., Trace elements in soils and plants / Alina Kabata-Pendias. -- 4th ed. p. cm. Includes bibliographical references and index. ISBN 978-1-4200-9368-1 (hardback) 1. Soils--

Trace element content. 2. Plants--Effect of trace elements on. 3. Plants--Composition. 4. Trace elements. 5. Plant-soil relationships. I. Title. S592.6.T7K3 2010

Kathrin Weber, Peter Quicker, Properties of biochar, Fuel, Volume 217, 2018, Pages 240-261, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.12.054>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236117316216>)

Kaur, H., Singh, G., Nelson, K. A., & Kaur, G. (2024). Landscape position and cover crops affect soil properties in a no-till terraced field. *CATENA*, 239, 107874. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.107874>

Kay, S.; Kurtz, A. 1995. Magmatic and tectonic characterization of the El Teniente region. Final report (Inédito), Corporación Nacional del Cobre, División El Teniente, 188 p. (*)

Krzic, M, Walley, F., Diochon, A., Paré, M., Farrell, R. (Eds.). (2021). Digging into Canadian Soils: An Introduction to Soil Science. Canadian Society of Soil Science. <https://www.saskoer.ca/soilscience/>

Kurtz, A.; Kay, S.; Charrier, R.; Farrar, E. 1997. Geochronology of Miocene plutons and exhumation history of the El Teniente region, Central Chile (33-35°S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 24, No. 1, p. 75-90.

Libretexts. (2025, 3 junio). 10.5: Clay Minerals. Geosciences LibreTexts. [https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Geology/Environmental_Geology_\(Earle\)/10%3A_Weathering_Soil_and_Clay_Minerals/10.05%3A_Clay_Minerals](https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Geology/Environmental_Geology_(Earle)/10%3A_Weathering_Soil_and_Clay_Minerals/10.05%3A_Clay_Minerals)

Liu, S., Lin, Y., Yang, Y., Xia, J., Niu, M., Hakeem, A., Fang, X., Fan, H., Wang, X., Fang, J., & Shangguan, L. (2024). Inferring the chronic copper deficiency stress responsive network and comparative analysis with excessive copper stress in grapevine. *Scientia Horticulturae*, 335, 113352. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113352>

M.F. Brigatti, E. Galán, B.K.G. Theng, Chapter 2 - Structure and Mineralogy of Clay Minerals, *Developments in Clay Science*

Mamoun A. Gharaibeh, Ammar A. Albalasmeh, Ali El Hanandeh, Estimation of saturated paste electrical conductivity using three modelling approaches: Traditional dilution extracts; saturation percentage and artificial neural networks, *CATENA*, Volume 200, 2021, 105141, ISSN 0341-8162, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105141>.

Marantos, I. & Christidis, G.E. & Ulmanu, M. (2012). Zeolite formation and deposits. *Handbook of Natural Zeolites*. 28-51. 10.2174/978160805261511201010028.

María Luisa Ramón García, Centro de investigación en energía Universidad Nacional Autónoma de México, "Introducción a la Metodología de Rietveld", Septiembre 2007.

Nambiar, K. K. M., & Motiramani, D. P. (1981). *Tissue Fe/Zn ratio as a diagnostic tool for prediction of Zn deficiency in crop plants*. *Plant and Soil*, 60(3), 357–367. doi:10.1007/bf02149632

Ormeño Morales, A. A., Easton Vargas, G., & Universidad de Chile. Departamento de Geología. (2007). «*Geomorfología dinámica del río Maipo en la zona cordillerana de Chile Central e implicancias neotectónicas*». Tesis (magíster en ciencias, mención geología)--Universidad de Chile, 2007.

Perissinotto, L. (2018). “*Quantitative determination of macro-and micro-nutrients and trace elements in the system soil-grapevine in two vineyards of Veneto*”. Disponible en <https://unitesi.unive.it/retrieve/092e67e6-f60b-42c3-9c7c-6b04be8a893c/844433-1224952.pdf>

Petrucci, Ralph H., F. Geoffrey Herring, Jeffrey D. Madura and Carey Bissonnette. *General Chemistry: Principles and Modern Applications*. 10th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, 2011. <https://freelib.pk/wl/?id=0YMnizsPDoV0DO7geyyp8Om5b34LLNur&mode=grid>

Portulaca granulatostellulata - *Atlas Digital de Semillas de las Islas Canarias (ADSIC)*. (s. f.). <https://www.atlasdesemillasdecanarias.org/atlas/ficha.php?ID=146>

Rodríguez Bravo, M. (2024). Geología y mineralogía del Terroir en viña Don Melchor y su entorno local, Puente Alto, Región Metropolitana. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/200087>

Roychoudhury, A., & Chakraborty, S. (2021). Cobalt and molybdenum: deficiency, toxicity, and nutritional role in plant growth and development. En *Elsevier eBooks* (pp. 255-270). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822916-3.00021-4>

Sellés, D. 1999. La Formación Abanico en el Cuadrángulo Santiago (33°15’-33°30’S; 70°30’-70°45’O), Chile Central: Estratigrafía y Geoquímica. Tesis de Magíster (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología, 154 p., mapa escala 1:50.000.

Sellés, D. 2000a. La relación discordante entre las formaciones Abanico y Las Chilcas en la localidad de Angostura: implicancias regionales. In Congreso Geológico Chileno, No. 9, Actas, Vol. 1, p. 555-558. Puerto Varas.

Sellés, D.; Gana, P. 2001. Geología del Area Talagante-San Francisco de Mostazal, Regiones Metropolitana de Santiago y del Libertador General Bernardo O’Higgins. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica, No. 74, 30 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

Sharma, A., Weindorf, D. C., Wang, D., & Chakraborty, S. (2014). Characterizing soils via portable X-ray fluorescence spectrometer: 4. Cation exchange capacity (CEC). *Geoderma*, 239-240, 130-134. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.10.001>

National Committee on Soil and Terrain (2024) Australian Soil and Land Survey Field Handbook. 4th edn. CSIRO Publishing, Melbourne.

Thiele, R. 1980. Hoja Santiago, Región Metropolitana. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, No. 39, 51 p., mapa escala 1:250.000.

U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (2017, agosto). National Soil Survey Handbook (Título 430), Parte 600: Introduction, Subpart A – General Information; Subpart B – Exhibits [Manual enmendado]. Autor. <https://directives.nrcs.usda.gov/>

Wall, R.; Gana, P.; Gutiérrez, A. 1996. Mapa geológico del área de San Antonio-Melipilla, Regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No. 2, mapa 1: 100.000, anexo.

Wall, R.; Sellés, D.; Gana, P. 1999. Area Tiltil-Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No. 11, mapa escala 1:100.000, anexo

Wall, R.; Lara, L.; Pérez de Arce, C. 2001. Upper Pliocene-Lower Pleistocene $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of Pudahuel Ignimbrite (Diamante-Maipo Volcanic Complex, Central Chile (33.5°S)). Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, No. 3, CD-ROM, Actas. Pucón.

Wilson, M. J. (2004). Weathering of the primary rock-forming minerals: Processes, products and rates. *Clay Minerals*, 39(3), 233–266. <https://doi.org/10.1180/0009855043930133>

Zamanian, K., Pustovoytov, K., Kuzyakov, Y., Pedogenic carbonates: Forms and formation processes, *Earth-Science Reviews*, Volume 157, 2016, Pages 1-17, ISSN 0012-8252, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.03.003>.

7.1. Anexos

Anexo A: Banda NDVI y Fotos

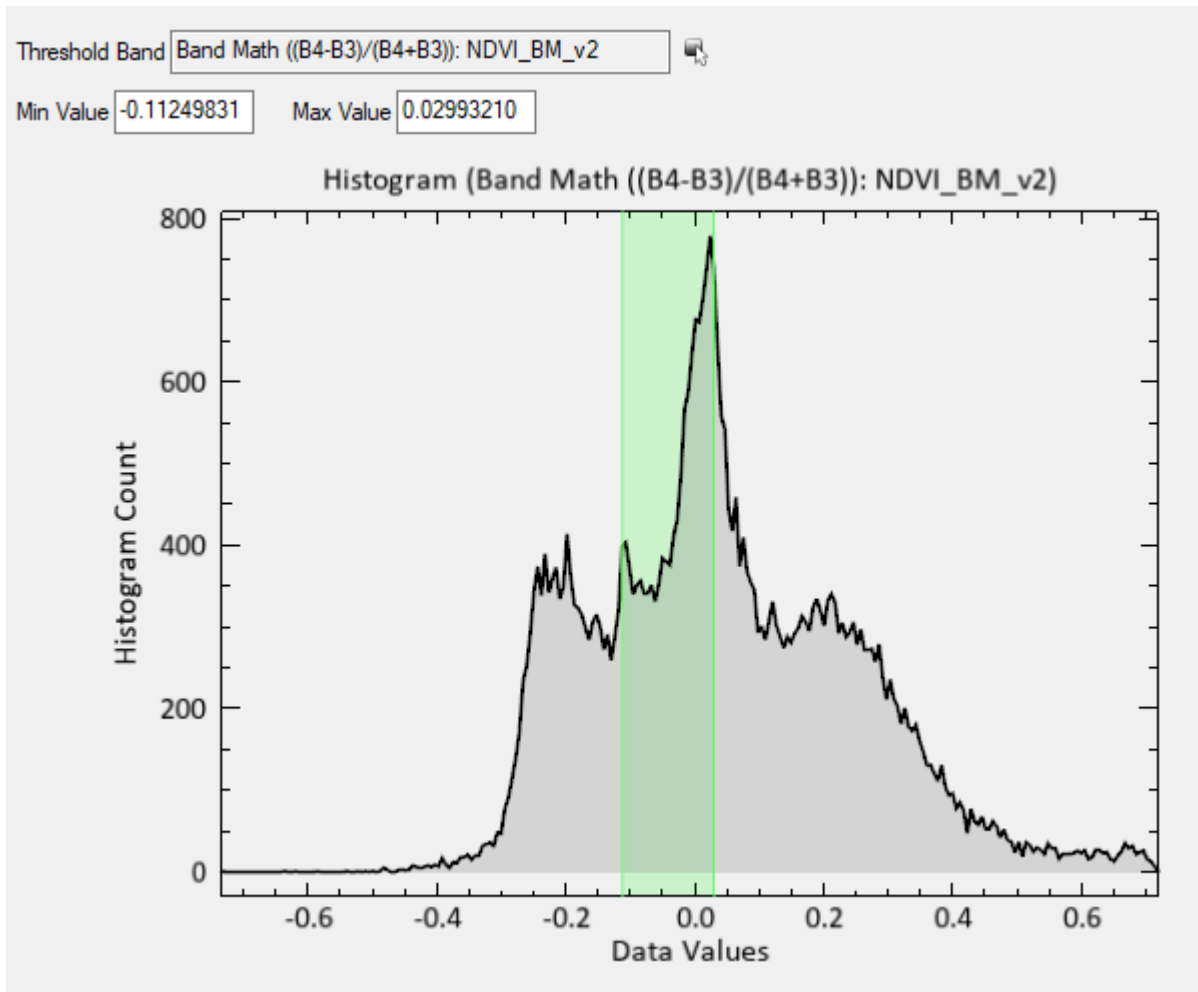
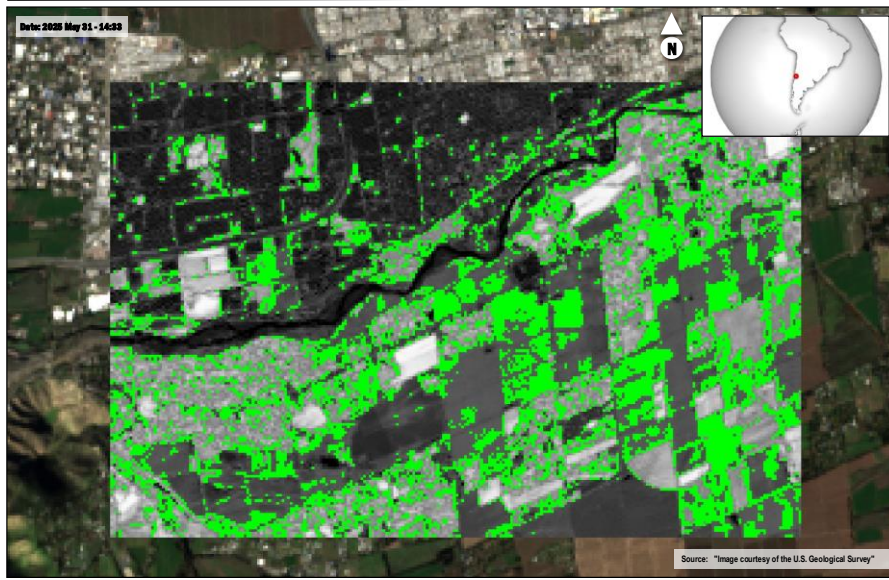


Figura A1: Histograma de la matemática de bandas $NDVI = (B4 - B3) / (B4 + B3)$ para el área de la figura 2. Se destaca en la figura 2 a partir de ROI, las regiones dentro del área que presenten un $NDVI = [-0.11249831; 0.0299321]$



Valor NDVI mayor a 0.0299321

GEO: 33.638139°S/70.586014°W | MGRS: 19HCC291076837



Javier Ferrás Gmail

X of Y | June -2025

Figura A2.1: Región de interés (o ROI) obtenido por un índice NDVI = [0.0299321, 0.17805973]. Dentro del viñedo, las áreas iluminadas corresponden principalmente a las terrazas más bajas topográficamente. En A.3, se observa el perfil de intensidades relativas del NDVI del área con el umbral utilizado para esta figura.

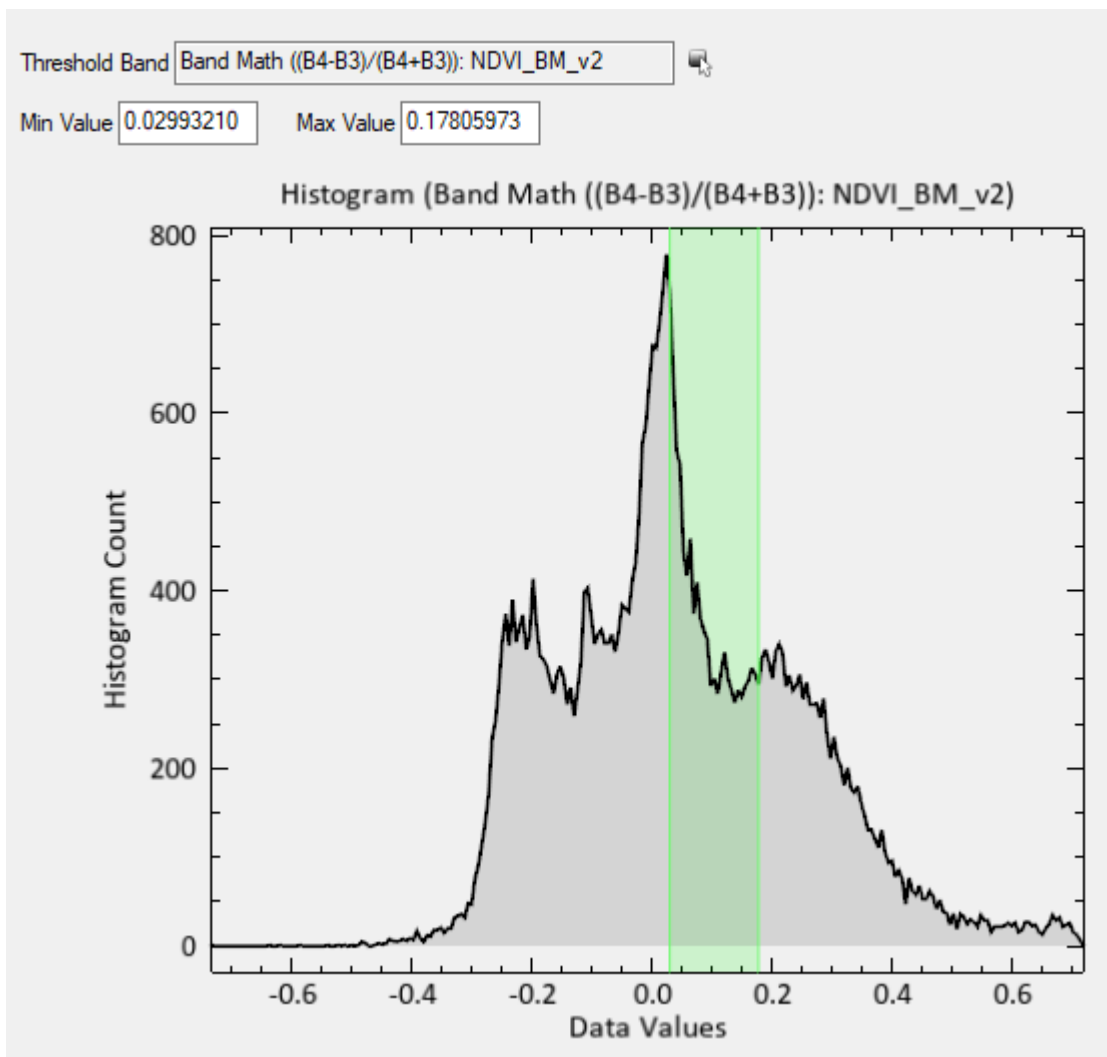


Figura A2.2: Histograma de la matemática de bandas $NDVI = \frac{B4-B3}{B4+B3}$ para el área de la figura 3. Se destaca en figura 3 a partir de ROI, las regiones dentro del área que presenten un $NDVI = [0.0299321; 0.17805973]$



Figura A3: Fotografía con la presencia de *Gastropoda indet.* a nivel de suelo entre el cuartel C13 y el área turística del viñedo. Escala visual.



Figura A4: Fotografía de escarpe presente entre la intersección de los cuarteles C4 y C5. Se observa la presencia de los estratos E3, E4, E5 y E6. Escala alrededor de los 15 metros de altura entre base a techo.

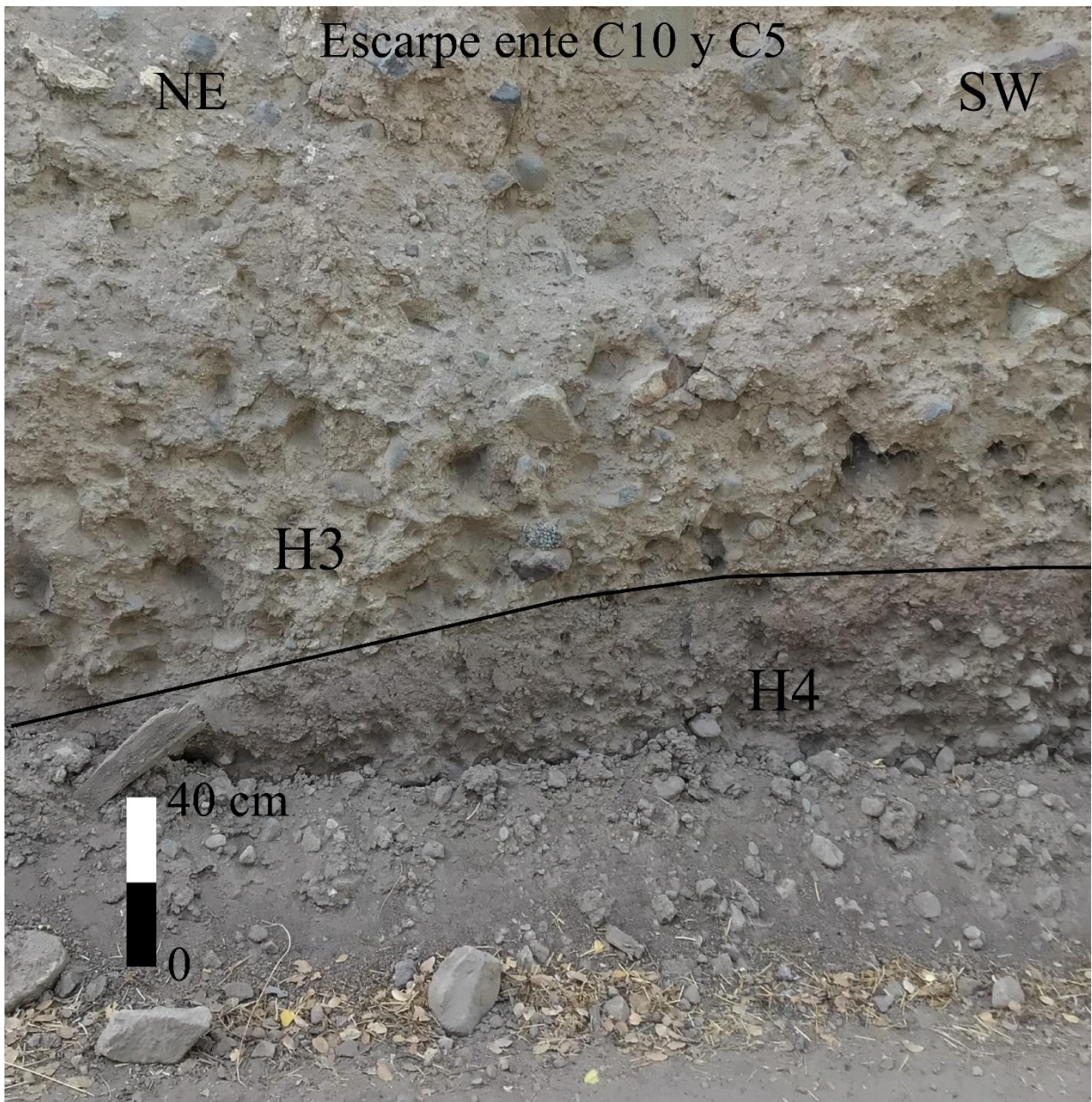


Figura A5a: Fotografía de escarpe presente en el descenso entre C10 y C5. Se observa la transición de E3 a E4. Escala inserta. A partir de este escarpe se realiza la columna estratigráfica del anexo B.

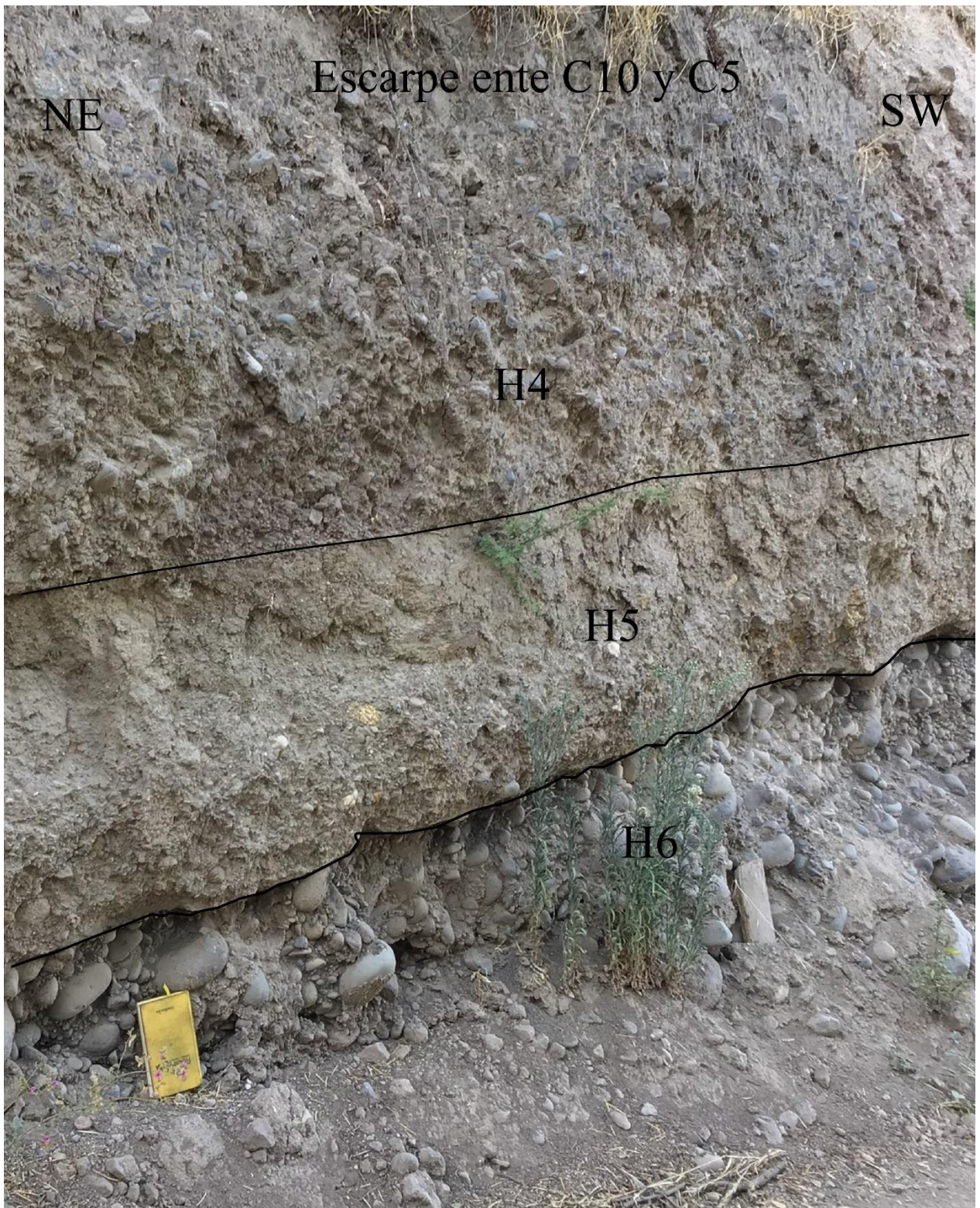


Figura A5b: Fotografía de escarpe presente en el descenso entre C10 y C5. Se observa la transición de E4 hacia E6. Libreta de escala presenta unos 20 cm de alto. A partir de este escarpe se realiza la columna estratigráfica del anexo B.



Figura A6: Fotografía del descenso entre C12 y C13. La foto está más al sur de A1, y presenta material similar al correspondiente de E2 o E3 y alturas similares (673 m.s.n.m para este punto y 665 m.s.n.m aproximadamente para E2/E3 entre C10 y C5).



Figura A7: Fotografía hacia la ribera norte del río Maipo desde el cuartel C7. Se fotografía el punto donde el suelo se ha hinchado por la presencia de barro y al frente se encuentra el denominado paleocanal en la base de E6.



Figura A8: Fotografía hacia la ribera norte del río Maipo desde el punto más bajo de la ribera sur frente a C7. Se fotografía la barra de arena y gravas en el suelo y al frente se encuentra el denominado paleocanal en la base de E6.

