



Universidad
de O'Higgins

Escuela de Ingeniería
Ingeniería Civil Geológica

Análisis de las remociones en masa generadas por los eventos hidrometeorológicos de junio y agosto del 2023 en la comuna de San Fernando, Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Javiera Ramírez Inostroza
Profesor(a) guía: Alejandra Serey Amador
Supervisora: Josefina López

Memoria para optar al título de Ingeniera Civil Geóloga

Rancagua, Chile
Enero, 2024

Agradecimientos

Quiero comenzar agradeciendo a SENAPRED, por darme la oportunidad de realizar mi pasantía profesional, a Josefina López por brindar su apoyo y disposición en la entrega de la información necesaria y organización de terreno.

Agradecer a la Universidad de O'higgins, por brindarme durante una excelente profesora guía Alejandra Serey, quien me orientó y ayudó en todo este proceso con sus conocimientos. Sin duda alguna, su ayuda fue fundamental en la realización de este trabajo.

Agradecer a mi familia, a mis padres y hermanas quienes estuvieron conmigo durante todos estos años dándome su apoyo. Quiero agradecer por separado a mi mascota, Tuti, quien llegó en un difícil momento de la carrera y me acompañó incondicionalmente desde el primer día, en especial las interminables noches de pandemia realizando los trabajos universitarios, y actualmente acompañándome en el final de este proceso.

Agradecer a todos mis amigos, a quienes conocí desde el primer día, a quienes se integraron en el camino y a quienes llegaron en el último trayecto. Especialmente agradecer a mi geo compañeros/amigos, sin duda alguna hicieron que la carrera se sintiera más amena, sobre todo a Pablo, Maxi, Demian, Nacho, Rodrigo y Paloma, gracias por su geo amistad. Agradecer a Fabián, que, si bien conocí en el último trayecto de la carrera, se transformó en una persona sumamente importante, gracias por su apoyo, amor y cariño.

Finalmente, agradecerme a mí misma, por jamás rendirme, por darme cuenta de todo lo que soy capaz, por levantarme y seguir cada vez que se presentaban dificultades en este camino.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. PROBLEMÁTICA Y MOTIVACIÓN.....	7
1.2. OBJETIVOS	8
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	8
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	8
1.3. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	8
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. PELIGROS GEOLÓGICOS	9
2.1.1. <i>REMOCIONES EN MASA</i>	10
2.1.2. <i>GESTIÓN DEL RIESGO</i>	11
2.2. INUNDACIONES.....	13
2.3. CLIMA.....	14
2.3.1. <i>CAMBIO GLOBAL Y SU IMPACTO EN LA REGIÓN.</i>	14
2.4. COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO	16
2.4.1. <i>GRANULOMETRÍA</i>	16
2.4.2. <i>LÍMITES DE ATTERBERG</i>	17
3. ANTECEDENTES Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	18
3.1. GEOLOGÍA LOCAL.....	18
3.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL	19
3.3. REMOCIONES EN MASA	20
3.4. INUNDACIONES.....	21
3.5. ACTIVIDAD ANTRÓPICA	21
4. MARCO METODOLÓGICO.....	21
4.1. ANÁLISIS DE LAS INUNDACIONES GENERADAS POR LOS EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS DE JUNIO Y AGOSTO DEL 2023.....	21
4.1.1. <i>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</i>	21
4.1.2. <i>MAPEO A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES</i>	22
4.2. ANÁLISIS DE LAS REMOCIONES EN MASA GENERADAS POR LOS EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS DE JUNIO Y AGOSTO.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.2.1. <i>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</i>	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.2.2. <i>MAPEO DE IMÁGENES SATELITALES</i>	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.2.3. <i>REGISTRO DE PRECIPITACIONES</i>	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.2.4. <i>CATASTRO DE REMOCIONES EN MASA GENERADAS EN LOS EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS DE JUNIO Y AGOSTO.</i>	24
4.2.5. <i>ORIENTACIÓN Y PENDIENTE DE LADERAS DONDE SE GENERARON REMOCIONES EN MASA</i>	24

4.2.6.	RELACIÓN ENTRE LITOLOGÍA Y REMOCIONES EN MASA GENERADAS DURANTE LOS EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS.....	24
4.2.7.	POSICIÓN RELATIVA DE LAS REMOCIONES EN MASA EN LAS LADERAS.....	26
4.2.8.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	26
4.2.9.	LÍMITES DE ATTERBERG.....	28
5.	RESULTADOS	29
5.1.	INUNDACIONES.....	29
5.1.1.	EVENTO HIDROMETEOROLÓGICO DE JUNIO 2023.....	29
5.1.2.	EVENTO HIDROMETEOROLÓGICO DE AGOSTO 2023	31
5.2.	REMOCIONES EN MASA	33
5.2.1.	CATASTRO DE LAS REMOCIONES EN MASA	33
5.2.2.	ORIENTACIÓN Y PENDIENTE DE LADERAS	34
5.2.3.	RELACIÓN ENTRE LITOLOGÍA Y LAS REMOCIONES EN MASA GENERADAS	36
5.2.4.	POSICIÓN RELATIVA DE LAS REMOCIONES EN MASA	38
5.2.5.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y LÍMITES DE ATTERBERG.....	39
6.	DISCUSIONES	41
6.1.	INUNDACIONES.....	41
6.2.	REMOCIONES EN MASA	42
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
	REFERENCIAS	46
	ANEXOS	50

Índice de figuras

Figura 1:	Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	9
Figura 2:	Ciclo de gestión del riesgo.....	12
Figura 3:	Fórmula para determinar el material que pasa por el tamiz.....	17
Figura 4:	Curva granulométrica del suelo.....	17
Figura 5:	Carta de plasticidad de Casagrande.....	18
Figura 6:	Mapa geológico de la comuna de San Fernando, escala 1:300.000.....	19
Figura 7:	Mapa geomorfológico de la comuna de San Fernando, escala 1:300.000.....	20
Figura 8:	Esquema de cómo se obtienen los parámetros (1) y (2) establecidos por Meunier (2008).....	26
Figura 9:	Mapa de áreas inundadas en San Fernando y Polonia durante junio.....	30

Figura 10: Mapa de las áreas inundadas en Las Peñas y Puente Negro durante junio.....	30
Figura 11: Gráfico de las áreas inundadas en el evento hidrometeorológico de junio.....	31
Figura 12: Mapa de las áreas inundadas en San Fernando y Polonia durante agosto.....	32
Figura 13: Mapa de las áreas inundadas en Las Peñas y Puente Negro durante agosto.....	32
Figura 14: Gráfico de las zonas afectadas por el evento hidrometeorológico de agosto.....	33
Figura 15: Mapa de remociones en masa en la comuna de San Fernando.....	34
Figura 16: Gráfico de cantidad de remociones en masa versus la pendiente de la ladera.....	35
Figura 17: Gráfico de la cantidad de remociones en masa versus la orientación de la ladera.....	36
Figura 18: Mapa geológico de la comuna de San Fernando, escala 1:300.000.....	37
Figura 19: Gráfico de cantidad de remociones en masa por litología en la zona de estudio.....	37
Figura 20: Gráfico normalizado de la posición relativa de las remociones en masa en las laderas.....	38
Figura 21: Curvas granulométricas con ecuaciones logarítmicas correspondientes a D_{10} , D_{30} y D_{60}	39
Figura 22: Gráfico del contenido de humedad vs N° de golpes para determinación de Límite Líquido (LL).....	39

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación de remociones en masa (Varnes, 1978).....	10
Tabla 2: Litología presente en el área de estudio.....	25
Tabla 3: Cantidad de remociones por tipo de evento.....	34
Tabla 4: Valores del diámetro característico D_{10} , D_{30} y D_{60} para cada muestra.....	40
Tabla 5: Valores para el coeficiente de uniformidad (C_u) y coeficiente de curvatura (C_c) de cada muestra.....	40
Tabla 6: Límite líquido, plástico e índice de plasticidad muestra 3 de suelo.....	41

Resumen

El cambio climático incrementa la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos. Desencadenando, entre otros, inundaciones repentinas y remociones en masa que afectan a la población en áreas susceptibles a estos fenómenos. Durante los meses de junio y agosto del 2023, la comuna de San Fernando (Región de O'Higgins, Chile) se vio afectada por estos eventos hidrometeorológicos extremos. Como resultado, el casco urbano fue afectado por inundaciones, mientras que en el sector precordillerano ocurrieron remociones en masa.

En esta investigación se busca analizar geológica y geotécnicamente las remociones en masa y analizar las áreas afectadas por las inundaciones ocurridas en la comuna de San Fernando. Adicionalmente, se realiza un inventario de las remociones en masa gatilladas por las precipitaciones intensas de junio y agosto del 2023 en la precordillera de la comuna. Se utilizó la información proporcionada por organismos públicos como la municipalidad de San Fernando, SENAPRED, SERNAGEOMIN y DGA, mientras que el inventario de remociones se realizó mediante el mapeo de imágenes satelitales y la observación en terreno. Adicionalmente, se analizó geotécnicamente el material de depósitos no consolidados (fluviales, coluviales y de avalancha volcánica) involucrados en las remociones en masa, a través de ensayos de Granulometría y Límites de Atterberg.

Los resultados obtenidos mediante estos análisis dan a conocer que la principal causa de inundaciones en las zonas urbanas y rurales de la comuna se debió a desbordes de ríos, esteros y canales. En el inventario se identificó un total 226 remociones en masa, categorizadas como: caída de rocas, flujo de detritos y deslizamientos de detritos. En el análisis del material de los depósitos no consolidados se obtuvo que poseen una baja cohesión, lo que indica una menor capacidad de retener agua, por lo que en periodos de precipitaciones intensas contribuyen a la pérdida de estabilidad de las laderas.

Este trabajo es de suma importancia ya que actualiza el inventario de remociones en masa gatillados por precipitaciones intensas en la región de O'Higgins.

Palabras claves: Remoción en masa, Inundación, San Fernando, Inventario de remociones.

1. Introducción

1.1. Problemática y motivación

Chile, debido a su posición geográfica y características geodinámicas, es susceptible a una serie de peligros geológicos. Estos eventos pueden ser inundaciones, remociones en masa, erupciones volcánicas, terremotos y tsunamis, generados por la dinámica interna o superficial del planeta, que pueden ocasionar daños a la sociedad o al ambiente. (SERNAGEOMIN, 2023).

Dentro de la lista variedad de fenómenos naturales ocasionados de manera superficial, los desencadenados por alteraciones del clima pueden tener consecuencias más extremas o conllevar un mayor riesgo. Los principales eventos hidrometeorológicos extremos que han afectado a Chile Central (30–40°S) en los últimos años corresponden a las precipitaciones generadas por sistemas frontales. Estos eventos han adquirido importancia debido a la persistente megasequía que afecta al país desde 2010, con déficits de lluvias de hasta un 40% (Garreaud et al., 2019). Estas precipitaciones son cada vez más intensas y ocurridas en períodos cortos de tiempo (3 a 4 días), por lo que, tienen potencial de desencadenar inundaciones y remociones en masa, causando daños significativos entre habitantes, infraestructura, agricultura y medio ambiente (Valenzuela, 2022).

Durante el invierno de 2023, en la región de O'Higgins se registraron dos de estos eventos hidrometeorológicos extremos. El sistema frontal entre el 21 y 26 de junio la comuna de San Fernando generó inundaciones y cortes de camino dejando un total de 244 afectados y 220 damnificados, 52 viviendas con daño mayor, 88 con daño menor y 35 destruidas. (SENAPRED, 2023). El sistema frontal entre el 18 y 23 de agosto volvió a afectar la comuna de San Fernando, se generaron inundaciones en su área urbana y remociones en masa en áreas montañosas cordilleranas que ocasionaron cortes de camino. Se registraron 560 afectados y 80 damnificados, 12 viviendas con daño mayor y 125 con daño menor (SENAPRED, 2023).

El presente trabajo de título se realizó bajo la modalidad de pasantía profesional en SENAPRED, el cual tiene como objetivo analizar y caracterizar los peligros geológicos desencadenados debido a los 2 eventos hidrometeorológicos de carácter catastróficos ocurridos en la comuna de San Fernando, mediante el análisis de imágenes satelitales previas y posteriores

a ambos eventos, recolección y análisis de muestras de suelo obtenidas en terreno y recopilación bibliográfica de organismos públicos de la región de O'Higgins (informes de SENAPRED, SERNAGEOMIN, MOP, MINVU, DGA y municipales).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar y caracterizar geológica y geotécnicamente las remociones en masa e inundaciones generadas por los eventos hidrometeorológicos ocurridos en junio y agosto del 2023 en la comuna de San Fernando, Región de O'Higgins.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Inventariar las remociones en masa (caídas de roca, flujos de detritos y deslizamientos de tierra) desencadenadas por intensas lluvias en junio y agosto del 2023 en la comuna de San Fernando, escala 1:20.000.
- Analizar geológica y geotécnicamente las remociones en masa generadas en la comuna de San Fernando en junio y agosto del 2023.
- Analizar las áreas afectadas por inundaciones en la comuna de San Fernando en junio y agosto del 2023.
- Describir y caracterizar geotécnicamente el material involucrado por las remociones en masa en la zona de estudio.

1.3. Ubicación y vías de acceso

La zona de estudio se centra en la comuna de San Fernando, Provincia de Colchagua región de O'Higgins (Figura 1). La comuna posee una superficie de 2.458 km² y limita al norte con las comunas de Malloa, Rengo y Machalí, al oeste con las comunas de San Vicente, Placilla y Chimbarongo, al Sur con la comuna de Romeral (VII Región del Maule) y al este con la República Argentina. La principal vía de acceso que conecta a la comuna es la Ruta 5 Sur, que cruza el territorio de norte a sur. En sentido oriente – poniente las vías de acceso corresponden a las rutas I-45 e I-400.

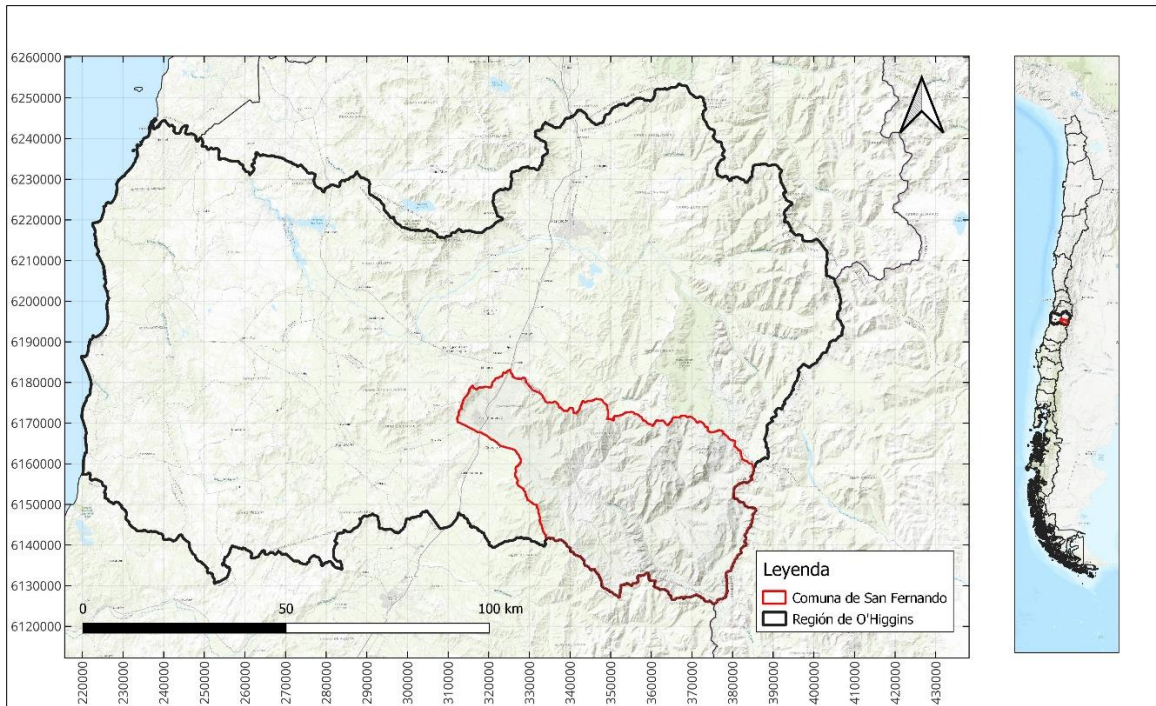


Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio, Elaboración propia.

2. Marco Teórico

2.1. Peligros Geológicos

Los peligros geológicos son procesos naturales originados en la Tierra, catalogados como catastróficos debido a sus daños ocasionados en el medio ambiente y sociedad (pérdida de vidas, infraestructuras, producción de bienes y servicios) (SERNAGEOMIN, 2023).

Los peligros geológicos están asociados a los siguientes procesos:

- **Procesos dinámicos al interior de la tierra:** Sismos, tsunamis y erupciones volcánicas.
- **Procesos dinámicos en la superficie de la tierra:** Remociones en masa.
- **Fenómenos hidrometeorológicos:** Inundaciones, sequías, tormentas, tornados, huracanes.

La comprensión y el monitoreo de estos peligros son esenciales para la gestión de riesgos y la planificación urbana, con el fin de minimizar el impacto negativo que pueden tener en las comunidades y en el medio ambiente.

2.1.1. Remociones en masa

Las remociones en masa son procesos geológicos que transportan material de tipo tierra, roca o sedimentos. Estos procesos son de movilización lenta o rápida generados por una serie de factores (Hauser, 1993). Adicionalmente, tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad (Cruden, 1991). Según Varnes (1978) las remociones en masa se clasifican de acuerdo con la dinámica de los movimientos involucrados y al tipo de material predominante (Tabla 1). Los tipos de movimientos que se pueden generar son caídas de rocas, deslizamientos, volcamientos o *toppling*, extensiones laterales, y flujos.

Tabla 1: Clasificación de remociones en masa (Varnes, 1978).

Tipo de movimiento		Tipo de material	
		Roca	Suelo
Caída			
Toppling			
Deslizamiento	Rotacional		
	Traslacional		
Extensiones laterales			
Flujos			
Complejos			
Grano grueso (detritos, <80% partículas <2mm)			
Grano fino (barro, >80% partículas <2mm)			

Las remociones en masa han sido clasificadas en las siguientes categorías:

- **Caídas de rocas:** Corresponde al desprendimiento, caída o rodadura de material en laderas o acantilados. Generan acumulaciones de bloques al pie de laderas y/o coluvios, y pueden ocasionar cambios en la vegetación (Varnes, 1978).
- **Deslizamientos (rotacionales y traslacionales):** Son movimientos ocasionados por fallas en cizalle en una o varias superficies de ruptura. Estos deslizamientos se clasifican según la superficie de ruptura generada, lo que está condicionado por el material involucrado en el movimiento. Un deslizamiento rotacional ocurre a lo largo de superficies curvas y cóncavas, y son frecuentes en suelos cohesivos homogéneos. Un deslizamiento traslacional se genera en una superficie plana: las masas que deslizan, ya sea suelo o roca, en ocasiones son bloques rectangulares previamente independizados por discontinuidades o grietas (González de Vallejos, 2002).

- **Deslizamiento de Detritos:** Se define como un deslizamiento de una masa que se desplaza en una superficie poco profunda y plana, paralela al suelo, de material granular, el cual puede ser suelo meteorizado, depósitos piroclásticos o una capa de coluvión, que cubre un sustrato más resistente (Hungar, 2014; Gómez, 2022).
- **Volcamientos o toppling:** Tipo de movimiento en masa dado por acción de la gravedad, empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas, en el cual hay una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior (Varnes, 1978).
- **Flujo de Detritos:** Se define como un flujo de detritos saturado que se desplaza a lo largo de una quebrada, por lo que posee una trayectoria determinada. Suele ser un proceso rápido a extremadamente rápido, que va erosionando y arrastrando material a medida que avanza ladera abajo (Hungar, 2014; Gómez, 2022).

Para la generación de remociones en masa, existen ciertos factores, llamados **factores condicionantes y desencadenantes**. Los condicionantes son aquellos que generan una situación inestable. Estos corresponden a: Geomorfología, Geología, Vegetación, Hidrología y actividad antrópica. Los desencadenantes son factores externos como precipitaciones, sismos y la gravedad (González de Vallejo, 2002).

2.1.2. Gestión del riesgo

La gestión del riesgo de desastre es el conjunto de medidas, estrategias y acciones que se realizan con el objetivo de evitar, reducir o disminuir el riesgo de desastres y sus efectos (Subsecretaría de previsión social, 2020). El riesgo es la probabilidad de que ocurra un daño o pérdida frente a la interrelación de amenazas o peligros, ya sean de origen natural o antrópico (humano), y las vulnerabilidades (disposición o condición interna a sufrir daños/afectación ante la potencial ocurrencia de una determinada amenaza o peligro) (Subsecretaría de previsión social, 2020). El riesgo se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Exposición} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Para una efectiva gestión del riesgo se debe realizar un trabajo constante en todas las etapas del ciclo de manejo del riesgo (Figura 2), a fin de realizar una labor integral que permita abordar todos los aspectos necesarios que apunten a la reducción del riesgo y construcción de resiliencia (Subsecretaría de previsión social, 2020). Existen 3 tipos de gestión, las principales medidas que se utilizan para cumplir con sus objetivos corresponden a la prevención, respuesta y recuperación. Dentro de la prevención, se encuentran 3 etapas orientadas a evitar sucesos naturales o generados por la actividad humana que causen daño, estas etapas son:

- Mitigación: Corresponde a la reducción del riesgo.
- Preparación: Corresponde a realizar acciones o gestiones, destinadas a reducir al mínimo la pérdida de vidas y de otros daños, a través de la organización y planificación ante cualquier emergencia.
- Alerta: Es la primera acción de respuesta y corresponde al aviso cierto, de la inminencia o presencia de una amenaza.

