
**Universidad de O'Higgins
Escuela de Ingeniería Civil**



**Desarrollo de un modelo geológico-geotécnico para el
reconocimiento y manejo de remociones en masa en las
localidades de Millahue y El Rulo, comuna de Coinco, región de
O'Higgins**

Gabriel Peña Pizarro

Profesora guía: Alejandra Serey Amador

Supervisora: Josefina López Neira

Memoria para optar al título y/o grado de Ingeniero Civil Geológico

**Rancagua, Chile
Agosto 2023**

AGRADECIMIENTOS

Primero comenzar agradeciendo a las dos instituciones que me acompañaron durante este largo proceso. Por un lado SENAPRED quien me brindó toda la información necesaria para realizar un buen trabajo. Y por otra parte la Universidad de O'Higgins, la cual me dejó en mano de muy buenos profesores.

Agradezco a toda mi familia, padre, madre, hermanos, hermanas y novia quienes todo el tiempo me entregaron todo su apoyo con mucho amor y cariño, con el fin de hacerme sentir bien y que pudiera con este desafío. No puedo dejar de mencionar a todos mis amigos que conocí cuando ingresé a la universidad y desde ahí hemos estado juntos apoyándonos los unos a los otros.

A todos mis profesores, los cuales a lo largo de toda la carrera universitaria fueron unas grandes personas, dispuestas a entregar y enseñar de la mejor manera el conocimiento que hoy en día tengo y me tienen a muy poco de ser un Ingeniero Civil Geológico.

Mencionar por separado a la grandísima profesora guía Alejandra Serey, una persona demasiado genial y buena de corazón. Una profesora dispuesta a entregar todas las herramientas necesarias para que te vaya bien en la vida y que hasta el día de hoy me sigue entregando más y más conocimientos. Fue un pilar fundamental durante este proceso donde en cada reunión me alentaba con seguir esforzándome para llevar a cabo el estudio.

A Josefina Lopez por ayudarme a realizar mi pasantía profesional de una manera muy grata y entretenida, donde cada día siempre estuvo dispuesta a ayudarme.

Finalmente agradecer a la profesora Laura Becerril y a Lucas Ruminot por ser personas con una gran voluntad de ayudar, entregando sugerencias con el objetivo de ir mejorando mi trabajo.

Índice

1. Resumen	6
2. Introducción	7
2.1. Problemática y motivación	7
2.2. Objetivos	8
2.2.1. Objetivo General	8
2.2.2. Objetivos específicos	8
2.3. Ubicación y vías de acceso	8
3. Marco Teórico	9
3.1. Peligros Geológicos (Remociones en masa)	10
3.1.1. Remociones en masa	10
3.1.1.1. Tipos de remociones en masa.	11
4. Antecedentes y caracterización del área de estudio	12
4.1. Geología Local	12
4.2. Geomorfología Local	13
4.3. Clima	13
4.4. Sismicidad	14
4.5. Actividad antrópica	15
4.6. Remociones en Masa	16
5. Metodología para el desarrollo de un modelo geológico-geotécnico para el manejo de los peligros geológicos	18
5.1. Caracterización Geológica-Geotécnica	19
5.2. Estudio de susceptibilidad a remociones en masa	21
5.2.1. Metodología de susceptibilidad por Lara (2007).	21
5.2.1.1. Análisis de susceptibilidad para Deslizamiento de Suelo.	22
5.2.1.2. Análisis de susceptibilidad para Deslizamiento de roca.	22
5.2.1.3. Análisis de susceptibilidad para Caídas de rocas.	22
5.2.1.4. Análisis de susceptibilidad para Flujos.	22
5.2.2. Metodología de susceptibilidad por Muñoz (2013)	23
5.2.2.1. Análisis de susceptibilidad para Deslizamiento de Suelo.	23
5.2.2.2. Análisis de susceptibilidad para Flujos.	23
5.3. Definición de áreas con vías de evacuación y puntos de encuentro	24
5.3.1. Área de evacuación	24
5.3.1.1. Subáreas de evacuación.	24
5.3.2. Puntos de encuentro	24
5.3.2.1. Capacidad mínima sugerida.	25
5.3.3. Vías de evacuación	25
6. Resultados	26
6.1. Caracterización Geológica-Geotécnica	26
6.2. Unidades geomorfológicas creadas y su escala de trabajo	27
6.3. Cálculo del Índice de Susceptibilidad ante remociones en masa	28
6.4. Áreas de evacuación, vías de evacuación y puntos de encuentro	32
6.5. Construcción modelo 3D	33
7. Discusiones	34
7.1. Factores influyentes en la generación de remociones en masa	34
7.2. Vías de evacuación y puntos de encuentro	35
Recomendaciones	36
Conclusión	37
Referencias	38

Figuras

Figura 1: Mapa de Ubicación zona de estudio. a) Territorio Chileno, b) región de O'Higgins, c) comuna de Coinco, d) zonas de estudios, Millahue y El Rulo.....	9
Figura 2: Operación matemática para determinar el riesgo.....	9
Figura 3: Ciclo gestión del riesgo. Decreto 434.....	10
Figura 4: <i>Mapa geológico comuna de Coinco, Región de O'Higgins</i>	13
Figura 5: <i>Climas para la región de O'Higgins según clasificación de Köppen modificada</i>	14
Figura 6: <i>Mapa comuna de amenaza sísmica</i>	15
Figura 7: <i>Ubicación de las principales actividades antrópicas de las localidades</i>	16
Figura 8: La Imagen Satelital de Google Earth muestra la localidad de Millahue, comuna de Coinco. Quebradas ubicadas en la ladera del cerro Punta Negra. Líneas rojas marcan las quebradas 1, 2, 3 y 4, donde se produjeron flujos de detritos. En rojo, el área de principal afectación por aluviones.....	17
Figura 9: Vista a la ladera occidental de la quebrada 1. Se observan cárcavas y cicatrices de desprendimientos de material, que suministraron detritos directamente hacia la quebrada.....	17
Figura 10: Vista hacia el sur, quebrada 2, sector de Millahue. Explanada de la quebrada de 20 m de ancho, depósito de 20 a 50 cm de espesor, marcas de flujo de ca. 40 cm. Flecha celeste marca quebrada de donde proviene el material detrítico.....	18
Figura 11: Vivienda afectada por flujo de detritos, proveniente de quebrada 3, sector Millahue. El depósito alcanza una altura de 1,5 m aprox. y contiene bloques de hasta 50 cm en matriz de fango.....	18
Figura 12: Características del flujo de barro y bloques que afectó a vivienda ubicada en los alrededores de la quebrada 4. El depósito es polimíctico, de ca. 50 cm de potencia, matriz soportada, mal seleccionado, con bloques de hasta 40 cm. El flujo habría alcanzado cerca de 80 cm de altura, manifestado por las marcas de barro en el muro de la vivienda.....	18
Figura 13: Flujo para el desarrollo 3D del modelo geológico-geotécnico	19
Figura 14: Mapa Geológico - Geotécnico para la comuna de O'Higgins.....	20
Figura 15: Fotografías tomadas en terreno de las quebradas que se activaron durante el evento de 2021 en Millahue	20
Figura 16: Router CNC.....	26
Figura 17: Subunidades geomorfológicas creadas a una escala 1:30.000 mediante la metodología de Lara (2007).....	28
Figura 18: Subunidades urbanas creadas a una escala 1:5.000 mediante la metodología de Muñoz (2013).....	28
Figura 19: A) Mapa de pendientes, B) Mapa de aspecto.....	29
Figura 20: Mapa de Susceptibilidad ante deslizamiento de suelo, metodología Lara 2007.....	30
Figura 21: Mapa de Susceptibilidad ante deslizamiento de roca, metodología Lara 2007.....	29
Figura 22: Mapa de Susceptibilidad ante Caídas de rocas, metodología Lara 2007.....	29

Figura 23: Mapa de Susceptibilidad ante flujos, metodología Lara 2007.....	30
Figura 24: Mapa de Susceptibilidad ante deslizamiento de suelo, metodología Muñoz 2013.....	31
Figura 25: Mapa de Susceptibilidad ante flujos, metodología Muñoz 2013.....	31
Figura 26. Mapa de áreas de evacuación, vías de evacuación y puntos de encuentro.....	32
Figura 27. desbaste del modelo mediante Router CNC.....	33
Figura 28. Fotografías de la maqueta realizada. A) vista lateral, B) Vista aérea y C) Vista frontal.....	34

Tablas

Tabla 1: Clasificación remociones en masa. Varnes (1978).....	11
Tabla 2: Características de cada lugar muestreado.....	27

1. Resumen

El aumento del calentamiento global cada vez se está haciendo más preocupante en el estilo de vida del humano como en el medio ambiente, reflejado por ejemplo en la disminución de precipitaciones en invierno y aumento de estas en verano, lo que se traduce en la generación de remociones en masa en zonas donde no eran comunes su ocurrencia dañando drásticamente a la población.

En esta investigación se realiza la construcción de una maqueta 3D en madera MDF mediante un router CNC de la fábrica digital de la Universidad de O'Higgins. Modelo el cual representará principalmente las zonas susceptibles a remociones en masa del tipo deslizamiento de suelo, deslizamientos de rocas, caídas de rocas y flujos, obtenidas mediante las metodologías de *Lara (2007)* y *Muñoz (2013)* en los sectores de Millahue y El Rulo, pertenecientes a la comuna de Coinco (región de O'Higgins, Chile). Estos sectores durante se estudiaron dado a que se vieron afectados durante una intensa lluvia entre el 29 y 30 de enero de 2021, provocando flujos de detritos y varias quebradas.

Estas dos metodologías proponen dividir la zona general de estudio en subunidades con características geomorfológicas y geológicas similares, las cuales se analizan mediante la asignación de puntajes (%) a factores condicionantes para la generación de una remoción en masa, por ejemplo: pendiente de la ladera, características geológicas-geotécnicas, ocurrencia de eventos históricos, vegetación, etc.. La única diferencia entre *Lara (2007)* y *Muñoz (2013)* es que la primera se realiza en una escala entre 1:20.000 y 1:50.000, mientras que la segunda es a una escala entre 1:5.000 y 1:10.000. En este estudio se utilizaron las escalas 1:40.000 y 1:5.000 respectivamente.

Los resultados obtenidos con *Lara (2007)* dan a conocer que la zona de estudio presenta un grado muy alto de susceptibilidad a deslizamientos de suelo y flujos, en donde 14 subunidades presentan un índice de susceptibilidad (IS) >50. Con respecto a deslizamientos de roca y caídas de rocas, estos lugares obtuvieron una susceptibilidad entre muy baja y baja, debido a que la roca en el lugar presenta un UCS muy alto, esto fue comprobado mediante terreno y trabajo de laboratorio. Por otro lado, la metodología de *Muñoz (2013)* dio como resultado 4 subunidades con un IS>50 concentrando los valores críticos en la remoción del tipo flujo.

Palabras claves: Índice de susceptibilidad, Remoción en masa, Millahue, El Rulo

2. Introducción

2.1. Problemática y motivación

Los peligros geológicos tales como erupciones volcánicas, remociones en masa, terremotos, entre otros, son eventos o sucesos naturales generados por la dinámica tanto interna como superficial del planeta (clima, fallas geológicas, vegetación, actividad antrópica, etc.), los cuales pueden ocasionar daños a los humanos o al ambiente (*SERNAGEOMIN, 2020*). Los procesos geológicos peligrosos en el territorio chileno son muy comunes, por ello es de suma importancia identificar, analizar e investigar las zonas chilenas más propensas a ser susceptibles a estos eventos, con el fin de informar y recomendar a las autoridades y habitantes de cómo actuar en caso de que sean afectados por uno.

En 2021, la región de O'Higgins se vio afectada por estos fenómenos originados por el sistema frontal del 29 al 31 de enero de 2021, el cual generó remociones en masa en las comunas de Malloa (199 damnificados), San Vicente de Tagua Tagua (61 damnificados) y Coinco (8 damnificados), dejando un total de 74 viviendas con daño mayor, 16 con daño menor y 4 destruidas (*López, 2021*). Las autoridades competentes tomaron cartas en el asunto con el fin de elaborar planes de prevención/mitigación frente a estos tipos peligros geológicos. Para ello crearon una mesa de trabajo liderado por SENAPRED O'Higgins (ex ONEMI O'Higgins), en conjunto con el MINVU, DGA, SERNAGEOMIN, el Gobierno Regional y la Universidad de O'Higgins.

Uno de los eventos del 2021 generó afectación en la localidad de Millahue, zona en donde al menos 4 quebradas se activaron con flujos de agua, fango y bloques (*Ramírez y Montecino, 2021*), por lo cual, con el fin de robustecer la información se establece como área de estudio Millahue y El Rulo. Resulta relevante mencionar, que es de suma importancia para la comunidad y los organismos públicos (Municipalidad, MINVU, SENAPRED, JJVV, etc.) identificar los peligros geológicos presentes en la comuna para tener un oportuno manejo de los desastres generados por este tipo de peligros geológicos, además de enseñar a la comunidad de estos procesos para fortalecer sus capacidades y entendimiento en esta materia.

Este trabajo de título tiene la modalidad de pasantía profesional en SENAPRED, en donde se trabajó las localidades mencionadas con anterioridad, con el objetivo principal de elaborar un modelo 3D representativo de las zonas susceptibles a remociones en masa, para ello se deben abordar los temas (objetivos específicos) de caracterizar geológica y geotécnicamente la zona, identificar los tipos de remociones en masa que afectan estas localidades y elaborar mapas de susceptibilidad ante remociones en masa del tipo deslizamiento de suelo, deslizamiento de rocas, caídas de rocas y flujos, utilizando las metodología propuesta por Lara en 2007 y Muñoz en 2013, los cuales establecen ciertas

características a las que se les da un porcentaje para así calcular el índice de susceptibilidad (IS).

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

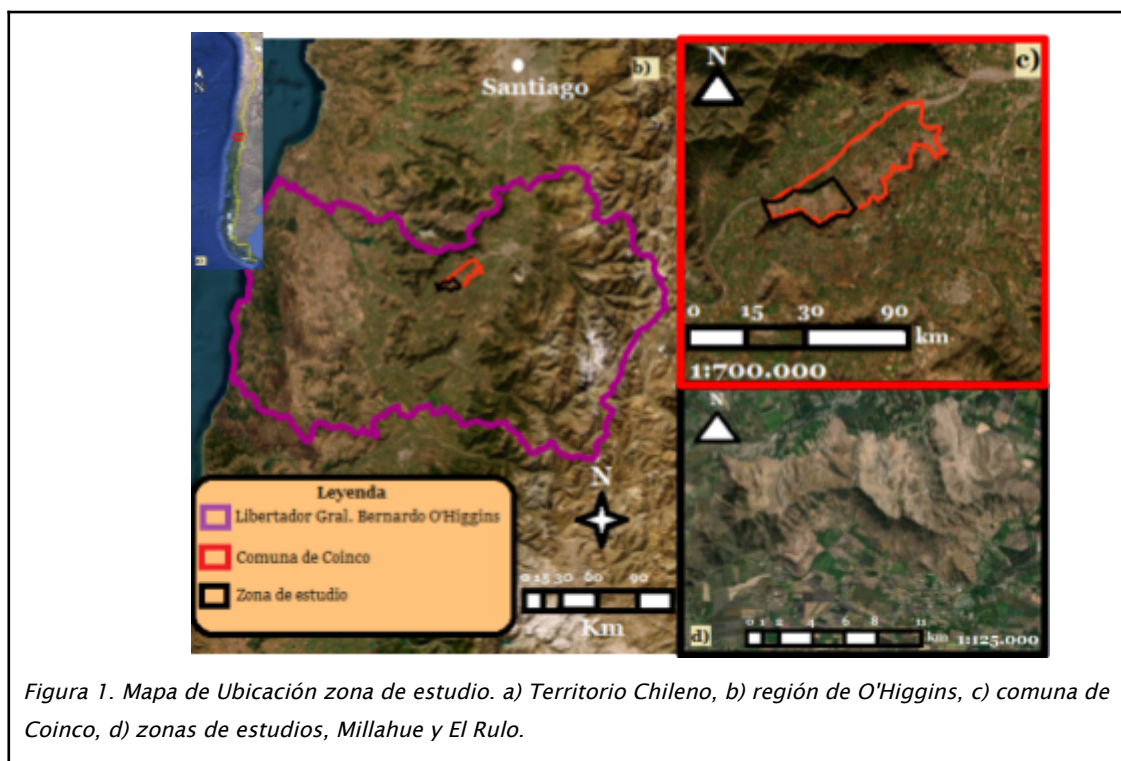
Desarrollar un modelo geológico-geotécnico de remociones en masa en las localidades de Millahue y El Rulo, comuna de Coinco, Región de O'Higgins.

2.2.2. Objetivos específicos

- 2.2.2.1. Caracterizar geológica y geotécnicamente el área de estudio.
- 2.2.2.2. Indicar las zonas más susceptibles a remociones en masa mediante la metodología de Lara (2007) y Muñoz (2013).
- 2.2.2.3. Construir un modelo 3D geológico-geotécnico del área de estudio que represente las áreas susceptibles ($IS > 50$) de remociones en masa, áreas de evacuación, vías de evacuación y puntos de encuentro a una escala 1:20.000.
- 2.2.2.4. Entregar recomendaciones y sugerencias de prevención, mitigación y/o intervención ingenieril para el manejo de remociones en masa a las diferentes autoridades competentes en el área de la gestión del riesgo.

2.3. Ubicación y vías de acceso

El presente estudio se centra en las localidades de Millahue y El Rulo, pertenecientes a la comuna de Coinco, región de O'Higgins (**Figura 1**). La comuna posee una superficie comunal de 98.65 km^2 , en la cual habitan aproximadamente 7.359 personas (*Visor GRD, SENAPRED*). Para ingresar a estas localidades desde la capital regional, Rancagua, se puede acceder por Olivar Bajo mediante la Ruta H-40, por Rincón de Abra con la Ruta H-430 que intercepta la H-40 o por Doñihue y Coltauco por la Ruta H-30 con la H-38. Por la zona Sur se puede ingresar por San Vicente de Tagua Tagua y Quinta de Tilcoco siguiendo las Rutas H-50, H-588 y H-590.



3. Marco Teórico

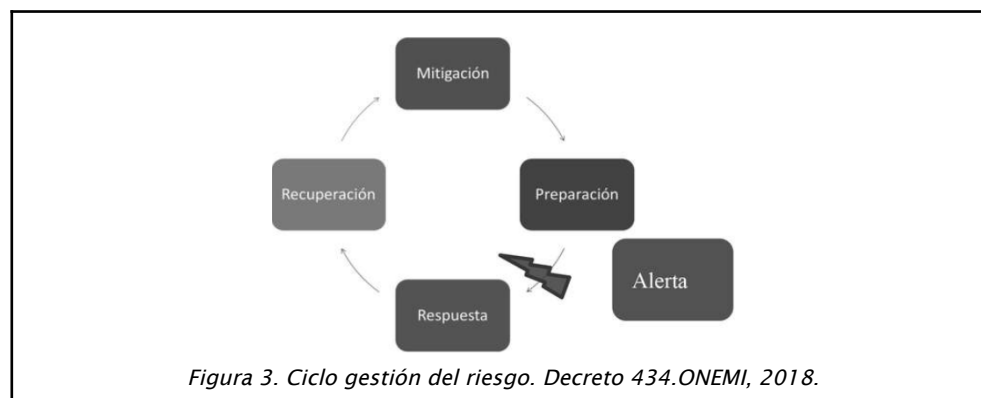
La gestión del riesgo de desastres es de suma importancia, dado que se dedica a la reducción de los efectos negativos de los desastres (UNESCO, 2014). Para ello, es necesario conocer los conceptos centrales que componen el riesgo. El peligro/amenaza se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o antrópico con una magnitud determinada en cierto periodo de tiempo y lugar (Varnes, 1984). Por otro lado, el “desastre” corresponde a la interrupción en una sociedad que puede ocasionar innumerables muertes, pérdidas materiales, económicas y ambientales (UNESCO, 2014). El elemento central es el “Riesgo”, el cual se puede obtener mediante la ecuación de la **Figura 2** y se define como la probabilidad de pérdidas debido a un fenómeno natural potencialmente peligroso, tanto en términos de vidas humanas, daños a infraestructuras, capacidad productiva, etc. (SENAPRED, 2022).

$$RIESGO = \frac{Amenaza \times Exposición \times Vulnerabilidad}{Capacidad}$$

Figura 2. Operación matemática para determinar el riesgo. Extraída de SENAPRED, 2022.

