

EVALUACION DEL PELIGRO DE MOVIMIENTOS EN MASA PARA LADERAS DEL CERRO MANQUIMÁVIDA, COMUNA DE CHIGUAYANTE, REGIÓN DEL BIOBÍO

C. Solar Cares¹, C. Arias Tapia² y R. King St-Onge³

RESUMEN

Se realiza un modelo conceptual que estudia los factores condicionantes y desencadenantes de los movimientos en masa en cinco laderas del cerro Manquimávida, ubicado en la Comuna de Chiguayante, buscando identificar qué áreas son más susceptibles a estos procesos. Esta zona posee como antecedente significativo los movimientos de masa de 2005 y 2006, que resultaron en pérdida de vidas humanas y destrucción de viviendas. Se estudiaron siete factores mediante investigación bibliográfica y en terreno, para luego sintetizar la información realizando un análisis jerárquico por medio del cual modelar un mapa de susceptibilidad al peligro para las laderas del sector estudiado. Dentro de los factores que se tuvieron en cuenta, están los antecedentes históricos de remoción en masa, la litología de la zona, caracterizada por un alto porcentaje del suelo residual conocido como "maicillo", pendientes mayores a 10°, una cobertura vegetal que teóricamente actúa como estabilizador y la meteorización del cerro. Los factores que desencadenan estos procesos son las precipitaciones, ya que los deslizamientos ocurren cuando estas son más altas, y el factor antrópico por el porcentaje de viviendas existentes a los pies y en las laderas del cerro. Algunas de las medidas de mitigación entregadas fueron incluir estudios de peligro en el Plan Regulador de la Comuna y crear un Plan Específico de Emergencia por movimientos en masa, fortificar la fiscalización para que la población no construya en lugares peligrosos, para las viviendas ya asentadas se recomienda realizar estudios tanto a las viviendas como a su fundación, finalmente se recomienda en uno de los puntos un estudio detallado para así evitar un movimiento que sea desastroso.

PALABRAS CLAVES: Remoción en masa; Riesgos naturales; Modelo Conceptual.

ABSTRACT

A conceptual model was developed to study the conditioning and triggering factors of landslides on five slopes of cerro Manquimávida, located in the community of Chiguayante, in order to identify which areas are more susceptible to these processes. This zone has a history of landslides (2005 and 2006), which resulted in loss of human lives and destruction of homes. Seven factors were studied through bibliographic and field research, and then the information was synthesized in a hierarchical analysis to model a hazard susceptibility map for the slopes of the sector studied. Among the factors taken into account were the historical history of landslides, the lithology of the zone, which is characterized by a high percentage of a residual soils named "maicillo", slopes greater than 10°, a vegetation cover that theoretically acts as a stabilizer, and the weathering of the slopes. The factors that trigger these processes are precipitation, since landslides occur when rainfall is higher, and the anthropic factor because there is a percentage of existing houses at the foot and on the slopes of the hills. Some of the mitigation measures include hazard studies in the Community's Regulatory Plan and create a Specific Emergency Plan for mass movements, strengthen inspection so that the population does not build in dangerous places, for already established houses, it is recommended to carry out studies both on the houses and on their foundation. Finally, a detailed study is recommended in one of the points in order to avoid a disastrous movement.

KEYWORDS: Landslides; Natural hazards; Conceptual Model.

¹ Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil Geológica, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, csolar@ing.ucsc.cl

² Profesor Guía, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, cesar.arias@ucsc.cl

³ Profesor Informante, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, rking@ing.ucsc.cl

1. INTRODUCCIÓN

En la naturaleza existen diversos fenómenos geológicos afectando de diversas maneras a diferentes lugares, provocando peligro; al mezclarse con las distintas vulnerabilidades de la población humana, da lugar a la existencia de sectores con mayor riesgo que otros. Uno de los fenómenos más recurrentes es el de los movimientos en masa, los cuales transportan roca, suelo o ambos ladera abajo por efecto de la gravedad, conformando una de las formas naturales más comunes de modelado del terreno. Estos movimientos se condicionan por las características físicas del terreno o por distintos factores como los sismos, lluvias o intervenciones antrópicas. La alta sismicidad que caracteriza a Chile, las intensas precipitaciones en periodos de invierno y las topografías de pendientes pronunciadas hacen que el peligro de movimientos en masa sea un riesgo latente para las comunidades (Mardones & Rojas, 2012). Con el paso de los años, se ha logrado un gran avance en tecnologías y metodologías que ayudan a evaluar e identificar los sectores de mayor peligro, de este modo, es posible aplicar medidas de mitigación efectivas, que reduzcan el riesgo de víctimas fatales y pérdidas económicas.

