



**Universidad
Andrés Bello®**
Conectar • Innovar • Liderar

Facultad de Ingeniería
Escuela de Geología

**FACTORES CONDICIONANTES Y GATILLANTES DE PROCESOS DE
REMOCIÓN EN MASA EN EL CERRO DIVISADERO EN EL SECTOR DE
SAN JOSÉ DE MAIPO, CHILE.**

Memoria para optar al título de Geóloga

Autor(a):

Lourdes Florencia Santander Sanfurgo

Profesor Guía:

Rodrigo Luca Palacios

Miembros de la Comisión:

Mauricio Calderón Nettle

Fernando Ferraris Barona

Santiago, Chile

2019

RESUMEN

Dentro de la Región Metropolitana, existe un amplio potencial de riesgos asociados a remociones en masa, más específicamente, en todo su borde oriental, en el cual, las zonas más susceptibles se sitúan en la Cordillera Principal o en sus sectores más basales.

La zona de estudio corresponde a un lóbulo ubicado en la ladera oeste del Cerro Divisadero en la comuna de San José de Maipo en la Región Metropolitana de Santiago, Provincia de Cordillera, en el sector Sur Oriental de la Región entre los $33^{\circ} 36' 44''$ y $33^{\circ} 39' 28''$ S y entre los $70^{\circ} 19' 36''$ y $70^{\circ} 22' 08''$ O.

Según los antecedentes, en el año 1997 este lugar fue escenario de un deslizamiento y flujos detríticos generados por lluvias y eventos posteriores de flujos y caídas de rocas. A partir de este acontecimiento, se han realizado trabajos que han caracterizado la geometría del deslizamiento, se han generado mapas de peligro de flujos de detritos, deslizamientos superficiales y flujos asociados y caídas de roca. Sin embargo, no habían sido determinados los factores condicionantes y gatillantes de procesos de remociones en masa específicamente en este sector.

Es así que se formula la hipótesis que busca dar respuesta a esta problemática y dice relación con que los procesos de remociones en masa podrían ser gatillados principalmente por periodos cortos de lluvias muy intensas, pero, siendo apoyados por la presencia de estructuras que aportan permeabilidad al sistema volviéndolo menos estable y/o por la ocurrencia de sismos de magnitudes diversas. Para verificar el planteamiento se procesaron muestras de la quebrada que limita por el norte al deslizamiento, se les aplicó difracción de rayos X, se hicieron análisis de modelos de elevación digital, de topografía, estructurales, de bases de datos meteorológicos y se estudiaron vínculos entre deslizamientos y sismicidad.

Los análisis mineralógicos arrojaron resultados que indican que las rocas del sector están intensamente alteradas y meteorizadas.

A nivel estructural se identificaron estructuras regionales que rigen la deformación global como también estructuras locales asociadas a las primeras en zonas aledañas al sector de estudio.

A través de análisis de bases de datos meteorológicos se determinó que efectivamente las precipitaciones tienen un rol fundamental en el desencadenamiento de deslizamientos y más aún, constituyen el principal factor gatillante.

Fue posible establecer vínculos entre deslizamientos y sismicidad en un escenario de tectónica activa en el contexto andino.

La correlación y asociación de todos los análisis realizados llevó a determinar el protagonismo de cada una de las áreas estudiadas en el marco de deslizamientos además de establecer sólidos nexos entre las mismas.

Finalmente, se califica la acción de las precipitaciones como el principal factor gatillante y como factores condicionantes se establecen la presencia de estructuras en la ladera y en menor grado la sismicidad puesto que debiesen confluir condiciones muy particulares al mismo tiempo para desencadenar un deslizamiento por sismos, sin embargo, no se descarta.

AGRADECIMIENTOS

En la aventura que implica estudiar una carrera universitaria, y además tan difícil como lo es la fascinante geología, sin duda siempre hay muchas personas que forman parte de alguna u otra forma de este proceso.

Comienzo agradeciendo a mi amada madre, quien es un claro ejemplo de valentía, esfuerzo, resiliencia y tesón. Sin su apoyo incondicional, quizás igual hubiese terminado la carrera, pero no con la entereza y salud mental que lo hice. Vieja, muchas gracias por tu apoyo, por levantarme cuando me caí, por no permitir que las humillaciones y la segregación vividas en la U, me sacaran de lo que siempre quise ser. Gracias por trabajar de lunes a lunes y de sol a sol para poder pagar tan costosa carrera, gracias porque pese a que a veces se iba todo solo en pagar una mensualidad, me apoyaste en mi deseo de ser una mujer de ciencia como siempre lo quise ser. Gracias también a mi papá que de alguna u otra forma fue parte del proceso también.

Infinitas gracias a mi tío José, siempre creyó en mí, nunca dudó que lo iba a lograr y siempre estuvo ya sea para un té conversado, una ayuda económica o simplemente para que arregláramos el mundo con extensas charlas.

David, creo que fuiste el que más padeció conmigo esta odisea jajaja, muchas veces creyendo en mi incluso más que yo misma, siempre tirándome pa' arriba siempre sacando lo mejor de mí, siempre creyendo en mí y siempre con una firme convicción de que era "la mejor". Gracias por cada vez que te levantaste temprano sólo para ir a dejarme a un terreno, lo mismo cuando me ibas a buscar. Infinitas gracias por tu apoyo realmente incondicional a cada momento, gracias por ser mi compañero de tantas aventuras, esta, una de las más difíciles.

Ya que menciono al Daí, no puedo dejar de dar las gracias a mis queridos cholos, quienes no son mis padres, pero que, con el tiempo, de alguna manera se fueron portando como tales conmigo. Sin ser su hija, SIEMPRE han creído en mí, tanto que siempre cuando les contaba cualquier cosa de la u, sin dudarlo y con mucha certeza, decían "te va a ir bien".

Quiero hacer una mención especial a quienes me acompañaron desde otra dimensión, desde su lugar privilegiado. En primer lugar, agradezco a mi amado hermano Chaguito, que justo antes de comenzar este proyecto, partió de este mundo, pero que siempre me dijo que yo sería una gran mujer y profesional, que ganas de que estuvieras conmigo disfrutando la culminación de esta etapa, pero sé que desde donde estás lo estás gozando tanto como yo, te amaré siempre.

Gracias a la Cambuchina, mi abuelita postiza (porque así ella lo permitió), si bien la disfruté muy poquito, recibí mucho cariño de ella. Las caricias y regalones de una abuelita cariñosa no tienen precio.

Gracias a las que yo llamo mis escudos, Flor María y Robertina por acompañarme siempre desde el cielo.

Por último, lo más lindo que me dio la U, mis amikos. Parto con ellas, las mejores, Cami y Vale, sin tanta locura y estupidez no hubiese sido posible salir de la carrera, no sé cómo pasamos campo I y II, no lo sé, pero estoy segura que, con ustedes, todo fue más bello, más bueno, más con risas, más con vida. Mi querido Mario, mi colega, mi socio jajaja, gracias por taaaanto, por ayudarme desde primer año xd, por siempre hacerte un tiempo para juntarnos a hacer algo en el computador o ayudarme a estudiar, el mejor ejemplo de constancia y humildad.

Un gran abrazo también al Martín, al Tomi, al curao del Turco y al Mati con la Vale, que grandes terrenos chiquillos.

Zavala, graaacias por ayudarme literalmente toda la carrera, fuiste un gran apoyo, de verdad flaco, muchas gracias, sobre todo por buscarme los papers precisos cuando los necesité.

Por último, destaco el contexto histórico en el que se culmina esta tesis, es un tiempo de renacer, de despertar, difícil pero necesario, mantengo la esperanza.

“Siempre he afirmado que no hay ningún mérito en ser único en una especie... estoy absolutamente orgullosa de que algunos de los mejores trabajos en geología hechos actualmente por mujeres, trabajos que compiten con los hechos por hombres, los han realizado mis alumnas, mujeres jóvenes y notables que serán un crédito para la geología”.

Florence Bascom, la geóloga pionera.

O, según ella, orgullosa profesora de futuras figuras femeninas de la geología.

“Trabajadores de mi Patria, tengo fe en Chile y su destino. Superarán otros hombres este momento gris y amargo en el que la traición pretende imponerse. Sigán ustedes sabiendo que, mucho más temprano que tarde, de nuevo se abrirán las grandes alamedas por donde pase el hombre libre, para construir una sociedad mejor”.

Salvador Allende Gossens.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Formulación del problema.....	13
1.2. Hipótesis de trabajo	14
1.3. Objetivos y metodología.....	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
1.4. Ubicación y vías de acceso.....	15
1.5. Estudios anteriores	16
1.6. Metodología y plan de trabajo	17
1.6.1. Trabajo de gabinete pre-campaña.....	17
1.6.2. Trabajo en campaña.....	17
1.6.3. Trabajo de gabinete post-campaña	18
2. MARCO GEOTECTÓNICO	19
2.1. Segmentación morfoestructural andina.....	19
2.1.1. Cordillera de la costa.....	19
2.1.2. Depresión Central.....	20
2.1.3. Cordillera Principal	20
2.1.4. Cordillera Frontal	20
2.1.5. Precordillera y antepaís argentino	20
2.2. Rocas estratificadas.....	21
2.2.1. Formación Abanico (Aguirre, 1960).....	21
2.2.2. Formación Farellones (Klohn, 1960).....	23
3. MARCO TEÓRICO	25

3.1.	Remociones en masa.....	25
3.2.	Clasificación.....	26
4.	MUESTREO DE SUPERFICIE.....	28
5.	GEOLOGÍA Y ESTRUCTURAS.....	45
5.1.	Unidades estratificadas.....	45
5.1.1.	Unidad volcánica.....	45
5.1.2.	Unidad volcanoclástica.....	46
5.1.3.	Depósitos no consolidados.....	47
5.2.	Estructuras regionales.....	48
5.3.	Estructuras locales.....	50
6.	PLUVIOSIDAD Y METEOROLOGÍA.....	55
6.1.	Condiciones meteorológicas regionales.....	55
6.2.	Condiciones meteorológicas locales.....	56
7.	SISMICIDAD.....	62
7.1.	Sismicidad en un marco de tectónica activa.....	62
7.1.1.	Falla San Ramón.....	63
7.1.2.	Falla inversa inferida por Baeza (1999).....	64
8.	MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE MITIGACIÓN.....	67
8.1.	Medidas de prevención propuestas.....	67
8.1.1.	Construcción de muro de contención a los pies de la ladera oeste del Cerro Divisadero.....	68
8.1.2.	Reubicación de los pobladores en zonas seguras.....	70
8.2.	Medidas de mitigación.....	70
8.2.1.	Confección de un plan de evacuación formal para ser puesto en marcha en caso de deslizamientos.....	70
8.2.2.	Realización de ensayos del plan de evacuación.....	71

8.2.3. Estudios en lóbulos aledaños al estudiado.....	72
8.3. Medidas de corrección	72
8.3.1. Limpieza de fosa de recepción	72
9. DISCUSIONES	73
9.1. Contraste de resultados	73
9.2. Limitaciones del estudio.....	77
10. CONCLUSIONES	78
11. BIBLIOGRAFÍA.....	80
12. ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de zona de estudio y principales vías de acceso. Ruta G-25 y Ruta G-355.	15
Figura 2: Cuerpo de estudio en el Cerro Divisadero. Extraído de Sepúlveda et al (2002).	16
Figura 3: Principales morfoestructuras presentes el segmento Andino comprendido en la zona de estudio. Extraído de Fock (2005) y basado en Charrier y Muñoz (1994), Gambiagi et al. (2003) y Tassara y Yáñez (2003).	21
Figura 4: Mapa geológico de la zona de estudio. Extraído de Fock (2005) quien lo modificó de Thiele (1980), Sellés y Gana (2001) y SERNAGEOMIN (2002).	24
Figura 5: Continuación figura 4. Leyenda Mapa Geológico del área de estudio. Extraído de Fock (2005), quien lo modificó de Thiele (1980), Sellés y Gana (2001) y SERNAGEOMIN (2002).	24
Figura 6: Ángulo de reposo en una pendiente según naturaleza del material no consolidado. Elaboración propia basado en EXTERNAL PROCESSES: GEOMORPHOLOGY.	25
Figura 7: Cohesión de los sedimentos no consolidados según el contenido de agua. Elaboración propia basado en “EXTERNAL PROCESSES: GEOMORPHOLOGY”.	26
Figura 8: Sector de muestreo. El polígono amarillo delimita la superficie muestreada. Elaboración propia.	28
Figura 9: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 1. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.	29
Figura 10: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 1. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.	29
Figura 11: Muestra de mano Lu 1.	30
Figura 12: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 2. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.	31
Figura 13: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 2. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.	31

Figura 14: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 3. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.....	32
Figura 15: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 3. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.	33
Figura 16: Muestra de mano Lu 3.....	33
Figura 17: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 4. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.....	34
Figura 18: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 4. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.	34
Figura 19: Muestra de mano Lu 4.....	35
Figura 20: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 5. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.....	36
Figura 21: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 5. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.	36
Figura 22: Muestra de mano Lu 5.....	37
Figura 23: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 6. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.....	38
Figura 24: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 6. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.	38
Figura 25: Muestra de mano Lu 6.....	39
Figura 26: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 7. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.....	40
Figura 27: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 7. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.	40
Figura 28: Muestra de mano Lu 7.....	41
Figura 29: Vista hacia el norte de la unidad volcánica en el cual se observa su intenso fracturamiento. Extraído de Álvarez (2006).....	46
Figura 30: Vista panorámica mirando hacia el sur de la unidad volcanoclástica. Extraído de Álvarez (2006).....	46
Figura 31: Mapa geológico reproducido de Fock (2005), quien lo extrajo de Thiele (1980), Baeza (1999) y Sernageomin (2002). El rectángulo verde enmarca la zona de estudio	

emplazada en la Formación Abanico y en el mismo sector se observa que la orientación del eje.....	49
Figura 32: Vista al norte de un pliegue anticlinal volcado con vergencia al este que aflora al borde del camino a Lagunillas en el km 5. Reproducido de Álvarez (2006).	50
Figura 33: Mapa de puntos de medición de estructuras de rumbo y manteo.	51
Figura 34: Diagrama de roseta con orientación preferencial de estructuras; NNE – SSW.	52
Figura 35: Agrupación de familias de estructuras según la disposición de sus polos. .	53
Figura 36: : Esquema transversal del Valle del Río Maipo. Nótese la presencia de estructuras en la ladera oeste del Cerro Divisadero las cuales se encuentran cortando la estratificación.	54
Figura 37: Transecta de estaciones pluviométricas analizadas.	57
Figura 38: Continuación de imagen 17. Simbología de estaciones meteorológicas.....	57
Figura 39: Precipitaciones anuales estación Río Maipo en el Manzano. FUENTE: CR2 CAMELS.	58
Figura 40: Precipitaciones anuales estación San José de Maipo Retén. FUENTE: DGA.	58
Figura 41: Precipitaciones anuales estación Río Maipo en San Alfonso. FUENTE: CR2 CAMELS.	59
Figura 42: Precipitaciones anuales estación San Gabriel. FUENTE: DGA.	59
Figura 43: Precipitaciones anuales estación Río Volcán en Queltehues. FUENTE: CR2 CAMELS.	60
Figura 44: Esquema de la disposición de la falla San Ramón en el borde oriental de la Región Metropolitana.	63
Figura 45: Ubicación sugerida del muro de contención. NOTA: Las dimensiones del trazado del muro no son consistentes con la escala del mapa, fueron exageradas para efectos de la ilustración.....	69
Figura 46: Pilas de socialzado. FUENTE: RENDER ARQUITECTURA & URBANISMO.	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de movimientos de masas según material dominante, contenido de fluidos y velocidad del movimiento. Elaboración propia basado en “EXTERNAL PROCESSES: GEOMORPHOLOGY”	27
Tabla 2: Detalle de mediciones estructurales de rumbo y manteo.	52

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Formulación del problema

Dentro de la Región Metropolitana, existe un interesante potencial de riesgos asociados a remociones en masa, más específicamente, en todo su borde oriental, en el cual, las zonas más susceptibles se sitúan en la Cordillera Principal o en sus sectores más basales. Tal es el caso de la comuna de San José de Maipo.

Dadas las condiciones climáticas y geomorfológicas presentes en San José de Maipo, este sector está sujeto a un peligro inminente de procesos de remoción en masa. Uno de los pasos fundamentales en la reducción del riesgo asociado al establecimiento de poblados en estos lugares, es la investigación de estos movimientos de suelo o roca.

El último evento de gran relevancia, consistió en un deslizamiento y flujos detríticos generados por lluvias el año 1997 y eventos posteriores de flujos y caídas de rocas en el Cerro Divisadero ubicado sobre el sector de Villa Victoria (camino El Carmen) y el centro hospitalario Sanatorio Elba Guarategua Peña en la comuna de San José de Maipo. Este hecho, marca un hito importante en el marco de peligros geológicos y, desde entonces, se ha buscado caracterizar ampliamente los aspectos más fundamentales del evento. Se han realizado diversas investigaciones que han definido características generales, mecanismos de inestabilidad, factores de control y causas que permiten entender el comportamiento de estos fenómenos con el fin de reducir los riesgos que están asociados a ellos. Álvarez (2006), investigó la factibilidad de aplicar métodos geofísicos en estudios de fenómenos de remociones en masa aplicándolos precisamente en el deslizamiento de San José de Maipo mencionado más arriba. Si bien, en la actualidad se cuenta con una amplia caracterización clara del evento y sus vestigios son observables, aún no se han definido de manera certera los factores gatillantes de dichos procesos.

A través de análisis estructurales, de bases de datos meteorológicos, análisis sísmicos y de los antecedentes recabados del deslizamiento de 1997, se pretende definir de manera detallada los factores específicos que puedan gatillar algún deslizamiento en el Cerro Divisadero y estudiar los efectos que se podrían esperar si ellos actúan de

manera conjunta, además de establecer los escenarios más ideales para que dichos gatillantes actúen.

1.2. Hipótesis de trabajo

Teniendo en cuenta los antecedentes anteriores, los procesos de remociones en masa podrían ser gatillados principalmente por períodos cortos de lluvias muy intensas, pero, siendo apoyados por la presencia de estructuras que aportan permeabilidad al sistema volviéndolo menos estable y/o por la ocurrencia de sismos de magnitudes diversas en fechas cercanas a la caída de dichas precipitaciones. Además, se sugiere la posibilidad de que otros factores secundarios contribuyan a dichos procesos, tales como presencia de material suelto en laderas con altas pendientes, caída de precipitaciones en suelos ya saturados generando que escurra el agua que no infiltra y factores antrópicos como son construcción de canales y alcantarillados y/o cortes de caminos que pudieran alterar los cursos naturales de agua.

1.3. Objetivos y metodología

1.3.1. Objetivo general

Según lo expuesto en la formulación del problema, el principal objetivo de esta investigación, es establecer factores condicionantes y desencadenantes de remociones en masa en el Cerro Divisadero de la comuna de San José de Maipo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudio geomorfológico del área de estudio, principalmente pendientes, marcas de deslizamientos anteriores, abanicos aluviales y vestigios de remociones históricas.
- Análisis de bases de datos meteorológicos, principalmente, estaciones pluviométricas para establecer patrones de comportamiento de las precipitaciones en el sector de estudio.
- Análisis estructurales regionales y locales para determinar de qué manera intervienen las estructuras en procesos de remociones en masa.
- Establecer vínculos entre sismicidad y deslizamientos.

1.4. Ubicación y vías de acceso

San José de Maipo, se ubica en la Región Metropolitana de Santiago, Provincia de Cordillera, en el sector Sur Oriental de la Región entre los $33^{\circ} 36' 44''$ y $33^{\circ} 39' 28''$ S y entre los $70^{\circ} 19' 36''$ y $70^{\circ} 22' 08''$ O.

El acceso a la zona de estudio se puede realizar, desde Santiago, a través de la ruta 70 o Vespucio Sur Express, luego tomando el Camino a San José de Maipo y posteriormente el Camino a El Volcán (Ruta G – 25) el cual conduce directamente al sector de estudio (Ver figura 1).

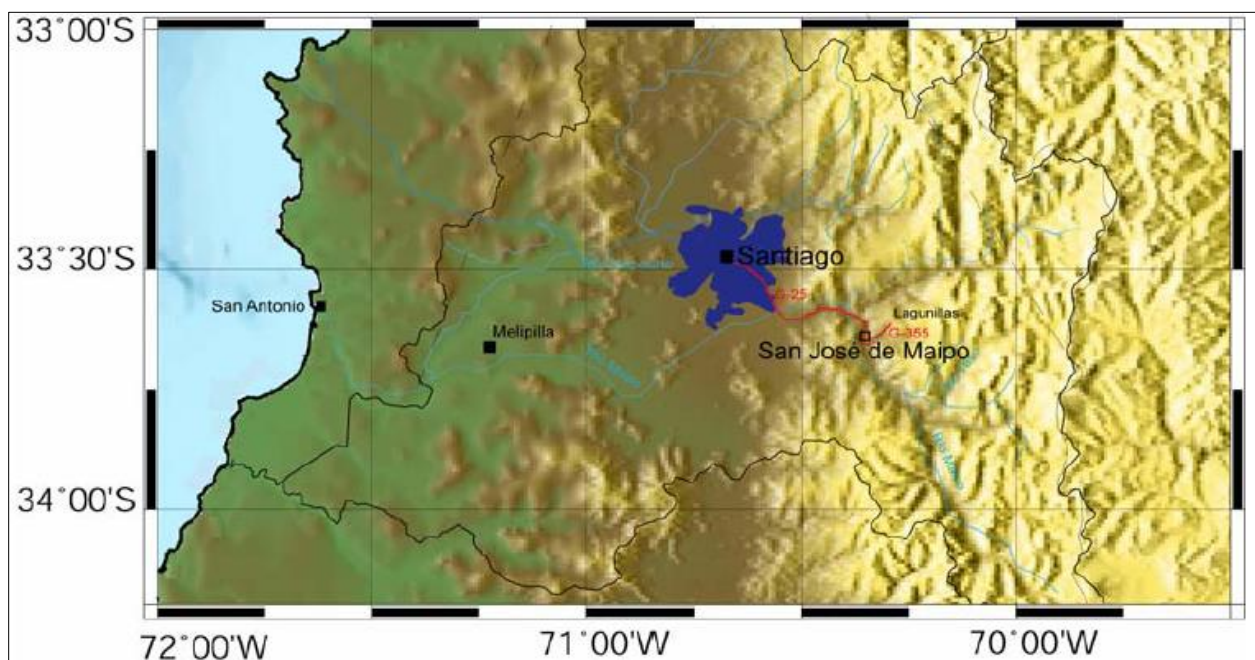


Figura 1: Ubicación de zona de estudio y principales vías de acceso. Ruta G-25 y Ruta G-355.



Figura 2: Cuerpo de estudio en el Cerro Divisadero. Extraído de Sepúlveda et al (2002).

1.5. Estudios anteriores

La geología de la zona fue realizada por Thiele (1978) quien confeccionó un mapa geológico detallado de la Cordillera Principal del sistema andino ubicado al este de Santiago desde los 33° a los 34°S (Hoja de Santiago, escala 1:250.000). En dicho documento, se puede observar que en la zona de estudio está presente casi exclusivamente la Formación Abanico, la que ha sido ampliamente estudiada por diversos autores y de la cual se ha obtenido información de edades radiométricas, estudios de proveniencia, análisis de facies sedimentarias, cronoestratigrafía y estudios estructurales. Aguirre (1999) estudia las condiciones de depositación y formación de una secuencia volcánica que aflora al Sur de San José de Maipo, los depósitos cuaternarios fueron caracterizados por Chiu (1991) y reestudiados por Ormeño (2006). Finalmente, Álvarez (2006) en su memoria de título, analiza la factibilidad de utilizar métodos geofísicos en el estudio de fenómenos de remociones en masa aplicados al caso del

deslizamiento en San José de Maipo, siendo este último, el trabajo más afín con el presente estudio.

1.6. Metodología y plan de trabajo

1.6.1. Trabajo de gabinete pre-campaña

En esta etapa preliminar, se recopilaron referencias bibliográficas y mapas geológicos y de riesgos geológicos a fin de lograr una familiarización acabada con la zona de estudio. Lo anterior, con el propósito de que el trabajo en el campo sea expedito y eficiente. Se estudiaron en detalle imágenes satelitales del Cerro Divisadero, tanto las generadas en trabajos previos por otros autores, como las obtenidas durante el desarrollo del proyecto en curso.

También se analizó geología regional y local para comprender el contexto geológico en el cual se enmarca la zona de estudio, es decir, qué unidades están participando, estructuras presentes, qué procesos de deformación están actuando sobre ellas, y como pueden influir todos estos factores en el desarrollo de remociones en masa en el sector poniente del Cerro Divisadero. Todo ello, con el objetivo de que, en terreno, sea mucho más simple poder reconocer todos estos elementos.

Se realizó una planificación previa acerca del trabajo de campaña tanto de los sectores de mayor interés a visitar como de la mejor forma de acceder a ellos.

1.6.2. Trabajo en campaña

- **Salida a terreno 26 de abril de 2019:**

En este primer trabajo en terreno se realizó un reconocimiento a grandes rasgos de la zona, se verificaron los mejores accesos para las zonas de interés y se definió de manera clara el cuerpo objeto de estudio en el Cerro Divisadero.

- **Salida a terreno 16 de agosto de 2019:**

Con un concepto más claro a nivel local y regional, el objetivo de esta campaña fue la recopilación de datos estructurales de rumbo y manteo. De esto modo, se

establecieron lineamientos y comportamiento en general de la deformación que está afectando a las rocas en el Cerro Divisadero.

1.6.3. Trabajo de gabinete post-campaña

Tratamiento de muestras recopiladas por profesor de comisión Sr. Mauricio Calderón. A ellas, se les aplicaron los procedimientos de prensado, pulverización, secado y finalmente difracción de rayos X en laboratorio de sólidos de la Universidad Andrés Bello. Posteriormente, se realizó un análisis a través del software DIFFRAC.EVA con el que se buscó establecer la mineralogía presente en aquellas rocas, así como algún tipo de alteración.