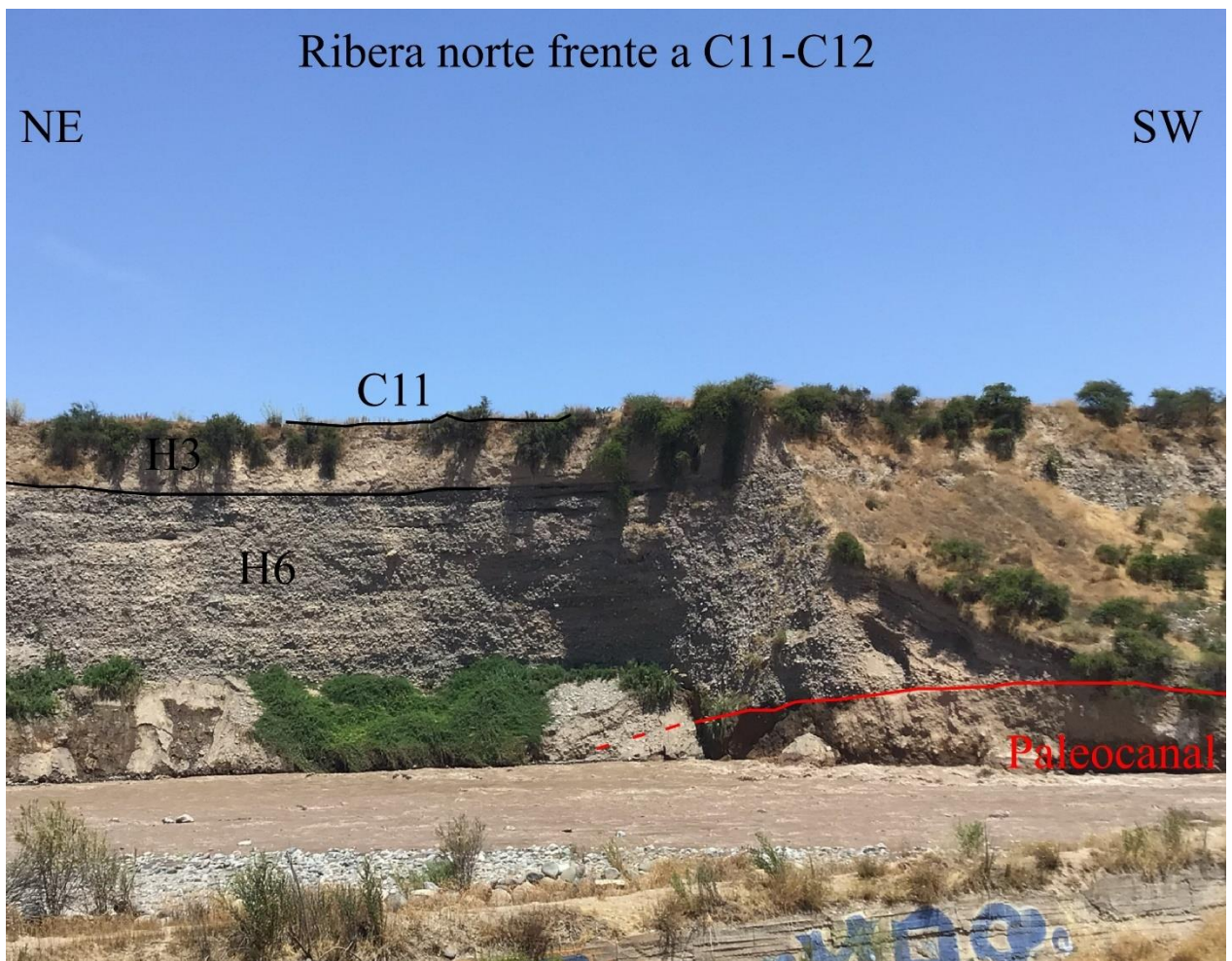


Figura A9: Fotografía hacia la ribera sur del río Maipo desde el punto más bajo de la ribera norte frente a C11. Se puede observar otra expresión del escarpe dominante en el viñedo, en este caso, se tiene al techo el material de flujo de detritos correspondiente a E1/E2/E3, y con un contacto neto sin la presencia de E4 ni E5, E6 se presenta de base, con expresiones de intermitencia entre gravas fluviales y menores granulometrías en los cuerpos lentiformes observables. También en su base y debajo del cuartel 8, se encuentra un paleocanal de al menos 8 metros de extensión.



Figura A10: Fotografía hacia la ribera norte del río Maipo desde el punto más bajo de la ribera norte frente a C7. Se puede observar otra expresión del escarpe dominante en el viñedo, en este caso, solo se observa el material de E6 presente. También en su base, se encuentra el paleocanal otras veces descrito de al menos 8 metros de extensión. Ubicación aproximada de toma de la foto: 352841.26 m E; 6277333.53 m N; 631 m.s.n.m.

Modelo de elevación de la cuenca del Maipo; Región Metropolitana.
1 : 220.000; Modelo de elevación ALOS Palsar.
Javier Fornés Graell; Geología, Universidad de Chile.

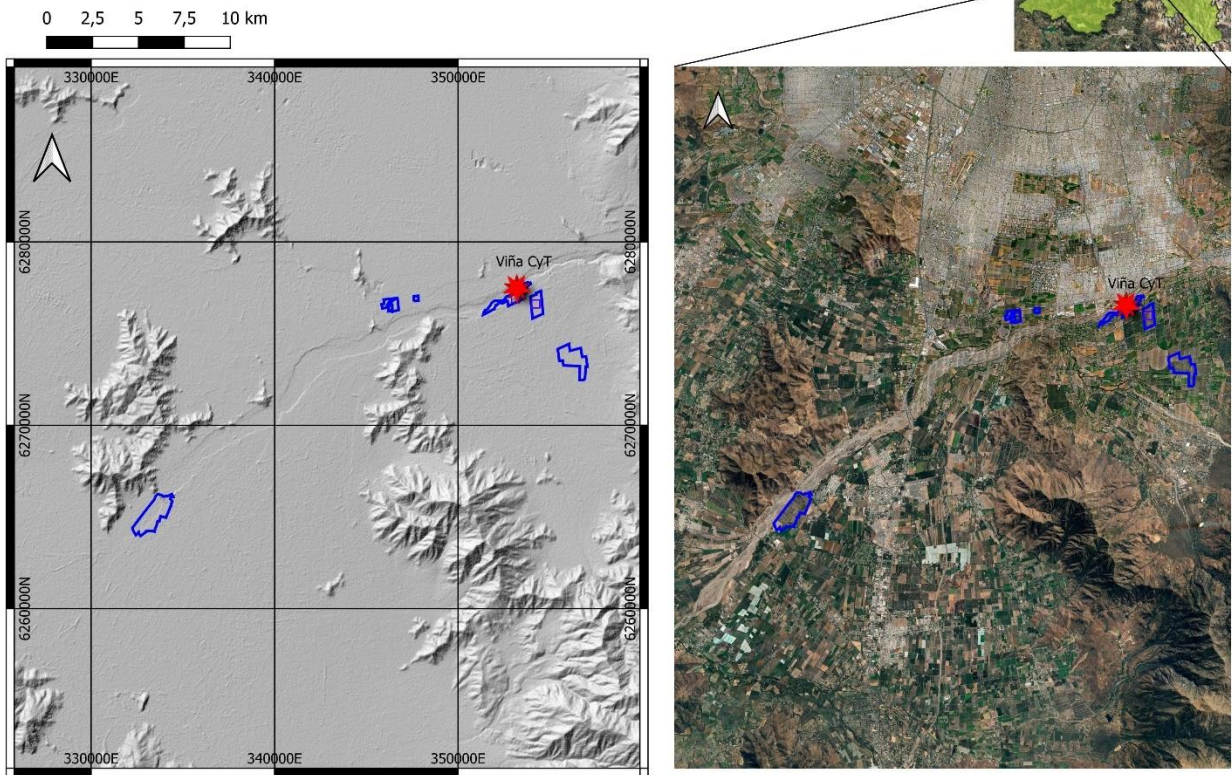


Figura A11: Mapa DEM con el área de la cuenca del río Maipo y el viñedo Concha y Toro destacado (estrella roja). Mapa de escala 1:220.000, realizado con el DEM ALOS Palsar en el software QGis.

Anexo B: Columna estratigráfica tipo.

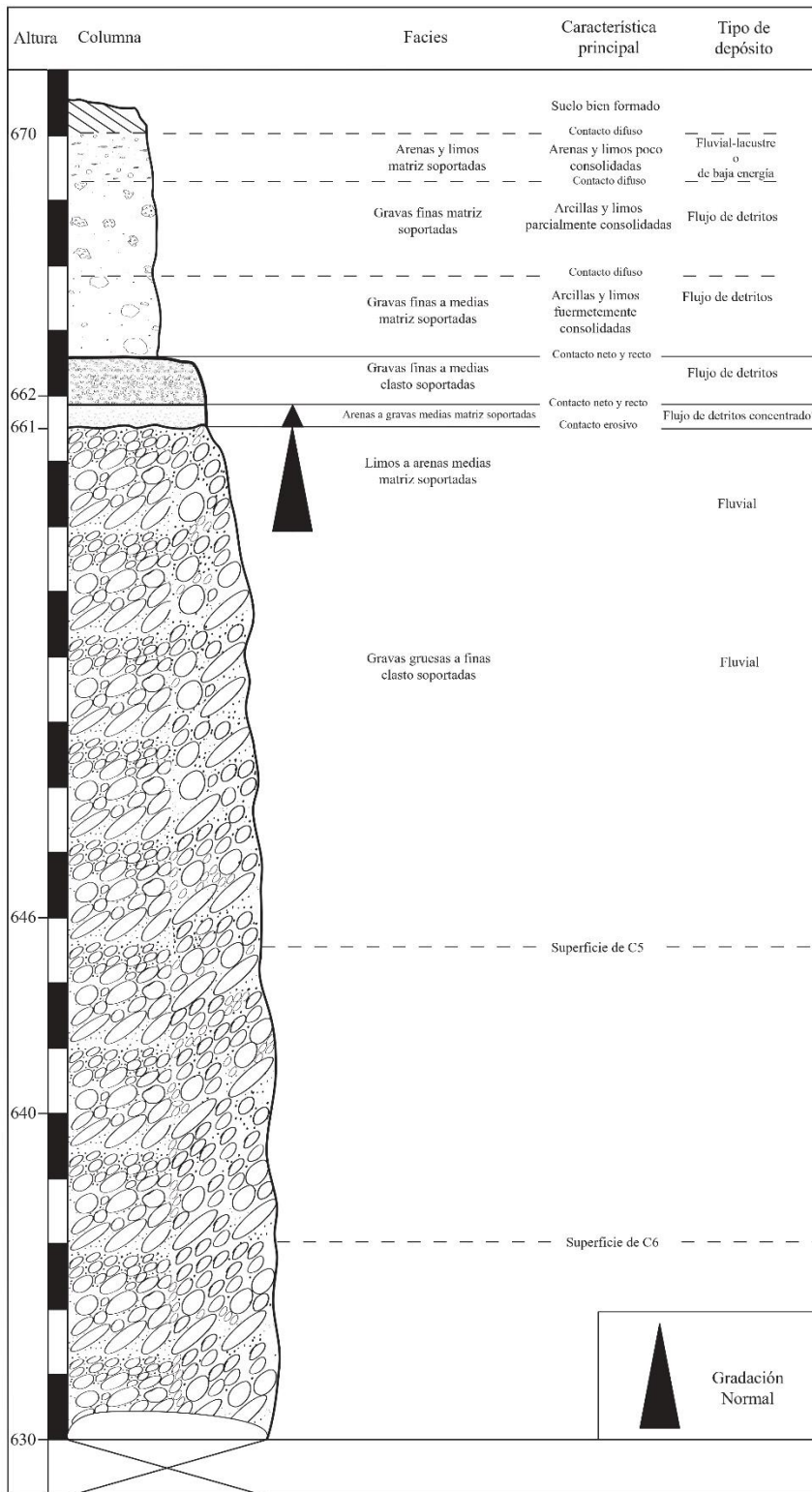


Figura B.1: Columna estratigráfica levantada a partir del escarpe presente entre C10 y C5. La altura a la que se encuentra el nivel del río en el punto topográfico levantado es de 626 m.s.n.m.

aproximadamente y las inmediaciones de este presentan material similar a las gravas fluviales de la base de la columna, con una cobertura de arenas y limos debido al efecto de barras de arena locales.

Anexo C: Macrofotografías granulometría 500 μ

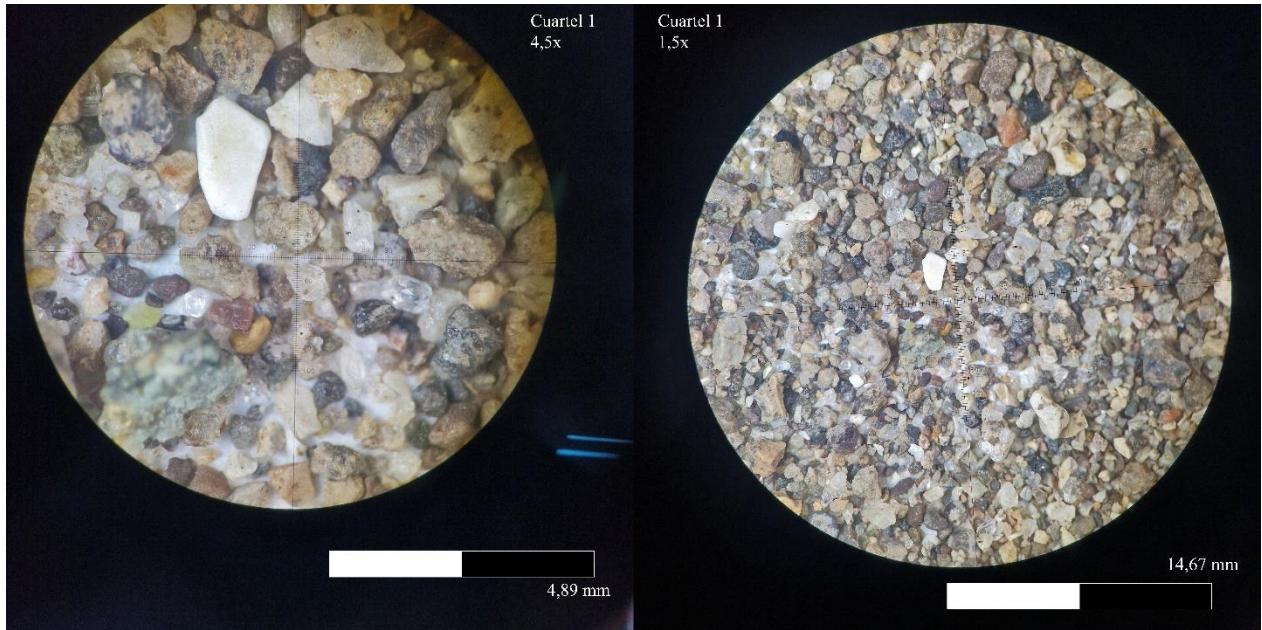


Figura C1: Macrofotografías del cuartel 1. A la izquierda un aumento de 4,5x con un trozo de conchilla en el sector superior-izquierdo. La imagen de la derecha es la misma macrofotografía con un aumento de 1,5x.

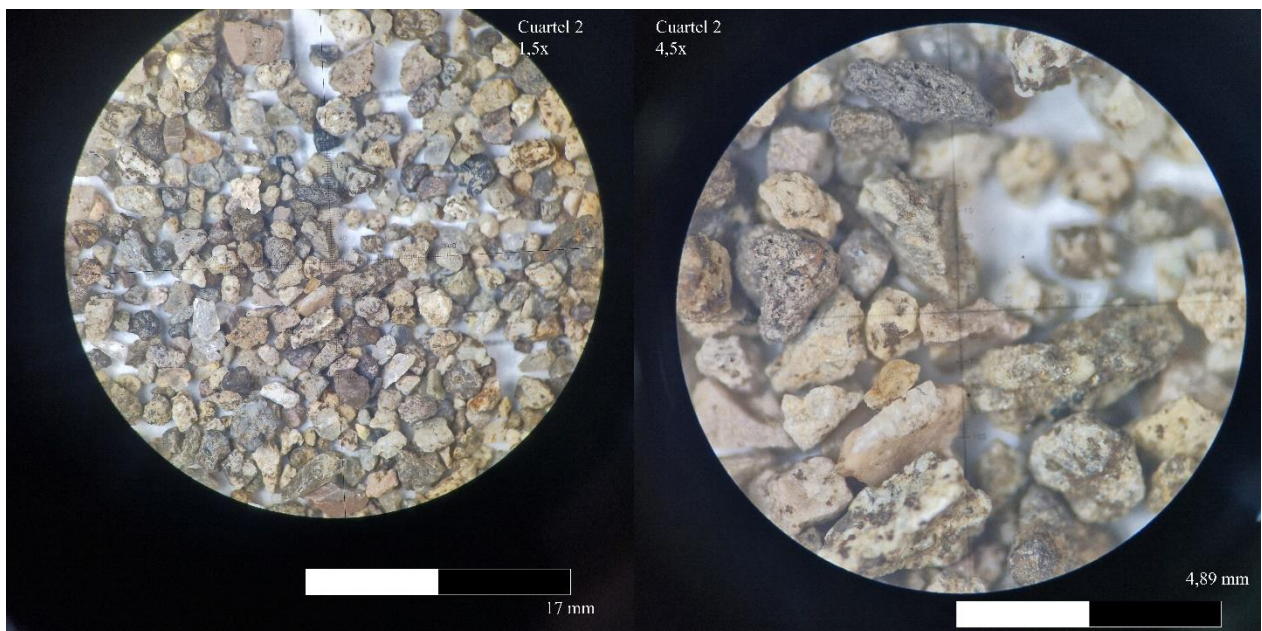


Figura C2: Macrofotografías del cuartel 2. A la izquierda un aumento de 1,5x con notoria presencia de óxidos en las superficies minerales. La imagen de la derecha es la misma macrofotografía con un aumento de 4,5x y mostrando la notoria cantidad de óxidos.

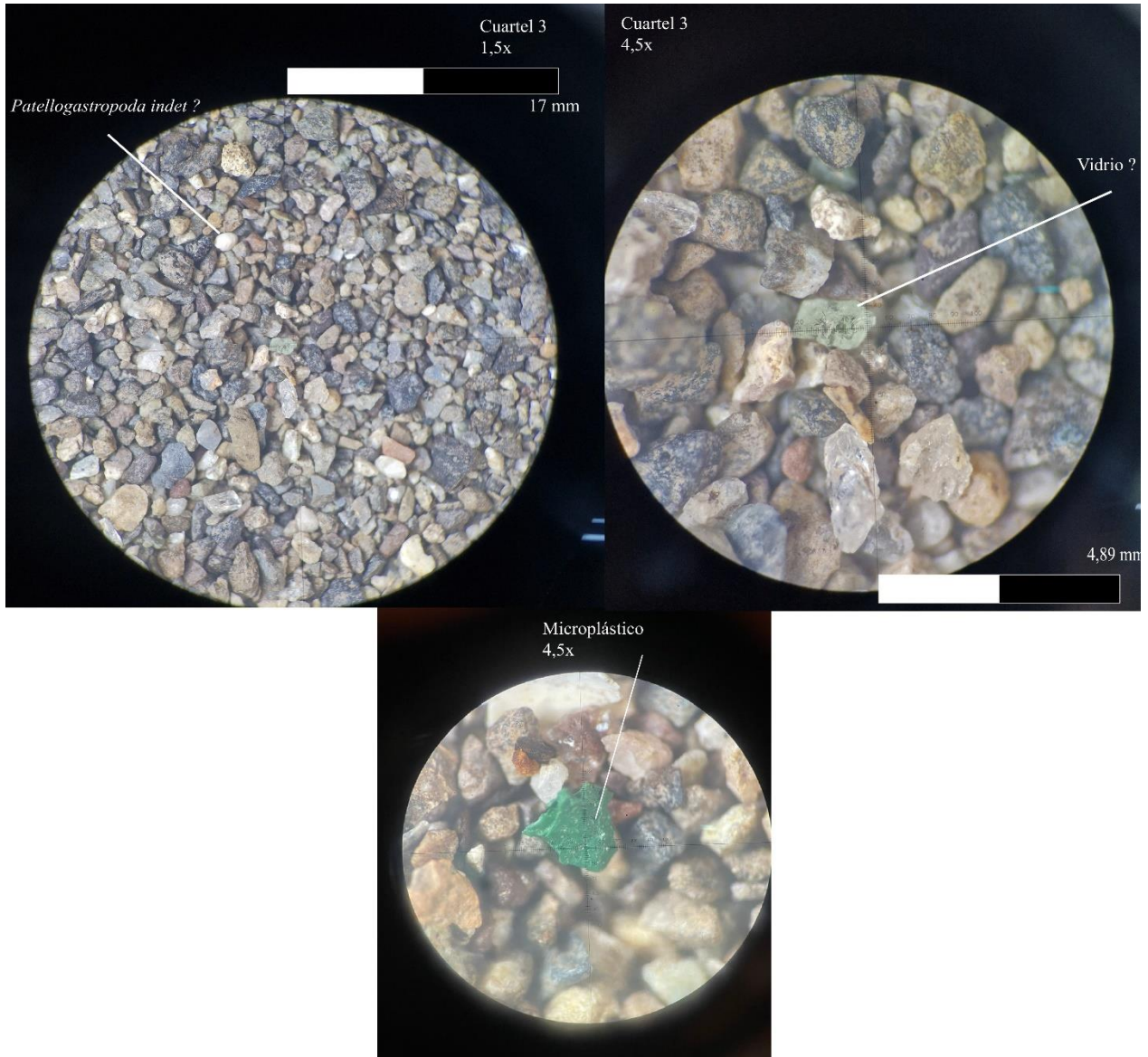


Figura C3: Macrofotografías del cuartel 3. La imagen superior izquierda posee un aumento de 1,5x y muestra indicada una conchilla de *Gastropoda indet?*, en el centro de la misma, se observa un trozo de aparente vidrio el cual está centrado y aumentado (4,5x) en la imagen de la derecha. En la imagen inferior se observa un trozo de microplástico con el mismo aumento.



Figura C4: Macrofotografías del cuartel 6. La imagen superior izquierda posee un aumento de 1,5x y muestra en su centro una estructura aparentemente biológica (algas?), la cual está centrada y aumentada (4,5x) en la imagen de la derecha. En la imagen inferior se observa un trozo aparente de pómez con el mismo aumento y señalado.

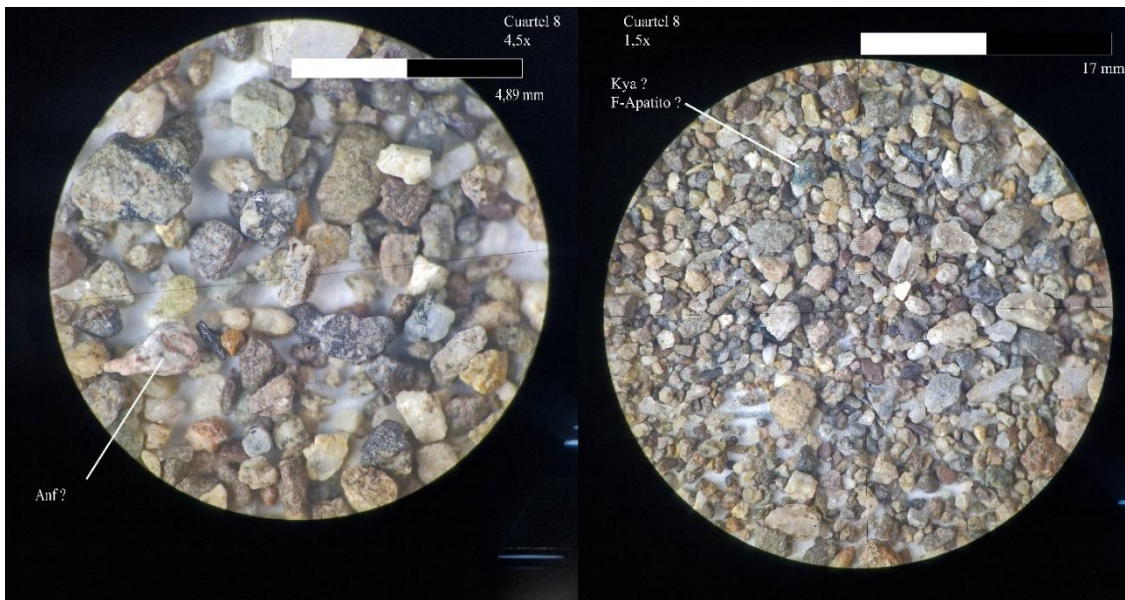


Figura C5: Macrofotografías del cuartel 8. A la izquierda un aumento de 4,5x con un aparente anfíbol que presenta bordes rojizos y centro blanquecino, posiblemente por reemplazo y óxido. La imagen de la derecha es la misma macrofotografía con un aumento de 1,5x e indica un grano de cianita o fluoroapatito.

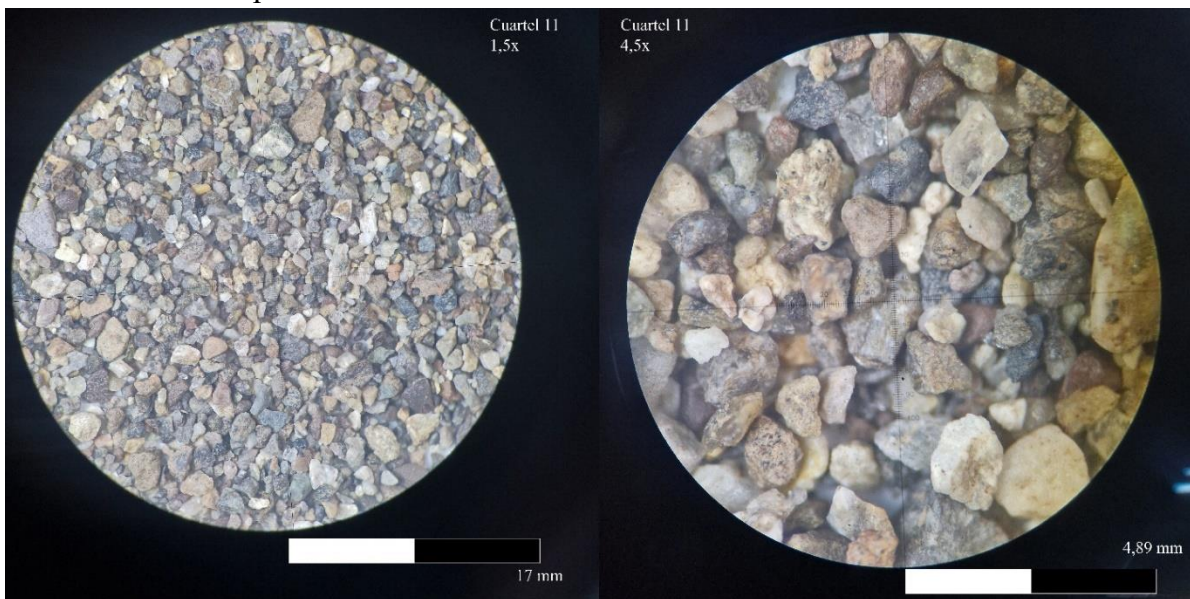


Figura C6: Macrofotografías del cuartel 11. A la izquierda un aumento de 1,5x y granos mayoritariamente subangulosos. La imagen de la derecha es la misma macrofotografía con un aumento de 4,5x y mostrando en el sector superior izquierdo un pedazo de pómez.

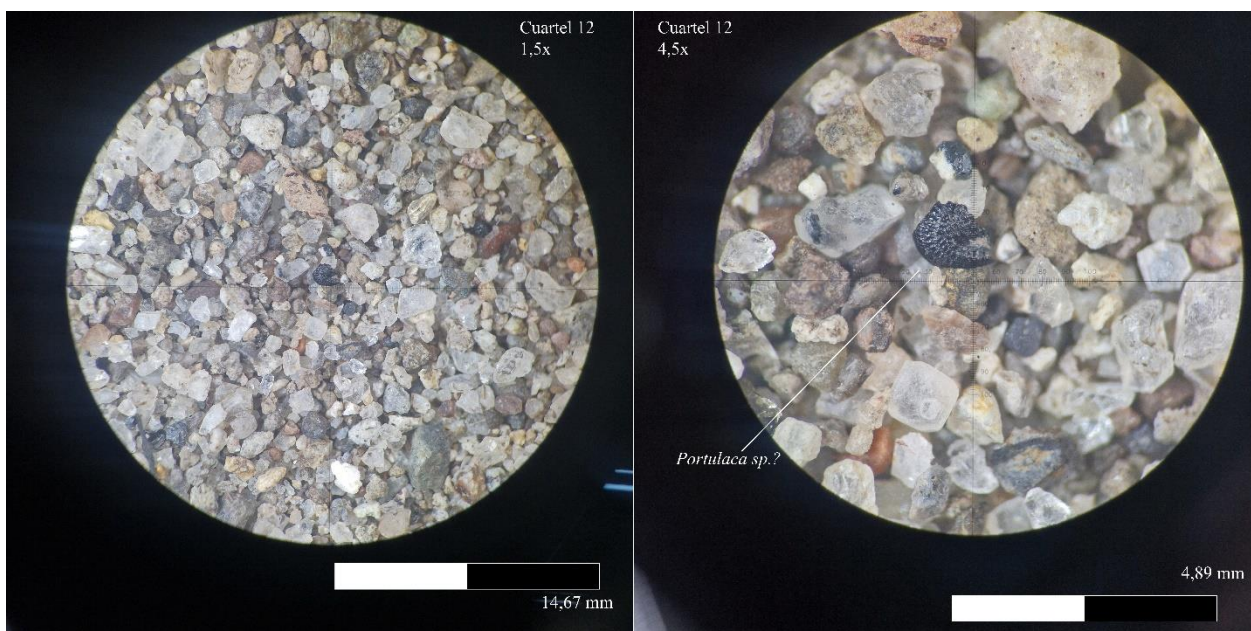


Figura C7: Macrofotografías del cuartel 12. A la izquierda un aumento de 1,5x. La imagen de la derecha es la misma macrofotografía centrada y con un aumento de 4,5x, mostrando en el sector superior izquierdo un fragmento de *Portulaca sp.?*, posiblemente *Portulaca oleracea*. Y en el borde más superior de la misma se observa un anfíbol alterado a coloración rojiza.