Para llevar a cabo la gestión del riesgo, se aplica el llamado el “Ciclo del Riesgo” (ONEMI, 2018), la Ley 21.364 promulgada el 22 de septiembre de 2020 y publicada el 16 de marzo de 2021, emitido por el Ministerio del Interior y seguridad pública (**Figura 3**), el cual establece etapas antes, durante y después del riesgo. La prevención es el grupo de acciones

con la finalidad de impedir o disminuir la ocurrencia de sucesos naturales o generados antrópicamente, se divide en 3 subfases: *Mitigación* relacionada a la reducción o minoración del riesgo, *Preparación* es el desarrollo de las capacidades necesarias con el fin de gestionar lo más eficaz posibles cualquier tipo de emergencia. *Alerta* corresponde al tipo de sistema que se usa para notificar la presencia de un peligro. La segunda etapa corresponde a la Respuesta, la cual se compone de todas las actividades de control y prevención de un evento destructivo. Finalmente, la recuperación, es la actividad que se realiza después de un suceso, con el fin de recuperar las necesidades básicas de vida o si es posible mejorar las que habían. (ONEMI, 2018).



3.1. Peligros Geológicos (Remociones en masa)

Los peligros geológicos son procesos catastróficos ocurridos en la Tierra generados ya sea naturalmente o por la intervención del hombre, provocando la pérdida de vidas, materiales y económica, además de afectar drásticamente al medio ambiente. Los peligros se pueden clasificar en (1) aquellos ocasionados por la dinámica interna de la tierra (Terremotos, Tsunamis y Volcanes), (2) aquellos por condiciones superficiales (clima, vegetación, morfología, etc.) y (3) aquellos ocasionados por la actividad antrópica (ser humano) (SERNAGEOMIN, 2020).

Dado que la zona de estudio se centra en las localidades de Millahue y El Rulo, pertenecientes a la comuna de Coinco, el análisis de susceptibilidad a peligros geológicos se centrará principalmente en remociones en masa, debido a que son los que afectan principalmente a esta zona de la región de O'Higgins.

3.1.1. Remociones en masa

Las remociones en masa son peligros geológicos de transporte rápido o lento de material (suelo y/o roca) generados por diferentes factores (Hauser, 1993). Varnes (1978) establece la clasificación de las remociones en masa en base a su movimiento y tipo de material (**Tabla 1**), en donde se proponen seis tipos de remociones en masa: Caídas,

Volcamientos, Deslizamientos, Extensiones laterales, Flujos y Complejos (**Anexo II - Figura 2**).

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

Para que ocurran remociones en masa, deben estar presentes los llamados “**factores condicionantes y desencadenantes**”. Los condicionantes son aquellos que crean una situación potencialmente inestable, los principales son: Geología y Geotecnia, Geomorfología, Hidrología e Hidrogeología, vegetación y actividad antrópica. Mientras que los desencadenantes son los que gatillan una remoción en masa, principalmente las lluvias intensas, los sismos y la gravedad (*González de Vallejo et al., 2002*). Para efectos de este trabajo, los factores desencadenantes considerados para la investigación fueron: sismos, precipitaciones y actividad antrópica, los cuales están descritos detalladamente en **Anexo I-A.2**.

3.1.1.1. Tipos de remociones en masa.

Caídas de rocas: Las caídas de rocas corresponden al desprendimiento de rocas, debido a la presencia de fracturas o planos de debilidad, en donde el material desprendido cae mediante caída libre alcanzando gran velocidad y recorrido (*Varnes, 1978*).

Deslizamientos: Corresponden a movimientos de masas ladera abajo que ocurren a través de una o más superficies de cizalle predefinidas, ya sean discontinuidades del macizo rocoso o a partir de las condiciones de resistencia de los suelos que definirán su fallamiento (*Muñoz, 2013*). Los movimientos más comunes que presentan los deslizamientos, son de tipo traslacionales y rotacionales (*Varnes, 1978*). Los primeros, tienen lugar en superficies preexistentes más o menos planas, generadas por discontinuidades presentes en el macizo rocoso. En el caso de los deslizamientos de tipo rotacionales, la superficie de rotura queda definida por superficies curvas y cóncavas (*González de Vallejo et al., 2002*) y son frecuentes en materiales homogéneos y de baja calidad geotécnica (como arenas o suelos) o rellenos artificiales.

Volcamientos o Toppling: Corresponde a la rotación hacia adelante y hacia el exterior de la ladera sobre un eje de un macizo rocoso. Estos se deben principalmente a la presencia de planos de debilidad (Varnes, 1978).

Flujos: Corresponden a movimientos continuos en el espacio, donde las superficies de ruptura no son preservadas y las masas desplazadas son fuertemente deformadas internamente, comportándose de manera similar a un líquido viscoso de material saturado en agua (Varnes, 1978). Existen distintas clasificaciones para los flujos, basadas por un lado en el tipo de material movilizado (barro, detritos o fragmentos rocosos) y en la proporción de líquido y sólido que presenten. Su ocurrencia dependerá de la disponibilidad de material (generalmente disgregado) que pueda ser arrastrado ladera abajo por la acción de agua

4. Antecedentes y caracterización del área de estudio

4.1. Geología Local

De acuerdo a la **Figura 4** realizada según *Godoy et al. (2009)* en la comuna podemos encontrar tres tipos de depósitos: aluviales de piedemonte y quebradas del Neógeno-Pleistoceno, depósitos coluviales del Holoceno y depósitos de remoción en masa del Pleistoceno? -Holoceno. Además de rocas del Cretácico inferior correspondiente a la Formación Las Chilcas como Ignimbritas del tipo dacíticas a riodacitas con diversos grados de cristalización de sus fiammes, Domos riodacitas subvolcanicos a extrusivos de texturas porfídicas y Andesitas con presencia de tobas y areniscas subordinadas. Por otro lado, también se encuentran dos tipos de rocas del Jurásico superior, pertenecientes a la Formación Lo Prado, la primera es Andesitas-Tobas, compuesta de Andesitas y Andesitas basálticas de piroxeno con intercalaciones de Tobas brechosas y la segunda es Volcanoarenitas verdes de Areniscas verdes con líticos andesíticos con intercalaciones de limolitas verdes subordinadas (*Godoy et al., 2009*).

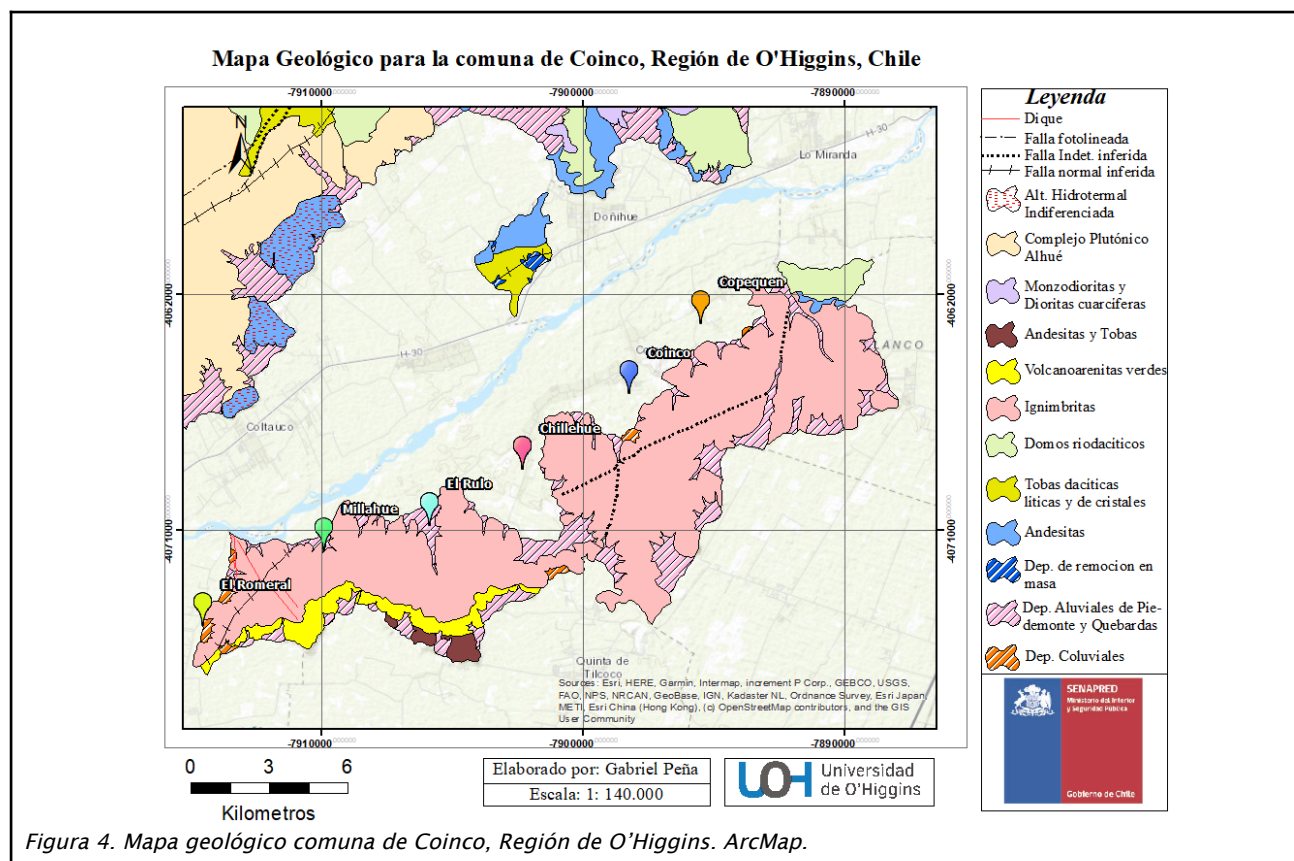


Figura 4. Mapa geológico comuna de Coinco, Región de O'Higgins. ArcMap.

4.2. Geomorfología Local

Los sectores de Millahue y El Rulo, según *Börgel (1983)*, se emplazan en la Cuenca de Rancagua con unos 60 km. en su eje N-S y 30 km. en sentido E-O. Estas localidades se encuentran entre dos morfoestructuras principales: la cordillera de la costa en el sector Oeste y la depresión intermedia en el sector oriental. Por otro lado, la cuenca de Rancagua corresponde a una llanura de relleno, principalmente aluvial, debido al rol de los ríos (*Börgel, 1983*).

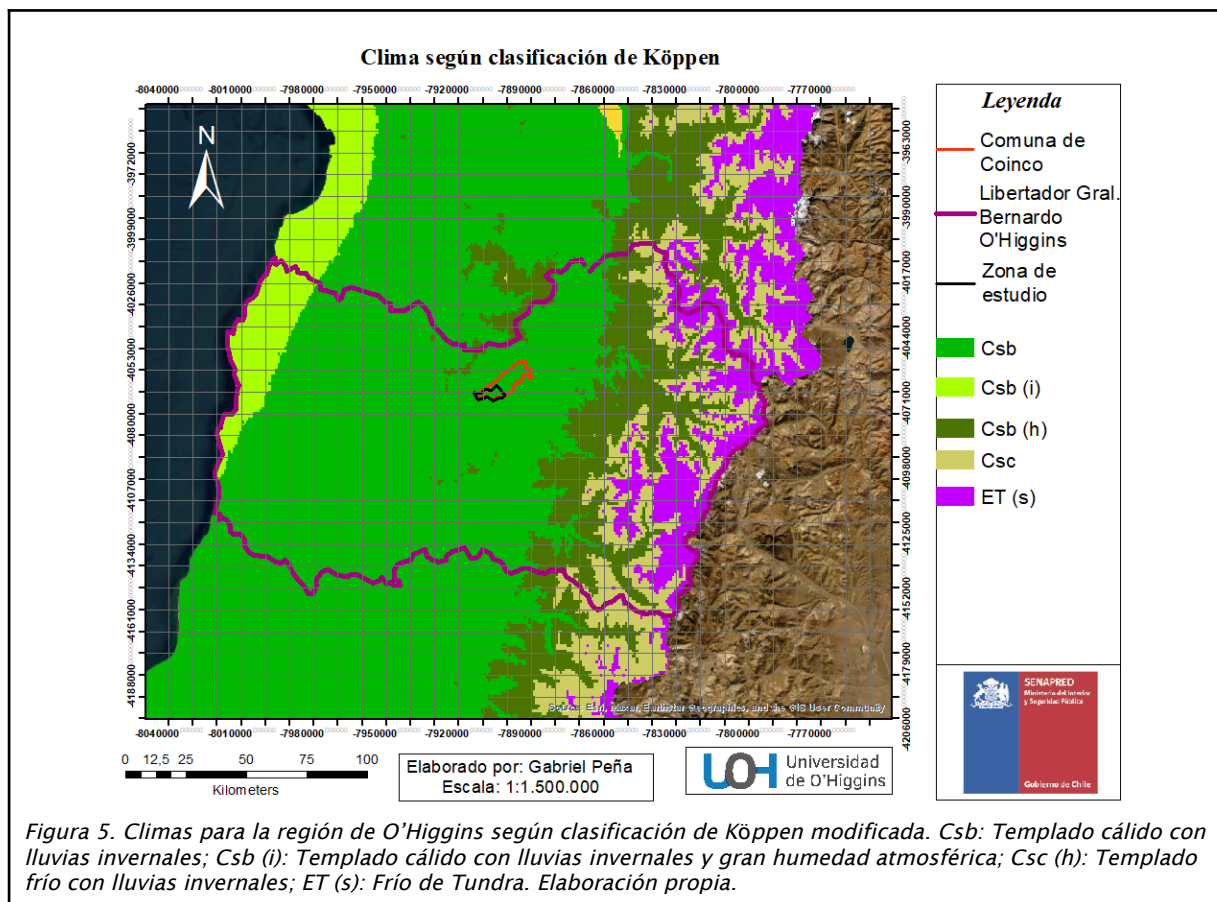
La Cordillera de la Costa se presenta baja y de formas redondeadas que no alcanzan los 2.000 metros, con una orientación N25°E. Esta cuenca se abre paso por el valle de Peumo-Codao-Coltauco (*Charrier G et al., 1973*)

La depresión intermedia se presenta con formas planas generadas por el acarreo de materiales de depósitos cuaternarios, principalmente de origen glacio-fluvio-volcánico de la cordillera de la costa y la cordillera principal (*Charrier G et al., 1973*).

4.3. Clima

Según un estudio del Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN, 2016), en conjunto con el Sistema de Información Territorial rural (SITRural) (2021) presentan que la región de O'Higgins se compone de 4 tipos de climas diferentes, los cuales según la

clasificación de Köppen (**Figura 5**). La comuna de Coinco presenta un clima templado cálido con lluvias invernales con una estación seca de 7 a 8 meses, en donde las precipitaciones se encuentran con mayor frecuencia en periodos invernales.



4.4. Sismicidad

Millahue y El Rulo se encuentran ubicados en la Depresión Central, zona que es afectada por sismos de subducción, en donde la placa de Nazca se subduce bajo la placa Sudamericana (Metois et al., 2012). En la comuna no hay presencia de fallas activas, según el visor del SERNAGEOMIN, solo hay fallas inferidas y fotointerpretadas, además no hay evidencia histórica de que hayan ocurridos sismos con epicentro dentro de la comuna de Coinco. Según el informe elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente en 2019, la región de O'Higgins ha sido afectada por sismos con epicentros lejanos como los ocurridos en su territorio. La **Figura 6** muestra la amenaza sísmica estudiada mediante el Visor GRD de SENAPRED para la zona de estudio, se puede observar que la amenaza sísmica es de grado 7 lo cual significa que la zona presenta una amenaza sísmica bien alta. Esto se complementa con la presencia de depósitos aluviales, de remociones en masa y coluviales, se espera que ahí haya una mayor amplificación de las ondas sísmicas.

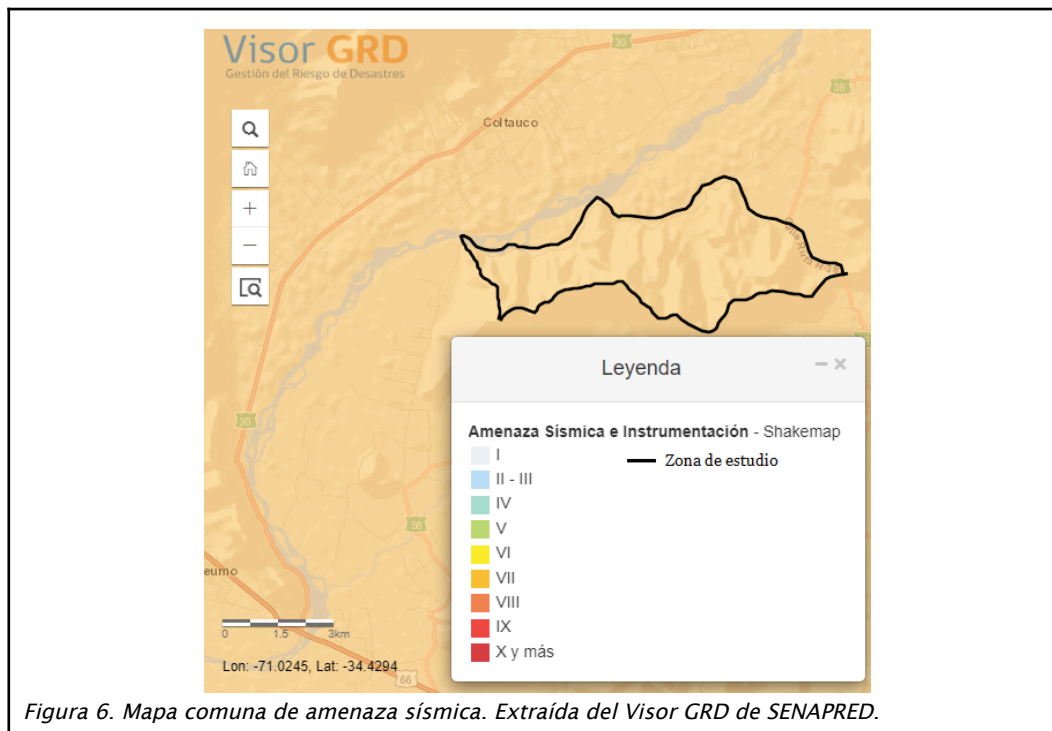


Figura 6. Mapa comuna de amenaza sísmica. Extraída del Visor GRD de SENAPRED.

4.5. Actividad antrópica

La actividad antrópica en la comuna de Coinco se basa principalmente en la presencia de canteras y/o piques mineros, asentamientos humanos y construcciones de todo tipo (Retén de carabineros, centros educacionales, de salud, etc.). La presencia de estas canteras presenta un riesgo en la zona, dado que no tienen medidas de prevención, además de presentar rodados en el lugar. La **Figura 7**, muestra las imágenes satelitales de esta intervención, lo que preocupa es que se encuentran muy cercanas a zonas pobladas. Un hecho que se encuentra presente es en la localidad de El Rulo, en donde todavía se puede apreciar el deslizamiento de suelo/roca que ocurrió en el lugar (**Figura 5 -Anexo 2**).