Procesamiento de datos estructurales recopilados en campaña a través del software Stereonet.

Análisis de datos meteorológicos de las estaciones pluviométricas presentes en la comuna. Con estos datos, se generaron gráficos que ilustran el comportamiento de las precipitaciones durante los últimos treinta años y un posterior análisis estadístico de aquellas fechas en las que ocurrieron eventos de intensas precipitaciones.

2. MARCO GEOTECTÓNICO

2.1. Segmentación morfoestructural andina

La zona de estudio se enmarca en un contexto de margen convergente, localizada en el borde occidental sudamericano en el cual la Placa De Nazca ha estado subduciendo de forma casi ininterrumpida desde el Jurásico temprano hasta el presente (Charrier et al., 2007).

El segmento andino presente en la zona de estudio, muestra 5 unidades morfoestructurales principales dispuestas en franjas con orientación norte - sur, las que de oeste a este son: Cordillera de la Costa, Depresión Central, Cordillera Principal, Cordillera Frontal y Precordillera más el Antepaís Argentino (Wall et al., 1999) (ver figura 3).

El lugar de estudio se ubica específicamente en la Cordillera Principal y se compone principalmente de una secuencia rocas volcánicas y sedimentarias que ha sido asignada a la Formación Abanico por Thiele (1980).

2.1.1. Cordillera de la Costa

Consiste en un cordón montañoso de baja altitud cuyas alturas máximas rara vez superan los 2000 m.s.n.m. Está compuesto principalmente por granitoides paleozoicos, formaciones volcanosedimentarias jurásicas y cretácicas e intrusivos del Cretácico. A grandes rasgos, puede subdividirse en dos flancos. El flanco oeste está conformado principalmente por basamento intrusivo y metamórfico del Paleoceno- Jurásico cubierto por depósitos marinos del Mioceno al Presente. Su flanco este está constituido por secuencias estratificadas del Jurásico Superior que mantean al este (Thomas, 1958 ; Wall et al., 1999; Sellés y Gana, 2001; SERNAGEOMIN, 2003; Farías et al., 2008)

Por otro lado, las unidades cuaternarias son mayoritariamente de origen fluvial y coluvial, aunque también se ha reportado presencia de terrazas de abrasión y depósitos asociados a remociones en masa.

2.1.2. Depresión Central

Corresponde a una depresión tectónica cubierta de ignimbritas y sedimentos principalmente cuaternarios que se extiende desde los 33° a los 40°S. Entre dichas latitudes, la depresión central separa los dominios de las Cordilleras de la Costa y de Los Andes. La cobertura volcanosedimentaria no supera los 500 metros de espesor bajo el valle de Santiago (Araneda et al., 2000). El basamento presenta rocas mesozoicas en el límite occidental y rocas cenozoicas en su límite oriental (Farías et al., 2008). En la cuenca, sobresalen los denominados cerros-isla tales como los cerros Chena o Lonquén que alcanzan alturas que bordean los 550 m.s.n.m (Sellés y Gana, 2001).

2.1.3. Cordillera Principal

Según sus características geológicas puede dividirse en tres: Cordillera Principal oeste, central y este. La primera está conformada por secuencias cenozoicas que presentan deformación importante sólo en su flanco más occidental y que están constituidas principalmente por las formaciones Abanico y Farellones. La Cordillera Principal Central, también esta compuesta por rocas cenozoicas pero a diferencia de la anterior, esta presenta una deformación mucho más intensa. Por su parte, la Cordillera Principal este está compuesta casi exclusivamente por secuencias deformadas mesozoicas. Tanto en el segmento central como oriental se desarrollan las fajas plegadas y corridas reconocidas en este segmento latitudinal. (Farías et al., 2008).

2.1.4. Cordillera Frontal

Está conformada principalmente por rocas volcánicas ácidas del pérmico que se asocian al grupo Choiyoi Superior. (Llambías et al., 2003).

2.1.5. Precordillera y Antepaís Argentino

Compuesta por rocas del Paleozoico Inferior. Hacia el este de las tres últimas unidades mencionadas, se han desarrollado cuencas de antepaís en Argentina desde el Mioceno hasta el Holoceno (Rissetto, 2015) (ver figura 3).

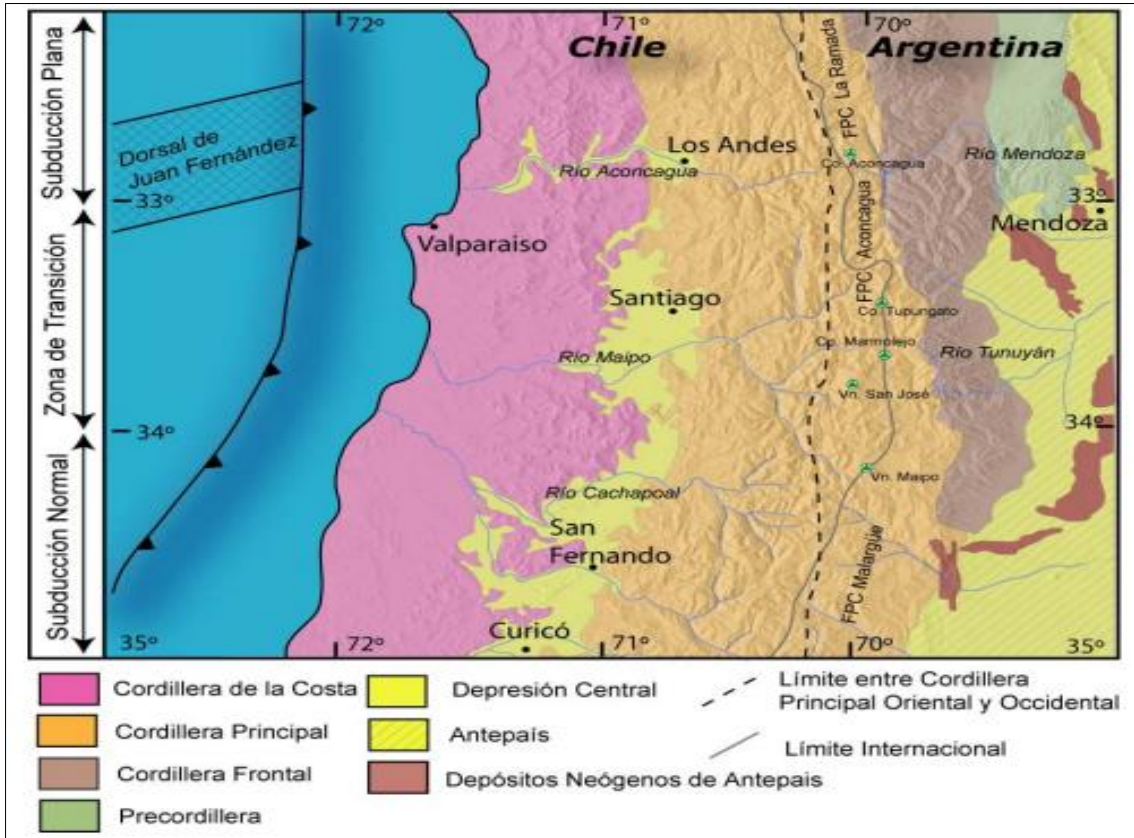


Figura 3: Principales morfoestructuras presentes el segmento Andino comprendido en la zona de estudio. Extraído de Fock (2005) y basado en Charrier y Muñoz (1994), Gambiagi et al. (2003) y Tassara y Yáñez (2003).

2.2. Rocas estratificadas

2.2.1. Formación Abanico (Aguirre, 1960)

Las rocas de la Formación Abanico se disponen en dos franjas con orientación norte-sur separadas por los depósitos de la Formación Farellones (Ver figura 4). En Chile Central, al sur de los 33°, donde la Cordillera Principal y la Cordillera de la Costa son perfectamente distinguibles, la franja oeste está limitada por depósitos cuaternarios de la Depresión Central, mientras que la franja este está limitada por una serie sedimentaria mesozoica (Formación Colimapu). Por el sur es interrumpida por un gran batolito y cubierta por el grupo volcánico Tinguiririca, aproximadamente a los 34.8° S (Charrier et al., 2001).

La Formación Abanico corresponde a una unidad litoestratigráfica continental constituida por lavas básicas a intermedias, rocas piroclásticas ácidas, e intercalaciones

sedimentarias continentales (fluviales, aluviales y lacustres), formando lentes de hasta 500 m de espesor (Charrier et al., 2002a ; Nyström, 2003).

El total llega a sumar entre 2500 y 3000 metros de potencia. Las rocas volcanoclásticas están constituidas por tobas y brechas volcánicas. Las brechas volcánicas gruesas contienen clastos de andesitas porfídicas y afaníticas dentro de una matriz lítica arenosa de grano medio. Las lavas presentan una composición que va de andesítica a riolítica según Vogel (1999) o andesítica basáltica a andesita según Fock (2005). Además, existen intercalaciones sedimentarias compuestas por depósitos detríticos de grano grueso a fino, micrita y ocasionalmente por calizas oolíticas. No hay evidencia de sedimentación marina. Los lentes sedimentarios son más comunes en la franja oriental que en la occidental y existen diques de composición andesítica a dacítica que cortan el depósito.

La Formación Abanico subyace tanto a la Formación Farellones como a unidades volcánicas jóvenes y depósitos cuaternarios (Thiele, 1980) y es afectada por un metamorfismo de bajo grado cuya mineralogía indica un desarrollo de las *facies* que va desde zeolita a prenitá-pumpellita según Vergara et al. (1993), esta zeolitización y cloritización, permitiría distinguirla de la Formación Farellones. A pesar de esto, Rivano et al., (1990) postulan que grandes afloramientos al este de Santiago, asignados a la Formación Farellones, pertenecerían a la Formación Abanico. La alteración afecta principalmente a la matriz de las rocas volcanoclásticas y epiclásticas oscureciendo sus características petrológicas originales.

Existen drásticas variaciones litológicas tanto norte-sur como este-oeste y una fuerte deformación local lo que impide caracterizar esta unidad con una columna estratigráfica simple. Inmediatamente al norte de Santiago, una secuencia de 500 a 700 metros de espesor compuesta por lavas dacíticas y depósitos volcanoclásticos contiene intercalaciones lacustres (Sellés D., 1999). Sin embargo, la localidad tipo de la Formación Abanico, al este de Santiago, está compuesta por lavas andesíticas, brechas y depósitos volcanoclásticos, no presentando intercalaciones sedimentarias ni lavas dacíticas (Villarroel y Vergara, 1988).

La Formación Abanico está depositada en discordancia sobre unidades del Cretácico tardío o más antiguas (Sellés, 2000). Charrier et al. (2001) han asignado a la

Formación Abanico una edad entre el Eoceno Medio a Tardío y finales del Mioceno Inferior. Fock (2005), ha situado la edad de la Formación Abanico entre el Eoceno Superior y el Mioceno considerando las dataciones realizadas por Sellés y Gana (2001).

2.2.2. Formación Farellones (Klohn, 1960)

Corresponde a una sucesión de lavas, tobas e ignimbritas con intercalaciones de brechas. Las lavas presentan un claro predominio sobre las tobas y brechas, mientras que la alternancia de rocas volcanoclásticas más finas, en tramos de 4 a 5 metros, producen una marcada estratificación en la serie (Thiele, 1980).

Farellones sobreyace a la formación Abanico desde los 32° S hasta los 35° S. El contacto entre ambas formaciones aún no está bien definido, sin embargo, según las evidencias más recientes, se puede describir como un contacto transicional y con amplias variaciones tanto norte-sur como este-oeste, reportándose en diversos sectores como discordante o pseudo-concordante, dependiendo de la reactivación de fallas asociadas a la inversión tectónica de la cuenca de la Formación Abanico (Godoy et al., 1999; Charrier et al., 2002a).

A la Formación Farellones se le asigna una edad miocena, de acuerdo a las dataciones radiométricas disponibles (Fock, 2005) y en ella se incluye a la Formación Colorado – La Parva, definida inicialmente como pliocena al correlacionarla litoestratigráficamente con riolitas pliocenas de la localidad de Río Blanco (Thiele, 1980), pero que, posteriormente, en base a dataciones K/Ar, los autores Beccar et al. (1986) y Rivano et al. (1991) la incluyen en la Formación Farellones. El espesor reportado para la Formación Farellones es de 2.500 metros, aumentado por los numerosos mantos intrusivos y lacolitos del Mioceno Superior – Plioceno que la intruyen. (Thiele, 1980; Rivano et al., 1990). El techo de la formación corresponde a la actual superficie de erosión (Thiele, 1980; Rivano et al., 1990).

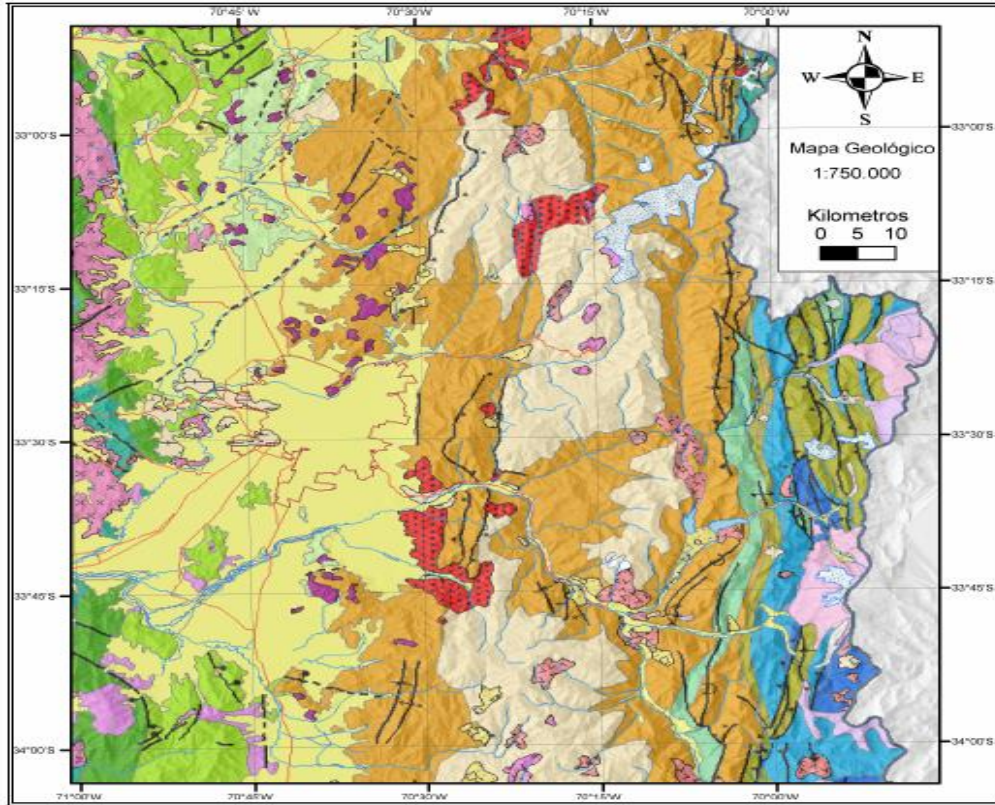


Figura 4: Mapa geológico de la zona de estudio. Extraído de Fock (2005) quien lo modificó de Thiele (1980), Sellés y Gana (2001) y SERNAGEOMIN (2002).

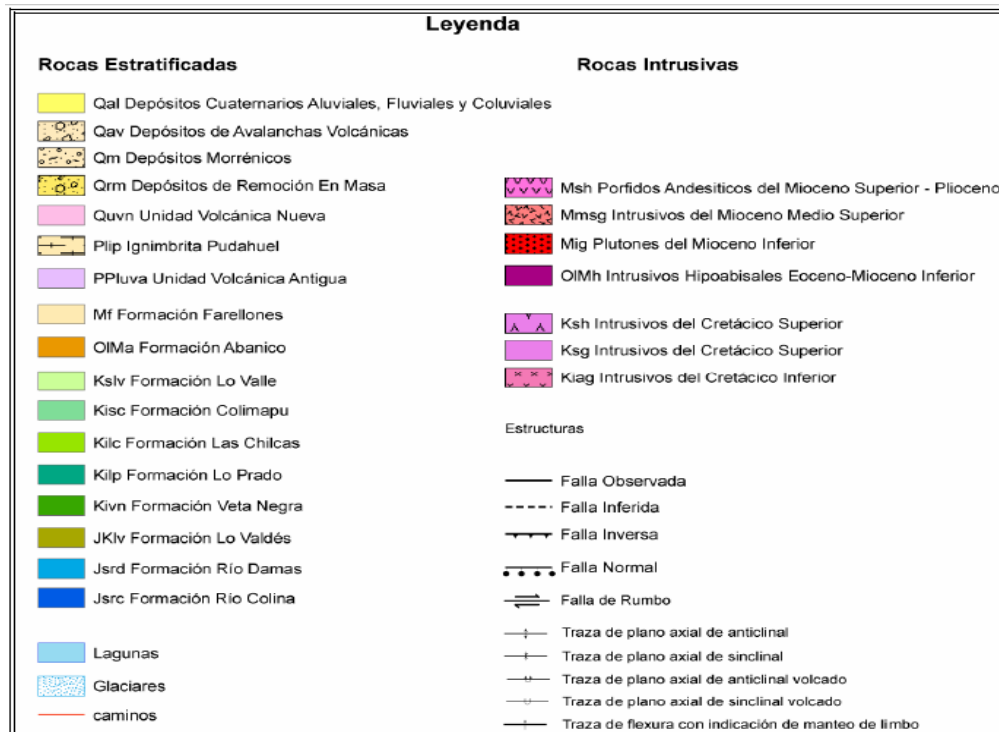


Figura 5: Continuación figura 4. Leyenda Mapa Geológico del área de estudio. Extraído de Fock (2005), quien lo modificó de Thiele (1980), Sellés y Gana (2001) y SERNAGEOMIN (2002).

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Remociones en masa

Las remociones en masa corresponden a procesos exógenos gravitacionales y han sido clasificadas según naturaleza del material, velocidad del movimiento y naturaleza del movimiento como se observa en la tabla 1. Existen factores secundarios que influyen en la estabilidad de la pendiente de una ladera tales como naturaleza de los materiales en la pendiente, ángulo de la pendiente y contenido de agua. Es importante mencionar que dichos factores están íntimamente relacionados, ya que, el ángulo de reposo, es decir, el máximo ángulo que puede alcanzar una pila de partículas no consolidadas, aumenta conforme lo hace el tamaño de grano. Por otro lado, mientras mayor sea el contenido de agua, los sedimentos serán menos cohesivos y, por lo tanto, podrán fluir fácilmente producto de la presencia de agua intersticial (Ver figuras 6 y 7).

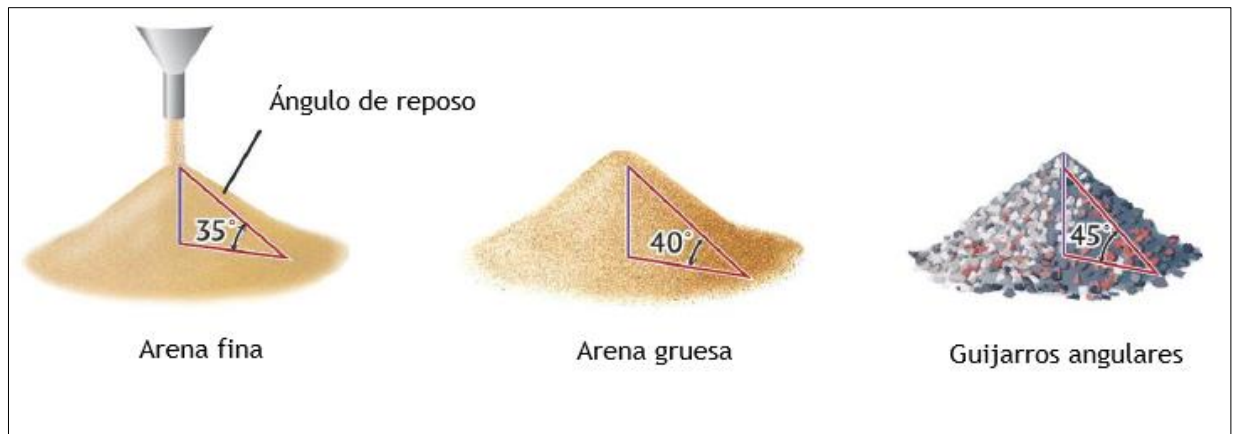


Figura 6: Ángulo de reposo en una pendiente según naturaleza del material no consolidado. Elaboración propia basado en *EXTERNAL PROCESSES: GEOMORPHOLOGY*.

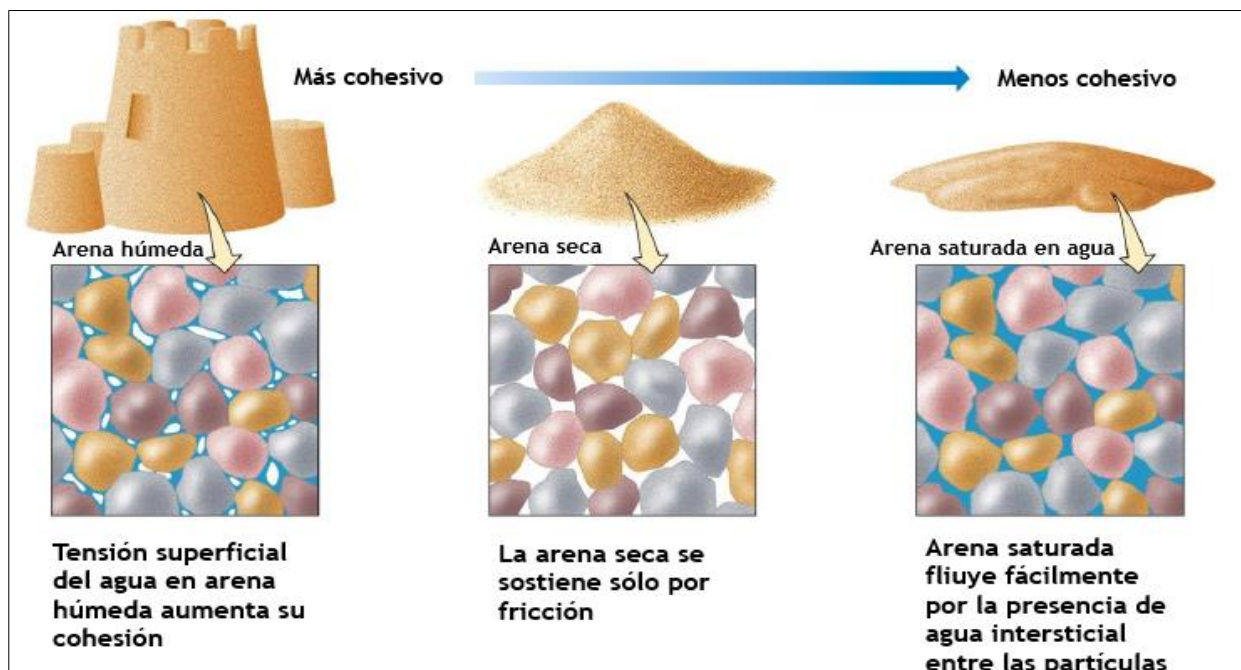


Figura 7: Cohesión de los sedimentos no consolidados según el contenido de agua. Elaboración propia basado en "EXTERNAL PROCESSES: GEOMORPHOLOGY".

3.2. Clasificación

Diversos han sido los criterios utilizados para caracterizar los procesos de remoción en masa, para efectos de este estudio, se utilizarán los mencionados anteriormente. Dicha información, se exhibe de manera sumaria en la tabla 1 en la cual se ilustra de manera clara el nexo existente entre la naturaleza del material, el contenido de fluidos y la velocidad del movimiento. Dichos factores, serían los más propensos a actuar en el Cerro Divisadero, según la bibliografía estudiada.

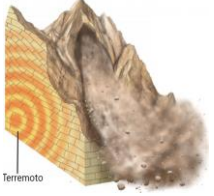
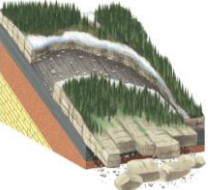


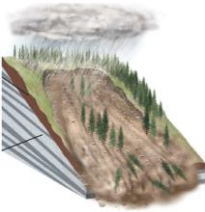


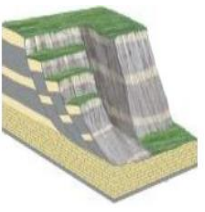


Material	Naturaleza del movimiento	Velocidad				
		Lento (1cm/año)		Moderado (1km/hr)		Rápido (5km/hr o más)
		Bajo contenido de agua		Alto contenido de agua		Alto contenido de aire
Roca	Flujo					 Terremoto Avalancha de rocas
	Deslizamiento o caída			 Deslizamiento de rocas		 Caída de rocas
Material no consolidado	Flujo	 Reptación	 Flujo de barro	 Flujo de detritos		
				 Flujo de cenizas		
	Deslizamiento o caída		 Slump		 Deslizamiento de detritos	 Avalancha de detritos

Tabla 1: Clasificación de movimientos de masas según material dominante, contenido de fluidos y velocidad del movimiento. Elaboración propia basado en "EXTERNAL PROCESSES: GEOMORPHOLOGY".

4. MUESTREO DE SUPERFICIE

Se realizó un muestreo de superficie recopilando siete muestras que fueron tomadas de la quebrada norte que limita el deslizamiento en cuestión (Ver anexo N° 1). Las muestras fueron nombradas como Lu 1, Lu 2, Lu 3, Lu 4, Lu 5, Lu 6 y Lu 7 respectivamente y se les aplicó el tratamiento requerido para posteriormente someterlas a difracción de rayos X (DRX). Como se observa en la figura 8, el polígono amarillo corresponde al sector en el cual se tomaron las muestras procesadas. Cabe mencionar que la zona de estudio corresponde a un deslizamiento y zona susceptible a deslizarse a la vez, es por ello que es de muy difícil acceso y significa un alto peligro llegar a él, por esta razón, las muestras fueron tomadas desde la quebrada.