Chiguayante es una Comuna de Chile, ubicada en la provincia de Concepción, región del Biobío, parte del área metropolitana del Gran Concepción, colindando al norte con la Comuna de Concepción y al sur con la Comuna de Hualqui; el área urbana de la Comuna se encuentra flanqueada por el río Biobío, al oeste, y la Cordillera de la Costa, al este.

El aumento de la población, la necesidad de construcción de vivienda propia y la falta de oportunidades para conseguirla, sumado a la deficiente regulación y fiscalización del uso del suelo, lleva a las personas a edificar sus viviendas en sectores sin previo estudio de peligros. Tal es el caso en diversas poblaciones colindantes al cerro Manquimávida, en Chiguayante, donde el asentamiento de viviendas se encuentra en el pie del cerro, o a veces en las laderas de este.

En el pasado reciente se tiene registro de movimientos en masa en las laderas y taludes del cerro Manquimávida, con graves pérdidas materiales y de vidas humanas, destacándose en general dos tipos de movimientos: desplazamientos rotacionales y flujos de detritos, los que ocurren, sobre todo, en quebradas de altas pendientes y compuestas de granito meteorizado (Meneses, 2019).

La zona de estudio está conformada por cinco puntos (Tabla 1), los cuales pertenecen a distintas laderas del cerro Manquimávida en la Comuna de Chiguayante (Figura 1c).

El objetivo de este estudio es evaluar el peligro de movimiento en masa en algunas laderas del cerro Manquimávida en la Comuna de Chiguayante con el fin de distinguir cuáles presentan una mayor susceptibilidad. Para esto es necesario caracterizar los antecedentes y factores de peligro en el área de estudio, comprobar las características del área mediante visitas a terreno, ponderar el peligro en cada ladera, para finalmente generar mapas de susceptibilidad y recomendar medidas de mitigación para el peligro de movimiento en masa en la zona.

Tabla 1: Coordenadas UTM de los puntos de estudio. Elaboración propia.

Punto	Calles	Coordenada Este (UTM)	Coordenada Norte (UTM)
1	Santa Sofia	675920.8	5912550.6
2	Cochrane	676290.7	5912222.6
3	Nueva	676537.7	5911817.3
4	Santa Justina	676522.8	5911482.8
5	Los Copihues	676736.7	5911334.3