La respuesta corresponde a las acciones para la atención y control ante un evento destructivo. Finalmente, la recuperación corresponde a las actividades ocurridas luego del evento destructivo. Estas actividades suceden a corto plazo, como la recuperación de servicios básicos, o a largo plazo, orientada a la reconstrucción de infraestructuras dañadas (Subsecretaría de previsión social, 2020).



Figura 2: Ciclo de gestión del riesgo. Extraído de Subsecretaría de previsión social, 2020.

2.2. Inundaciones

Las inundaciones son el fenómeno natural a nivel mundial más común y destructivo en consecuencias económicas y número de víctimas (Escuder, 2010). Produjeron más de 290.000 víctimas, afectaron a más de 1.500 millones de personas y costaron más de 422.000 millones de US\$ (Escuder, 2010). En general, estas consecuencias son especialmente importantes en áreas urbanas, donde habita la mayor parte de la población y donde pueden darse las consecuencias económicas más importantes (Escuder, 2010).

El exceso de precipitaciones o lluvias produce inundaciones, ocurridas generalmente en invierno del país. En estos periodos de lluvia intensa, los cursos de agua aumentan su caudal y velocidad, aumentando su capacidad erosiva y destructiva, provocando procesos erosivos, flujos de detritos y deslizamientos de terreno en las zonas altas de las cuencas hidrográficas, mientras que las áreas intermedias y bajas de estas cuencas se ven afectadas por las inundaciones por las lluvias que provocan saturación del terreno (Cosude, 2002).

Las inundaciones en áreas urbanas se presentan de la siguiente manera:

- **Inundación pluvial:** debido a precipitaciones de alta intensidad, en donde las áreas inundables presentan un sistema de drenaje ineficiente. (Escuder, 2010).
- **Inundación fluvial:** aumento en el caudal de los ríos, generando desbordes en sus cauces. Este tipo de inundación se debe a eventos de precipitación en zonas altas de la cuenca hidrográfica. (Escuder, 2010).
- **Anegamiento:** inundación del terreno, ya sea por un aumento del nivel freático (capa superior del agua subterránea), niveles superiores del suelo de baja permeabilidad o por topografías deprimidas que no permiten drenar bien el agua. (Ferrando, 2006).

Las medidas de gestión frente a las inundaciones se dividen en dos categorías principales. En primer lugar, Escuder (2010) sugiere la implementación de medidas estructurales que involucren la construcción de infraestructuras que respeten los cursos naturales de los ríos con el objetivo de reducir el riesgo de inundaciones. Por otro lado, Ayala-Carcedo (2002) propone medidas de mitigación social que se enfocan en reducir los impactos negativos de las

inundaciones en la población. Estas medidas incluyen la planificación del uso del territorio, la participación ciudadana y acciones políticas.

2.3. Clima

La región de O'Higgins posee un clima “templado cálido con lluvias invernales”, también llamado “mediterráneo”. La fisiografía de la región se compone de **3 tipologías**, las cuales se asocian a la **zona costera**, la cual presenta una alta nubosidad y precipitaciones anuales que fluctúan entre los 500 y 1000 mm anuales, el **valle central** presentando una estación seca de 6 meses y precipitaciones que aumentan de norte a sur, y finalmente la **zona cordillerana**, la cual presenta precipitaciones que pueden oscilar ampliamente, con valores que varían entre 700 y 2000 mm. Durante los meses de invierno, a medida que se asciende en altitud, las temperaturas pueden descender hasta alcanzar los 0°C (Morales–Salinas, 2016; Alvarado y Moya, 2007).

2.3.1. Cambio global y su impacto en la región.

Diversos eventos meteorológicos son los que afectan al país cada año. Sin embargo, Chile Central (30–38°S) desde el año 2010– al presente, se ha visto afectado por la megasequía durante la década más cálida registrada. Esto resultó en un déficit de precipitaciones de hasta un 40%, lo que provocó una disminución del manto de nieve andino, deterioró la vegetación debido a la disminución de humedad del suelo y generó un impacto negativo en los recursos hídricos y costeros. Este último debido a la disminución de hasta un 90% del caudal medio de los ríos (CR2, 2015; Garreaud, 2019).

La megasequía es el resultado de una causa climática natural que se ve exacerbada por la actividad antrópica. Según Garreaud (2019), esta situación se debe a la prevalencia de un patrón de circulación conocido como dipolo, ubicado en el Pacífico sureste subtropical, el cual obstaculiza el paso de tormentas extra tropicales sobre Chile Central. Sin embargo, el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) debido a la actividad antrópica perjudica esta situación contribuyendo a la longevidad e intensidad de esta megasequía. La actividad antrópica es un factor que permanecerá en el futuro, incrementando la ocurrencia de sequías, dado lo anterior, modelos proyectan una reducción de precipitaciones de hasta un 30% respecto al promedio actual hacia fines de siglo (CR2, 2015; Garreaud, 2019).

2.3.2. Eventos de precipitaciones extremas.

Entre los eventos meteorológicos extremos, las precipitaciones extremas son el principal causante de pérdidas por inundaciones y remociones en masa, tanto en entornos urbanos como rurales (WMO, 2014). Un evento de precipitación extrema es el resultado de altas tasas de precipitación en periodos cortos de tiempo o de acumulaciones excesivas diarias (Garreaud, 2013).

Los episodios de precipitaciones extremas se encuentran entre los impactos más críticos de El Niño, la Oscilación del Sur (ENOS) y el cambio climático global. (Ortega, 2019). Estos episodios de precipitaciones pueden ocurrir en todas partes, desde las latitudes subtropicales hasta extra tropicales, pero su frecuencia aumenta donde el terreno tiene mayor altitud, especialmente sobre la Cordillera de los Andes (Valenzuela y Garreaud, 2019).

La mayoría de los eventos extremos están asociados al arribo de un sistema frontal en conjunto de un río atmosférico (RA) que llega a las costas chilenas. Un río atmosférico (RA) es un filamento de humedad que transporta grandes cantidades de vapor de agua desde su formación en el pacífico central hacia la costa oeste de Sudamérica, pero con mayor frecuencia en Chile entre los 38 – 45°S. Los ríos atmosféricos contribuyen con cerca del 50% de precipitaciones anuales en el centro-sur de Chile (Viale, 2018; Valenzuela y Garreaud, 2019).

Los eventos de precipitación extrema ocurridos en junio y agosto del presente año, se debió principalmente a un sistema frontal acompañado de un río atmosférico zonal (RAZ por sus siglas en español), el cual presentó una banda de movimiento de latitud fija E-O y precipitaciones intensas con temperaturas elevadas y persistentes (hasta 72 horas), este fenómeno se caracterizó por un valor de isoterma 0°C entre los 2700 – 3300 msnm en ambos eventos, y según la cantidad de vapor de agua transportado, la escala de Ralph (2019) para el RAZ de junio fue de categoría 4 (alto riesgo) y para el RAZ de agosto categoría 3 (moderado).

Cabe mencionar que, de acuerdo con estas características, se explican las súbitas y enormes crecidas de los ríos, algunos de los cuales superaron los 2000 metros (m^3/s). Estas crecidas provocaron múltiples inundaciones, cortes de puentes y caminos, daños al sector agrícola y un impacto negativo a la población (CR2, 2023).

2.4. Comportamiento mecánico del suelo

La mecánica de un suelo o roca está controlada por factores como la aplicación de esfuerzos, planos de ruptura, características geológicas, etc. Su objetivo principal es comprender cómo se comportan estos materiales bajo cargas y presiones, con el fin de diseñar y construir de manera segura infraestructuras teniendo en cuenta las características geológicas y geotécnicas.

De forma general los suelos presentan dos posibles mecanismos de ruptura, de acuerdo con observaciones experimentales y de terreno (Sáez, 2010), el primero corresponde a la ruptura por deslizamiento sobre una superficie, y el segundo a la ruptura por plastificación de un suelo.

Junto con esto, el criterio de rotura en suelos más difundido deriva del propuesto por Coulomb, que relaciona tensiones efectivas normales y tensiones tangenciales actuando en cualquier plano del suelo (Sáez, 2010). El criterio de Mohr-Coulomb relaciona el esfuerzo cortante (τ) y la tensión normal (σ) en un punto dentro del suelo. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

τ es el esfuerzo cortante en un plano dentro del suelo.

σ es la tensión normal en ese mismo plano.

c es la cohesión del suelo y ϕ (phi) es el ángulo de fricción.

2.4.1. Granulometría

La granulometría busca la obtención de la clasificación de la fracción gruesa del suelo y la distribución granulométrica de las partículas del suelo en base a una serie de tamices normalizados por la norma ASTM4 D421-58 y ASTM D422-63 o (o su equivalente BS5) (Lara, 2007).

Para realizar un análisis granulométrico se debe llevar a cabo tomando una muestra representativa (entre 3 a 5 Kg) del suelo (seco), la cual se hace pasar por un conjunto de tamices (cuyos tamaños suelen ir disminuyendo en progresión geométrica de razón 2), y que a su vez se va agitando el conjunto (González de Vallejo, 2002). Posteriormente, se pesa lo retenido en cada tamiz, con lo que, conocido el peso inicial de la muestra, se determina el porcentaje de material, C_j , que pasa por un tamiz de diámetro D_j (Figura 3), siendo P el peso seco total de la muestra y

P_i el peso retenido por el tamiz de diámetro D . El peso P_{n+1} es el retenido por la base que se encuentra debajo del set de tamices (González de Vallejo, 2002). Con estos datos se puede elaborar la curva granulométrica de un suelo, como se muestra en la Figura 4.

$$C_j = \frac{\sum_{i=j+1}^{n+1} P_i}{P} \times 100 \quad P = \sum_{i=1}^{n+1} P_i$$

Figura 3: Fórmula para determinar el material que pasa por el tamiz. Extraído de González de Vallejo, 2002.

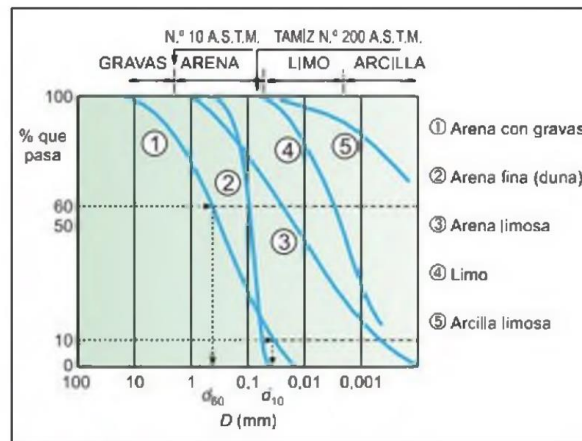


Figura 4: Curva granulométrica del suelo. Extraído de González de Vallejo, 2002.

2.4.2. Límites de Atterberg

Estos son parámetros inicialmente definidos por Albert Atterberg para delimitar el comportamiento de los suelos finos de acuerdo con su humedad; posteriormente fueron modificados por Arthur Casagrande al añadir un método que mida empíricamente estos límites (Zúñiga, 2019).

De acuerdo con la norma ASTM D4318, los límites son definidos de la siguiente manera:

- Límite Líquido (LL): Humedad necesaria para pasar de un estado plástico a un estado líquido (Zúñiga, 2019).
- Límite Plástico (LP): Humedad necesaria para pasar de un estado semisólido a un estado plástico (Zúñiga, 2019).

- Índice de plasticidad (IP): El rango de humedad en donde el suelo se comporta de forma plástica, numéricamente es la diferencia entre el límite líquido y el plástico, como se observa en la ecuación 2 (Zúñiga, 2019)

$$IP = LL - LP \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde LL y LP se estiman a números enteros

Para el análisis adecuado de los límites de Atterberg, se grafican los datos de índice de plasticidad y límite líquido para cada muestra en la carta de plasticidad (Figura 5), esta clasifica los tipos de suelo fino de acuerdo con su tamaño de grano (limos y arcillas) y de acuerdo con su plasticidad (baja o alta), obteniéndose diferentes combinaciones de propiedades (Zúñiga, 2019).

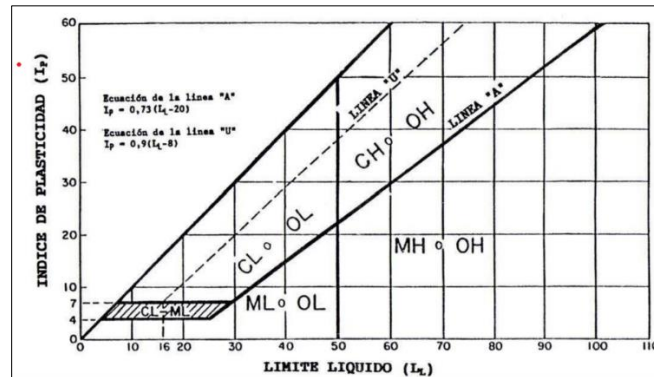


Figura 5: Carta de plasticidad de Casagrande. Extraída de la norma ASTM D2487.

3. Antecedentes y caracterización del área de estudio

3.1. Geología local

De acuerdo con Contreras et al. (2021) en la comuna de San Fernando se encuentran seis tipos de depósitos: fluviales y aluviales antiguos del Pleistoceno–Holoceno, depósitos aluviales piedemonte y quebradas del Pleistoceno–Holoceno, depósitos de flujo de detritos volcánicos del Tinguiririca del Pleistoceno Superior – Holoceno, depósito de remoción en masa antiguo del Pleistoceno Superior y depósitos fluviales del Holoceno.

Rocas del Pleistoceno Inferior – Medio correspondiente a las ignimbritas Sierras de Bellavista como tobas dacíticas, andesíticas y riolíticas, también se encuentran rocas del Oligoceno Superior – Mioceno Medio perteneciente a la Formación Abanico con lavas y tobas andesíticas, y rocas del Aptiano – Albiano en la Formación Las Chilcas con ignimbritas y lavas

andesíticas. Finalmente, se encuentran rocas de edades entre los 22–17 y 90–83 Ma correspondientes a Cuerpos hipabisales del Cerro Verde y al Complejo hipabisal La Leona, que poseen andesitas–basálticas porfídicas y vitrófiros de composición andesítica. En el mapa de la Figura 6 se encuentra el detalle de la geología presente en la comuna.

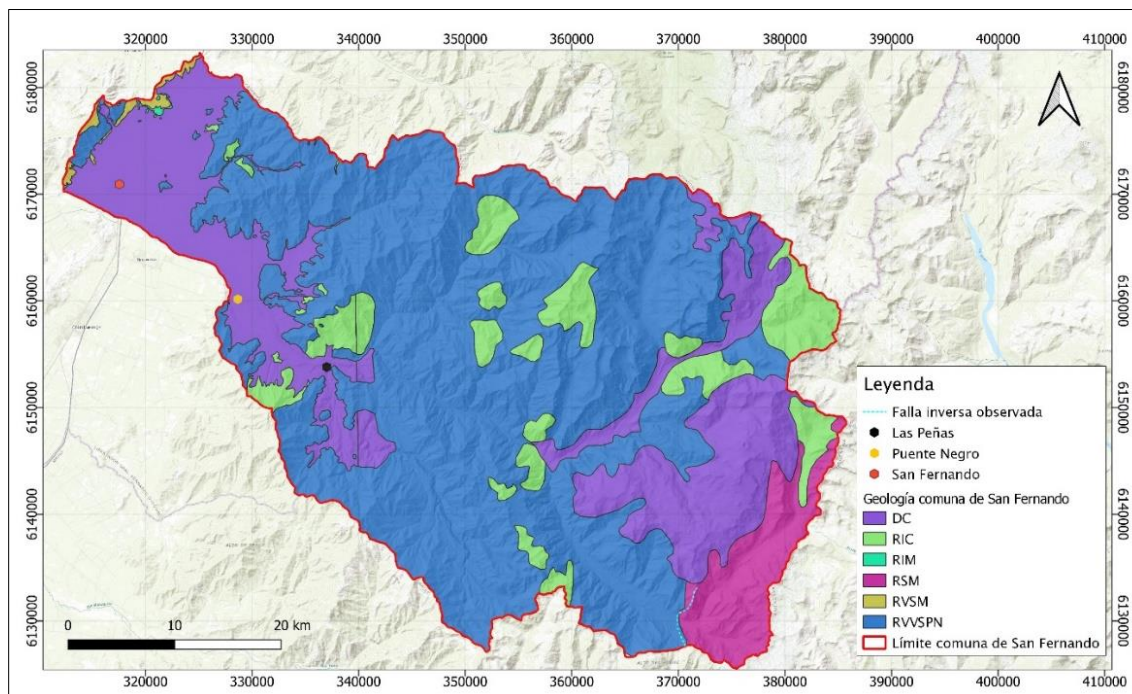


Figura 6: Mapa geológico de la comuna de San Fernando, escala 1:300.000. Elaboración propia con base en el trabajo realizado por Gómez (2022) y SERNAGEOMIN (2003).

3.2. Geomorfología local

La comuna de San Fernando posee tres morfoestructuras principales: la **Cordillera de los Andes** en el sector oeste, representa la mayor parte del territorio comunal. La **Precordillera** comprende una extensión en sentido este–oeste, es considerada una zona transicional ya que se emplaza entre el relieve del Llano Central y la Cordillera de los Andes, conformada por materiales glaciales, volcánicos y fluviales. Finalmente, la **Depresión intermedia** corresponde a las localidades de San Fernando y Puente Negro, está constituida por sedimentos de origen fluvial acarreados por los cursos de agua de la cuenca del río Tinguiririca (Estudio de Riesgos – San Fernando, 2020). La cordillera de la costa corresponde una mínima superficie en el sector

poniente de la comuna (Estudio de Riesgos – San Fernando, 2020). En el mapa de la Figura 7 se presentan las unidades geomorfológicas de la comuna.

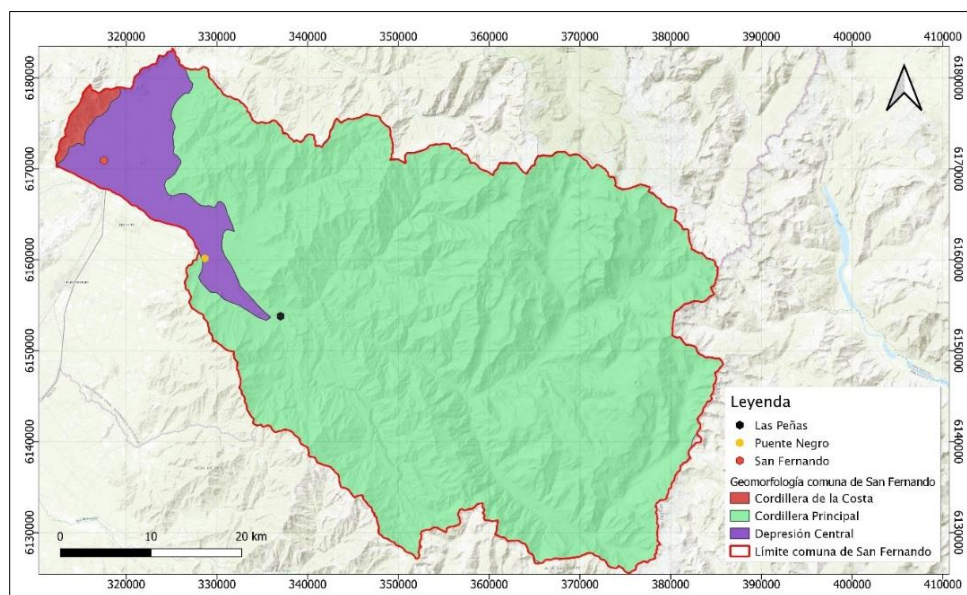


Figura 7: Mapa geomorfológico de la comuna de San Fernando, escala 1:300.000. Elaboración propia con base en el trabajo realizado por Gómez (2022).

3.3. Remociones en masa

En la comuna de San Fernando se han identificado 84 eventos de remociones en masa correspondientes a flujos de detritos, caídas de rocas y deslizamientos. De estos eventos, 16 se obtuvieron a través del visor GEOMIN perteneciente a SERNAGEOMIN, según este visor 13 remociones corresponden a las gatilladas por las precipitaciones del sistema frontal de abril del 2016, documentadas en el informe técnico de Alfaro y Opazo (2016), de los cuales 8 puntos corresponden a flujos de detritos, 5 a caídas de rocas y 3 deslizamientos (2 de tipo traslacional y uno sin identificar). Carrasco y Contreras (2010), identificaron una de caída de roca y un deslizamiento sin identificar correspondientes al evento sísmico del 27 de febrero del 2010. Mientras que Hauser (2000), identificó un evento de flujo, sin embargo, el detonante, fechas y tipo de flujo no están especificados.