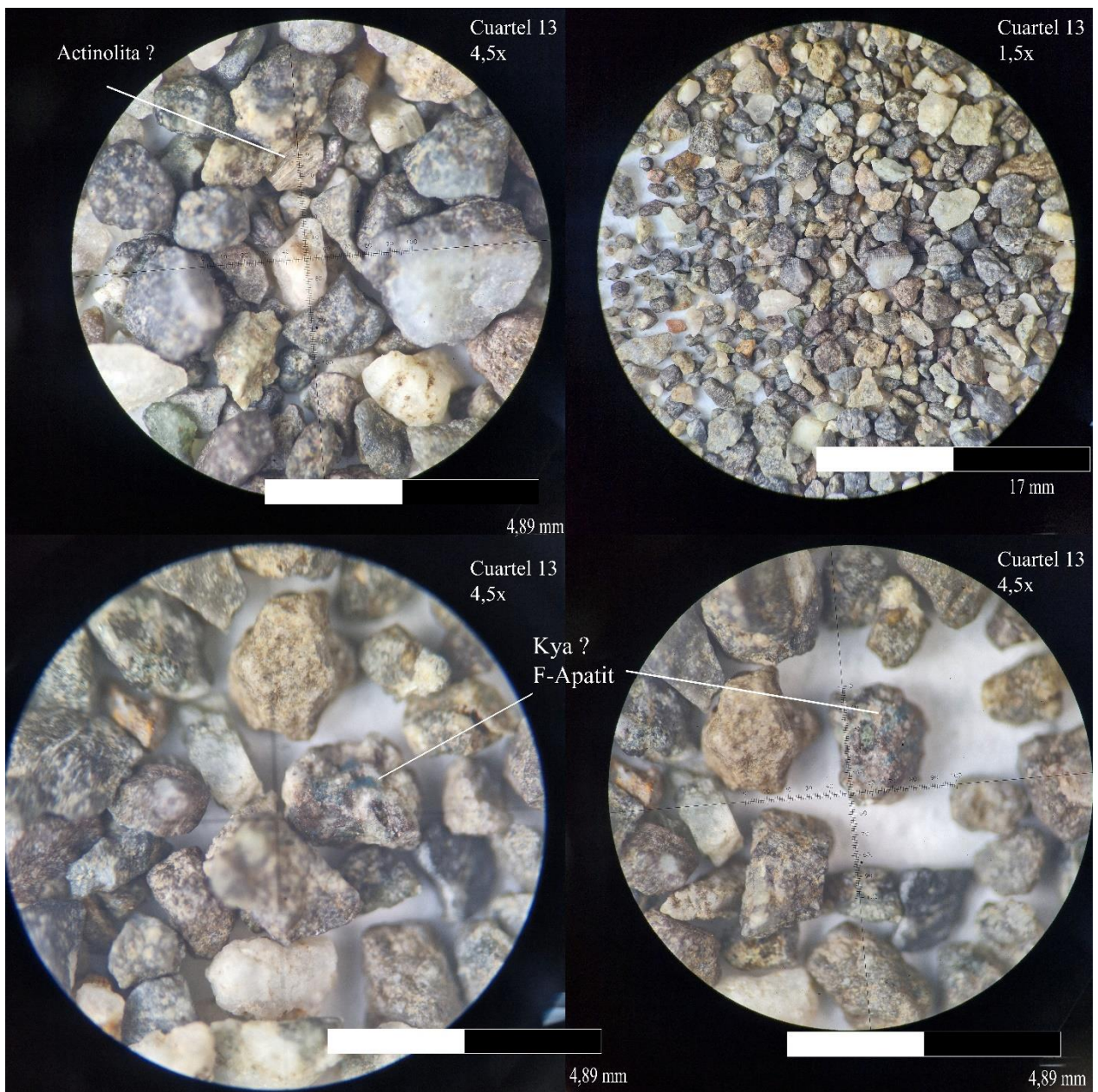


Figura C8: Macrofotografías del cuartel 13. Las dos imágenes superiores izquierda y derecha muestran la misma imagen con aumentos de 4,5x (izquierda) y 1,5 (derecha). Las imágenes del inferior izquierda y derecha muestran un grano individual con presencia de aparente cianita o fluoroapatito.

ANEXO D: Tablas elementales

Cuarteles	N	Ca	K	Mg	P	S
C1	17300	23700	13700	1500	1200	1200
C2	15300	26300	15300	1200	2000	1200
C3	21400	21100	14400	1100	2000	1300
C6	20100	25200	11600	1900	1100	2400
C7	22000	22400	12000	2000	1300	2200
C8	19200	18900	9800	1900	1400	1700
C9	17100	21100	11900	1500	1000	1400
C11	17100	22200	11100	1300	1000	1200
C12	16200	27300	15900	1100	1600	1400
C13	17800	23400	9700	2100	1300	2000

Tabla D.1: Tabla con los valores elementales (foliares) de los 10 cuarteles estudiados y los elementos N, Ca, K, Mg, P y S. La coloración por celda es en función de la concentración por elemento (más rojo, menor concentración; más verde, mayor concentración).

Cuarteles	B	Cu	Fe	Mn	Na	Zn
C1	48,05	4,83	77,84	49,66	151,2	35,06
C2	47,57	12,9	73,53	77,36	117,34	27,93
C3	46,67	3,49	78,91	43,81	138,07	22,81
C6	57,45	8,03	89,82	33,4	72,39	27,35
C7	77,28	3,98	65,8	46,59	123,08	19,41
C8	36,4	4,37	75,73	25,8	110,37	18,14
C9	64,09	4,05	74,2	51,33	167,57	30,48
C11	37,52	4,32	92,07	50,73	126,55	55,7
C12	74,07	5,96	68,91	57,89	116	31,19
C13	64,56	5,02	83,31	66,35	141,37	16,94

Tabla D.2: Tabla con los valores elementales (foliares) de los 10 cuarteles estudiados y los elementos B, Cu, Fe, Mn, Na y Zn. La coloración por celda es en función de la concentración por elemento (más rojo, menor concentración; más verde, mayor concentración).

Cuarteles	Na	Ti	Mn	P	Conductividad	% Arcilla	pH
C1M2	490,70	661,70	757,90	1130,00	131,9	16,5	7,9
C2M2	562,50	461,70	664,00	979,00	442	10,5	7,7
C3M2	565,70	857,50	766,50	1017,00	114,6	7,9	7,8
C6M2	608,70	767,40	533,20	956,20	158,3	9,6	7,9
C7M2	402,20	1056,00	749,70	985,40	94,5	21,1	7,7
C8M2	512,90	789,20	713,50	1194,00	140,5	21,6	8,1
C9M2	283,50	964,50	769,70	824,30	140,2	16,6	7,7
C11M2	399,90	731,60	646,70	1032,00	93,9	16,6	7,8
C12M2	367,30	620,20	614,80	1173,00	181,9	11,7	7,3
C13M2	230,20	874,20	707,80	977,60	57,5	10,3	7,9

Tabla D.3: Tabla con los valores elementales (de suelo) de los 10 cuarteles estudiados y los elementos Na, Ti, Mn y P, además de los valores de Conductividad, % Arcilla y pH correspondientes. La coloración por celda es en función de la concentración por elemento o variable (más rojo, menor concentración/más bajo el valor; más verde, mayor concentración/más alto el valor).

Cuarteles	K	Mg	Al	Ca	Fe	Conductividad	% Arcilla	pH
C1M2	1927,00	7443,00	12717,00	18714,00	23427,00	131,9	16,5	7,9
C2M2	1794,00	4744,00	11421,00	7136,00	16734,00	442	10,5	7,7
C3M2	1692,00	8897,00	14583,00	15907,00	27660,00	114,6	7,9	7,8
C6M2	1050,00	7688,00	10272,00	26100,00	21605,00	158,3	9,6	7,9
C7M2	1395,00	7289,00	14150,00	9504,00	28036,00	94,5	21,1	7,7
C8M2	1611,00	7968,00	13378,00	16292,00	25884,00	140,5	21,6	8,1
C9M2	1608,00	7143,00	15086,00	13722,00	25306,00	140,2	16,6	7,7
C11M2	1475,00	7561,00	11445,00	20093,00	22709,00	93,9	16,6	7,8
C12M2	2324,00	5455,00	10799,00	10649,00	19198,00	181,9	11,7	7,3
C13M2	756,10	7017,00	10269,00	5373,00	24859,00	57,5	10,3	7,9

Tabla D.4: Tabla con los valores elementales (de suelo) de los 10 cuarteles estudiados y los elementos K, Mg, Al, Ca y Fe, además de los valores de Conductividad, % Arcilla y pH correspondientes. La coloración por celda es en función de la concentración por elemento o variable (más rojo, menor concentración/más bajo el valor; más verde, mayor concentración/más alto el valor).

Cuarteles	Sr	V	Ba	Cu	Zn	Conductividad	% Arcilla	pH
C1M2	68,93	43,56	124,3	57,04	98,2	131,9	16,5	7,9
C2M2	46,15	26,16	104,6	25,81	73,63	442	10,5	7,7
C3M2	73,57	54,28	112,7	57,08	100,4	114,6	7,9	7,8
C6M2	63,2	42,57	77,74	42,88	97,88	158,3	9,6	7,9
C7M2	66,56	57,68	122,1	38,54	87,96	94,5	21,1	7,7
C8M2	77,07	49,2	98,97	54,56	97,26	140,5	21,6	8,1
C9M2	52,53	49,36	101,7	40,24	92,76	140,2	16,6	7,7
C11M2	64,73	45,18	98,8	42,97	92,49	93,9	16,6	7,8
C12M2	57,8	36,55	129,9	40,53	99,61	181,9	11,7	7,3
C13M2	31,89	42,69	46,05	49,15	80,98	57,5	10,3	7,9

Tabla D.5: Tabla con los valores elementales (de suelo) de los 10 cuarteles estudiados y los elementos Sr, V, Ba, Cu y Zn, además de los valores de Conductividad, % Arcilla y pH correspondientes. La coloración por celda es en función de la concentración por elemento o variable (más rojo, menor concentración/más bajo el valor; más verde, mayor concentración/más alto el valor).

Cuarteles	Ni	Li	As	Co	Conductividad	% Arcilla	pH
C1M2	12,73	12,72	22,15	10,81	131,9	16,5	7,9
C2M2	12,33	11,82	9,16	7,48	442	10,5	7,7
C3M2	14,06	16,47	25,99	12,44	114,6	7,9	7,8
C6M2	9,7	11,72	13,85	9,57	158,3	9,6	7,9
C7M2	10,84	16,04	16,76	11,43	94,5	21,1	7,7
C8M2	12,21	14,88	21,87	11,3	140,5	21,6	8,1
C9M2	11,42	15,42	16,53	10,87	140,2	16,6	7,7
C11M2	11,58	12,25	19,26	9,71	93,9	16,6	7,8
C12M2	10,49	5,22	13,57	8,78	181,9	11,7	7,3
C13M2	5,87	7,05	9,41	10,54	57,5	10,3	7,9

Tabla D.6: Tabla con los valores elementales (de suelo) de los 10 cuarteles estudiados y los elementos Ni, Li, As y Co, además de los valores de Conductividad, % Arcilla y pH correspondientes. La coloración por celda es en función de la concentración por elemento o variable (más rojo, menor concentración/más bajo el valor; más verde, mayor concentración/más alto el valor).

Cuarteles	Be	Se	Mo	Sn	Pb	Rb	Cr
C1M2	0,78	1,14	2,23	1,31	12,89	15,81	10,45
C2M2	0,59	0,78	1,45	2,31	8,48	17,91	7,82
C3M2	0,51	1,09	2,12	2,53	15,43	13,3	11,76
C6M2	0,24	0,56	1,53	2,51	9,38	6,97	10,08
C7M2	0,72	1,16	1,67	2,37	9,28	11,21	10,46
C8M2	0,65	1,06	1,96	1,01	10,48	13,87	10,31
C9M2	0,61	0,25	1,94	1,13	9,01	13,84	11,38
C11M2	0,76	0,34	2,2	1,31	10,21	11,11	10,29
C12M2	0,48	1,35	1,71	1,32	10,16	19,25	10,11
C13M2	0,55	0,56	0,6	2,31	3,45	4,68	4,96

Tabla D.7: Tabla con los valores elementales (de suelo) de los 10 cuarteles estudiados y los elementos Be, Se, Mo, Sn, Pb, Rb y Cr. La coloración por celda es en función de la concentración por elemento o variable (más rojo, menor concentración; más verde, mayor concentración).

Cuarteles	Ta	Bi	Cd	Sb	U
C1M2	0,2	0,27	0,34	0,39	0,59
C2M2	0,17	0,15	0,19	0,29	0,52
C3M2	0,2	0,28	0,33	0,43	0,59
C6M2	0,11	0,19	0,23	0,27	0,46
C7M2	0,2	0,18	0,31	0,32	0,53
C8M2	0,18	0,22	0,32	0,34	0,67
C9M2	0,17	0,18	0,25	0,34	0,54
C11M2	0,15	0,22	0,26	0,36	0,55
C12M2	0,28	0,18	0,26	0,27	0,76
C13M2	0,05	0,05	0,05	0,21	0,29

Tabla D.8: Tabla con los valores elementales (de suelo) de los 10 cuarteles estudiados y los elementos Ta, Bi, Cd, Sb y U. La coloración por celda es en función de la concentración por elemento o variable (más rojo, menor concentración; más verde, mayor concentración).

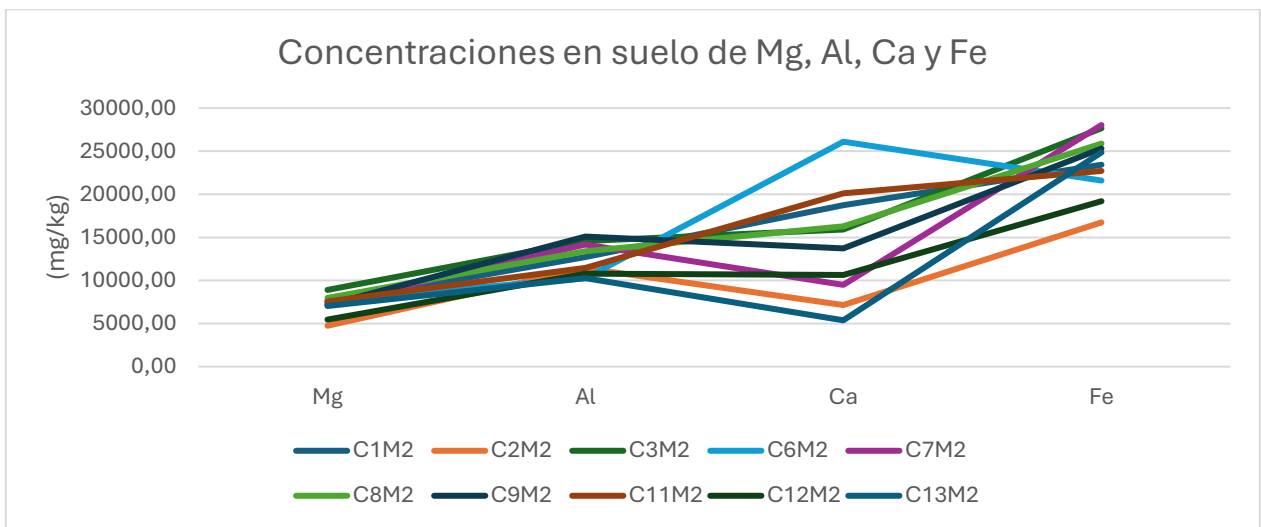


Figura D1: Diagrama Spider de las concentraciones elementales para los elementos Mg, Al, Ca y Fe. Ca y Fe presentan la mayor variabilidad de concentraciones.

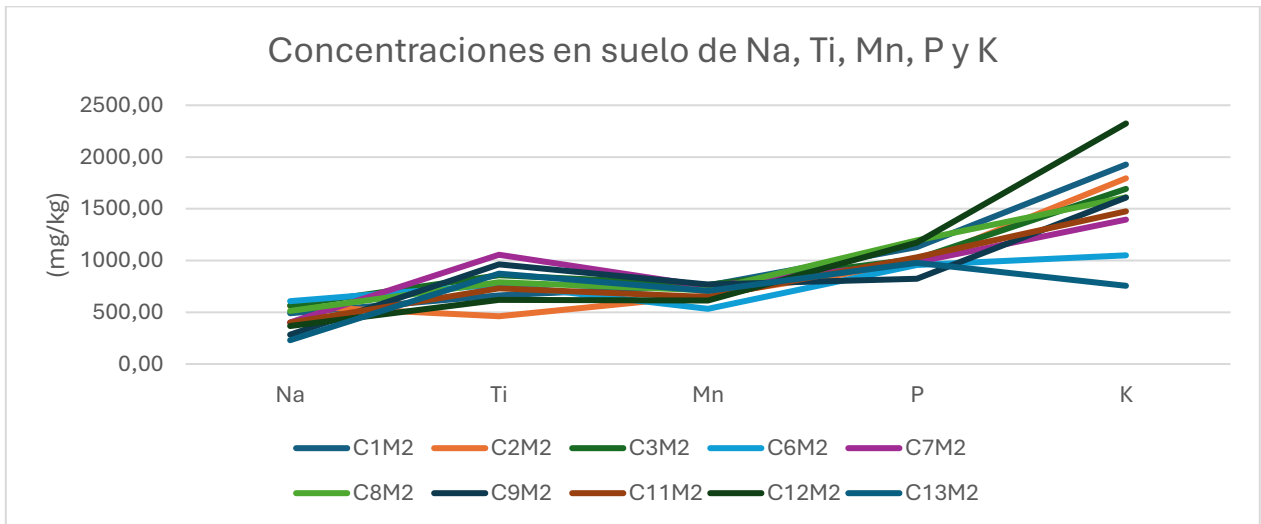
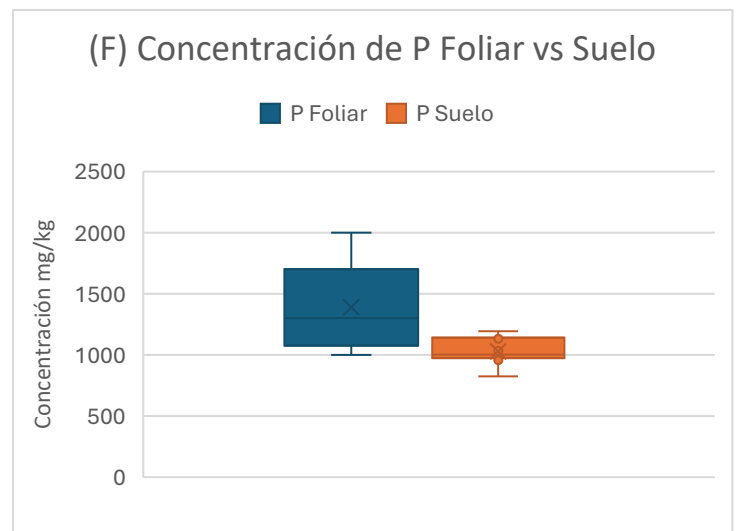
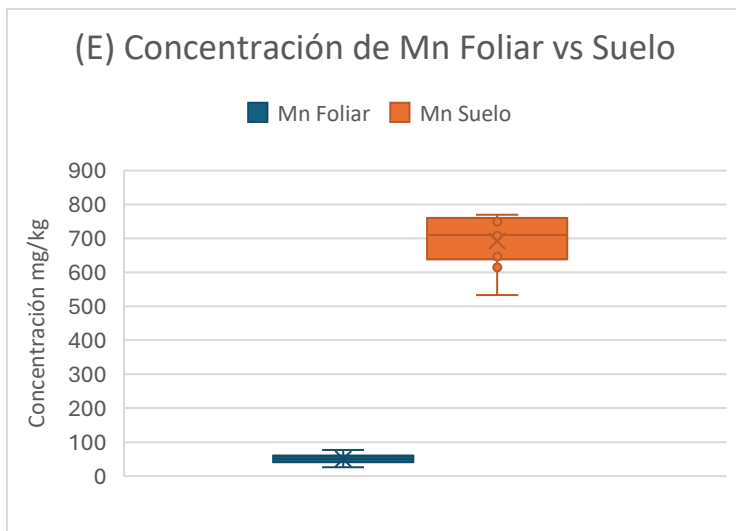
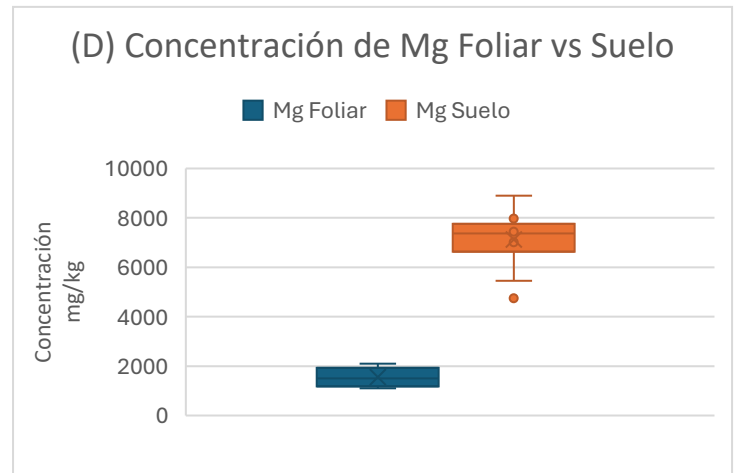
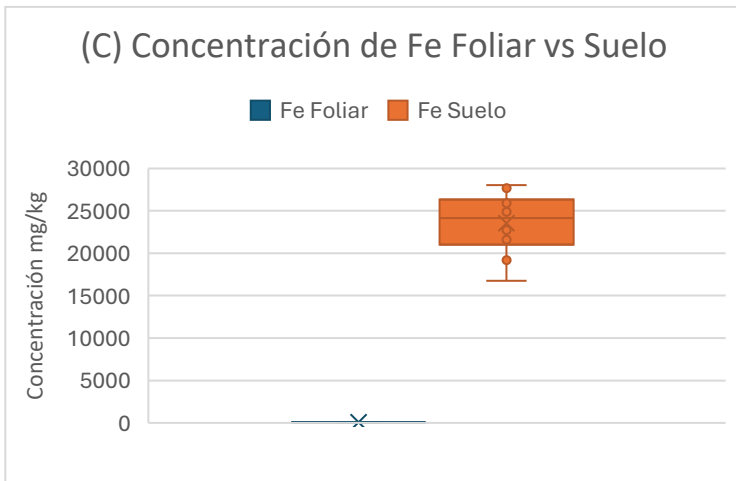
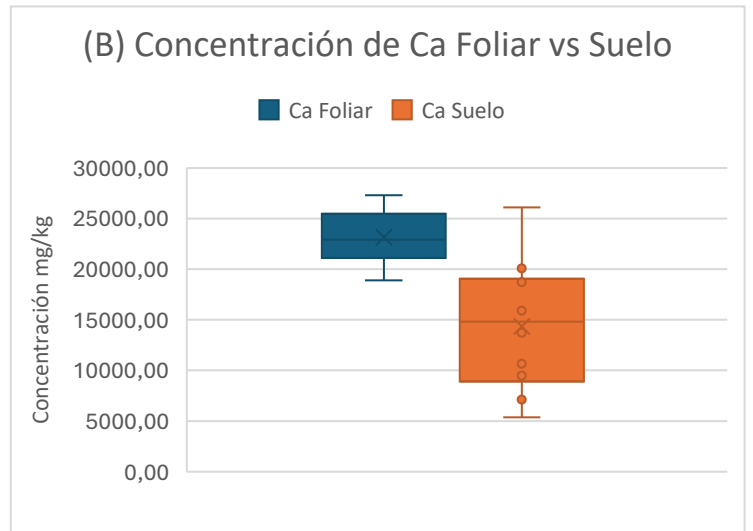
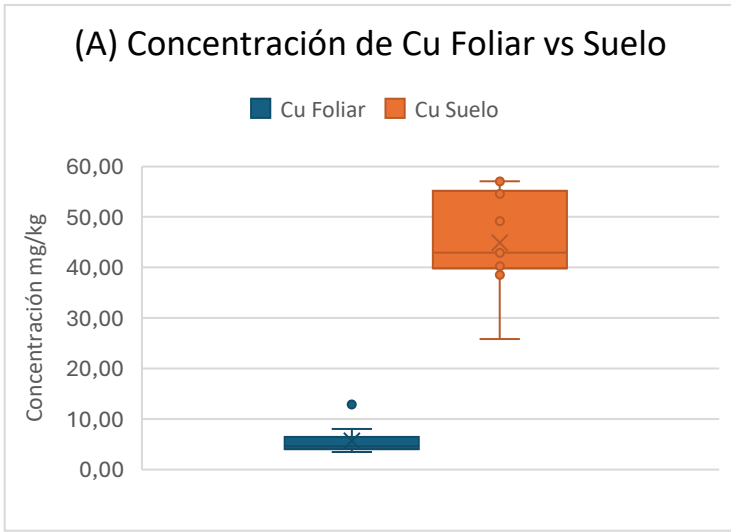


Figura D2: Diagrama Spider de las concentraciones elementales para los elementos Na, Ti, Mn, P y K. K y Ti presentan la mayor variabilidad de concentraciones.

Valores elementales foliares y de suelo. Gráficos Box-Plot



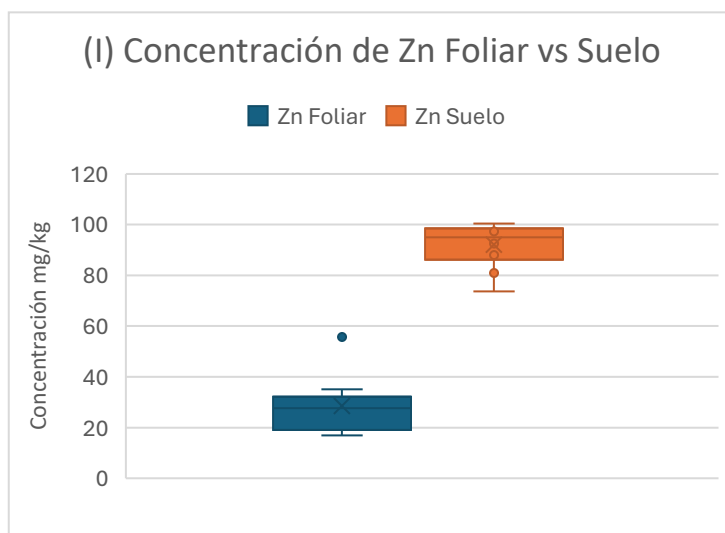
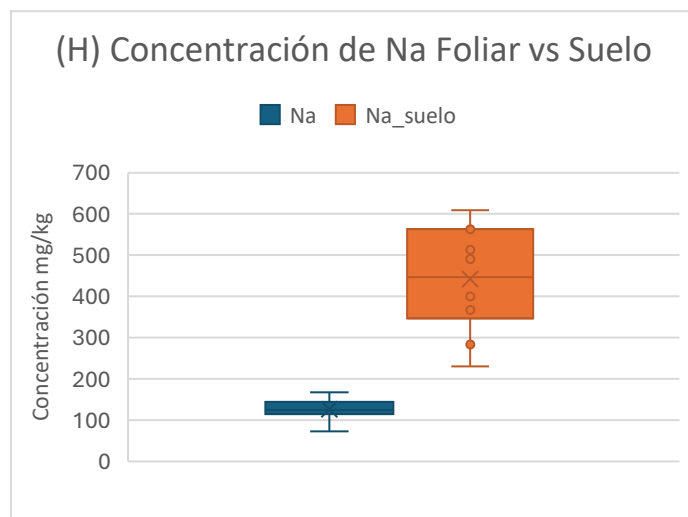
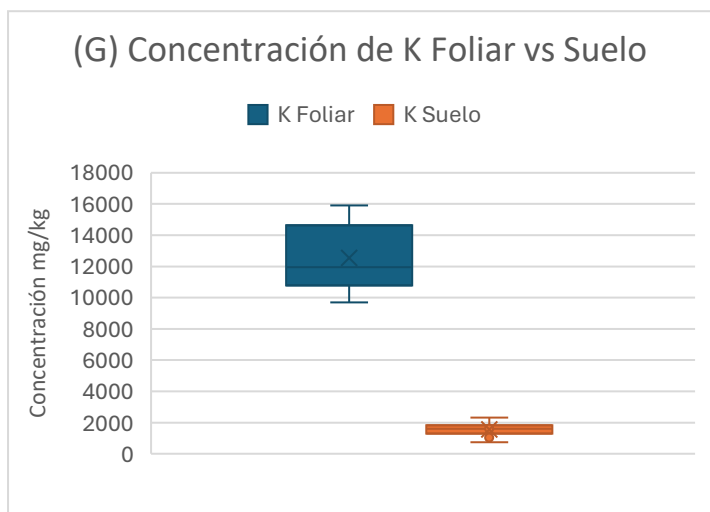


Figura D3: Gráficos (A) a (I). Gráficos Box-plot en los que se comparan las concentraciones (mg/kg) elementales de manera particular para cada par foliar (en azul) vs suelo (en naranja). Se observan concentraciones más elevadas en las muestras de suelo para todos los elementos exceptuando Ca, P y K.