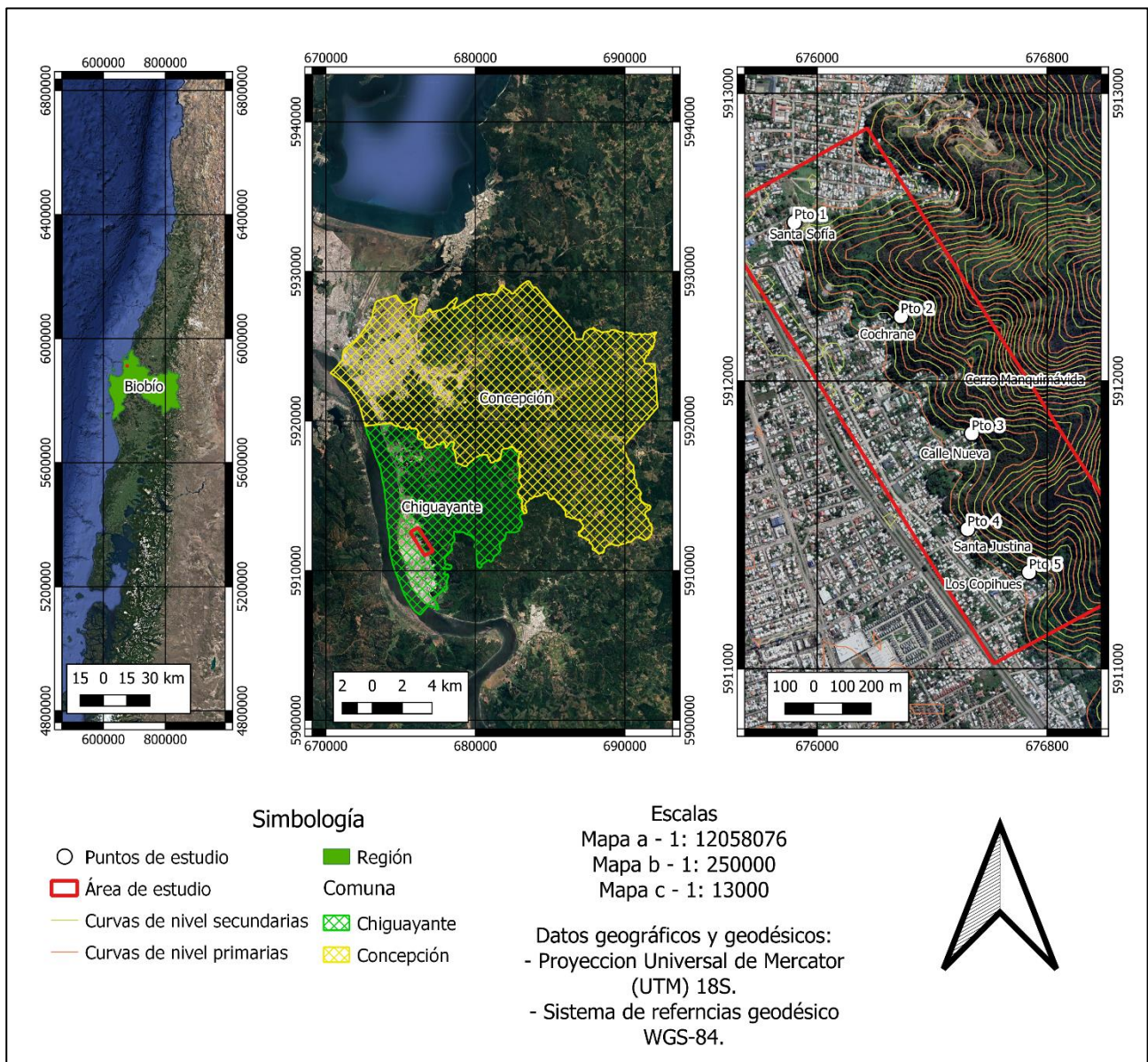


Figura 1: Ubicación de área de estudio. a) Región del Biobío en la zona central de Chile, b) Área de estudio inserta en la Comuna de Chiguayante, c) Área de estudio en las laderas del cerro Manquimávida. Elaboración propia.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos básicos

2.1.1. Peligro

Se entiende por peligro a la posibilidad de que suceda un evento potencialmente dañino para el ser humano durante un cierto periodo de tiempo en un sitio dado (Sepúlveda, 1998). La probabilidad de ocurrencia del peligro, expresada en grados cualitativos y relativos, es llamada susceptibilidad; esta es resultado de la combinación de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geológicos, que pueden ser intrínsecos a los propios materiales geológicos o externos (Campos, 2014).

2.1.2. Vulnerabilidad

Es el daño potencial que un peligro puede provocar al ser humano en un área geográfica, asentamiento o actividad. Puede ser medido de diversas maneras, dependiendo de la zona o grupo estudiado (Sepúlveda, 1998).

2.1.3. Riesgo

Corresponde a la cantidad de daño al ser humano esperado (vidas perdidas, personas damnificadas, daños a la propiedad, etc.), que causaría la ocurrencia de un fenómeno peligroso (Campos, 2014). Se expresa comúnmente como el producto de la susceptibilidad de ocurrencia de un peligro y la vulnerabilidad de la población o área geográfica (Sepúlveda, 1998).

2.2. Movimientos en masa

2.2.1. Definición

Los movimientos en masa, también llamados procesos de remoción en masa son procesos donde un determinado volumen de suelo, roca o ambos se movilizan de forma lenta o rápida, hacia una cota inferior por la combinación de distintos factores condicionantes, como precipitaciones, eliminación de cobertura vegetal, modificaciones en sus pendientes, entre otras (Basso *et al.*, 2015).

Los deslizamientos son procesos que en su mayoría son complejos de entender, principalmente porque no solo existe un mecanismo que produzca esta clase de eventos, más bien son múltiples factores que afectan a la movilización del material. Estos procesos pueden ocurrir a gran velocidad, debido a rupturas o fallas, como también, a menor velocidad por simples deformaciones superficiales (Hauser, 2000).