Adicionalmente, Serey et al (2019) identificó 68 puntos de remociones en masa asociados al mega terremoto del 2010, de los cuales 18 corresponden a flujos y 50 deslizamientos.

3.4. Inundaciones

En el informe técnico realizado por Alfaro y Opazo (2016), durante los días 14 y 18 de abril de 2016, en la comuna de San Fernando (principalmente los sectores de la ruta I-45 en dirección a Termas del Flaco) fue afectada por un sistema frontal el cual generó desbordes del río Tinguiririca afectando la mayor parte de la planicie de inundación, la cual era delimitada por márgenes de laderas de roca. También, se indica que en el sector de Guanaco (km 42 de la ruta I-45) hubo un desborde del río hacia la ruta y cercano al mismo sector, una defensa fluvial (enrocado de 200 m de largo y 3 m de alto) que protegía a un caserío fue destruido producto del mismo desborde.

Tras este sistema frontal, los registros de precipitaciones de la Dirección General de Aguas (DGA) indicaron que en la estación Tinguiririca Bajo Los Briones hubo una precipitación acumulada de 82 mm y un caudal máximo de 1037 (m³/s) para el río.

3.5. Actividad antrópica

La actividad antrópica en la comuna de San Fernando se caracteriza principalmente en el área urbana de la ciudad, por el sector sur cercano a la ribera del río Tinguiririca se encuentran múltiples faenas de extracción de áridos, tales como Áridos Tinguiririca, Empresa Vertrans, Áridos San Vicente y Transporte y Extracción de áridos E.I.R.L.

En la zona precordillerana se encuentran cuatro centrales hidroeléctricas: El Paso, La Confluencia, La Higuera y San Andrés.

4. Marco metodológico

4.1. Análisis de las inundaciones y remociones en masa generadas por los eventos hidrometeorológicos de junio y agosto del 2023.

4.1.1. Revisión Bibliográfica

Primeramente, se recopiló información relacionada con la zona de estudio, se recopilaron informes técnicos proporcionados por SENAPRED correspondientes a los eventos de junio y agosto. Además, se incluyó información de las zonas inundadas proporcionada por la SECPLAN (Secretaría Comunal de Planificación) de la municipalidad de San Fernando, e

información acerca de las zonas de riesgo proporcionada por el plan regulador de la comuna. En la Figura 1 del Anexo 1.a se encuentra el plano de las zonas de riesgo, restricción y preservación de la ciudad de San Fernando.

Para realizar el inventario de remociones en masa ocurrida en los eventos de junio y agosto, es necesario contar con la información bibliográfica y antecedentes de la zona. Se recopiló información sobre eventos de remociones en masa anteriores asociados a precipitaciones. La principal fuente de información es la proporcionada por el visor GEOMIN del SERNAGEOMIN, en donde georreferenciaron trece remociones en masa desencadenadas por el sistema frontal de abril del 2016, esta información proviene del informe técnico realizado por Alfaro (2016) en SERNAGEOMIN. Adicionalmente, se trabajó con el inventario de remociones en masa inducidas por el mega terremoto del 2010 realizado por Serey et al (2019).

4.1.2. Mapeo a través de imágenes satelitales

Para el mapeo de las zonas inundadas en la comuna, se trabajó con el programa *Google Earth Pro* utilizando las imágenes satelitales proporcionadas por *Airbus y Maxar Technologies*, y en conjunto con el visor *World Imagery Wayback* del software ArcGis Online, el cual proporciona imágenes más actualizadas a través de un listado de fechas. La más actual para el contexto de este trabajo corresponde a la imagen del 31 de agosto del 2023. Esto permitió observar cambios en la vegetación, cursos de agua e infraestructuras. Sin embargo, la SECPLAN de la municipalidad de San Fernando, proporcionó a este trabajo las áreas mapeadas de las inundaciones ocurridas en junio y agosto, esta información fue entregada en formato *shapefile* para realizar un posterior trabajo en el software QGIS 3.28.13.

Para el mapeo de las remociones en masa, específicamente para la identificación de deslizamientos de detritos y flujos de detritos, se trabajó con el programa *Google Earth Pro* utilizando las imágenes proporcionadas por los satélites *CNES/ Airbus, Maxar Technologies y Landsat/ Copernicus* entre los años 2019 y 2023, este rango de años permitió realizar un mapeo de las remociones (anteriormente mencionadas) de manera más precisa para diferenciar aquellas remociones reactivadas de las nuevas generadas en invierno. Se identificaron distintas zonas de remociones en la precordillera de la comuna de San Fernando, a través de la observación del

contraste entre la vegetación, geomorfologías, ríos y pendientes de las laderas. Estas zonas se almacenaron en *Google Earth Pro* como capas vectoriales de tipo punto para su ubicación, y de tipo polígono para delimitar toda el área que comprende cada remoción, para posteriormente ser exportadas hacia QGIS 3.28.13.

4.1.3. Registro de precipitaciones

Se recopilaron los datos de precipitaciones de ambos eventos hidrometeorológicos a través de la página del *Sistema Hidrométrico en Línea* que ofrece la Dirección General de Aguas (DGA). Se obtuvieron los datos de precipitación diaria, máximas, mínimas y promedio de las estaciones meteorológicas de la DGA ubicadas en las zonas urbanas y precordilleranas de la comuna de San Fernando, desde el 21 al 26 de junio para el primer evento hidrometeorológico, y desde el 19 al 27 de agosto para el segundo evento. Adicionalmente, se recopilaron los datos de medición de nivel de agua y caudal que fueron registrados en ambos eventos, los cuales fueron proporcionados por informes técnicos de SENAPRED y a través de las estaciones meteorológicas de la DGA.

Para el evento hidrometeorológico del 21 a 26 de junio, se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas de las zonas urbanas “San Fernando”, “Rio claro en el valle”, “Rio Tinguiririca Bajo Los Briones”. Los datos de precipitación y nivel de caudal para los días 21 al 26 de junio se muestran en detalle en la Tabla 1 y Figura 2 del Anexo 1.b. Para el evento hidrometeorológico del 18 al 23 de agosto, se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente en el evento de junio. Los datos de precipitación y caudal se muestran en detalle en la Tabla 2 y Figura 3 del Anexo 1.b.

Para el sector precordillerano se utilizaron los datos de las estaciones “La Rufina” y “Termas del Flaco”. El rango de fechas seleccionado para ambos eventos hidrometeorológicos corresponde a los días del 21 al 26 de junio y del 18 al 23 de agosto. Los datos de precipitación media acumulada para las fechas mencionadas se presentan en el detalle de la Tabla 3 del Anexo 2.a.

4.1.4. Inventario de remociones en masa generadas en los eventos hidrometeorológicos de junio y agosto.

Inicialmente, se buscó información a través de los informes técnicos realizados por SENAPRED en los eventos de junio y agosto, sin embargo, solo hubo un reporte de remoción en masa correspondiente al mes de agosto en el sector de Las Peñas. Por otro lado, SENAPRED dispuso los puntos críticos del plan invierno 2023, en el cual la municipalidad de San Fernando identificó tres puntos críticos ante posibles remociones en masa.

La identificación de remociones en masa en este trabajo corresponde mayoritariamente al mapeo de imágenes satelitales realizado a través del programa *Google Earth Pro*. Adicionalmente, se realizó un terreno el día 07 de noviembre al sector de La Rufina y Las Peñas, comuna de San Fernando. Este terreno fue gestionado por SENAPRED, Municipalidad de San Fernando y la Universidad de O'higgins, en donde se identificaron y recopilaron 18 puntos adicionales de remociones en masa, los cuales no pudieron ser visibles mediante imágenes satelitales debido a que poseen un área menor, de aproximadamente 50 m². Estos puntos fueron añadidos al catastro realizado previamente en *Google Earth Pro*.

4.1.5. Orientación y pendiente de laderas donde se generaron remociones en masa

En el presente trabajo, se realizaron dos mapas correspondientes a orientación y pendiente de laderas mediante el software QGIS 3.28.13. Para determinar la pendiente de las laderas se trabajó con los rangos usados por FAO (2009) y Lara (2007). Adicionalmente, se consideró otro factor condicionante en la generación de remociones en masa, el cual corresponde a la orientación de las laderas, que indica la exposición al sol que sufren según Lara (2007). Se determinó la exposición al sol de las laderas de la siguiente forma: Norte: 1°–22,5° y 337°–360°; Noreste: 22,5°–67,5°; Este: 67,5°–112,5°; Sureste: 112,5°–157,5°; Sur: 157,5°–202,5°; Suroeste: 202,5°–247,5°; Oeste: 247,5°–292,5°; Noroeste: 292,5°–337°.

4.1.6. Relación entre litología y remociones en masa generadas durante los eventos hidrometeorológicos

En el presente trabajo, es relevante considerar la cantidad de remociones que ocurrieron sobre cierto tipo de roca o depósito, dado esto, se recopiló información geológica asociada al

área de estudio, es decir, cartas y mapas geológicos proporcionados por SERNAGEOMIN, los cuales son los siguientes:

- Mapa geológico de Chile, escala 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2003)
- Geología del Área San Fernando–Curicó, regiones del Libertador General Bernardo O’iggins y del Maule, escala 1:100.000 (Contreras y Schilling, 2021)

Adicionalmente, esta información es complementada por el trabajo realizado por Gómez (2022).

Las remociones en masa se agruparon por cantidad sobre el área de cada unidad geológica identificada, las cuales se presentan a continuación, el detalle de la litología asociada a cada unidad se observa en la Tabla 2.

- Depósitos Cuaternarios.
- Rocas Volcánicas y Volcanosedimentarias del Paleógeno–Neógeno.
- Rocas Intrusivas del Cenozoico.

Tabla 2: Litología presente en el área de estudio.

Unidad Geológica	Litología	Fuente
Deposito Cuaternario	Q1: Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa Q3av: Depósito de avalancha volcánica	SERNAGEOMIN (2003)
Rocas Volcánicas y Volcanosedimentarias del Paleógeno–Neógeno	OM2c: Secuencias volcanosedimentarias	SERNAGEOMIN (2003)
Rocas Intrusivas del Cenozoico	Mimg: Rocas plutónicas del Mioceno Inferior–Medio Mg: Granitoides del Mioceno	SERNAGEOMIN (2003)

4.1.7. Posición relativa de los deslizamientos de detritos en las laderas

Según el trabajo realizado por Meunier (2008), establece una metodología para representar la ubicación de los deslizamientos de detritos en las laderas. Meunier (2008), establece tres parámetros para determinar la posición de estos deslizamientos, los cuales se muestran a continuación, en la Figura 8 se presenta un esquema de los parámetros (1) y (2).

- 1) La distancia desde el punto más alto (escarpe) del deslizamiento de detrito y la cresta de la ladera.
- 2) La distancia entre el punto más bajo (deposito) del deslizamiento de detrito y la parte más baja de la ladera.
- 3) La longitud del deslizamiento de detrito medido a lo largo de la línea de mayor pendiente.

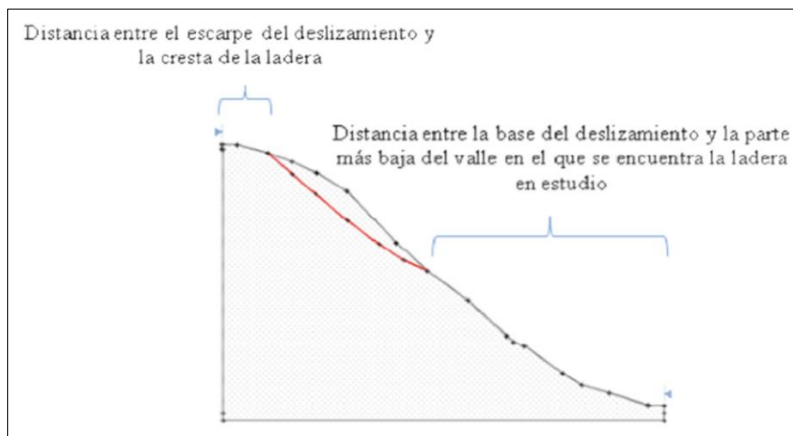


Figura 8: Esquema de cómo se obtienen los parámetros (1) y (2) establecidos por Meunier (2008). Extraído de Serey (2011).

4.1.8. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico de una muestra de suelo consiste en determinar la proporción relativa en peso de los diferentes tamaños de granos, estos son definidos por las aberturas de las mallas utilizadas. Durante el terreno realizado el día 07 de noviembre en el sector de La Rufina, comuna de San Fernando, se recolectaron tres muestras correspondientes a tres tipos de depósitos no consolidados (2 depósitos fluviales, un depósito de avalancha volcánica, y un depósito coluvial). Por cada zona de muestreo se obtuvieron 2 bolsas de material de depósito no

consolidado (aproximadamente 3 kg), dando un total de ocho bolsas de muestras para su posterior análisis. En la Tabla 4 del Anexo 2.b, se encuentra en detalle las ubicaciones (coordenadas), descripciones de los depósitos y fotografías de las muestras recolectadas.

El análisis granulométrico de las muestras se realizó en el laboratorio de Geomecánica de la Universidad de O'Higgins, mediante dos balanzas de diferente sensibilidad (5 g y 0.01 g), y una serie de mallas ASTM E-11 de acero inoxidable descritas en la Tabla 5 del Anexo 2.b.

El procedimiento del análisis granulométrico para las 4 muestras de suelo consiste en una serie de pasos (ASTM D421-58 y ASTM D422) descritas a continuación:

- 1) Pasar toda la muestra (5 kg) seca de suelo por las mallas 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", 1/2" y 3/8" y pesar las porciones de material retenido en cada una de ellas.
- 2) Mezclar homogéneamente todo el material que pasó por la malla 3/8" y tomar una muestra representativa de aproximadamente 300 g.
- 3) Pasar la muestra representativa (300 g) por las mallas #4 a #200, registrando nuevamente el peso retenido de material en cada malla, incluyendo el material restante que pasa por la malla #200.

El cálculo de la información obtenida a través de este análisis se realiza mediante el software Excel, en donde se presenta un gráfico semilogarítmico en el cual el eje de las abscisas se indican los diámetros de partículas y en el eje de las ordenadas el porcentaje en peso que pasa del material. A partir de la curva de distribución granulométrica, se obtuvieron los diámetros tales como D_{10} , D_{30} , D_{60} . Una indicación de variación o rango del tamaño de los granos presentes en una muestra se obtiene mediante el coeficiente de uniformidad C_u , utilizado en la Clasificación Unificada USCS, el cual se define como:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Mientras que el parámetro de coeficiente de curvatura C_c , el cual mide la forma de la curva entre el D_{60} y el D_{10} , y se calcula como:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

4.1.9. Límites de Atterberg

Los ensayos de Límites de Atterberg permitieron obtener el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. En estos ensayos se utilizó únicamente la parte del suelo de las muestras que pasaron por la malla #40 (0.42 mm). El equipo utilizado para este tipo de ensayo consiste en: Máquina de Casagrande (referencia: norma ASTM N° D 4318-95a), acanalador (misma referencia mencionada anteriormente), balanza de sensibilidad (0,01 g), espátula de acero, capsulas de porcelana, placa de vidrio y un horno a 110° C. Todos estos implementos fueron proporcionados por el laboratorio de Geomecánica de la Universidad de O'Higgins.

Para la determinación del límite líquido (w_L), se debe cumplir con una serie de pasos (ASTM D4318-95a) que son descritas a continuación:

- 1) El ensayo se inicia preparando una pasta de suelo para cada una de las cuatro muestras recolectadas del terreno, en una cápsula de porcelana, con una humedad ligeramente superior al límite líquido.
- 2) Secar la cápsula de la máquina de Casagrande, ya que, esta debe estar perfectamente limpia para cada uno de los ensayos a realizar.
- 3) Colocar aproximadamente 50 g de muestra de suelo húmedo en la capsula, alisando la superficie a una altura de 1 cm con la espátula. Utilizar el acanalador para separar la muestra de suelo en dos mitades según el eje de simetría de la capsula de la máquina.
- 5) Girar la manivela de manera uniforme y continuar hasta que el surco se cierre en $\frac{1}{2}$ " de longitud; anotar el número de golpes, el cual no debe superar 40.
- 6) Tomar una muestra de la máquina de aproximadamente 5 g en la zona donde se cerró el surco, para posteriormente pesarla y obtener su contenido de humedad.
- 7) Vaciar el suelo de la capsula de Casagrande, limpiar y secar. Repetir las etapas (3) a (6), de 3 a 4 veces por cada muestra de suelo.

La determinación del límite plástico (w_p) consiste en identificar el contenido de humedad en el cual el suelo se fractura al ser amasado en bastones con un diámetro de 3 mm. Se realizó mediante una serie de pasos (ASTM D4318-95a) descritas a continuación:

- 1) Utilizar el material restante de cada muestra de suelo obtenido durante el ensayo del límite líquido (w_L), y tomar una bolita de suelo de 1 cm³ y amasarla sobre la placa de vidrio con la palma de la mano hasta formar bastones de 3 mm de diámetro.
- 2) Se reconstruye dicha bolita para amasar un bastón nuevamente hasta que llegara al límite plástico. El límite plástico (w_p) se alcanza cuando los bastones de 3 mm se fracturaron en trozos de 0,5 a 1 cm de largo.
- 3) Pesar los bastones y registrar su peso, para posteriormente determinar su contenido de humedad. Este ensayo se realizó dos veces para cada muestra de suelo.

5. Resultados

5.1. Inundaciones

5.1.1. Evento hidrometeorológico de junio 2023

Durante el evento del sistema frontal de junio, la comuna de San Fernando se vio afectada por inundaciones mayoritariamente en el sector urbano de la ciudad. Los tres principales sectores afectados por el desborde del río Tinguiririca corresponden a: Los Huertos; Ruta 5 Sur; Ruta I-90, con un 59 % (1.314.394 m²), seguido por el campus Colchagua de la Universidad de O'Higgins; cementerio Parque del Recuerdo; Alifrut con un 8 % (184.655 m²) y sector del Centro Español; locales comerciales; condominio Puertas del Sur con un 7 % (157.642 m²) de la totalidad de las áreas inundadas.

En el mapa de las Figuras 9 y 10 se presentan los puntos y polígonos asociados a las inundaciones de junio. Adicionalmente, se registraron zonas inundadas correspondientes al sector rural de Puente Negro con 23.901 m² y Las Peñas con 69.968 m² (Figura 10). La cantidad de áreas afectadas se muestran en el gráfico de la Figura 11, mientras que el detalle de cada sector se encuentra en la Tabla 6 y Figura 4 del Anexo 3.a.

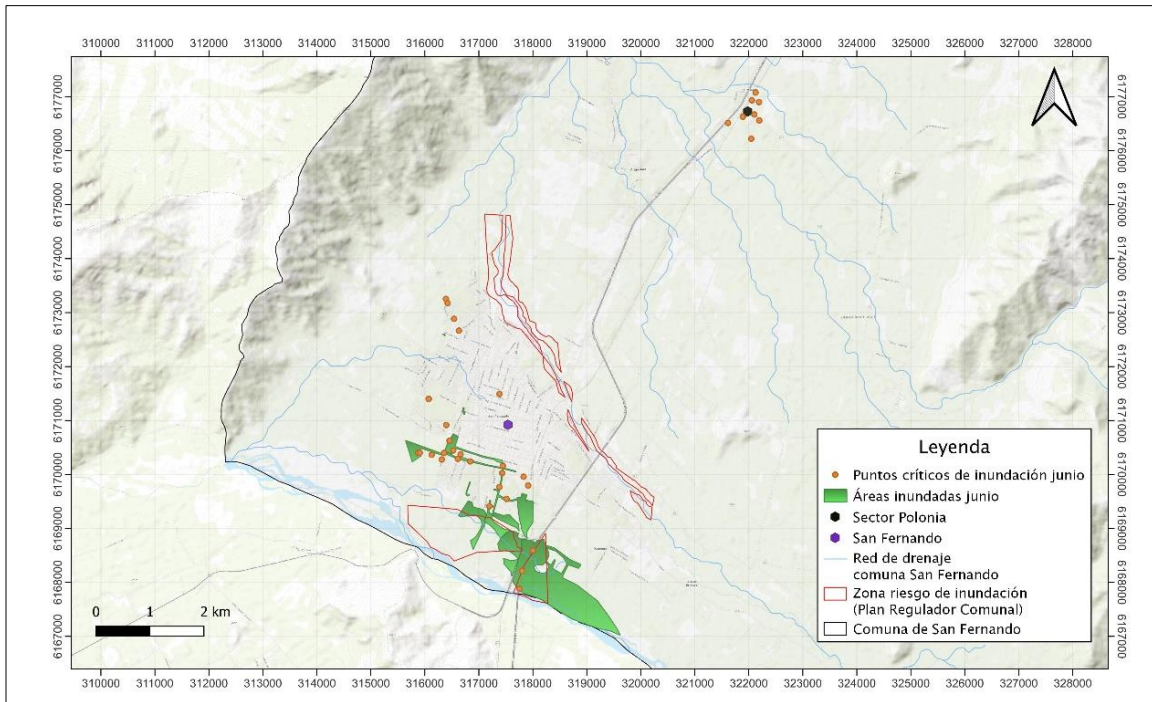


Figura 9: Mapa de las áreas inundadas y puntos críticos de inundación durante el evento hidrometeorológico de junio en la ciudad de San Fernando y sector Polonia, comuna de San Fernando, escala 1:60.000. Elaboración propia con base en el trabajo realizado por Ossandón de SECPLAN, municipalidad de San Fernando (2023).