1. Perfiles de concentración elemental y sus comportamientos con respecto al % de Arcilla.

Perfil de concentración de elementos seleccionados y sus % de Arcilla (Na, Ti, Mn, P y K)

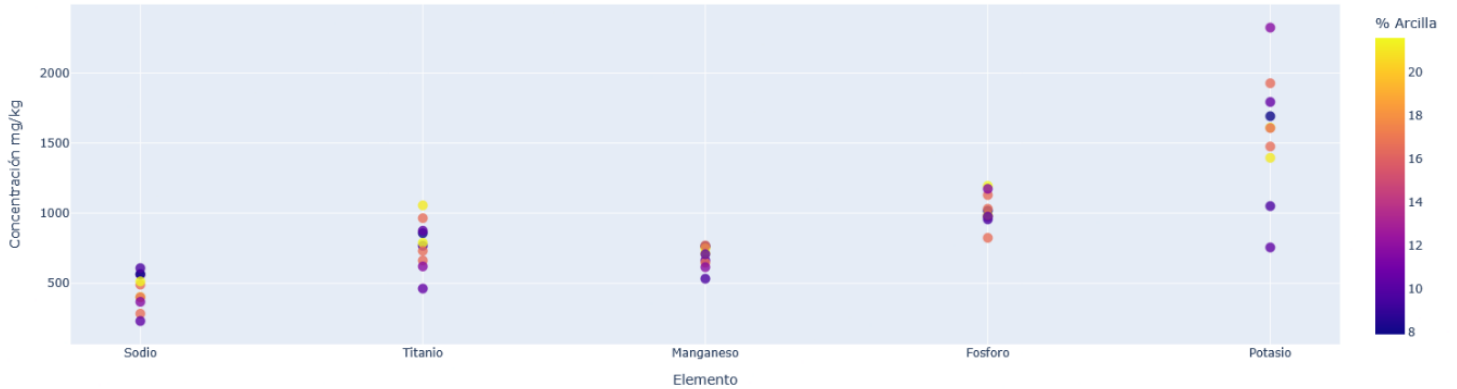


Figura D4: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Na, Ti, Mn, P y K. En escala de color, se aprecia las concentraciones de arcilla para cada punto observado.

Relación de concentración de elementos seleccionados y sus % de Arcilla (Na, Ti, Mn, P y K)

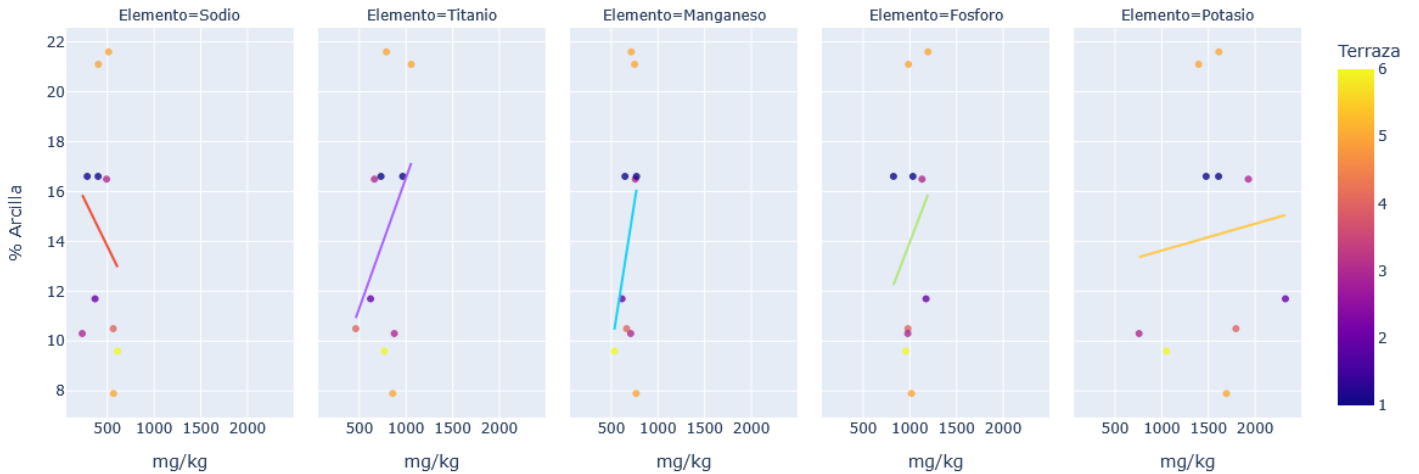


Figura D5: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Na, Ti, Mn, P y K, en el gráfico, se observa la concentración en el eje de la abscisa y en la ordenada se aprecia el % de Arcilla medida para cada punto. Se muestra la línea de tendencia obtenida vía método “Ordinary Least Squares” u “OLS” y en escala de color, se aprecian las terrazas correspondientes para cada uno de los puntos.

Perfil de concentración de elementos seleccionados y sus % de Arcilla

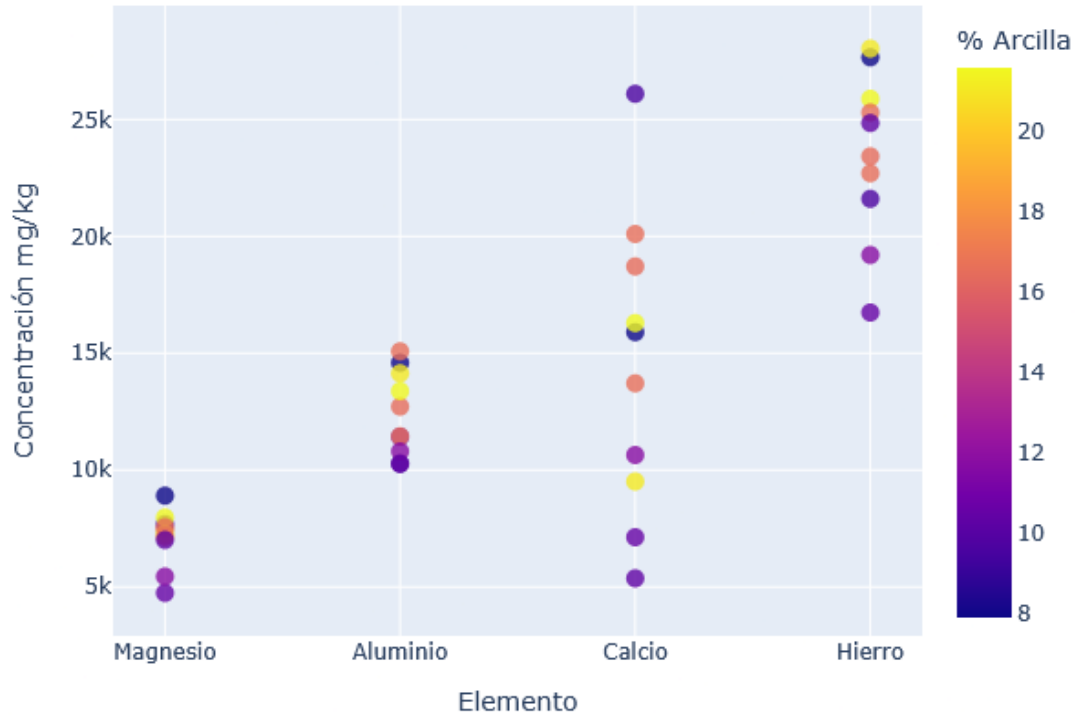


Figura D6: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Mg, Al, Ca y Fe. En escala de color, se aprecia las concentraciones de arcilla para cada punto observado.

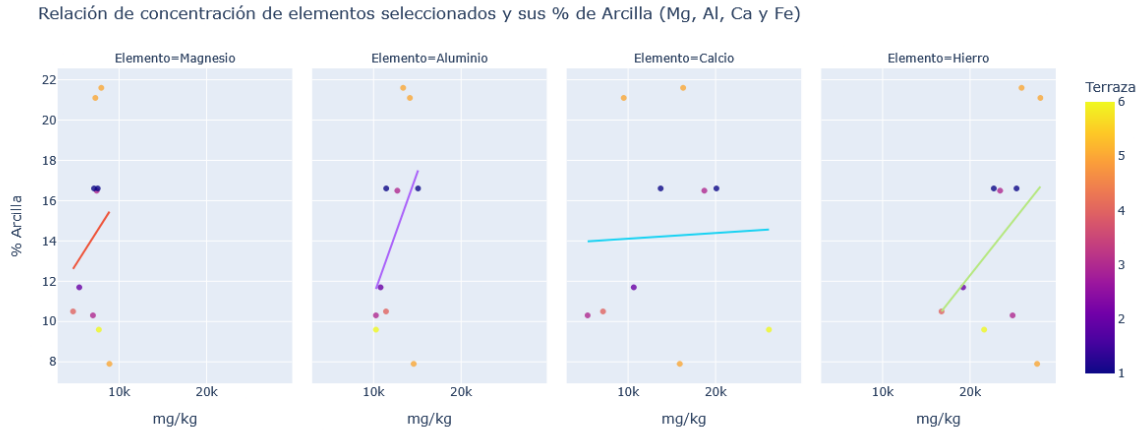


Figura D7: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Mg, Al, Ca y Fe, en el gráfico, se observa la concentración en el eje de la abscisa y en la ordenada se aprecia el % de Arcilla medida para cada punto. Se muestra la línea de tendencia obtenida vía “OLS” y en escala de color, se aprecian las terrazas correspondientes para cada uno de los puntos.

Perfil de concentración de elementos seleccionados (Sr, V, Ba, Cu y Zn)

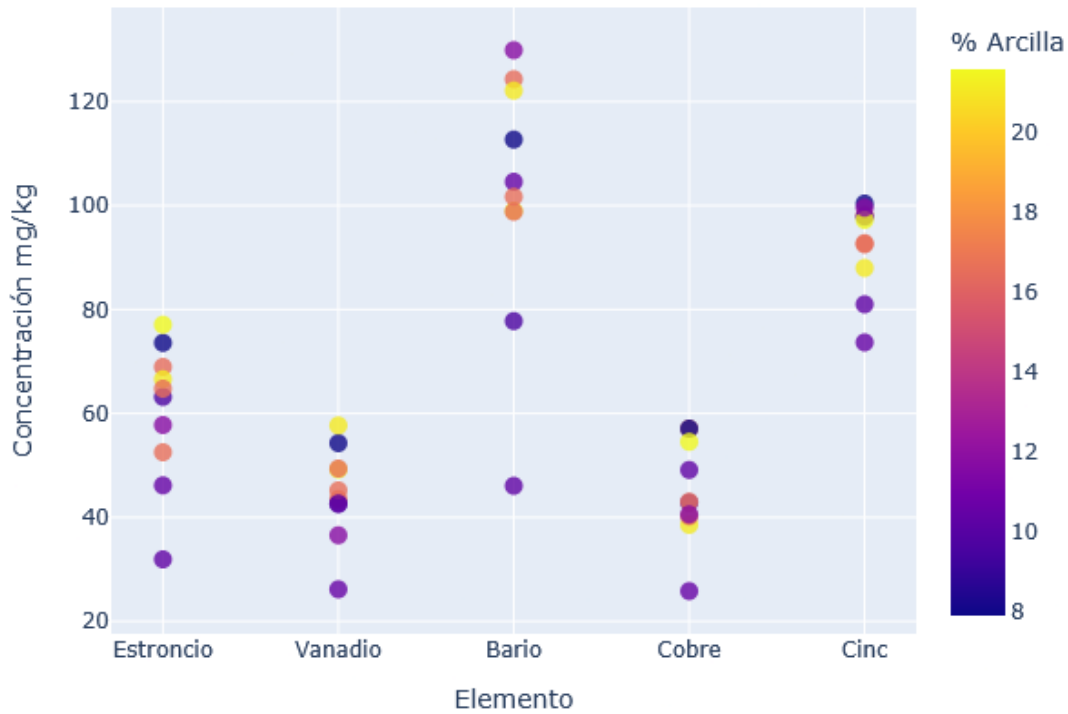


Figura D8: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Sr, V, Ba, Cu y Zn. En escala de color, se aprecia las concentraciones de % Arcilla para cada punto observado.

Perfil de concentración de elementos seleccionados y sus % de Arcilla

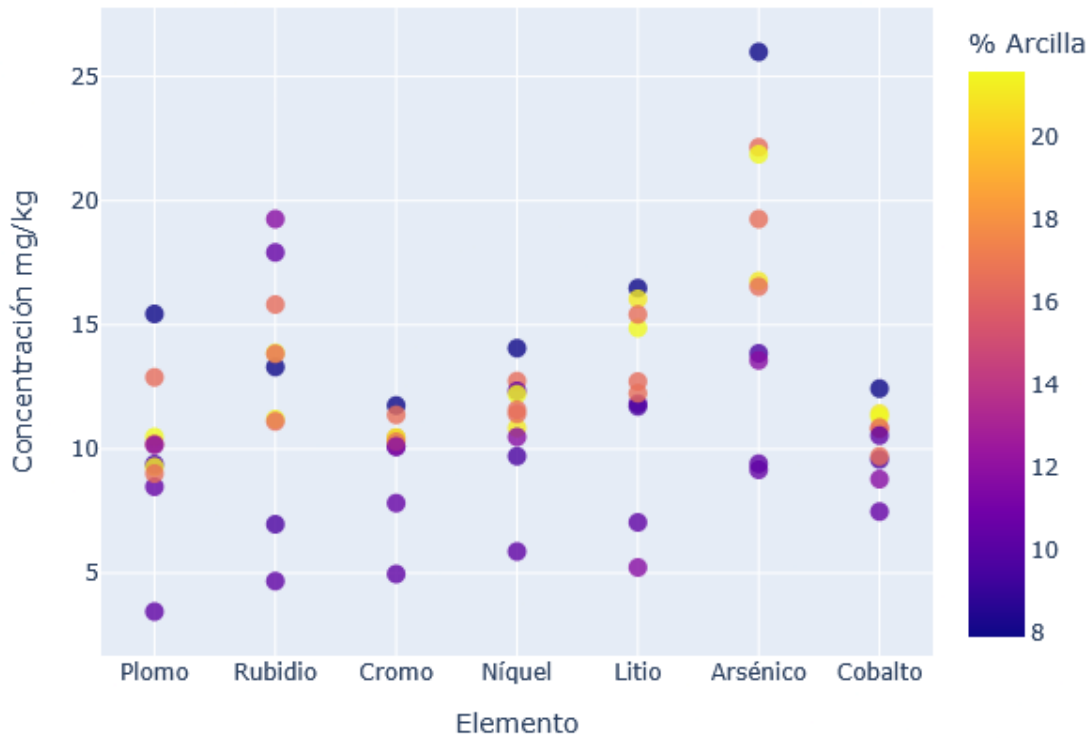


Figura D9: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Pb, Rb, Cr, Ni, Li, As y Co. En escala de color, se aprecia las concentraciones de % Arcilla para cada punto observado.

Perfil de concentración de elementos seleccionados y sus % de Arcilla

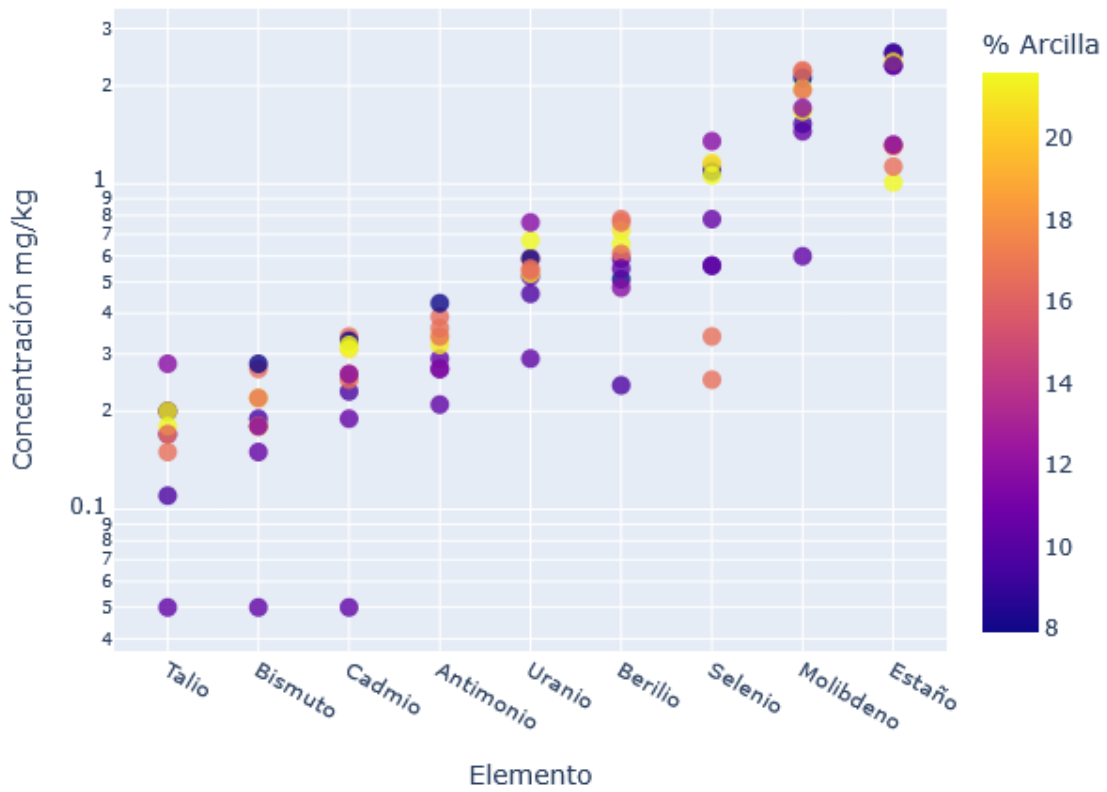


Figura D10: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Ta, Bi, Cd, Sb, U, Be, Se, Mo y Sn. En escala de color, se aprecia las concentraciones de % Arcilla para cada punto observado.

2. *Perfiles de concentración elementales y sus comportamientos con respecto a su Conductividad.*

Perfil de concentración de elementos seleccionados y sus conductividades (Na, Ti, Mn, P, K)

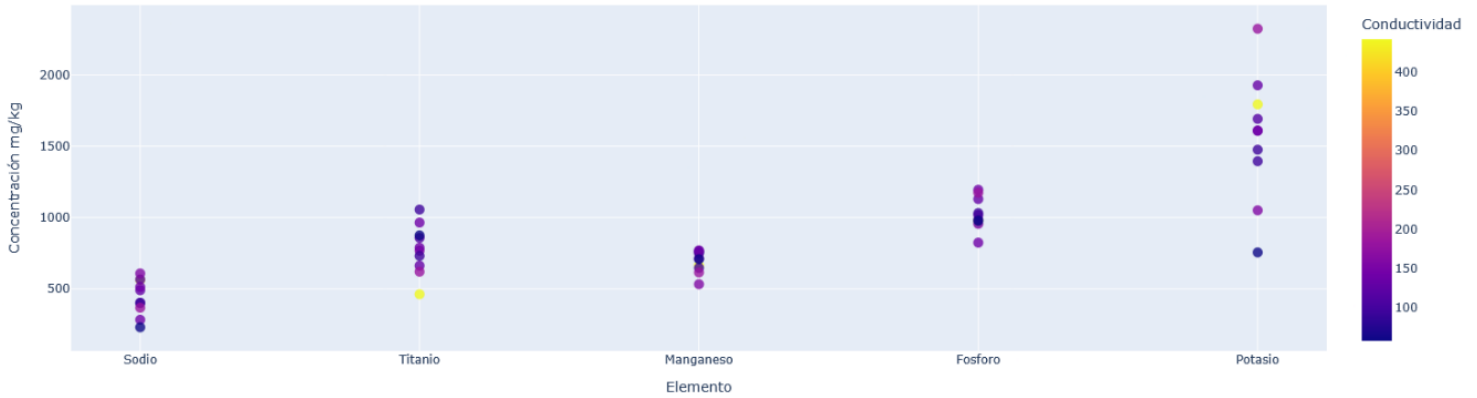


Figura D11: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Na, Ti, Mn, P y K. En escala de color, se aprecia la conductividad para cada punto observado.

Relación entre concentración de Elementos (Na, Ti, Mn, P y K) y su Conductividad

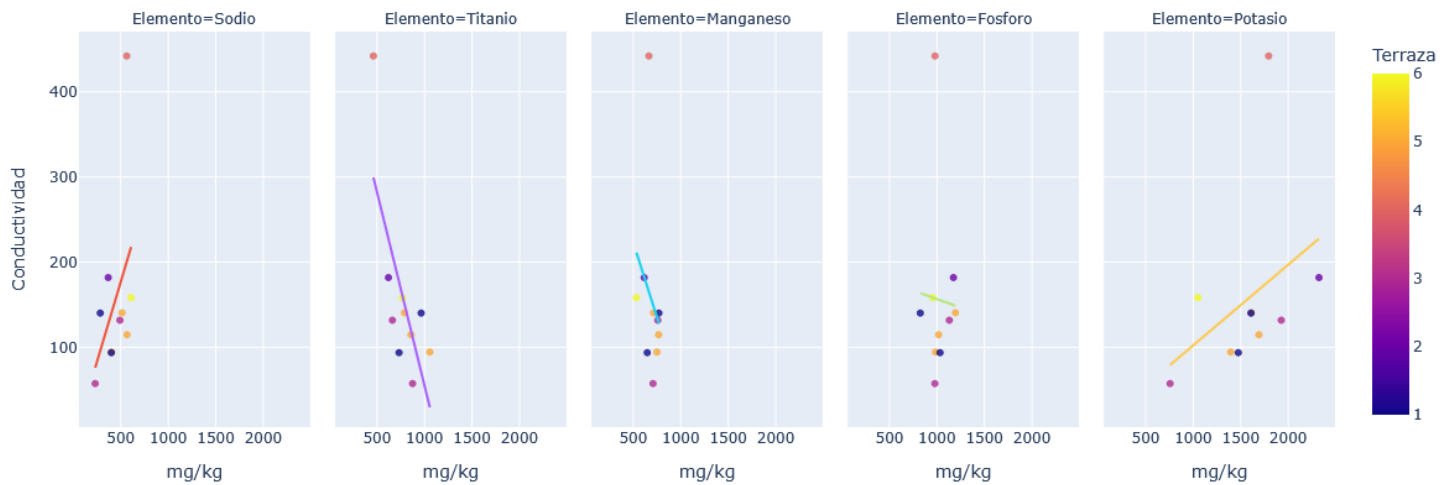


Figura D12: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Na, Ti, Mn, P y K en el gráfico, se observa la concentración en el eje de la abscisa y en la ordenada se aprecia la conductividad medida para cada punto. Se muestra la línea de tendencia obtenida vía “OLS” y en escala de color, se aprecian las terrazas correspondientes para cada uno de los puntos.

Perfil de concentración de elementos seleccionados y sus conductividades (Mg, Al, Ca y Fe)

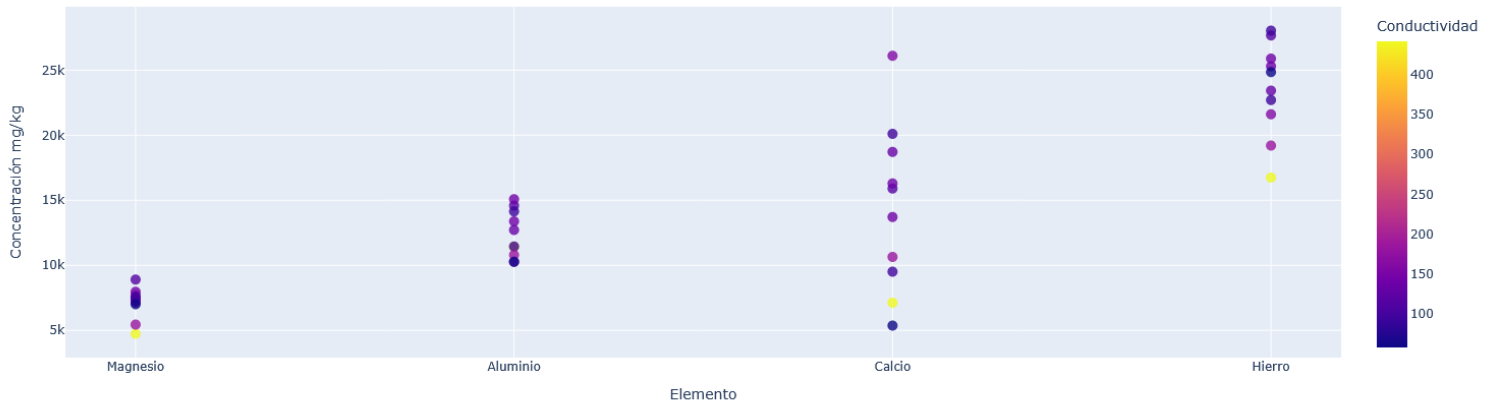


Figura D13: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Mg, Al, Ca y Fe. En escala de color, se aprecia la conductividad para cada punto observado

Relación entre concentración de Elementos (Mg, Al, Ca y Fe) y su Conductividad

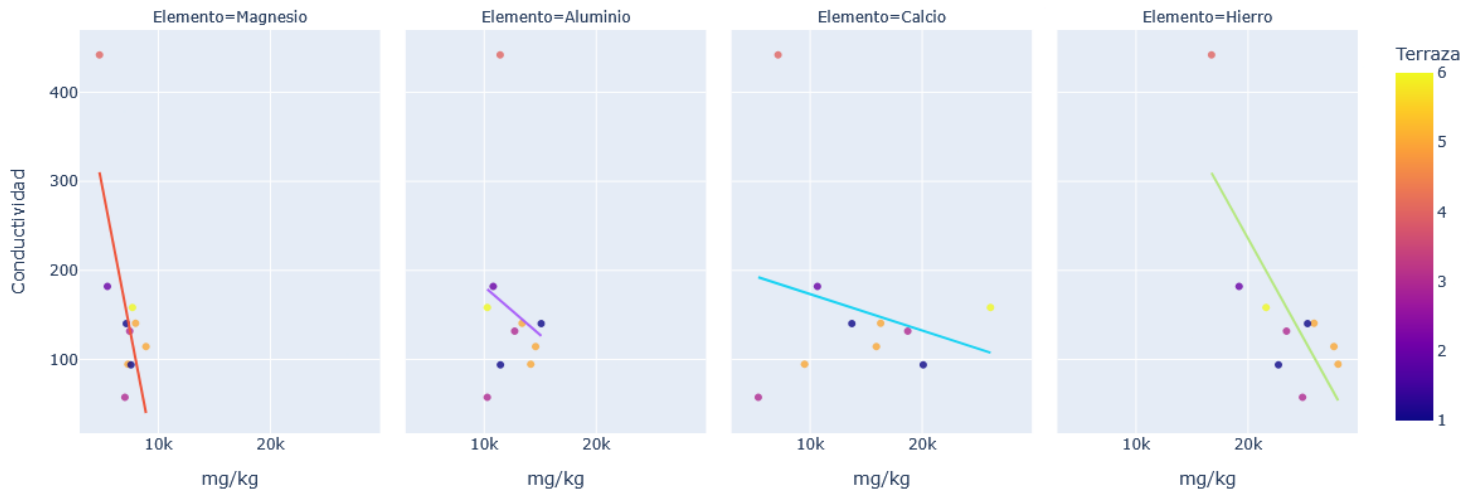


Figura D14: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Mg, Al, Ca y Fe, en el gráfico, se observa la concentración en el eje de la abscisa y en la ordenada se aprecia la conductividad medida para cada punto. Se muestra la línea de tendencia obtenida vía “OLS” y en escala de color, se aprecian las terrazas correspondientes para cada uno de los puntos.