2.2.2. Clasificación

Conocer las características del tipo de movimiento son de suma importancia para adoptar las medidas de mitigación correctas y así disminuir las pérdidas y daños provocados por este fenómeno. El tipo de movimiento determinará la velocidad, el volumen probable y la distancia que este recorrerá (Highland & Bobrowsky, 2008).

Cruden y Varnes (1996) han clasificado los movimientos en masa según el material involucrado y el tipo de movimiento. Los tipos de movimiento pueden ser caídas, deslizamientos (rotacional o traslacional), flujos, volcamientos o extensiones laterales (Figura 2). Los tipos de material, por su parte, pueden ser roca, detritos, suelo o lodo.

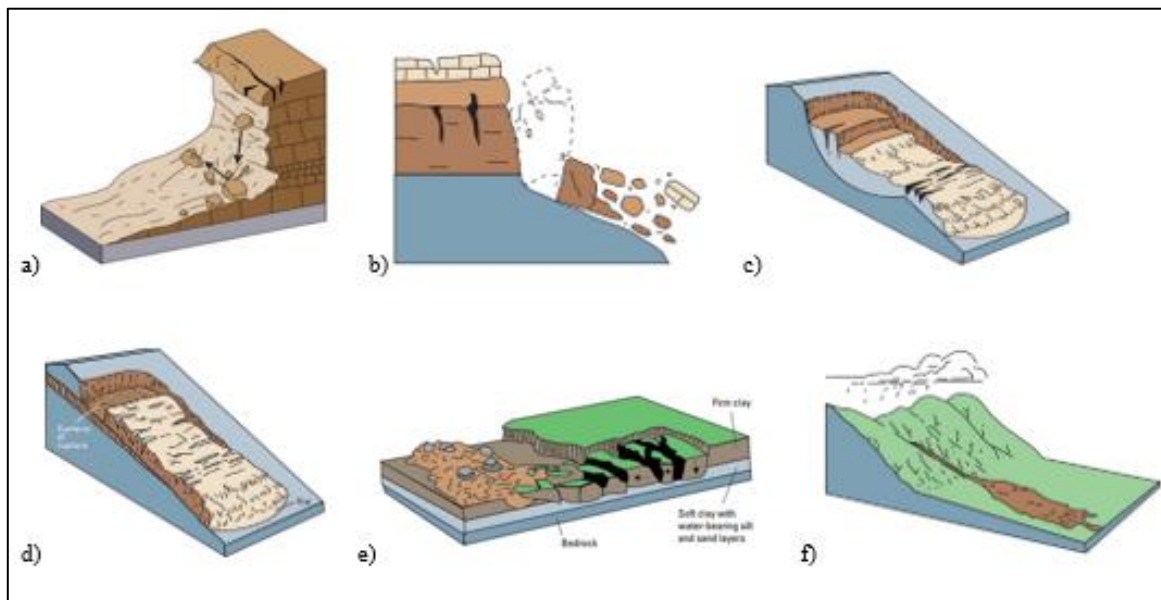


Figura 2: Tipos de movimiento en masa. a) Caída, b) Volcamiento, c) Deslizamiento rotacional, d) Deslizamiento traslacional, e) Extensión lateral, f) Flujo. Tomado de Highland & Bobrowsky (2008).

Los deslizamientos, son movimientos que involucran el desplazamiento de la masa removida por sobre una superficie de ruptura, contando por tanto con una fuerza resistente de roce. Se divide en dos tipos según su



modo, el primero es el deslizamiento rotacional, el cual ocurre con mayor frecuencia en suelos cohesivos o en roca muy meteorizada (Castillo, 2021); la masa se desliza, a través, de una superficie curva teniendo cierta componente rotacional de movimiento (Cruden & Varnes, 1996). El segundo es el deslizamiento traslacional, el cual se puede dar en roca o superficie más o menos plana, se mueve con poca rotación o inclinación hacia atrás (Vergara, 2020).

Las extensiones laterales son muy características de pendientes muy suaves o terrenos planos, fallan generalmente por licuefacción donde por efecto de sedimentos saturados, sueltos y sin cohesión pasan de estado sólido a líquido (Vergara, 2020). Es común su ocurrencia en cambios de estrato con marcadas diferencia de cohesión y/o permeabilidad (Cruden & Varnes, 1996).