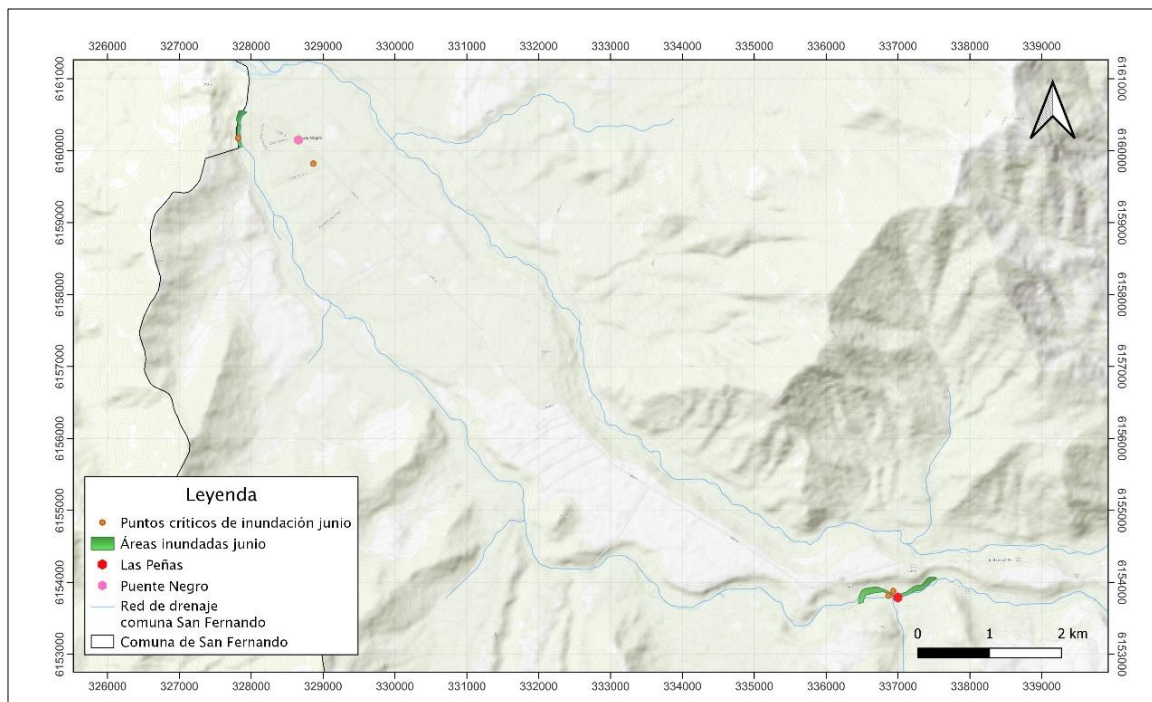


Figura 10: Mapa de áreas inundadas y puntos críticos de inundación durante el evento hidrometeorológico de junio en los sectores de Las Peñas y Puente Negro, comuna de San Fernando, escala 1:45.000. Elaboración propia con base en el trabajo realizado por Ossandón de SECPLAN, municipalidad de San Fernando (2023).

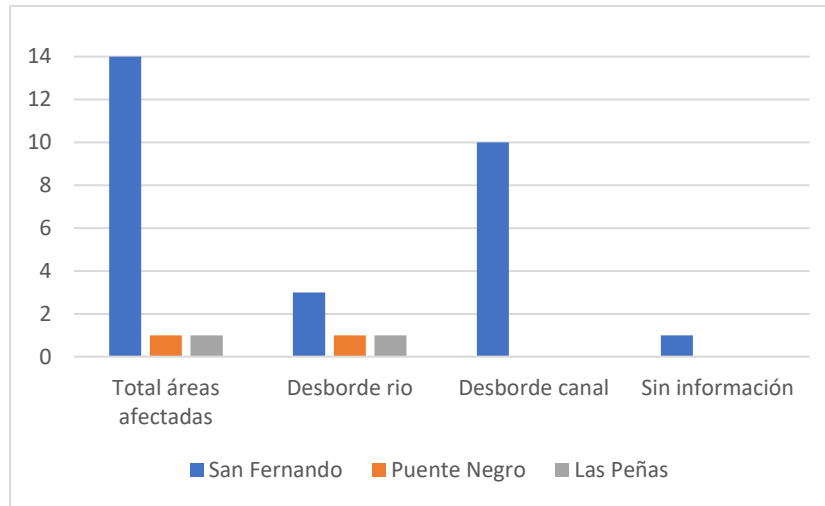


Figura 11: Gráfico de las áreas afectadas durante el evento hidrometeorológico de junio en la comuna de San Fernando. Elaboración propia con base en el trabajo realizado por Ossandón de SECPLAN, municipalidad de San Fernando (2023).

5.1.2. Evento hidrometeorológico de agosto 2023

Para el evento del sistema frontal de agosto, la parte norte de la comuna de San Fernando presentó inundaciones. Los sectores más afectados corresponden a Polonia con un 50 % (38 y 12 % correspondiente a 784.089 y 253.997 m²), seguido por el sector precordillerano en la ruta I-309 del sector Agua Buena con un 16 % (283.967 m²) y Puente Negro con un 10 % (217.431 m²) de la totalidad de las áreas inundadas. En el mapa de la Figura 12 y 13, se presentan los puntos y polígonos asociados a las inundaciones de agosto.

Según la información proporcionada por la municipalidad, las inundaciones del sector Polonia ocurrieron debido a desbordes de canales, los cuales no contaban con la mantención adecuada, ya que, presentaban en su mayoría escombros y basura. Mientras que en el sector de la ruta I-309, la inundación ocurrió debido al desborde del estero Antivero.

La cantidad de áreas afectadas se muestra en el gráfico de la Figura 14, mientras que el detalle de cada sector afectado se encuentra en la Tabla 7 y Figura 5 del Anexo 3.b.

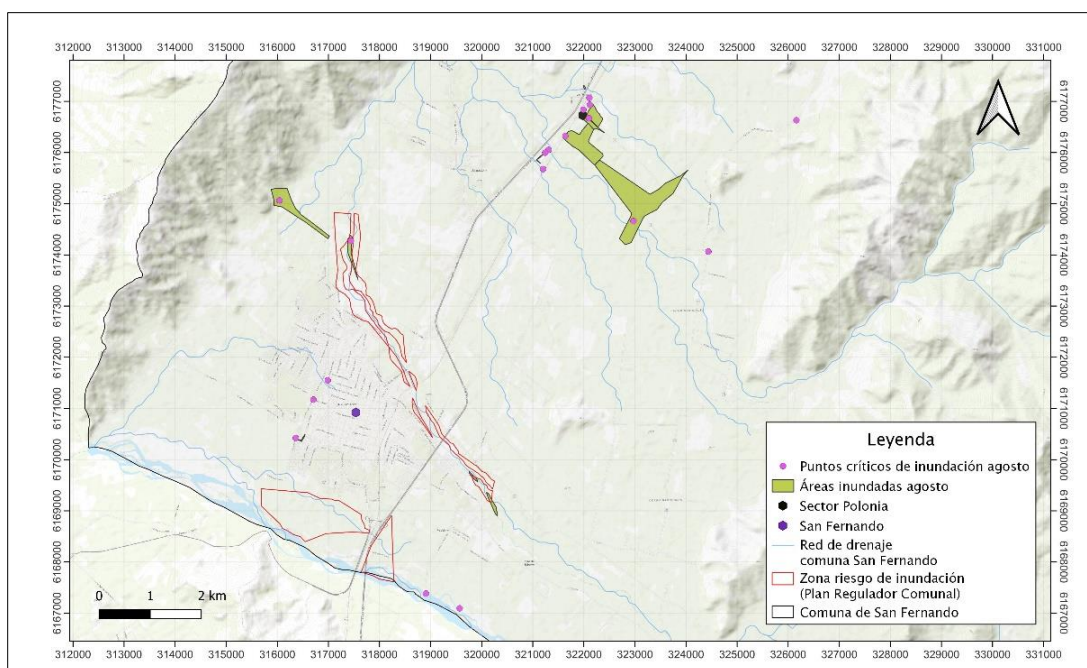


Figura 12: Mapa de las áreas inundadas y puntos críticos de inundación durante el evento hidrometeorológico de agosto en la ciudad de San Fernando y sector Polonia, comuna de San Fernando, escala 1:60.000. Elaboración propia con base en el trabajo realizado por Ossandón de SECPLAN, municipalidad de San Fernando (2023).

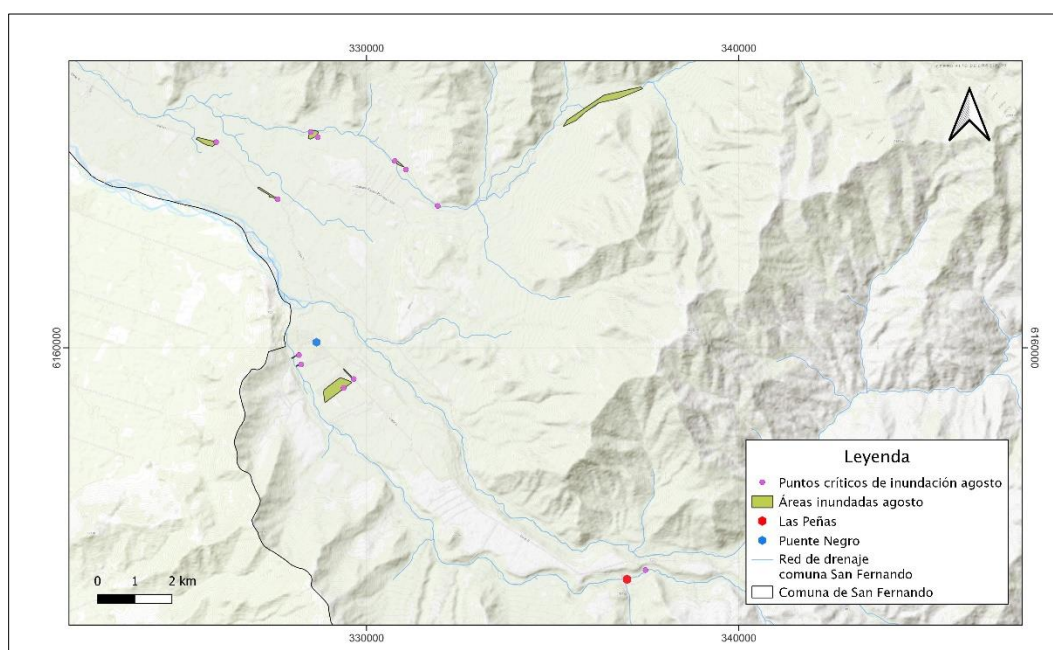


Figura 13: Mapa de las áreas inundadas y puntos críticos de inundación durante el evento hidrometeorológico de agosto en los sectores de Las Peñas y Puente Negro, comuna de San

Fernando, escala 1:80.000. Elaboración propia con base en el trabajo realizado por Ossandón de SECPLAN, municipalidad de San Fernando (2023).

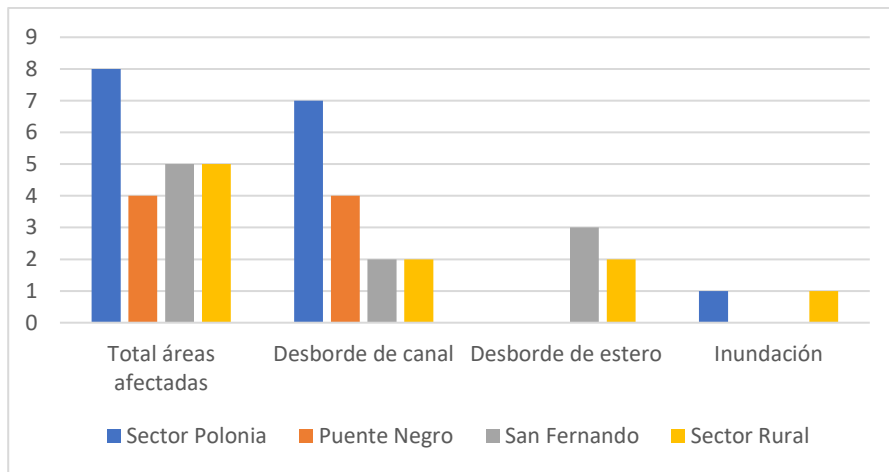


Figura 14: Gráfico de las zonas afectadas por el evento hidrometeorológico de agosto.

Elaboración propia con base en el trabajo realizado por Ossandón de SECPLAN, municipalidad de San Fernando (2023).

5.2. Remociones en masa

5.2.1. *Inventario de las remociones en masa*

Durante el mapeo a través de las imágenes satelitales proporcionadas por *Google Earth* y en conjunto con la salida a terreno del 07 de noviembre, se obtuvo un total de 226 puntos (Figura 15) correspondientes a 3 categorías de remociones en masa: Caída de rocas, flujo de detritos y deslizamientos de detritos, abarcando un área de aproximadamente 1356 km². El área promedio de los deslizamientos de detritos corresponden a 653 m², mientras que para los flujos de detritos su área promedio es de 30.300 m² aproximadamente. Adicionalmente, en la Tabla 3 se presenta la cantidad de remociones por cada tipo de evento. El detalle del catastro realizado se encuentra en la Tabla 8 Anexo 3.c.

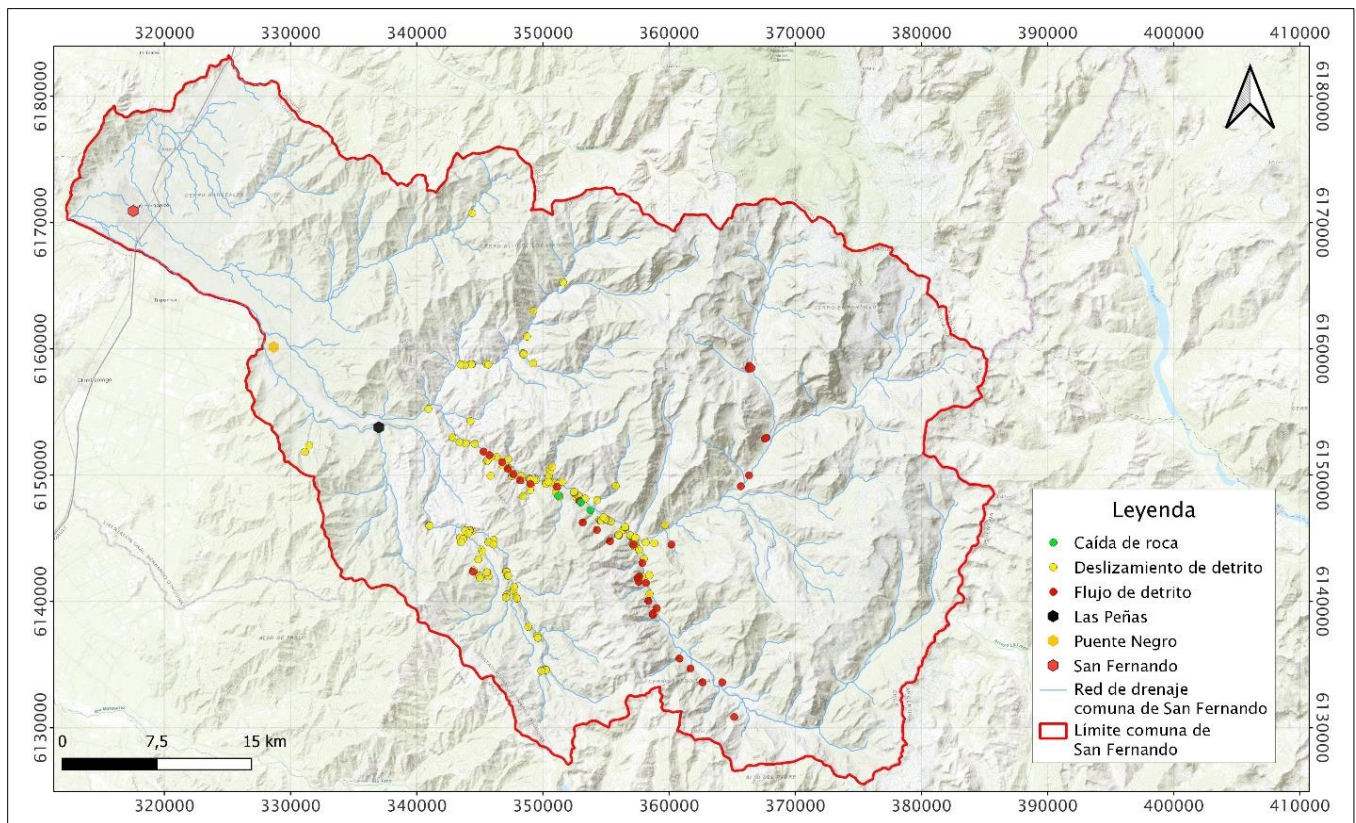


Figura 15: Mapa de remociones en masa generadas en los eventos hidrometeorológicos de junio y agosto del 2023 en la comuna de San Fernando, escala 1:300.000. Elaboración propia.

Según la Tabla 3, la mayor cantidad de remociones corresponde a deslizamientos de detritos y flujos de detritos, mientras que en menor medida se presentan las caídas de rocas.

Tabla 3: Cantidad de remociones por tipo de evento.

Tipo de remoción	Cantidad
Deslizamiento de detritos	186
Flujo de detritos	37
Caída de rocas	3

5.2.2. Orientación y pendiente de laderas

En la Figura 16, se presenta el gráfico de número de remociones en masa versus la pendiente (%) de ladera en las que fueron generadas, ordenadas según el rango usado por FAO

(2009) y Lara (2007). En el área de estudio se tiene que la mayor parte de las remociones en masa (RM) se concentra entre los rangos 30 – 60 (%) y > 60 (%). Esta alta cifra de deslizamientos de detritos corresponde a: 81 en el rango [30 – 60[(%), y 98 para el rango > 60 (%). Adicionalmente, se debe considerar que esta alta cifra de eventos se atribuye principalmente a las altas pendientes que posee la zona de estudio, como se muestra en el mapa de la Figura 6 del Anexo 3.d.

Los flujos de detritos se dan desde los rangos 15 – 30 (%) hasta > 60 (%) con una totalidad de 36 eventos, mientras que en menor medida se presentan las caídas de roca, con 3 eventos en pendientes de > 60 (%).

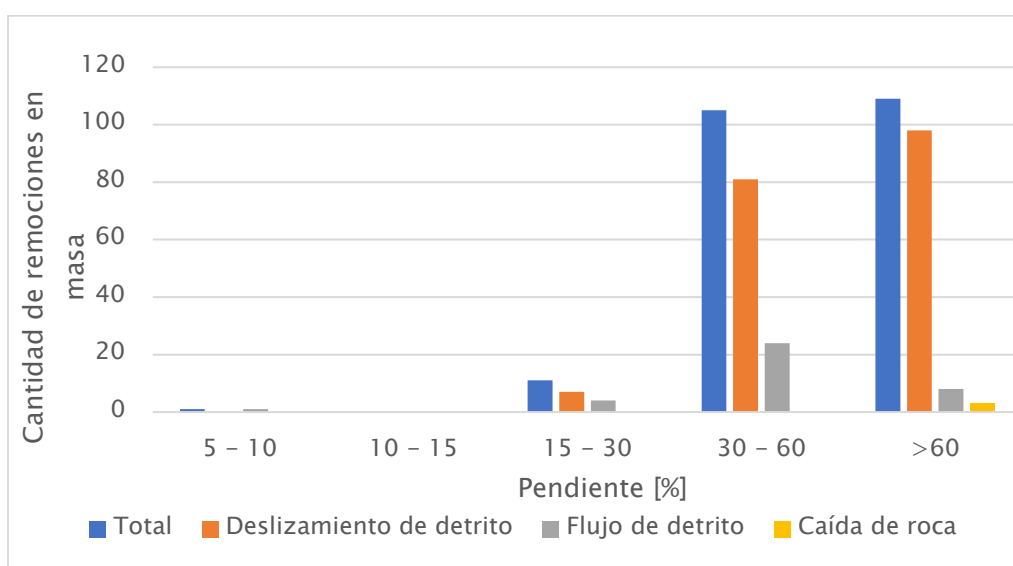


Figura 16: Gráfico de cantidad de remociones en masa versus la pendiente de la ladera donde se generan.

Respecto a la orientación de la ladera considerando el total de remociones en masa, se tiene que la orientación donde fallan principalmente las laderas es Norte, como se muestra en el gráfico de la Figura 17. Adicionalmente, se muestra un mapa de orientación de laderas en la Figura 7 del Anexo 3.d.