Perfil de concentración de elementos seleccionados y sus conductividades (Sr, V, Ba, Cu y Zn)

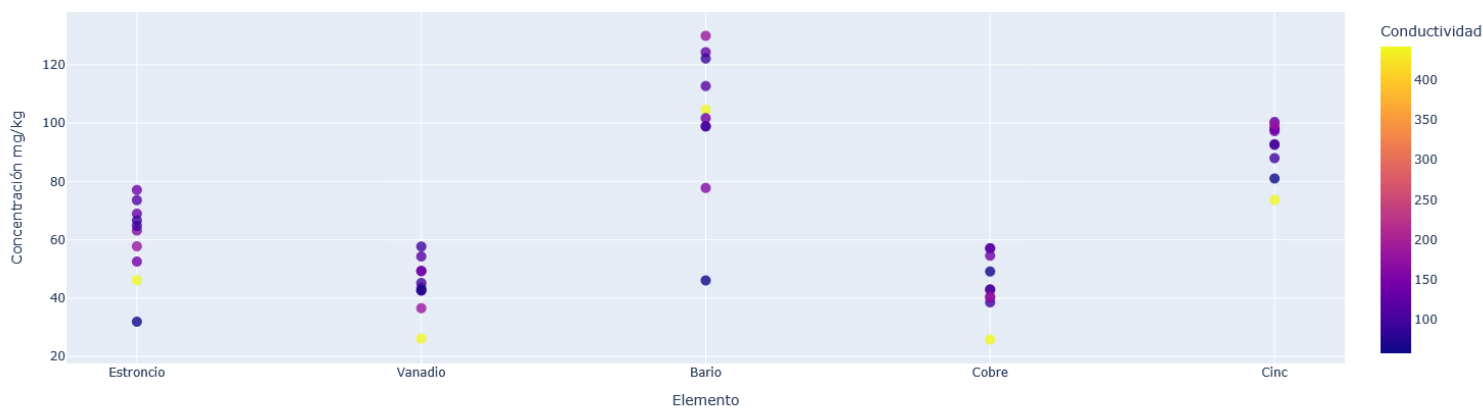


Figura D15: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Sr, V, Ba, Cu y Zn. En escala de color, se aprecia las concentraciones de arcilla para cada punto observado.

Relación entre concentración de Elementos (Sr, V, Ba, Cu y Zn) y su Conductividad

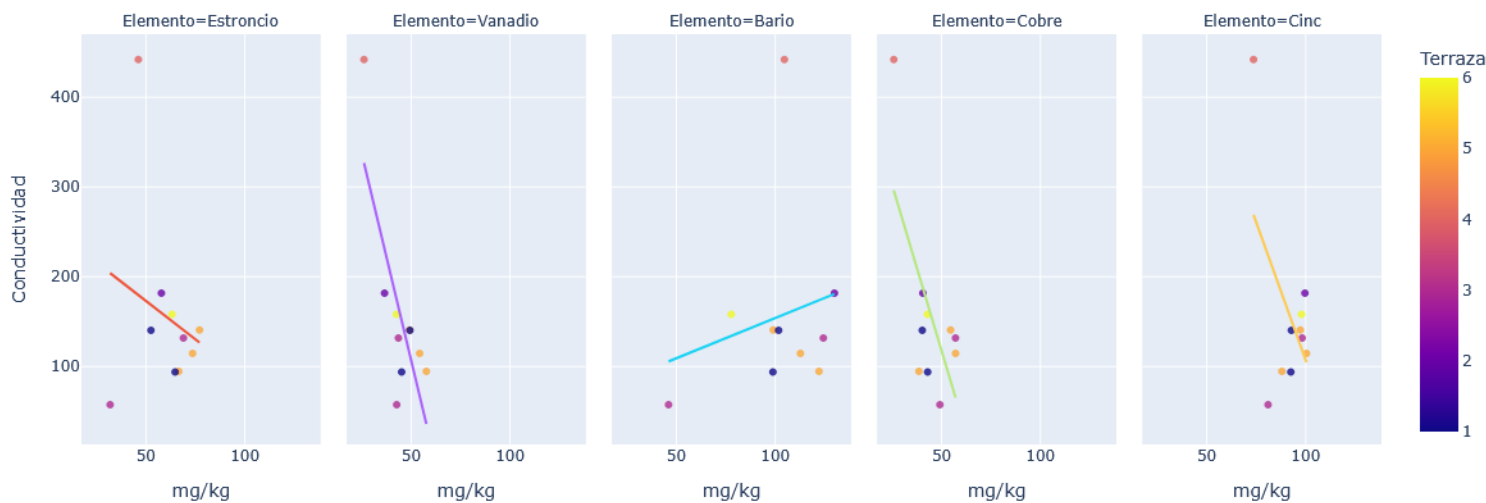


Figura D16: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Sr, V, Ba, Cu y Zn, en el gráfico, se observa la concentración en el eje de la abscisa y en la ordenada se aprecia la conductividad medida para cada punto. Se muestra la línea de tendencia obtenida vía “OLS” y en escala de color, se aprecian las terrazas correspondientes para cada uno de los puntos.

Perfil de concentración de elementos seleccionados y sus conductividades (Pb, Rb, Cr, Ni, Li, As y Co)

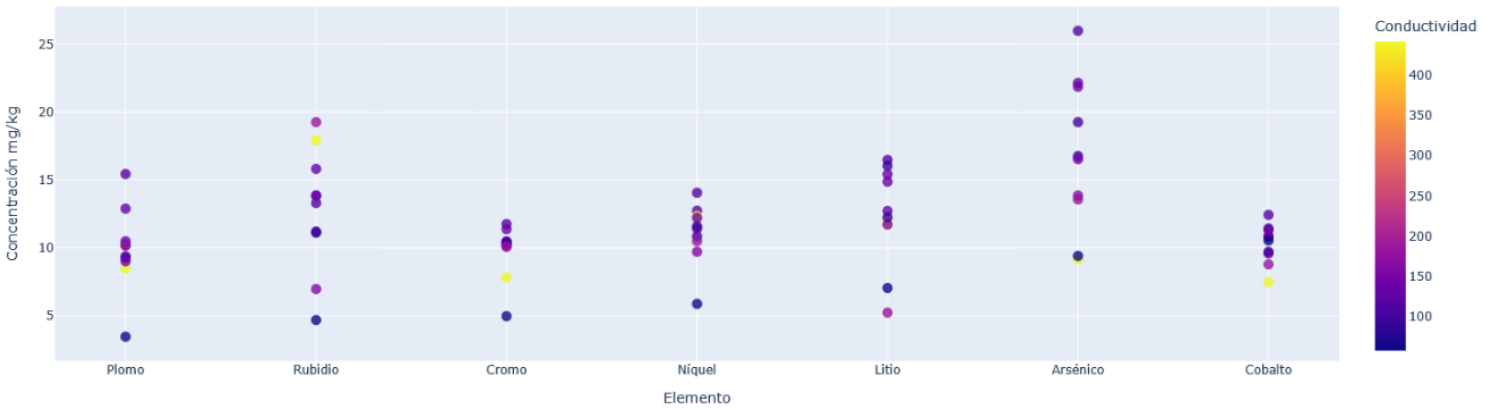


Figura D17: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Pb, Rb, Cr, Ni, Li, As y Co. En escala de color, se aprecia las conductividades para cada punto observado.

Relación entre concentración de Elementos (Pb, Rb, Cr, Ni, Li, As y Co) y su Conductividad

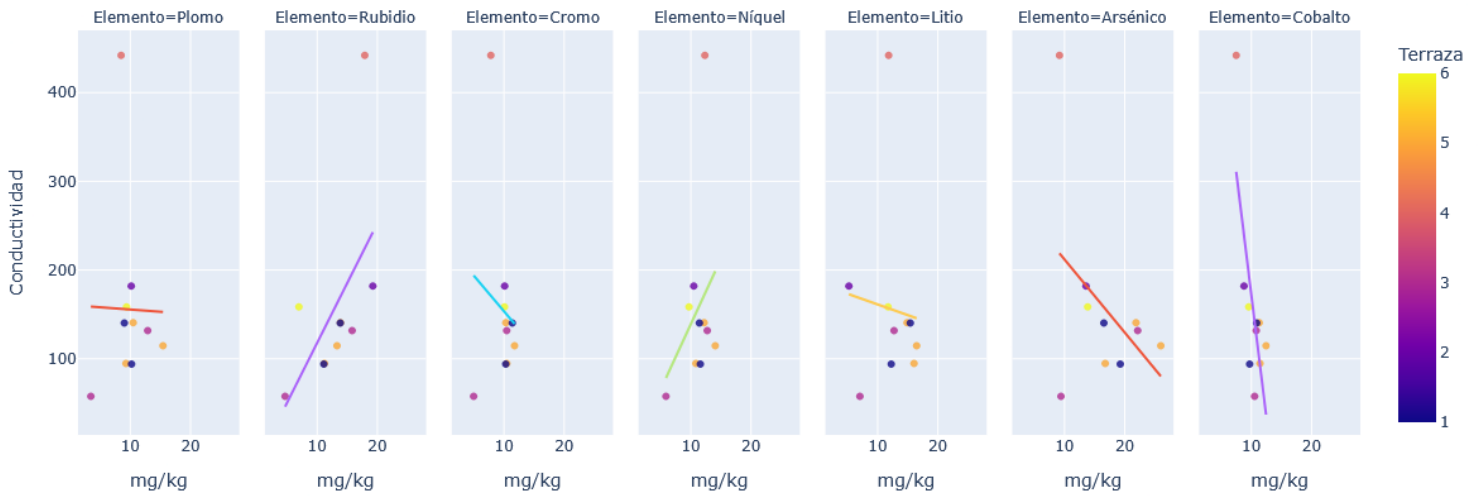


Figura D18: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Pb, Rb, Cr, Ni, Li, As y Co, en el gráfico, se observa la concentración en el eje de la abscisa y en la ordenada se aprecia la conductividad medida para cada punto. Se muestra la línea de tendencia obtenida vía “OLS” y en escala de color, se aprecian las terrazas correspondientes para cada uno de los puntos.

Perfil de concentración de elementos seleccionados y sus conductividades (Ta, Bi, Cd, Sb, U, Be, Se, Mo, Sn)

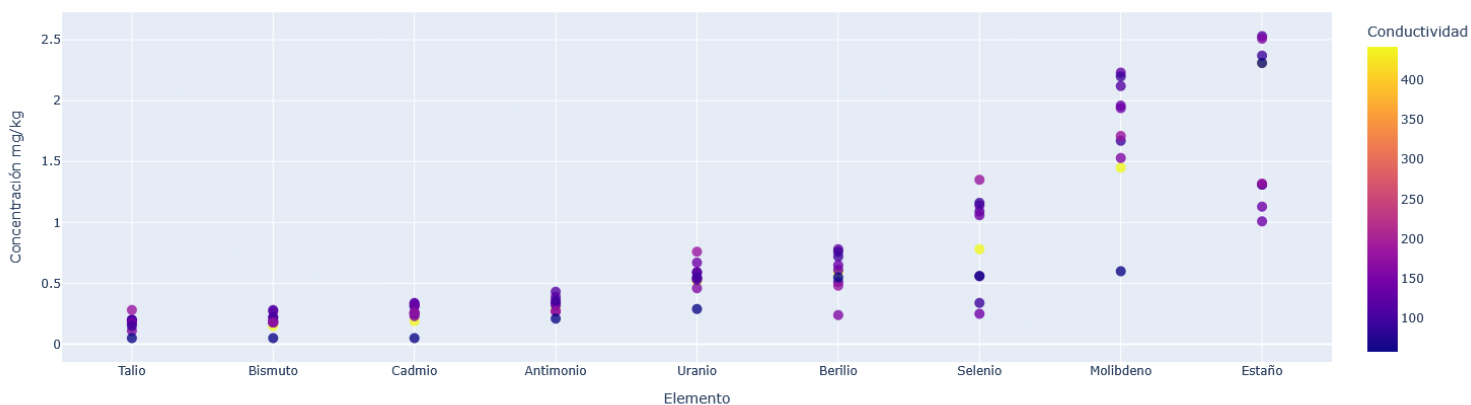


Figura D19: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Ta, Bi, Cd, Sb, U, Be, Se, Mo y Sn. En escala de color, se aprecia la conductividad para cada punto observado.

3. Perfiles de concentración elementales y sus comportamientos con respecto a sus pH.

Perfil de concentración de elementos seleccionados y sus pH (Na, Ti, Mn, P y K)

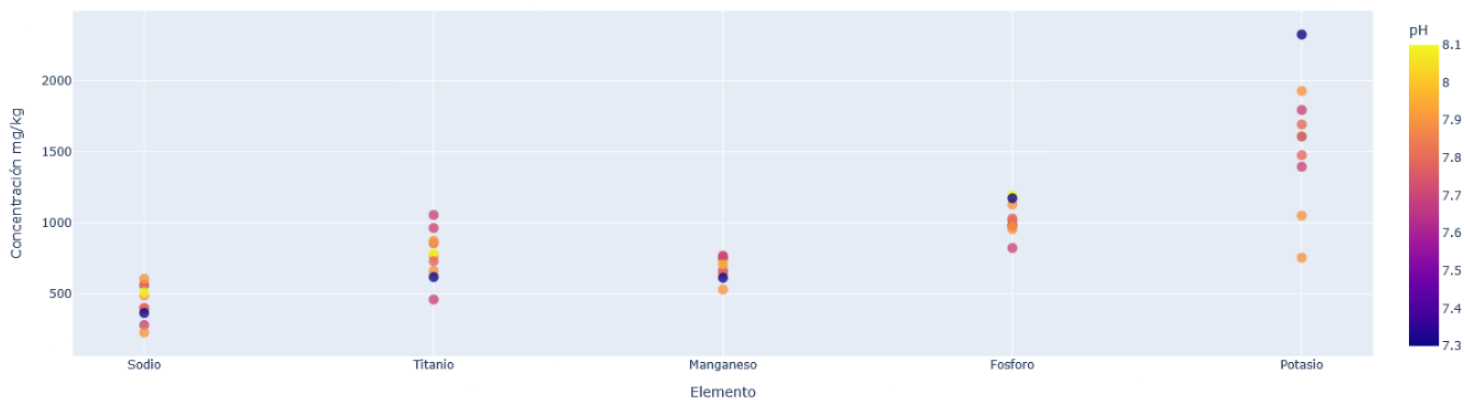


Figura D20: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Na, Ti, Mn, P y K. En escala de color, se aprecian los valores de pH para cada punto observado.

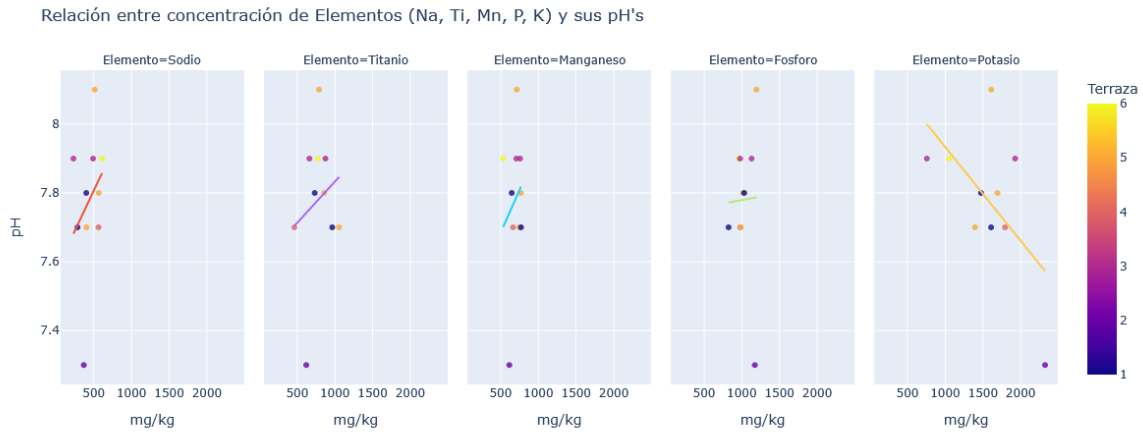


Figura D21: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Na, Ti, Mn, P y K, en el gráfico, se observa la concentración en el eje de la abscisa y en la ordenada se aprecia el pH medido para cada punto. Se muestra la línea de tendencia obtenida vía “OLS” y en escala de color, se aprecian las terrazas correspondientes para cada uno de los puntos.

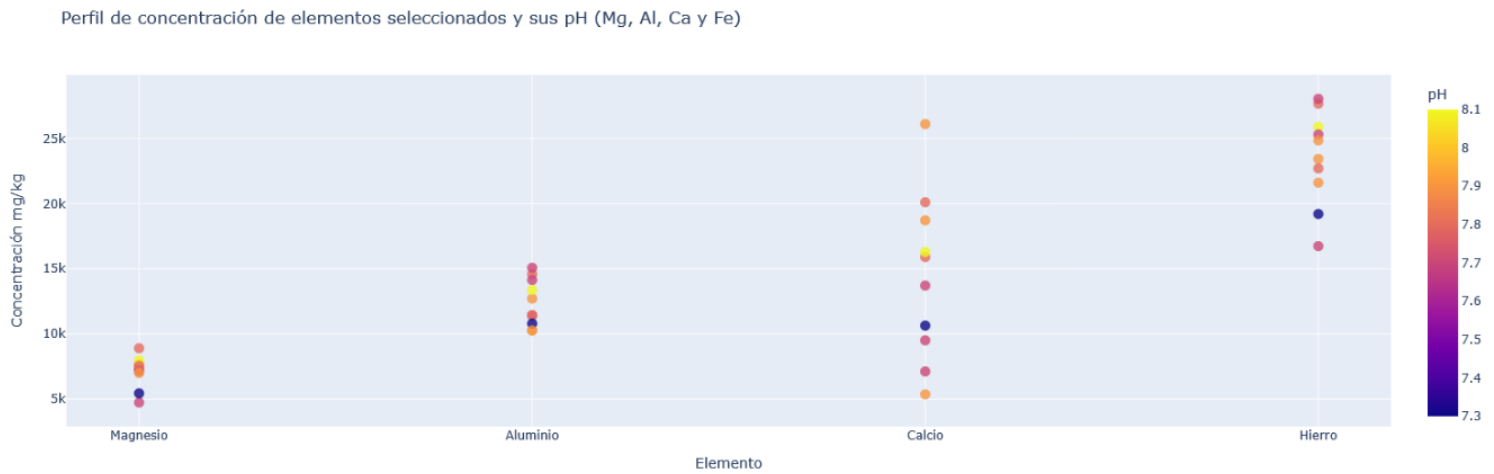


Figura D22: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Mg, Al, Ca y Fe. En escala de color, se aprecian los valores de pH para cada punto observado.

Relación entre concentración de Elementos (Mg, Al, Ca y Fe) y sus pH's

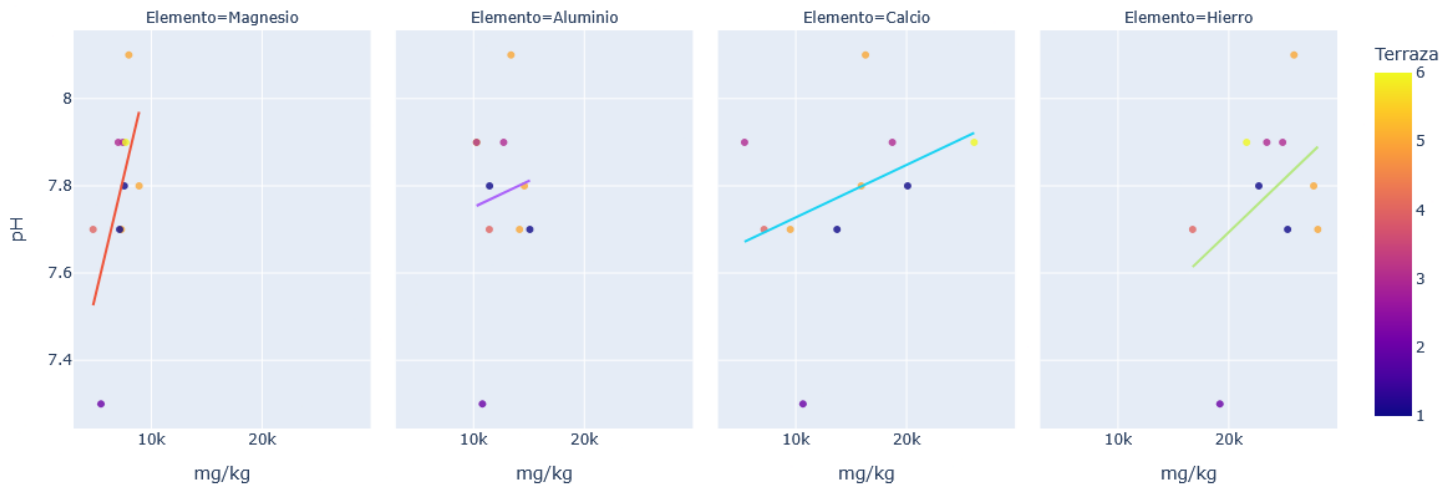


Figura D23: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Mg, Al, Ca y Fe, en el gráfico, se observa la concentración en el eje de la abscisa y en la ordenada se aprecia el pH medido para cada punto. Se muestra la línea de tendencia obtenida vía “OLS” y en escala de color, se aprecian las terrazas correspondientes para cada uno de los puntos.

Perfil de concentración de elementos seleccionados y sus pH (Sr, V, Ba, Cu, Zn)

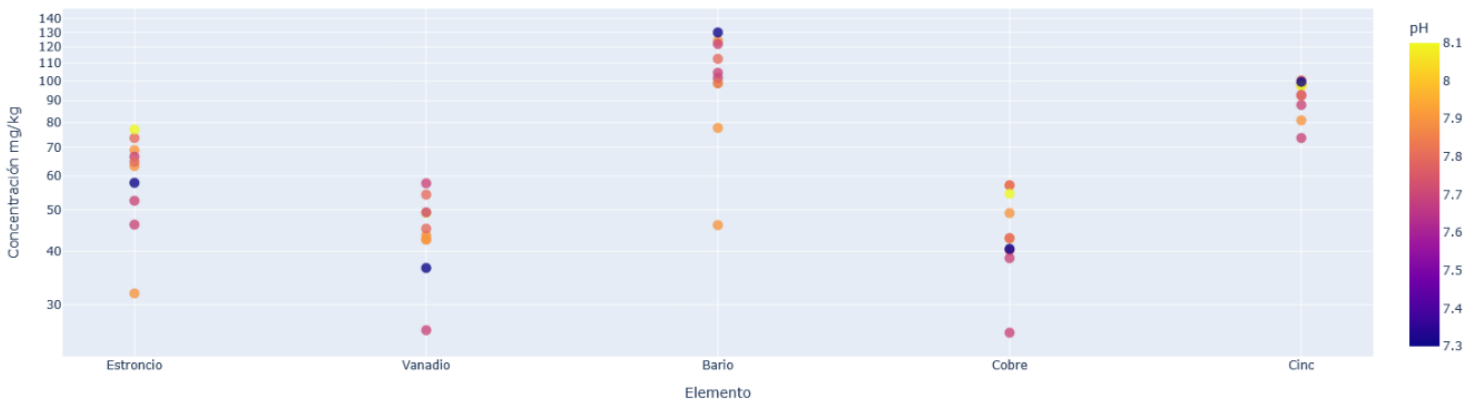


Figura D24: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Sr, V, Ba, Cu y Zn. En escala de color, se aprecian los valores de pH para cada punto observado.

Relación entre concentración de Elementos (Sr, V, Ba, Cu, Zn) y sus pH's

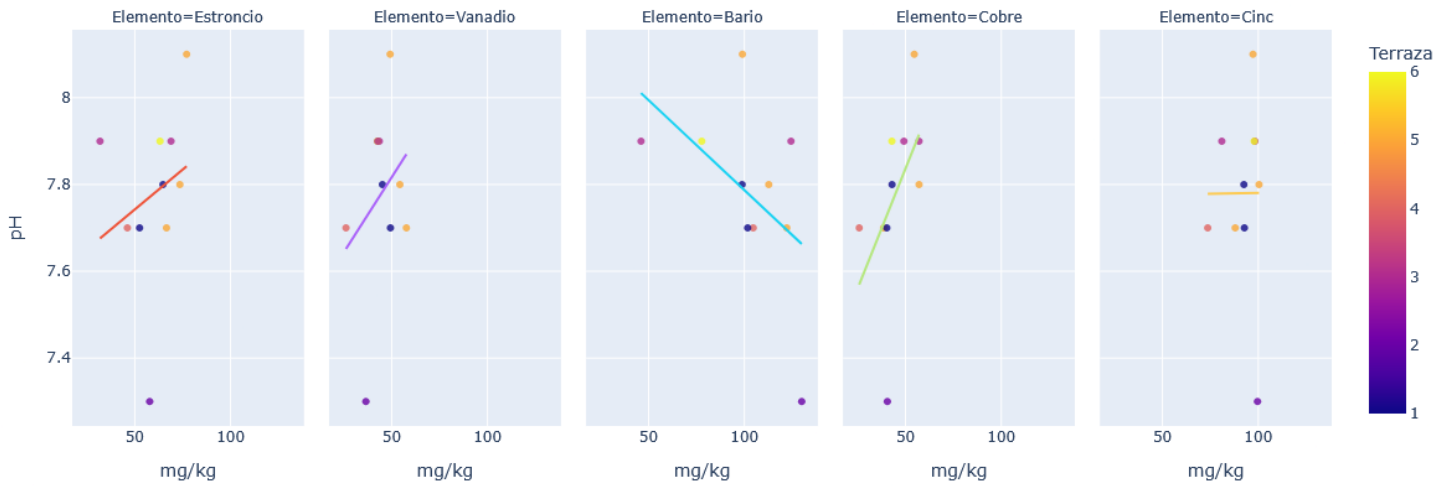


Figura D25: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Sr, V, Ba, Cu y Zn, en el gráfico, se observa la concentración en el eje de la abscisa y en la ordenada se aprecia el pH medido para cada punto. Se muestra la línea de tendencia obtenida vía “OLS” y en escala de color, se aprecian las terrazas correspondientes para cada uno de los puntos.

Perfil de concentración de elementos seleccionados y sus pH (Pb, Rb, Cr, Ni, Li, As y Co)

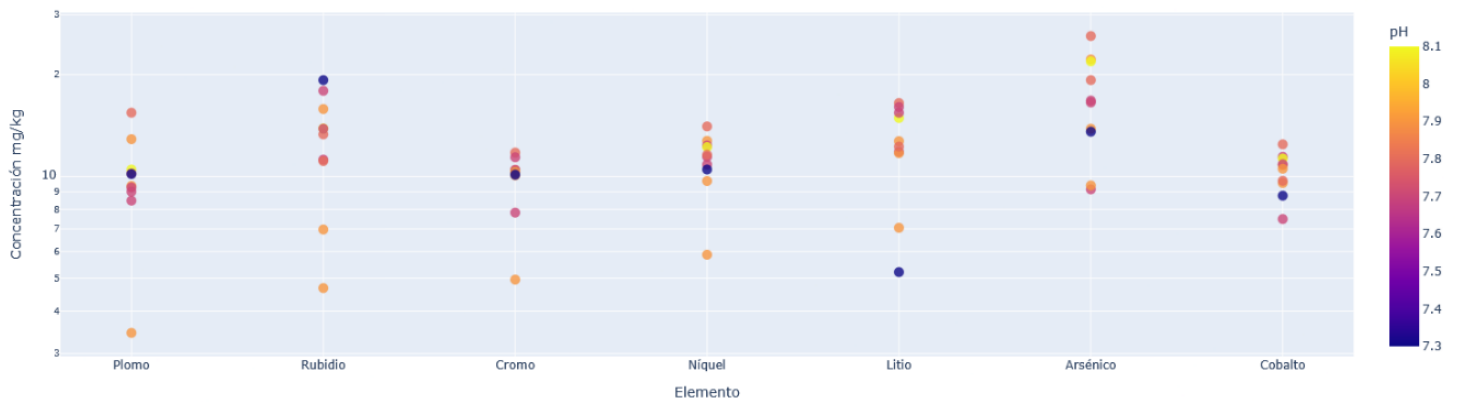


Figura D26: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Pb, Rb, Cr, Ni, Li, As y Co. En escala de color, se aprecian los valores de pH para cada punto observado.