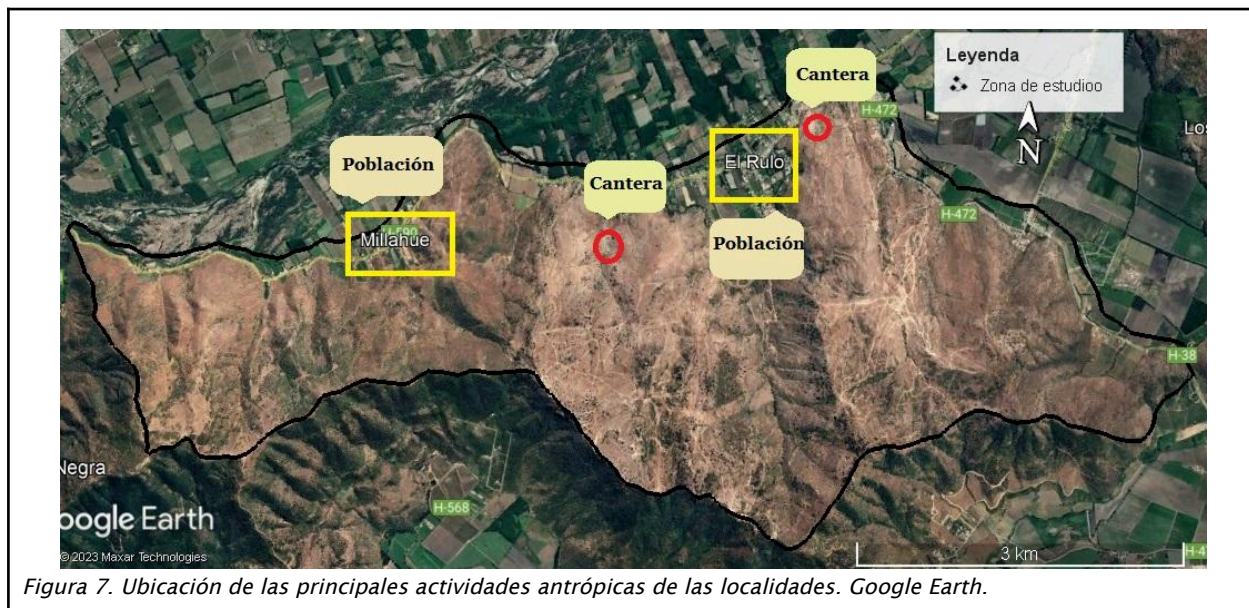


Figura 7. Ubicación de las principales actividades antrópicas de las localidades. Google Earth.

4.6. Remociones en Masa

La comuna de Coinco se ha visto afectada por aproximadamente 7 eventos de remociones en masa, eventos mostrados en la **Anexo II - Figura 3**, la cual muestra el mapa con la ubicación de estas remociones en masa. Con respecto a los deslizamientos y caídas de rocas, estas se obtuvieron observando el visor del SERNAGEOMIN llamado GEOMIN, según la página, estas remociones se dedujeron mediante observación de terreno en el 2017, por lo que no hay mucha información al respecto. Por el contrario, para el evento de Millahue en el año 2021, dado que este hecho fue documentado por Ramírez y Montecino (2021), en donde se investigó que por culpa del sistema frontal del 29 al 31 de enero se reactivaron 4 quebradas con flujos de agua, fango y bloques (**Figura 8**). Según las evidencias entregadas, las pérdidas corresponden a 3 viviendas destruidas, 12 personas damnificadas (10 adultos y 2 menores) sin lesiones (López, 2021). Cabe destacar que testimonios de los habitantes de la zona nunca habían presenciado un fenómeno de este tipo en todos los años que llevan viviendo ahí.

Ramírez C. y Montecinos D. (2021) también realizaron investigaciones geológicas en las cuatro quebradas reactivadas. *La quebrada 1* generó un flujo de detritos de ca. 2 m de espesor y 1,5 m de alto, en donde la matriz está compuesta de sedimento tamaño fango y bloques, variando de soportada a clasto soportado, sus fragmentos van de subangulosos a subredondeados con una mala selección. La **Figura 9**, muestra un desprendimiento de material que aportó directamente al flujo de detritos de la quebrada 1. *La quebrada 2* corresponde a una explanada de aprox. 20 m de ancho. La **Figura 10** muestra las características de este flujo de ca. 40 cm de espesor correspondiente a una matriz de sedimento tamaño fango y fragmentos líticos hasta de hasta 15 cm, compuesto por

fragmentos líticos subangulosos, mal seleccionados de hasta 50 cm, el cual inundó de sedimento fino una plantación de choclos.

La *tercera quebrada* también corresponde a flujo de detritos de espesor ca. 1.5 m, con una matriz de sedimentos tamaño fango y bloques de hasta 15 cm, del tipo clasto soportado con fragmentos angulosos de aprox. 50 cm (**Figura 11**). Por último, en la *quebrada 4*, el flujo de detritos alcanzó un espesor de ca. 50 cm y ca. 80 cm de alto (**Figura 12**), con matriz constituida por sedimento tamaño fango hasta bloques de varios centímetros, soportada y mal seleccionada, además de poseer fragmentos líticos, subangulosos a subredondeados que alcanzaron tamaños de hasta 40 cm aproximadamente.

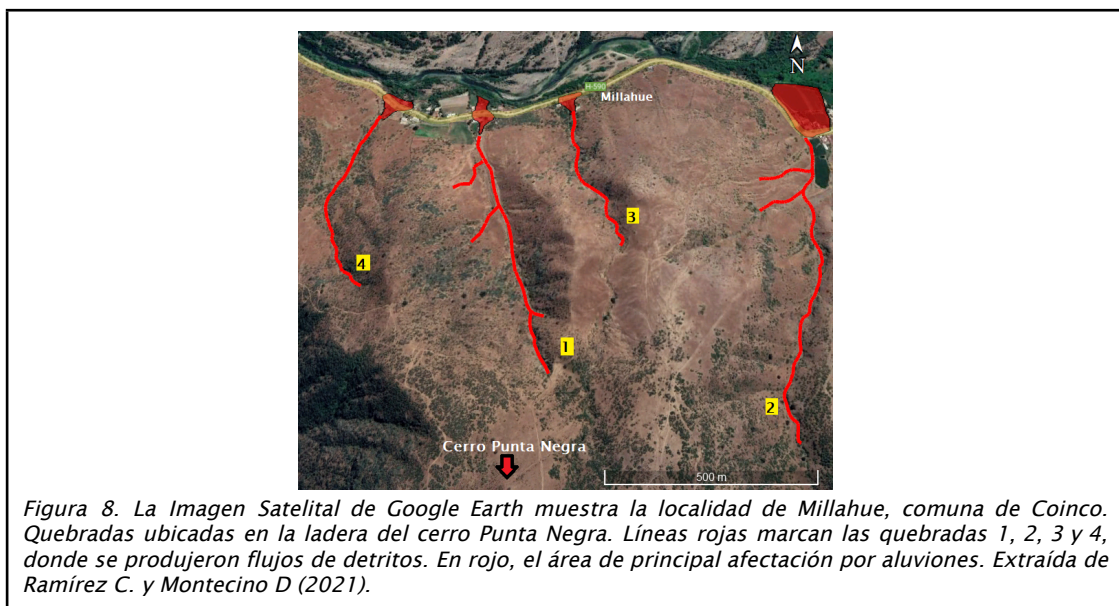




Figura 10. Vista hacia el sur, quebrada 2, sector de Millahue. Explanada de la quebrada de 20 m de ancho, depósito de 20 a 50 cm de espesor, marcas de flujo de ca. 40 cm. Flecha celeste marca quebrada de donde proviene el material detrítico. Extraída de Ramírez C. y Montecino D. (2021).



Figura 11. Vivienda afectada por flujo de detritos, proveniente de quebrada 3, sector Millahue. El depósito alcanza una altura de 1,5 m aprox. y contiene bloques de hasta 50 cm en matriz de fango. Extraída de Ramírez C. y Montecino D. (2021).

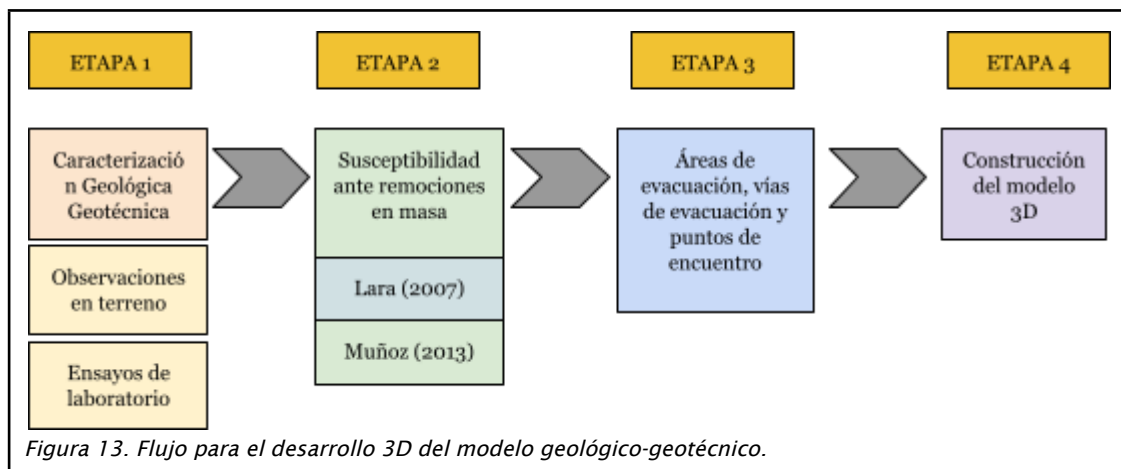


Figura 12. Características del flujo de barro y bloques que afectó a vivienda ubicada en los alrededores de la quebrada 4. El depósito es polimíctico, de ca. 50 cm de potencia, matriz soportada, mal seleccionado, con bloques de hasta 40 cm. El flujo habría alcanzado cerca de 80 cm de altura, manifestado por las marcas de barro en el muro de la vivienda. Extraída de Ramírez C. y Montecino D. (2021)

5. Metodología para el desarrollo de un modelo geológico-geotécnico para el manejo de los peligros geológicos

Para llevar a cabo el desarrollo 3D del modelo geológico-geotécnico, se siguieron las etapas definidas en la **Figura 13**. La primera etapa corresponde a la caracterización geológica del sector de estudio mediante observaciones en terreno y ensayos de laboratorio. La segunda es el análisis de la susceptibilidad a remociones en masa aplicando las

metodologías propuestas por *Lara (2007)* y *Muñoz (2013)*. La tercera es la definición y creación de las áreas de evacuación, vías de evacuación y puntos de encuentro en los sectores de Millahue y El Rulo. Por último, la cuarta fase es la construcción del modelo 3D mediante impresión digital.



5.1. Caracterización Geológica-Geotécnica

Durante la práctica profesional de la UOH de Peña G. y Uribe C. realizada en enero-febrero del 2022 en ex ONEMI O'Higgins, se levantó información geotécnica mediante recolección de muestras de roca durante salidas a terrenos en algunos lugares de la comuna de Coinco, estas se analizaron mediante ensayos de carga puntual, con el objetivo de obtener la resistencia a la compresión simple o UCS. La **Figura 14** muestra un mapa geológico-geotécnico con la clasificación de la roca según valores obtenidos de UCS (**Tabla 1 - Anexo 2**). Para esta zona de la comuna, los valores se encuentran mayormente en R5 lo que significa que la roca es muy fuerte, por lo que es muy poco susceptible a remociones en masa del tipo caídas de roca y volcamientos. Sin embargo, tal como se evidencio en 2021, la zona presenta muchas quebradas e incluso todavía se encuentran los registros de los flujos de detritos ocurridos, por consecuencia la zona bajo condiciones de lluvia intensa es muy susceptible a estos fenómenos. La **Figura 15** muestra esta condición de las quebradas, en donde se puede observar que hay demasiado material suelto que puede ser transportado y además durante el terreno se evidencio que han ocurrido varias remociones en masa a pequeña escala, las cuales en algún momento pueden desencadenar el desencadenamiento de una mucho más grande.

Mapa Geológico-Geotécnico para la comuna de Coinco, Región de O'Higgins, Chile

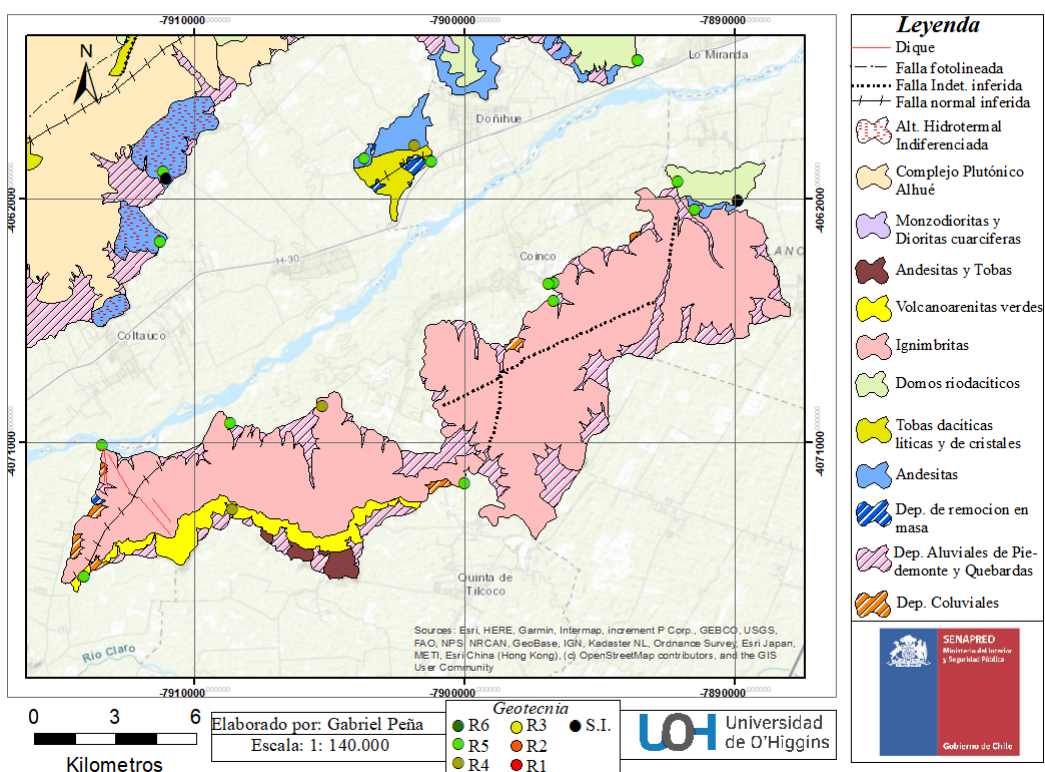


Figura 14. Mapa Geológico - Geotécnico para la comuna de O'Higgins. ArcMap (Peña, 2022).



Figura 15. Fotografías tomadas en terreno de las quebradas que se activaron durante el evento de 2021 en Millahue.

5.2. Estudio de susceptibilidad a remociones en masa

Para obtener un índice de susceptibilidad (IS) para cuatro tipos de remociones en masa: Deslizamiento de suelo, Deslizamiento de Rocas, Caídas de Rocas y Flujos se usó la metodología propuesta por *Lara (2007)* y *Muñoz (2013)*, las cuales proporcionan ciertos porcentajes a factores condiciones para obtener IS entre 0% y 100% (**detallados en Anexo III**). Ambos métodos son de características cuantitativas y cualitativas, dado que la asignación de puntajes se basa mediante información recopilada en terreno o mediante software que proporcionen información satelital y, por otro lado, el puntaje se asigna según el criterio del profesional (*Lara, 2007*).

Las dos propuestas comienzan con un trabajo en gabinete con el fin de recopilar la información de la zona de análisis y definir la escala de trabajo, seguida de una etapa de terreno inicial orientada a caracterizar las unidades (de roca y suelo) presentes en la zona de estudio a partir de mapeo, observación y caracterización de los condicionantes del área (*Lara, 2007*).

5.2.1. Metodología de susceptibilidad por Lara (2007).

Lara en 2007 propone que para el análisis de remociones en masa del tipo Deslizamiento de Suelo, Deslizamiento de Rocas, Caídas de Rocas y Flujos se ponderen puntajes (%) a los factores condicionantes de la zona de interés, factores que varían según el tipo de fenómeno y como estos influyen en su generación, con el fin de obtener el Índice de Susceptibilidad (IS). El IS varía entre 0% a 100%, en donde aquellas con un $IS > 50\%$ se caracterizan como zonas susceptibles a la remoción en masa que se está analizando.

Para obtener un estudio bien desarrollado, *Lara (2007)* contempla que la escala de trabajo debe ser entre 1:20.000 a 1:50.000. En este caso se utilizó una escala 1:40.000, con el objetivo de definir las unidades de una mejor manera. La metodología de Lara, en una de sus fases de trabajo dice que la zona de interés debe ser dividida en sub-unidades geomorfológicas, tomando en cuenta la geomorfología, geología, mapas de pendiente y mapas de orientación de las laderas, para así por ejemplo diferenciar una unidad que pueda tener la misma geología pero distinta pendiente. Lara establece que la cantidad de subunidades no debe pasar las 150, en este caso se establecieron 80, las cuales fueron creadas mediante el software ArcMap de ArcGis.

Finalmente, el mapa de susceptibilidad es creado en base al cálculo del IS para cada subunidad creada anteriormente, mediante las ponderaciones que *Lara (2007)* utilizó para cada tipo de remoción en masa. Cabe mencionar que, para cada tipo de remoción en masa, se hará un mapa de susceptibilidad.

5.2.1.1. Análisis de susceptibilidad para Deslizamiento de Suelo.

La **tabla A del Anexo III** da a conocer en detalle los factores condicionantes para la generación de Deslizamientos de Suelos establecidos por *Lara (2007)*, en donde la suma de los factores debe dar 100%. El cálculo del IS se da por la ecuación (1), en donde DS corresponde al tipo de remoción en masa, en este caso es Deslizamiento de Suelo; f_i es el valor de cada uno de los nueve factores y f_{10} es un factor que dependerá del tipo de remoción en masa, ya que corresponde al tipo de material involucrado (Roca o suelo), por lo que tomará valores entre 1 y 0, en esta situación, 1 tomará el valor de Suelo y 0 tomará el valor de Roca.

$$IS_{DS} = \left(\sum_{i=1}^9 f_i \right) * f_{10} \quad (1)$$

5.2.1.2. Análisis de susceptibilidad para Deslizamiento de roca.

La **tabla B del Anexo III**, muestra el desglose de los factores condicionantes para la generación de Deslizamientos de Rocas establecidos por *Lara (2007)*. El IS se calcula mediante la ecuación (2), donde f_6 toma valores 1 o 0, por lo tanto, todo aquello relacionado a roca tendrá un $f_6 = 0$, es decir, un IS=0.

$$IS_{DR} = \left(\sum_{i=1}^5 f_i \right) * f_6 \quad (2)$$

5.2.1.3. Análisis de susceptibilidad para Caídas de rocas.

La **tabla C del Anexo III**, muestra el desglose de los factores condicionantes para la generación de Caídas de Rocas establecidos por *Lara (2007)*. El IS se calcula mediante la ecuación (3), donde el f_6 toma la misma condición que el Deslizamiento de Roca.

$$IS_{CR} = \left(\sum_{i=1}^5 f_i \right) * f_6 \quad (3)$$

5.2.1.4. Análisis de susceptibilidad para Flujos.

La **tabla D del Anexo III**, muestra el desglose de los factores condicionantes para la generación de Flujos establecidos por *Lara (2007)*. El IS se calcula mediante la ecuación (4), donde el f_{12} toma la misma condición que el Deslizamiento de Suelo.

$$IS_F = \left(\sum_{i=1}^{11} f_i \right) * f_{12} \quad (4)$$

5.2.2. Metodología de susceptibilidad por Muñoz (2013)

La metodología establecida por *Muñoz (2013)* es similar a la de *Lara (2007)*, solo que esta presenta modificaciones en los factores a los que se les asigna un porcentaje, dado que este método es para determinar zonas susceptibles a remociones en masa, pero a una escala más de área urbana, por lo tanto las tablas con el desglose de los factores, presentaran la ausencia de algunos de estos o la incorporación de otros, dependiendo del tipo de peligro. Por ejemplo, al estudiar zonas urbanas, *Muñoz (2013)*, le da un énfasis mucho más grande a lo que viene siendo la actividad antrópica.

Al contrario de *Lara (2007)*, *Muñoz (2013)* establece que la escala de trabajo debe ser entre 1:5.000 y 1:10.000, en este caso se utilizó la 1:5.000. Por consecuencia de esta escala, esta metodología hace la diferenciación entre deslizamientos rotacionales y traslacionales, además de dividirlos en si es suelo o roca, además de analizar caídas de rocas y flujos.