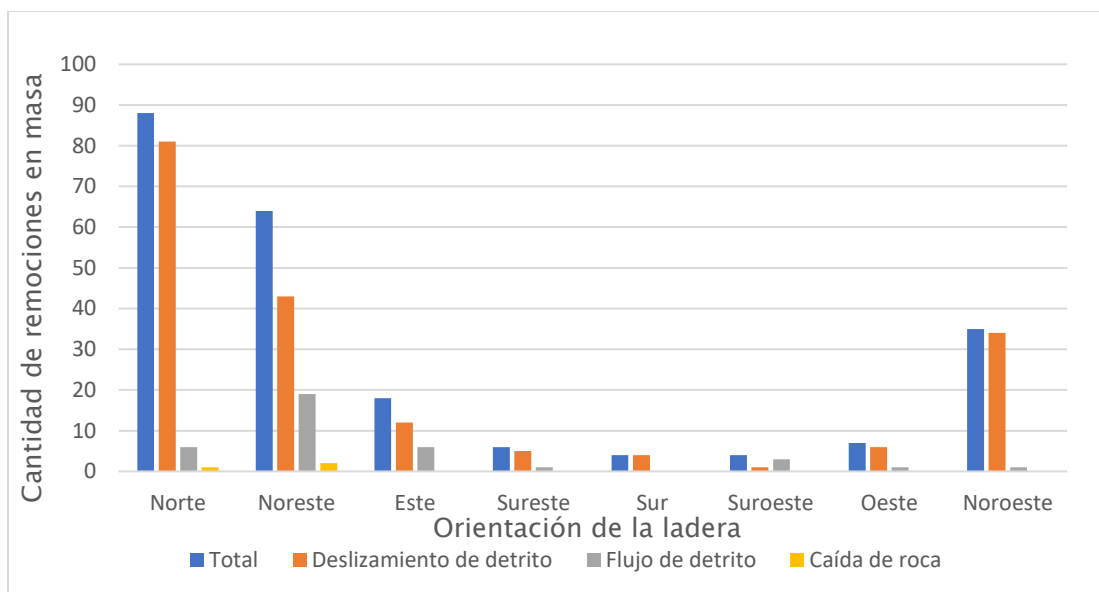


Figura 17: Gráfico de la cantidad de remociones en masa versus la orientación de la ladera donde se generan.

5.2.3. Relación entre litología y las remociones en masa generadas

En zona de estudio, se observa tres unidades geológicas predominantes: Depósitos Cuaternarios (DC), Rocas Volcánicas y Volcanosedimentarias del Paleógeno–Neógeno (RVVSPN) y Rocas Intrusivas del Cenozoico (RIC). En la Figura 18 se presenta el mapa geológico de la zona de estudio, el cual fue elaborado con base en el trabajo realizado por Gómez (2022) y SERNAGEOMIN (2003). Dado esto, la cantidad de remociones generadas en cada tipo de roca o depósito se observa en el gráfico de la Figura 19.

La litología que presenta mayor cantidad de remociones en masa corresponde a Secuencias Volcanosedimentarias, con un total de 181 eventos: 150 deslizamientos de detritos, 28 flujos de detritos y 3 depósitos de caída de rocas.

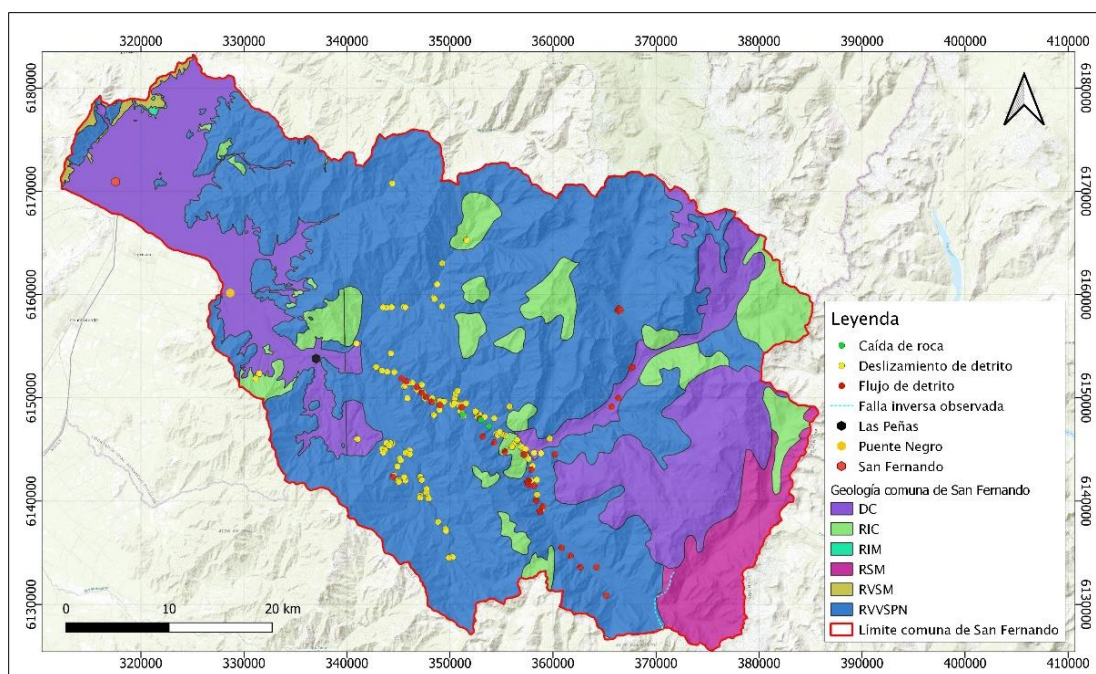


Figura 18: Mapa geológico de la comuna de San Fernando, escala 1:300.000. Elaboración propia con base en Gómez (2022) y SERNAGEOMIN (2003).

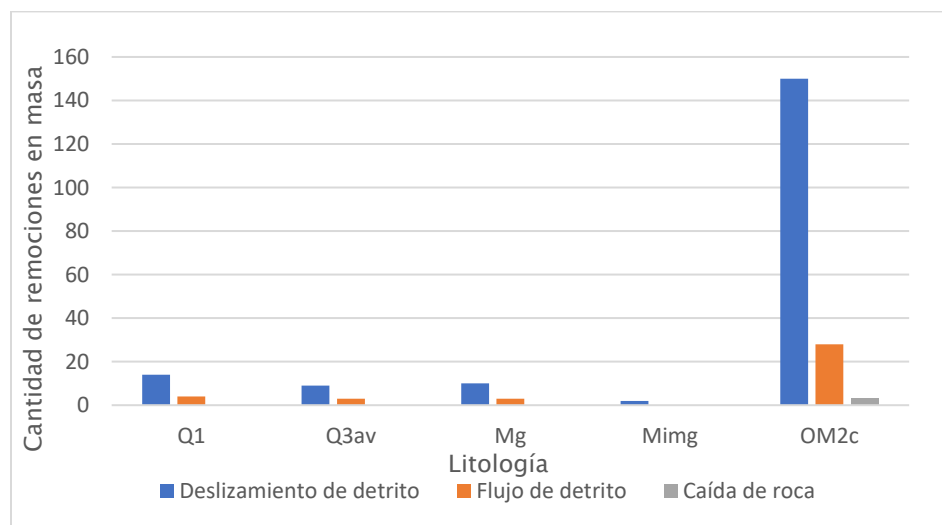


Figura 19: Gráfico de cantidad de remociones en masa por litología en la zona de estudio. Q1: Depósitos aluviales, coluviales y de RM, Q3av: Depósitos de avalancha volcánica, Mg: Granitoides del Mioceno, Mimg: Rocas plutónicas del Mioceno Inferior – Medio y OM2c: Secuencias Volcanosedimentarias.

5.2.4. Posición relativa de las remociones en masa

Los datos obtenidos corresponden a 176 deslizamientos de detritos y 1 caída de roca. Según el gráfico de la Figura 20, los datos que se encuentran en el eje X (horizontal) corresponden a deslizamientos que terminan en el punto más bajo del valle o canal de drenaje, mientras que los puntos que se encuentran en el eje Y (vertical) se producen en la cresta de la ladera o cerca de ella. Aquellos puntos no se encuentran cerca de ningún eje, indican una situación intermedia.

La mayor parte de los datos, en este caso remociones en masa, terminan en el punto más bajo del valle o en un canal de drenaje. Por lo tanto, parte del depósito no se encuentra disponible.

Por otro lado, de acuerdo con el gráfico de la Figura 8 del Anexo 3.e, para los datos normalizados a la base de la ladera, se observa que un 72% de los datos se generaron en el cuarto inferior de la ladera, mientras que un 28 % en el cuarto medio de la ladera.

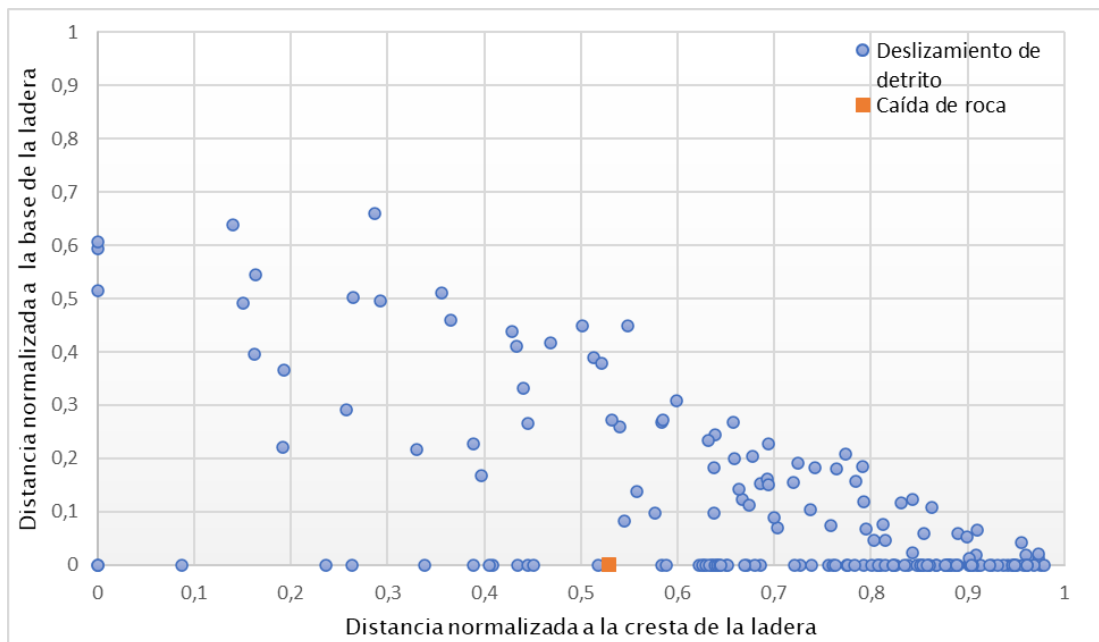


Figura 20: Gráfico normalizado de la posición relativa de las remociones en masa en las laderas. En el eje Y se presenta la distancia entre la base de la ladera y el punto más bajo de la remoción en masa, mientras que en el eje X, se encuentra la distancia entre el punto más alto de la ladera y el escarpe del deslizamiento.

5.2.5. Análisis Granulométrico y Límites de Atterberg

El tratamiento de los datos granulométricos fue realizado en el software Excel, se presenta en la Figura 21 los gráficos de la curva granulométrica para los 4 tipos de muestras recolectadas. Las Tablas 9 y 10 del Anexo 3.f presentan el detalle de cada muestra de suelo respecto al peso retenido de material y sus porcentajes. Adicionalmente, se presenta en los gráficos los diámetros característicos tales como D_{10} , D_{30} y D_{60} .

Para el cálculo de este parámetro se escogieron pendientes adecuadas relacionadas con el porcentaje que pasa (P_i) y diámetro [mm]. El gráfico entrega una ecuación de la recta, pero en función logarítmica del tipo $f(x) = y = m * \ln(x) + b$. Esto nos entrega una solución para cada $f(D_n)$. El resultado para cada valor de D_{10} , D_{30} y D_{60} de cada muestra se presenta en la Tabla 4. Adicionalmente en la Tabla 5, se presentan los resultados para el coeficiente de uniformidad (C_u) y coeficiente de curvatura (C_c).

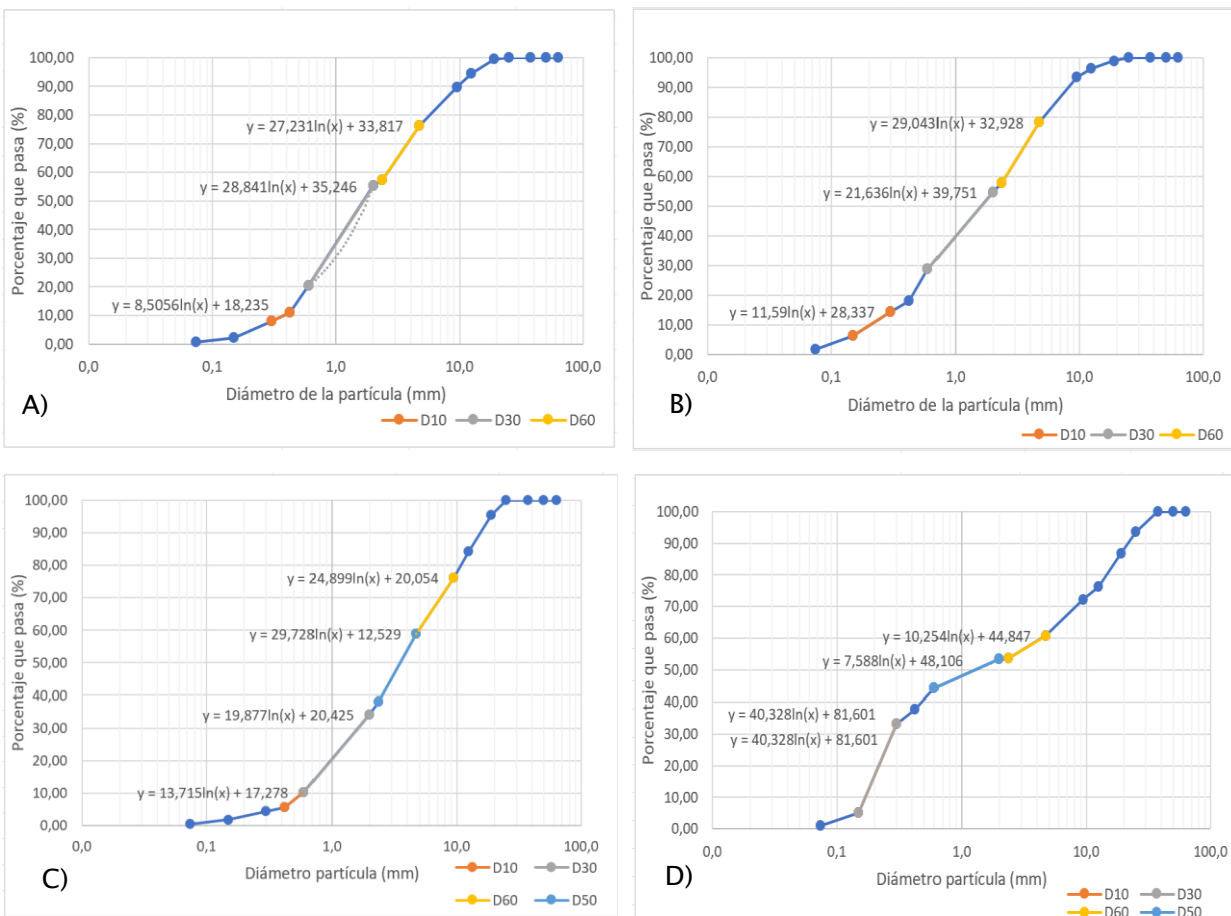


Figura 21: Curvas granulométricas con ecuaciones logarítmicas correspondientes a D_{10} , D_{30} y D_{60} . A) Muestra 1 depósito fluvial ; B) Muestra 2 depósito de avalancha volcánica ; C) Muestra 3 depósito coluvial ; D) Muestra 4 depósito fluvial.

Tabla 4: Valores del diámetro característico D_{10} , D_{30} y D_{60} para cada muestra.

Diámetro característico	Muestra 1 Valor [mm]	Muestra 2 Valor [mm]	Muestra 3 Valor [mm]	Muestra 4 Valor [mm]
D_{10}	0,12	0,21	0,59	0,17
D_{30}	0,83	0,64	1,62	0,28
D_{60}	2,62	2,54	4,97	4,38

Tabla 5: Valores para el coeficiente de uniformidad (C_u) y coeficiente de curvatura (C_c) de cada muestra.

Coeficiente	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
C_u	22,30	12,34	8,46	25,88
C_c	2,27	0,78	0,89	0,10

Finalmente, estos resultados indican que las 4 muestras corresponden a un suelo grueso. Según la clasificación USCS la muestra 1 de suelo corresponde a una arena bien graduada (SW), sin embargo, las muestras 2,3 y 4 de suelo corresponden a arenas mal graduadas (PS).

Para el análisis de límites de Atterberg se realizaron ensayos en la muestra 2 y 3 de suelo, debido a que las muestras 1 y 4 contenían más cantidad de arena que arcilla o limo. Sin embargo, la muestra 2 presentó resultados incongruentes entre el número de golpes y contenido de humedad (%) invalidando el análisis.

El resultado para la muestra de depósito coluvial (3) se presenta en la Tabla 6, mientras que el detalle se presenta en las Tablas 11 y 12 del Anexo 3.g. Posteriormente, se realizó el gráfico (Figura 22) de dispersión semilogarítmico para la muestra 3 utilizando el software Excel.

Tabla 6: Límite líquido, plástico e índice de plasticidad muestra de depósito coluvial (3) de suelo.

Muestra 3 depósito coluvial				
N°/Nombre de Cápsula	2	4	5	6
N° de Golpes [N]	18	22	28	38
Límite Líquido LL[%]	29,29			
Límite Plástico LP[%]	22,48			
Índice de Plasticidad IP[%]	6,81			

Considerando el resultado obtenido, se determinó que la muestra 3 de suelo posee un material medianamente plástico, según su índice de plasticidad. Además, se clasifica como limo (ML) de baja compresibilidad, según la carta de plasticidad de la Figura 4.

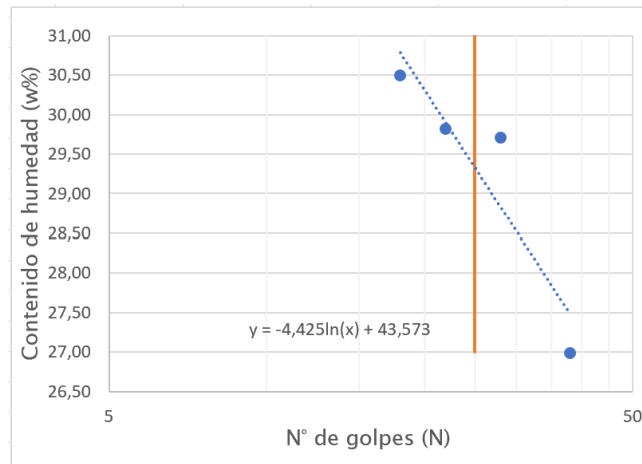


Figura 22: Gráfico del contenido de humedad vs N° de golpes para determinación de Límite Líquido (LL) de la muestra (3) de depósito coluvial.

6. Discusiones

6.1. Inundaciones

La comuna de San Fernando durante el pasado invierno se vio afectada por dos sistemas frontales de carácter extremo debido a la llegada de dos ríos atmosféricos zonales (RAZ). La zona de estudio posee un clima templado cálido con precipitaciones fluctúan entre los 700 y 2000 mm anualmente. Sin embargo, durante los eventos de junio y agosto, esa cantidad de precipitaciones se alcanzaron en periodos de 3 a 4 días, provocando en las zonas urbanas de la comuna

inundaciones, desborde de canales, esteros y ríos, mientras que en la zona precordillerana y cordillerana desencadenó remociones en masa. Según la información proporcionada por la municipalidad de San Fernando, durante el evento de junio la ciudad se vio afectada mayormente por el desborde del río Tinguiririca, afectando el sector sur de la ciudad principalmente con un 59% (1.314.394 m²) de la totalidad de las áreas inundadas. Sin embargo, las áreas afectadas (Los Huertos, Ruta 5 Sur, Campus Colchagua y predios agrícolas) se encuentran dentro de las zonas de riesgo de inundación determinadas por el plan regulador de la comuna (Anexo 1.a). Para el evento de agosto, la localidad mayormente afectada corresponde al sector Polonia con un 50% (38 y 12 % correspondiente a 784.089 y 253.997 m²) , el cual sufrió inundaciones debido a desbordes de canales en la zona, los cuales no contaban con su adecuada mantención.

6.2. Remociones en masa

Las remociones en masa (RM) se identificaron principalmente mediante mapeo de imágenes satelitales a través Google Earth, el rasgo más relevante en la identificación de RM corresponde a la ausencia de vegetación tanto en las laderas como quebradas, y al tratarse de un evento reciente, se hizo una comparación de imágenes que datan de noviembre de 2022. Mediante la fotointerpretación se logró distinguir entre deslizamientos de detritos, flujos de detritos y caídas de rocas. Sin embargo, algunos deslizamientos fueron difíciles de identificar, debido a que se encontraban en áreas de sombra, resultado de la posición y la hora en que el satélite capturó las imágenes.