Figura 8: Sector de muestreo. El polígono amarillo delimita la superficie muestreada. Elaboración propia.

Una vez obtenidos los resultados, fueron procesados en el software DIFFRAC.EVA. A continuación, se detalla el porcentaje de minerales en cada muestra a través de diagramas de torta:

1) Lu 1:

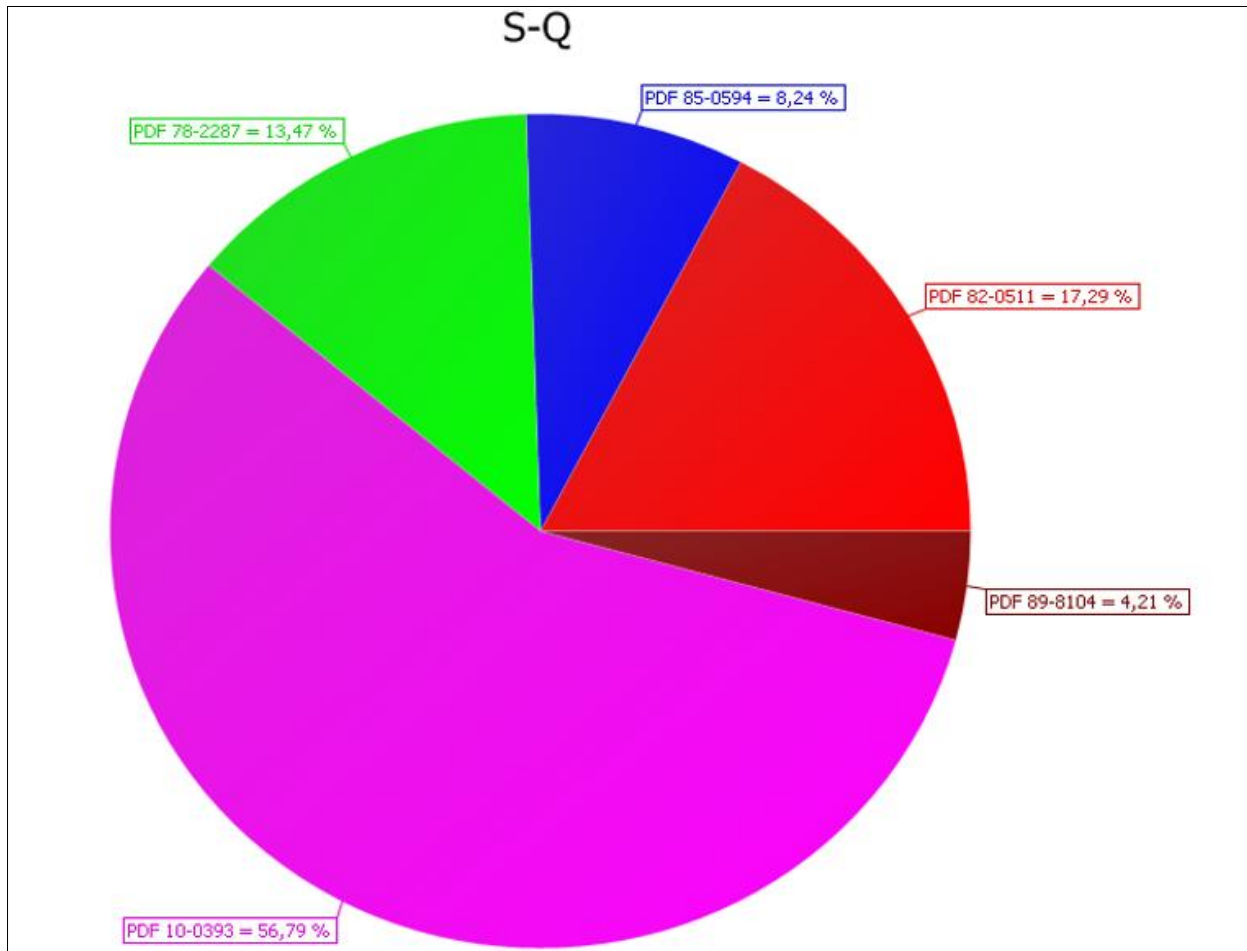


Figura 9: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 1. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.

Color	Compound Name
Red	Quartz
Lime	Laumontite
D...	Hematite, syn
Blue	Chabazite (Ca-exchanged, dehydrated)
M...	Albite, disordered

Figura 10: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 1. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.

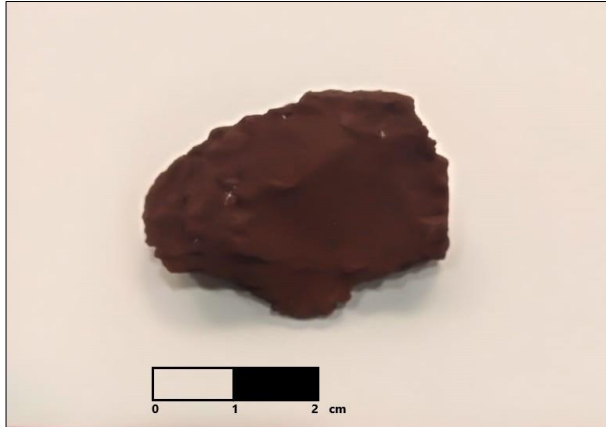


Figura 11: Muestra de mano Lu 1.

Textura afanítica, no es posible identificar cristales, con la excepción de cristales blancos que no superan los 2 mm, los cuales corresponden a cuarzo.

Observaciones:

- La **chabasita** corresponde a un tectosilicato del grupo de las zeolitas, es por ello, que, al ser identificada, no causó extrañeza su presencia dada la intensa alteración presente en la muestra Lu 1.
- Otro mineral que llamó la atención es la **laumontita**, que al igual que la chabasita pertenece al grupo de las zeolitas siendo también un tectosilicato.
- No es de extrañar que haya presencia de especies de zeolitas en una muestra tan alterada, dado que dentro de los diversos ambientes en los que se dan, destacan las zonas de alteración hidrotermal. Incluso, la alteración de la muestra es tal, que su competencia es sumamente baja y es posible disgregarla con la mano.
- Único mineral opaco, hematita.

2) Lu 2:

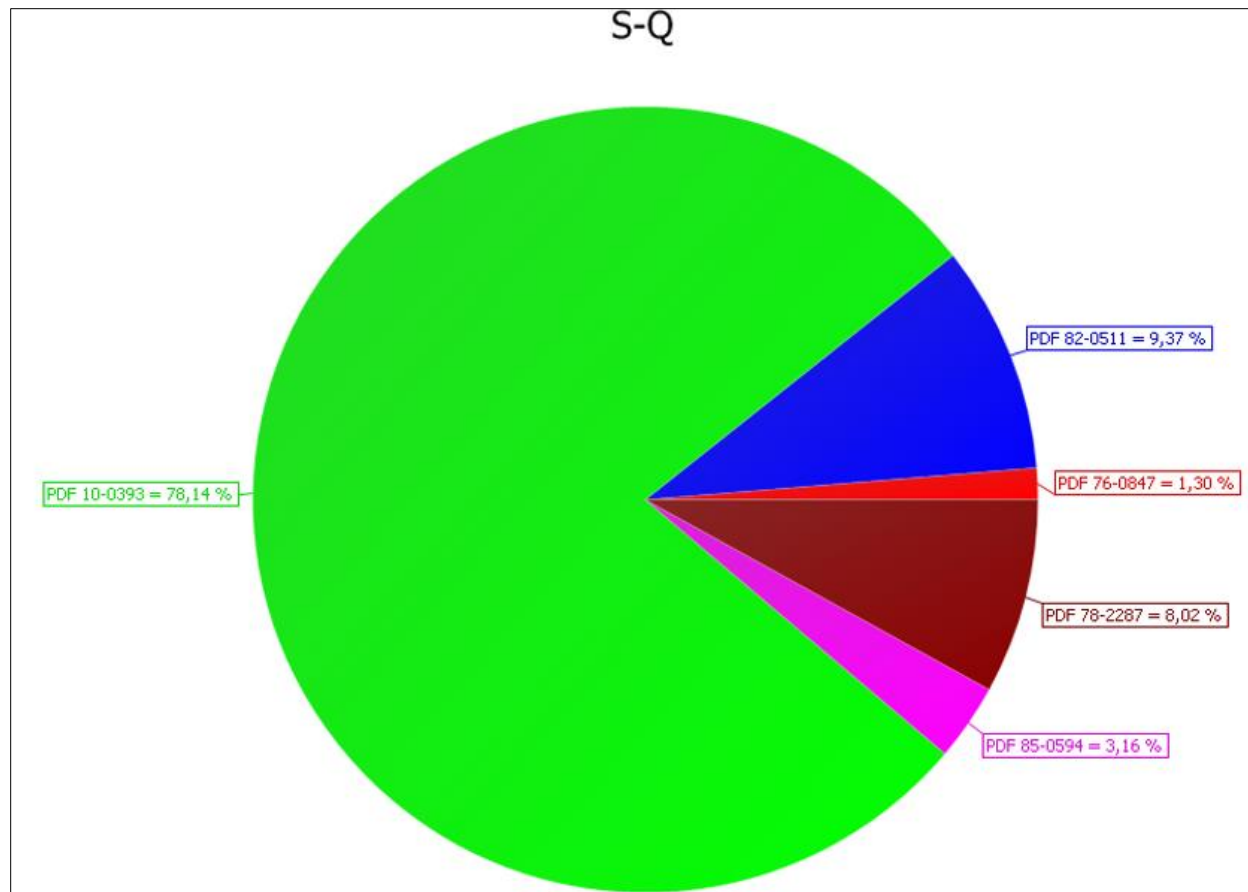


Figura 12: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 2. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.

Color	Compound Name
Red	Vermiculite 2M
Blue	Quartz
Lime	Albite, disordered
M...	Chabazite (Ca-exchanged, dehydrated)
D...	Laumontite

Figura 13: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 2. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.

Observaciones:

- Al igual que en Lu 1, hay presencia de chabasita y laumontita.
- En este caso, aparece un mineral nuevo, la vermiculita. Se trata de una mica que, como filosilicato, es especialmente importante al agrupar a la mayoría de los productos de meteorización de las rocas y por lo tanto, a la mayoría de los constituyentes de los suelos.
- En este caso, no hay fotografía de muestra de mano puesto que se pulverizó la totalidad de la roca.

3) Lu 3:

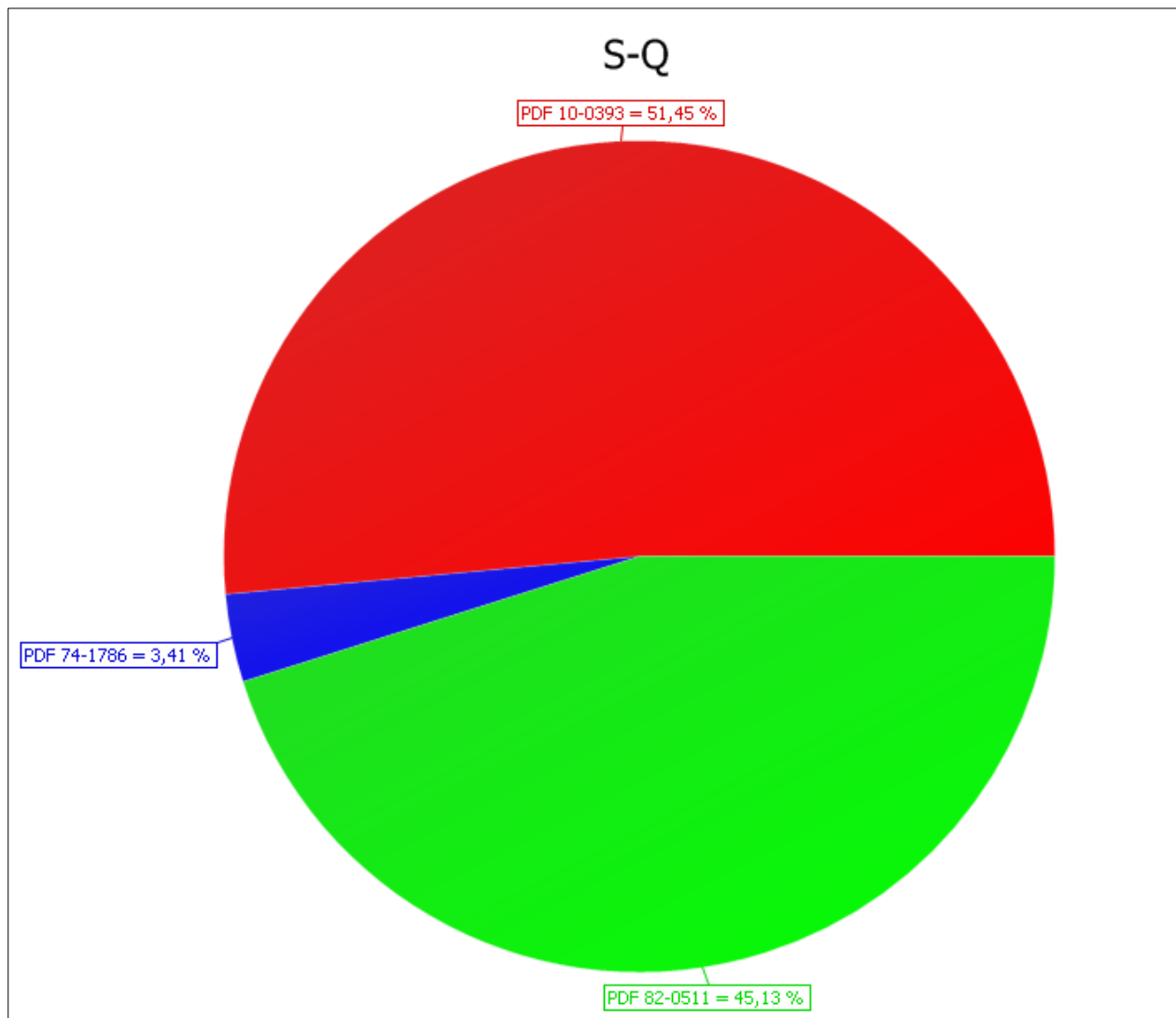


Figura 14: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 3. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.




Color	Compound Name
 <input type="button" value="v"/>	Albite, disordered
 <input type="button" value="v"/>	Kaolinite 1A
 <input type="button" value="v"/>	Quartz

Figura 15: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 3. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.



Figura 16: Muestra de mano Lu 3.

Textura afanítica. En el caso de esta muestra, la competencia mejora, sin embargo, la dureza de la roca en sí, no destaca como una de las más altas.

Observación:

- En este caso, aparece la arcilla caolinita propia también de alteración hidrotermal.

4) Lu 4:

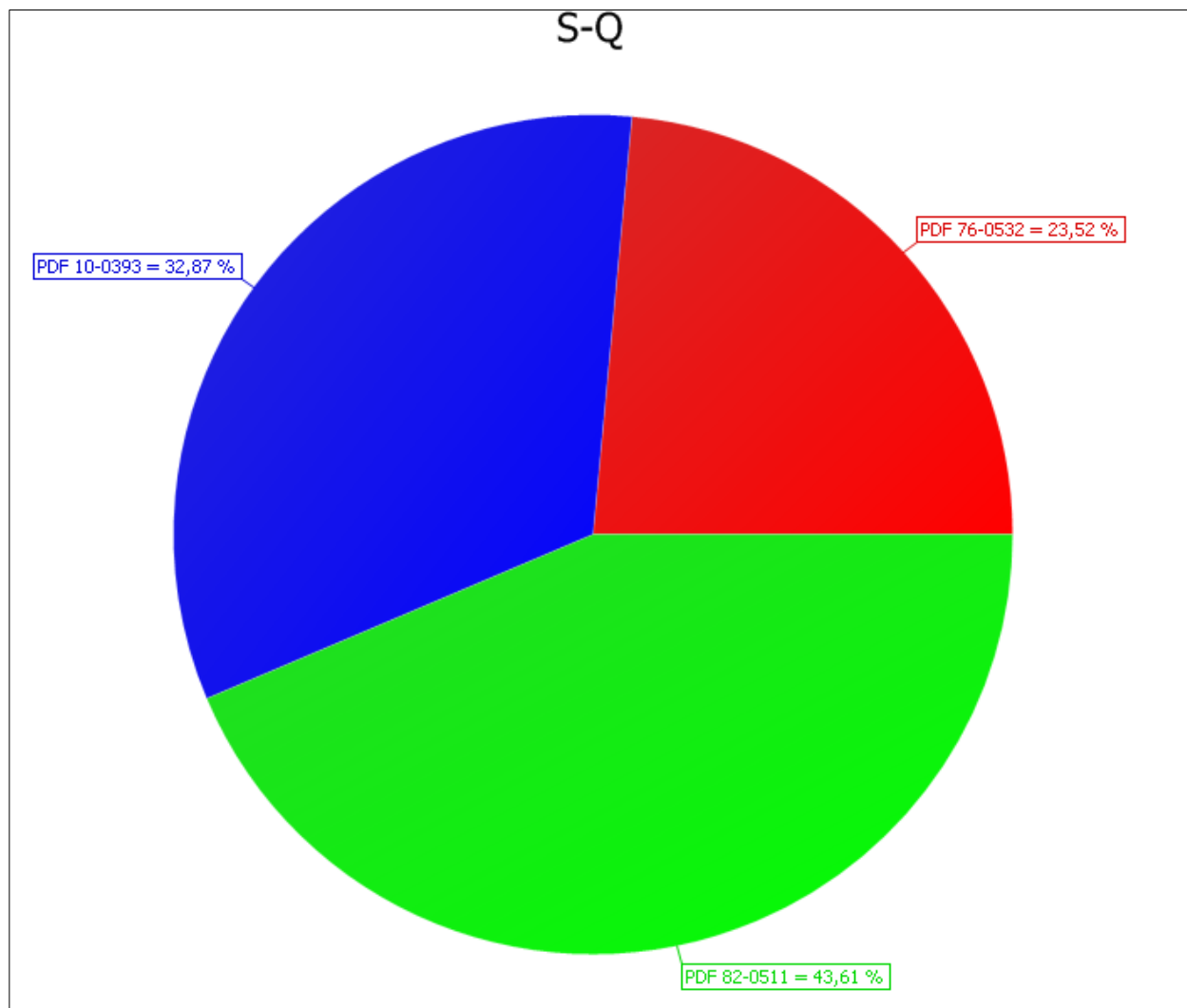


Figura 17: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 4. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.




Color	Compound Name
	Heulandite-Ca
	Albite, disordered
	Quartz

Figura 18: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 4. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.



Figura 19: Muestra de mano Lu 4.

Textura fanerítica. En este caso, fue posible obtener una caluga de la muestra ya que su tenacidad así lo permite.

Observación:

- Se observa la presencia de heulandita del grupo de las zeolitas, la cual también representa un contexto de alteración hidrotermal.

5) Lu 5:

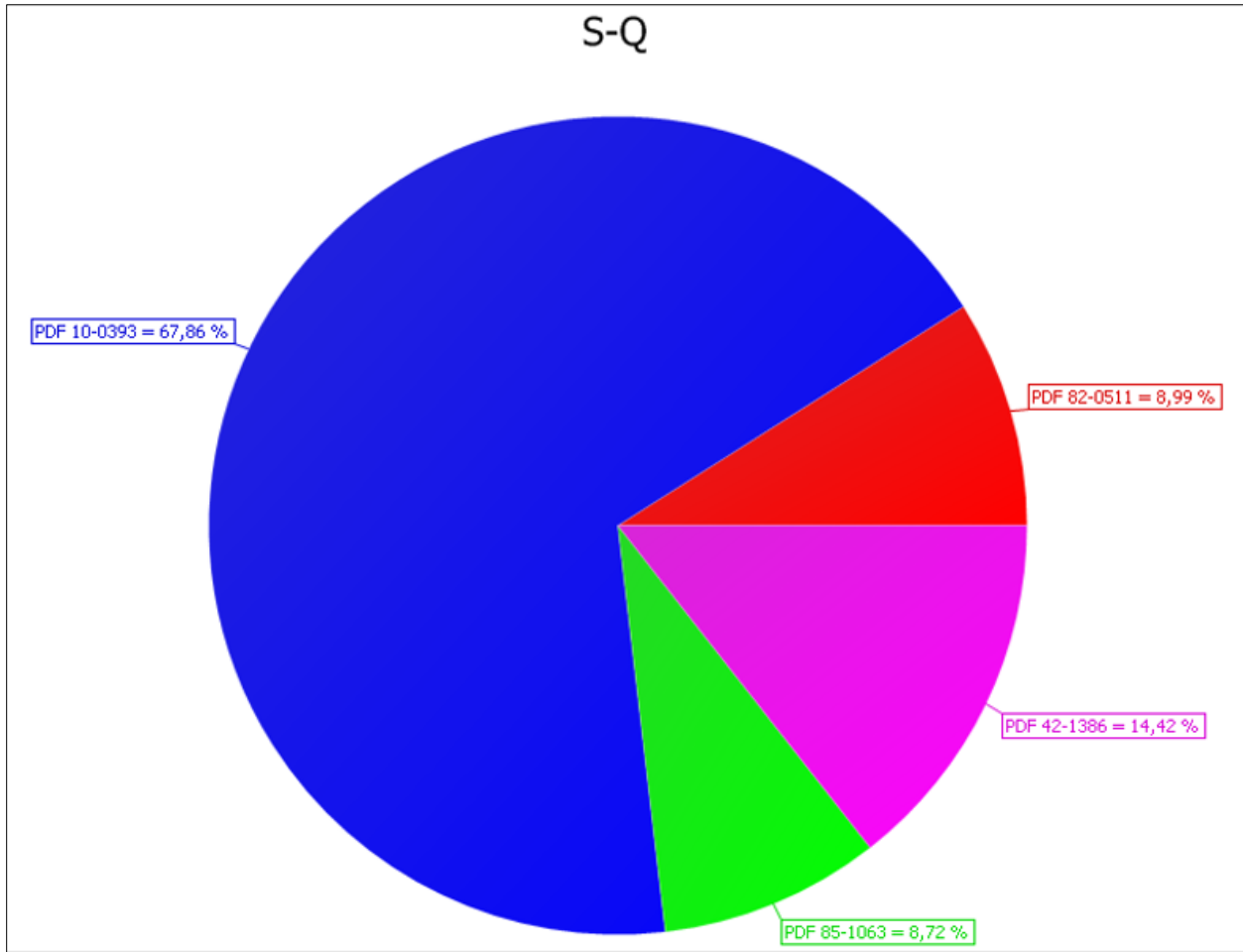


Figura 20: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 5. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.

Color	Compound Name
Red	Quartz
Blue	Albite, disordered
Lime	Chabazite
M...	Paranatrolite

Figura 21: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 5. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.



Figura 22: Muestra de mano Lu 5.

Textura fanerítica. Pese a que es una roca medianamente blanda, fue posible generar una caluga de ella ya que su tenacidad así lo permite.

Observaciones:

- Además de la presencia de chabasita, aparece un mineral particular, **paranatrolita**. Pertenece al grupo de las zeolitas, sin embargo, califica dentro de los minerales raros con una asignación de rareza “muy raro”. Pese a su rareza, y a que no se esperaba la presencia de un mineral raro, se toma la decisión de contemplarlo en los resultados puesto que la ficha del software es congruente con el difractograma. De todas formas, se deja dicho de manera explícita, que este mineral no es seguro dentro de esta muestra pero que, de todas maneras, se menciona.

6) Lu 6:

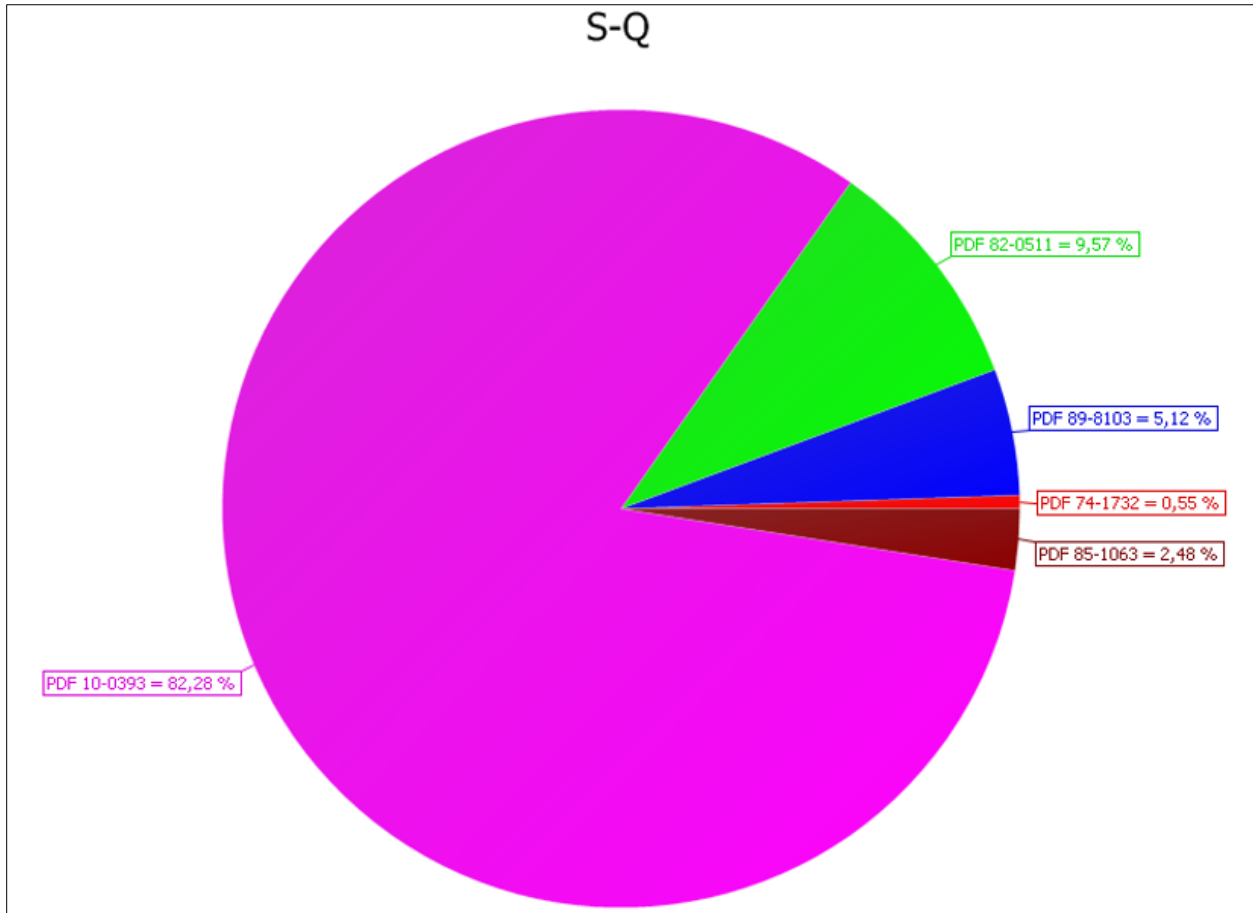


Figura 23: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 6. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.