Los flujos son movimientos de material continuo, disgregado y con abundante cantidad de agua, lo que provoca que se comporte como un fluido. Este tipo de movimiento afecta con mayor regularidad a suelos de grano fino, los cuales presentan una pérdida de resistencia mayor al ser movilizados. Su extensión puede alcanzar varios kilómetros, pero no son muy profundos (Castillo, 2021).

En las caídas de rocas, el material se desprende desde una pendiente, cayendo hasta alcanzar el pie de la ladera, el movimiento es rápido y la profundidad es superficial. Se ha observado en la práctica que pueden ocurrir tanto caídas como avalanchas de rocas (Castillo, 2021).

El volcamiento es una rotación hacia adelante del material, puede ocurrir por acción de gravedad, el empuje de un material adyacente o por la presión de fluidos, en general este tipo de deslizamientos se da cuando el manto de los estratos se sitúa en dirección opuesta a la inclinación de la ladera (Castillo, 2021).

2.3. Geología y geomorfología de área de estudio

Las características geológicas del sector son la primera causa de la capacidad del sector para generar movimientos en masa. El material que conforma las laderas presenta características importantes a considerar como, por ejemplo, la litología, grado de meteorización, presencia de suelo residual, y propiedades de estas tales como la plasticidad, la humedad y permeabilidad del suelo, entre otras (Vergara, 2020).

La zona nororiental de Chiguayante está constituida por rocas graníticas paleozoicas de la unidad conocida como Batolito de la Costa, que forman la conocida Cordillera de la Costa, mientras que la Comuna está asentada en depósitos de terrazas fluviales (Figura 3). El Batolito de la Costa está compuesto por una mezcla de tonalitas y granodioritas; la edad de estos intrusivos se encuentra entre el Paleozoico Superior y el Pérmico (Ferraris, 1981).

Debido al clima húmedo de la región, las rocas de este batolito están meteorizadas en diversos grados, desde roca casi sana a suelo residual, descomponiéndose en el material llamado “maicillo”, suelo residual arenoso-arcilloso formado por la meteorización de cuarzo, micas y feldespatos (Meneses, 2019). La meteorización se produce cuando la roca es fraccionada mecánicamente o se altera químicamente por factores como la humedad, las precipitaciones o los cambios de temperatura, disminuyendo la cohesión de las rocas, y por tanto también la estabilidad de laderas o taludes en el tiempo, facilitando la ocurrencia de movimientos en masa (Burgos *et al.*, 2022).

Los depósitos de terrazas fluviales están formados por arenas y limos del Holoceno, estos son terrazas de extensión las cuales alcanzan un espesor de 50 a 60 m, lo que permite el asentamiento de la Comuna de Chiguayante y el buen desarrollo de esta (Meneses, 2019).