Se mapearon 226 puntos asociados a los eventos hidrometeorológicos de junio y agosto del 2023. Se identificaron 3 categorías de RM: deslizamientos de detritos, flujos de detritos y depósitos de caída de rocas. Estas RM fueron mapeados en escala 1:20.000. Sin embargo, el mapa de remociones fue realizado en escala 1:350.000 debido a la cantidad (226) de RM identificadas, abarcando un área total de 1356 km² aproximadamente.

La litología predominante en la zona de estudio, donde se produjeron las RM, se caracteriza por secuencias volcanosedimentarias y depósitos aluviales y coluviales. Esto se debe a un tema de escalas, puesto que las RM fueron mapeadas en escala 1:20.000 y los mapas litológicos de Gómez (2022) y SERNAGEOMIN (2003) son en escala 1:1.000.000 por lo que, es

necesario contar con un producto de mapa litológico a menor escala que abarque la comuna completa, ya que el realizado por Contreras (2023) en escala 1:100.000 solo abarca hasta la localidad de Las Peñas y no se ve representada la información litológica del sector cordillerano en donde ocurrieron todas las RM.

Las RM se generaron en laderas que fallaron principalmente con una pendiente mayor al 60%, seguido de pendientes con un rango de 30 – 60 %, esto se debe a que en la zona precordillerana de la comuna predominan laderas con altos rangos de pendiente. Este resultado es comparado con el inventario de RM gatilladas por el terremoto del Maule en 2010 realizado por Serey (2019), en el cual las RM ocurren aproximadamente en pendientes similares sobre los 30°. Otro factor para considerar es la orientación en la cual fallaron las laderas, principalmente aquellas con orientación norte y noreste. Esto se explica debido a que la exposición al sol de las laderas con esta respectiva orientación ocurre todo el día, y según Peña (2009) esta exposición favorece el resecamiento de material y compactación en suelos arcillosos, aumentando las probabilidades de deslizamientos. Cabe destacar que, las muestras de este trabajo son predominantemente arenosas, indicando diferencias con lo propuesto por Peña (2009), esto indica que los efectos no se limitan solo a suelos arcillosos. Por lo tanto, se sugiere que la exposición solar influye en la respuesta del terreno, independientemente de la composición específica del suelo.

Respecto a la posición relativa de las RM en laderas, según el grafico de la Figura 20, se observa que no existe un apilamiento significativo de puntos en el eje Y, es decir, las RM no se generaron en los puntos más altos de la ladera, sino que ocurrieron en las zonas más bajas del valle y gran parte de los depósitos terminaron en canales de drenaje, como se observa en el eje X del gráfico de la Figura 20. Esto sugiere que los deslizamientos de detrito gatillados por precipitaciones extremas tienden a ubicarse en la parte baja de las laderas en cercanías a redes de drenaje.

Los ensayos granulométricos realizados indican que las muestras poseen un perfil de suelo grueso debido a que la proporción de partículas de arena (2,0 – 0,05 mm) es mayor en comparación con limo y arcilla. Se presenta una mala graduación de arena en las muestras 2

(depósito de avalancha volcánica), 3 (depósito coluvial) y 4 (depósito fluvial), a diferencia de la muestra 1 (depósito fluvial) que presenta una buena graduación. La mala graduación de arena en los suelos analizados sugiere una baja cohesión, lo que indica que poseen una menor capacidad de retener agua, por lo que, en periodos de precipitaciones intensas contribuyen a la pérdida de estabilidad de las laderas.

En los ensayos de límites de Atterberg, la muestra de depósito coluvial (3) fue analizada, debido a que la muestra de depósito de avalancha volcánica (2) presentó incongruencias entre el número de golpes y la cantidad de humedad (%). Contrariamente a lo esperado, a medida que aumentaba el número de golpes, la cantidad de humedad no disminuía, sino que aumentaba, lo que invalidó los resultados obtenidos. Se observó que la muestra 3 posee un material medianamente plástico y contiene limo de baja compresibilidad. Lo cual es un indicador de cómo estas propiedades influyen en la capacidad del suelo en el área de estudio para resistir tensiones y deformaciones.

7. Conclusiones y Recomendaciones

El trabajo realizado en SENAPRED bajo la modalidad de pasantía profesional, consistió en analizar las remociones en masa e inundaciones ocurridas en los eventos hidrometeorológicos de junio y agosto del 2023 en la comuna de San Fernando. En base a eso, se determinó que las precipitaciones intensas en la comuna desencadenaron desbordes del río Tinguiririca y río Claro, estero Antivero y canales de las áreas afectadas, generando inundaciones en la ciudad de San Fernando, sectores Polonia, Puente Negro y Las Peñas. Se identificaron zonas inundadas que están dentro de la zona de riesgo de inundación, como lo estipula el Plan Regulador Comunal. Sin embargo, el sector de Polonia se vio mayormente afectados por inundaciones debido a desbordes de canales, los cuales no posean la mantención adecuada. Se recomienda que, para eventos hidrometeorológicos de similares características, la comuna posea las defensas fluviales necesarias para mitigar los posibles desbordes del estero y ríos mencionados. Adicionalmente, se sugiere a las comunidades de vigilancia, regantes y dueños de predios agrícolas mantener una limpieza de periódica de los canales que estén determinados como puntos críticos de inundación.

Se mapeo una totalidad de 226 puntos, de los cuales un 82 % corresponde a deslizamientos de detritos, un 17 % a flujos de detritos y un 1 % a caídas de rocas.

La orientación y pendiente preferente para fallar de las laderas en la zona de estudio, corresponde a aquellas con orientación Norte – Noreste, y una pendiente en el rango $> 60\%$.

Las muestras de depósitos recolectados indican que presentan un perfil de suelo grueso, mala graduación de arena y poseen un material medianamente plástico, lo que sugiere que el suelo de las laderas analizadas en periodos de precipitación intensa es de baja cohesión, lo cual indica una pérdida de estabilidad. Se recomienda realizar más análisis de muestras en otros puntos mapeados de la ruta I-45.

Se recomienda mantener actualizado el inventario de remociones en masa gatillados por lluvias en la comuna y a nivel regional, puesto que la frecuencia en la que se presentan este tipo de eventos en el país es cada vez mayor. Actualmente, los registros de remociones en masa disponibles son antiguos y muy pocos georreferenciados. Una actualización constante permitirá contar con una mejor precisión y detalle de datos, lo cual es esencial para una efectiva gestión del riesgo en la zona.

Referencias

- Alfaro S., Alejandro, Pantoja C., Gilma y Brantt H., Cristina (2018) Peligro de remociones en masa en la Región de Coquimbo–sector Norte [en línea]. Santiago. SERNAGEOMIN. Informe Registrado n°068.
- Alvarado, G. y Moya, C. (2007). División político–administrativa y censal, 2007. In Instituto Nacional de Estadística INE Chile
- ASTM International. (2017). ASTM D2487–17 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). West Conshohocken, United States of America.
- ASTM D422, Test Procedures for Particle–Size Analysis – Mechanical Method.
- ASTM D4318–95a, Standard Test Method for Liquid Limit, and Plasticity Index of Soils.
- ASTM D5731–07 Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications
- Ayala–Carcedo, F. (2002). El sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la Responsabilidad social de los expertos, un análisis del caso español y sus alternativas. Boletín de la A.G.E, n°33, 79–9.
- Barraza, J. (2023, 27 junio). Jose Barraza. <https://www.cr2.cl/analisis-cr2-vuelven-los-gigantes-un-analisis-preliminar-de-la-tormenta-ocurrida-entre-el-21-y-26-de-junio-de-2023-en-chile-central/>
- Barraza, J. (s. f.). Jose Barraza. <https://www.cr2.cl/analisis-cr2-vuelve-aculeo-se-va-la-megasequia/>
- Bozkurt D, Rojas M, Boisier J P, Valdivieso J (2018) Projected hydroclimate changes over Andean basins in central Chile from downscaled CMIP5 models under the low and high emission scenarios. Climatic Change, 150(3):131–147
- Budhu, M. (2011). Soil mechanics and foundations (3a ed.--.). New York: Wiley.
- Contreras,J.P. ;Schilling,M.2021. Geología del área San Fernando–Curicó, regiones del Libertador General Bernardo O 'Higgins y del Maule. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Informe RegistradoIR–21–89:56p.,1m apa escala 1:100.000.Santiago.
- COSUDE. (2002). Instrumentos de apoyo para el Análisis y la Gestión de Riesgos Naturales. Guía para el especialista. Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación, Managua.
- Cruden, D., 1991. A simple definition of a Landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology. No. 43, p. 27–29.

- Escuder, I., Morales, A., Castillo, J., & Perales, S. (2010). *SUFRI, Strategies of Urban Flood Risk Management*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente.
- Estudio de Riesgos, Plan Regulador Comunal de San Fernando. 2020. [Estudio de Riesgos](#)
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. [Guía para la descripción de suelos](#)
- Ferrando, F. (2006). Sobre inundaciones y anegamientos. Flood disasters. Revista de Urbanismo. Universidad de Chile., N° 15.
- Garreaud, R. (2013). Warm Winter Storms in Central Chile. *Journal of Hydrometeorology*, 14(5), 1515–1534. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-0135.1>
- Garreaud RD, Alvarez-Garretón C, Barichivich J, Boisier JP, Christie D, Galleguillos M, Le-Quesne C, McPhee J, Zambrano Bigiarini M (2017) The 2010–2015 megadrought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21(1):6307–6327
- Garreaud RD, Boisier JP, Rondanelli R, Montecinos A, Sepúlveda HH, Veloso-Aguila D (2019) The central Chile mega drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *Int. J. Climatol.*, 40(1):421–439
- Garreaud R, Rutllant J (1997) Precipitación estival en los Andes de Chile central: aspectos climatológicos. *Atmósfera*, 10(4):191–211
- Garreaud, R. D., Vergara, I. y Viale, M. (2021). Análisis: ¿Una tormenta de invierno en pleno verano? Entendiendo el extraordinario evento de finales de enero de 2021 en Chile central | (CR)2. Retrieved from <https://www.cr2.cl/analisis-una-tormenta-de-invierno-enpleno-verano-entendiendo-el-extraordinario-evento-de-finales-de-enero-de-2021-en-chile-central-cr2/>
- Gisadminbeers. (2019, 4 abril). Mapas combinados de pendiente y orientación de laderas – Gis&Beers. Gis&Beers. <http://www.gisandbeers.com/mapas-combinados-pendiente-orientacion-laderas/>
- Gómez Fernández, Nava. 2022. Caracterización Geológica, Geomorfológica e Hidrológica de la Zona Sur de la Región de O'Higgins. <https://repositorio.uoh.cl/handle/611/77>
- González de Vallejo, L., Freire, M., Ortuño, L., Oteo, C., 2002. *Ingeniería Geológica*. Segunda ed. Madrid: Pearson Educación
- Gutiérrez Baca, C. (2017). Determinación de las áreas vulnerables frente a riesgos de inundación y huacos en la zona aledaña al río Pachatusan y sus propuestas de mitigación.
- Hauser, A., 1993. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. Boletín No. 45, p. 7–29.

- Hungr, O., Leroueil, S. and Picarelli, L. (2014) The Varnes Classification of Landslide Types, an Update. *Landslides*, 11, 167–194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>
- Lara Castillo, & Sepúlveda Valenzuela, S. (2007). Metodología para la evaluación y zonificación de peligro de remociones en masa con aplicación en Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis (magíster en ciencias, mención geología) – Universidad de Chile, 2007.
- Lara, M., Sepúlveda S. (2008). Remociones en masa. Departamento de Geología. Universidad de Chile
- Meunier, P., Hovius, N., y Haines, J.A., 2008. Topographic site effects and the location of earthquake induced landslides. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 275, No. 3, pp. 221–232.
- Morales S, Luis (2016) Topoclimatología del secano de la región de O'Higgins [en línea]. Rengo: Boletín INIA – Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 320. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6546> (Consultado: 29 septiembre 2023).
- Moya Vargas, S. (2016). Comportamiento monotónico y cíclico de suelos y rocas blandas afectados por remociones en masa cosísmicas. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/143497>
- Orellana Clavería, N. (2016). Análisis de exposición y gestión de riesgo en zonas de expansión urbana frente a amenaza de inundación y anegamiento en la ciudad de Puerto Montt. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/144214>
- Ortega C, Vargas G, Rojas M, Rutllant JA, Muñoz P, Lange CB, Pantoja S, Dezileau L, Ortlieb L (2019) Extreme ENSO-driven torrential rainfalls at the southern edge of the Atacama Desert during the Late Holocene and their projection into the 21th century. *Global and planetary change*, 175(1):226–237
- Peligros Geológicos. (2023). SERNAGEOMIN.
- Peña, F. y Mardones, M., 1999. Planificación ecológica en el curso inferior del río Itata. VII Región del Biobío. *Revista de Geografía de Chile Terra Australis*, No. 44, pp. 45–62.
- Ralph, F. M., Rutz, J. J., Cordeira, J. M., Dettinger, M., Anderson, M., Reynolds, D., Schick, L. J., & Smallcomb, C. (2019). A Scale to Characterize the Strength and Impacts of Atmospheric Rivers. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(2), 269–289.
- Sáez, E. (2010). Fundamentos de geotecnia (PUC). Santiago
- Serey Amador, A. Jeannette., & Sepúlveda Valenzuela, S. (2011). Análisis de las remociones en masa generadas por el terremoto del Fiordo Aysen de 2007 (45,5°S). Tesis (magíster en ciencias, mención geología) – Universidad de Chile, 2011.

- Serey, A., Piñero-Feliciangeli, L., Sepúlveda, S.A. *et al.* Landslides induced by the 2010 Chile megathrust earthquake: a comprehensive inventory and correlations with geological and seismic factors. *Landslides* 16, 1153–1165 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01150-6>
- Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres. (2023). Monitoreo agosto n°21 por evento meteorológico región de Ohiggins.
- Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres. (2023). Monitoreo junio n°49 por evento meteorológico región de Ohiggins.
- SERNAGEOMIN (2003) Mapa Geológico de Chile a escala 1:1.000.000: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital N°4
- Subsecretaría de Previsión Social. (2020). GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES
- UNESCO. (2014). Gestión del riesgo de desastres
- Valenzuela, R. A., & Garreaud, R. D. (2019). Extreme Daily Rainfall in Central–Southern Chile and Its Relationship with Low–Level Horizontal Water Vapor Fluxes. *Journal of Hydrometeorology*, 20(9), 1829–1850. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0036.1>
- Valenzuela, R., Garreaud, R., Vergara, I., Campos, D., Viale, M., & Rondanelli, R. (2022). An extraordinary dry season precipitation event in the subtropical Andes: Drivers, impacts and predictability. *Weather and Climate Extremes*, 37, 100472.
- Varnes, D.J. (1978). Slope movement types and processes. In *Landslides, Analysis and Control*, Special Report N°176. Schuster, R.L., Krizek, R.J., edits. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., p.11–33
- Viale, M., Valenzuela, R., Garreaud, R. D., & Ralph, F. M. (2018). Impacts of atmospheric rivers on precipitation in southern South America. *Journal of Hydrometeorology*, 19(10), 1671–1687.
- WMO, 2014: Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970–2012). WMO–1123, 44 pp., https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1123_en.pdf.
- Zúñiga Álvarez, A. (2019). Análisis geológico–geotécnico de sedimentos glaciolacustres asociados a los deslizamientos del río San Pedro, Región de Los Lagos. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173836>

Anexos

1) Análisis de inundaciones

- a) Plano áreas de riesgo, restricción y de zonas de conservación del Plan Regulador Comunal de San Fernando.

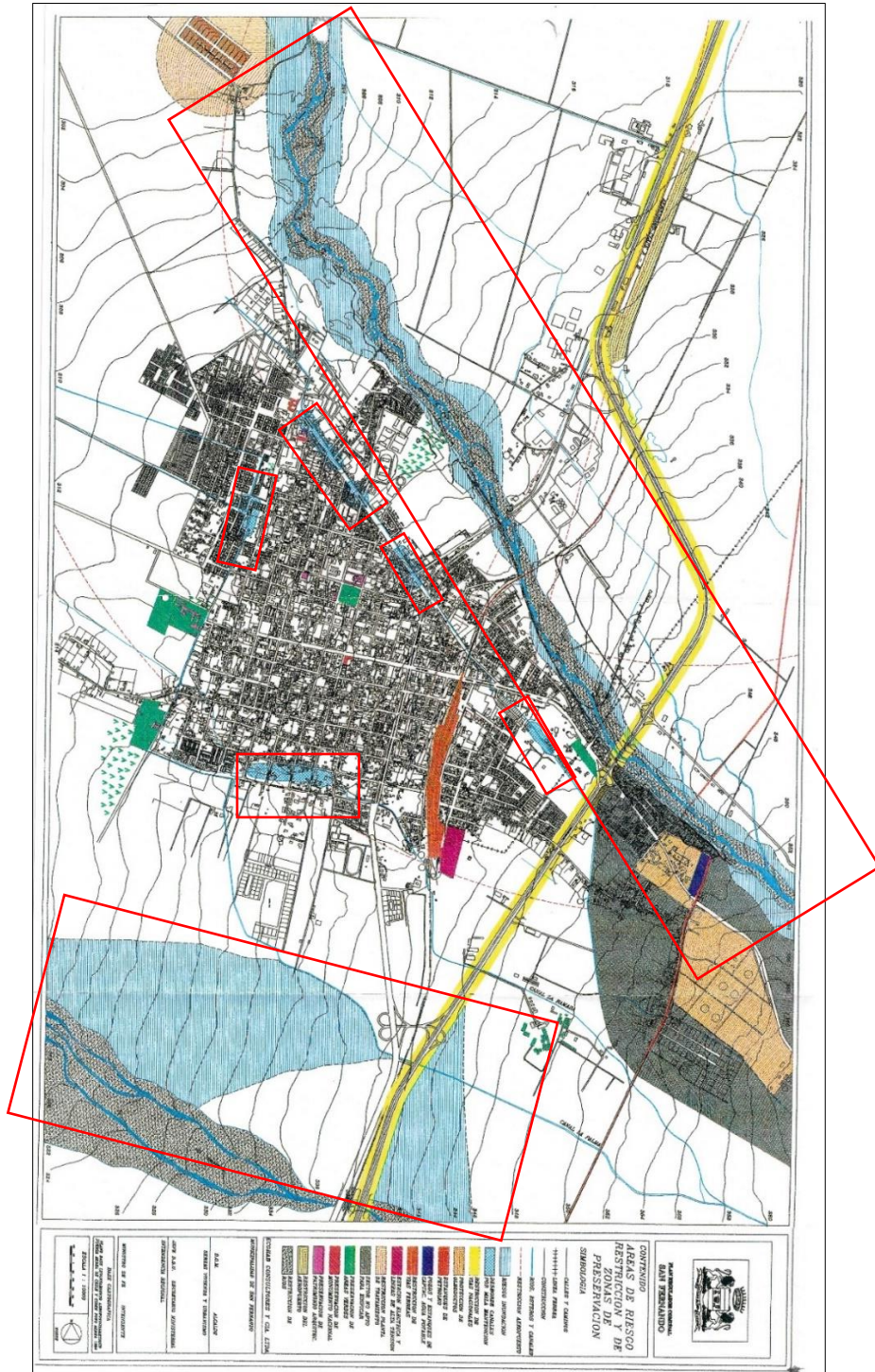


Figura 1: Plano de las zonas de riesgo del Plan Regulador Comunal de San Fernando.
Marcado en rojo las áreas de riesgo de inundación. Extraído y modificado de la
Municipalidad de San Fernando.

b) Registro de precipitaciones

Tabla 1: Datos de Precipitación media acumulada (mm) para el evento de junio. Extraído y
modificado de DGA.

Nro.	Fecha-Hora de Medición	Ting Brion Pptación Acum. (mm)Media	Claro Valle Pptación Acum. (mm)Media	SAN FERNANDO Pptación Acum. (mm)Media
1	21-06-2023	198.946	192.856	115.115
2	22-06-2023	221.502	221.577	133.094
3	23-06-2023	285.087	301.354	180.99
4	24-06-2023	321.208	341.329	202.651
5	25-06-2023	325.369	347.06	204.521
6	26-06-2023	325.8	360.963	210.214

ESTACION	23/6 19 HRS.	23/6 20 HRS.	23/6 21 HRS.	23/6 22 HRS.	23/6 23 HRS.	24/6 0 HRS.	AMARILLO	ROJO
06006001-0 Río Pangal en Pangal	2.73 244.13	2.55 195.4	2.55 195.4	2.43 166.1	2.46 173.19	2.51 185.38	2.69 232.81	2.9 295.15
06008005-4 Río Cachapoal en Pte Termas de Cauquenes							4.07 462.68	4.49 581.67
06013001-9 Río Claro en Hacienda Las Nieves							3.22 292.06	3.57 382.65
06019003-8 Río Cachapoal en Puente Arqueado (Ca)	14.32 1910.02	14.36 1948.38	14.4 1987.16	14.44 2026.49	14.47 2056.27	14.48 2066.24	13.6 1297.24	14 1618.9
06027001-5 Río Claro en el Valle	4.68 539.05	4.42 486.68	4.32 466.61	4.19 442.28	4.18 441.32	4.03 411.24	2.88 227.47	3.24 280.7
06028001-0 Río Tinguiririca Bajo los Briones	4.57 1248.38	4.36 1109.74	4.34 1096.91	4.98 1539.92	4.37 1116.19	4.28 1058.85	3.64 686.13	3.85 801.66

Figura 2: Mediciones de nivel de agua y caudal evento junio. Extraído y modificado del
monitoreo 15. SENAPRED, 2023.