Relación entre concentración de Elementos (Pb, Rb, Cr, Ni, Li, As y Co) y sus pH's

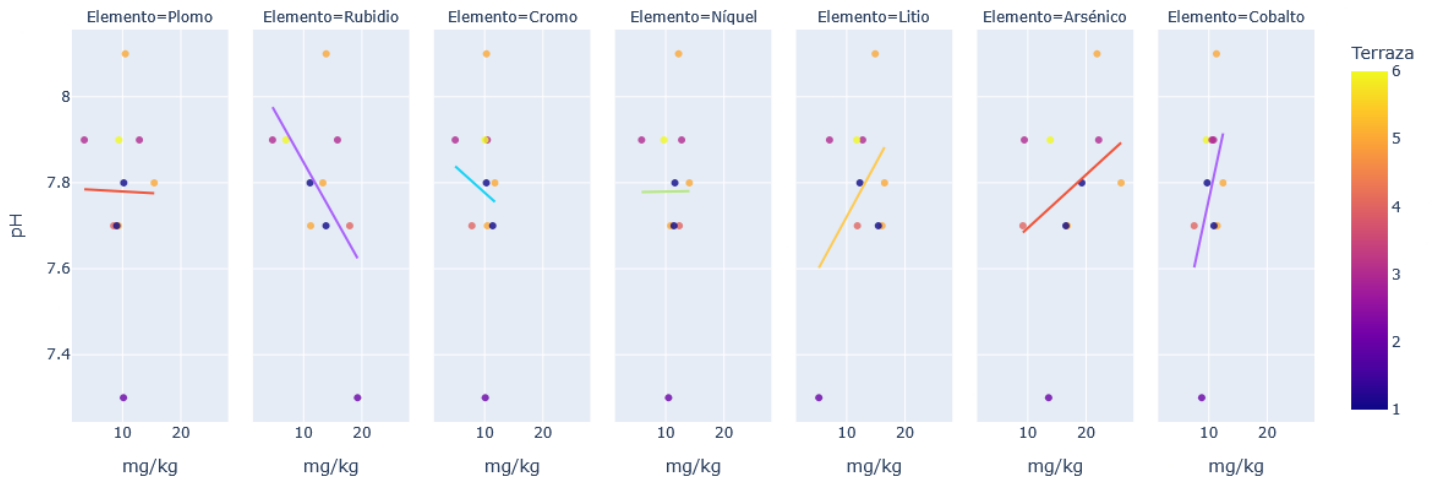


Figura D27: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Pb, Rb, Cr, Ni, Li, As y Co en el gráfico, se observa la concentración en el eje de la abscisa y en la ordenada se aprecia el pH medido para cada punto. Se muestra la línea de tendencia obtenida vía “OLS” y en escala de color, se aprecian las terrazas correspondientes para cada uno de los puntos.

Perfil de concentración de elementos seleccionados y sus pH (Ta, Bi, Cd, Sb, U, Be, Se, Mo, Sn)

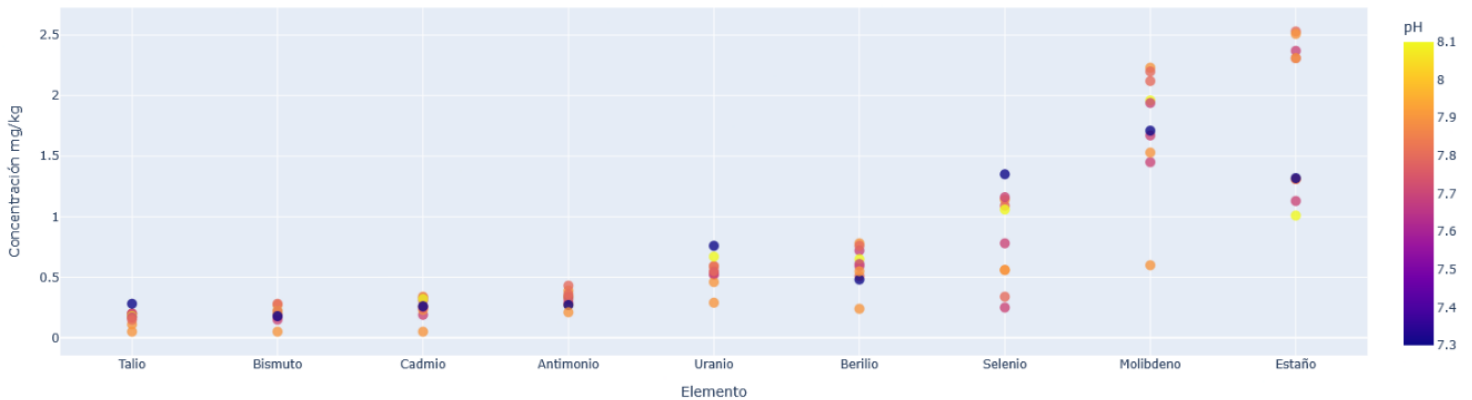


Figura D28: Gráfico de dispersión con las concentraciones elementales de Ta, Bi, Cd, Sb, U, Be, Se, Mo y Sn. En escala de color, se aprecian los valores de pH para cada punto observado.

Anexo E: Gráficos tipo “Pie” de la mineralogía por DRX.

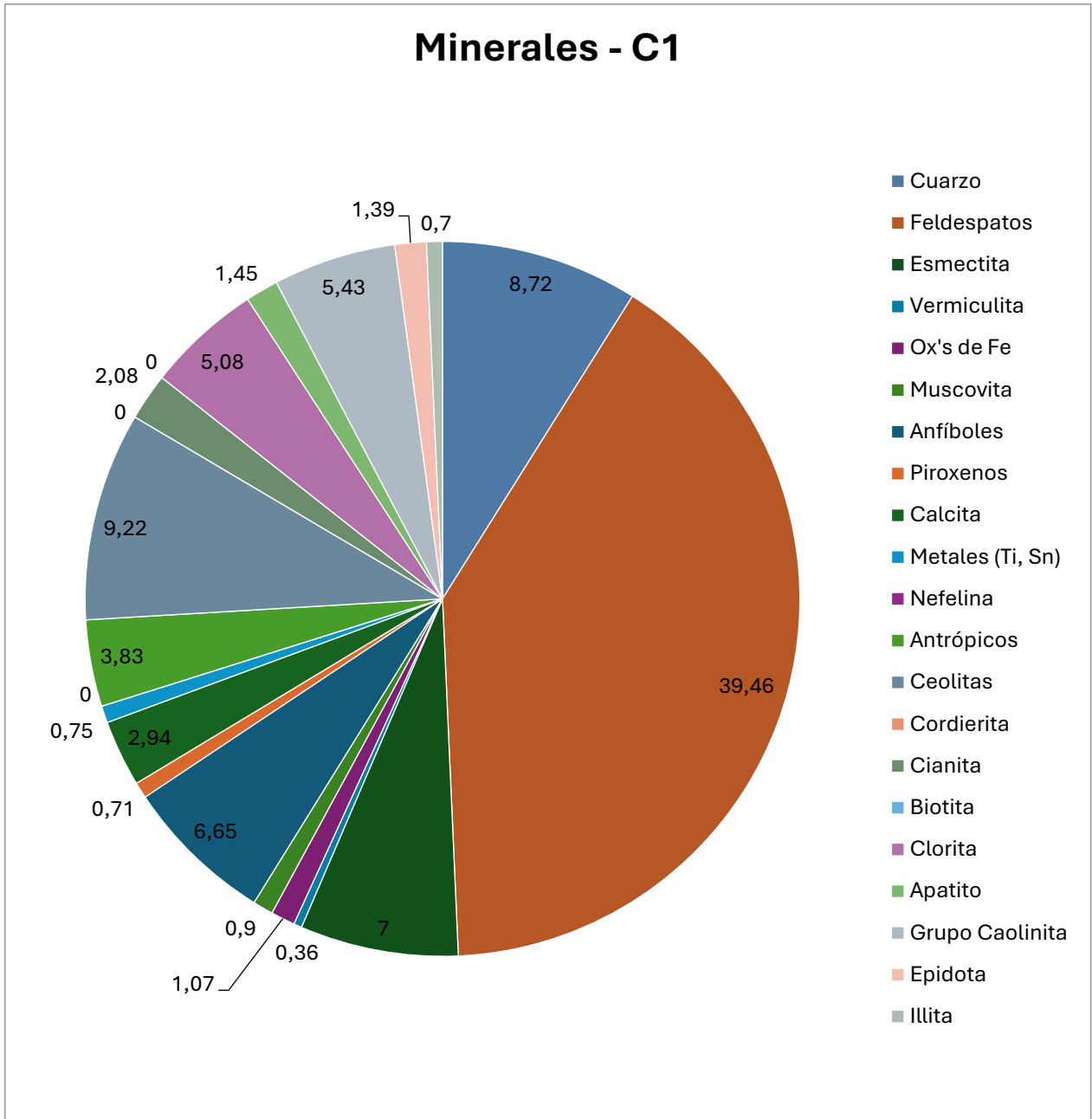


Figura E1: “Pie chart” del cartel 1 con porcentajes con dos decimales. Se resumieron las 33 fases minerales encontradas vía DRX en las siguientes 21 fases minerales (en orden dextrógiro desde Cuarzo): Cuarzo, Feldspatos, Esmectita, Vermiculita, Óxidos de Fe, Muscovita, Anfiboles, Piroxenos, Calcita, Casiterita + Titanita, Nefelina, Antrópicos, Ceolitas, Cordierita, Cianita, Biotita, Clorita, Apatito, minerales del grupo de la Caolinita, Epidota e Illita.

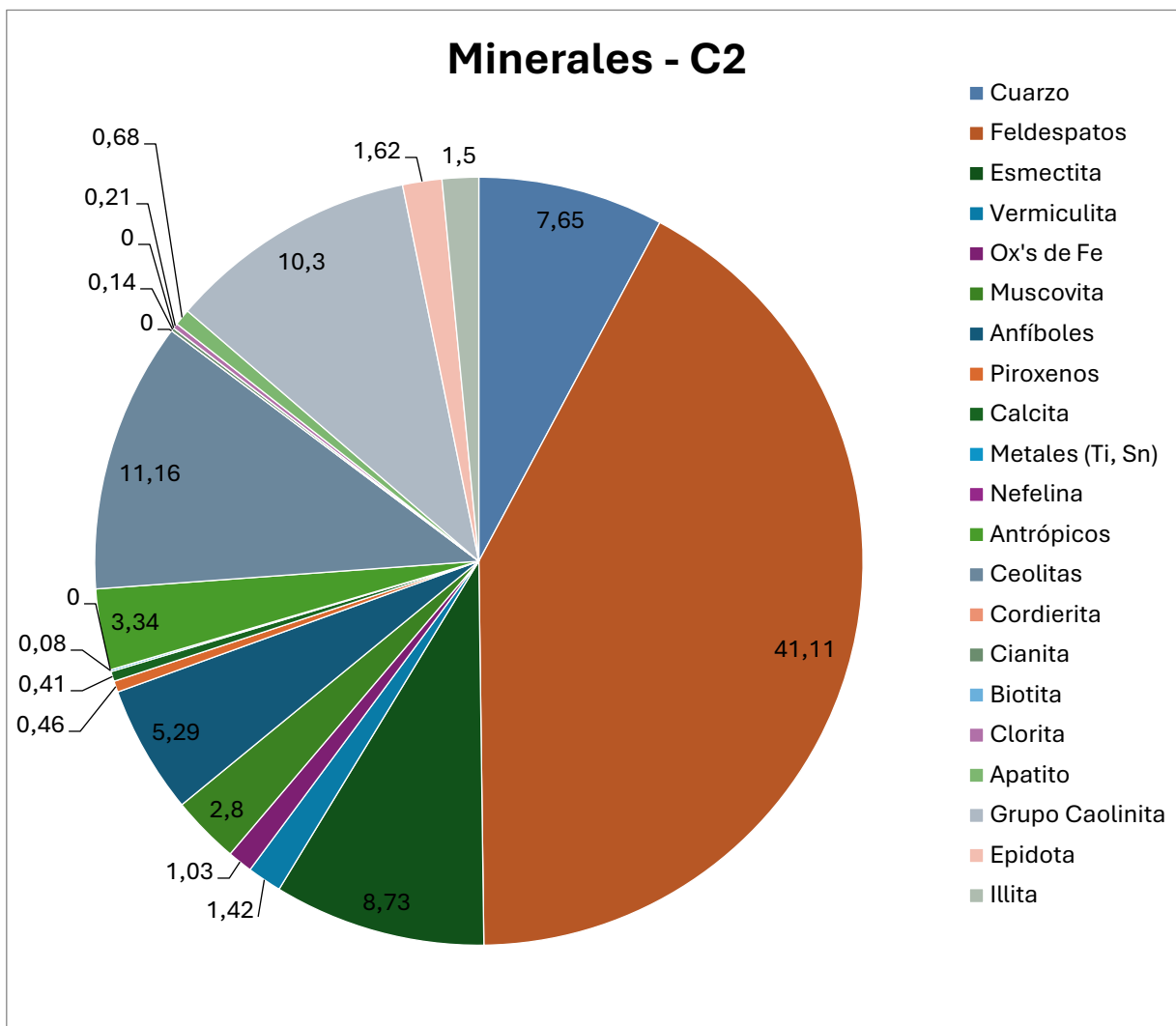


Figura E2: “Pie chart” del cuartel 2 con porcentajes con dos decimales. Se muestran los porcentajes particulares de las 21 fases minerales en el mismo orden y color que en las especificadas en el “Pie Chart” de C1

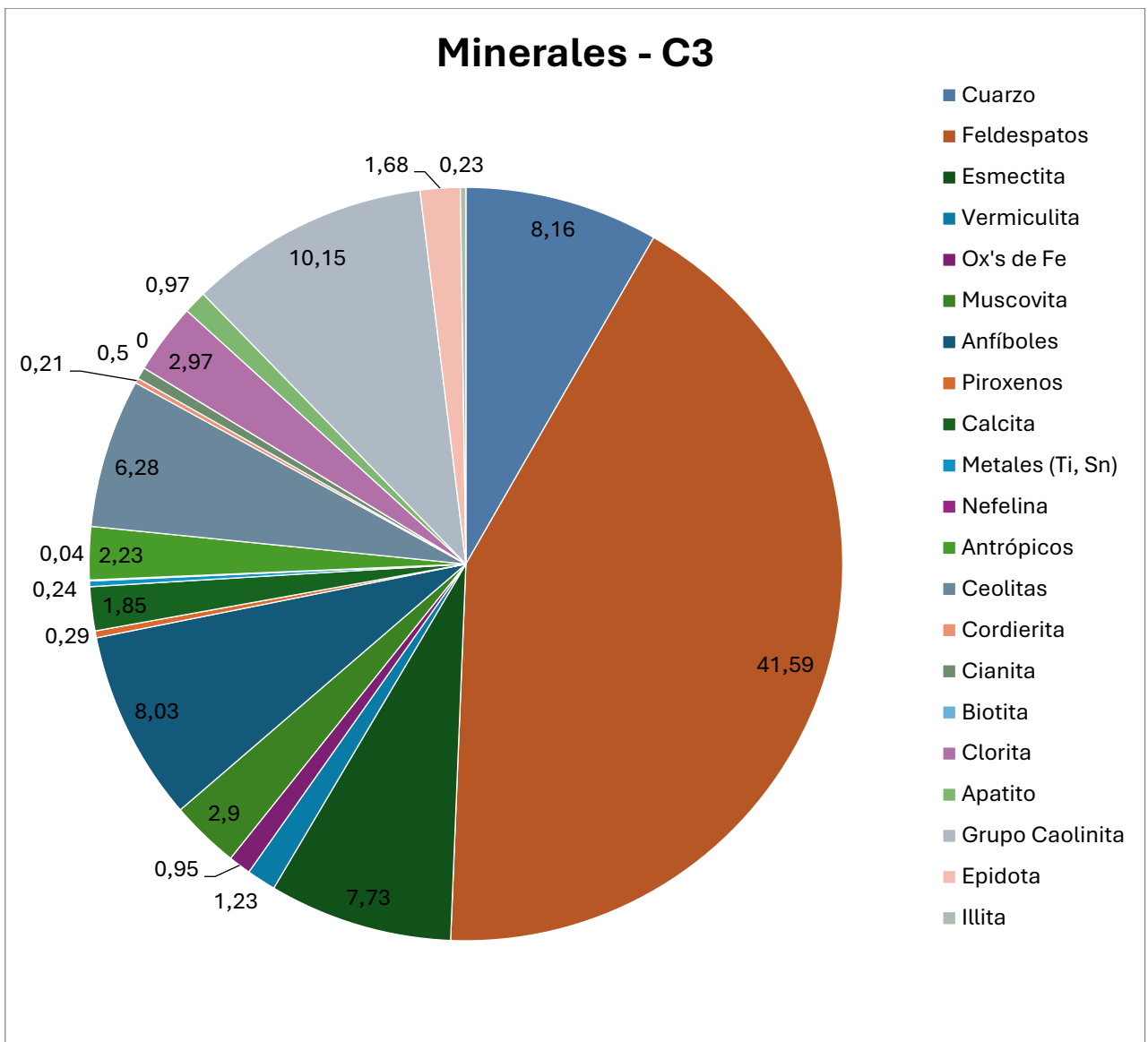


Figura E3: “Pie chart” del cuartel 3 con porcentajes aproximados en dos decimales. Se muestran los porcentajes particulares de las 21 fases minerales en el mismo orden y color que en las especificadas en el “Pie Chart” de C1.

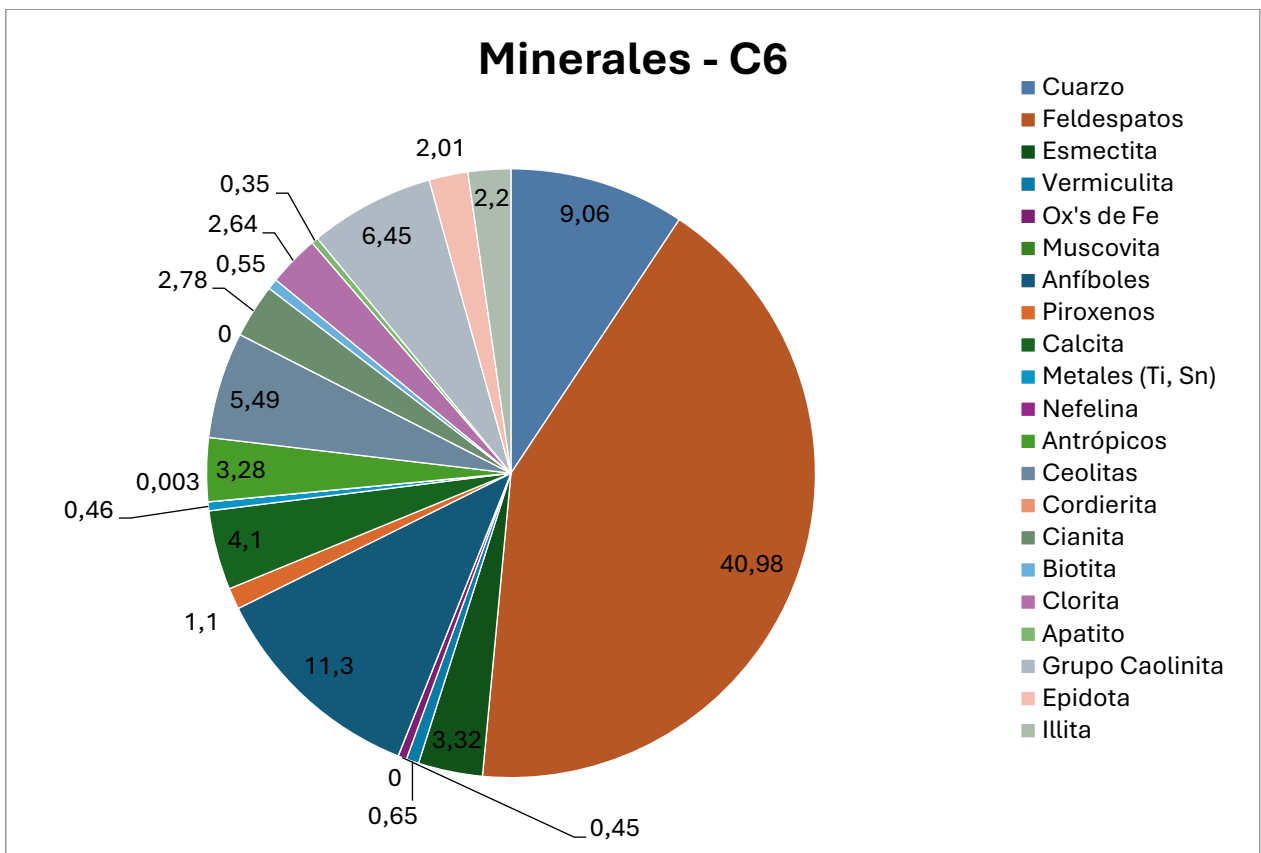


Figura E4: “Pie chart” del cuartel 6 con porcentajes aproximados en dos decimales. Se muestran los porcentajes particulares de las 21 fases minerales en el mismo orden y color que en las especificadas en el “Pie Chart” de C1.

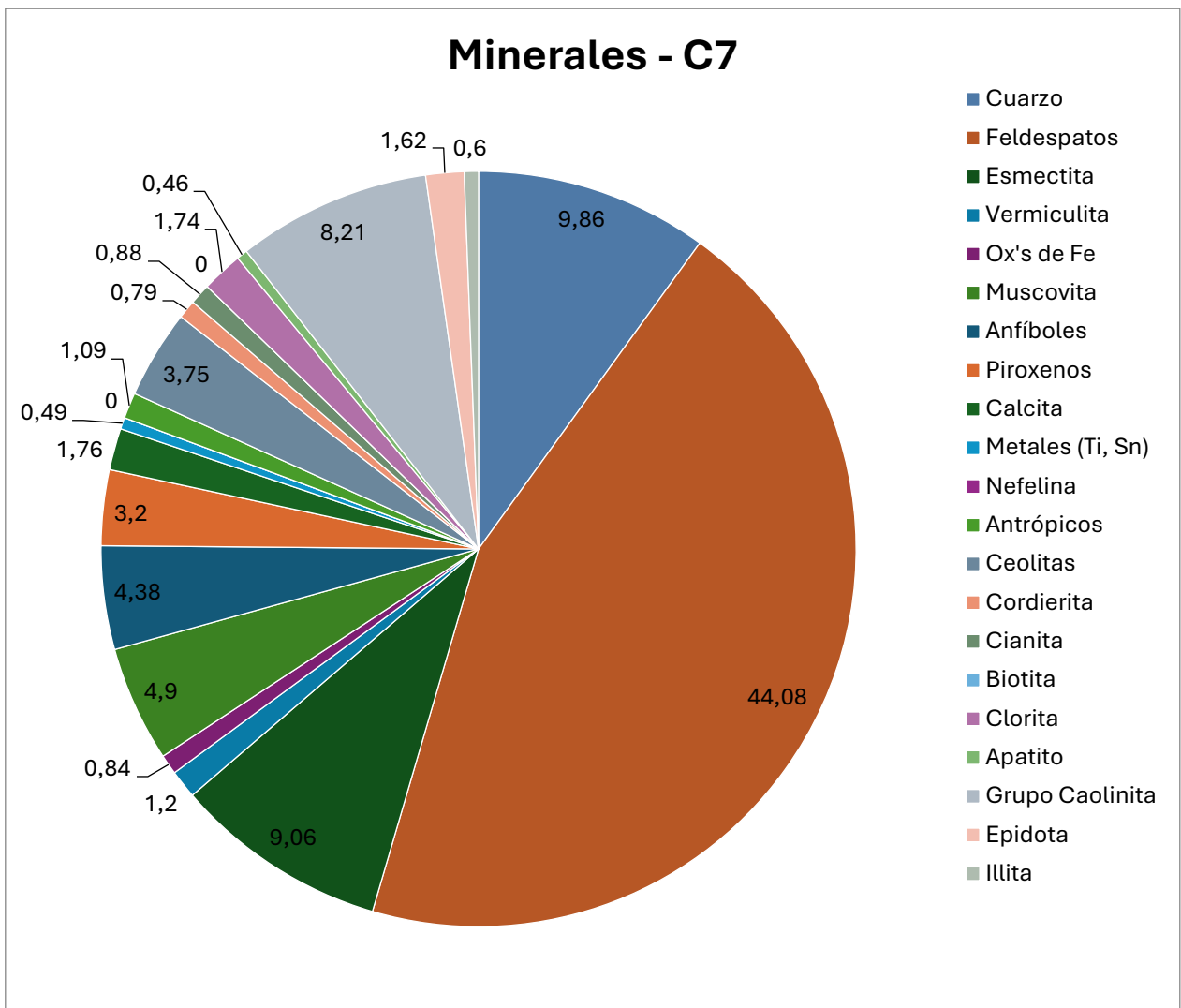


Figura E5: “Pie chart” del cuartel 7 con porcentajes aproximados en dos decimales. Se muestran los porcentajes particulares de las 21 fases minerales en el mismo orden y color que en las especificadas en el “Pie Chart” de C1.

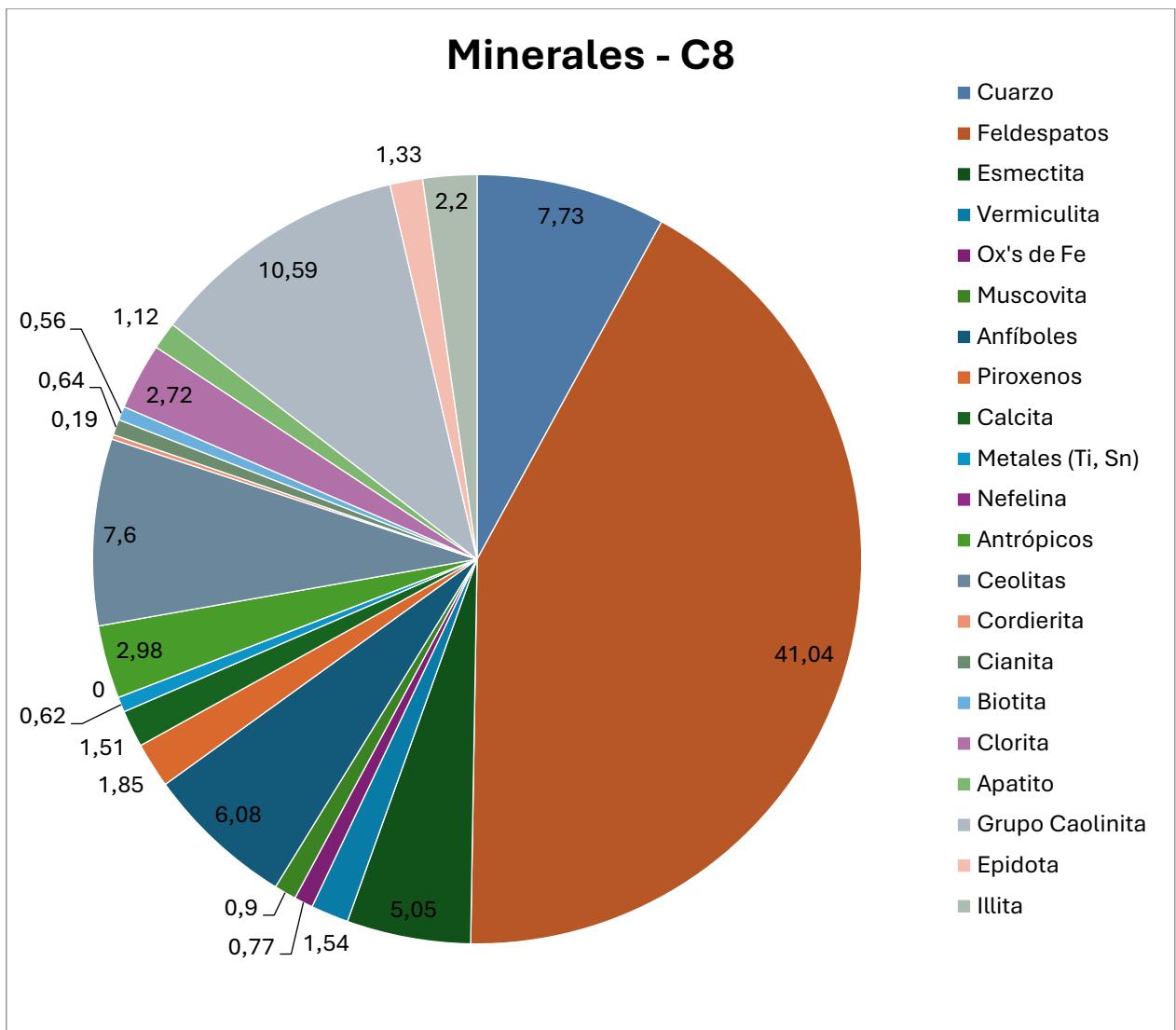


Figura E6: “Pie chart” del cuartel 8 con porcentajes aproximados en dos decimales. Se muestran los porcentajes particulares de las 21 fases minerales en el mismo orden y color que en las especificadas en el “Pie Chart” de C1.