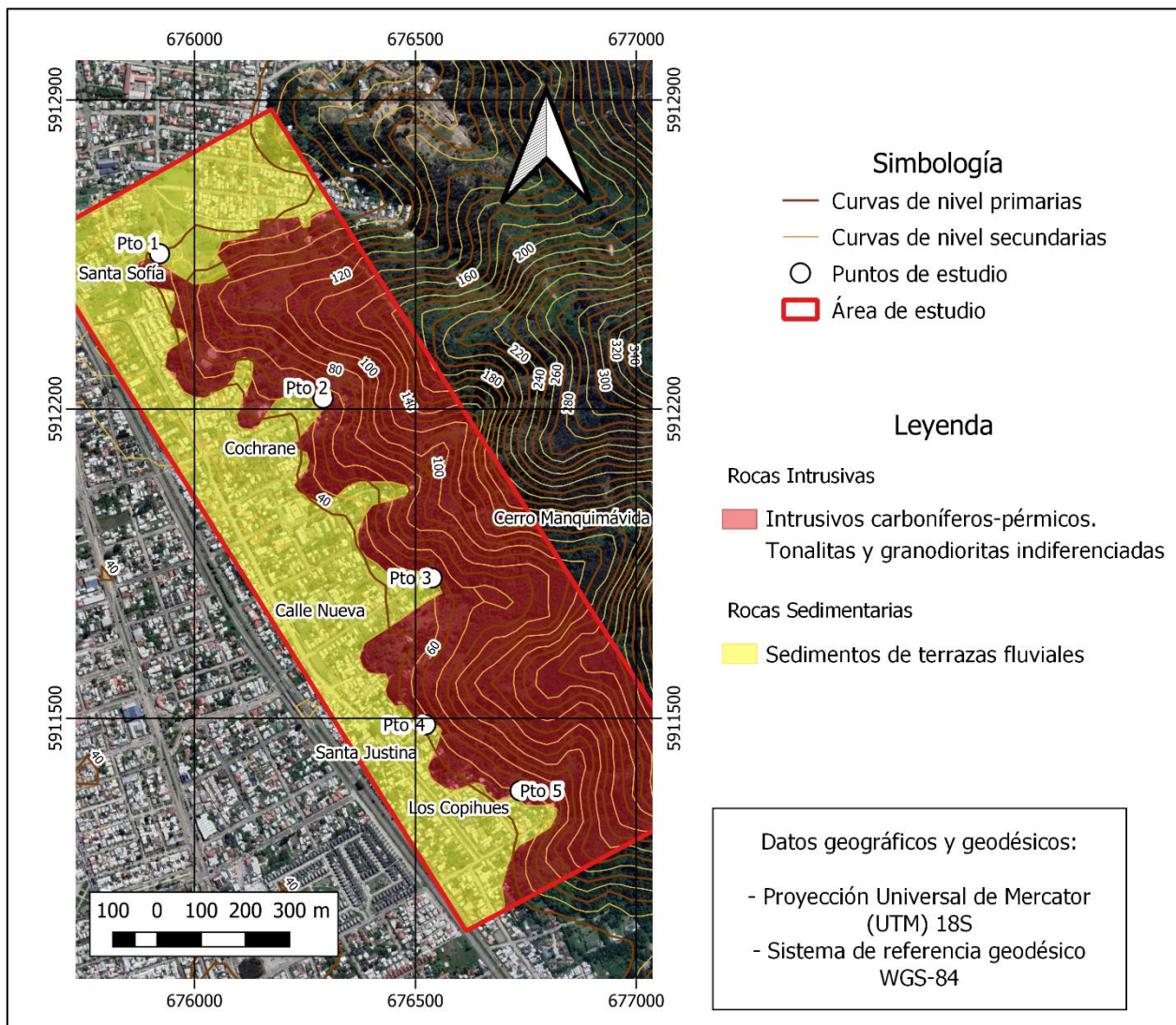


Figura 3: Mapa litológico del área de estudio. Modificado de Carta Geológica, Ferraris 1981.

2.4. Características meteorológicas del área de estudio

Existen movimientos en masa que son gatillados por condiciones específicas de rocas o suelos saturados, debido a eventos de lluvia continuos o de gran intensidad en un corto periodo de tiempo (Basso *et al.*, 2015). En Chile, las precipitaciones son el desencadenante más común de movimientos en masa (Arias *et al.*, 2018), lo cual es comprobable también en el área de estudio; según se expuso en el apartado de antecedentes históricos, los movimientos en masa en Chiguayante tienen una relación causal con eventos de alta precipitación.

En el Gran Concepción se reconoce el clima Mediterráneo, el cual consta de dos estaciones, la primera cálida y seca, mientras que la otra es invernal, con días húmedos y lluvias moderadas (Naranjo *et al.*, 2005). De mayo a agosto se concentra aproximadamente un 70% de las precipitaciones, lo que genera anegamientos, inundaciones y movimientos en masa (Mardones *et al.*, 2006). La ocurrencia de precipitaciones abundantes acumuladas en pocos días es un desencadenante de movimientos de masa; así, con una precipitación superior a 80 mm en un día y/o la acumulación en tres días consecutivos de 100 mm los suelos se saturan y facilitan la ocurrencia de movimientos (Mardones *et al.*, 1994).

2.5. Modelo conceptual

Un modelo conceptual, es un análisis representativo de factores condicionantes y desencadenantes que favorecen a que ocurra un movimiento en masa, ayuda a entender cómo se comporta una ladera o talud en el tiempo, de acuerdo con sus características tanto físicas, como químicas y ambientales (Inostroza *et al.*, 2017).

Se llaman factores condicionantes a aquellos que dependen del terreno de estudio, ya sea de su naturaleza, estructura y forma (González de Vallejo *et al.*, 2002). Estos factores pueden favorecer a la ocurrencia de una situación potencialmente peligrosa, dentro de los cuales se puede mencionar la geología, vegetación, geomorfología, entre otros (Vergara, 2020). En cambio, los factores desencadenantes o detonantes corresponden a factores externos, lo cuales provocan una perturbación en el terreno gatillando un movimiento en masa por el aumento de los esfuerzos en dicho terreno (Vergara, 2020). Dentro de los principales agentes detonantes se pueden mencionar las lluvias, sismos, vegetación -en ciertos casos- y la intervención antrópica.