Para definir las subunidades geomorfológicas, se sigue el mismo procedimiento que *Lara (2007)*, tomando en cuenta la geomorfología, rasgos geológicos, pendientes y orientación de las laderas, pero agregando criterios como los límites entre sectores, calles y la intervención antrópica. Al igual que *Lara (2007)*, no se debe superar las 150 subunidades. En esta sección se crearon 77 subunidades urbanas. En relación al cálculo del IS, se hace el mismo procedimiento que *Lara (2007)*.

5.2.2.1. Análisis de susceptibilidad para Deslizamiento de Suelo.

La propuesta de *Muñoz (2013)* propone que, para los factores condicionantes tomados en cuenta, se le debe asignar ponderados (%). Estos factores se encuentran desglosados en la **tabla E del Anexo III** y para el cálculo del IS, se hace mediante la fórmula (4), en donde el f_{11} corresponde al tipo de material, por lo tanto, tomará el valor de 1 cuando se trate de suelo y el valor de 0 cuando sea un material rocoso.

$$IS_{DS} = \left(\sum_{i=1}^{10} fi \right) * f_{11} \quad (4)$$

5.2.2.2. Análisis de susceptibilidad para Flujos.

Para *Muñoz (2013)*, el análisis de Flujos se orienta en unidades del tipo canales de drenaje (cauces activos o secos) o por quebradas, dado que la generación de flujos se hace mediante el arrastre de material concentrados dentro de la subunidad o si es que el material pueda ser incorporado mediante deslizamientos de suelos ocurridos en subunidades localizadas más superior, con el objetivo de estudiar la susceptibilidad a Flujos en todos los casos posibles (**tabla F del Anexo III**).

En esta metodología se le da una gran importancia a la vegetación, dado que establece que la presencia de vegetación favorable, es decir, árboles y arbustos con raíces

que fuertes que actúen como decantadores naturales, mientras que una vegetación desfavorable (vegetación fácil de desgarrar) beneficia la ocurrencia de flujos.

El IS se calcula mediante la fórmula (5), en donde el f_9 tomará el valor de 1 si el material es compatible con el mecanismo, en caso de no serlo, se evalúa si las unidades por sobre esta unidad tienen un IS de deslizamientos de suelos >50 . Caso contrario si este IS es <50 , el f_9 será 0.

$$IS_F = \left(\sum_{i=1}^8 fi \right) * f_9 \quad (5)$$

5.3. Definición de áreas con vías de evacuación y puntos de encuentro

5.3.1. Área de evacuación

Las áreas de evacuación se determinan mediante la recopilación de información obtenida de los estudios de análisis de susceptibilidad ante remociones en masa. La construcción de los planos de evacuación deben ser lo más completa posible para que los residentes o visitantes puedan desarrollar adecuadamente la evacuación, además de que debe ser lo bastante claro y explicativo para que el lector se ubique con el fin de entender si ya ha pasado esta área de evacuación o si ya se encuentra en una zona segura. Para que este límite entre el área de evacuación y zona segura sea fácil de identificar, se recomienda que se señalicen mediante señaléticas o mediante el nombre de calles o avenidas (ONEMI, 2021).

5.3.1.1. Subáreas de evacuación.

Se entenderá como subárea de evacuación a un sector del área total a evacuar, en donde las personas tendrán la recomendación de desplazarse a través de una o más vías de evacuación hacia un punto de encuentro (o hacia más puntos adyacentes). Siempre que se realizan estudios sobre áreas de evacuación, se recomienda que sea dividido en subáreas, con el fin de obtener vías de evacuación más rápidas y eficientes (ONEMI, 2017).

En base a la información obtenida y el procesamiento de las sub-áreas de actuación, en el **Anexo IV** se encuentran las tablas con las características y componentes asociadas a cada una. Cabe destacar que se proponen 21 sub-áreas debido a que la población se encuentra dispersa por toda la zona de estudio.

5.3.2. Puntos de encuentro

Los puntos de encuentro corresponden a espacios abiertos fuera del área de evacuación, en donde se deben reunir todas las personas evacuadas. Estos deben ser de fácil acceso libre al público, en caso de ser un sector privado, se debe hablar con el dueño para establecer esa zona como punto de encuentro en caso de una emergencia. Además de

contener los insumos necesarios para brindar atención médica y psicológica, tener acceso a las necesidades básicas de las personas y lo primordial es que tenga la capacidad para congregar a toda la población proveniente de la subárea establecida (ONEMI, 2017).

5.3.2.1. Capacidad mínima sugerida.

La superficie mínima que se debe considerar por persona en un punto de encuentro es de $0,8 \text{ m}^2$ dependiendo de la información recopilada como por ejemplo distribución de viviendas por manzanas, datos relacionados con población flotante, etc., con la intención de que este punto sea capaz de reunir a todas las personas provenientes de la subárea correspondiente (ONEMI, 2017).

En el **Anexo V** se encuentran detalladamente los 9 puntos de encuentro propuestos en el trabajo. Estos se establecieron en base a una mayor rapidez de poner en seguridad a la población además de tener en cuenta el factor de dispersión de esta a lo largo de toda la zona de estudio. En este anexo se encuentra información como la ubicación (coordenadas E y N), superficie y capacidad de ocupación, para esta última se obtuvo mediante el cálculo de $\text{Superficie} [\text{m}^2] * 0.8$, dónde 0.8 es la ocupación mínima que ocupa una persona para lugares de terrenos privados.

5.3.3. Vías de evacuación

Las vías de evacuación corresponden a calles, avenidas, caminos destinados al tránsito de personas durante una evacuación. Estas deben ser lo más directas posibles hacia una zona de seguridad, deben contar idealmente con alumbrado público, acceso universal, que su ancho sea constante. Por otro lado, las vías de evacuación deben evitar conducir a las personas por zonas expuestas a otros tipos de peligros como acantilados, quebradas, líneas férreas etc.

Puede haber casos en donde las vías de evacuación conecten directamente con un punto de encuentro, pero esta condición no es obligatoria, por lo que en una subárea pueden existir múltiples vías de evacuación y no todas llegarán a un punto de encuentro. Es por esto, que es importante que los límites entre una área de evacuación y una zona de seguridad estén bien identificados y desde ahí mediante señaléticas informar a las personas hacia dónde dirigirse para un punto de encuentro (ONEMI, 2017).

5.4. Construcción 3D del modelo geológico-geotécnico

Para llevar a cabo la construcción del modelo 3D se realizó un curso de inducción al corte láser en la fábrica digital ubicada en la Universidad de O'Higgins, el día jueves 22 de junio de 2023, dado que es el requisito mínimo que exige la fábrica para poder presentar un proyecto personal. Durante este curso se aprendió que la máquina funciona con un láser el

cual es la reacción de un pulso eléctrico a través de CO₂, el cual tiene dos funciones: cortar o grabar en materiales como madera, cuero, acrílico, etc.

Sin embargo, el modelo se realizó mediante cortes en madera MDF con un router CNC. Estos son muy similares a las fresadoras, la única diferencia es que el router CNC elimina el factor humano. La máquina consiste en un eje vertical manipulado por motores, los cuales, como mencionamos, siguen patrones preestablecidos. Por ello, es considerada una de las máquinas más versátiles para el corte en tres y dos dimensiones sobre cualquier tipo de superficie (**Figura 16**). Este router es controlado por una computadora y su función es realizar cortes automatizados, estos cortes son controlados desde el mismo computador. La versatilidad y sistema de última tecnología del Router CNC permite el uso de diseños realizados en programas como Indesign, Illustrator, AutoCAD, entre otros. Este router puede trabajar en MDF, acrílicos, cobre, aluminio, latón, y muchos otros tipos de materiales.

El objetivo de esta maqueta es presentar principalmente las zonas susceptibles a remociones en masa, es decir, un $IS > 50$, para ello se pintará con acrílicos, dado que esta pintura es la adecuada para trabajar este tipo de material. Además, se incluyen las áreas de evacuación, vías de evacuación y puntos de encuentro, todo esto a una escala de 1:20.000.

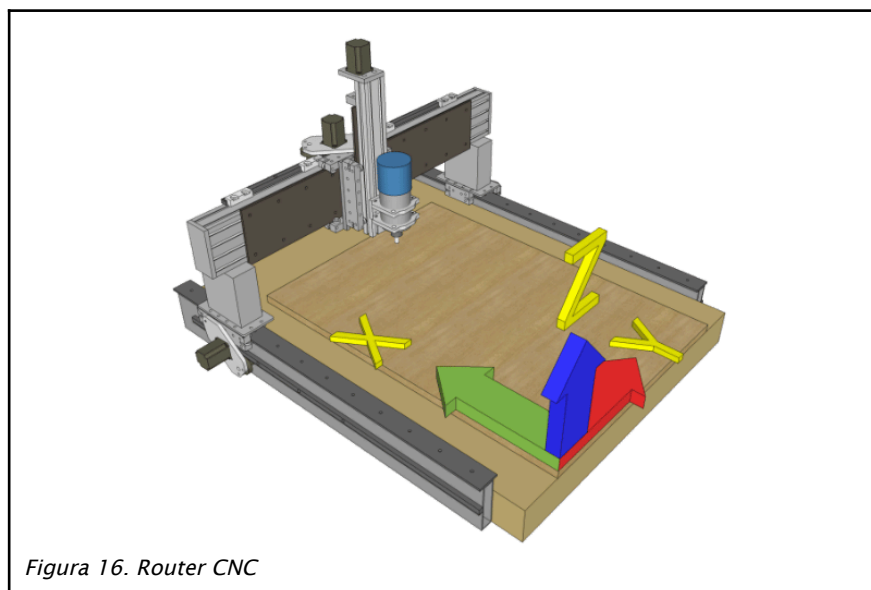


Figura 16. Router CNC

6. Resultados

6.1. Caracterización Geologica-Geotecnica

Durante la práctica profesional de la UOH de Peña G. y Uribe C se lograron realizar 3 tomas de muestras en la zona de estudio del presente trabajo. Estas respectivas muestras se trabajaron mediante carga puntual en el laboratorio de la Universidad de O'Higgins con el fin

de calcular el UCS o resistencia a la compresión uniaxial. La Tabla 2 muestra los resultados de estos cálculos. El Rulo y Millahue dieron un UCS entre 100-250 MPa, lo que significa que su roca está en la categoría R5 (roca muy fuerte), mientras que Camino al Romeral dio un UCS de 87.22 MPa, lo que entra en la categoría R4 (roca fuerte). Además se realizó un catastro de propiedades de rocas en donde en esta zona predomina la toba lítica y andesita

Tabla 2. Características de cada lugar muestreado

	El Rulo	Millahue	Camino a El Romeral
Coordenada N	6202332	6201762.00	6201005,1
Coordenada E	314639	311819.00	307921,5
Grado Meteorización	I	I	II
UCS [MPa]	87.22	123.79	243.09

6.2. Unidades geomorfológicas creadas y su escala de trabajo

Al aplicar las dos metodologías para la creación de las subunidades, se establecieron 80 subunidades geomorfológicas para Lara (2007) a una escala 1:30.000 (**Figura 17**). Estas se realizaron mediante características geológicas, mapas de pendientes (**Figura 19-A**) y mapas de aspecto u orientación de laderas (**Figura 19-B**).

De la misma manera fueron creadas las 77 subunidades urbanas mediante *Muñoz (2013)* a una escala 1:5.000 (**Figura 18**). Al contemplar áreas urbanas se tomaron en cuenta criterios como límites entre sectores, separación mediante calles, caminos o avenidas.

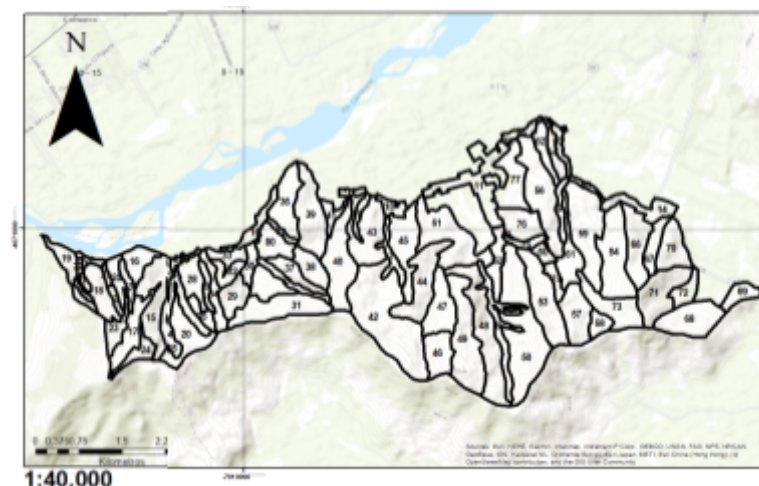
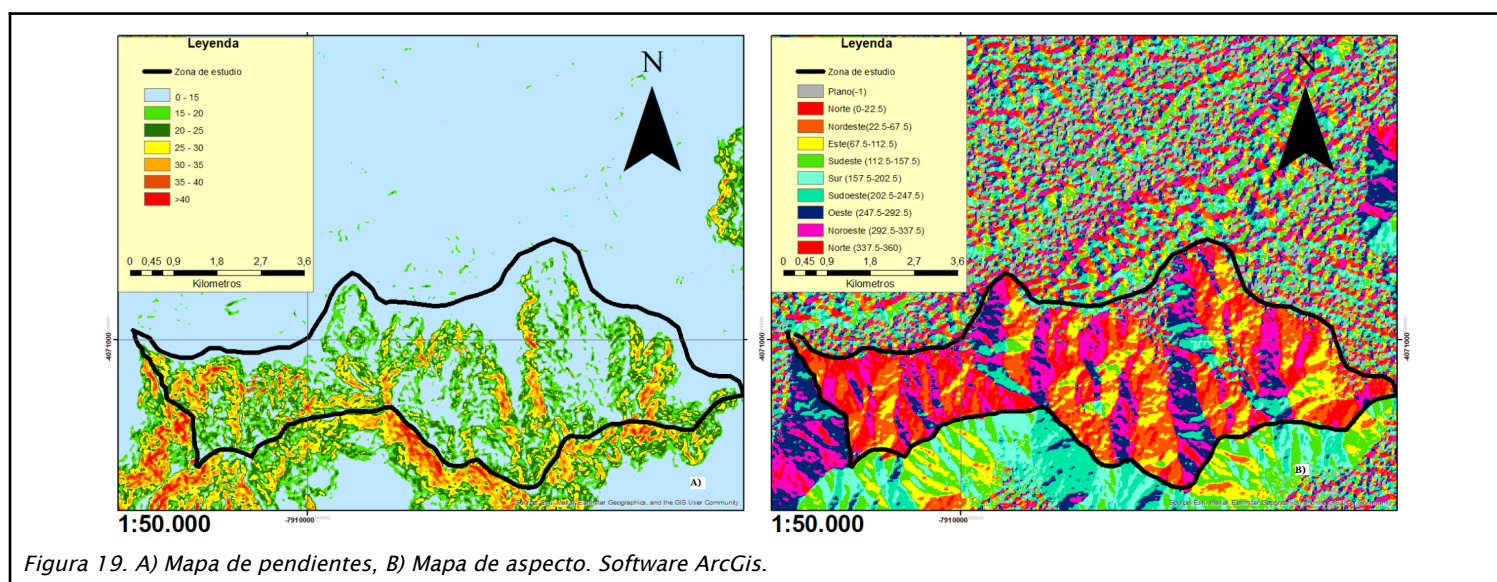
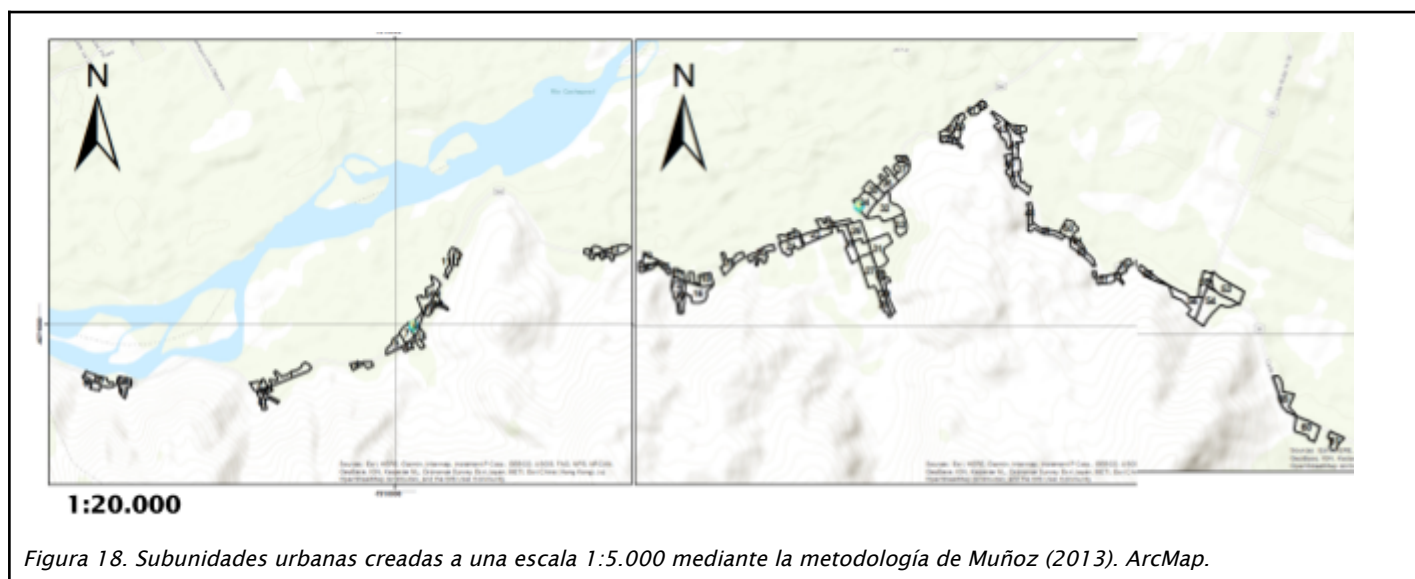


Figura 17. Subunidades geomorfológicas creadas a una escala 1:30.000 mediante la metodología de Lara (2007). ArcMap.