Tabla 2: Datos de Precipitación media acumulada (mm) para el evento de agosto. Extraído y
modificado de DGA.

Nro.	Fecha-Hora de Medición	Claro Valle Pptación Acum. (mm)Media	Ting Brion Pptación Acum. (mm)Media	SAN FERNANDO Pptación Acum. (mm)Media
1	18-08-2023	573.9	495.6	332
2	19-08-2023	603.452	524.419	347.766
3	20-08-2023	671.01	591.046	393.818
4	21-08-2023	710.104	623.223	421.198

5	22-08-2023	792.138	676.942	495.646
6	23-08-2023	845.281	717.469	538.974

ESTACION	23/8 0 HRS.	23/8 1 HRS.	23/8 2 HRS.	23/8 3 HRS.	23/8 4 HRS.	23/8 5 HRS.	AMARILLO	ROJO
Río Pangal en Pangal	1.53 24.17	1.52 23.53	1.55 25.45	1.47 20.47	1.42 17.63		2.69 232.81	2.9 295.15
Río Cachapoal en Pte Termas de Cauquenes	3.57 336.92	3.37 292.67	3.13 243.54	3.11 239.64	3.04 226.23		4.07 460.69	4.49 579.18
Río Claro en Hacienda las Nieves	3.81 65.64	3.86 73.04	4.19 132.61	4.3 155.79	4.32 160.1		3.38 18.8	4.22 138.87
Río Cachapoal en Puente Arqueado (Ca)	13.88 1517.2	13.95 1576	14.02 1636.33	14.09 1697.92	14.13 1733.77		13.6 1297.24	14 1618.9
Río Claro en el Valle							2.88 227.93	3.24 281.62
Río Tinguiririca Bajo los Briones	4.04 914.03	3.94 853.84	3.97 871.72	3.74 739.02	3.56 642.04		3.64 684.4	3.85 801.22

Figura 3: Mediciones de nivel de agua y caudal evento agosto. Extraído y modificado del monitoreo 13. SENAPRED, 2023.

2) Metodología: Análisis de remociones en masa

a) Registro de precipitaciones

Tabla 3: Precipitación media acumulada (mm) para ambos eventos. Extraído y modificado de la DGA.

Evento hidrometeorológico Junio			
Nro.	Fecha-Hora de Medición	LA RUFINA Pptación Acum. (mm)Media	PUEBLO TERMAS Pptación Acum. (mm)Media
1	21-06-2023	255.321	227.358
2	22-06-2023	291.606	291.981
3	23-06-2023	373.821	424.558
4	24-06-2023	426.96	548.406
5	25-06-2023	435.319	576.721
6	26-06-2023	454.737	616.363

Evento hidrometeorológico Agosto			
Nro.	Fecha-Hora de Medición	LA RUFINA Pptación Acum. (mm)Media	PUEBLO TERMAS Pptación Acum. (mm)Media

1	18-08-2023	685.3	789.508
2	19-08-2023	720.612	809.042
3	20-08-2023	836.165	909.617
4	21-08-2023	889.835	983.571
5	22-08-2023	980.023	1098.131
6	23-08-2023	1035.49	1143.415

b) Metodología: Análisis granulométrico

Tabla 4: Información de las muestras recolectadas durante el terreno del 07 de noviembre.

	Muestra 1 Depósito Fluvial	Muestra 2 Depósito de avalancha volcánica
Ubicación/ Coordenadas	S34° 50.699' W070° 33.258' Sector La Confluencia – Ruta I-45	S34° 48.520' W070° 35.787' Sector La Rufina – Ruta I-45
Observaciones	Depósito fluvial de color gris levemente alterado, clasto soportado de mala selección, sus clastos son de grava, subangulares, monomícticos y de tamaño promedio 8 cm, mientras que su tamaño máximo es de aproximadamente 2.5 m. La matriz es de arena. El depósito no presenta material orgánico y la presencia de humedad es media.	Depósito coluvial de color amarillo rojizo alterado superficialmente, clasto soportado, sus clastos son de grava, subangulares, monomícticos y de tamaño promedio 4 cm, mientras que su tamaño máximo es de 80 cm. Posee una alta compactación y se observó presencia de material orgánico. La matriz es de arena arcillosa. La presencia de humedad en el depósito es media.

Fotografías		
-------------	---	--

	Muestra 3 Depósito coluvial	Muestra 4 Depósito fluvial
Ubicación/ Coordenadas	S34° 47.070' W070° 39.546' Sector El Guanaco – Ruta I-45	S34° 44.670' W070° 46.865' Las Peñas – Ruta I-475
Observaciones	Depósito coluvial de color pardo, matriz soportado y mal seleccionado, sus clastos son de grava arenosa y matriz de arena arcillosa. Los clastos son subangulares, de tamaño promedio 10 cm y máximo 80 cm aproximadamente. El depósito presenta material orgánico y compacidad muy alta.	Deposito fluvial de color gris en su matriz y sus clastos presentan múltiples colores. Sus clastos son grava y matriz arenosa. Los clastos son bien seleccionados, sub redondeados y polimícticos, de tamaño promedio 4 cm y máximo 40 cm aproximadamente.



Tabla 5: Mallas ASTM E-11 utilizadas en el análisis granulométrico.

Set 1 de tamices		Set 2 de tamices	
Malla	Abertura [mm]	Malla	Abertura [mm]
3"	75.0	#4	4.750
2 ½"	63.0	#8	2.360
2"	50.0	#10	2.000
1 ½"	37.5	#30	0.600
1"	25.0	#40	0.425
¾"	19.0	#50	0.300
1/2"	12.5	#100	0.150
3/8"	9.5	#200	0.074

3) Resultados

a) Inundaciones: Evento hidrometeorológico junio

Tabla 6: Áreas inundadas comuna de San Fernando en el evento hidrometeorológico de junio del 2023.

Sector	ID	Nombre área	Descripción	Área afectada (m2)
San Fernando	1	Campus U O´ Higgins, Parque del recuerdo, Minuto verde	Desborde rio	184655
San Fernando	2	Centro Español, Locales comerciales, Condominio Puerta del	Desborde rio	157642
San Fernando	3	Los Volcanes	Desborde canal	74955
San Fernando	4	Marcelino Champagnat, Circunvalacion	Desborde canal	29620
San Fernando	5	Los Huertos, Ruta 5 sur, ruta I-90	Desborde rio	1314394
San Fernando	6	Club de polo, area agricola	Desborde canal	122120
San Fernando	7	Calle General de Division Joaquin Prieto	Desborde canal	5263
San Fernando	8	Calle Los Palacios, Villa Manso de Velasco	Desborde canal	119167
San Fernando	9	Calle Cancha Rayada, El Quilo	Desborde canal	74697
Las Peñas	10	Las Peñas	Desborde rio	69968
Puente Negro	11	Puente Negro	Desborde rio	23901
San Fernando	12	El Quilo/ Ignacio Carrera Pinto	Desborde canal	3008
San Fernando	13	Calle Leopoldo Urrutia/ Diego Marin Duarte	Desborde canal	1688
San Fernando	14	Calles Hurtado de Mendoza/ Av. Circunvalacion	Desborde canal	1323
San Fernando	15	Calle Diputado Fernando Maturana	Desborde canal	681
San Fernando	16	Sin Informacion	Sin Informacion	57181

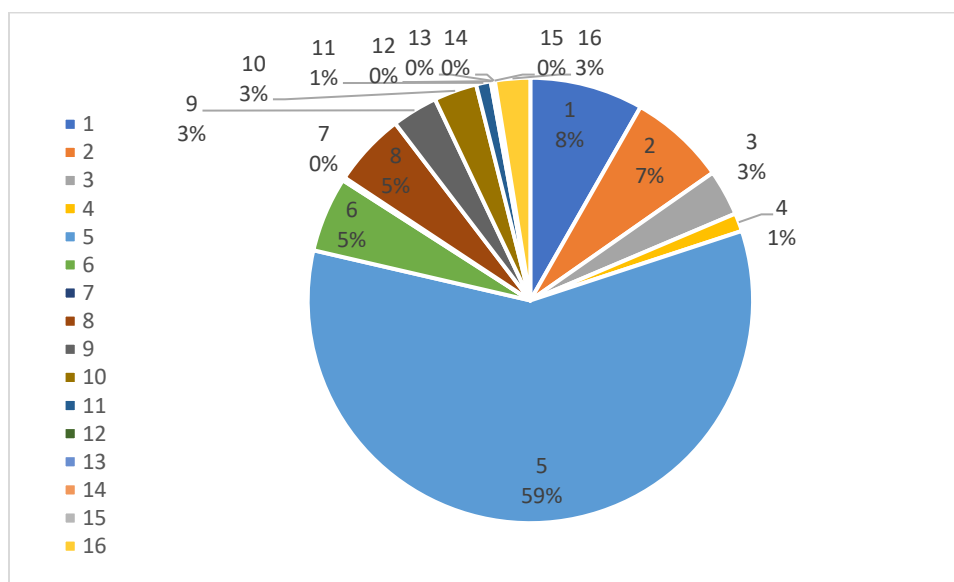


Figura 4: Grafico de las áreas inundadas en la ciudad de San Fernando en el evento hidrometeorológico de junio del 2023. La leyenda corresponde al ID presentado en la Tabla 6.

b) Inundaciones: Evento hidrometeorológico agosto

Tabla 7: Áreas inundadas comuna de San Fernando en el evento hidrometeorológico de agosto del 2023.

ID	Sector	X	Y	Descripción	Área afectada (m2)
1	Sector Polonia	322105	6176599	Desborde de canal	34862
2	Sector Polonia	322211	6176712	Desborde de canal	69148
3	I-45 camino a Puente Negro	327372	6164120	Desborde de canal	28221
4	I-45 camino a Puente Negro	325708	6165520	Desborde de canal	59335
5	Puente Negro	328170	6159533	Desborde por desvío de canal	2548
6	Puente Negro	328075	6159766	Desborde de canal	3447
7	Sector Polonia	321181	6175949	Desborde de canal	1808
8	Sector Polonia	321185	6175688	Desborde de canal	370
9	Sector Polonia	321103	6175830	Desborde de canal	346
10	San Fernando	316448	6170415	Desborde de canal	3921
11	Sector Polonia	323021	6175108	Desborde de canal	784089
12	Sector Polonia	322011	6176168	Desborde de canal	253997
13	Sector Polonia	322010	6177276	Inundación de camino	1763
14	Sector Rincon de los Maturana	328563	6165720	Desborde de Estero	40467
15	Sector Rincon de los Maturana	330868	6164941	Desborde de Estero	11436
16	Ruta I-309	336337	6166576	Inundación de camino	283937
17	San Fernando	319839	6169662	Desborde de Estero	6876
18	San Fernando	320213	6169127	Desborde de Estero	22867
19	San Fernando	317438	6174060	Desborde de Estero	38234
20	San Fernando	316269	6174946	Desborde de canal y escurrimiento superficial de quebradas	201964
21	Puente Negro	329519	6159291	Desborde de canal	9258
22	Puente Negro	329163	6158908	Desborde de canal	217431

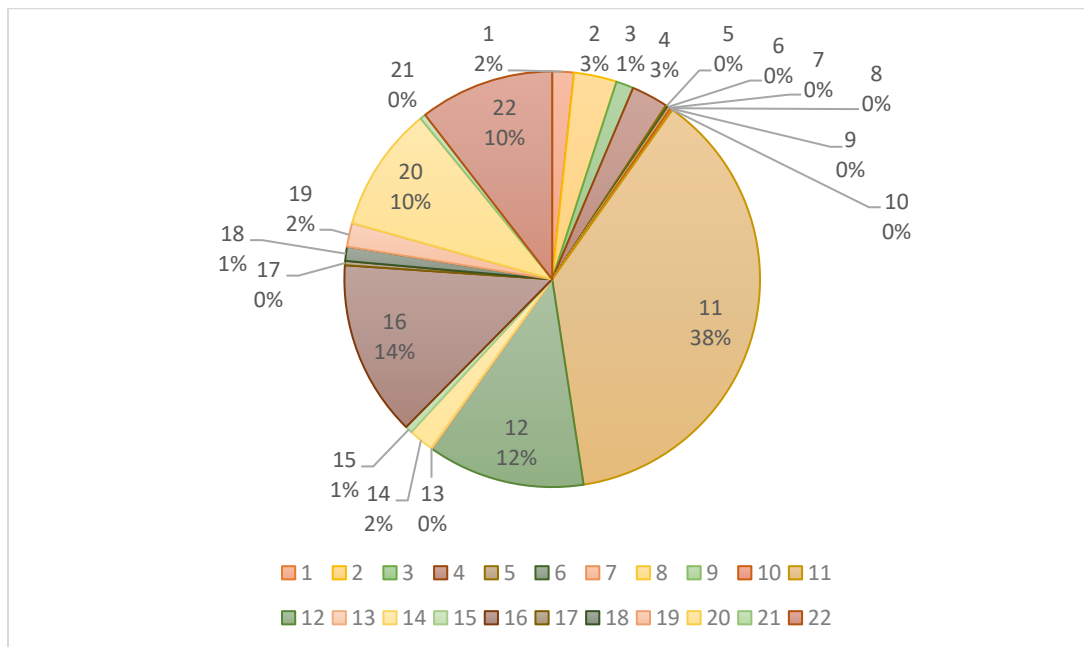


Figura 5: Grafico de las áreas inundadas en la ciudad de San Fernando en el evento hidrometeorológico de agosto del 2023. La leyenda corresponde al ID presentado en la Tabla 7.

c) Remociones en masa: Catastro remociones de los eventos de junio y agosto

Tabla 8: Catastro remociones en masa durante los eventos hidrometeorológicos de junio y agosto.

ID Evento	X	Y	Tipo RM	Litología	RM activada	Factor Antropico	Pendiente	Orientacion	Área (m2)
RM1	358452	6140609	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	SI	30 – 60	NE	4848
RM2	357184	6144523	Flujo de detritos	RIC	NO	NO	30 – 60	N	1113
RM3	357138	6144487	Deslizamiento de detrito	RIC	NO	NO	>60	N	205
RM4	357210	6144515	Deslizamiento de detrito	RIC	NO	NO	30 – 60	N	295
RM5	357343	6144444	Deslizamiento de detrito	RIC	NO	NO	30 – 60	N	172
RM6	357321	6144457	Deslizamiento de detrito	RIC	NO	NO	>60	N	88
RM7	349445	6149634	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	325
RM8	348978	6149697	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	595
RM9	348966	6149707	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	703
RM10	348941	6149709	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	434
RM11	348943	6149725	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	108
RM12	340923	6155252	Deslizamiento de detrito	DC	NO	SI	>60	NO	297
RM13	349066	6149275	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	O	400
RM14	346768	6151030	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	N	13833
RM15	347687	6150066	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NE	9186
RM16	348224	6149627	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	SI	30 – 60	NE	578
RM17	350231	6149386	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	SI	30 – 60	N	660
RM18	349038	6149656	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	201
RM19	348994	6149673	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	181
RM20	349018	6149664	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	342
RM21	349307	6149615	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	215
RM22	350246	6149315	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	SI	30 – 60	N	206
RM23	350959	6149300	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	SI	>60	NE	383
RM24	350821	6149378	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	466
RM25	350563	6149461	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	267
RM26	350787	6149371	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	371
RM27	350761	6149381	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	166
RM28	350997	6149379	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	249
RM29	351274	6149303	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	221
RM30	351243	6149300	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	N	489
RM31	351173	6149302	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	15 – 30	NO	413
RM32	351222	6149296	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	SI	30 – 60	NO	800
RM33	351200	6149307	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	SI	15 – 30	NO	697
RM34	355388	6146347	Deslizamiento de detrito	RIC	SI	NO	>60	N	2713
RM35	357105	6144530	Deslizamiento de detrito	RIC	NO	NO	>60	N	381
RM36	357143	6144573	Deslizamiento de detrito	RIC	SI	NO	>60	NE	740
RM37	340993	6145991	Deslizamiento de detrito	DC	NO	NO	>60	N	180
RM38	340971	6146013	Deslizamiento de detrito	DC	NO	NO	>60	N	287
RM39	341031	6145997	Deslizamiento de detrito	DC	NO	NO	>60	N	244
RM40	351323	6148295	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	>60	N	1144
RM41	351296	6148265	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	>60	N	2748
RM42	351233	6148375	Caida de rocas	RVVSPN	SI	NO	>60	NE	Sin determinar
RM43	351161	6148443	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	N	1765
RM44	351198	6148441	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	N	998
RM45	351203	6148469	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	>60	N	799
RM46	351027	6148694	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	NE	302
RM47	351163	6149097	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	SI	30 – 60	NO	111
RM48	354486	6146477	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	SI	>60	NE	383
RM49	354577	6146389	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	SI	30 – 60	NO	180
RM50	354589	6146390	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	SI	30 – 60	NO	116
RM51	354613	6146390	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	SI	>60	NO	213
RM52	354629	6146391	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	SI	>60	NO	114
RM53	356023	6145238	Deslizamiento de detrito	RIC	SI	SI	>60	NO	476
RM54	355997	6145248	Deslizamiento de detrito	RIC	SI	SI	>60	NO	200
RM55	356342	6145650	Deslizamiento de detrito	RIC	SI	SI	>60	NO	136
RM56	356334	6145643	Deslizamiento de detrito	RIC	SI	SI	>60	NO	115
RM57	356324	6145636	Deslizamiento de detrito	RIC	SI	SI	>60	NO	71
RM58	356548	6145855	Deslizamiento de detrito	RIC	SI	NO	>60	NE	141
RM59	356526	6145885	Deslizamiento de detrito	RIC	SI	NO	30 – 60	NE	115
RM60	356514	6145900	Deslizamiento de detrito	RIC	SI	NO	30 – 60	NE	122
RM61	356513	6145911	Deslizamiento de detrito	RIC	NO	NO	30 – 60	N	142
RM62	356963	6145155	Deslizamiento de detrito	RIC	SI	SI	>60	NE	306
RM63	356938	6145199	Deslizamiento de detrito	RIC	NO	SI	>60	NE	191
RM64	356919	6145247	Deslizamiento de detrito	RIC	SI	SI	15 – 30	N	40
RM65	357385	6145036	Deslizamiento de detrito	DC	NO	NO	>60	N	1022
RM66	357308	6145052	Deslizamiento de detrito	RIC	NO	NO	30 – 60	NO	566
RM67	357984	6143346	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	SI	>60	SE	1447
RM68	357990	6143376	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	SI	>60	E	1300
RM69	358006	6143395	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	SI	>60	E	2193
RM70	357857	6141979	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	SI	>60	E	600

RM71	357634	6141980	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	>60	E	1375
RM72	357508	6141866	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	>60	E	3602
RM73	357595	6141578	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NE	6384
RM74	346084	6144888	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	O	1060
RM75	345685	6144691	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	1503
RM76	346091	6144517	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	>60	N	1585
RM77	347102	6142386	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	NE	675
RM78	347103	6142343	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	>60	NE	760
RM79	347198	6142056	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	1196
RM80	347246	6142041	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	671
RM81	347690	6140853	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NE	2708
RM82	347870	6140380	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	1964
RM83	347934	6140230	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	NE	843
RM84	348843	6137986	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	2037
RM85	358834	6144623	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	NO	2153
RM86	360187	6144509	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	>60	N	520
RM87	355122	6146493	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	3383
RM88	355083	6146459	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	201
RM89	355152	6146434	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	>60	NE	1050
RM90	354986	6146522	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	930
RM91	354950	6146531	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	185
RM92	354818	6146674	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	165
RM93	352999	6148158	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	E	627
RM94	352885	6148324	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	>60	N	112
RM95	352655	6148230	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	SI	>60	N	494
RM96	352856	6148355	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	>60	N	580
RM97	352842	6148375	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	334
RM98	352747	6148437	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NE	410
RM99	352514	6148552	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NE	228
RM100	352493	6148611	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NE	260
RM101	352481	6148622	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	NE	342
RM102	352493	6148681	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	NE	296
RM103	352441	6148667	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	211
RM104	352471	6148683	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	545
RM105	351554	6149471	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	S	158
RM106	350468	6149958	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	S	533
RM107	350552	6150406	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	SE	226
RM108	350736	6150663	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	SE	881
RM109	347256	6151263	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	SE	144
RM110	353345	6148142	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	S	145
RM111	353365	6148142	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	SO	209
RM112	354295	6148022	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	SE	190
RM113	358156	6144681	Deslizamiento de detrito	DC	SI	NO	>60	NO	182
RM114	358439	6142066	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	>60	NO	984
RM115	358962	6139285	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	SI	>60	NE	184
RM116	358961	6139265	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	SI	>60	NE	433
RM117	359682	6146043	Deslizamiento de detrito	DC	NO	NO	>60	N	2751
RM118	344397	6145593	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	314
RM119	344231	6145632	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NO	412
RM120	344206	6145630	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	482
RM121	344180	6145628	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	899
RM122	343908	6145607	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	671
RM123	343837	6145614	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	937
RM124	344073	6145371	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	NE	664
RM125	345132	6144092	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NE	885
RM126	345215	6143933	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	>60	N	573
RM127	344963	6142030	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	417
RM128	345025	6141853	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	496
RM129	345677	6141987	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NE	1816
RM130	343443	6145051	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NE	605
RM131	343687	6144952	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	O	291
RM132	343518	6144693	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NE	179
RM133	349556	6137285	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	>60	N	3266
RM134	349615	6137114	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	2172
RM135	350197	6134624	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	1478
RM136	350262	6134588	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	433
RM137	350258	6134565	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	234
RM138	347119	6140537	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	NE	2588
RM139	347083	6140357	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	NE	840
RM140	347082	6140324	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	E	397