Es muy importante la elaboración de un modelo conceptual, ya que los movimientos en masa son el producto de la combinación de los distintos factores, estos pueden actuar de forma continua o cambiar en cuestión de días. La elaboración de este modelo ayuda al pronóstico de futuros movimientos (Inostroza *et al.*, 2017).

2.6. Análisis jerárquico

El proceso de análisis jerárquico desarrollado por Saaty (1980) permite organizar de buena manera la información frente a un problema, también ayuda a descomponerla y analizarla para luego sintetizarla. Para ello se comparan distintos criterios (vegetación, geología, precipitaciones, etc.) usando una matriz de comparación variada (Tabla 2).

Tabla 2: Escala de Saaty. Modificada de Saaty (2008).

Escala	Definición	Explicación
1	Igualmente importantes	Dos elementos contribuyen en igual medida al objetivo
3	Moderadamente importante	Preferencia leve de un elemento sobre otro
5	Fuertemente importante	Preferencia fuerte de un elemento sobre otro
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Preferencia muy fuerte de un elemento sobre otro. Predominancia demostrada
9	Importancia extremadamente fuerte	Preferencia clara y absoluta de un elemento sobre el otro
2,4,6,8	Niveles intermedios de los valores anteriores	

Cuando se comparan los factores y se define un valor, se da paso a una matriz cuadrada llamada matriz de decisión (Tabla 3).

Tabla 3: Matriz de decisión. Modificada de Saaty (2008).

Variables (A/B)	X1	X2	...	Xn
X1	1	$i_{1/2}$...	$i_{1/n}$
X2	$i_{2/1}$	1	...	$i_{2/n}$
...
Xn	$i_{n/1}$	$i_{n/2}$...	1

La matriz de decisión tiene por objetivo obtener una ponderación para cada factor, el cual es dado como un porcentaje que representa, en este caso, su importancia en la generación de un potencial movimiento en masa.

Considerando que la matriz está definida con valores asignados de acuerdo con una escala de preferencia, se deben obtener las ponderaciones de cada factor, para ello, se debe calcular primero el valor propio (W_n) mediante la Ecuación 1.

$$W_n = \left(\frac{I_n}{I_1} * \frac{I_n}{I_2} * \dots * 1 \right)^{1/n} \quad (1)$$

Donde: I_n son los factores de la matriz y n el número de factores.

En segundo lugar, se calcula el valor propio normalizado (C_n) mediante la Ecuación 2, el cual nos entrega la ponderación final para cada factor.

$$C_n = \left(\frac{W_1}{\sum W_n} + \frac{W_2}{\sum W_n} + \frac{W_3}{\sum W_n} + \dots + \frac{W_n}{\sum W_n} \right) \quad (2)$$

Donde: W es el valor propio de cada factor y $\sum W_n$ la sumatoria de los valores propios.

Además, mediante diversos cálculos propuestos por el autor del método, se puede mediante un índice de consistencia (CI) evaluar si los pesos otorgados a las variables son realistas.

Finalmente, con las ponderaciones obtenidas y si se tiene valores de consistencia aceptables, se elabora el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa mediante la Ecuación 3.

$$Y = C_1 * X_1 + C_2 * X_2 + \dots + C_n * X_n \quad (3)$$

Donde Y es la peligrosidad, C_n la ponderación entregada por la matriz y X_n los factores de la investigación.

3. METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo, se busca identificar los factores desencadenantes y estabilizantes mediante un modelo conceptual, para así identificar en el área de estudio las zonas poco seguras y poder recomendar medidas de mitigación ante un evento futuro. Para esto, se analiza la geología, precipitaciones, vegetación, entre otras características de la zona estudiada mediante un análisis jerárquico. La metodología se divide en tres fases: Investigación bibliográfica, investigación en terreno y análisis jerárquico.

3.1. Investigación bibliográfica

Esta etapa consiste en revisar estudios anteriores de la zona estudiada, junto con mapas geológicos, geomorfológicos o geotectónicos. Se estudian los antecedentes de la geología del lugar, el clima, la vegetación, los datos meteorológicos, la actividad humana, etc., buscando establecer qué factores están presentes en la generación de estos procesos geológicos. Además, se deben revisar antecedentes pasados y presentes de movimientos en masa en la zona.