Color	Compound Name
Red	Vermiculite 2M
Blue	Hematite, syn
Lime	Quartz
M...	Albite, disordered
D...	Chabazite

Figura 24: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 6. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.



Figura 25: Muestra de mano Lu 6.

Textura fanerítica. Pese a que es una roca medianamente blanda, fue posible generar una caluga de ella ya que su tenacidad así lo permite. Presenta una coloración violácea y es posible identificar cristales blancos que corresponden a plagioclasa.

Observaciones:

- La presencia de chabasita (zeolita) y vermiculita (mica), sigue situando el contexto de estas rocas dentro de un marco de alteración hidrotermal.
- Único mineral opaco, hematita.

7) Lu 7:

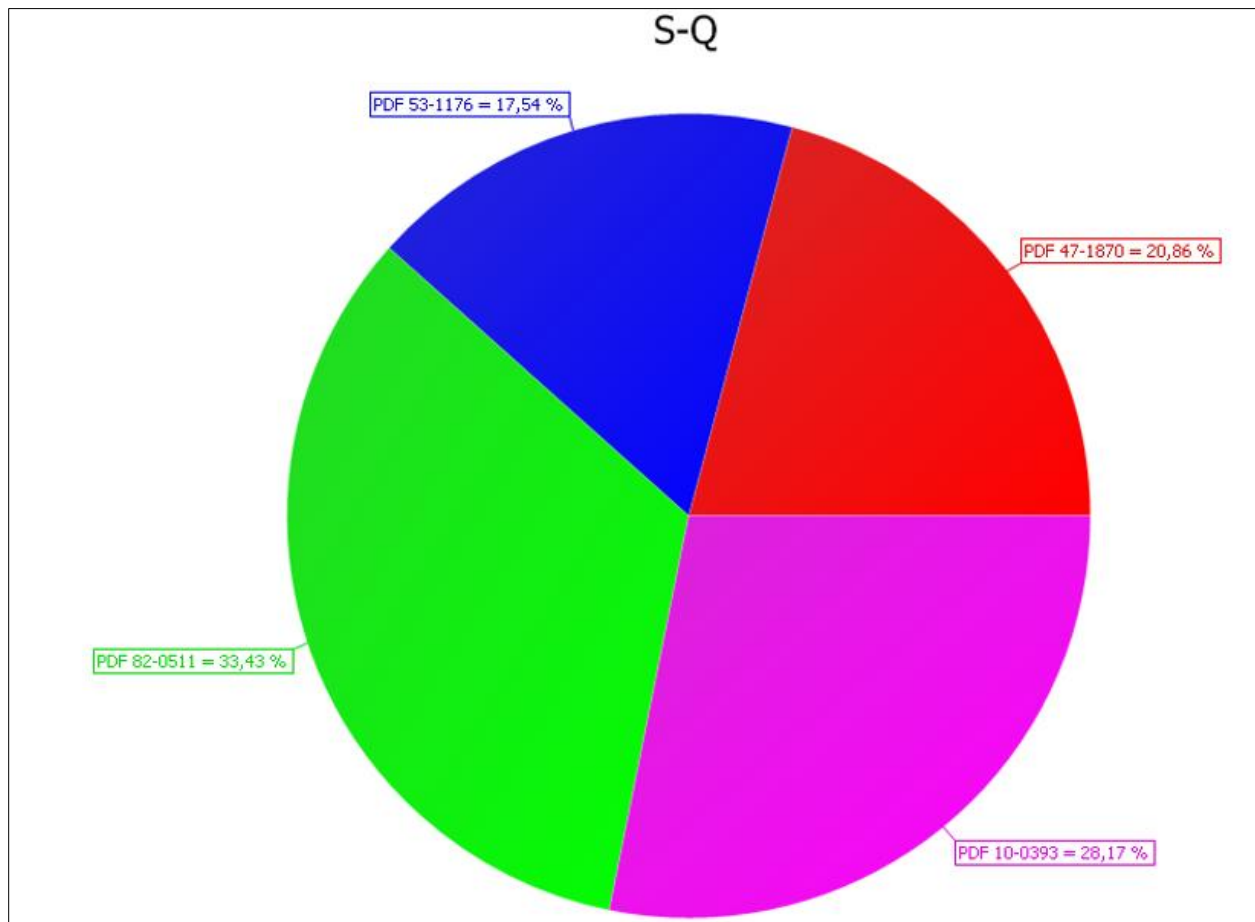


Figura 26: Diagrama de torta obtenido de muestra Lu 7. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.

Color	Compound Name
Red	Clinoptilolite-Na
Blue	Heulandite
Lime	Quartz
M...	Albite, disordered

Figura 27: Simbología de mineralogía encontrada en muestra Lu 7. Elaboración propia, modificado en DIFFRAC.EVA.



Figura 28: Muestra de mano Lu 7.

Textura fanerítica. Pese a que es una roca medianamente blanda, fue posible generar una caluga de ella ya que su tenacidad así lo permite. Es posible observar en la fotografía fracturas en la roca, no obstante, resistió el corte con sierra.

Observaciones:

- En este caso, llama la atención la presencia del mineral **clinoptilolita**, que pertenece al grupo de las zeolitas. Del mismo grupo, también se observa heulandita.

El siguiente gráfico de barras ilustra el porcentaje de cada mineral dentro de la totalidad de minerales encontrados en las siete muestras.

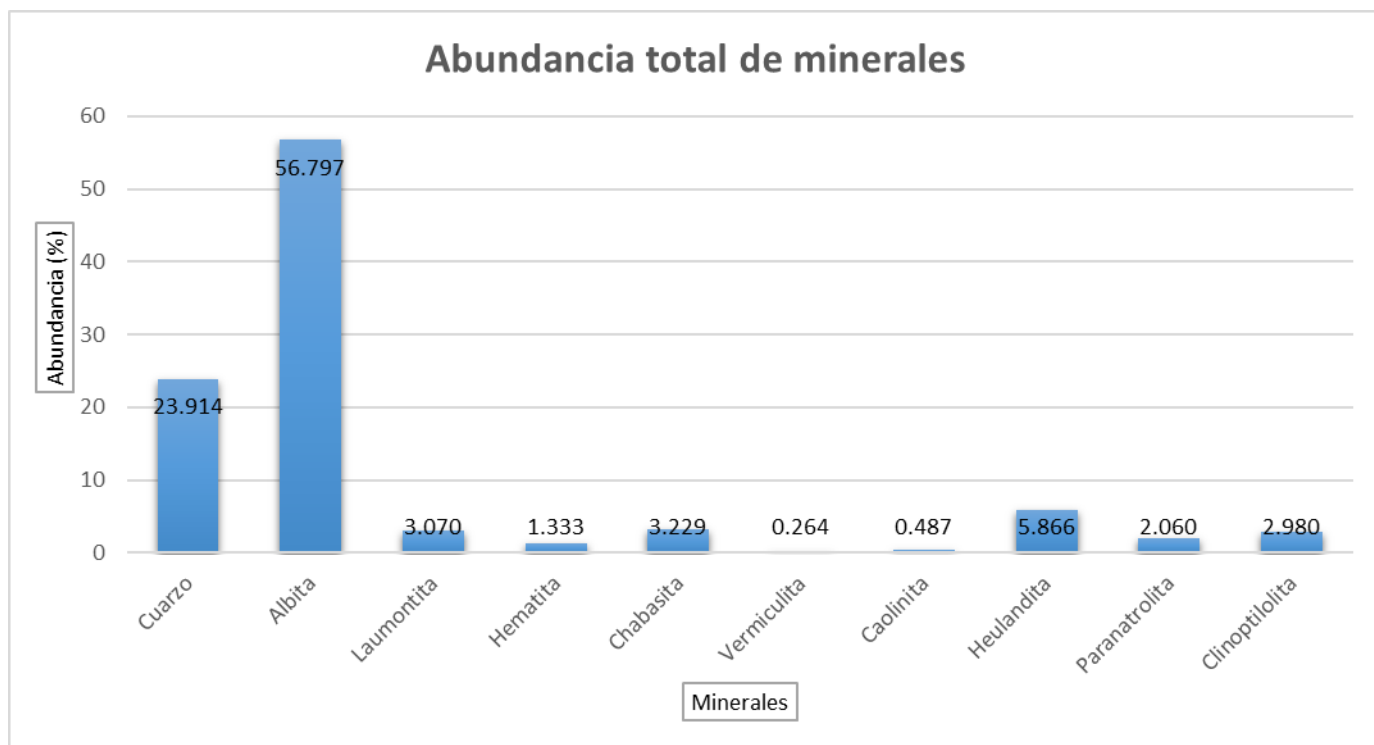


Figura 29: Gráfico de barras que muestra abundancia de minerales en el total de las siete muestras analizadas.

Algunos aspectos a destacar, son los siguientes:

- En el total de muestras trabajadas, fueron encontrados los diez minerales que se observan en el eje de las abscisas de la figura 29.
- Como se observa en el gráfico, los porcentajes mayores corresponden a los silicatos cuarzo y albita, incluso, es posible corroborar en los diagramas de torta, que las siete muestras presentan algún porcentaje de estos minerales.
- En orden de abundancia, siguen las especies de zeolita heulandita, chabasita, y laumontita.

Luego de la generación del gráfico anterior, se normalizaron los datos y se construyó el gráfico de la figura 30, en el cual es posible observar qué porcentaje de cada mineral aporta cada muestra.

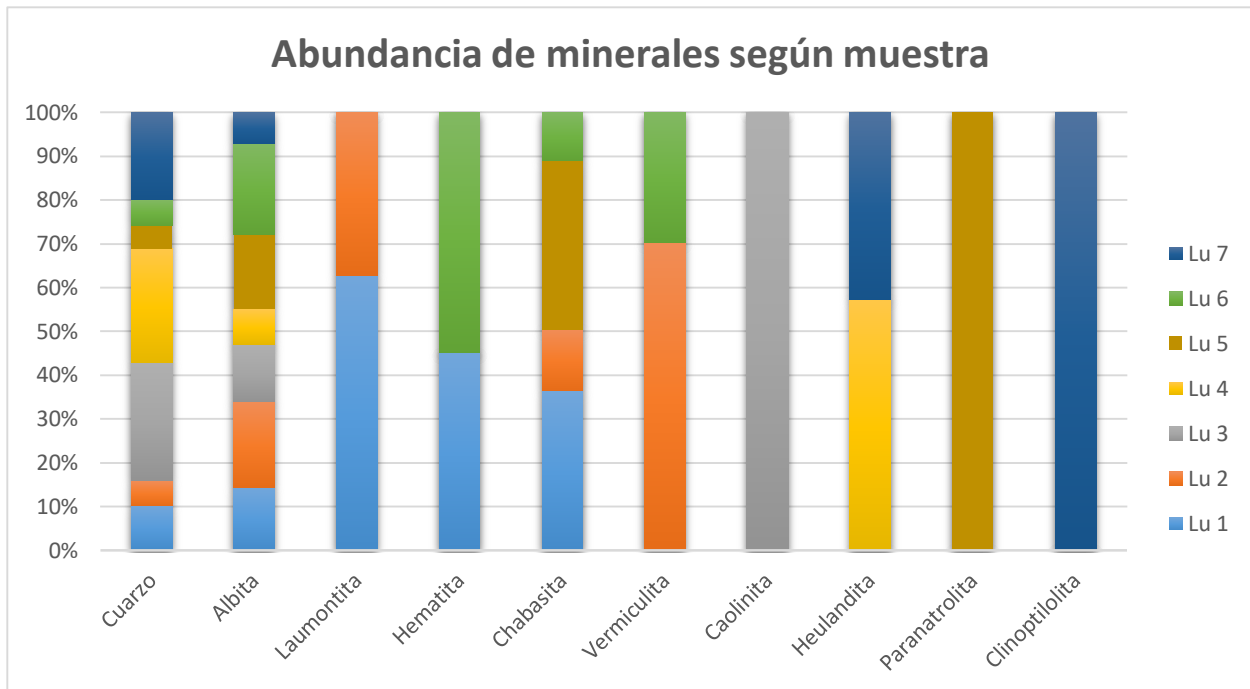


Figura 30: Gráfico de barras en que se muestra con qué porcentaje de mineral aporta cada muestra al total de los mismos.

Una vez normalizada la información, del 100% de cada mineral se observa con cuanto aporta cada muestra, por ejemplo, el 100% de caolinita es aportado por la muestra Lu 3, lo mismo ocurre con la paranatrolita y la clinoptilolita con Lu 5 y Lu 7 respectivamente, es posible contrastar esta información con las observaciones hechas en las presentaciones de cada respectiva muestra.

Dado que las siete muestras trabajadas corresponden a rocas sumamente alteradas y todas ellas son rodados, las principales mineralogías encontradas fueron:

- ✓ **Silicatos: cuarzo y plagioclasa (principalmente)**
- ✓ Arcillas
- ✓ Micas
- ✓ Algunas especies de zeolita
- ✓ Hematita en cantidades menores

Es importante mencionar que durante en análisis a mesoescala de las siete muestras, **no se encontró en ninguna de ellas presencia de minerales magnéticos ni carbonatos.**

También es importante destacar que la presencia de arcillas y especies de zeolitas son una clara señal de la existencia de alteración hidrotermal, es decir, de fluidos calientes que aprovecharon el intenso fracturamiento existente planteado más adelante en capítulo 5 de estructuras, para circular a través de las rocas sumando así un factor más que aporta a la destrucción de las rocas debilitando la estabilidad del sector en general.

5. GEOLOGÍA Y ESTRUCTURAS

5.1. Unidades estratificadas

En zonas aledañas al sector del Cerro Divisadero, aflora parte de una potente sucesión de rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias continentales, la cuál ha sido asignada a la Formación Abanico (Thiele, 1980; Fock, 2005). A continuación, una descripción sumaria de cada una de ellas.

5.1.1. Unidad Volcánica

Formada por una secuencia de estratos cuya génesis es predominantemente volcánico. Aflora a lo largo del área de estudio, como dos franjas de orientación cercana a N-S y en algunos lugares está cubierta por depósitos recientes (Álvarez, 2006).

La extensión de esta unidad sobrepasa los límites del área de estudio siendo su techo, al oeste del Maipo, la actual superficie de erosión mientras que, hacia el este del Maipo, subyace a la unidad volcanoclástica. La geometría de este último contacto no es clara debido a la mal definida estratificación del depósito volcánico, pero parece ser concordante. Numerosos depósitos de escombros de talud, depósitos de remoción en masa y otros depósitos no consolidados se disponen actualmente sobre amplios sectores de esta unidad.

Los estratos expuestos cuentan con grosores métricos, llegando a 20 metros de espesor y están constituidos, principalmente, por lavas porfídicas de composición andesítica y andesítica basáltica, cuyos fenocristales, de tamaños que varían entre 2 y 5 mm. de plagioclasa, se encuentran en una masa fundamental amigdaloidal de diversos colores.

La unidad volcánica presenta lentes de hasta 20 metros de espesor compuestos por brechas volcánicas gruesas, cuyos clastos tienen composición exclusivamente andesítica. Las lavas de esta unidad se encuentran intensamente fracturadas, fuertemente meteorizadas y están afectadas por metamorfismo de bajo grado.



Figura 31: Vista hacia el norte de la Unidad Volcánica en el cual se observa su intenso fracturamiento. Extraído de Álvarez (2006).

5.1.2. Unidad Volcanoclástica

Se trata de una gruesa sucesión de rocas en su mayoría volcánicas con intercalaciones de estratos sedimentarios continentales y depósitos volcanoclásticos (Álvarez, 2006). La potencia del conjunto supera los 1000 metros y su pronunciada topografía destaca fuertemente en el sector por la altura que alcanzan algunas de sus cúspides. Por el oeste limita con la incisión producida por el Maipo, mientras que por el norte limita y sobreyace en forma, aparentemente concordante, a la unidad volcánica (Álvarez, 2006). Tal como se observa en la figura 7, su techo corresponde la actual superficie de erosión.



Figura 32: Vista panorámica mirando hacia el sur de la Unidad Volcanoclástica. Extraído de Álvarez (2006).

La litología de la unidad consiste en brechas volcanoclásticas finas y muy finas, bien seleccionadas, volcarenitas de finas a gruesas, mal seleccionadas, de color rojizo, tobas líticas, lavas andesíticas macizas y brechosas grises de aspecto exterior rojizo con intercalaciones de areniscas gruesas bien seleccionadas y de depósitos de flujos piroclásticos (Álvarez, 2006).

Esta unidad es deformada localmente en su base por algunas estructuras que serán descritas más adelante.

5.1.3. Depósitos no consolidados

4.1.3.1 Depósitos fluvio - aluviales

Se encuentran rellenando principalmente la hoya hidrográfica del río Maipo ya sea como constituyentes principales de grandes terrazas fluvio – aluviales o como productos de depositación en el lecho del río y sus tamaños gradan desde arcillas hasta bloques.

En la actualidad, el material fluvial en depositación corresponde a gravas, con clastos subredondeados de diversos tamaños (desde unos pocos centímetros hasta uno o dos metros de diámetro), no consolidadas con escasa matriz (~10%) de arena, se sitúan tanto en llanuras de inundación como en cauces actuales. Los depósitos fluviales se juntan con depósitos aluviales provenientes de las quebradas aledañas (Álvarez, 2006).

Los depósitos fluviales aterrizados son de carácter polimíctico y están constituidos por gravas arenosas clastosoportadas, con clastos redondeados de diversos tamaños, que en promedio miden unos 20 cm y presentan imbricación.

Los depósitos aluviales se encuentran principalmente, la ladera oeste del valle del río Maipo, encontrándose usualmente, colgados de pequeñas quebradas (Álvarez, 2006). Se encuentran ubicados en el fondo del valle, disponiéndose en forma de conos de bajo ángulo de inclinación, cubriendo o incluso encajándose, en las terrazas fluvio-aluviales. Dichos depósitos se encuentran escasamente cubiertos por vegetación menor, cuando está presente y muestran en sus superficies canales y áreas de inundación activas. Son depósitos de espesor variable y están constituidos por clastos volcánicos angulosos en una matriz arenosa.

4.1.3.2 Depósitos gravitacionales

En el sector de estudio se han reconocido múltiples depósitos asociados a deslizamientos de grandes volúmenes de roca y suelo. Los depósitos actuales se ubican tanto sobre roca como también sobre depósitos gravitacionales más antiguos.

Este estudio, justamente se sitúa sobre depósitos que son producto de un deslizamiento ocurrido en el Cerro Divisadero que estuvo acompañado de flujos de detritos y eventos posteriores de flujos y caídas de rocas.

Las observaciones de terreno indican que la fuente principal de material para la generación de flujos de detritos o rocas se ubica al pie del cuerpo del deslizamiento de 1997, donde hay abundante material disuelto de granulometría variable en alta pendiente. Además, se observan trayectorias de flujos recientes hacia las dos quebradas laterales dentro de las que se enmarca el deslizamiento objeto de estudio.

5.2. Estructuras regionales

El régimen estructural regional dominante en la zona, consiste principalmente en lineamientos de rumbo general aproximado N-S y pliegues asimétricos que presentan rumbo N-NE (Thiele, 1980). Gran parte de estos lineamientos corresponden a fallas inversas de orientación N-NE con vergencia tanto al este como al oeste. Además, es posible observar una secuencia de anticlinales y sinclinales que cada vez se hallan más ajustados y volcados hacia el sector oriental del cordón montañoso de los Andes, evidenciando un mayor grado de deformación hacia el este. Estos pliegues, cuya vergencia está orientada preferentemente hacia el este, forman parte de la Faja Plegada y Corrida del Aconcagua, según Ramos et al (1991).

A escala regional, la deformación está dominada por un pliegue anticlinal cuyo eje, con orientación aproximadamente N-S, coincide con la orientación del Valle del Río Maipo (Ver figura 11).

La totalidad de los afloramientos se encuentran en el flanco este del anticlinal y los estratos van gradualmente horizontalizándose conforme se alejan del eje del pliegue, al menos por el oriente. Baeza (1999), basándose en sus medidas tomadas en terreno, determinó que el eje del pliegue anticlinal, justo al sur de San José de Maipo, tiene un

rumbo de N11E y un manteo de 25SW, es decir, en dicho tramo el pliegue es un anticlinal buzante hacia el sur. Además, ciertas observaciones del mismo autor, establecen que, al norte de San José de Maipo, el eje del mencionado anticlinal miente al norte, de este modo, el presente estudio se estaría desarrollando en una zona de inflexión de eje del pliegue.

Baeza (1999), basándose en sus observaciones de terreno de espejos de fallas y estrías al sur del estero San José, define vectores de desplazamiento según indicadores cinemáticos que le permitieron inferir la presencia de una falla inversa con rumbo aproximado N-S que habría alzado el bloque oriental sobre el occidental (Álvarez, 2006).

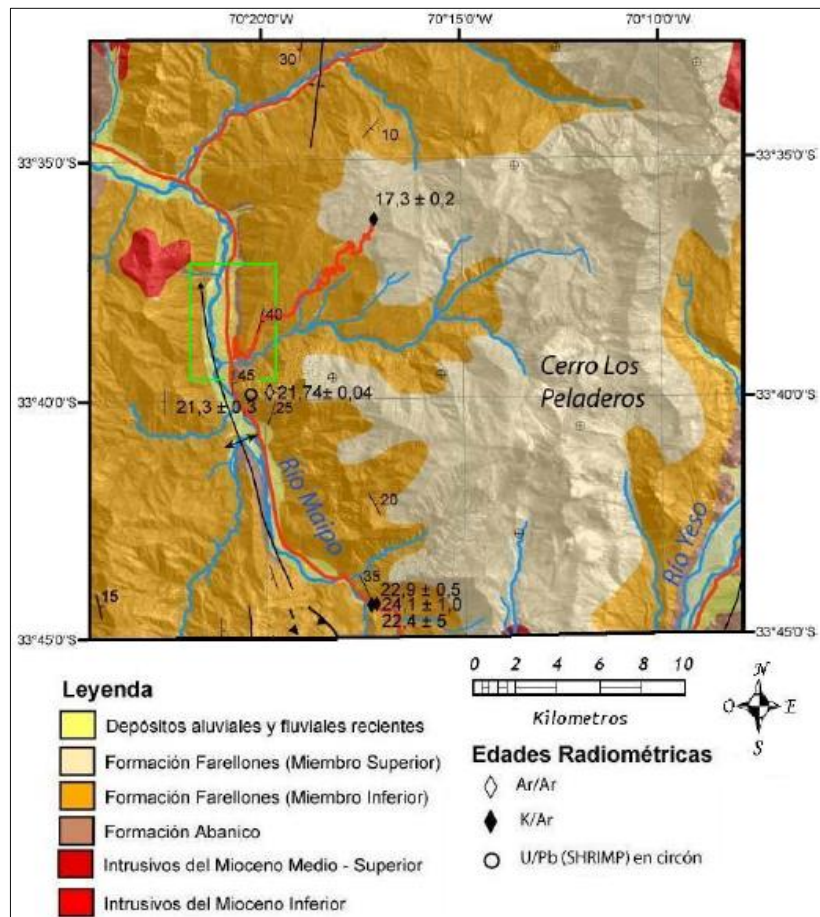


Figura 33: Mapa geológico reproducido de Fock (2005), quien lo extrajo de Thiele (1980), Baeza (1999) y Sernageomin (2002). El rectángulo verde enmarca la zona de estudio emplazada en la Formación Abanico y en el mismo sector se observa que la orientación del eje.

5.3. Estructuras locales

La deformación que se observa a escala local está dominada por el pliegue anticlinal, de escala regional, cuyo eje corre paralelo y desviado levemente al oeste del valle del río Maipo. Lo anterior es evidenciado a través de la observación del desarrollo de pliegues anticlinales asimétricos con vergencia al noroeste que se encuentran expuestos, aproximadamente, en el kilómetro 5 del camino a Lagunillas. Este tren de dos pliegues (Baeza, 1999), deforma una serie volcánica desarrollada sobre una serie de conglomerados que constituyen la base de la Unidad Volcanoclástica mencionada anteriormente. El eje del pliegue se dispone, aproximadamente, con un rumbo norte-sur y miente unos 10° hacia el noreste (Álvarez, 2006).



Figura 34: Vista al norte de un pliegue anticlinal volcado con vergencia al este que aflora al borde del camino a Lagunillas en el km 5. Reproducido de Álvarez (2006).