RM141	344465	6142356	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	N	48133
RM142	344492	6142381	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	434
RM143	344510	6142375	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	151
RM144	344517	6142469	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	1051
RM145	345580	6142315	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NO	397
RM146	345558	6142313	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NO	331
RM147	331478	6152359	Deslizamiento de detrito	DC	NO	NO	30 – 60	E	1615
RM148	331151	6151854	Deslizamiento de detrito	RIC	NO	NO	30 – 60	E	526
RM149	344391	6170756	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	E	1115
RM150	349245	6163024	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	E	686
RM151	348742	6160986	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	O	618
RM152	349227	6158854	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NO	390
RM153	348399	6159659	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	193
RM154	348463	6159637	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	15 – 30	N	281
RM155	348492	6159564	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	265
RM156	345531	6158804	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	596
RM157	345676	6158760	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NO	711
RM158	344398	6158790	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NO	183
RM159	344357	6158777	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NO	368
RM160	344332	6158776	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NO	392
RM161	343821	6158725	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	470
RM162	343491	6158764	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	196
RM163	344257	6154287	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	NO	480
RM164	350440	6149471	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	87
RM165	349884	6134538	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	NE	1349
RM166	344882	6143341	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	O	282
RM167	349889	6134506	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NE	1237
RM168	348294	6149818	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	15 – 30	NO	378
RM169	348299	6149618	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NO	615
RM170	346769	6150805	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	N	241
RM171	355321	6144774	Flujo de detritos	RIC	NO	NO	30 – 60	E	47169
RM172	348982	6148826	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	NO	312
RM173	348274	6149949	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NE	158
RM174	347561	6149949	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NE	297
RM175	347564	6149934	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NE	395
RM176	347266	6150597	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NE	118
RM177	347318	6150547	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NO	351
RM178	345550	6151109	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	NE	339
RM179	345616	6151165	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	30 – 60	E	258
RM180	354286	6145668	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	E	23813
RM181	353157	6146249	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NE	50825
RM182	347714	6141165	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	NE	460
RM183	345849	6149954	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	SI	NO	>60	O	507
RM184	347393	6150432	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	SI	30 – 60	NE	312
RM185	347500	6150300	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	SI	>60	N	244
RM186	348421	6148336	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	N	325
RM187	351118	6149078	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	N	13539
RM188	355995	6145283	Deslizamiento de detrito	RIC	No	NO	30 – 60	NO	1129
RM189	366346	6158519	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NE	720
RM190	366384	6158653	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	15 – 30	NE	2750
RM191	366332	6158411	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NE	1159
RM192	366542	6158477	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	5-10	SO	16459
RM193	351592	6165271	Deslizamiento de detrito	RIC	NO	NO	>60	NO	543
RM194	367722	6152962	Flujo de detritos	DC	SI	NO	30 – 60	SO	9743
RM195	367587	6152893	Flujo de detritos	DC	SI	NO	30 – 60	E	8999
RM196	366341	6149986	Flujo de detritos	DC	SI	NO	15 – 30	SE	67024
RM197	365688	6149123	Flujo de detritos	DC	SI	NO	15 – 30	O	55697
RM198	365167	6130858	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	>60	NO	4191
RM199	364212	6133594	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	SO	56833
RM200	362650	6133597	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NE	61294
RM201	361695	6134699	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NE	68332
RM202	360825	6135479	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NE	123783
RM203	358719	6138934	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	>60	NE	8951
RM204	358729	6139056	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	>60	NE	8331
RM205	359023	6139472	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NE	41014
RM206	358362	6140042	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	>60	NE	10981
RM207	358171	6141461	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NE	53961
RM208	355773	6149145	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	NO	NO	>60	E	526
RM209	357894	6143046	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 – 60	NE	186095
RM210	357624	6144090	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	Sin determinar	Sin determinar	15 – 30	NE	sin determinar

RM211	353768	6147230	Caida de rocas	RVVSPN	Sin determinar	Sin determinar	>60	N	sin determinar
RM212	353005	6147850	Caida de rocas	RVVSPN	Sin determinar	Sin determinar	>60	NE	sin determinar
RM213	352884	6147958	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	>60	NE	sin determinar
RM214	349016	6149311	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	15 - 30	N	20032
RM215	348198	6149602	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 - 60	NE	23402
RM216	347644	6150088	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	Sin determinar	Sin determinar	30 - 60	NE	sin determinar
RM217	347217	6150501	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 - 60	E	10717
RM218	346345	6151453	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	Sin determinar	Sin determinar	30 - 60	S	sin determinar
RM219	345908	6151452	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	Sin determinar	Sin determinar	>60	N	sin determinar
RM220	345774	6151583	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 - 60	NE	sin determinar
RM221	345298	6151870	Flujo de detritos	RVVSPN	SI	NO	30 - 60	NE	sin determinar
RM222	344593	6152486	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	Sin determinar	Sin determinar	30 - 60	NO	sin determinar
RM223	343906	6152515	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	Sin determinar	Sin determinar	>60	N	sin determinar
RM224	343386	6152608	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	Sin determinar	Sin determinar	30 - 60	NE	sin determinar
RM225	342830	6152985	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	Sin determinar	Sin determinar	15 - 30	NE	sin determinar
RM226	348188	6149622	Deslizamiento de detrito	RVVSPN	Sin determinar	Sin determinar	30 - 60	E	sin determinar

d) Orientación y pendiente de laderas

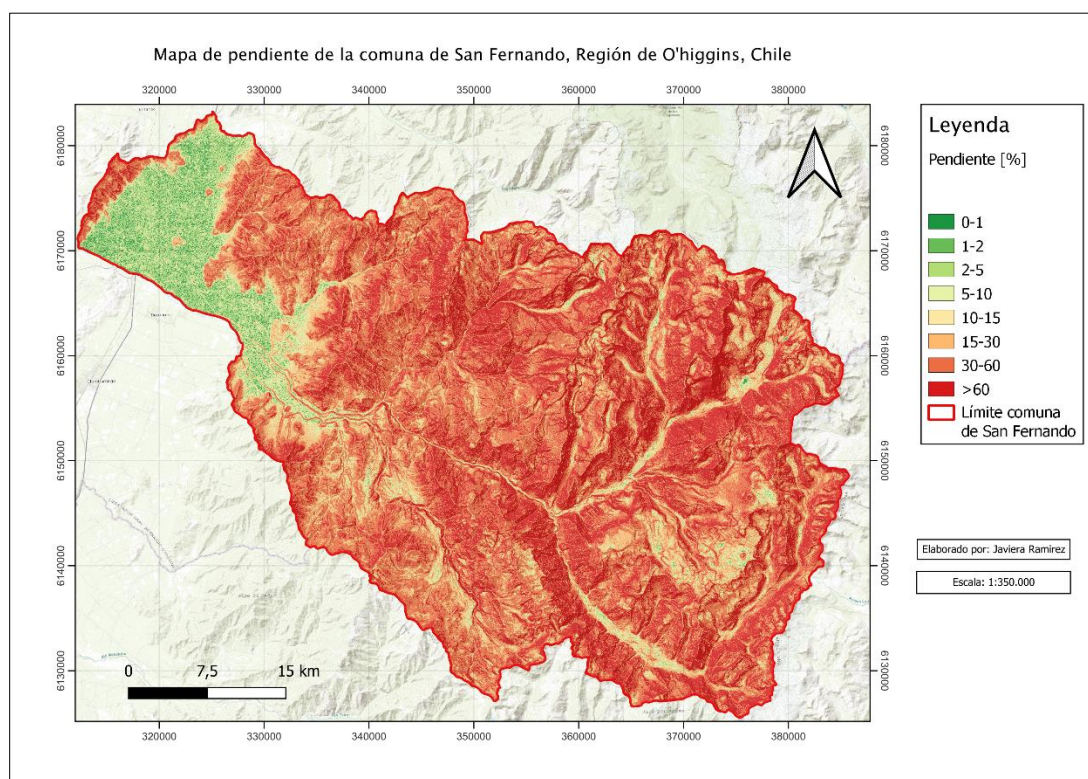


Figura 6: Mapa de pendientes de la comuna de San Fernando. Los rangos de pendiente son expresados en %.

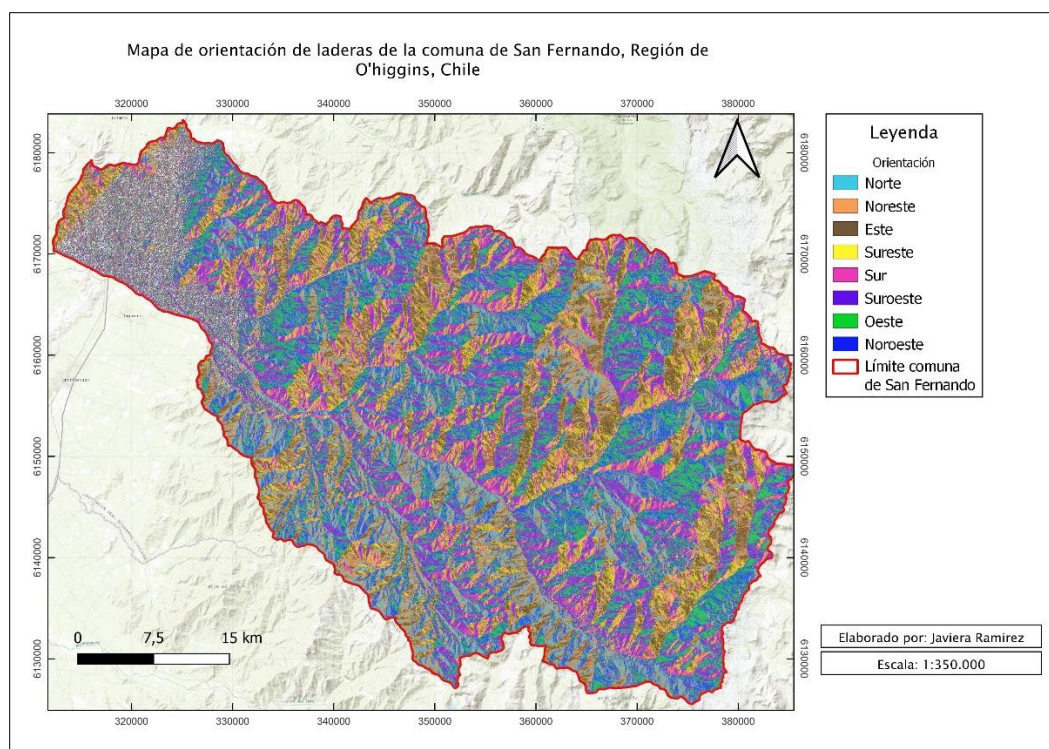


Figura 7: Mapa de orientación de laderas de la comuna de San Fernando.

e) Posición relativa de las remociones en masa

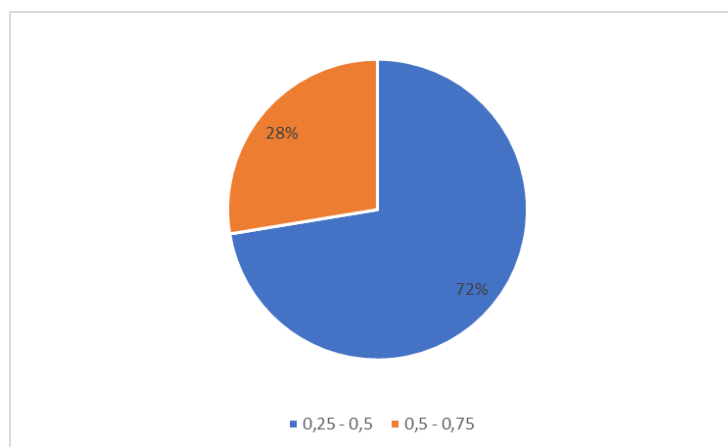


Figura 8: Gráfico de los datos normalizados a la base de la ladera. 72% de los datos se encuentran en el rango 0,25-0,5 y un 28% de los datos se encuentran en el rango 0,5 - 0,75.

f) Análisis Granulométrico

Tabla 9: Granulometría muestra 1 y 2 de suelo.

GRANULOMETRÍA MUESTRA 1 DE SUELO						GRANULOMETRÍA MUESTRA 2 DE SUELO						
Tamiz N°	Diámetro [mm]	Pesos [g]	% Retenido	% Que pasa		Tamiz N°	Diámetro [mm]	Pesos [g]	% Retenido	% que pasa		
2 1/2"	63.0	0.00	0.00	100.00		2 1/2"	63.0	0.00	0.00	100.00		
						2"	50.0	0.00	0.00	100.00		
2"	50.0	0.00	0.00	100.00		1 1/2"	37.5	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	100.00		1"	25.0	0.00	0.00	100.00		
1"	25.0	0.00	0.00	100.00		3/4"	19.0	59.27	1.15	98.85		
3/4"	19.0	23.98	0.48	99.52		1/2"	12.5	133.63	2.58	96.27		
1/2"	12.5	257.40	5.15	94.37		3/8"	9.5	150.86	2.92	93.35		
3/8"	9.5	233.62	4.67	89.70		4	4.750	784.46	15.17	78.18	D60	
4	4.750	672.75	13.45	76.25	D60	8	2.360	1050.44	20.31	57.87		
8	2.360	952.45	19.05	57.20		10	2.000	161.20	3.12	54.75	D30	
10	2.000	98.11	1.96	55.24		30	0.600	1346.95	26.05	28.70		
30	0.600	1736.30	34.72	20.51	D30	40	0.425	546.22	10.56	18.14		
40	0.425	477.87	9.56	10.96		50	0.300	194.06	3.75	14.38	D10	
50	0.300	148.14	2.96	7.99	D10	100	0.150	415.40	8.03	6.35		
100	0.150	284.48	5.69	2.31		200	0.074	235.29	4.55	1.80		
200	0.074	76.76	1.54	0.77		Fondo		93.00	1.80	0.00		
Fondo		38.53	0.77	0.00		Total		5170.77				
Total		5000.38				Diámetro Caracterís tico	% que pasa	Pendiente (m)	Constant e (c)	Valor (mm)		
Diámetro Caracterís tico	% Que pasa	Pendiente (m)	Constante (c)	Valor (mm)		D10	10	11.60	28.34	0.21		
D10	10	8.51	28.24	0.12		D30	30	21.64	39.75	0.64		
D30	30	28.84	35.25	0.83		D60	60	29.04	32.93	2.54		
D60	60	27.23	33.82	2.62		D50	50	21.64	39.75	1.61		
D50	50	28.84	35.25	1.67		% Finos	% Que pasa por malla #4		Finos <5%			
% Finos		% Que pasa por malla #4		Finos <5%		< 50% = 0.77	< 50% = 0.22		1.80			
< 50% = 0.77		< 50% = 0.24		0.77		Suelo grueso		Arena		con Cc <1		
Suelo grueso		Arena				Arena mal graduada (SP)						
Arena bien graduada (SW)												

Tabla 10: Granulometría muestra 3 y 4 de suelo.

GRANULOMETRÍA MUESTRA 3 DE SUELO						GRANULOMETRÍA MUESTRA 4 DE SUELO					
	Diámetro [mm]	esos [g]	% Retenido	% que pasa		Tamiz N°	Diámetro [mm]	Pesos [g]	% Retenido	% que pasa	
2 1/2"	63.0	0.00	0.00	100.00	D60	2 1/2"	63.0	0.00	0.00	100.00	D60
2"	50.0	0.00	0.00	100.00		2"	50.0	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	100.00		1 1/2"	37.5	0.00	0.00	100.00	
1"	25.0	0.00	0.00	100.00		1"	25.0	314.32	6.35	93.65	
3/4"	19.0	214.54	4.55	95.45		3/4"	19.0	340.00	6.87	86.78	
1/2"	12.5	527.07	11.17	84.28		1/2"	12.5	519.57	10.50	76.28	
3/8"	9.5	385.33	8.17	76.11		3/8"	9.5	199.94	4.04	72.24	
4	4.750	814.06	17.26	58.85		4	4.750	565.24	11.42	60.82	
8	2.360	980.85	20.79	38.06	8	2.360	355.02	7.17	53.65	D30 D10	
10	2.000	181.74	3.85	34.20	10	2.000	14.18	0.29	53.37		
30	0.600	1128.79	23.93	10.27	30	0.600	452.19	9.14	44.23		
40	0.425	223.08	4.73	5.54	40	0.425	319.76	6.46	37.77		
50	0.300	53.30	1.13	4.41	50	0.300	233.73	4.72	33.05	D30 D10	
100	0.150	125.45	2.66	1.75	100	0.150	1383.60	27.95	5.09		
200	0.074	66.43	1.41	0.34	200	0.074	198.35	4.01	1.09		
Fondo		16.25	0.34	0.00	Fondo		53.80	1.09	0.00		
Total		4716.89			Total		4949.70				
Diámetro Caracterís- tico	% que pasa	Pendiente (m)	Constante (c)	Valor (mm)		Diámetro Caracterís- tico	% que pasa	Pendiente (m)	Constante (c)	Valor (mm)	
D10	10	13.72	17.28	0.59		D10	10	40.33	81.60	0.17	
D30	30	19.88	20.43	1.62		D30	30	40.33	81.60	0.28	
D60	60	24.90	20.05	4.97		D60	60	10.25	44.85	4.38	
D50	50	29.73	12.53	3.53		D50	50	7.59	48.10	1.28	
% Finos		% Que pasa por malla #4		Finos <5%		% Finos		% Que pasa por malla #4		Finos <5%	
< 50% = 0.34		< 50% = 0.41		0.34		< 50% = 1.09		< 50% = 0.39		1.09	
Suelo grueso		Arena		con Cc <1		Suelo grueso		Arena		con Cc <1	
Arena mal graduada (SP)						Arena mal graduada (SP)					

g) Límites de Atterberg

Tabla 11: Límites de Atterberg para la muestra 2 de suelo.

LÍMITES DE ATTERBERG MUESTRA 2					
DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO					
N°/Nombre de Cápsula	A	C	B	D	E
N° de Golpes [N]	19	24	30	30	35
Peso suelo húmedo + Cápsula [g]	18.9	20	17.4	19	16.6
Peso suelo seco + Cápsula [g]	17.3	18	16.22	17.3	15.6
Peso cápsula [g]	13.2	13.1	13.1	13.1	13.2
Peso suelo seco [g]	4.13	4.86	3.15	4.2	2.42
Peso agua [g]	1.6	1.96	1.21	1.67	1.01
Contenido de humedad w[%]	38.74	40.33	38.41	39.76	41.74
Limite Liquido LL[%]	40.20				
Limite Liquido LL[%] (ecuación gráfica)	39.57				
Límite Plástico LP[%]	26.98				
Indice de Plasticidad IP[%]	13.22				
DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO					
N° /Nombre de Cápsula	I		F		
Peso suelo húmedo + Cápsula [g]	22.28		14.46		
Peso suelo seco + Cápsula [g]	22.01		14.14		
Peso cápsula [g]	20.78		13.14		
Peso suelo seco [g]	1.23		1.00		
Peso agua [g]	0.27		0.32		
Contenido de humedad w[%]	21.95		32.00		
Limite Plastico LP[%]	26.98				

Tabla 12: Límites de Atterberg para la muestra 3 de suelo.

LÍMITES DE ATTERBERG MUESTRA 3				
DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO				
N°/Nombre de Cápsula	2	4	5	6
N° de Golpes [N]	18	22	28	38
Peso suelo húmedo + Cápsula [g]	30.39	30.50	28.33	28.50
Peso suelo seco + Cápsula [g]	28.64	28.75	27.05	27.31
Peso cápsula [g]	22.9	22.88	22.74	22.9
Peso suelo seco [g]	5.74	5.87	4.31	4.41
Peso agua [g]	1.75	1.75	1.28	1.19
Contenido de humedad w[%]	30.49	29.81	29.70	26.98
Limite Liquido LL[%]	29.29			
Limite Liquido LL[%] (ecuación gráfica)	29.33			
Limite Plastico LP[%]	22.48			
Índice de Plasticidad IP[%]	6.81			
DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO				
N°/Nombre de Cápsula	3		1	
Peso suelo húmedo + Cápsula [g]	23.62		21.52	
Peso suelo seco + Cápsula [g]	23.46		21.38	
Peso cápsula [g]	22.72		20.78	
Peso suelo seco [g]	0.74		0.60	
Peso agua [g]	0.16		0.14	
Contenido de humedad w[%]	21.62		23.33	
Limite Plastico LP[%]	22.48			