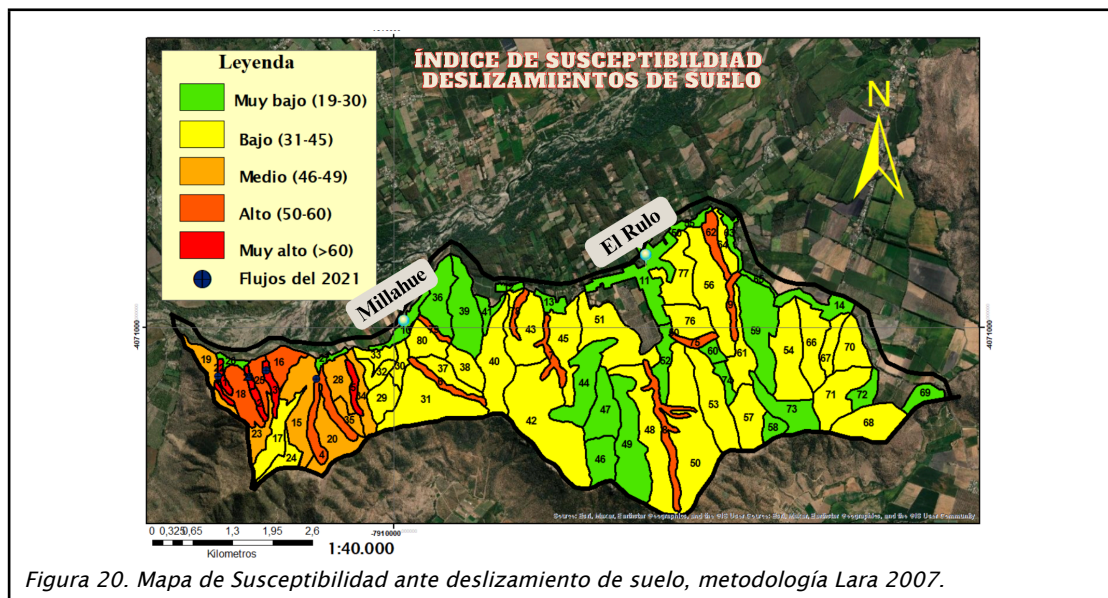


6.3. Cálculo del Índice de Susceptibilidad ante remociones en masa

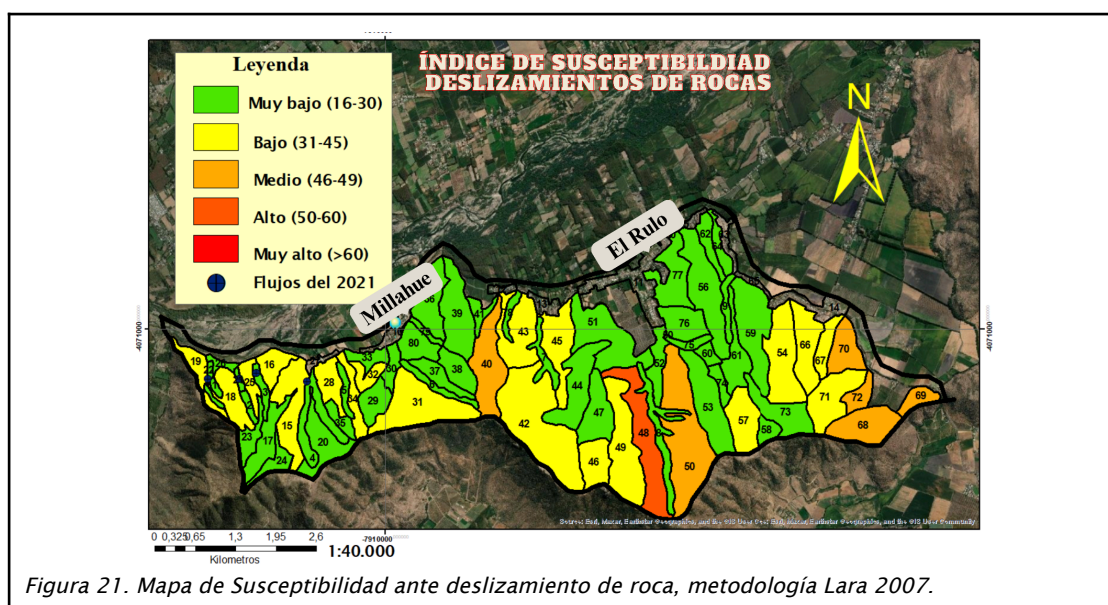
Los resultados del IS se presentarán en el mismo orden que se mencionaron en la metodología, por lo tanto se comenzarán con los mapas de susceptibilidad realizados con la metodología de Lara (2007) y finalmente con los obtenidos mediante la metodología de Muñoz (2013). Adicionalmente en el **Anexo VI** se encuentran detalladamente los cálculos de IS para cada tipo de remoción en masa.

El mapa de índice de susceptibilidad ante deslizamientos de suelo (**Figura 20**) dio como resultado que seis unidades obtuvieron un valor de $IS > 60$ y doce con un valor de IS entre 50-60. Estos valores se vieron reflejados en la salida a terreno realizada, ya que estos sectores son principalmente quebradas activas, dado que se observaron varios deslizamientos de suelo a escalas pequeñas y medianas, además de poseer un cobertura

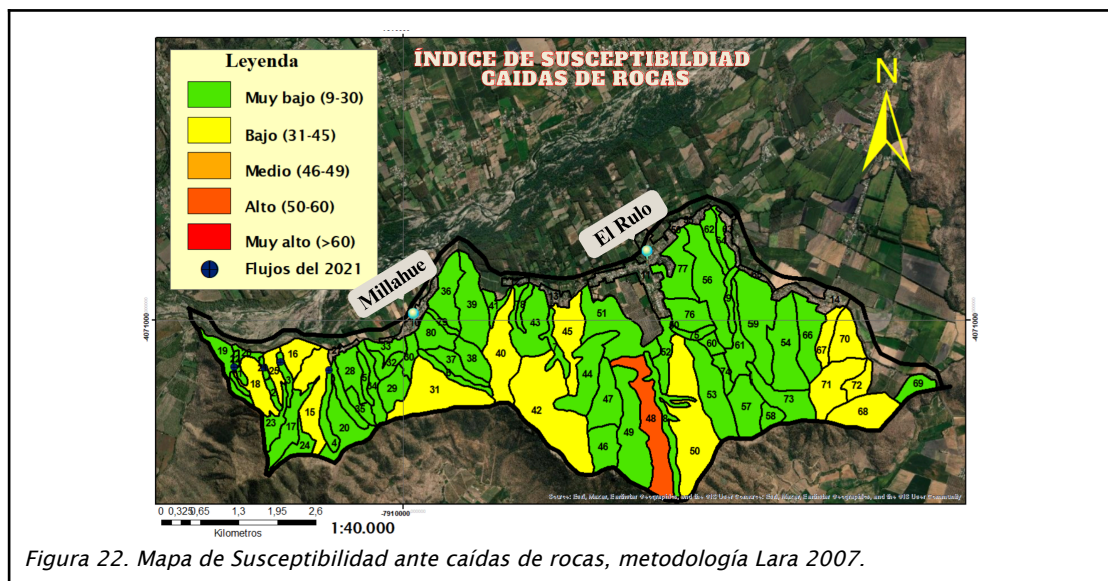
vegetal moderada, obstrucción del cauce y características geológicas-geotécnicas favorables para su generación. En la figura 16 o en la figura 5 del Anexo II se puede observar estos deslizamientos de suelo.



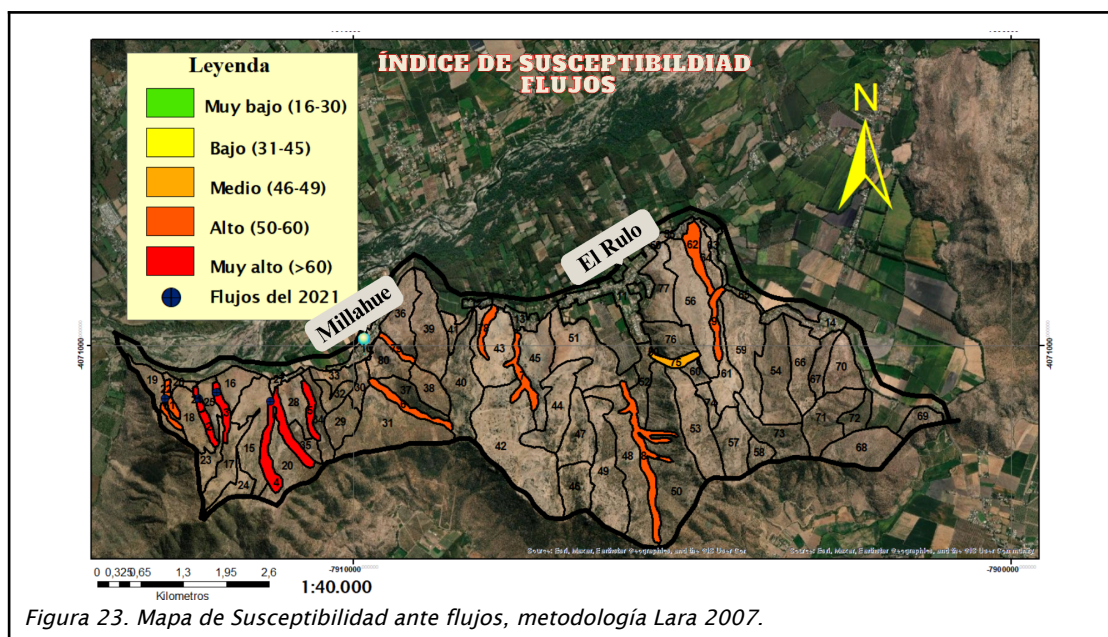
El mapa de índice de susceptibilidad ante deslizamientos de roca (**Figura 21**) dio como resultado solo un valor de IS entre 50-60 correspondiente a la unidad 48. Mayoritariamente el área de estudio arrojó valores de susceptibilidad entre muy bajo y bajo, debido a que estas zonas son con pendientes entre moderadas/bajas en donde la presencia de macizos rocosos son muy escasos y la cobertura vegetal favorece que no exista deslizamientos de rocas. En terreno se observó que la presencia de rodados se debe principalmente a los flujos ocurridos en el lugar.



Con respecto al caso de caídas de rocas (**Figura 22**), ocurre lo mismo que con los deslizamientos de rocas, en donde la misma unidad (n° 48) es la única con un valor IS entre 50-60.



El mapa de índice de susceptibilidad ante Flujos (**Figura 23**) dio como resultado 5 unidades con un valor de $IS > 60$ y 9 con IS entre 50-60, esto se debe a que corresponden a los sectores activados durante los flujos de detritos ocurridos en Millahue en enero de 2021. Además en terreno se observó que hoy en día siguen siendo unas quebradas de alto peligro, dado que existe mucho material suelto que puede ser transportados y por otro lado, hay evidencia en el sector de flujos a escalas pequeñas y medianas, las cuales se pueden ver en la figura 16 o en la figura 5 del Anexo II.



Por otro lado, el mapa de susceptibilidad ante deslizamiento de suelo mediante la metodología de Muñoz (2013), dio como resultado solo una unidad con un IS entre 50-60 debido principalmente a los deslizamientos ocurridos en la zona observadas en terreno. Mayormente la zona de estudio predomina una susceptibilidad muy baja a baja (**Figura 24**).

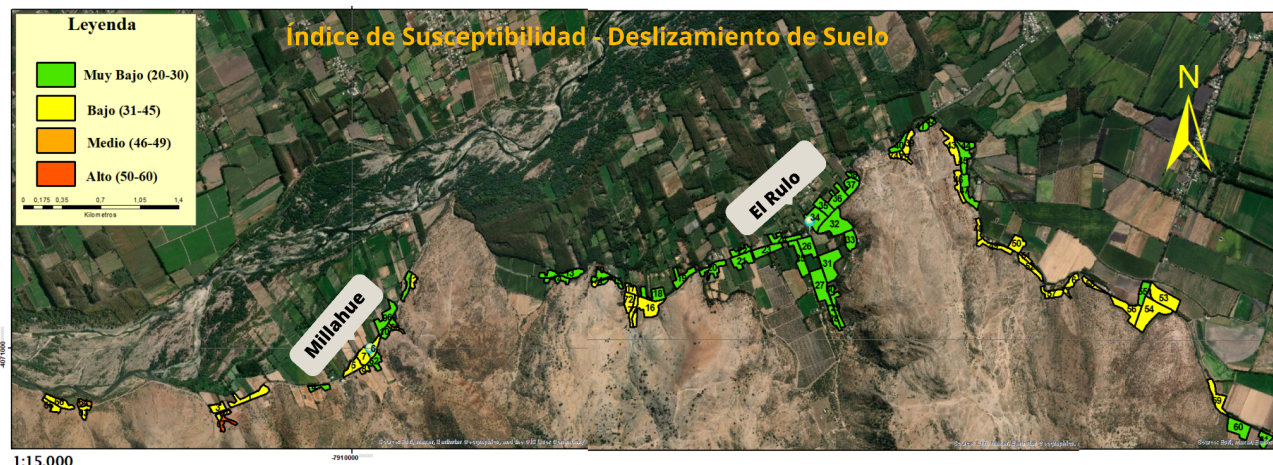


Figura 24. Mapa de Susceptibilidad ante deslizamiento de suelo, metodología Muñoz 2013.

La metodología de Muñoz (2013) para el caso de flujos dio como resultado 2 unidades con un IS muy alto, debido a que corresponden a las zonas en donde se activaron las quebradas en el evento del 2021. Además de 2 unidades con un IS alto, esto en consecuencia que son lugares de con características geológicas-geotécnicas muy favorables y con vegetación desfavorable (**Figura 25**).



Figura 25. Mapa de Susceptibilidad ante flujos, metodología Muñoz 2013.

6.4. Áreas de evacuación, vías de evacuación y puntos de encuentro

En base a los resultados obtenidos de los mapas de susceptibilidad ante remociones en masa, se realizó un mapa con que contiene propuestas de vías de evacuaciones y puntos de encuentro (**Figura 26**) establecido en función de las áreas de evacuación y de optimizar los tiempos de traslado hacia los puntos de encuentro, con el objetivo de que las personas estén en zonas seguras con mayor rapidez.

La zona de estudio se dividió en 21 sub áreas de evacuación, para así calcular de mejor forma las dimensiones y carga de ocupación de los puntos de encuentro (Presentados con mayor detalle en el **Anexo V**), de modo de que la población se pueda desplazar sin ningun problema por las vías de evacuación evitando aglomeraciones. Los puntos de encuentro son 9, los cuales corresponden a espacios privados, debido a que Millahue y El Rulo son sectores completamente agrícolas, estos se proponen con el objetivo de que la población no tenga que recorrer largas distancias para llegar a un punto de encuentro.

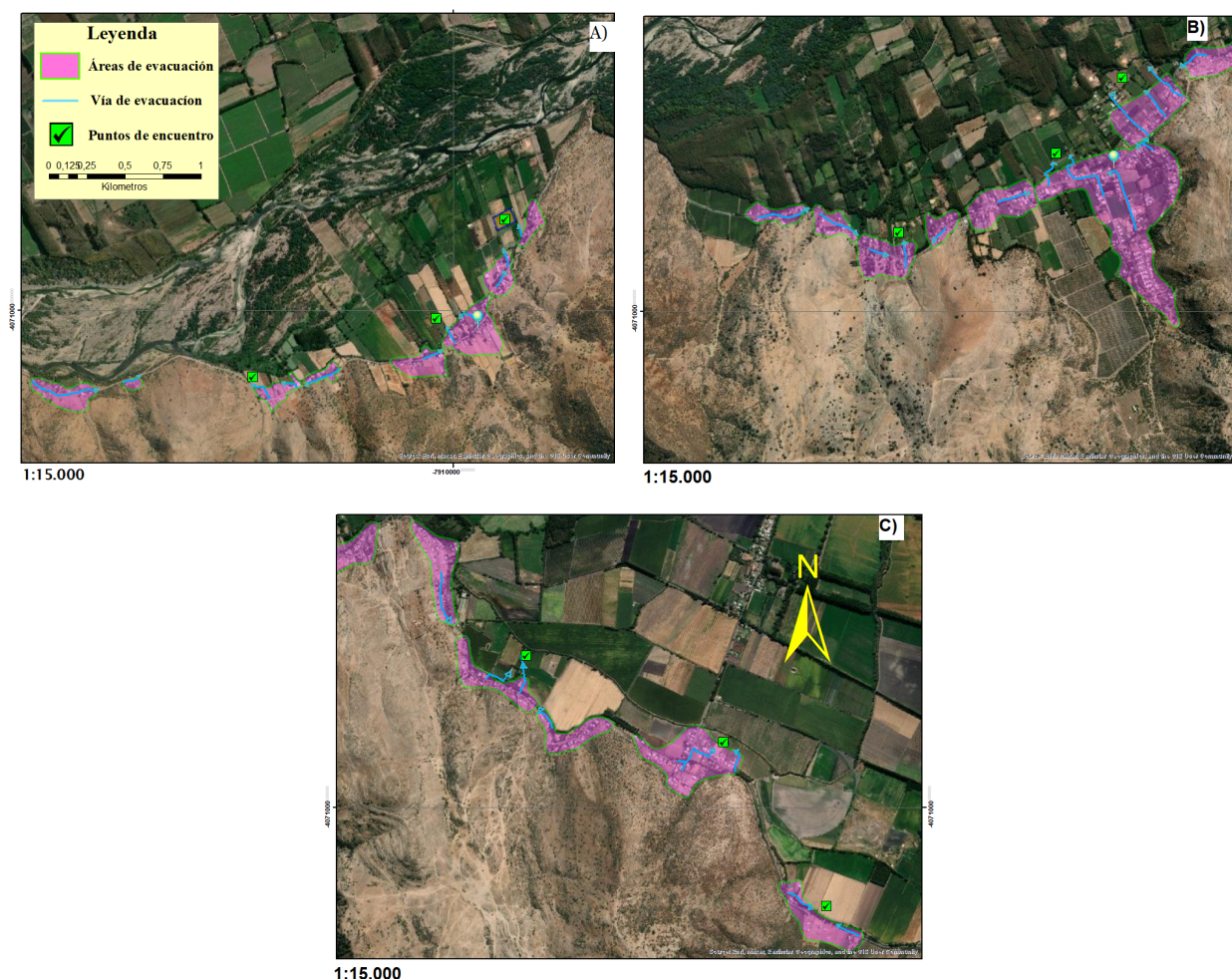


Figura 26. Mapa de áreas de evacuación, vías de evacuación y puntos de encuentro.

6.5. Construcción modelo 3D

La construcción del modelo 3D comenzó con la utilización del Router CNC de la fábrica digital de O'Higgins. Primero se insertó el modelo mediante un archivo stl requerido para este tipo de maquinarias para así que el router de forma automatizada comience con el desbaste del modelo con dimensiones de 800x430 mm (**Figura 27**), para luego finalizar con el acabado del modelo.

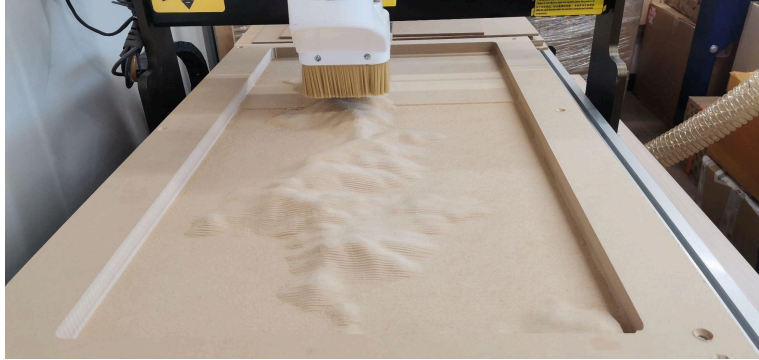


Figura 27. Desbaste del modelo mediante Router CNC

La siguiente etapa corresponde a la actividad manual, la cual consiste en pulir la maqueta para poder aplicar un sellante gesso, el cual funciona como sellante, lo que hace que el acrílico se adhiera de mejor forma a la madera MDF. La **Figura 28** muestra el resultado de la maqueta, en donde está se fue pintando en base a una imagen satelital obtenida de Google Earth. Las zonas de color rojo corresponden a los polígonos o zonas susceptibles a remociones en masa del tipo flujos, deslizamientos de suelo, caídas de roca y deslizamiento de roca. Las zonas de color rosado son las áreas de evacuación, las flechas azules son las vías de evacuación y por último, las esferas verdes son los puntos de encuentro.

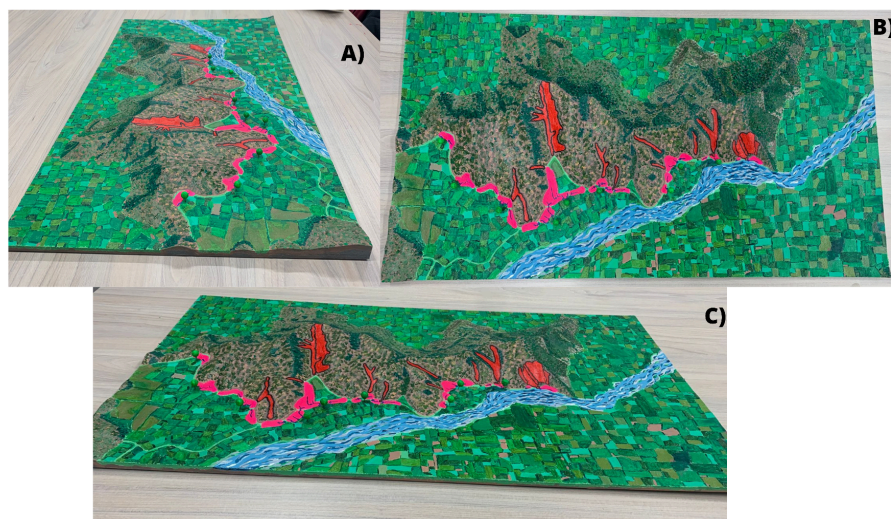


Figura 28. Fotografías de la maqueta realizada. A) vista lateral, B) Vista aérea y C) Vista frontal.

7. Discusiones

Los sectores de Millahue y El Rulo presentan un clima templado cálido con lluvias invernales, en donde las precipitaciones alcanzan un promedio anual cercano a los 450 milímetros en el periodo invernal. No obstante, hoy en día la ocurrencia de lluvias se está viendo alterada, dado que se están generando en verano en donde el suelo se encuentra seco sin cobertura vegetal, lo que se traduce en que las remociones en masa se produzcan con mayor facilidad.