La evidente congruencia entre la orientación del pliegue anticlinal mayor, que domina la deformación regional, la orientación del tren de pliegues anticlinales, descrito en el párrafo anterior y la orientación de la falla descrita por Baeza (1999), sumado a la

cercanía entre todos los elementos, sugiere que están relacionados genética y temporalmente. El evento compresional que habría formado el anticlinal mayor, pudo generar el tren de pliegues menores. Por otro lado, el contraste de competencia entre la Unidad Volcánica y la Unidad Volcanoclástica, sumado al movimiento diferencial entre las capas al plegarse (flexural slip), habría deformado exclusivamente la unidad superior, plegando y fallando las capas (Álvarez, 2006).

A continuación, se presenta el resumen de las mediciones de rumbo y manteo de estructuras presentes en los afloramientos del Cerro Divisadero.

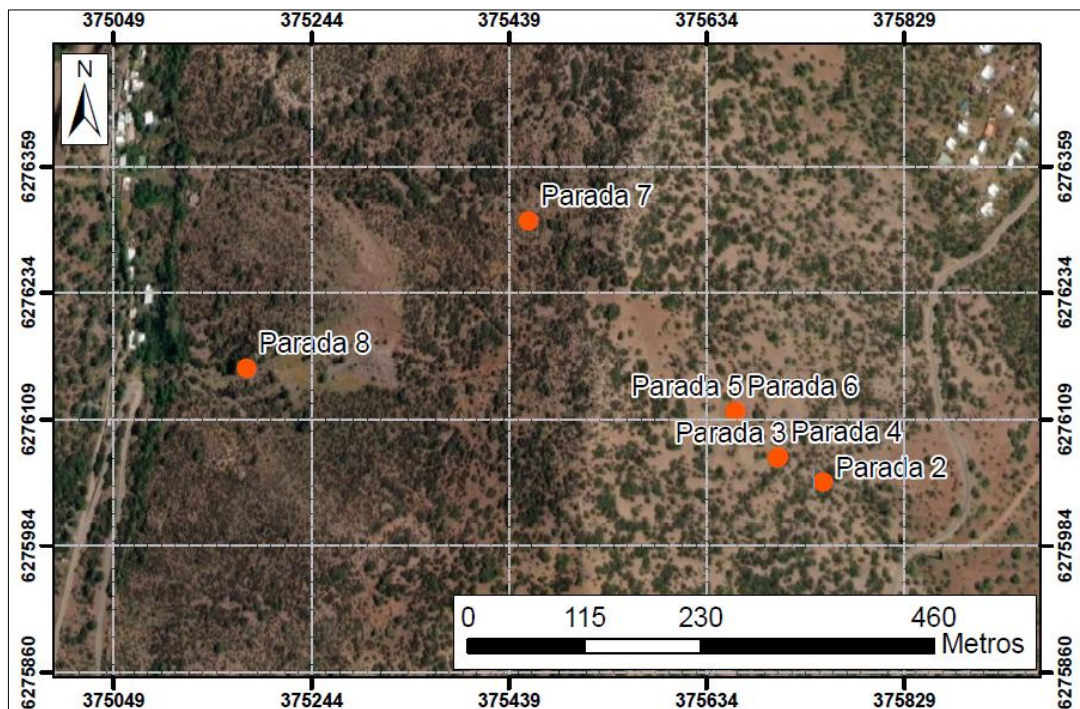


Figura 35: Mapa de puntos de medición de estructuras de rumbo y manteo.

Como se observa en la figura 12, la mayor cantidad de mediciones se concentró en la ladera este del cerro, ya que en ella los afloramientos son más abundantes y de mejor calidad. Sin embargo, en la ladera oeste, casi no se puede acceder a ellos dada la pronunciada pendiente y la gran abundancia de material disgregado. Por lo demás, en la ladera oeste casi no hay afloramientos de calidad como para extraer de ellos datos estructurales certeros.

Parada	Ladera	Coordenada Este	Coordenada Norte	Rumbo	Manteo
1	Este	-	-	N10E	10NW
2	Este	375749	6276048	N10E	10NW
3	Este	375704	6276071	N10E	4NW
4	Este	375705	6276072	N15E	22E
5	Este	375662	6276117	N25E	20NE
6	Este	375662	6276117	NS	2E
7	Oeste	375458	6276305	N20E	20NE
8	Oeste	375180	6276160	N80W	64SW

Tabla 2: Detalle de mediciones estructurales de rumbo y manteo.

Los datos anteriormente presentados fueron ingresados al software Stereonet con el objetivo de obtener así orientaciones preferenciales y tener una vista más en perspectiva de la distribución de las estructuras (Ver anexo N° II).

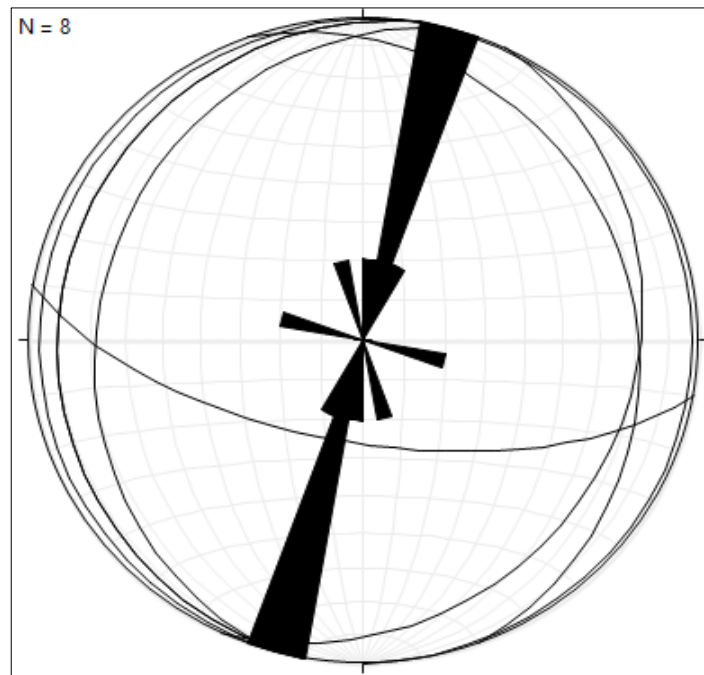


Figura 36: Diagrama de roseta con orientación preferencial de estructuras; NNE – SSW.

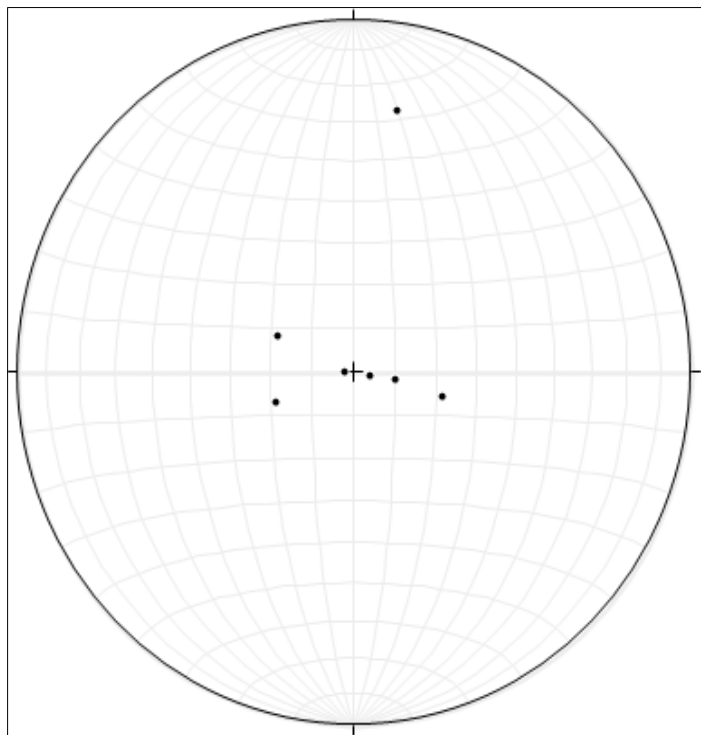


Figura 37: Agrupación de familias de estructuras según la disposición de sus polos.

Al estudiar los resultados obtenidos de estos análisis estructurales, es posible notar que la orientación preferencial planteada en la figura 13, es congruente con las estructuras regionales mencionadas en el apartado 4.2.

En términos globales, se establece que la deformación a escala regional es dominada por un pliegue anticlinal cuyo eje, con orientación aproximadamente N – S, coincide con la orientación del valle del Río Maipo. Además, Baeza (1999) determinó que el eje del pliegue anticlinal justo al sur de San José de Maipo, tiene un rumbo de N11E y un manteo de 25SW. Si se contrastan estos sólidos antecedentes con la orientación preferencial obtenida de las estructuras medidas, es posible notar que los datos recopilados en el campo y las posteriores observaciones, son consistentes con las estructuras de deformación regionales. Si bien, la orientación preferencial es NNE - SSW, sigue los lineamientos de rumbo general N - S planteados por Thiele (1980).

En este caso, el set de datos es muy pequeño como para definir familias de estructuras, sin embargo, en la figura 14, pese a ello, se pueden identificar dos posibles

familias de estructuras en el Cerro Divisadero. Además, cabe notar que, en la ladera oeste, en la cual se ubica el deslizamiento en estudio, las estructuras presentan un cambio de manto con respecto a las de la ladera este (Ver figura 15).

Como se ilustra en la figura 16, existen estructuras menores en la ladera oeste del Cerro Divisadero que mantean siguiendo la inclinación de la pendiente. La permeabilidad que aportan dichas discontinuidades al sistema, sumado al hecho de que en la misma ladera hay abundante material disgregado y en gran parte de la superficie se encuentra material de tamaño limo y arcilla, imprimen al sector un sello de alto peligro geológico.

Cabe mencionar, que se infiere la posible presencia de un pliegue anticlinal cuyo flanco occidental estaría justamente aflorando en la ladera que está siendo objeto de estudio. Este último antecedente, si bien es de carácter regional, es verificable en el campo y viene a consolidar el aspecto de intensa deformación que se ha planteado a partir de los datos recopilados de estructuras menores (Ver figura 16).

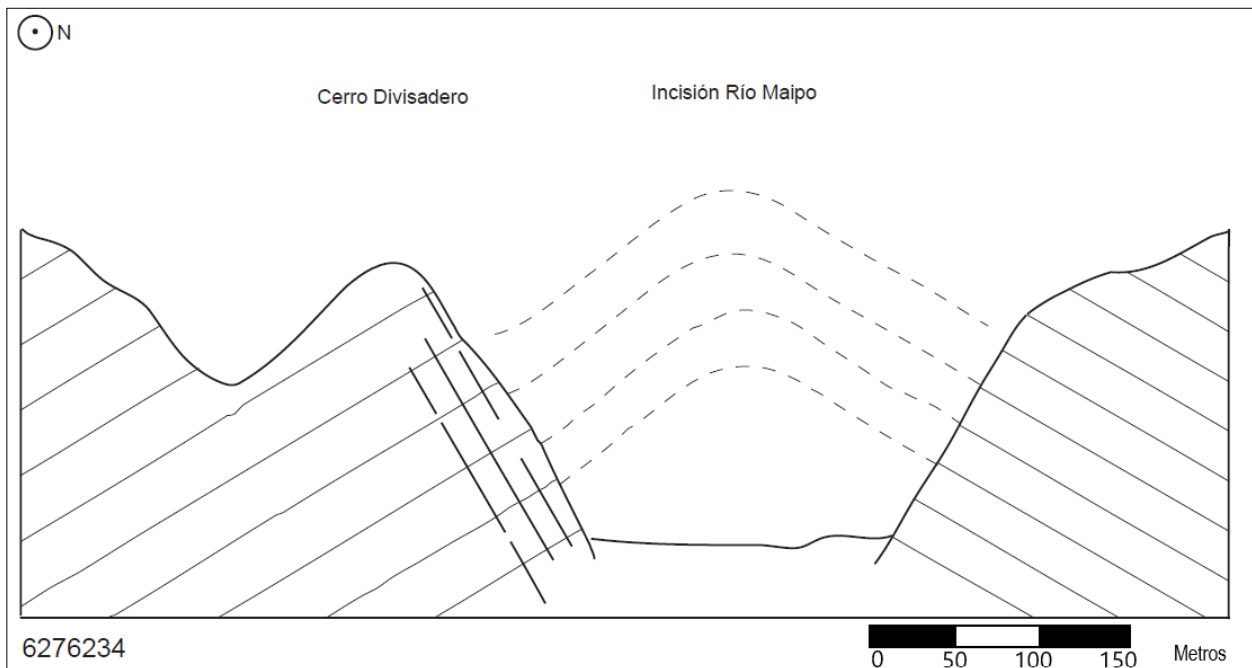


Figura 38: : Esquema transversal del Valle del Río Maipo. Nótese la presencia de estructuras en la ladera oeste del Cerro Divisadero las cuales se encuentran cortando la estratificación.

6. PLUVIOSIDAD Y METEOROLOGÍA

Para establecer factores condicionantes y gatillantes de procesos de remoción en masa, es imprescindible considerar el comportamiento de las precipitaciones del sector en estudio. Para ello, se trabajaron bases de datos de precipitaciones mensuales durante los últimos cuarenta años para determinar patrones de comportamiento, variaciones en las últimas décadas y anomalías en cuanto a precipitaciones caídas en un día, un mes o un año, dado que dichos eventos son los candidatos más probables a gatillar procesos de remociones en masa o aluviones. Sin embargo, antes de analizar el comportamiento de las precipitaciones en sectores tan acotados como lo es una cuenca, un valle o más aún, el Cerro Divisadero, se hace necesario dar una breve mirada a lo que ocurre con la meteorología a nivel regional y qué procesos dentro de este contexto, podrían eventualmente, desencadenar aluviones.

6.1. Condiciones meteorológicas regionales

El clima chileno está regido, entre otros factores, por el comportamiento del anticiclón subtropical, el cual corresponde a una extensa área de la atmósfera en la que el aire desciende y rota en sentido anti horario. Dicho sistema, casi no presenta movimientos verticales, es por ello, que inhibe la formación de nubes y, por consiguiente, de precipitaciones. Lo anterior, establece una fuerte dependencia de esta inmensa masa de aire, ya que, la cantidad de lluvia que se vea caer en Chile, está en relación directa con la posición e intensidad del anticiclón.

Si bien, cada evento de remoción en masa presenta cualidades muy propias del lugar en el que ocurre y de las condiciones de tiempo del mismo, existen factores generales que caracterizan la circulación atmosférica a gran escala durante la ocurrencia de aluviones.

Existe un segundo fenómeno que resulta fundamental en el comportamiento de las condiciones meteorológicas a escala regional y que está en constante interacción con el anticiclón subtropical. Alrededor de los 100°W en latitudes altas, la anomalía anticiclónica representa una condición de bloqueo ante los flujos de aire que llegan al continente desde el oeste que, con un anticiclón debilitado, favorece el desvío de las

trayectorias de aire hacia las zonas centro y norte de Chile (Rutllant y Fuenzalida, 1991; Rutllant et al., 1993) propiciando así la formación de nubes y por lo tanto precipitaciones. Cabe mencionar que en aquellos casos en que la anomalía anticiclónica alcanza magnitudes con características tales para producir aluviones, persiste un par de meses antes de que se desencadene el evento.

6.2. Condiciones meteorológicas locales

La cuenca del Río Maipo se encuentra en una zona de clima templado con precipitaciones medias de 320 mm (Aguas Andinas, 2011), concentradas principalmente en una estación muy corta de invierno, y con una prolongada y seca estación de verano.

Hauser (1985) establece una evidente relación entre las remociones en masa y precipitaciones intensas, las cuales pueden alcanzar más de 60 mm en 24 horas en invierno. El autor señala además, que para el caso de lluvias de verano bastaría con 5 mm/hora de agua caída para gatillar eventos de flujo dado que se estaría ante una escorrentía anormalmente alta en una época en la que habitualmente no ocurren estos eventos. Del mismo modo, precipitaciones de gran intensidad en lapsos cortos de tiempo, como también precipitaciones de mediana intensidad en períodos prolongados de tiempo, pueden ser considerados como factores desencadenantes de flujo (Bravo et al., 2014).

Sabida es la insuficiente información pluviométrica existente en estaciones de la cordillera, lo que impide, en muchos casos, conocer con claridad la precipitación que desencadenó eventualmente procesos de remoción en masa. Pese a ello, en la figura 17 se presenta una transecta sugerida para efectos de este estudio con el propósito de analizar el comportamiento de las precipitaciones a lo largo de ella. Dada la escasez de datos antes mencionada, los datos se trabajaron de forma anual pudiendo desprender de ellos comportamientos generales de cada estación pluviométrica.

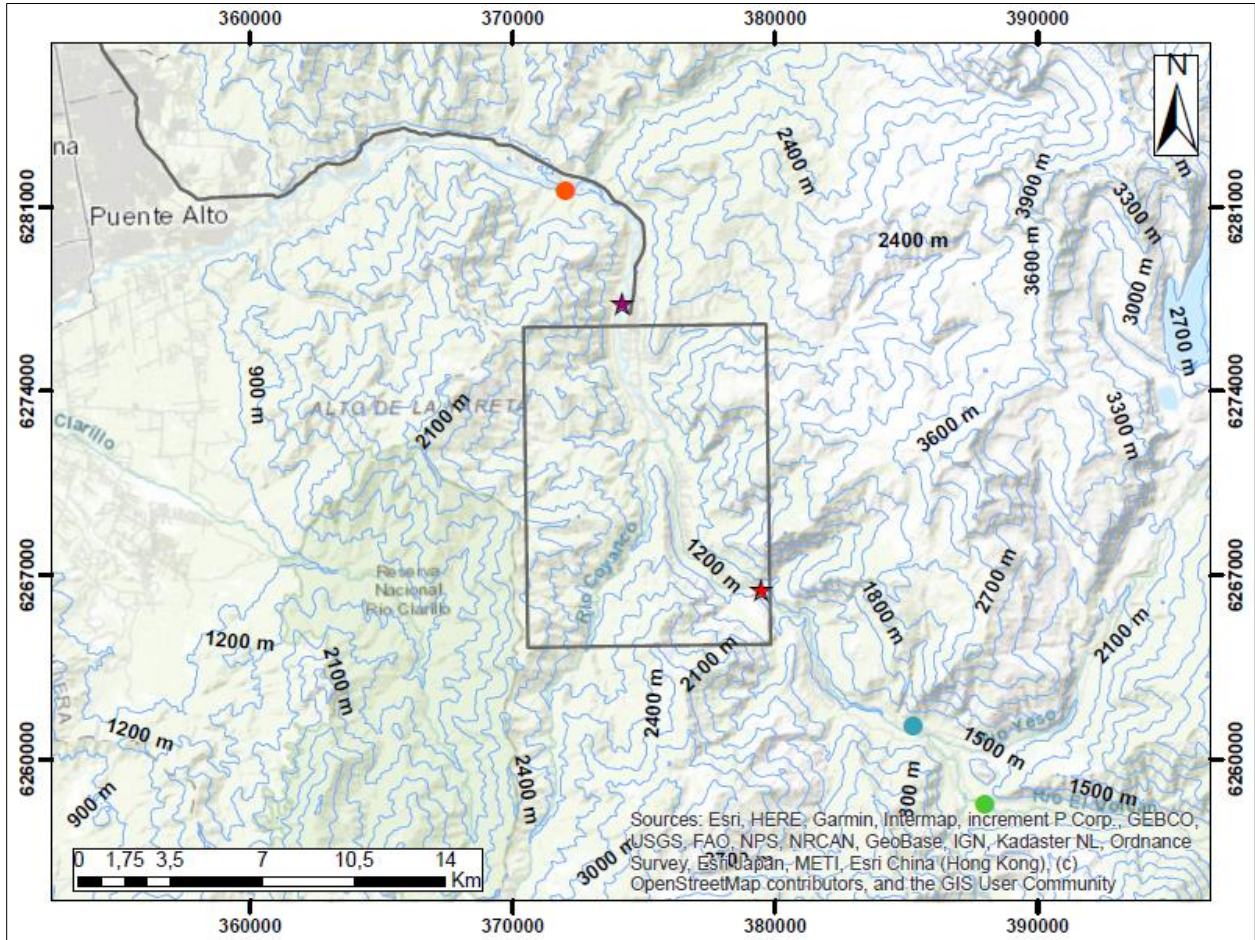


Figura 39: Mapa de estaciones pluviométricas analizadas.

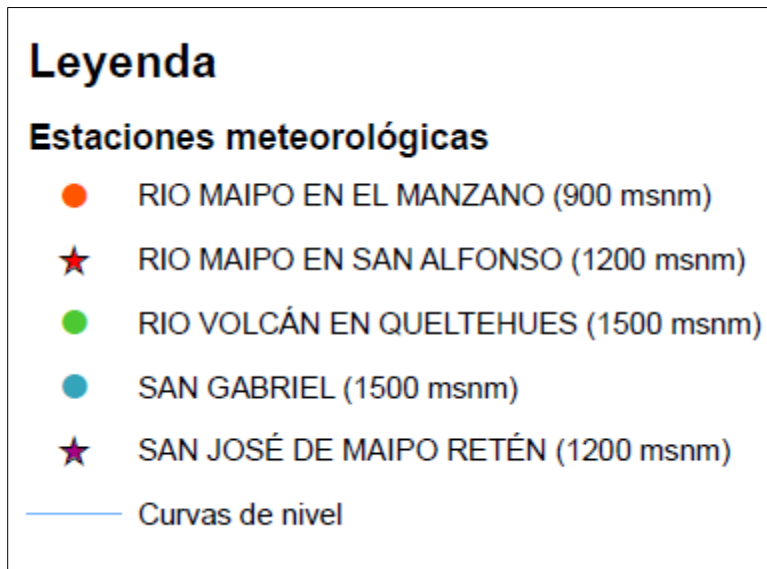


Figura 40: Continuación de imagen 17. Simbología de estaciones meteorológicas.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de bases de datos pluviométricos.

- Río Maipo en el Manzano:

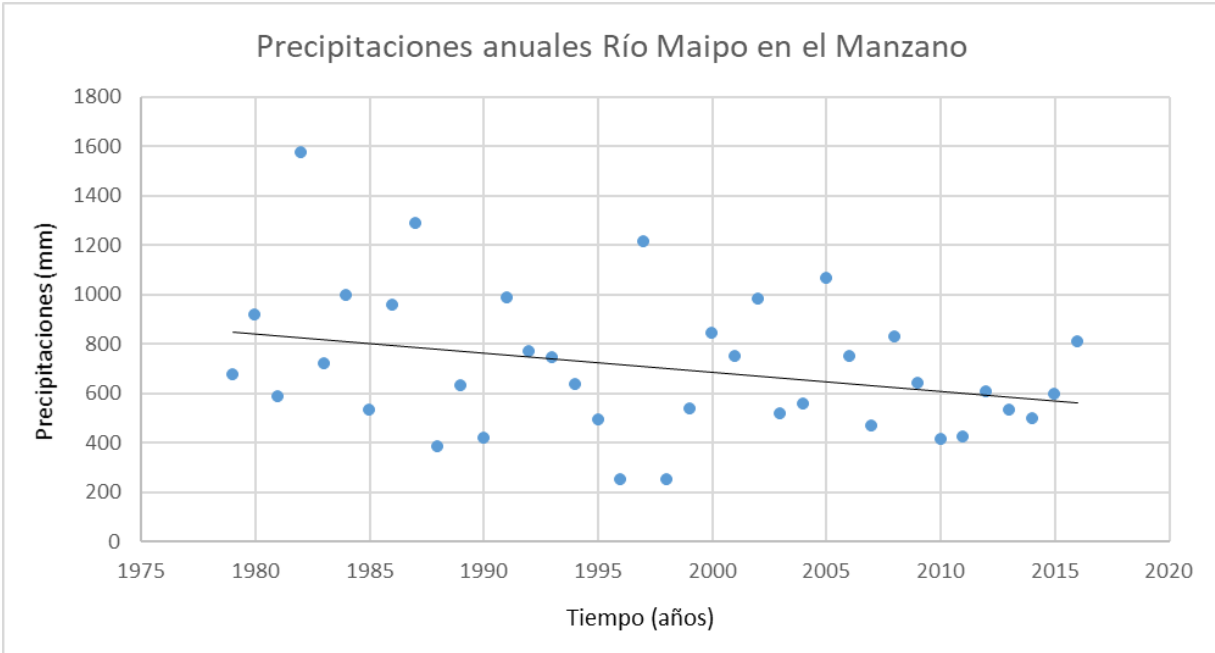


Figura 41: Precipitaciones anuales estación Río Maipo en el Manzano. FUENTE: CR2 CAMELS.

- San José de Maipo Retén

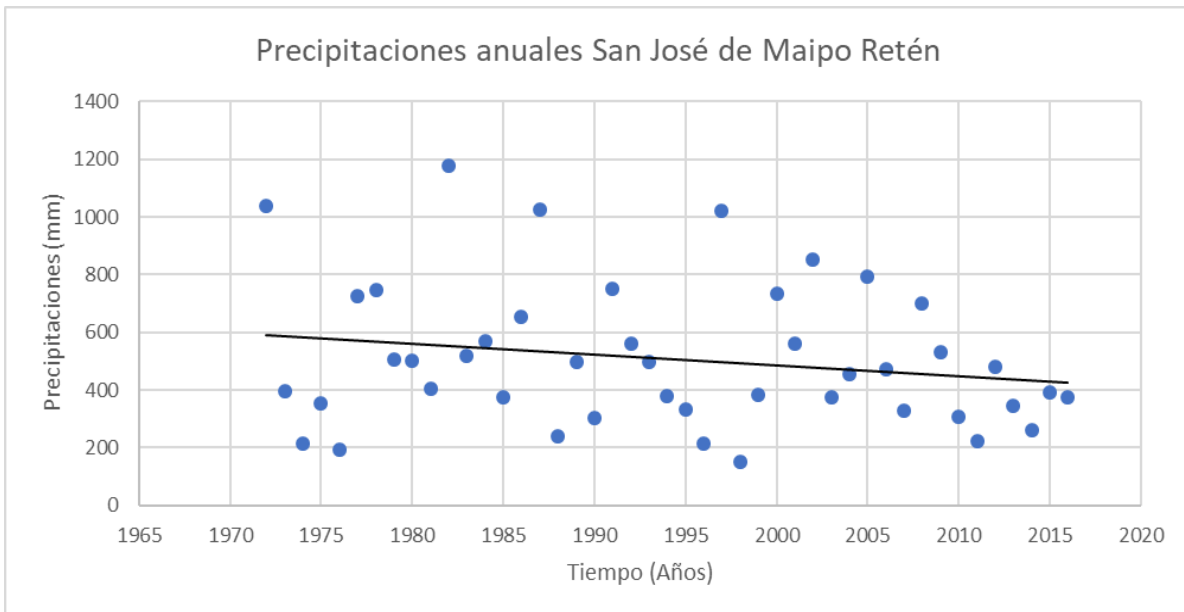


Figura 42: Precipitaciones anuales estación San José de Maipo Retén. FUENTE: DGA.