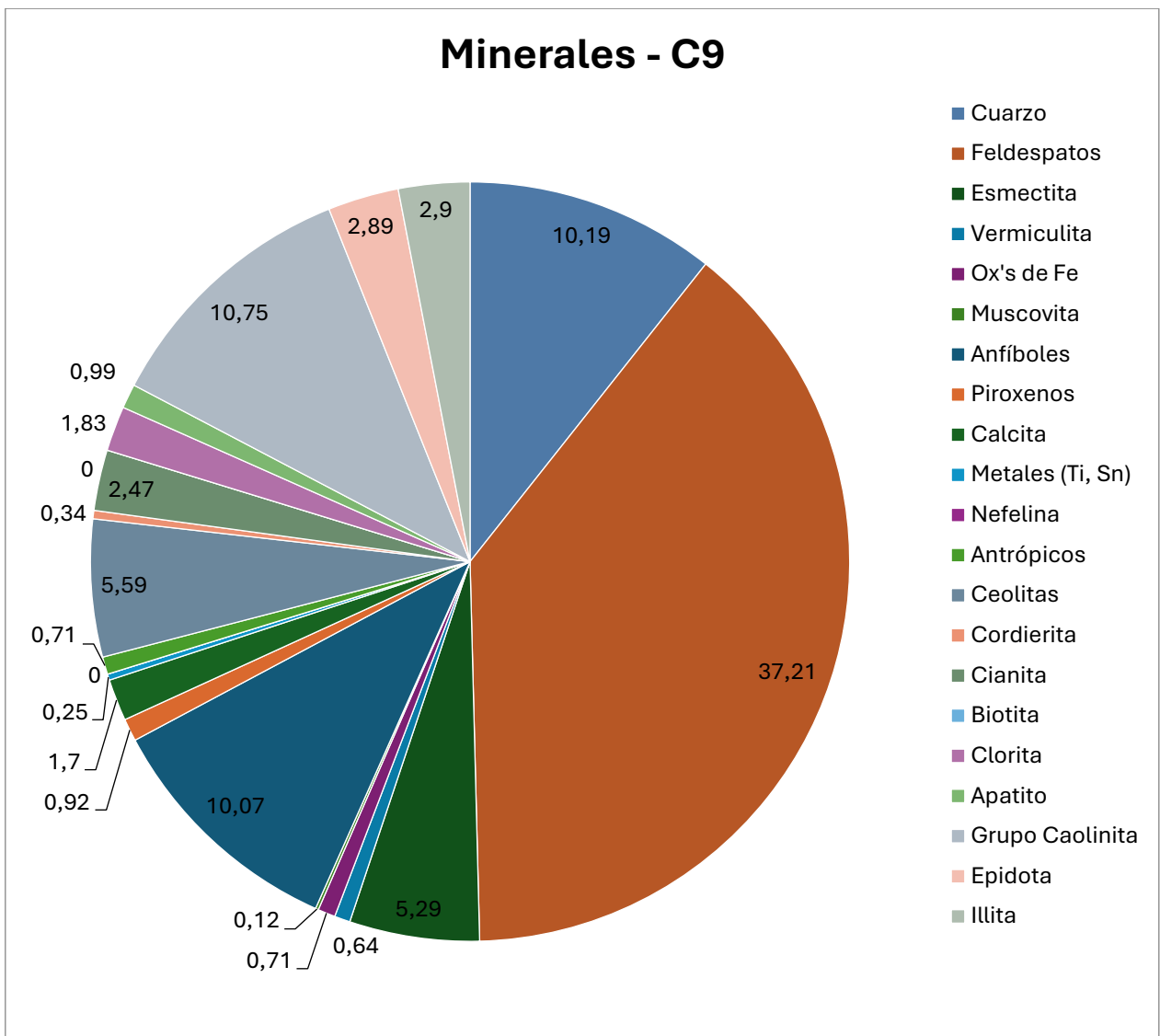


Figura E7: “Pie chart” del cuartel 9 con porcentajes aproximados en dos decimales. Se muestran los porcentajes particulares de las 21 fases minerales en el mismo orden y color que en las especificadas en el “Pie Chart” de C1.

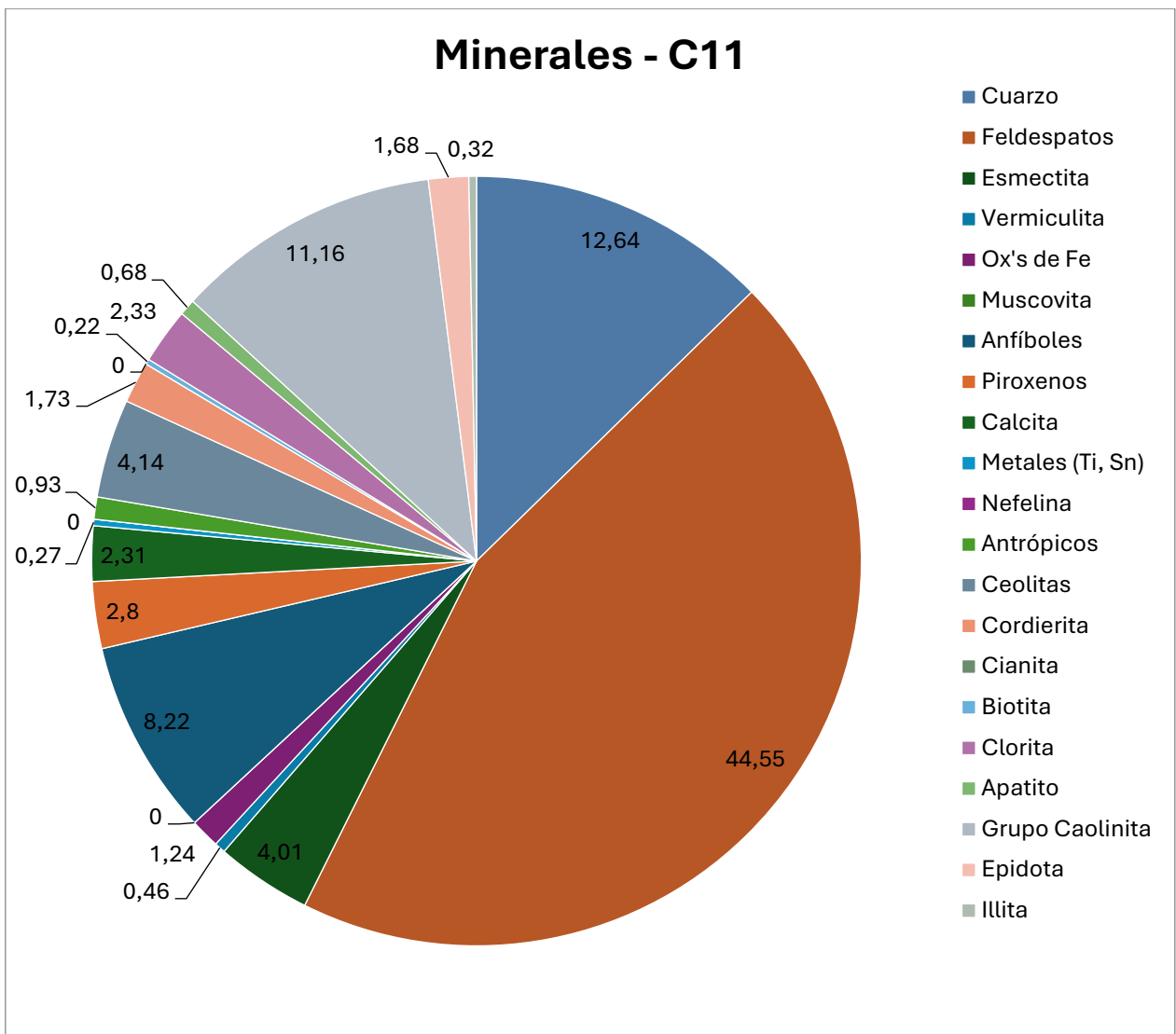


Figura E8: “Pie chart” del cuartel 11 con porcentajes aproximados en dos decimales. Se muestran los porcentajes particulares de las 21 fases minerales en el mismo orden y color que en las especificadas en el “Pie Chart” de C1.

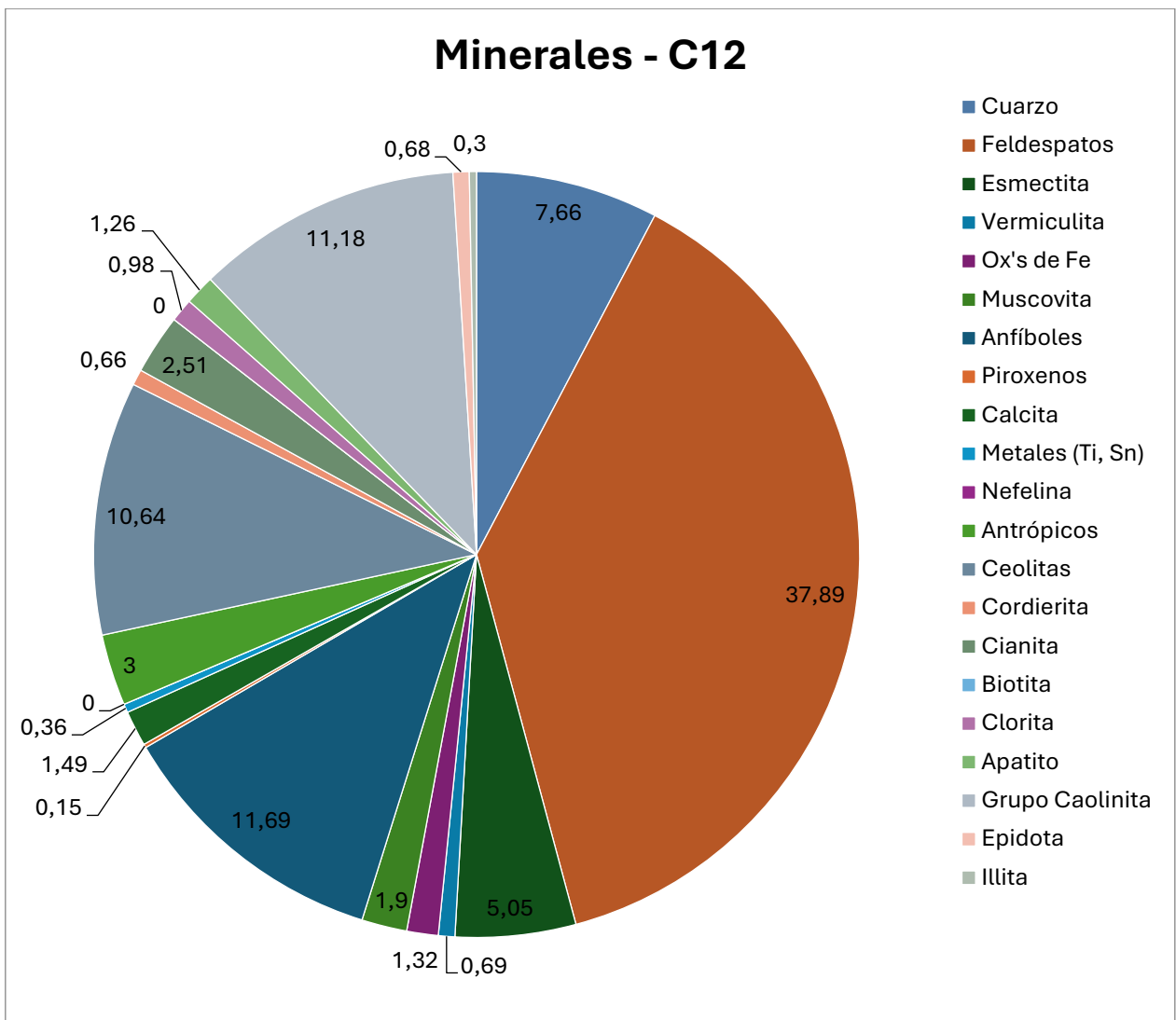


Figura E9: “Pie chart” del cuartel 12 con porcentajes aproximados en dos decimales. Se muestran los porcentajes particulares de las 21 fases minerales en el mismo orden y color que en las especificadas en el “Pie Chart” de C1.

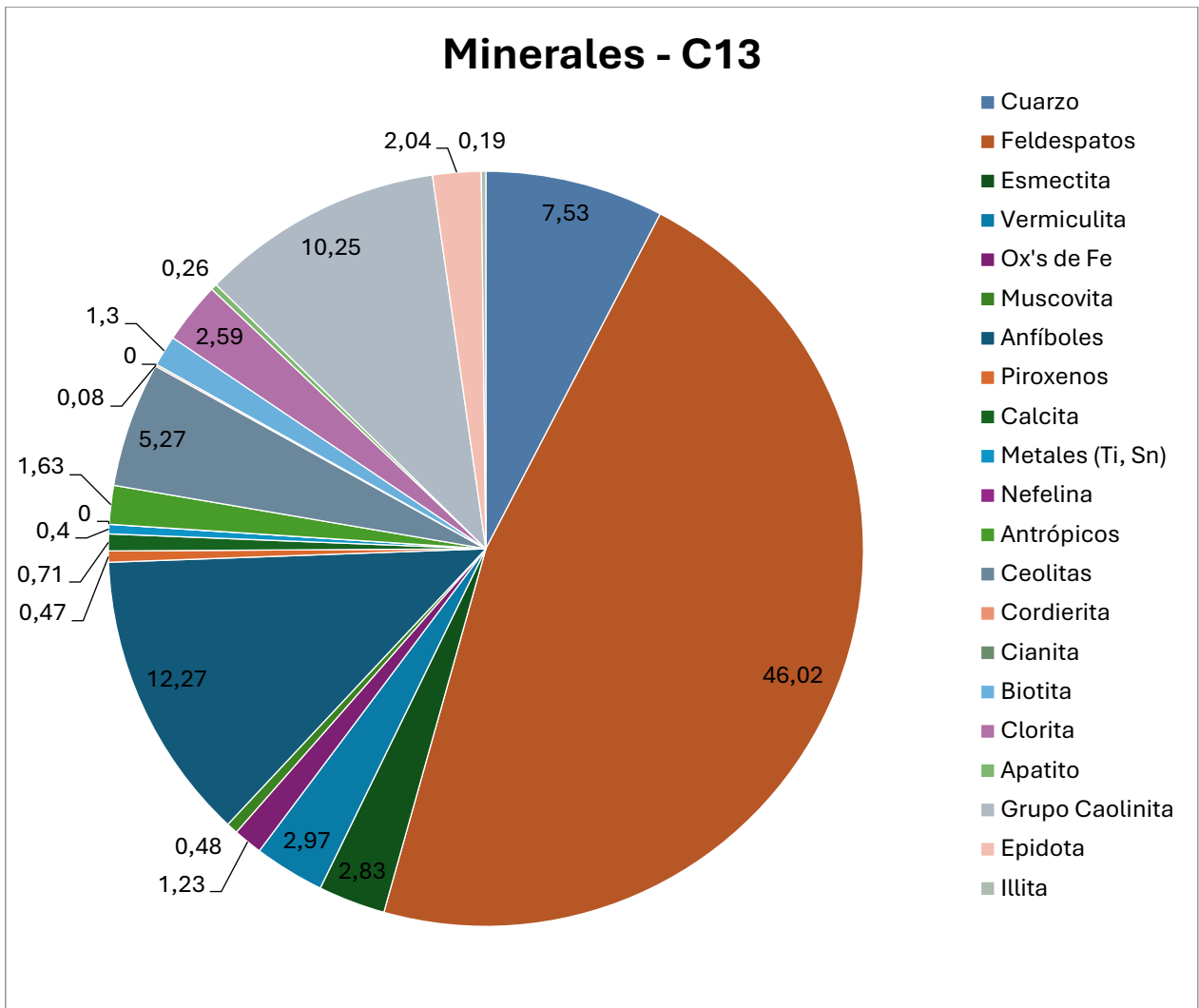


Figura E10: “Pie chart” del cuartel 13 con porcentajes aproximados en dos decimales. Se muestran los porcentajes particulares de las 21 fases minerales en el mismo orden y color que en las especificadas en el “Pie Chart” de C1.

Anexo F: Proceso de refinamiento e Histogramas de Refinamiento por Rietveld.

Detallando el proceso de refinamiento descrito en la sección de Metodología, se explica a mayor detalle los parámetros y la forma de refinar los parámetros cristalográficos.

El software “Profex”, asociado a la marca “BGMN” fue el definitivo para los resultados presentados en este documento. Este programa ofrece una interfaz en la que se manipulan los valores intrínsecos del difractor (longitud de onda, tipo de emisión, filtro, distancia a la placa, temperatura de ambiente entre otros), la parametrización de valores para el polinomio determinante del “background” de cada refinamiento (el cual se estandarizó en 10), los valores de celda unitaria, las coordenadas atómicas de los elementos, microtensiones y la denominada “Textura”, la cual, diferida de la textura macroscópica, trata de la estructura cristalina preferencial de cada mineral (parámetros hkl), o también referenciada como el factor que describe la desviación entre la intensidad de reflexión y la distribución isotrópica de una fase (Döbelin, 2021).

Después de haber configurado los controles del instrumento, el proceso de refinamiento consiste en un primer acercamiento por un algoritmo de búsqueda denominado “Search-Match”, el cual entrega un listado de candidatos ordenados según su “FoM” o “Figure of Merit” por sus siglas en inglés. Posteriormente, las fases minerales identificadas de manera macroscópica son adheridas al listado de fases verificadas o guardadas en el proyecto de refinamiento. Se realiza entonces, un primer refinamiento de Rietveld con estas fases, el cual entregará unos valores iniciales de R_{wp} , R_{exp} , χ^2 y FoM.

Los parámetros mencionados son criterios de ajuste durante el refinamiento que indican el avance de este y ayudan a decidir si el modelo propuesto es el correcto, y también, si se ha caído en un falso mínimo, por lo que es importante tener varios indicadores de cada ciclo, y así, juzgar si el proceso de refinamiento es satisfactorio y además cuando se debe detener el refinamiento (García, 2007). Los parámetros R_{wp} , R_{exp} y χ^2 se definen en el mencionado documento como:

R_{wp} = El residuo del patrón pesado (R_{wp}). Este criterio muestra el progreso del refinamiento, ya que el numerador contiene la función residuo que está siendo minimizada durante el refinamiento Rietveld. El residuo del patrón pesado se calcula de la siguiente manera:

$$R_{wp} = \left[\frac{\sum w_i (y_{i(obs)} - y_{i(calc)})^2}{\sum W_i (y_{i(obs)})^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde $y_{i(obs)}$ es la intensidad observada en el paso i. $y_{i(calc)}$ es la intensidad calculada en el punto i. W_i es el peso asignado.

R_{exp} = El valor esperado (R_{exp}). Dicho criterio refleja la calidad de los datos obtenidos en la medición del patrón de difracción (conteos estadísticos). La fórmula del residuo del valor esperado es:

$$R_{exp} = \left[\frac{N - P}{\sum W_i y_{i(obs)}^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde N es el número de datos observados. P es el número de parámetros a refinar. W_i es el peso asignado e $y_{i(obs)}$ es la intensidad observada en el paso i.

χ^2 = El ajuste de “bondad” (χ^2). Si el tiempo de toma de datos fue suficientemente grande, no dominarán los errores estadísticos, R_{exp} podría ser muy pequeña y la χ^2 para una estructura cristalina refinada podría ser mayor que 1. Si los datos son obtenidos pobremente, R_{exp} podría ser muy grande y χ^2 podría ser menor que 1, el valor de χ^2 debe estar entre 1 a 1.3. El ajuste de “bondad” se define como:

$$\chi^2 = \frac{R_{wp}}{R_{exp}}$$

El valor “*FoM*” en el manual de usuario de BGMN se refiere a la calidad o valor de las fases en orden de validarlas como correctas y requiere la interacción de varios factores como la celda unitaria inicial con la refinada, el valor GEWICHT (la cuantificación del peso de fase en una muestra), lo parámetros B1 (ancho Cauchy de la función “muestra”) y k2 (el cuadrado del valor para microtensiones). *FoM* se computa a partir de:

$$FoM = \left(\frac{1}{R_{wp} + a \cdot \Delta U} + b \cdot GEWICHT \right) \cdot \left(1 + \frac{c}{B1} + d \cdot k2 \right)^{-1}$$

Siendo ΔU :

$$\Delta U = 100 \cdot \left(\frac{|A_r - A_0|}{A_0} + \frac{|B_r - B_0|}{B_0} + \frac{|C_r - C_0|}{C_0} \right)$$

Siendo los valores A_0 , B_0 y C_0 los parámetros iniciales de celda unitaria, A_r , B_r y C_r los parámetros refinados. Los parámetros a,b,c,d son coeficientes de peso que controlan la influencia de penalización por aberraciones en los parámetros de celda, celdas pequeñas y en casos de altas microtensiones.

La disminución de estos parámetros numéricos es indicativa de una mejoría del refinamiento y entre cada uno de estos, se registran los cambios y disminuciones/aumentos de parámetros obtenidos.

En teoría, es posible mejorar los parámetros estudiados vía la repetición del algoritmo de búsqueda, pero repetir el “*Search match*” con fases minerales previamente seleccionadas aumenta la complejidad y tiempo de búsqueda requerida, es por ello, que se revisa el listado previamente otorgado de manera visual. Según los tutoriales dispuestos en la página oficial de “*Profex*” realizados por Döbelin, revisar que el “*peak*” de mayor intensidad esté ubicado en la posición (2 θ)

correspondiente con respecto al peak residual observado es fundamental, a la vez que aseverar que la intensidad relativa de la fase con respecto a sus “peaks” secundarios sea coincidente.

Histogramas de la técnica DRX

Se muestran los perfiles calculados (en rojo) por el método de Refinamiento de Rietveld en el software Profex.

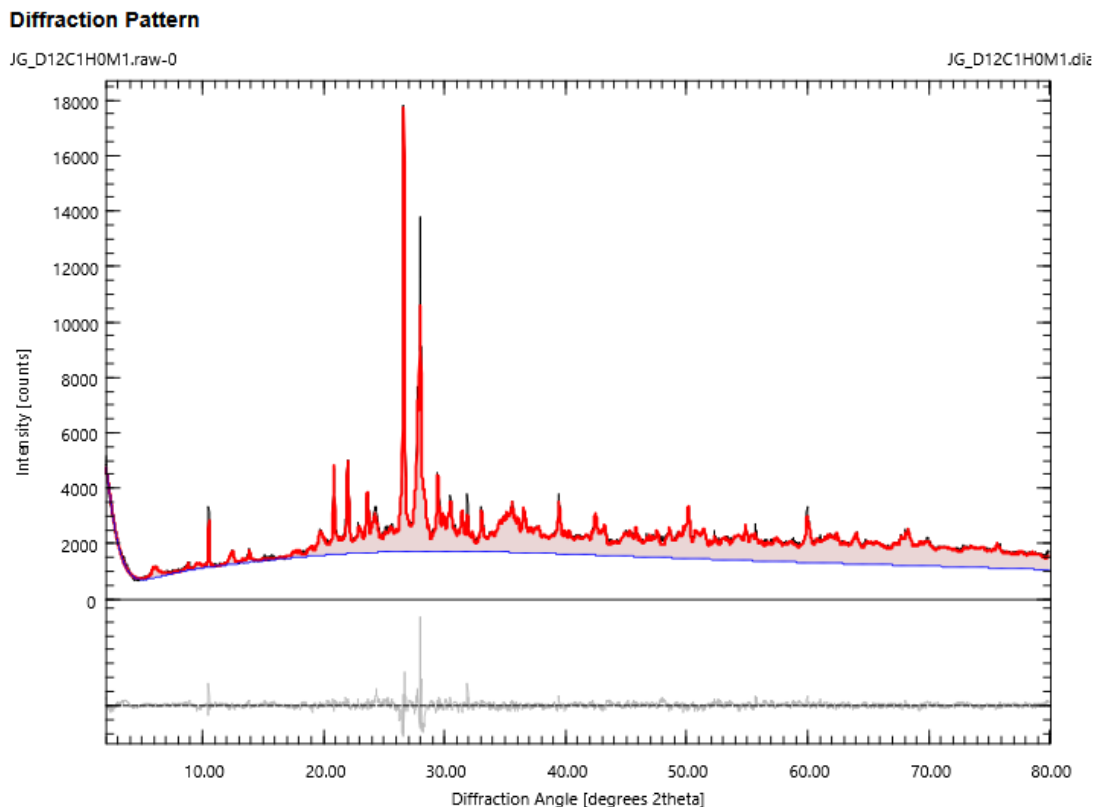


Figura F1: Patrón de difracción del cuartel 1, presenta los ejes de intensidad (conteos medidos) y 2θ . Del histograma, se pueden observar el perfil original en negro, el perfil calculado en rojo, el “background” calculado y debajo de la intensidad 0, se observa el perfil de diferencia entre el perfil calculado y el medido.