Con respecto a la actividad antrópica, es uno de los factores que se consideran condicionantes para la generación de remociones en masa, dado que para el establecimiento humano se modifica el terreno en donde muchas veces se realizan sin ningún estudio previo, por lo que es muy probable que ocurran eventos ocasionados por el mismo humano. Por otro lado, las canteras también son actividades humanas que ocasionan que el terreno se vuelva inestable.

7.1. Factores influyentes en la generación de remociones en masa

Deslizamiento de suelos: Mediante la metodología de *Lara (2007)* a una escala 1:40.000, los factores que más condicionan el terreno para la ocurrencia de deslizamientos de suelos son la pendiente de la ladera, la exposición al sol características geológicas-geotécnicas, y la cobertura vegetal. La zona de estudio al tener casi todo su terreno mirando entre norte, nordeste y noroeste, el sol hará que tengan menos vegetación.

Con la metodología de *Muñoz (2013)* a escala 1:5.000, los factores condicionantes son exposición al sol y antecedentes de deslizamientos en la zona.

Deslizamiento de rocas: Dado los resultados obtenidos mediante *Lara (2007)*, los factores que más influyen en su generación son la pendiente de la ladera, características geológicas-geotécnicas y deslizamientos declarados en la zona de estudio. En la zona general de estudio dieron resultados entre muy bajo y bajo de susceptibilidad de deslizamientos de suelo, dado que no hay mucho afloramiento de macizos rocosos, y los que están presentan un UCS alto, reflejado en una resistencia muy alta.

Caídas de Rocas: Para las caídas de rocas, los factores que más puntajes otorgan a la suma de IS según *Lara (2007)* son la pendiente de la ladera, dado que para las caídas de rocas a mayor pendiente, mayor es la probabilidad de su generación y por último las características geológicas-geotécnicas.

Flujos: En relación al mapa de susceptibilidad ante este tipo de eventos mediante la metodología de *Lara (2007)*, los factores influyentes son: características geológicas-geotécnicas, condiciones de humedad y saturación, por último aluviones declarados en la hoya hidrográfica. Toda esta información se comprobó en terreno, en donde las condiciones de las quebradas siguen siendo un peligro para la población aledañas, además se evidenció la ocurrencia de remociones en masa a escala muy pequeña, las cuales en algún momento pueden desencadenar un evento de mayor envergadura.

Con *Muñoz (2013)* se determinó que el factor características geológicas-geotécnicas y presencia de vegetación son los factores principales en dar un mayor puntaje al IS. El primero tiene relación a que las quebradas presentan gran cantidad de material que puede ser arrastrado, ya sea basura, ramas, finos, etc.. La segunda tiene que ver con vegetación que es muy fácil de remover en caso de ocurrencia de un flujo.

La zona de estudio presenta un alto grado de susceptibilidad a remociones en masa del tipo deslizamientos de suelo y especialmente los flujos. Los flujos son aquellos ocurridos en las quebradas, eventos que se evidenciaron en enero del 2021, dejando grandes daños a la infraestructura pública y a las viviendas del lugar. Además tener en cuenta que los hogares se encuentran establecidos a los pies de las laderas por lo que probablemente al realizar un estudio de vulnerabilidad, este arrojaría valores muy altos.

7.2. Vías de evacuación y puntos de encuentro

Los puntos de encuentro son propuestos con el objetivo de agilizar y optimizar los tiempos de trayecto de las personas evacuadas, debido a que la población se encuentra dispersa por la zona de estudio, en donde algunas partes no tienen un lugar para establecer un punto de encuentro. Estos corresponden totalmente a terrenos privados, ya que Millahue y El Rulo son sectores rurales dedicados a la agricultura y ganadería, por lo que se tendría que hablar con los dueños para destinar un área de su propiedad como punto de encuentro en caso de alguna remoción en masa.

Por otro lado, las vías de evacuación corresponden a caminos o calles en las cuales al momento de desplazarse por ellas no presenten algún otro tipo de peligros hacia las personas, además de tener la función de dirigir más rápido hacia el exterior del área de evacuación.

Recomendaciones

Realizada toda la investigación en la zona de estudio, se recomienda tener especial precaución y atención a las remociones en masa del tipo deslizamientos de suelos y flujos, por la gran extensión de las quebradas y la población que se encuentra muy cercana a estas. Además de que los resultados mediante la metodología de Lara (2007) y Muñoz (2013) dieron que esta zona es muy susceptible a estos tipos de fenómenos. Se sugiere realizar estudios de prevención en estas zonas, ya sea realizar obras de limpieza constante de escombros y/o basura en los cauces activos, de desviación de los cauces, realizar monitoreos periódicamente por parte de los organismos competentes (DGA, MOP, Municipalidades, etc.) en el área de la gestión del riesgo, antes, durante y sobre todo después de una lluvia intensa, dado que estas cada vez se están volviendo más frecuentes. Con respecto al área ingenieril, se recomienda hacer estudios para la evaluación y construcción de badenes en puntos críticos para así evitar cortes de camino por flujos de detritos y por otro lado, sistemas de mallas colgantes y/o muros de contención en áreas críticas de caídas y deslizamientos de rocas. También es recomendable realizar simulacros en la comunidad del área de estudio, con especial énfasis en que las personas tengan conocimiento de las vías de evacuación y puntos de encuentro. Las últimas recomendaciones tienen que ver con seguir con estos tipos de estudios, para así expandirlos idealmente en toda la región, además de complementarlos con investigaciones en relación al alcance de los flujos de detritos para desarrollar mapas de amenaza geológica. En simultáneo ir difundiendo en la comunidad del área de estudio el modelo 3D, tanto en JJVV, colegios, grupos organizados y profesionales a cargo del riesgo; acompañado de tríptico de Peligros geológicos. Por ejemplo para estas zonas servirán de mucha ayuda la construcción de muros de contención en los cauces que más se activan durante la lluvia.

Conclusión

La investigación realizada mediante la pasantía profesional en SENAPRED consiste en la evaluación de susceptibilidad ante remociones en masa del tipo deslizamientos de suelo y roca, caídas de rocas y flujos en las localidades de Millahue y El Rulo, comuna de Coinco, región de O'Higgins, mediante las metodologías de Lara (2007) a escala de cuenca hidrográfica 1:40.000 y Muñoz (2013) a escala más urbana 1:5.000.

Estas dos metodologías se basan en la ponderación de puntajes a factores condicionantes para cada tipo de remoción en masa, en donde las que más destacan o influyen en otorgar un puntaje elevado son la pendiente promedio de la ladera, exposición al sol, características geológicas-geotécnicas, cobertura vegetal y eventos declarados en la zona.

La sismicidad y las precipitaciones juegan un papel fundamental en la generación de remociones en masa. Por un lado, la zona de estudio presenta suelos de depósitos aluviales de remociones en masa y depósitos coluviales, en donde por lo general las ondas sísmicas se propagan de mejor manera. Por otro lado, las precipitaciones al ocurrir en verano debido al calentamiento global, ocasiona que los deslizamientos de suelos y flujos se generen con mucha mayor facilidad.

Los resultados obtenidos muestran que la zona de interés tiene un IS elevado para deslizamientos de suelos y flujos mediante la metodología de Lara (2007). En donde 18 subunidades tienen un $IS > 50$ para deslizamientos de suelos y 14 subunidades con $IS > 50$ para flujos, esto se refleja en la salida a terreno en donde se observó que estas quebradas al día de hoy siguen siendo un peligro para la población, ya que han ocurrido remociones en masa a pequeñas escalas. Para ello se establecieron posibles puntos de encuentro y vías de evacuación para cualquier tipo de remoción en masa con el fin de poner con mayor eficacia en seguridad a la población.

La expansión de los asentamientos humanos sin ningún estudio previa realizado por un/una profesional por lo general son actividades humanas que solo hacen que la ladera pierda inestabilidad, por lo que tarde o temprano se verá afectada por una remoción en masa afectando directamente a quienes la realizan. Esto es lo que podemos ver de esta zona de estudio, la mayor parte de esta población se encuentra establecida a los pies de las laderas. Es por esto que es super importante comenzar con la concientización de los pobladores y autoridades para que tomen conciencia de los peligros a los que están presentes el día a día. Además de realizar estudios de prevención y/o mitigación, como también charlas o capacitaciones para informar a todos sobre remociones en masa que cada día están siendo más comunes.

Referencias

- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2023). Reportes Estadísticos 2020 de Coinco.
- Biblioteca del Congreso Nacional. SIIT. (2005). Relieve región del Libertador Bernardo O'Higgins.
- Börgel, R. (1983). Geomorfología, tomo II Geografía de Chile, Instituto geográfico militar de Chile, Santiago.
- Bustillos Arequipa, J. E., Arciniega, F., Freire, A., Gómez, P., Iles, M., Masapanta, E., Quinto, V., & Toro, E. (2016). Una breve caracterización de los fenómenos de remoción en masa (FRM): Sigchos-Ecuador. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 1(1), 81–88.
- Centro de información de recursos naturales (2016). Recursos naturales y proyectos, Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Provincia del Cachapoal, Comuna de Coinco, Chile. Ministerio de Agricultura.
- Centro Sismológico Nacional. (2014). Sismicidad y Terremotos en Chile
- Charrier, G. (1973). Geología regional y geoquímica del drenaje de las provincias de O'Higgins y Colchagua
- CONAF. (s/f). Incendios forestales en Chile. Conaf.cl.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996). Landslide Types and Processes, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247:36-75
- E2BIZ. (2019). Desarrollo de planes de acción regional de cambio climático - Región de O'Higgins.
- Gestión y prevención de riesgo y desastres (Presentación PowerPoint). (2014). Monografias.com.
- González de Vallejo, L., Freire, M., Ortuño, L., Oteo, C., 2002. Ingeniería Geológica. Segunda ed. Madrid: Pearson Educación.
- Godoy E., Fock A., Schilling Manuel, Solari Marcelo. (2009). Geología del área Rancagua - San Vicente de Tagua Tagua. Carta Geológica de Chile, escala 1:100.000
- Hauser, A. (1993). Remociones en Masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín 45, Santiago de Chile
- Ibarra, C. (2021). La intensa lluvia estival provoca estragos en diferentes puntos de la región. Diarioelpulso.Cl.
- Gobierno de México. Introducción Riesgos geológicos.
- Keller, E., Blodget, R. (2004). Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Editorial Pearson, S.A., Madrid 2004. 448 pp.
- Lara, M. (2007). Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología y Memoria para optar al título de

Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología, 212 p.

- Lara, M., Sepúlveda S. (2008). Remociones en masa. Departamento de Geología. Universidad de Chile
- La Tercera. (2016). Lluvia provoca desborde de río en Coinco y en O'Higgins damnificados llegan a 179.
- Leyton, F., Ruiz, S., & Sepúlveda, S. (2010). Reevaluación del peligro sísmico probabilístico en Chile central. *Andean geology*, 37(2), 455–472.
- Lopez, J, (2021). Informe consolidado sistema frontal “Eventos de remociones en masa”. SENAPRED (Ex ONEMI).
- Madariaga, R. (1998). Sismicidad de Chile. Laboratorio de Geología, URA.
- Metois, M., Socquet, A., Vigny, C. (2012). Interseismic coupling, segmentation and mechanical behavior of the central Chile subduction zone. *Journal of Geophysical Research*, vol. 117.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2019). Estudios de riesgo, plan regulador comunal de San Fernando.
- Muñoz, E. (2013). Susceptibilidad de remociones en masa y de respuesta sísmica asociada a fallas mayores en zonas urbanas. Estudio de caso en Viña del mar, V región. Tesis para optar al grado de magíster en ciencias mención Geología. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología, 164 p.
- Oficina nacional de emergencia del ministerio del interior y seguridad pública. (2017). Guía de referencia para sistemas de evacuación comunales por tsunamis. Manual práctico de planificación.
- Oficina Nacional de Emergencia. (2018). Plan para la Reducción de Riesgo de Desastres Región del L. Gral. Bernardo O'Higgins. Dirección de Protección Civil y Emergencia Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. 49 páginas
- Oficina nacional de emergencia del ministerio del interior y seguridad pública. (2021). Consideraciones asociadas al desarrollo de planos de evacuación
- Peña, G, Uribe, C. (2022). Apoyo al plan de desarrollo de remociones en masa. Universidad de O'Higgins
- Pérez González A. (2018). Análisis de causalidad de incendios forestales en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile Central. Universidad de Chile
- Portal Geomin. (s/f). Sernageomin.cl. Recuperado el 26 de abril de 2023, de
- Ramírez, C., Montecinos, D. (2021). Efectos de remociones en masa asociadas al sistema frontal del 29 al 31 de enero de 2021, Región de O'Higgins - Comunas de Malloa, San Vicente de Tagua Tagua y Coinco. Subdirección Nacional de Geología.
- SERNAGEOMIN. (s/f). ABC de los Volcanes. Sernageomin.Cl.
- Peligros Geológicos. (2020). SERNAGEOMIN.
- Sistema de información territorial rural (SITRural) (2021). Recursos naturales, comuna de Coinco, Chile. Ministerio de Agricultura

- UNESCO. (2014). Gestión del riesgo de desastres
- UNISDR. (2009). Terminología sobre reducción del riesgo de desastres
- 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
- Varnes, D.J. (1984) Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice, Natural Hazards. UNESCO, Paris

Anexos

I. Conceptos claves

A. Factores Condicionantes y Desencadenantes

1. Factores condicionantes

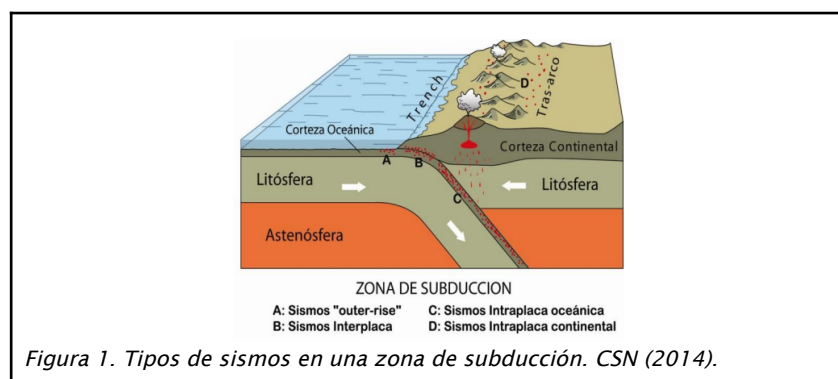
- **Geología y geotecnia:** La geología y geotecnia influyen directamente en menor o mayor medida en la generación de remociones en masa. La geología corresponde a la descripción de los distintos tipos de materiales presentes y su disposición como la estratificación, presencia de diaclasa, contactos, etc.. La geotecnia es ver el comportamiento del material a esfuerzos mecánicos y de resistencia, es importante que al momento de realizar estos estudios es necesario considerar el grado de meteorización y alteración del macizo rocoso (*Muñoz, 2013*).
- **Geomorfología:** La geomorfología de un área estarán gobernadas por los distintos procesos que modelan la superficie, y pueden ser descritas en términos de rangos de pendientes, topografía presente y la altura de las laderas, por lo que una alteración en una de estas condiciones, hará que la ladera pierda inestabilidad generando una remoción en masa (*Muñoz, 2013*).
- **Clima y vegetación:** Las condiciones climáticas influyen directamente en el grado de meteorización y erosión que tendrá un área, especialmente al verse expuesta a precipitaciones, viento, cambios de temperatura y radiación solar. Por otro lado, un área con abundante vegetación tendrá una baja erosión y además esta funcionara como una barrera de contención a los diferentes tipos de remociones en masa. Para evaluar cómo el clima y la vegetación condicionan la ocurrencia de remociones en masa, se hace necesario además conocer las características particulares del área a evaluar y los fenómenos asociados (*Muñoz, 2013*).
- **Hidrología e Hidrogeología:** El agua juega un papel condicionante tanto directa como indirectamente. Los caudales, escorrentías, infiltración y posición del nivel freático, además de propiedades de permeabilidad y porosidad de las unidades, influyen en la incorporación de agua en suelos y macizos rocosos (*Lara, 2007*).

- **Intervención antrópica:** Los habitantes humanos generan de forma planificada o no, modificaciones en el medio. La generación de obras constructivas, cortes, terraplenes, plataformas, obras de minería, etc., en muchas ocasiones deja las laderas más susceptibles a la ocurrencia de eventos de remociones en masa, debido al mal estudio o mal diseño de las obras (Muñoz ,2013).

2. Factores desencadenantes

- **Sismos:** Los sismos o terremotos pueden ocasionar diferentes tipos de movimientos en las laderas (González de Vallejo et al., 2002). Las aceleraciones sísmicas generan un cambio temporal en el régimen de esfuerzos al que está sometida la ladera, tanto normales como de corte, pudiendo producir su inestabilidad (Lara 2007).
- **Precipitaciones:** Según González de Vallejo et al. (2002), el desencadenamiento de remociones en masa por causas meteorológicas y climáticas está relacionado fundamentalmente con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones, lo que implica considerar la respuesta del terreno ante lluvias intensas durante horas o días.
- **Intervención antrópica:** El hombre, como ente modificador del medio, genera una serie de cambios que en algunos casos son el principal desencadenante de remociones en masa. La obstrucción de cauces con basura y escombros puede aumentar el material a movilizar durante un aluvión, o bien, la mala mantención de redes de alcantarillado y agua potable, pueden desencadenar aluviones (Muñoz, 2013).

II. Imágenes y tablas con información importante



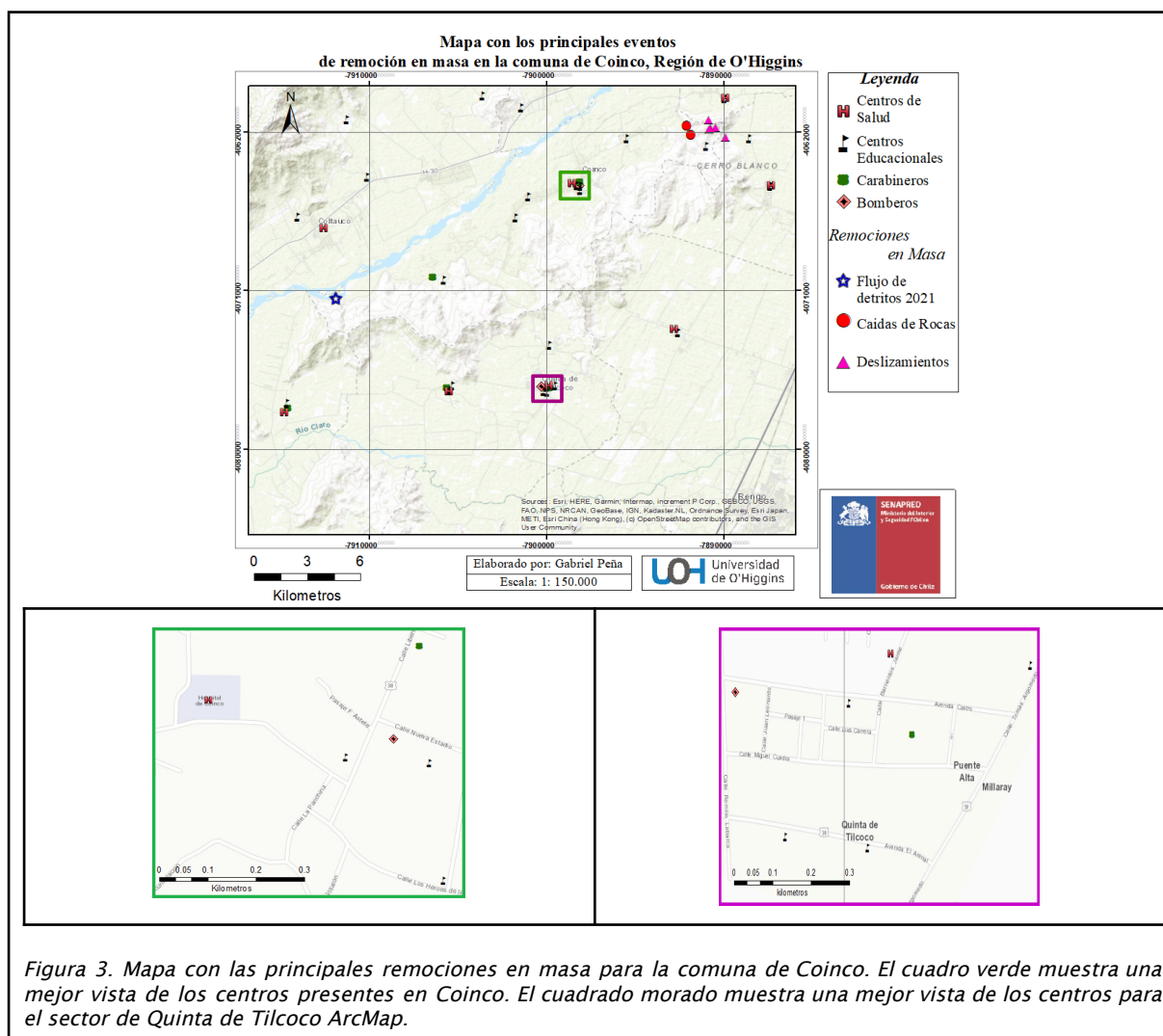
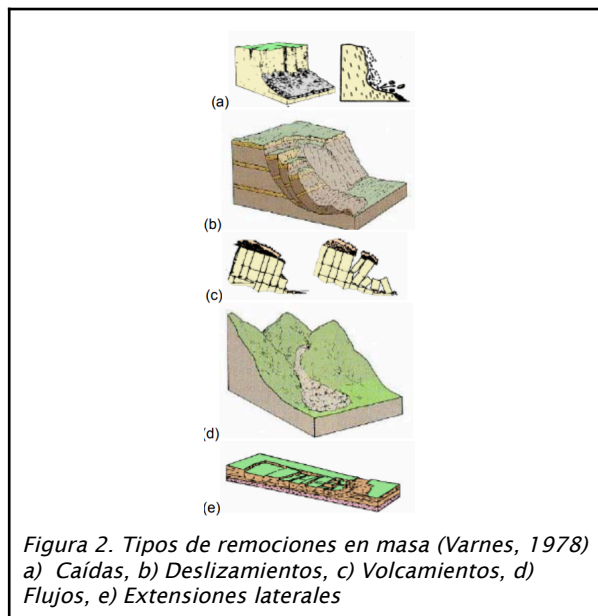




Figura 4. Evidencia de flujo de detritos (Círculo rojo) visto en la localidad de El Rulo. Peña G. y Uribe C., 2022

Tabla 1. Criterios para la clasificación de la resistencia. Modificado de Waltham, 1994.