- Río Maipo en San Alfonso

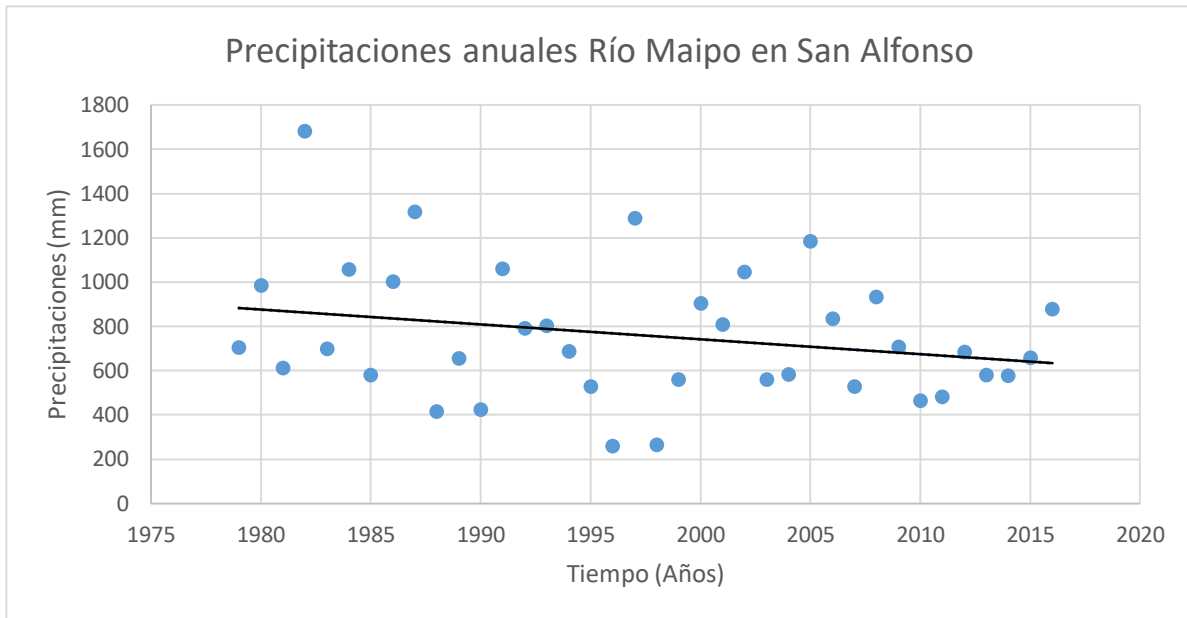


Figura 43: Precipitaciones anuales estación Río Maipo en San Alfonso. FUENTE: CR2 CAMELS.

- San Gabriel

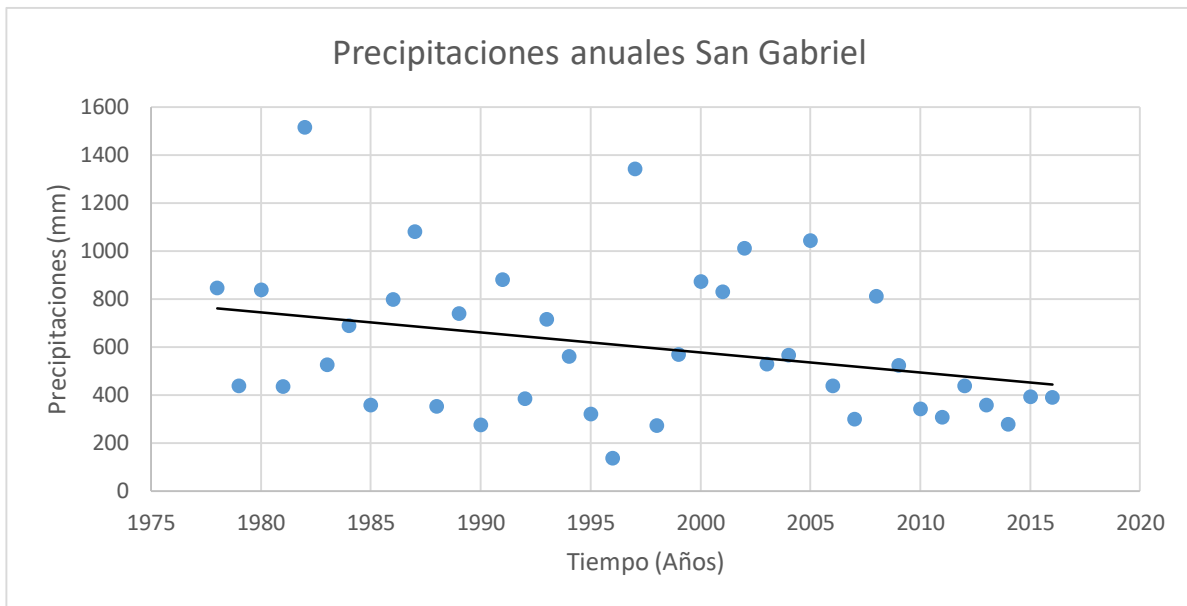


Figura 44: Precipitaciones anuales estación San Gabriel. FUENTE: DGA.

- Río Volcán en Queltehues

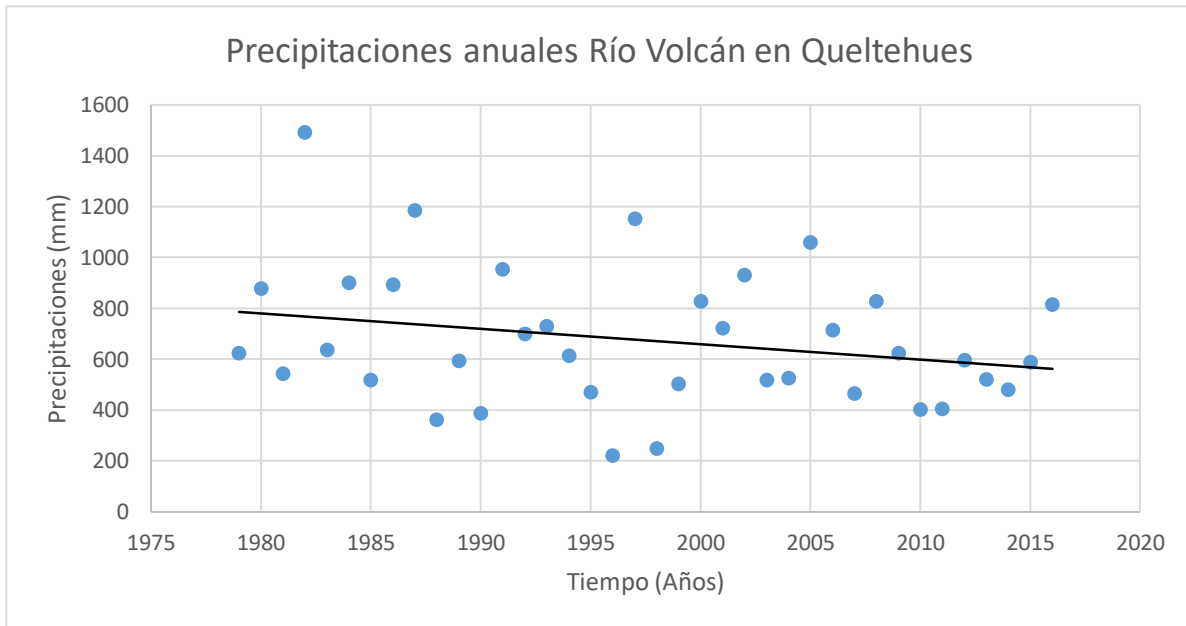


Figura 45: Precipitaciones anuales estación Río Volcán en Queltehues. FUENTE: CR2 CAMELS.

Al respecto de los gráficos presentados anteriormente, se pueden hacer notar varios aspectos:

- El primero es que en las cinco estaciones estudiadas las tendencias son hacia una disminución progresiva de las precipitaciones durante los últimos treinta años. Este hecho cobra relevancia sobretodo en la actualidad, ya que se enmarca dentro de las variaciones climáticas que está viviendo hoy el planeta y producto de lo mismo, los climas tanto regionales como locales están siendo alterados y se hace complejo predecir modelos futuros a partir de los antiguos.
- Durante el año 1982, de las cinco estaciones analizadas, Río Maipo en San Alfonso fue la única que superó los 1600 mm de precipitaciones. Cabe destacar que dicha estación es una de las más cercanas al sector de estudio.
- En 1997, año en el cual ocurrió el deslizamiento que da una directriz a este estudio, se observa que en las cinco estaciones hubo precipitaciones particularmente intensas, todas entre los 1000 y 1400 mm. Además, es importante notar que tanto durante 1995 y 1996 las precipitaciones en las cinco estaciones estuvieron por debajo de los 400 mm mensuales, es decir, lo ocurrido en el año

1997 constituye una anomalía dentro del lustro 1995 – 2000, ya que recién en el año 2000 las precipitaciones mensuales alcanzan o se acercan a los 800 mm. Es más, gráficamente, las lluvias de 1997, marcan un peak en las precipitaciones dentro del lustro mencionado. Este antecedente, cobra suma importancia ya que está en directa relación con el desencadenamiento del deslizamiento de 1997, es más, corresponde al factor gatillante, lo cual es reflejado en los cinco gráficos expuestos anteriormente.

- A lo largo de las 5 estaciones dispuestas en la transecta que sigue el camino de la ruta G-25, es posible observar que, durante el año 1987, es decir 10 años antes de que ocurriera el deslizamiento, también se presentaron precipitaciones particularmente intensas en el sector.
- En las cinco estaciones meteorológicas se observa que el año 2005 fue quizás el último año más lluvioso hasta la fecha con precipitaciones anuales que fluctúan entre los 800 y 1000 mm. Si bien, hay casos en los que se han dado eventos de intensas precipitaciones en años posteriores como es el caso de Río Volcán en Queltehues (800 mm), Río Maipo en San Alfonso (900 mm) y Río Maipo en el Manzano (800 mm), sigue tratándose de casos aislados ya que, como se mencionó anteriormente, la tendencia general es a la disminución de las precipitaciones. Sin embargo, lo observado en las estaciones puede tratarse de un efecto transitorio.
- Posterior al año del deslizamiento (1997), siguió un año de muy escasas precipitaciones para las cinco estaciones, todas bajo los 400 mm.
- Pese a los alcances puntualizados, los cinco gráficos son, en términos generales, homogéneos entre sí, salvo algunos detalles propios del sector en el que se está midiendo.

7. SISMICIDAD

Chile es uno de los países más sísmicos del mundo dada su posición geográfica y su particular disposición en el mapa, la cual implica que abarque una amplia gama de latitudes muy diversas a lo largo del borde continental. Además, se ubica en un límite de placas convergente donde la Placa de Nazca subducta a la Sudamericana siendo este hecho el principal precursor de sismos por subducción en el país. Como consecuencia de esto, se han registrado numerosas pérdidas humanas y materiales producto de terremotos y maremotos y más aún, cuando los sucede un tsunami en el caso de las localidades ubicadas en el borde costero. Frente a esto, resulta sumamente importante conectar dichos eventos con procesos gravitacionales y establecer un vínculo entre estos antecedentes y su posible interacción y participación en procesos de remociones en masa. Es así entonces que este apartado busca establecer conexión entre sismicidad en la zona de Cordillera Principal y su posible aporte a gatillar procesos gravitacionales.

En la zona de estudio los sismos no son precisamente desencadenantes de remociones en masa, sino más bien estas tienen su génesis en la meteorología, es por ello, que la sismicidad se trabajó en un escenario de tectónica activa desde una perspectiva global hasta el contexto Andino que es lo que compete a esta tesis.

Petley (2018), plantea que durante un terremoto, un tercio de las personas fallecidas debe su muerte a la remociones, también establece que mientras mayor sea la magnitud de un terremoto, mayor será la superficie afectada por el mismo, no obstante lo anterior, sentencia que un terremoto que podría considerarse “pequeño”, puede desencadenar remociones en masa muy importantes.

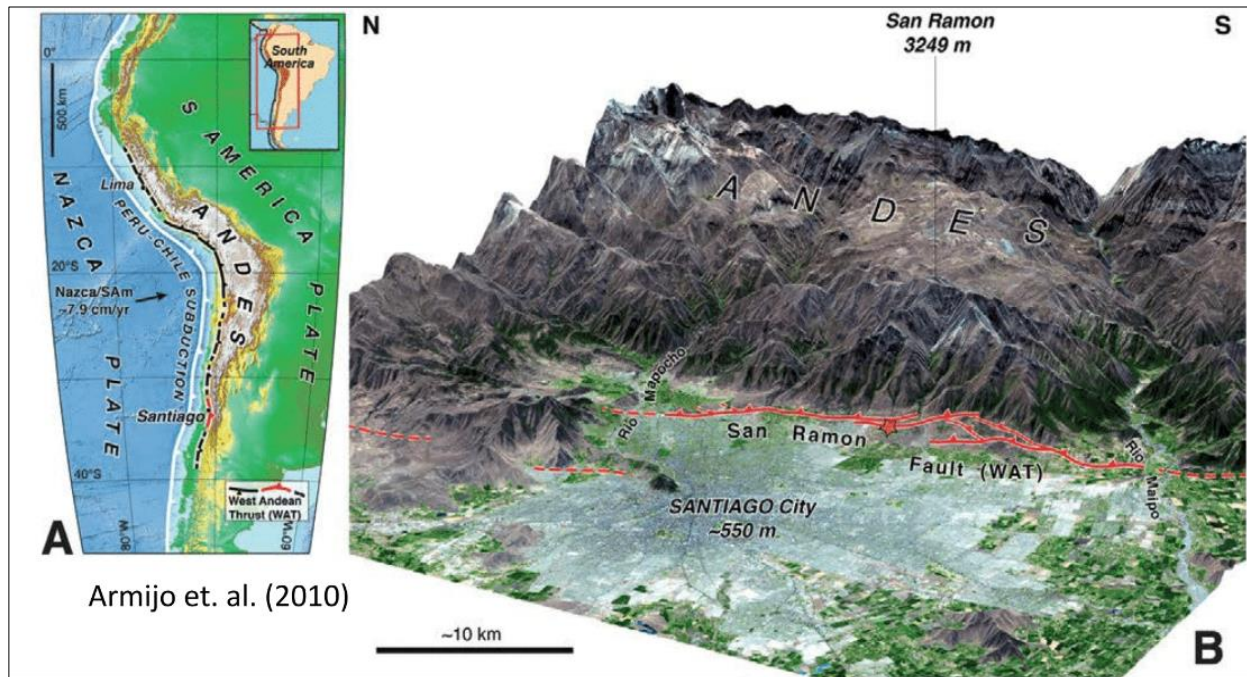
7.1. Sismicidad en un marco de tectónica activa

Dentro del marco de tectónica activa, Petley (2018) puntualiza un antecedente de suma importancia y que puede llegar a ser categórico. Tras exhaustivas investigaciones de numerosos terremotos que han desencadenado remociones en masa alrededor del mundo, concluye que la mayor cantidad de deslizamientos ocurren en el bloque colgante de una falla, sin embargo sentencia que la naturaleza de la falla es clave para determinar

estos comportamientos. Teniendo esto en cuenta, se procede a mencionar elementos estructurales que podrían caracterizar la sismicidad en cuanto a tectónica.

7.1.1. Falla San Ramón

Se trata de una falla inversa activa con vergencia al oeste, situada a lo largo del borde oriental de Santiago al pie de la Cordillera de los Andes (Rebolledo, 2018).



Armijo et. al. (2010)

Figura 46: Esquema de la disposición de la falla San Ramón en el borde oriental de la Región Metropolitana.

Como se observa en la figura 46, en el caso de la Falla de San Ramón, el bloque colgante corresponde a lo que conforma la Precordillera y Cordillera Principal y por su parte Santiago, actúa como pared adyacente. Enlazando esto con lo propuesto por el autor citado, se observa que, en este caso, la premisa sería consistente puesto que la mayor cantidad de deslizamientos efectivamente ocurren en bloque colgante, es decir, en el borde oriental de la región Metropolitana. Ahora bien, aunque los deslizamientos en la zona de estudio sean mayoritariamente desencadenados por lluvias, no obstante la premisa se cumple.

Otras consideraciones relevantes a tener en cuenta, es que la proximidad del terremoto a la superficie de la falla, determinará la densidad del deslizamiento y más aún, los terremotos superficiales generan mayor cantidad de deslizamientos (Petley, 2018). Esto último es clave en el contexto de la falla mencionada, puesto que presenta la salvedad de que se trata de una falla inversa capaz de romper y dislocar la superficie, es decir, el suelo del piedemonte a lo largo del sector oriente de la ciudad, levantando varios metros un bloque respecto de otro en cada terremoto importante (Vargas et al., 2014). Si se contemplan ambos antecedentes relacionados, se constituye un nuevo escenario, es decir, dado que la Falla San Ramón es capaz de romper la superficie, la proximidad de los terremotos a la superficie sería entonces evidente, y por consiguiente, bien podría producir terremotos superficiales o muy cercanos a serlo, que generen a su vez mayor cantidad de deslizamientos. De todos modos, para contemplar la eventual participación de la Falla San Ramón en deslizamientos, es fundamental tener en cuenta el periodo de recurrencia de los sismos producidos por actividad de la falla.

Por último, y considerando que la Falla de San Ramón es activa y tiene la capacidad de romper en superficie, es importante mencionar resultados que ya han sido observados producto de este complejo vínculo en un contexto de deslizamientos como por ejemplo, que siete de los ocho deslizamientos de tierra más grandes tuvieron rupturas de fallas superficiales que pasaron por sus áreas de origen.

7.1.2. Falla inversa inferida por Baeza (1999)

A través de sus observaciones, el autor definió vectores de desplazamiento según indicadores cinemáticos que le permitieron inferir la presencia de una falla inversa con rumbo aproximado N-S que habría alzado el bloque oriental sobre el occidental (Álvarez, 2006).

En contraste con la falla de San Ramón, esta falla inversa sería de menor consideración. Sin embargo, dado que la zona de estudio es sumamente acotada, se contempló como una estructura regional guardando las proporciones. El hecho interesante, es que nuevamente se está ante el escenario planteado por Petley (2018), es decir, existe alzamiento del bloque oriental de la falla, que a su vez corresponde al bloque colgante, es así entonces que el comportamiento de esta estructura es

congruente con el de la Falla de San Ramón. En otras palabras, esta falla está dentro del contexto regional de la Falla San Ramón y su dinámica es consistente con el mismo. Una vez más, las características de la tectónica en la zona de estudio coinciden con lo determinado por el autor. Sin embargo, se desconoce si dicha estructura presenta actividad o no, y, por consiguiente, si pudiese representar algún peligro de deslizamiento gatillado por sismos. No obstante, se mencionan las congruencias tectónicas reconocidas.

En la figura 47, se presenta un mapa que muestra la mayor cantidad de estructuras que fue posible distinguir a partir de la bibliografía consultada. Este mapa, sintetiza la información concerniente a estructuras regionales tanto dúctiles como frágiles.

En primer lugar, se destaca la Falla San Ramón (FSR), como principal estructura regional dentro del contexto tectónico de ese trabajo, cuyo bloque colgante corresponde a la Cordillera Principal.

Por otro lado, se desconoce la ubicación exacta de la falla inferida por (Baeza, 1999), sin embargo (Álvarez, 2006), indica que los vestigios de esta fueron hallados al sur del estero San José. Si bien en el mapa no se observa alguna estructura precisamente contigua al estero hacia el sur, si es posible distinguirlas hacia el sur del estero pero más específicamente, inmediatamente al sur del Río Maipo (Ver figura 47).

Es así entonces que la sismicidad asociada a los procesos de remoción en masa, se califica como un factor condicionante y además muy de segundo plano, no obstante, es muy importante considerar este nexo sismicidad – deslizamientos, dado que al hablar de factores condicionantes y gatillantes es prudente contemplar todas las posibilidades existentes. De todas formas, tal como se observa en el mapa de la figura 47, el frente cordillerano de la Región Metropolitana está de hecho siendo afectado por fallas y estructuras que debilitan toda la zona y que sin duda caracterizan las condiciones tectónicas de la zona de estudio.

8. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE MITIGACIÓN

Este capítulo busca dar una utilidad en concreto al trabajo de tesis, es decir, no sólo se busca establecer factores condicionantes y gatillantes, sino que, además se pretende que este material pueda servir de apoyo para las autoridades o la población civil de la comuna de San José de Maipo ante eventos que lo requieran. Para ello, se sugieren medidas de mitigación y/o corrección puesto que, en cuanto a prevención, sería muy complejo hacer algo en las circunstancias actuales, en primer lugar, porque ya se han desencadenado remociones ante las cuales no se ha contado con los planes idóneos para que los habitantes sepan las acciones a seguir, y porque actualmente, es complejo revertir las condiciones físicas y habitacionales del sector en estudio. Lo anterior dice relación a que los pobladores ya tienen sus viviendas establecidas a los pies del Cerro Divisadero y sería una ardua labor convencer a aquellas personas de evacuar la zona. Es por ello, que en este apartado solo se mencionarán posibles medidas preventivas.

8.1. Medidas de prevención propuestas

Las medidas preventivas han sido determinadas en base a la morfología del deslizamiento y tomando en cuenta la inclinación que éste presenta que es de aproximadamente 45°, también se considera el material disuelto que hace parte del suelo de la superficie de la pendiente que está compuesto por granulometrías muy variables que van desde grandes fragmentos de roca que superan el metro de diámetro, hasta las más finas que llegan a tamaños de limo y arcilla. Sumado a esto, se contempla además que la mineralogía presente en dicho suelo es mayoritariamente de alteración, siendo la más abundante la de arcillas y especies de zeolitas y micas. Todo lo anterior en un contexto de intensa disgregación y meteorización.

Dados los antecedentes anteriores, se presentan las medidas preventivas propuestas en orden de relevancia.

8.1.1. Construcción de muro de contención a los pies de la ladera oeste del Cerro Divisadero.

Una vez analizadas todas las medidas estructurales posibles, se escoge la del muro ya que la pronunciada pendiente de la ladera y, el abundante material disgregado, hacen necesaria una estructura sólida que actúe como barrera para salvaguardar en primera instancia la vida de los pobladores y en segundo lugar las construcciones que están más vulnerables a ser colapsadas por un eventual deslizamiento.

Para que el muro sea de efectiva utilidad debiese cumplir con ciertas características para que resista lo más posible la contención del material que descienda eventualmente de la ladera. Se plantea que el muro aun siendo muy bien diseñado y construido podría colapsar, sin embargo, puede aportar a dar tiempo suficiente para que las personas más vulnerables puedan evacuar oportunamente antes de que el deslizamiento siga su curso con más fuerza aún.

Para una mayor probabilidad de éxito, se podría añadir a la construcción del muro, la excavación de pilas de socalzado para así entregar un soporte estructural al muro vertical, cuyas dimensiones y espaciamiento, debiesen ser determinados por un ingeniero en caso de que se realice la obra. Si las pilas fuesen conectadas entre sí a través de cables gruesos de acero, aportarían tensión al entramado en profundidad, esto provocaría, en caso de que el muro esté susceptible a colapsar, retrasar dicho colapso entregando así algo más de tiempo para reaccionar.



Figura 49: Ubicación sugerida del muro de contención. *NOTA: Las dimensiones del trazado del muro no son consistentes con la escala del mapa, fueron exageradas para efectos de la ilustración.*

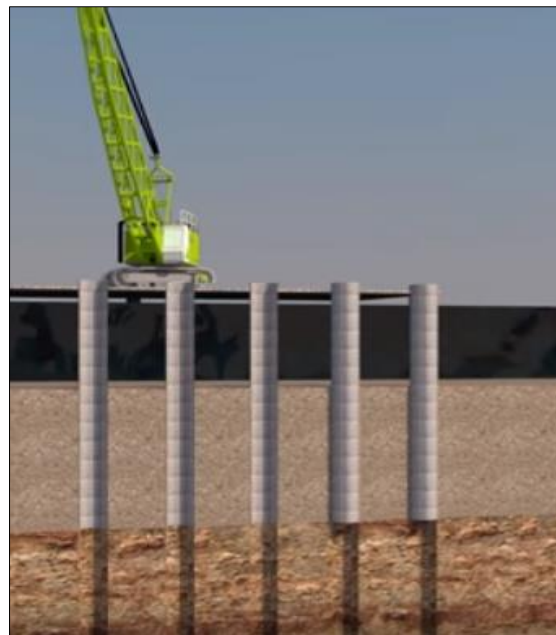


Figura 50: Pilas de socalzado. *FUENTE: RENDER ARQUITECTURA & URBANISMO.*

8.1.2. Reubicación de los pobladores en zonas seguras

Tal como se estableció al inicio del apartado 8, esta medida es una de las menos probables a ser llevada a cabo, dado que sería sumamente complejo convencer a las personas de retirar sus casas del lugar para reubicarse en sectores menos riesgosos geológicamente hablando. Sin embargo, se deja planteada puesto que, como se ha visto a través del tiempo, una de las primeras acciones que ofrecen un peligro geológico es aportar la vulnerabilidad, es decir, la presencia de personas que podrían resultar afectadas frente a algún evento de deslizamiento u otro siniestro. Por esta razón, se sugiere construir cualquier inmueble sobre terrenos aptos para ello y bajo la supervisión de un profesional competente a la labor.