Valores estadísticos de este perfil:

$$R_{wp} = 4.28$$

$$R_{exp} = 2.14$$

$$\chi^2 = 4.0000$$

$$GoF = 2.0000$$

Diffraction Pattern

JG_D12C2H0M1.xy Data 1

JG_D12C2H0M1.dia

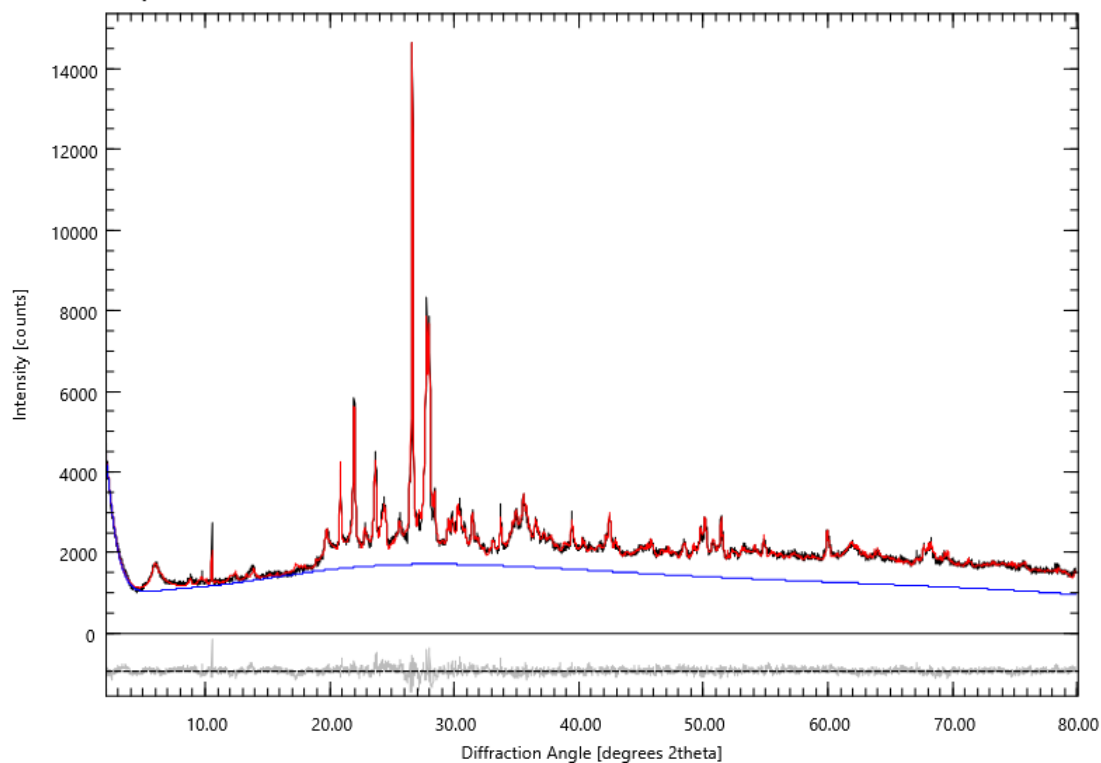


Figura F2: Patrón de difracción del cuartel 2, presenta los ejes de intensidad (conteos medidos) y 2θ . Del histograma, se pueden observar el perfil original en negro, el perfil calculado en rojo, el “background” calculado y debajo de la intensidad 0, se observa el perfil de diferencia entre el perfil calculado y el medido.

Valores estadísticos de este perfil:

$$R_{wp} = 3.49$$

$$R_{exp} = 2.16$$

$$\chi^2 = 2.6106$$

$$GoF = 1.6157$$

Diffraction Pattern

JG_D12C3H0M1.xy Data 1

JG_D12C3H0M1.dia

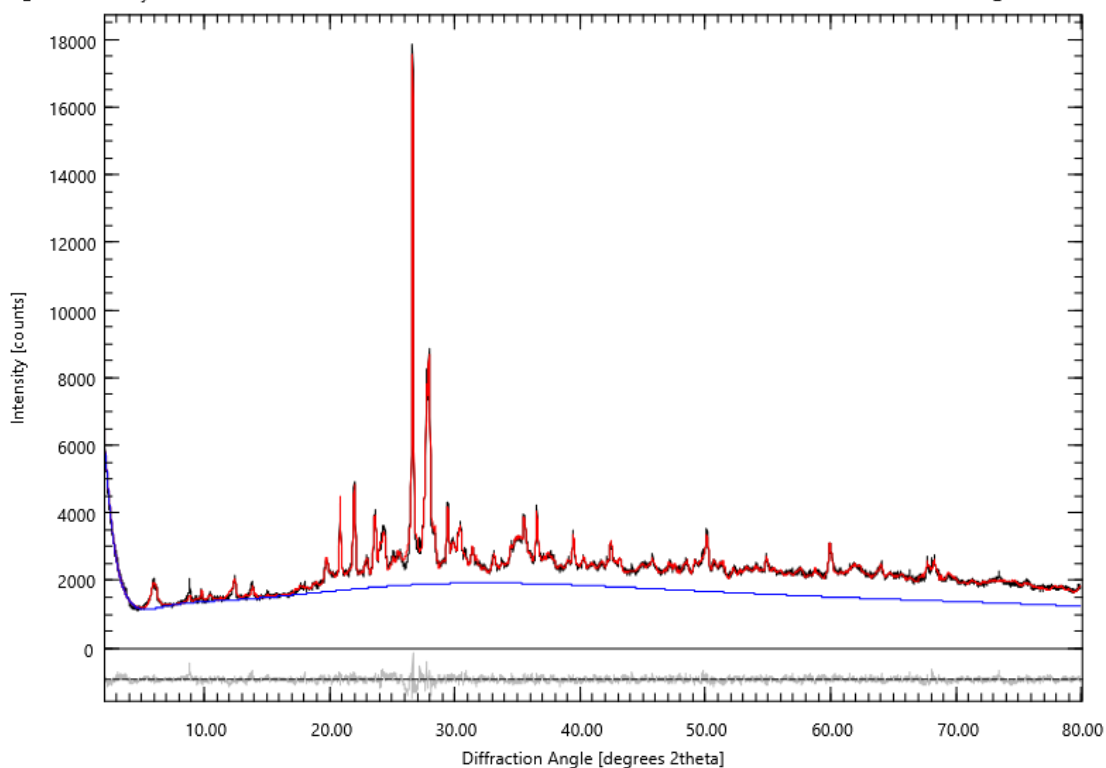


Figura F3: Patrón de difracción del cuartel 3, presenta los ejes de intensidad (conteos medidos) y 2 θ . Del histograma, se pueden observar el perfil original en negro, el perfil calculado en rojo, el “background” calculado y debajo de la intensidad 0, se observa el perfil de diferencia entre el perfil calculado y el medido.

Valores estadísticos de este perfil:

$$R_{wp} = 3.15$$

$$R_{exp} = 2.03$$

$$\chi^2 = 2.4078$$

$$GoF = 1.5517$$

Diffraction Pattern

JG_D12C6H0M1.xy Data 1

JG_D12C6H0M1.dia

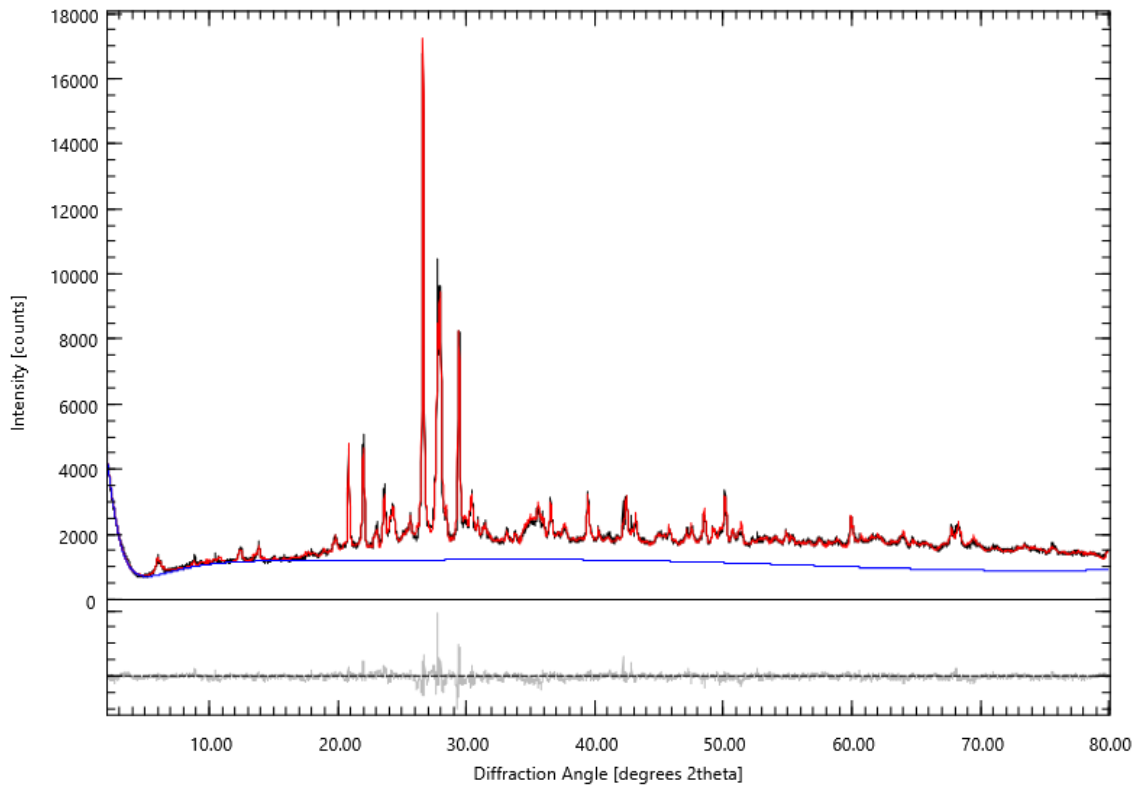


Figura F4: Patrón de difracción del cuartel 6, presenta los ejes de intensidad (conteos medidos) y 2θ . Del histograma, se pueden observar el perfil original en negro, el perfil calculado en rojo, el “background” calculado y debajo de la intensidad 0, se observa el perfil de diferencia entre el perfil calculado y el medido.

Valores estadísticos de este perfil:

$$R_{wp} = 4.31 \quad R_{exp} = 2.31 \quad \chi^2 = 3.4812 \quad GoF = 1.8658$$

Diffraction Pattern

JG_D12C7H0M1.xy Data 1

JG_D12C7H0M1.dia

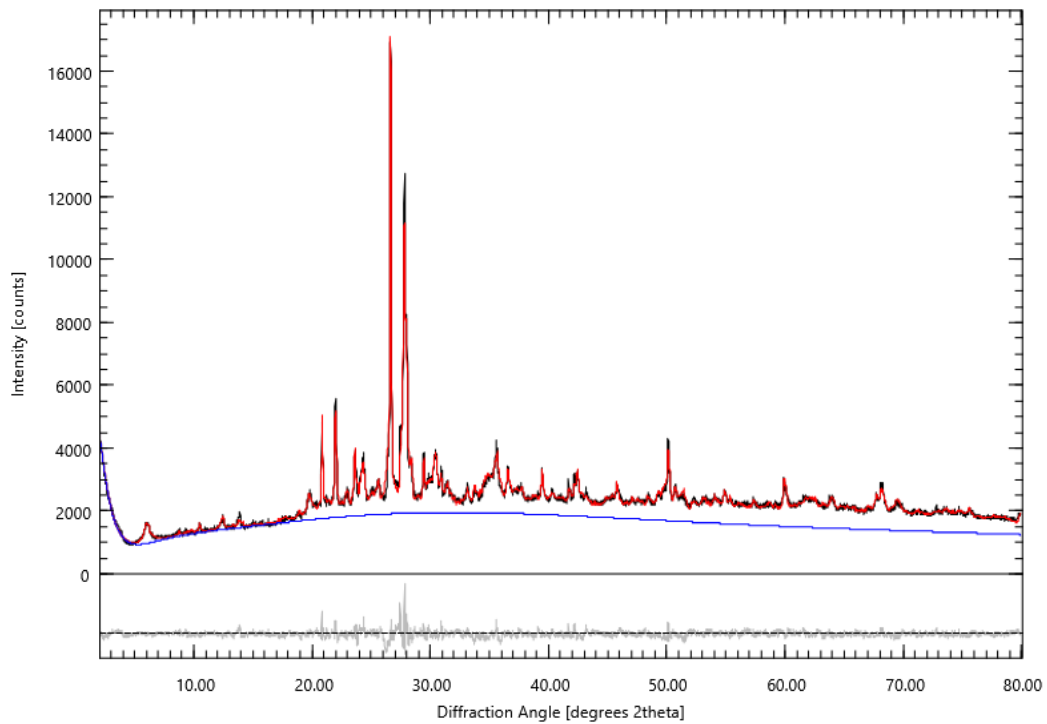


Figura F5: Patrón de difracción del cuartel 7, presenta los ejes de intensidad (conteos medidos) y 2 θ . Del histograma, se pueden observar el perfil original en negro, el perfil calculado en rojo, el “background” calculado y debajo de la intensidad 0, se observa el perfil de diferencia entre el perfil calculado y el medido.

Valores estadísticos de este perfil:

$$R_{wp} = 3.61$$

$$R_{exp} = 2.06$$

$$\chi^2 = 3.0710$$

$$GoF = 1.7524$$

Diffraction Pattern

JG_D12C8H0M1.xy Data 1

JG_D12C8H0M1.dia

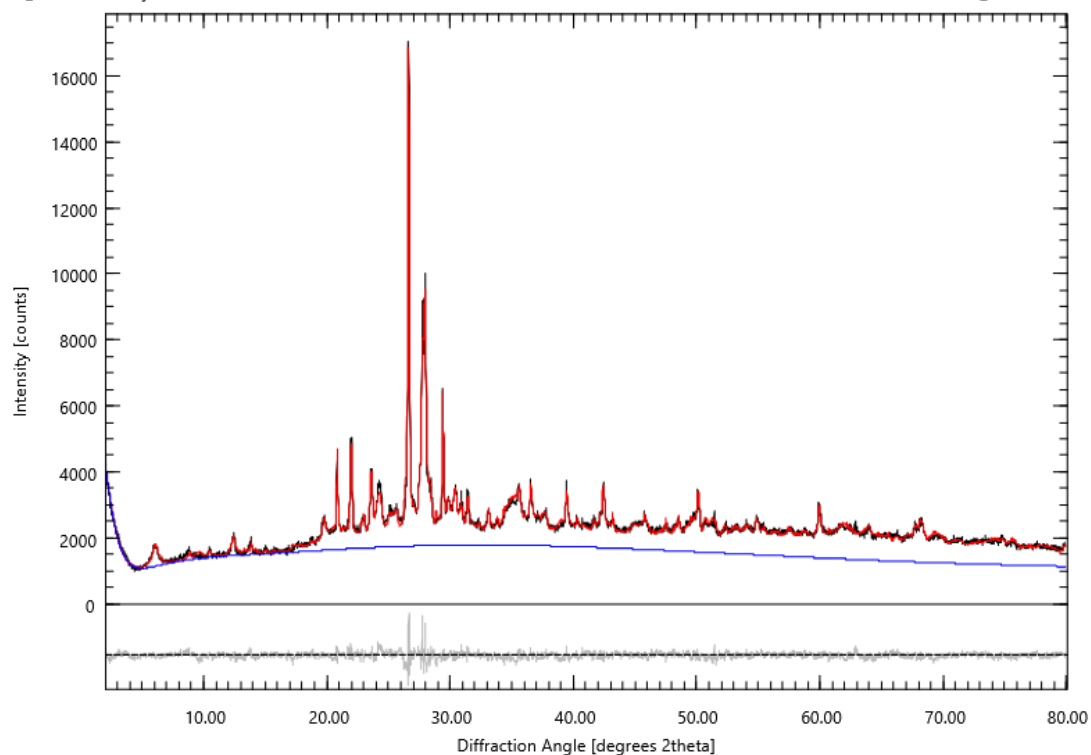


Figura F6: Patrón de difracción del cuartel 8, presenta los ejes de intensidad (conteos medidos) y 2θ. Del histograma, se pueden observar el perfil original en negro, el perfil calculado en rojo, el “background” calculado y debajo de la intensidad 0, se observa el perfil de diferencia entre el perfil calculado y el medido.

Valores estadísticos de este perfil:

$$R_{wp} = 3.66$$

$$R_{exp} = 2.06$$

$$\chi^2 = 3.1567$$

$$GoF = 1.7767$$

Diffraction Pattern

JG_D12C9H0M1.xy Data 1

JG_D12C9H0M1.dia

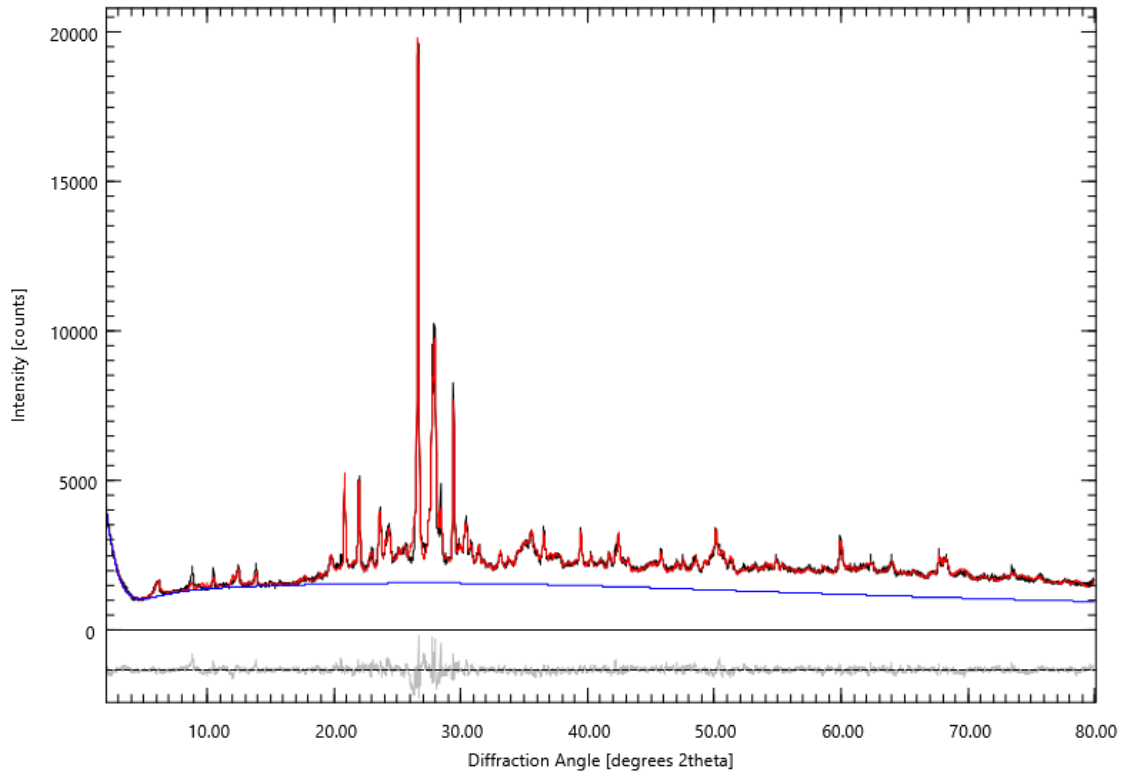


Figura F7: Patrón de difracción del cuartel 9, presenta los ejes de intensidad (conteos medidos) y 2θ . Del histograma, se pueden observar el perfil original en negro, el perfil calculado en rojo, el “background” calculado y debajo de la intensidad 0, se observa el perfil de diferencia entre el perfil calculado y el medido.

Valores estadísticos de este perfil:

$$R_{wp} = 4.14$$

$$R_{exp} = 2.13$$

$$\chi^2 = 3.7778$$

$$GoF = 1.9437$$

Diffraction Pattern

JG_D12C11H0M1.xy Data 1

JG_D12C11H0M1.dia

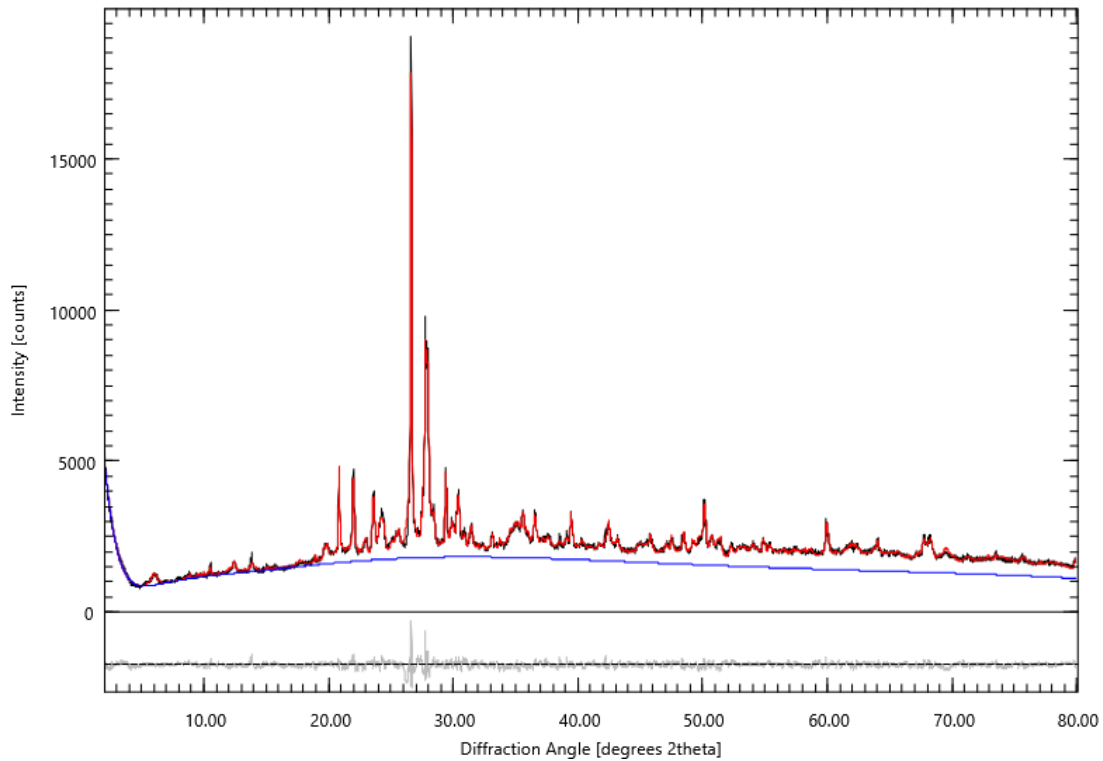


Figura F8: Patrón de difracción del cuartel 9, presenta los ejes de intensidad (conteos medidos) y 2 θ . Del histograma, se pueden observar el perfil original en negro, el perfil calculado en rojo, el “background” calculado y debajo de la intensidad 0, se observa el perfil de diferencia entre el perfil calculado y el medido.

Valores estadísticos de este perfil:

$$R_{wp} = 3.57 \quad R_{exp} = 2.14 \quad \chi^2 = 2.7830 \quad GoF = 1.6682$$

Diffraction Pattern

JG_D12C12H0M1.xy Data 1

JG_D12C12H0M1.dia

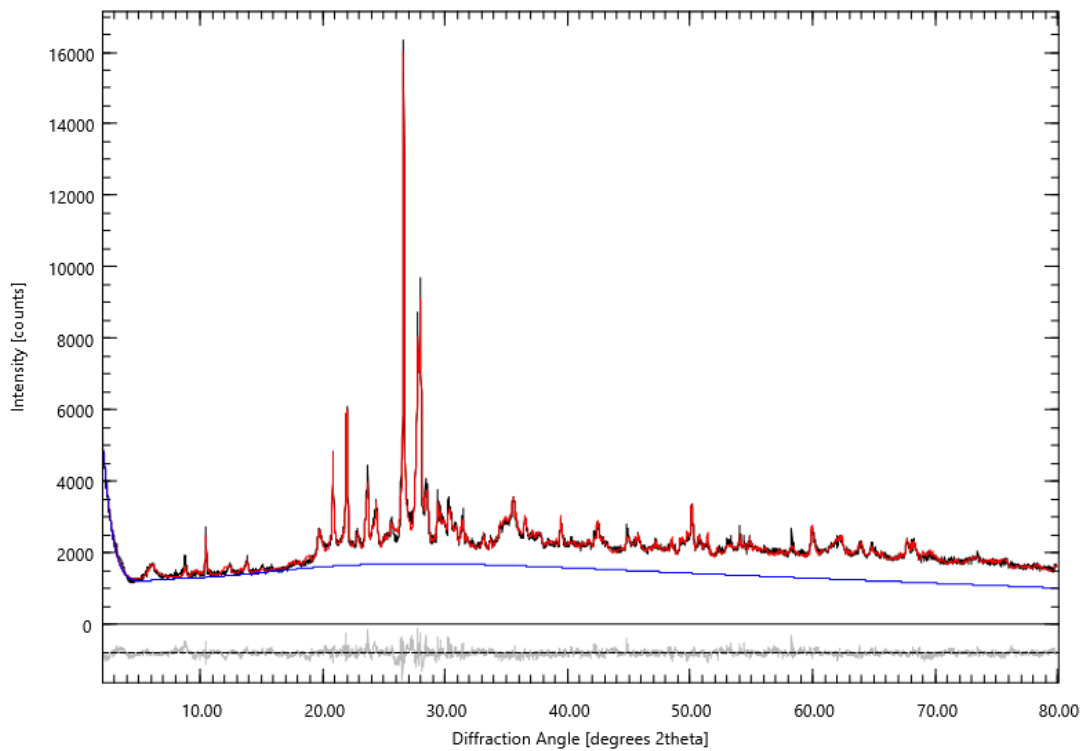


Figura F9: Patrón de difracción del cuartel 9, presenta los ejes de intensidad (conteos medidos) y 2θ . Del histograma, se pueden observar el perfil original en negro, el perfil calculado en rojo, el “background” calculado y debajo de la intensidad 0, se observa el perfil de diferencia entre el perfil calculado y el medido.

Valores estadísticos de este perfil:

$$R_{wp} = 3.81$$

$$R_{exp} = 2.11$$

$$\chi^2 = 3.2605$$

$$GoF = 1.8057$$

Diffraction Pattern

JG_D12C13H0M1.xy Data 1

JG_D12C13H0M1.dia

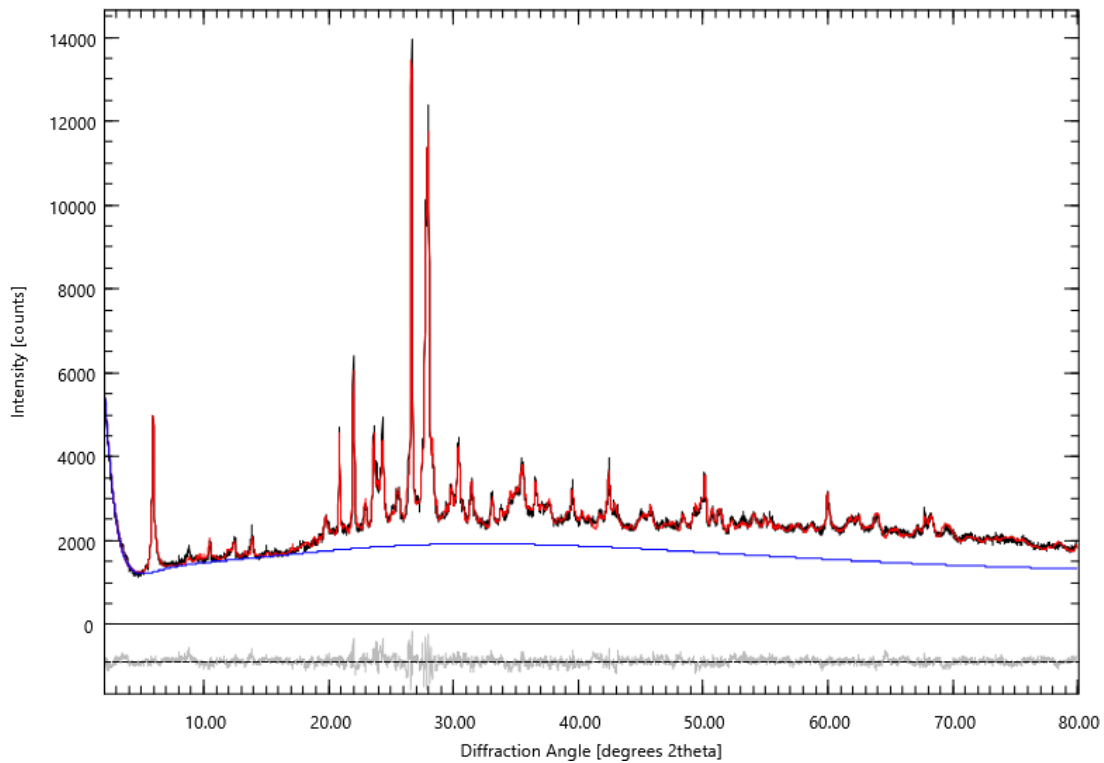


Figura F10: Patrón de difracción del cuartel 9, presenta los ejes de intensidad (conteos medidos) y 2θ . Del histograma, se pueden observar el perfil original en negro, el perfil calculado en rojo, el “background” calculado y debajo de la intensidad 0, se observa el perfil de diferencia entre el perfil calculado y el medido.

Valores estadísticos de este perfil:

$$R_{wp} = 3.55$$

$$R_{exp} = 2.00$$

$$\chi^2 = 3.1506$$

$$GoF = 1.7750$$