Grado	Descripción	Identificación de terreno	Rango aproximado de resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)
R6	Roca extremadamente fuerte	La muestra solo puede ser astillada con el martillo geológico	>250
R5	Roca muy fuerte	La muestra requiere de muchos golpes del martillo geológico para ser fracturada	100 - 250
R4	Roca fuerte	La muestra requiere mas de un golpe del martillo geológico para ser fracturada	50 - 100
R3	Rca medianamente fuerte	No puede ser escarbada o disgregada por una cortapluma, la muestra se fractura con un solo golpe del martillo geológico	25 - 50
R2	Roca débil	Puede ser escarbada por la cortapluma con dificultad, se deforma o disgrega con un fuerte golpe de la punta del martillo	5 p - 25
R1	Roca muy débil	Se disgrega con un golpe fuerte de la punta del martillo geológico, puede ser escarbada por la cortapluma	1 p - 5,0
R0	Roca extremadamente débil	Marcada por la uña	0,25 - 1 p



Figura 5. Fotografías tomada en terreno, Millahue

III. Tablas con el desglose de cada factor condicionante para las metodologías de Lara (2007) y Muñoz (2013)

A. Ponderación (%) para Deslizamiento de suelo, Lara (2007)

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.- Pendientes de laderas	Promedio de ladera	15°-20°	9
		20°-25°	15
		25°-30°	21
		30°-40°	26
		>40°	30
2.-Exposición al sol	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al sol durante todo el año. parcial: laderas mirando E_W baja: laderas mirando al sur	Alta	5
		Parcial	3
		Baja	1
3.-Características geológicas-geotécnicas	Condiciones muy favorables para generación de deslizamiento son, entre otros, baja densidad (<~1,6-1,8 kN/m ³), baja resistencia, alta cantidad de material fino en su composición (~50%); además de la estructura y estratificación del suelo. La generación de material removible a partir de roca se ve favorecido por alta meteorización y alteración.	Muy favorable	20
		Favorable	14
		Medianamente favorable	10
		Poco favorable	6
		Muy poco favorable	2
4.-Condiciones de humedad y saturación	Considerar: (1) Capacidad de saturación por abajo (profundidad nivel freático) y por arriba (infiltración por precipitación). (2) Capacidad de almacenaje de agua en la estructura de suelo (asociado a presencia de niveles impermeables). Saturación y mayor almacenaje favorecen generación de deslizamientos. La relación (profundidad N.F/espesor suelo) cercana a 0 indica condiciones muy favorables de generación, ~0,5 es favorable.	Muy favorable	10
		Favorable	7
		Poco favorable	3
		Muy poco favorable	2
5.-Acumulación de nieve	Según estacionalidad	Siempre	5
		Estacional	2
		Esporádica	1
		Nula	0
6.-Covertura vegetal	Densidad en la ladera	Nula a baja	5
		Moderada	2
		Alta	0
7.-Desestabilización artificial de laderas	Por ejemplo, cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	Importante	10
		Poco importante	5
		No observado	0
8.-Deslizamientos declarados en la unidad geomorfológica	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	Presente	10
		Sin antecedentes	3
		No observado	0
9.-Deslizamientos declarados en la unidad geológica de suelo	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	Presente	5
		Sin antecedentes	2
		No observado	0
10.-Tipo de material	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto, pondera por 0 al resto de los factores	Suelo	1
		Roca (cobertura<1m de suelo)	0

B. Ponderación (%) para Deslizamiento de Rocas, Lara (2007)

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.- Pendientes de laderas	Promedio de ladera	15°-20°	11
		20°-25°	15
		25°-30°	20
		30°-40°	25
		40°-60°	30
		>60°	35
2.-Características geológicas-geotécnicas	Su generación se ve favorecida por alto grado de fracturamiento, alta meteorización y presencia de agua en el macizo. La orientación de fracturas permitirá identificar el tipo de deslizamiento: deslizamiento plano (superficie de deslizamiento en sentido de la ladera), cuña (por intersección de estructuras) o toppling (fracturas opuestas al sentido de la ladera). Puede considerarse valores bajos de RMR (<30)-modificado según orientación de estructuras de ladera-como indicativo aproximado de condiciones muy favorables para generación de deslizamientos.	Muy favorable	35
		Favorable	28
		Medianamente favorable	18
		Poco favorable	11
		Muy poco favorable	4

3.-Acumulacion de nieve	Según estacionalidad	Siempre	5
		Estacional	2
		Esporádica	1
		Nula	0
4.-Desestabilización artificial de laderas	Por ejemplo, cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	Importante	10
		Poco importante	5
		No observado	0
5.-Deslizamientos declaradas en la ladera	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	Presente	15
		Sin antecedentes	5
		No observado	0
6.-Tipo de material	En este caso, el material suelo no está en estudio, por lo tanto, pondera por 0 al resto de los factores	Suelo	0
		Roca (cobertura<1m de suelo)	1

C. Ponderacion (%) para Caídas de Rocas, Lara (2007)

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.- Pendientes de laderas	Promedio de la ladera	15°-20°	4
		20°-25°	10
		25°-30°	18
		30°-40°	25
		40°-60	32
		>60	35
2.-Características geológicas-geotécnicas	Será más favorable a medida que presente estructuras subverticales en el macizo, alta frecuencia de fracturas y orientación de fracturas en el sentido de la ladera. Se consideran además los factores generadores de deslizamientos de roca	Muy favorable	35
		Favorable	24
		Medianamente favorable	15
		Poco favorable	9
		Muy poco favorable	3
3.-Acumulacion de nieve	Asociado a procesos de hielo/deshielo, que contribuyen en las caídas de roca debido a la generación de esfuerzos en tracción en la roca	Estacional	10
		Siempre	4
		Esporádica	2
		Nula	0
4.-Desestabilización artificial de laderas	Por ejemplo, cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	Importante	5
		Poco importante	3
		No observado	0
5.-Caída de roca declaradas en la ladera	Presencia de bloques caídos	Presente	15
		No observado	0
6.-Tipo de material	En este caso, el material suelo no está en estudio, por lo tanto, pondera por 0 al resto de los factores	Suelo	0
		Roca (cobertura<1m de suelo)	1

D. Ponderación (%) para Flujos, Lara (2007)

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.- Pendientes de laderas	Promedio de ladera	10°-15°	3
		15°-20°	6
		20°-25°	9
		25°-30°	11
		30°-40°	13
		>40°	15
2.-Encajamiento canal de drenaje al pie de la ladera	Promedio de la unidad. Si la unidad es sólo canal de drenaje, el puntaje f2 se asocia a f1, quedando sólo como un puntaje otorgado por "pendiente del canal"	<5°	1
		5°-10°	5
		>10°	10
3.-Encajamiento canal de drenaje	Dado por la geomorfología y la relación profundidad/ancho del canal. Un encajamiento alto puede reflejarse, entre otros, en un valor alto de esta razón. Puede considerarse un valor mayor a 0,7 como encajamiento alto.	Alto	7
		Medio	4
		Bajo	1
4.-Exposición al sol	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al sol durante todo el año. Parcial: laderas mirando E.W. Baja: laderas mirando al S.	Alta	3
		Parcial	2
		Baja	0

5.- Características geológicas-geotécnicas del material	La generación de flujos se ve favorecida, entre otros, por suelos de baja compacidad, permeabilidad, y espesores críticos de suelo, presencia de estructuras y presencia de finos. En roca: alta meteorización y frecuencia de fracturas (valores bajos de GSI a nivel de ladera), litología (rocas menos resistentes) y alteraciones	Muy favorable	25
		Favorable	18
		Medianamente favorable	13
		Poco favorable	8
		Muy poco favorable	3
6.- Condiciones de humedad y saturación	Asociado a: (1) Capacidad de saturación por abajo (profundidad nivel freático 2m poco favorable, ~2m favorable) y por arriba (infiltración por precipitación). (2) Capacidad de almacenaje de agua en la estructura de suelo. (3) Variaciones estacionales de humedad. Mayor almacenaje y humedad alta favorecen la generación de flujos.	Muy favorable	10
		Favorable	7
		Poco favorable	3
		Muy poco favorable	2
7.- Acumulación de nieve	Según estacionalidad	Siempre	5
		Estacional	2
		Esporádica	1
		Nula	0
		Nula a baja	5
8.- Cobertura vegetal	Densidad en la ladera	Moderada	3
		Alta	0
		Nula a baja	5
9.- Obstrucción canal de drenaje	No considera estructuras destinadas a contener los flujos	Importante	5
		Moderada	4
		Baja	2
		No observado	0
10.- Desestabilización artificial de laderas	Por ejemplo, cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	Importante	5
		Poco importante	3
		No observado	0
11.- Aluviones declaradas en la hoya hidrográfica	información escrita y/u observación de depósitos de flujos en la zona de estudio. Considerar como eventos frecuentes aquellos con recurrencia < 10 años.	Históricos frecuentes	10
		Históricos poco frecuentes	7
		Prehistóricos	4
		Sin antecedentes	1
12.- Tipo de material	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto, pondera por 0 al resto de los factores	Suelo	1
		Roca (cobertura < 1 m de suelo)	0

E. Ponderación (%) para Deslizamientos de Suelo, Muñoz (2013)

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.- Pendientes de laderas	Promedio de ladera	15°-20°	1
		20°-25°	2
		25°-30°	3
		30°-35°	8
		35°-40°	10
		>40°	15
2.- Altura máxima de la unidad	Considerar la altura máxima de la unidad	0-10m	1
		10-20m	2
		20-30m	3
		30-40m	4
		>40m	5
3.- Exposición al sol	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al sol durante todo el año. parcial: laderas mirando E-W baja: laderas mirando al sur	Alta	10
		Parcial	5
		Baja	3
4.- Características geológicas-geotécnicas	Considerar la calidad del macizo rocoso, mediante estimación o determinación de Rock Mass Rating (RMR). Rangos utilizan valores de RMR	Muy favorable	15
		Favorable	12
		Medianamente favorable	9
		Poco favorable	6
5.- Condiciones de humedad y saturación	Considerar: (1) Capacidad de saturación por abajo (profundidad nivel freático) y por arriba (infiltración por precipitación). (2) Capacidad de almacenaje de agua en la estructura de suelo (asociado a presencia de niveles impermeables). Saturación y mayor almacenaje favorecen generación de deslizamientos. La relación (profundidad N.F./espesor suelo) cercana a 0 indica condiciones muy favorables de generación, ~0,5 es favorable.	Muy favorable	10
		Favorable	7
		Poco favorable	3
		Muy poco favorable	2
6.- Cercanía a una falla y/o zona de cizalle mayor	Definir si la zona analizada está cerca de la falla mayor	Unidad a más de 100 m de distancia	0
		Unidad a más de 100 m de distancia	5
		Unidad es atravesada por una falla mayor	10
7.- Desestabilización artificial de laderas	Obra de estabilización mayor (por ejemplo, muros de hormigón)	Condición muy favorable	-4
	Sistema de bancos y/o Soporte robusto	Condición favorable	-2

	Unidad no intervenida (ladera natural)	No intervenido	0
	soporte insuficiente o intervención menor	Condición medianamente favorable	2
	Regular desestabilización o intervención	Condición desfavorable	4
	Desestabilización evidente	Condición muy desfavorable	4
8.-Deslizamientos de suelo reconocidos en la ladera	Ver si existen registros o evidencias de deslizamientos de suelo en la ladera	Presente	10
		No observado	0
9.-Condición de humedad en la ladera	Considerar humedad de la ladera, profundidad del nivel freático, niveles impermeables, saturación.	Evidente	10
		Presente	7
		Posible	3
		Sin antecedentes	0
10.-Presencia de vegetación	Ver si existe vegetación y si es favorable o no a la ocurrencia del mecanismo	No favorable	4
		Favorable	10
11.-Tipo de material	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto, pondera por 0 al resto de los factores	Suelo	1
		Roca (cobertura < 1 m de suelo)	0

F. Ponderación (%) para Flujos, Muñoz (2013)

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.- Pendientes del canal de drenaje	Se usa pendiente promedio de canal de drenaje	<5°	5
		5°-10°	15
		>10°	20
		>40°	15
2.-Encajamiento canal de drenaje	Geomorfología y relación profundidad / ancho del canal. Alto encajonamiento, alta razón (>0.7)	Bajo	4
		Medio	8
		Alto	15
3.-Condiciones de humedad y saturación	Asociado a: (1) Capacidad de saturación Nv. Freático < 2m poco favorable; >2m poco favorable; 2m favorable (2) capacidad de almacenaje de agua en el suelo (3) variaciones estacionales de humedad	sin antecedentes	0
		Poco favorable	3
		Medianamente favorable	5
		Favorable	7
4.- Características geológicas-geotécnicas del material	La generación de flujos se ve favorecida, entre otros, por suelos de baja compacidad, permeabilidad, y espesores críticos de suelo, presencia de estructuras y presencia de finos. En roca: alta meteorización y frecuencia de fracturas (valores bajos de GSI a nivel de ladera), litología (rocas menos resistentes) y alteraciones	Muy favorable	10
		Muy favorable	15
		Favorable	12
		Medianamente favorable	10
		Poco favorable	6
		Muy poco favorable	2
5.- Cercanía a una falla y /o zona de cizalle mayor	Definir si la zona analizada está cerca de la falla mayor	Unidad a más de 100 m de distancia	1
		Unidad a menos de 100 m de distancia	3
		Unidad es atravesada por una falla mayor	5
6.- Obstrucción canal de drenaje	Considera si existen obras de contención de flujo (como piscinas decantadoras) u obstrucción del cauce por escombros, basura, troncos u otros.	sistema de contención de flujos	-5
		No observado	1
		Baja obstrucción	5
		Moderada obstrucción	7
7.-Aluviones declarados en la cuenca hidrográfica	Información escrita y/u observación de depósitos de flujos en la unidad	Importante obstrucción	10
		Sin antecedentes	5
		Prehistóricos	10
8.- Presencia de vegetación	Evaluar si la vegetación en la unidad es favorable o no para detener el mecanismo. Considerar favorable, árboles y arbustos con raíces robustas (que actúen como decantadores naturales). Considerar desfavorable vegetación fácilmente desgarrable.	Históricos frecuentes	15
		Favorable	5
		No presenta	1
9.-Tipo de material	Se evalúa si el material de la unidad es compatible con el mecanismo. Si compatible (cauces activos o secos, trazas de quebradas) se multiplica suma de factores ponderados por 1. Si no es compatible, se evalúa si las unidades inmediatamente por sobre la unidad tienen IS de Deslizamientos superficiales de suelo > 50 (multiplicar por 1) o menor que 50 (multiplicar por 0)	Desfavorable	10
		Compatible	1
		No compatible y Unidades inmediatamente encima tienen IS deslizamiento superficial suelo > 50	1
		No compatible y unidades aledañas sobre la unidad tienen IS deslizamiento superficial suelo < 50 o existen unidades	0

		aledañas que aporten material	
--	--	-------------------------------	--

IV. Tablas con las características de las sub-áreas

Las tablas contienen las características de cada Sub-área propuesta para su evacuación, con sus respectivas vías de evacuación y puntos de encuentro. Las sub-áreas se definen como A1 hasta la A21.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Punto de encuentro	PE_1	PE_1	PE_1	PE_1	PE_2	PE_2	PE_3
Vías de evacuación (1)	1	1	2	1	1	2	2
Ruta/Avenida/Calle (2)	7	2	6	3	6	8	5
Superficie (m^2)	39.023	5.355	21.407	11.652	34.258	64.537	28.149
Población residente	13	5	20	9	23	41	20
Viviendas	6	2	9	4	10	19	9
Equipamiento e infraestructura crítica (3)	0	0	0	0	0	0	0

	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
Punto de encuentro	PE_3	PE_4	PE_4	PE_4	PE_4	PE_5	PE_5, PE_6
Vías de evacuación (1)	1	1	1	2	1	1	4
Ruta/Avenida/Calle (2)	1	4	5	11	5	10	22
Superficie (m^2)	18.818	27.412	27.514	59.899	24.292	64.331	326.113
Población residente	15	39	19	36	31	38	321
Viviendas	7	14	7	13	11	15	127
Equipamiento e infraestructura crítica (3)	0	0	0	0	0	3	1

	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21
Punto de encuentro	PE_6	PE_6	PE_7	PE_7	PE_7	PE_8	PE_9
Vías de evacuación (1)	3	1	1	2	1	2	2
Ruta/Avenida/Calle (2)	7	3	3	5	3	12	5

Superficie (m^2)	85.919	63.854	70.413	57.265	46.072	118.412	66.814
Población residente	94	54	92	26	42	87	18
Viviendas	37	23	35	10	16	33	7
Equipamiento e infraestructura crítica (3)	0	0	0	0	0	0	0

(1) Vías de evacuación: circuito de calles estipulado para acceder al punto de encuentro.

(2) Rutas/Avenidas/Calles: vialidad existente que compone las vías de evacuación (circuito).

(3) Equipamientos e Infraestructura crítica: sistemas físicos o servicios esenciales y de utilidad pública.

V. Tablas con las características y componentes de los puntos de encuentro

Los puntos de encuentros fueron determinados en base a una mayor rapidez de poner en seguridad a la población, además de tener en cuenta que este se encuentra muy disperso en la zona de estudio.