8.2. Medidas de mitigación

A diferencia de las medidas preventivas, las de mitigación se proponen con la intención de que sean consideradas y que no queden simplemente como sugerencias. Estas apuntan a un contexto en el que eventualmente el siniestro ya ocurrió o está ocurriendo y deben gestionarse acciones para evitar pérdidas humanas principalmente.

8.2.1. Confección de un plan de evacuación formal para ser puesto en marcha en caso de deslizamientos

Las medidas de mitigación hacen referencia a la reducción de la vulnerabilidad; la atenuación de los daños potenciales sobre la vida y los bienes causados por un evento geológico. Teniendo esto en mente, es indispensable que exista un documento de este tipo, realizado por los profesionales competentes y que sea de dominio público, principal e idealmente, de la totalidad de la comuna de San José de Maipo y alrededores, como de los turistas que concurren al lugar. Este debiese contemplar por lo menos, los siguientes aspectos:

- Una pauta que indique a la población cuando se está ante un evento que requiera evacuación.
- Metodología que señale como debe hacerse la evacuación, es decir, a qué velocidad desplazarse, qué precauciones tomar, la actitud de las personas al momento de realizarla y todo lo que esté bajo la responsabilidad de las personas mismas para ponerse a salvo.
- Puntos seguros en los cuales refugiarse. Establecer lugares de congregación que estén siempre en capacidad de recibir la mayor cantidad de personas posible, además de contar con sectores asignados para el acopio de víveres y elementos básicos en caso de ser requeridos.
- Capacitación a personas civiles que puedan liderar la evacuación ante un evento.
- Establecer planes de resguardo en colegios, jardines infantiles, salas cuna y centros de salud.
- Difusión de los planes de evacuación. Tanto a la población en general de la comuna, como a las instituciones mencionadas anteriormente. Hacer llegar a ellas láminas y folletos explicativos en los cuales se encuentre toda la información.

En general, los municipios cuentan con algún tipo de plan de evacuación, pero no siempre son difundidos de la manera correcta y, habitualmente, es información que maneja gente menos vulnerable quedando así en riesgo, aquellos que desconocen más la información.

8.2.2. Realización de ensayos del plan de evacuación.

Como ya se hizo alguna vez en la comuna, no sobra la realización de ensayos de forma periódica para que la población se familiarice con los pasos a seguir y sea contemplado como algo habitual, así, al momento de que sea realmente necesario ejecutarlo, se haga de la manera más expedita posible.

8.2.3. Estudios en lóbulos aledaños al estudiado

La utilidad de la implementación de esta medida radica en muchos aspectos. El primero de ellos es que haría posible verificar si las condiciones del sector en estudio son extrapolables a otras zonas de ladera oeste del Cerro Divisadero y de ese modo, parte de los antecedentes que ya se tienen del lóbulo analizado podrían aplicarse a dichas zonas. En segundo lugar y tomando el punto anterior, en caso de que se cumplan las condiciones de susceptibilidad en otros puntos de la ladera, se estaría ante un desafío aún mayor, dado que la fosa de recepción no cubre más que la extensión de la base del deslizamiento estudiado, por lo que los otros posibles sectores susceptibles no contarían con esta medida de mitigación.

8.3. Medidas de corrección

Estas medidas apuntan a mejorar las condiciones del entorno en pro de disminuir los riesgos existentes. Como su nombre lo indica, corregir lo ya presente siguiendo el objetivo planteado en la introducción del capítulo.

8.3.1. Limpieza de fosa de recepción

Si bien esta acción no impide que se frene de alguna manera un deslizamiento, es primordial que cada vez que se ocupe algún porcentaje de su capacidad, el material sea removido a la brevedad posible para que así, ante cualquier evento, la capacidad de la misma esté disponible en su totalidad para recibir material, aunque no sea ocupada completamente.

9. DISCUSIONES

La comparación de los resultados obtenidos en este trabajo se hará con respecto a resultados obtenidos por diversos autores dado que, como se abarcaron varias ramas de estudio, es pertinente contrastar la información obtenida con la ya generada por los profesionales afines en cada área.

9.1. Contraste de resultados

Se realizó la comparación en el mismo orden que se fue presentando la información a lo largo de esta tesis y se detalla como sigue: mineralogía, estructuras, pluviosidad, sismicidad y prevención y mitigación.

En términos mineralógicos, la comparación se realizó con los resultados y observaciones obtenidas por Álvarez (2006). Como se habrá observado a lo largo del análisis de las 7 muestras, es posible observar la presencia de especies de zeolitas, micas y arcillas, esto lleva a concluir que se tiene vasta presencia de minerales que retienen agua. También se desprende que, dada la presencia de dichos minerales de alteración, se está frente a rocas en general blandas con competencias bajas a medianas. Si bien, las rocas fueron recolectadas desde la superficie y corresponden a rodados, entregan importante información acerca de la composición de las rocas de la ladera en estudio.

Si se trata de rocas que, en general, almacenan agua, el escenario a grandes rasgos es un ambiente permeable y con capacidad de ser saturado por la infiltración del agua, factor fundamental en materia de deslizamientos, dado que, el aspecto hídrico es uno de los candidatos más probables a gatillar procesos de remoción en masa como ocurrió en el deslizamiento de 1997.

Además de tratarse de minerales que almacenan agua, debe considerarse que se están estudiando granulometrías finas que fluctúan entre tamaño arena, arcilla y limo, que, en caso de estar saturadas, fluyen fácilmente por la presencia de agua intersticial entre las partículas. Además de la cantidad de agua entre las partículas, debe tomarse en cuenta el ángulo de reposo, el cual aumenta conforme lo hace el tamaño de grano, es decir, las granulometrías más finas presentan ángulos de reposo menores. En el caso

de las arenas finas este ángulo es de 35°, para la arena gruesa 40° y así según corresponda. El hecho es que la pendiente del deslizamiento en cuestión, es de aproximadamente 45° lo cual supera ampliamente los mencionados para las granulometrías presentes, es por ello, la importancia de descubrir la mineralogía presente en las rocas, ya que así se puede asociar a ciertas granulometrías y, por consiguiente, a ángulos de reposo que son fundamentales para efectos de este estudio en términos de deslizamientos, ya que si son superados, se cumple una condición más para gatillar dichos procesos.

Al ser un escenario de elevada alteración y meteorización y, por consiguiente, las granulometrías en la actualidad son principalmente finas, exceptuando los bloques superiores a un metro de diámetro, la superficie del terreno inestable estudiado presenta alta tendencia a permitir la infiltración de agua.

Al tratarse de mineralogía de alteración hidrotermal, es posible inferir la presencia de estructuras que permitieron el paso de los fluidos hacia y entre las rocas para producir dicha alteración. Estructuras que además pueden aportar permeabilidad al sistema volviéndolo menos estable, constituyendo así un factor más que aportaría a desencadenar un eventual deslizamiento.

En cuanto a los aspectos estructurales, dado que Baeza (1999) plantea un buzamiento al norte del eje del pliegue anticlinal regional hacia el norte de San José de Maipo y un buzamiento hacia el sur al sur de la comuna, puede establecerse que la ladera oeste del Cerro Divisadero en su totalidad, se encuentra en una zona de inflexión del eje del pliegue. Además, el deslizamiento está ubicado al norte de dicho eje, donde este miente hacia el norte. Esta intensa deformación, explica en parte la vasta presencia de estructuras menores observadas en el deslizamiento estudiado, contemplando además que este escenario de intenso fracturamiento, se prolonga hacia el norte por la ladera oeste del Cerro Divisadero.

Finalmente, y, teniendo en cuenta los aspectos mineralógicos y estructurales se sustenta una de las aristas de la hipótesis que dice relación con la presencia de estructuras y su aporte actual a la infiltración del agua, no sólo porque imprimen porosidad y permeabilidad, sino también porque permitieron el paso de fluidos que

produjeron alteración. Con esto último, se propició entonces la generación de nuevas texturas y granulometrías que permiten infiltración de agua o incluso en algunos casos saturación de la misma.

Tal como lo han venido vaticinando los estudios climatológicos de los últimos 20 años, Chile enfrenta un complejo escenario dado que está ante un aumento sostenido de la temperatura y una disminución progresiva de las precipitaciones en toda su variada segmentación latitudinal (CONAMA, 2006). Los gráficos generados de las cinco estaciones pluviométricas escogidas, ilustran este fenómeno de manera evidente. Además, tal como lo indica CONAMA (2006) y los resultados obtenidos, se evidencia una prolongada temporada seca luego de lluvias intensas en periodos cortos de tiempo.

Establecido lo anterior, se consolida entonces la primera arista de la hipótesis planteada, ya que efectivamente el deslizamiento del año 1997 coincidió con precipitaciones intensas que fluctuaron entre los 1000 y los 1400 mm/año, es decir uno de los factores gatillantes corresponden, en efecto, a potentes lluvias. Sumado a lo anterior, existen sólidas evidencias obtenidas de otras localidades del sector preandino, que muestran un escenario muy similar al de el sector en estudio que terminan por fortalecer el hecho de que las precipitaciones intensas son sin lugar a dudas un factor gatillante de deslizamientos. Incluso sentencian que se comprueba una evidente relación entre remociones con precipitaciones intensas (Bravo, M., Flores, R., Galindo, R., Garreaus, R., Muñoz, E., Serey, A., Viale, M., 2014) como las observadas en el sector en estudio. De este modo y, dado que el deslizamiento de 1997 fue gatillado por lluvias, debe considerarse este factor como el primero y más importante en el futuro.

Con respecto a la sismicidad, efectivamente se establecen vínculos entre sismicidad y deslizamientos. Sin embargo, se logró a través de la asociación de la tectónica activa presente a macroescala en la zona y no mediante análisis de datos sísmicos como se planteó en los albores de la investigación. Dado lo anterior, se analiza la sismicidad con respecto a los resultados obtenidos por Petley (2018) debido a que el autor recopiló una serie de antecedentes sísmicos de terremotos y megaterremotos del mundo desprendiendo conclusiones supremamente contundentes que se llevan al contexto andino. Por otro lado, en el caso de la falla inferida por Baeza (1999), se

desconoce si la estructura presenta actividad en la actualidad por lo que no se puede proponer como un peligro o un elemento aportante a producir sismos que gatillen un deslizamiento. En caso de tratarse de una falla activa, el escenario cambiaría considerándola así una falla de alta peligrosidad.

Es así entonces, que la última arista de la hipótesis se sustenta, puesto que según lo dispuesto por Petley (2018), las características de zona de estudio son consistentes con lo que el autor evidencia. Por otra parte, aunque los sismos no sean protagonistas en el desencadenamiento de deslizamientos en la zona de estudio, en caso de que las estructuras mencionadas en el capítulo 7, llegasen a entrar actividad, si constituirían muy condicionalmente, un factor gatillante de procesos de remoción en masa.

Con respecto a lo último, se deja la recomendación hecha a estudiar actividad de las estructuras mencionadas a fin de robustecer esta rama de estudio que vincula los deslizamientos a sismos.

En lo respecta a las medidas preventivas y mitigadoras es menester considerar que al hablar de riesgos geológicos y prevención – mitigación, se debe considerar que en general se cuenta con baja certeza de lo que pueda llegar a ocurrir ya que está muy sujeto a las magnitudes de los eventos, pero también indiscutiblemente a la participación de todos los entes involucrados, autoridades, población y equipos profesionales, ya que de ellos depende el éxito o fracaso de los planes planteados. Dentro de las dificultades detectadas, la primera es que *a priori*, es complejo, en el caso de la construcción del muro, establecer dimensiones sin contar con todas las herramientas necesarias. Sin embargo, eso sería trabajo que corresponde al eventual profesional a cargo en caso de que se llegase a iniciar un proyecto tal.

En síntesis, en la zona de estudio, el factor meteorológico es el principal, constituye la base del desencadenamiento de un deslizamiento, no obstante su ponderación, las condiciones terrenales son determinadas por los factores mineralógicos, estructurales y en último lugar podrían ser sísmicos.

9.2. Limitaciones del estudio

La primera problemática encontrada, es el peligro en concreto que ofrece la zona de estudio. Esto implica el alto riesgo que se corre al trabajar en terreno sobre una superficie tan inestable, incluso poniendo en riesgo la integridad física de todos los asistentes. Sumado a lo anterior, la evidente peligrosidad de trabajar sobre un deslizamiento, implica que la recolección de muestras se vea dificultada ya que la zona es de muy difícil acceso. Por ello, debe existir conformidad con las muestras que es posible tomar y no con las que se quisiera contar. Es decir, debe haber una amplia capacidad de adaptación a las condiciones de trabajo.

En el caso de la obtención de datos meteorológicos, la mayor dificultad alude a la ya conocida escasez de datos, lo cual conduce a fuentes poco confiables y a la pérdida de tiempo que se emplea buscando datos certeros.

Para el caso de la sismicidad, se tornó complejo establecer un vínculo sólido entre sismicidad y deslizamientos, sin embargo, como es natural en geología, todas las especialidades están ligadas de una u otra forma.

En cuanto a las medidas de prevención, la gran problemática es que a priori, es complejo, en el caso de la construcción del muro de contención, establecer dimensiones sin contar con todas las herramientas necesarias. Sin embargo, eso sería trabajo que corresponde al eventual profesional a cargo en caso de que se llegase a iniciar un proyecto tal. Contemplando esto último, y dado que, la geología no involucra todos los conocimientos necesarios para un estudio de esta envergadura, fue necesaria la consulta con profesionales afines.

10. CONCLUSIONES

El lóbulo presente en la ladera oeste del Cerro Divisadero, constituye un peligro geológico inminente dado que corresponde a un deslizamiento y además a una zona inestable susceptible a deslizar. Asumiendo entonces que lo anterior constituye una realidad, se formuló un problema de estudio que busca establecer factores condicionantes y gatillantes de procesos de remociones en masa. Para dar respuesta a la problemática planteada y, para consolidar la hipótesis propuesta, se abarcaron diferentes ámbitos de estudio a partir de los cuales se construyó la solución al problema planteado.

La mineralogía tanto primaria como de alteración, presente en el terreno inestable, representa vehementemente un escenario propicio a fracturarse, a almacenar agua y a disgregarse. Las unidades estratificadas que afloran aledañas al sector de estudio presentadas en capítulo 5, están compuestas de una potente sucesión de rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias continentales que, tal como su naturaleza lo refiere, presentan porosidad y tendencia a fracturarse y con ello permiten el almacenamiento y transporte de agua y gases. Por otra parte, las intensas precipitaciones observadas en el sector durante los meses invernales, no sólo son capaces de ocupar dichos espacios en los sectores más superficiales mediante la infiltración, sino que también, el agua actúa como agente de transporte de material superficial. Siendo esto así, se desprende que, si se cuenta con el medio (rocas) que actúa como receptor y transportador de fluidos y además con el basto aporte de los mismos desde la atmósfera, se cuenta entonces con los componentes esenciales que entre otros conforman un conjunto de factores condicionantes y gatillantes.

Por su parte, los aspectos sísmicos planteados en el capítulo 7, imprimen al escenario estudiado un carácter más regional, correlacionando así lo que ocurre en un sector muy acotado como es el Cerro Divisadero, con estructuras regionales y el contexto andino. Además, dado que las características estructurales regionales de la zona de estudio, son congruentes con los escenarios mencionados por Petley (2018), este apartado viene a completar satisfactoriamente el conjunto de factores condicionantes y gatillantes que se propuso.

Se establece entonces que a partir de todos los resultados obtenidos y de lo discutido, la hipótesis planteada si satisface la respuesta al planteamiento del problema, calificando así, como factores condicionantes la sismicidad, la mineralogía y la presencia de estructuras. Así mismo, cataloga como único y principal factor gatillante la prominente pluviosidad presente en la zona.

En cuanto a sugerencias, la principal recomendación tiene relación con lo propuesto en el capítulo 8 y alude a fomentar la participación activa por parte de las autoridades con respecto a los temas tratados en este estudio. En una comuna como San José de Maipo, que se ubica en la Precordillera y está sujeta a un alto índice de riesgos geológicos, es fundamental que exista una amplia difusión de la información además de estimular a todos sus habitantes a querer aprender cada vez más acerca de lo que ocurre en su comuna y, por consiguiente, todos cuenten con más herramientas ante un evento. Para ello, debiese existir un trabajo en conjunto entre la comuna, sus autoridades y la comunidad científica. De ser necesario o requerido el aporte intelectual de equipos de geólogos o profesionales afines, se deja planteada la posibilidad de seguir indagando aún más en estos temas siempre y cuando así lo indique o requiera la autoridad de turno.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, R. (1999). Depositación y deformación de la secuencia volcánica terciaria en el sector cordillerano de Pata del Diablo, Cajón del Maipo. . Memoria de título. Departamento de geología. Universidad de Chile.
- Álvarez, M. (2006). Factibilidad de utilización de técnicas geofísicas en estudios de fenómenos de remoción en masa. Caso: deslizamiento de San José de Maipo. Santiago, Chile: Memoria de título. Departamento de Geología. Universidad de Chile.
- Andinas, A. (2011). Plan General de producción y Transporte Grupo Aguas 2011. Santiago, Chile.
- Araneda, M. A. (2000). Modelo gravimétrico de la Cuenca de Santiago, etapa III final. Actas IX Congreso Geológico Chileno.
- Baeza, O. (1999). Análisis de litofacies, evolución depositacional y análisis estructural de la Formación Abanico en el área comprendida entre los ríos Yeso y Volcán, Región Metropolitana. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 119 p.
- Bravo, M., Flores, R., Galindo, R., Garreaus, R., Muñoz, E., Serey, A., Viale, M. (2014). Determinación de posibles impactos en la gestión de los abastecimientos humanos de agua situados en la zona metropolitana de Chile, provocados por fenómenos asociados al cambio climático.
- Bustamante, M. A. (2001). El contacto entre la Formación Abanico y las unidades mesozoicas, valle del río Volcán, Región Metropolitana. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 54 p.
- Charrier, R. B. (2002a). Evidence for Cenozoic extensional basin development and. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 15, p. 117-139.
- Charrier, R. P. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. En R. P. Charrier, *Geology of Chile* (págs. 21-114). (Geological Society Special Publication).
- Chiu, D. (1991). Geología del relleno cuaternario de las hoyas de los ríos Yeso, Volcán y Maipo. Región Metropolitana. Memoria de título. Departamento de Geología. Universidad de Chile.
- CONAMA. (2006). Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Santiago, Chile: Departamento de Geofísica, Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Universidad de Chile.

- F., F. (2004). Petrología y metamorfismo de muy bajo grado de unidades volcánicas oligoceno-miocenas en la ladera occidental de los Andes de Chile Central (33° S). Tesis de doctorado, Departamento de Geología, Universidad de Chile. 398 p.
- Fariás, M. C. (2008). Late Miocene high and rapid surface uplift and its erosional response in the Andes of central Chile (33°-35°S).
- Fock, A. (2005). Cronología y tectónica de la exhumación en el neógeno de los Andes de Chile central entre los 33° y los 34°S. . Santiago, Chile: Tesis para optar al grado de magíster en ciencias, mención Geología. Departamento de Geología. Universidad de Chile.
- Fuentes, F. V. (2000). Geology and geochemistry of Tertiary volcanic rocks from the Cuesta de Chacabuco area. Actas IX Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas, Vol. 2, p. 21-25.
- Gana, P. a. (1997). Evidencias geocronológicas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y K-Ar de un hiatus Cretácico Superior-Eoceno en Chile Central (33°-33° 30' S). Revista Geológica de Chile, Vol. 24, N° 2, p. 145-163.
- Godoy, E. Y. (1999). Inversion of an Oligocene volcano-tectonic basin and uplifting of its superimposed Miocene magmatic arc in the Central Chilean Andes: first seismic and gravity evidences. Tectonophysics, Vol. 306, N° 2, p. 217-236.
- Hauser, A. (1985). Flujos de barro en la zona preandina de la región Metropolitana: Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. Revista Geológica, 24: 75-92 .
- Llambías, E. J. (2003). The Choiyoi Group from central Argentina: a subalkaline transitional to alkaline association in the craton adjacent to the active margin of the Gondwana continent. Journal of South American Earth Sciences, vol. 16, p. 243-257.
- Nyström, J. V. (2003). Tertiary volcanism during extension in the Andean foothills of central Chile (33° 15' -33° 45' S). GSA Bulletin 115(12):1523-1537.
- Ormeño, A. (2006). Geodinámica de la hoya hidrográfica del río Maipo en la zona cordillerana de la Región Metropolitana: Implicancias neotectónicas. Tesis de Magister. Departamento de Geología. Universidad de Chile.
- Petley, D. (enero de 2018). Seminario "Remociones en masa y tectónica activa: Desde una mirada global hasta el contexto Andino". Landslides in active tectonic environments. Santiago, Chile.
- Rebolledo, S. (enero de 2018). Seminario "Remociones en masa y tectónica activa: Desde una mirada global hasta el contexto andino". San Ramón Fault. Santiago, Chile.

- Rissetto, U. (2015). EVOLUCIÓN DEL BORDE OCCIDENTAL DE LA CUENCA DE ABANICO EN EL EXTREMO SUR DE SANTIAGO (33°36'S – 33°58'S), CHILE. Santiago, Chile: Memoria para optar al título de geólogo, Universidad de Chile. 119 p.
- Rivano, S. G. (1990). Redefinición de la Formación Farellones en la Cordillera de los Andes de Chile Central (32°-34° S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 17, N° 2, p. 205-214.
- Rullant, J. y. (1993). Análisis comparativo de aspectos atmosféricos para los eventos de El Niño/ Oscilación del Sur de 1982-83, 1986-87 y 1991-92. *Invest. Pesq. (IFOP-CHILE)* 37, 45-54.
- Rutllant y Fuenzalida, J. y. (1991). Synoptic aspects of the central Chile rainfall variability associated with the Southern Oscillation. *International Journal of Climatology*. 11, 63-76.
- 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, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 154 p.
- Sellés, D. (2000). La relación discordante entre las Formaciones Abanico y Las Chilcas en la localidad de Angostura: implicancias regionales. *Actas IX Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas, Vol. 1, p. 555-558.*
- Sellés, D. y. (2001). Geología del área Talagante - San Francisco de Mostazal: Regiones Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'higgins. SERNAGEOMIN, 30 P, 1 mapa.
- SERNAGEOMIN. (2003). MAPA GEOLOGICO DE CHILE: VERSION DIGITAL. PUBLICACION GEOLOGICA DIGITAL, No. 4, 2003 CD-ROM, versión 1.0, 2003 . Santiago, Chile: Servicio Nacional de Geología y minería.
- Thiele, R. (1978). Hoja Santiago. Carta geológica de Chile N°39. Santiago, Chile: Instituto de investigaciones geológicas.
- Thiele, R. (1980). Hoja Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile N° 29, 21p.
- Thomas, H. (1958). Geología de la cordillera de la costa entre el Valle de la Ligua y la Cuesta de Barriga. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Geológicas. Boletín N°2, 86 p.
- Vargas, G. (2014). Probing large intra-plate earthquakes at the west flank of the Andes. *Geology*, doi:10.1130/G35741.1.
- Vergara, M. L. (1993). Geothermal-type alteration in a burial metamorphosed volcanic pile, central Chile. *Journal of Metamorphic Geology*, N° 11, p. 449-454.