	PE_1 (Terreno priv.)	PE_2 (Terreno priv.)	PE_3 (Cancha de Fútbol)	PE_4 (Terreno priv.)	PE_5 (Terreno priv.)	PE_6 (Terreno priv.)	PE_7 (Terreno priv.)	PE_8 (Terreno priv.)	PE_9 (Terreno priv.)
Ubicación	E: 309670 N: 6200768	E:310662 N:6201103	E:311024 N:6201648	E:312965 N:6201624	E:313813 N:6202072	E:314165 N:6202490	E:315734 N:6202077	E:316828 N:6201628	E:317414 N:6200740
Superficie (m^2)	112	266	7624	491	915	642	512	153	250
Capacidad de ocupación	90	213	6099	393	732	514	410	122	200

VI. Tablas con el cálculo del IS para ambas metodologías

A. Resultados IS para deslizamientos de suelo, Lara 2007.

Los resultados se muestran clasificados según su grado de susceptibilidad. En verde: una susceptibilidad muy baja, amarillo: una susceptibilidad baja, naranja claro: susceptibilidad media, rojo claro: una susceptibilidad alta y rojo oscuro: una susceptibilidad muy alta.

Unidades	F1-DS	F2-DS	F3-DS	F4-DS	F5-DS	F6-DS	F7-DS	F8-DS	F9-DS	F10-DS	IS-DS
1	21	3	14	10	1	2	0	10	5	1	66
2	21	5	20	10	1	2	5	10	5	1	79
3	15	3	20	10	1	2	5	10	5	1	71
4	9	3	20	10	1	0	0	10	5	1	58
5	15	3	20	10	0	2	0	10	5	1	65
6	9	1	14	10	0	2	0	10	5	1	51
7	9	3	14	10	0	5	0	10	5	1	56
8	9	3	14	10	0	2	0	10	5	1	53
9	9	3	14	10	0	5	0	10	5	1	56
10	9	1	6	2	0	2	5	0	0	1	25
11	9	1	6	2	0	0	5	0	0	1	23
12	9	1	6	2	1	0	5	0	0	1	24
13	9	1	6	2	1	2	5	0	0	1	26
14	9	1	6	2	0	2	5	0	0	1	25
15	26	3	6	3	0	5	0	3	2	1	48

16	26	5	6	3	1	5	0	3	2	1	51
17	15	5	6	3	0	5	0	3	2	1	39
18	26	5	10	7	1	2	0	3	2	1	56
19	21	3	10	7	1	2	0	3	2	1	49
20	15	5	10	7	0	2	0	3	5	1	47
21	15	3	20	10	1	5	5	10	5	1	74
22	15	5	14	10	0	2	0	10	5	1	61
23	15	3	10	7	1	5	0	3	2	1	46
24	9	3	6	2	0	5	0	3	2	1	30
25	26	3	10	7	1	5	0	3	2	1	57
26	9	5	2	2	1	2	0	3	2	1	26
27	9	3	6	2	0	2	5	0	0	1	27
28	21	3	10	7	1	5	0	0	2	1	49
29	21	3	6	3	0	2	0	0	0	1	35
30	9	3	10	7	0	2	0	0	0	1	31
31	21	5	6	3	0	2	0	0	0	1	37
32	26	5	6	3	1	2	0	0	0	1	43
33	9	5	10	7	0	0	0	0	0	1	31
34	21	3	10	7	1	2	0	0	2	1	46
35	21	3	10	7	1	2	0	3	2	1	49
36	9	3	6	2	0	5	0	0	2	1	27
37	21	1	10	3	0	0	0	0	2	1	37
38	15	3	10	3	0	2	0	0	0	1	33
39	9	3	6	2	0	2	0	0	0	1	22
40	21	3	6	2	0	2	0	0	0	1	34
41	9	3	6	2	0	2	0	0	0	1	22
42	15	3	6	2	0	5	0	0	2	1	33
43	15	3	6	2	0	5	0	3	2	1	36
44	9	3	6	2	0	5	0	0	2	1	27
45	15	3	6	2	0	5	0	0	0	1	31
46	15	3	6	2	0	2	0	0	0	1	28
47	9	3	6	2	0	5	0	0	0	1	25
48	26	3	6	2	0	2	0	0	2	1	41
49	9	3	6	2	0	2	0	0	2	1	24
50	26	3	6	3	0	2	0	0	2	1	42
51	15	3	6	2	0	5	0	0	2	1	33
52	9	3	6	2	1	2	0	0	2	1	25
53	15	3	6	2	0	5	0	0	0	1	31
54	15	3	6	2	0	5	0	0	0	1	31
55	9	3	6	2	0	2	5	0	0	1	27
56	15	3	10	7	0	5	0	2	2	1	44
57	21	3	6	2	0	5	0	0	0	1	37
58	15	3	6	2	1	2	0	0	0	1	29
59	9	3	6	2	0	5	0	3	2	1	30
60	9	1	6	2	0	2	0	0	2	1	22
61	9	1	10	3	0	5	0	3	2	1	33
62	9	3	14	10	1	5	0	10	5	1	57
63	9	3	6	2	0	2	5	0	0	1	27
64	15	3	6	3	1	5	0	3	2	1	38
65	9	5	6	2	0	2	5	0	0	1	29
66	21	3	6	2	0	2	0	0	0	1	34
67	26	3	6	2	1	2	0	0	0	1	40
68	21	5	6	2	0	2	0	0	0	1	36
69	15	3	6	2	0	2	0	0	0	1	28
70	26	3	6	2	1	2	0	0	0	1	40
71	26	3	6	2	0	2	0	0	0	1	39
72	9	3	6	2	0	0	0	0	0	1	20
73	15	1	6	2	0	2	0	0	0	1	26
74	9	3	6	2	0	5	0	0	0	1	25
75	15	3	14	10	1	2	0	10	5	1	60

76	26	3	6	2	0	2	0	0	2	1	41
77	21	3	6	2	0	5	0	0	0	1	37
78	9	3	14	7	0	2	0	10	5	1	50
79	9	3	14	7	0	2	0	10	5	1	50
80	21	3	6	2	0	2	0	0	2	1	36

B. Resultados IS para deslizamientos de roca, Lara 2007.

Los resultados se muestran clasificados según su grado de susceptibilidad. En verde: una susceptibilidad muy baja, amarillo: una susceptibilidad baja, naranja claro: susceptibilidad media, rojo claro: una susceptibilidad alta. Aquellas que se encuentran con un valor 0 corresponden a zonas en donde no es posible evaluar la susceptibilidad ante deslizamientos de roca y están marcados con un color morado.

Unidades	F1-DR	F2-DR	F3-DR	F4-DR	F5-DR	F6-R	IS-DR
1	20	4	1	0	0	1	25
2	20	4	1	5	0	1	30
3	15	4	1	5	0	1	25
4	11	4	1	5	0	1	21
5	15	4	0	0	0	1	19
6	11	4	0	10	0	1	25
7	11	4	0	10	0	1	25
8	11	4	0	10	0	1	25
9	11	4	0	0	0	1	15
10 a 14	11					0	0
15	25	11	0	0	0	1	36
16	25	11	1	0	0	1	37
17	15	11	0	0	0	1	26
18	25	11	1	0	0	1	37
19	20	11	1	0	0	1	32
20	15	11	0	0	0	1	26
21	15	4	1	5	0	1	25
22	15	4	0	0	0	1	19
23	11	4	1	0	0	1	16
24	11	4	0	0	0	1	15
25	25	18	1	0	0	1	44
26	11	4	1	0	0	1	16
27						0	0
28	20	11	1	0	0	1	32
29	20	4	0	0	0	1	24
30	11	4	0	0	0	1	15
31	20	18	0	0	0	1	38
32	25	4	1	0	0	1	30
33	11	4	0	0	0	1	15
34	20	11	1	0	0	1	32
35	11	4	1	0	0	1	16
36	11	11	0	5	0	1	27
37	20	4	0	0	0	1	24
38	15	4	0	0	0	1	19
39	11	11	0	5	0	1	27
40	20	28	0	0	0	1	48
41	11	11	0	5	0	1	27
42	11	18	0	0	5	1	34
43	15	11	0	10	0	1	36

44	11	11	0	0	0	1	22
45	15	11	0	0	5	1	31
46	15	18	0	0	0	1	33
47	11	11	0	0	0	1	22
48	25	28	0	0	0	1	53
49	15	18	0	0	0	1	33
50	25	11	0	10	0	1	46
51	15	4	0	0	0	1	19
52	11	4	1	0	0	1	16
53	15	4	0	0	0	1	19
54	15	11	0	5	0	1	31
55						0	0
56	11	11	0	5	0	1	27
57	20	11	0	0	0	1	31
58	15	11	1	0	0	1	27
59	11	11	0	5	0	1	27
60	11	11	0	0	0	1	22
61	11	11	0	0	0	1	22
62	11	11	1	5	0	1	28
63						0	0
64	15	11	1	0	0	1	27
65						0	0
66	20	11	0	5	0	1	36
67	25	11	1	0	0	1	37
68	20	18	0	10	0	1	48
69	20	18	0	10	0	1	48
70	25	11	1	10	0	1	47
71	25	11	0	0	0	1	36
72	20	18	0	10	0	1	48
73	15	4	0	0	0	1	19
74	11	4	0	0	0	1	15
75	15	4	1	0	0	1	20
76	25	4	0	0	0	1	29
77	20	4	0	10	0	1	34
78	11	4	0	0	0	1	15
79	11	4	0	0	0	1	15
80	20	4	0	0	0	1	24

C. Resultados IS para caídas de rocas, Lara 2007.

Los resultados se muestran clasificados según su grado de susceptibilidad. En verde: una susceptibilidad muy baja, amarillo: una susceptibilidad baja, naranja claro: susceptibilidad media, rojo claro: una susceptibilidad alta. Aquellas que se encuentran con un valor 0 corresponden a zonas en donde no es posible evaluar la susceptibilidad ante caídas de rocas y están marcados con un color morado y están marcados con un color morado.

Unidades	F1-CR	F2-CR	F3-CR	F4-CR	F5-DS	F6-CR	IS-CR
1	18	3	2	3	0	1	26
2	18	3	2	3	0	1	26
3	10	3	2	3	0	1	18
4	4	3	2	3	0	1	12
5	10	3	0	3	0	1	16
6	4	3	0	5	0	1	12

7	4	3	0	5	0	1	12
8	4	3	0	5	0	1	12
9	4	3	0	0	0	1	7
10 a 14	4					0	0
15	25	9	0	0	0	1	34
16	25	9	2	0	0	1	36
17	10	9	0	0	0	1	19
18	25	9	2	0	0	1	36
19	18	9	2	0	0	1	29
20	10	9	0	0	0	1	19
21	10	3	2	3	0	1	18
22	10	3	0	0	0	1	13
23	4	3	2	0	0	1	9
24	4	3	0	0	0	1	7
25	25	15	2	0	0	1	42
26	4	3	2	0	0	1	9
27	4					0	0
28	18	9	2	0	0	1	29
29	18	3	0	0	0	1	21
30	4	3	0	0	0	1	7
31	18	15	0	0	0	1	33
32	25	3	2	0	0	1	30
33	4	3	0	0	0	1	7
34	18	9	2	0	0	1	29
35	4	3	2	0	0	1	9
36	4	9	0	3	0	1	16
37	18	3	0	0	0	1	21
38	10	3	0	0	0	1	13
39	4	9	0	3	0	1	16
40	18	25	0	0	0	1	43
41	4	9	0	3	0	1	16
42	4	15	0	0	15	1	34
43	10	9	0	5	0	1	24
44	4	9	0	0	0	1	13
45	10	9	0	0	15	1	34
46	10	15	0	0	0	1	25
47	4	9	0	0	0	1	13
48	25	25	0	0	0	1	50
49	4	15	0	0	0	1	19
50	25	9	0	5	0	1	39
51	10	3	0	0	0	1	13
52	4	3	2	0	0	1	9
53	10	3	0	0	0	1	13
54	10	9	0	3	0	1	22
55	4					0	0
56	4	9	0	3	0	1	16
57	18	9	0	0	0	1	27
58	10	9	2	0	0	1	21
59	4	9	0	3	0	1	16
60	4	9	0	0	0	1	13
61	4	9	0	0	0	1	13

62	4	9	2	3	0	1	18
63	4					0	0
64	10	9	2	0	0	1	21
65	4					0	0
66	18	9	0	3	0	1	30
67	25	9	2	0	0	1	36
68	18	15	0	5	0	1	38
69	10	15	0	5	0	1	30
70	25	9	2	5	0	1	41
71	25	9	0	0	0	1	34
72	18	15	0	5	0	1	38
73	10	3	0	0	0	1	13
74	4	3	0	0	0	1	7
75	10	3	2	0	0	1	15
76	25	3	0	0	0	1	28
77	18	3	0	5	0	1	26
78	4	3	0	0	0	1	7
79	4	3	0	0	0	1	7
80	18	3	0	0	0	1	21

D. Resultados IS para flujos, Lara 2007.

Los resultados se muestran clasificados según su grado de susceptibilidad. En amarillo: una susceptibilidad media, rojo claro: una susceptibilidad alta y rojo oscuro: una susceptibilidad muy alta. Aquellas que se encuentran con un valor 0 corresponden a zonas en donde no es posible evaluar la susceptibilidad ante flujos y están marcados con un color morado.

Unidades	F1-F	F2-F	F3-F	F4-F	F5-F	F6-F	F7-F	F8-F	F9-F	F10-F	F11-F	F12-F	IS-F
1	11	0	4	2	13	10	1	3	0	0	10	1	54
2	11	0	7	3	25	10	1	3	2	2	10	1	74
3	9	0	7	2	25	10	1	3	2	2	10	1	71
4	6	0	7	2	25	10	1	0	2	5	10	1	68
5	9	0	7	2	25	10	0	3	0	0	10	1	66
6	6	0	7	0	18	10	0	3	0	0	10	1	54
7	6	0	7	2	25	10	0	3	0	0	7	1	60
8	6	0	7	2	18	10	0	3	0	0	7	1	53
9	6	0	7	2	18	10	0	3	0	0	7	1	53
10 a 20	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
21	9	0	7	2	25	10	1	3	2	2	10	1	71
22	9	0	7	3	13	10	1	3	0	0	10	1	56
23 a 61	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
62	6	0	7	2	18	10	0	3	0	0	7	1	53
63 a 74		0	0	2	0	10	0	0	0	0	0	0	0
75	9	0	0	2	18	10	0	3	0	0	7	1	49
76 y 77	13	0	0	2	0	10	0	0	0	0	0	0	0
78	3	0	7	2	18	10	0	3	0	0	7	1	50
79	3	0	7	2	25	10	0	3	0	0	7	1	57
80												0	0

E. Resultados IS para deslizamientos de suelo, Muñoz 2013.

Los resultados se muestran clasificados según su grado de susceptibilidad. En verde: una susceptibilidad muy baja, amarillo: una susceptibilidad media, en naranja claro: una susceptibilidad media y rojo claro: una susceptibilidad alta.

Unidades	F1-DS	F2-DS	F3-DS	F4-DS	F5-DS	F6-DS	F7-DS	F8-DS	F9-DS	F10-DS	F11-DS	IS-DS
1	1	2	5	6	3	0	2	10	7	4	1	40
2	1	1	5	6	3	0	2	10	7	4	1	39
3	1	1	5	6	3	0	2	10	7	4	1	39
4	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
5	1	1	3	6	3	0	2	10	7	4	1	37
6	1	1	3	6	3	0	2	10	7	4	1	37
7	1	1	5	6	3	0	2	10	7	4	1	39
8	1	1	3	6	3	0	2	10	7	4	1	37
9	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
10	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
11	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
12	2	2	5	6	3	0	2	0	7	4	1	31
13	1	1	3	6	3	0	2	0	7	4	1	27
14	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
15	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
16	1	1	5	6	3	0	2	10	7	4	1	39
17	1	1	5	6	3	0	2	10	7	4	1	39
18	1	1	3	6	3	0	2	0	7	4	1	27
19	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
20	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
21	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
22	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
23	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
24	1	1	3	6	3	0	2	0	7	4	1	27
25	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
26	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
27	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
28	1	1	3	6	3	0	2	0	7	4	1	27
29	2	1	3	6	3	0	2	0	7	4	1	28
30	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
31	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
32	1	2	3	6	3	0	2	0	7	4	1	28
33	1	1	3	6	3	0	2	0	7	4	1	27
34	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
35	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29

36	1	1	3	6	3	0	2	0	7	4	1	27
37	2	1	3	6	3	0	2	0	7	4	1	28
38	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
39	1	1	5	9	3	0	3	0	7	4	1	33
40	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
41	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
42	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
43	2	2	5	9	3	0	2	0	7	4	1	34
44	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
45	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
46	2	1	5	9	3	0	3	0	7	4	1	34
47	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
48	3	2	5	9	3	0	2	0	7	4	1	35
49	1	1	10	9	3	0	2	0	7	4	1	37
50	1	2	10	6	3	0	2	0	7	4	1	35
51	1	1	10	6	3	0	2	0	7	4	1	34
52	1	1	10	9	3	0	3	0	7	4	1	38
53	1	1	5	9	3	0	2	0	7	4	1	32
54	1	2	5	6	3	0	3	0	7	4	1	31
55	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
56	1	2	10	9	3	0	3	0	7	4	1	39
57	1	1	5	9	3	0	3	0	7	4	1	33
58	2	2	10	9	3	0	3	0	7	4	1	40
59	1	1	5	9	3	0	3	0	7	4	1	33
60	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
61	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
62	1	1	3	6	3	0	2	0	7	4	1	27
63	1	1	10	6	3	0	2	10	7	4	1	44
64	1	3	10	6	3	0	2	10	7	4	1	46
65	2	2	10	6	3	0	2	0	7	4	1	36
66	2	2	10	6	3	0	2	0	7	4	1	36
67	2	3	5	12	7	0	2	10	7	4	1	52
68	2	3	5	9	7	0	2	0	7	4	1	39
69	1	2	5	6	3	0	2	0	7	4	1	30
70	1	1	5	6	3	0	2	0	7	4	1	29
71	1	1	5	12	7	0	2	0	7	4	1	39
72	1	1	5	12	3	0	2	0	7	4	1	35
73	1	1	5	9	7	0	2	0	7	4	1	36
74	1	1	10	9	3	0	2	0	7	4	1	37
75	1	2	5	9	7	0	2	0	7	4	1	37
76	1	2	5	9	3	0	2	0	7	4	1	33

77	1	2	5	12	7	0	2	0	7	4	1	40
----	---	---	---	----	---	---	---	---	---	---	---	----

F. Resultados IS para Flujos, Muñoz 2013.

Los resultados se muestran clasificados según su grado de susceptibilidad. En naranja claro: una susceptibilidad media, rojo claro: una susceptibilidad alta y rojo oscuro: una susceptibilidad muy alta. Aquellas que se encuentran con un valor 0 corresponden a zonas en donde no es posible evaluar la susceptibilidad ante flujos y están marcados con un color morado.

Unidades	F1-F	F2-F	F3-F	F4-F	F5-F	F6-F	F7-F	F8-F	F9-F	IS-F
1 a 62									0	0
63	5	15	7	12	0	5	15	5	1	64
64									0	0
65									0	0
66									0	0
67	5	15	7	12	0	5	15	10	1	69
68	5	15	7	10	0	1	5	10	1	53
69									0	0
70									0	0
71	5	15	5	10	0	1	5	10	1	51
72									0	0
73	5	15	5	10	0	1	5	5	1	46
74									0	0
75	5	15	5	10	0	1	5	5	1	46
76									0	0
77	5	15	5	10	0	1	5	5	1	46

G. Resultados IS para flujos, Muñoz 2013

Los resultados se muestran clasificados según su grado de susceptibilidad. En naranja claro: una susceptibilidad media, rojo claro: una susceptibilidad alta y rojo oscuro: una susceptibilidad muy alta. Aquellas que se encuentran con un valor 0 corresponden a zonas en donde no es posible evaluar la susceptibilidad ante flujos y están marcados con un color morado.

Unidades	F1-F	F2-F	F3-F	F4-F	F5-F	F6-F	F7-F	F8-F	F9-F	IS-F
1 a 62									0	0
63	5	15	7	12	0	5	15	5	1	64
64									0	0
65									0	0
66									0	0

67	5	15	7	12	0	5	15	10	1	69
68	5	15	7	10	0	1	5	10	1	53
69									0	0
70									0	0
71	5	15	5	10	0	1	5	10	1	51
72									0	0
73	5	15	5	10	0	1	5	5	1	46
74									0	0
75	5	15	5	10	0	1	5	5	1	46
76									0	0
77	5	15	5	10	0	1	5	5	1	46