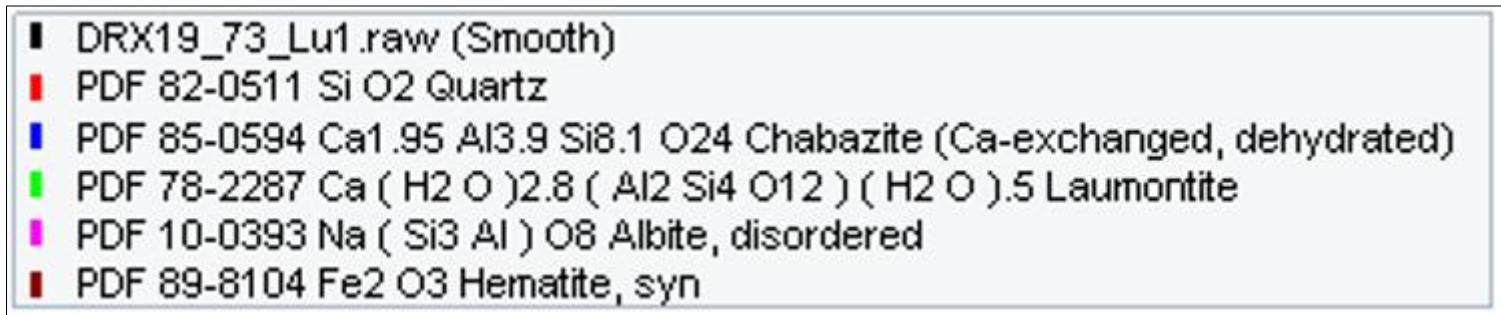
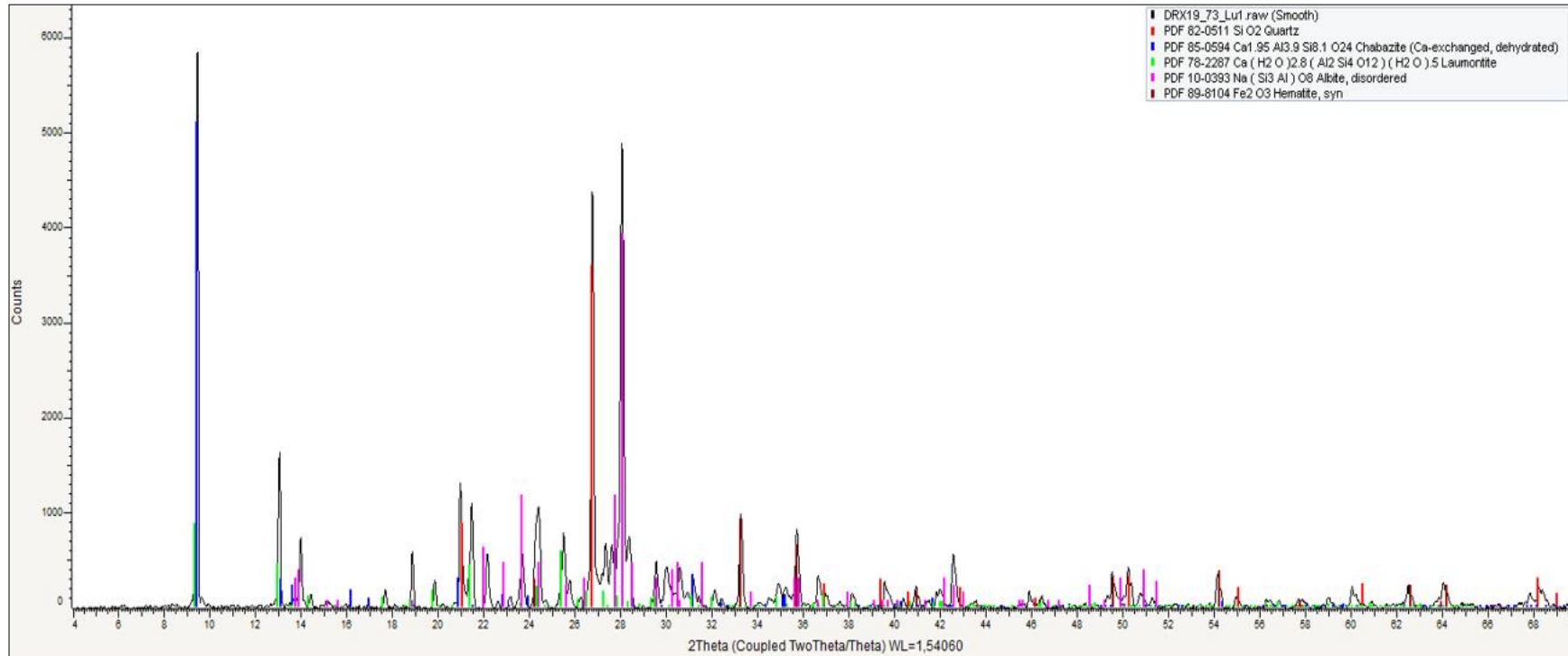
- Villarroel, R. V. (1988). La Formación Abanico en el área de los cerros Abanico y San Ramón, Cordillera de Santiago. Actas V Congreso Geológico Chileno, Santiago, Vol. 1, p. A327-A337.
- Wall, R. S. (1999). Área Til Til-Santiago, Región Metropolitana. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas geológicos N° 11, escala 1:100.000, 1 anexo,.

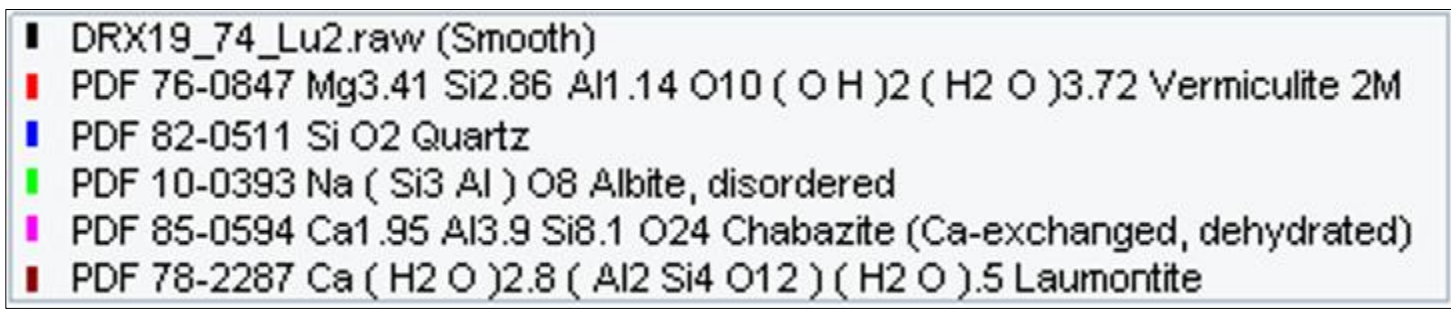
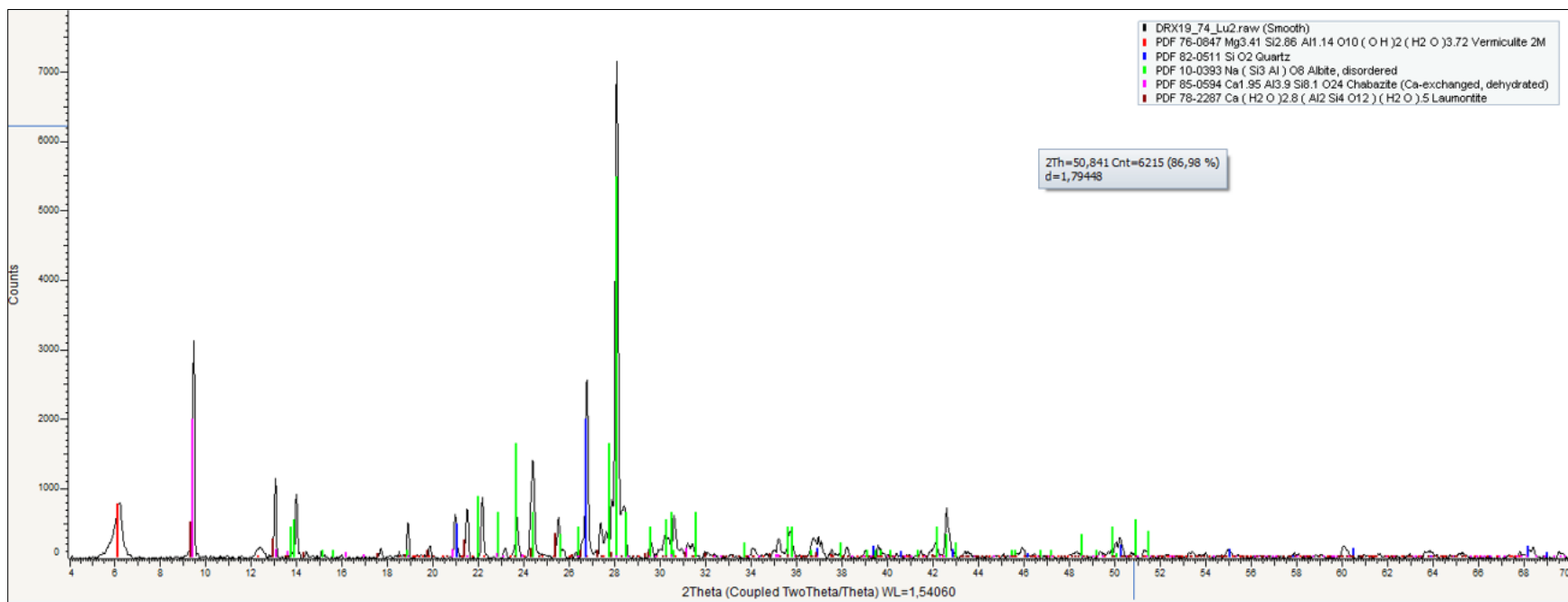
12. ANEXOS

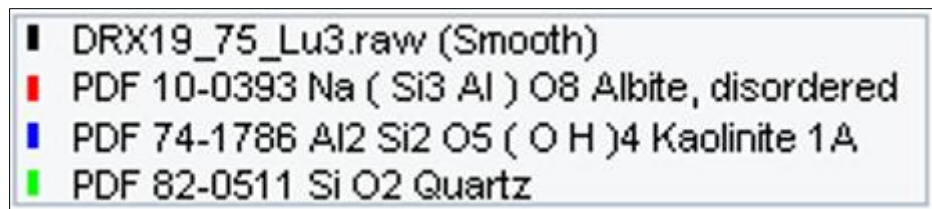
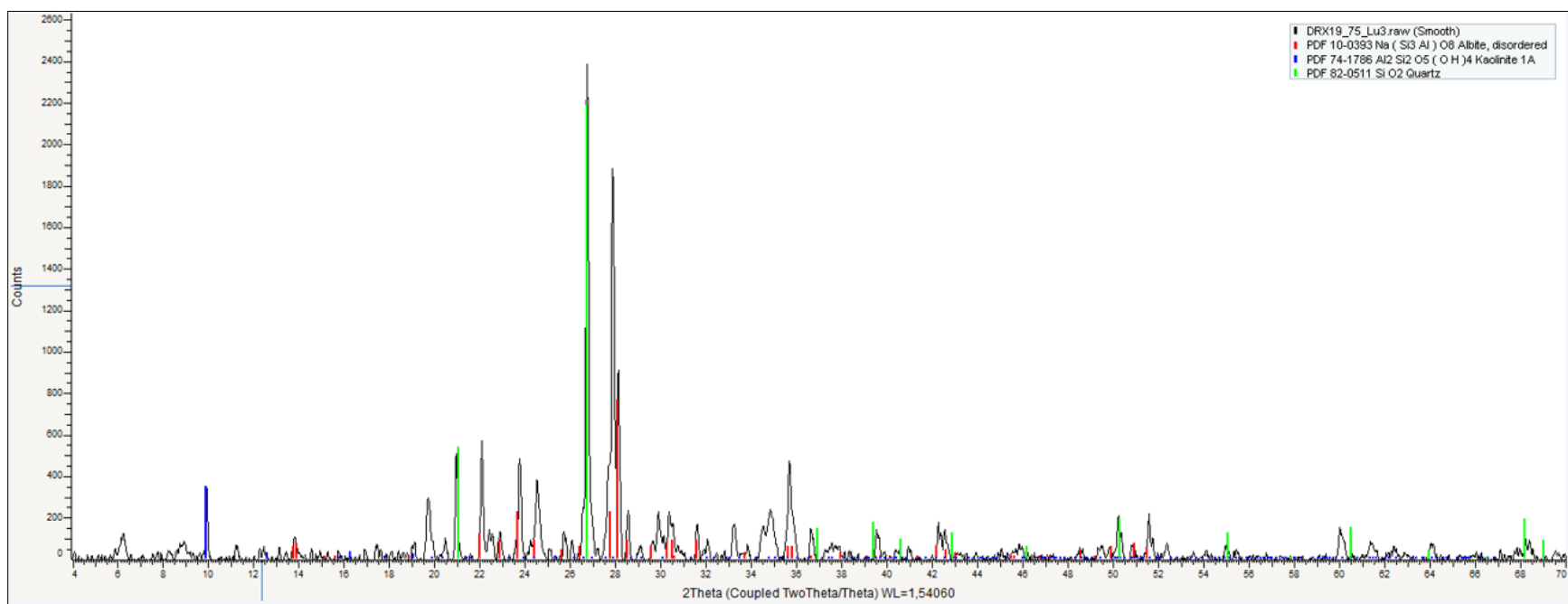
A continuación, se presentan los siguientes anexos:

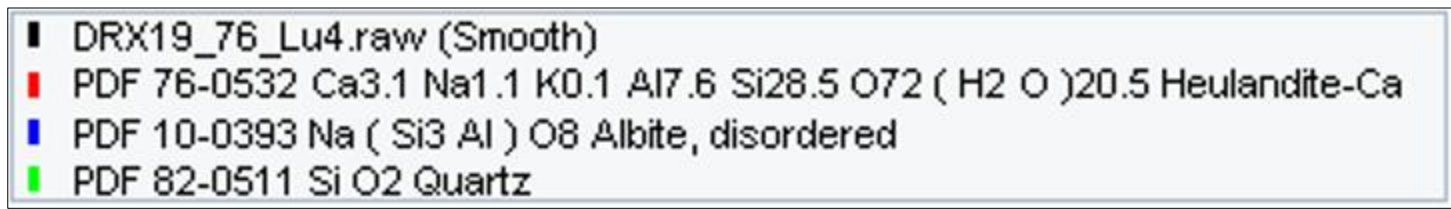
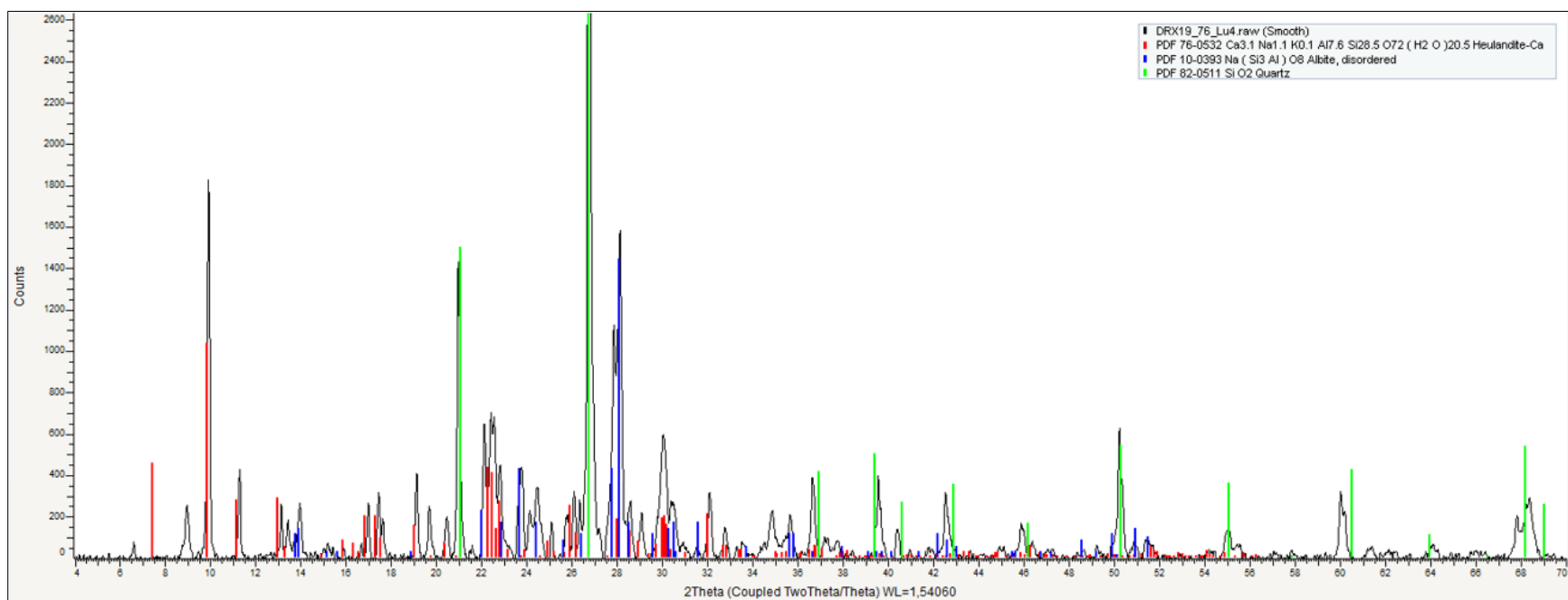
ANEXO I

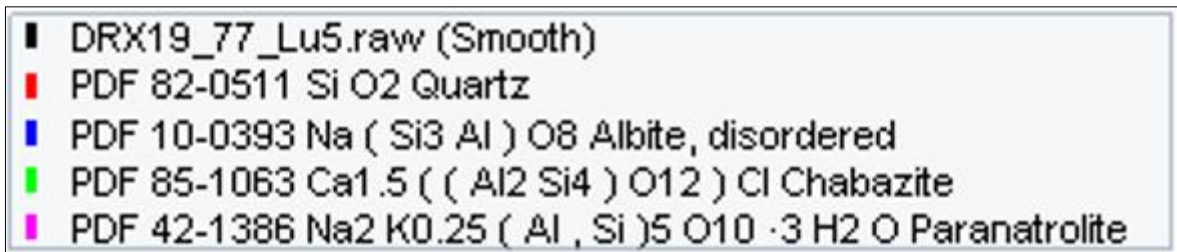
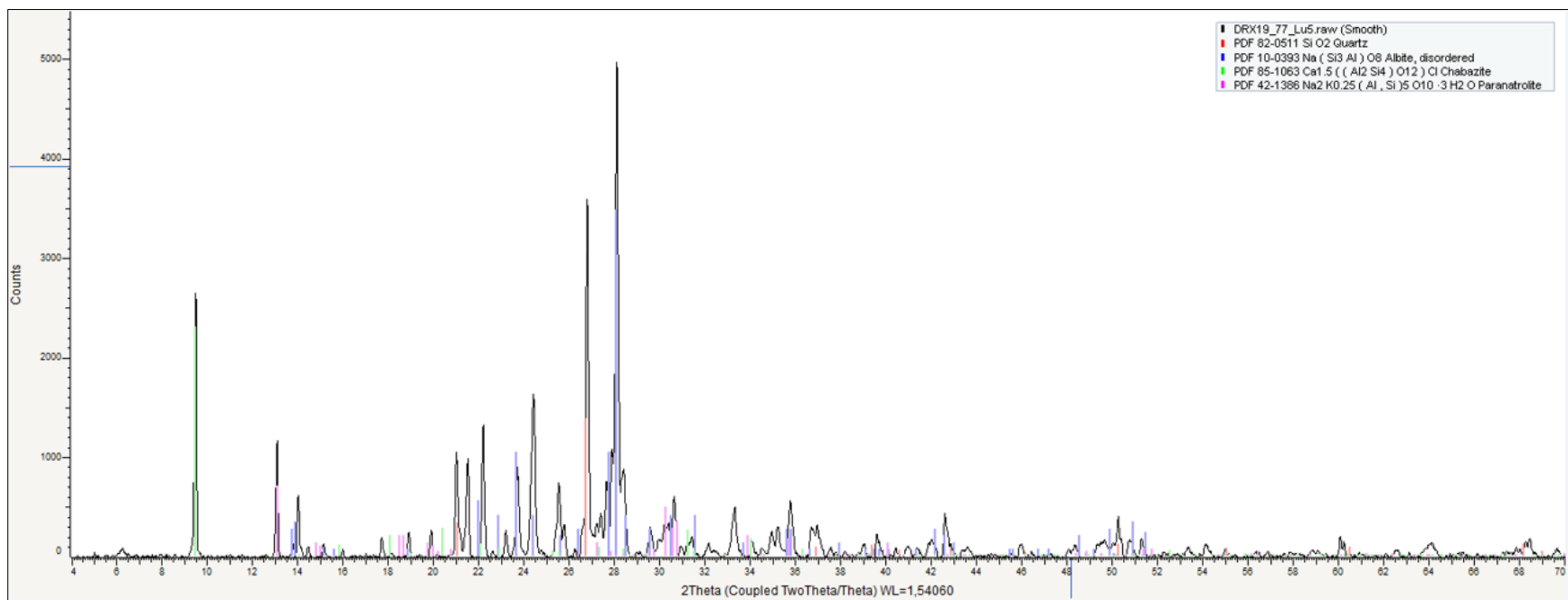
Detalle de muestras tomadas de la quebrada al norte del deslizamiento

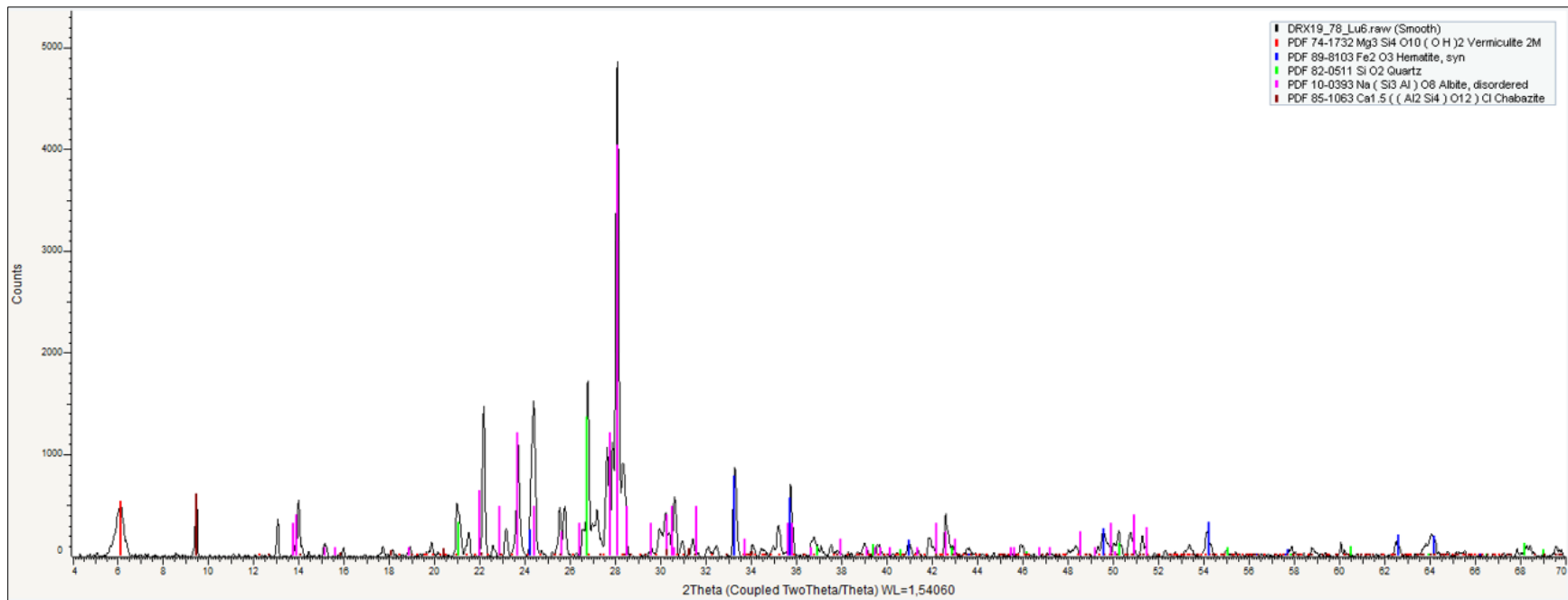




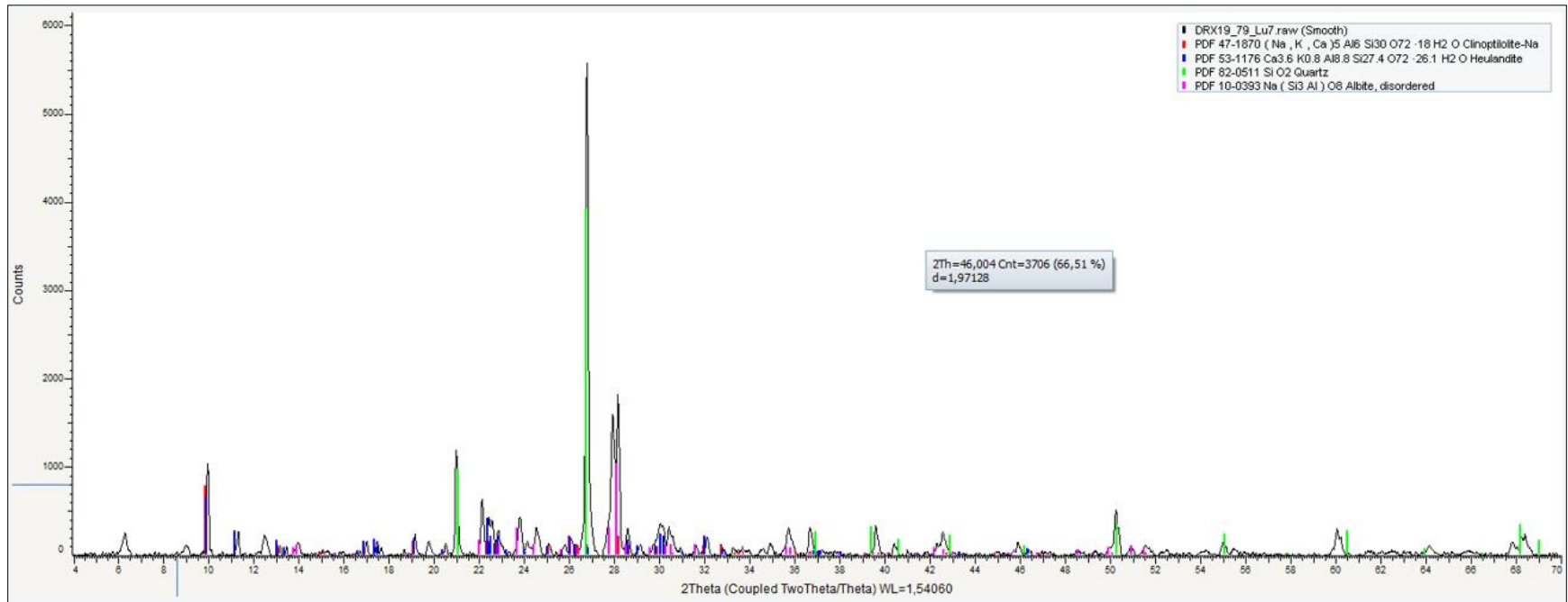








- DRX19_78_Lu6.raw (Smooth)
- PDF 74-1732 Mg₃ Si₄ O₁₀ (OH)₂ Vermiculite 2M
- PDF 89-8103 Fe₂ O₃ Hematite, syn
- PDF 82-0511 Si O₂ Quartz
- PDF 10-0393 Na (Si₃ Al) O₈ Albite, disordered
- PDF 85-1063 Ca_{1.5} ((Al₂ Si₄) O₁₂) Cl Chabazite



- DRX19_79_Lu7.raw (Smooth)
- PDF 47-1870 (Na , K , Ca)5 Al6 Si30 O72 ·18 H2 O Clinoptilolite-Na
- PDF 53-1176 Ca3.6 K0.8 Al8.8 Si27.4 O72 ·26.1 H2 O Heulandite
- PDF 82-0511 Si O2 Quartz
- PDF 10-0393 Na (Si3 Al) O8 Albite, disordered