3.2. Investigación en terreno

Esta etapa consiste el reconocimiento del área de estudio, de manera de corroborar lo estudiado en la fase de investigación bibliográfica. Se procede a observar y caracterizar las zonas posiblemente expuestas a remoción. Para realizar un levantamiento se hacen mediciones de pendientes en laderas, se reconocen y describen las unidades de suelo y de roca, se identifican zonas donde exista evidencia de movimientos en masa, se levanta información por medio de conversación directa con vecinos del sector sobre antecedentes de aluviones en la zona y reconocer sus depósitos estimando el volumen de material movilizado, identificando el tipo de vegetación, la densidad y las alteraciones antrópicas del paisaje.

3.3. Análisis jerárquico

Con los datos entregados por la investigación bibliográfica y la investigación en terreno se sintetizan la información y se realiza un análisis jerárquico utilizando la matriz de decisión mencionada en el apartado



2.4, que nos entregará la ponderación final de cada punto para poder ser mostrada en un mapa de susceptibilidad al peligro.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Modelo conceptual

Para el modelo conceptual se consideraron siete factores; antecedentes históricos de movimientos en masa, litología y meteorización, pendientes, vegetación, factor antrópico, incendios forestales y precipitaciones. A partir de la descripción de cada factor, se establecen valores con sus respectivos pesos relativos que cuantifiquen el grado de susceptibilidad a movimientos en masa que tal factor aporta (Tabla 4).

Tabla 4: Grado de susceptibilidad.
Elaboración propia.

Grado de susceptibilidad	Peso relativo
Nulo	0
Bajo	1
Medio	2
Alto	3

4.1.1. Antecedentes históricos de movimientos en masa

Para tener un mayor conocimiento de cómo se generan los movimientos en masa, es importante recopilar información de eventos anteriores en la zona de estudio, para así buscar si hay relación entre algunas características geomorfológicas y climáticas con la ocurrencias de estos deslizamientos. Estos antecedentes permiten orientar el desarrollo de modelos que describen la inestabilidad de taludes (Ramos *et al.*, 2015).

Como se muestra en la Tabla 5, para clasificar los registros históricos de movimientos en masa, se tomó en cuenta el tiempo que ha transcurrido desde la fecha de ocurrencia de dichos eventos.

Tabla 5: Clasificación de registros históricos de movimientos en masa en las laderas con sus pesos relativos. Elaboración propia.

Tipo	Descripción	Peso relativo
Sin registro	La ladera no tiene registros significativos de movimientos en masa.	1
Registros menores	La ladera registra movimientos con afectación leve a moderada hace más de 5 años o movimientos con resultado desastroso hace más de 20 años.	2
Registros significativos	La ladera registra movimientos con afectación leve a moderada en los últimos 5 años o movimientos con resultado desastroso en los últimos 20 años.	3

En el punto 1, si bien no existen informes que nos den datos o explicaciones del movimiento en masa ocurrido en el sector, mediante el software *Google Earth*, se tomaron imágenes aéreas del lugar, mostrando el antes (agosto 2021) y después (enero 2022) de la ladera y para así, lograr evidenciar el deslizamiento ocurrido en el lugar (Figura 4). A este punto se le asignó un peso relativo 3, ya que el registro de este movimiento es hace menos de 5 años.



Figura 4: Imágenes aéreas del punto 1 mostrando su evolución en medio año. a) Fotografía tomada en agosto del año 2021. b) Fotografía tomada en enero del año 2022. Imágenes extraídas de Google Earth

En el punto 2, se tiene registro de un movimiento en masa ocurrido el 27 de junio del año 2005, el cual destruyó parcialmente dos viviendas por un flujo (Figura 5). El escurrimiento de las aguas fue detenido por la parte superior de la ladera, provocando que el volumen aumentara generando flujos de barro (Naranjo *et al.*, 2005). Otro antecedente importante, fue el ocurrido el 11 de julio del año 2006, se produjo un flujo de barro desde la ladera hasta la calle principal, este deslizamiento afectó a las mismas viviendas que el año anterior (Naranjo *et al.*, 2006). A este punto se le asignó un peso relativo 3, ya que los antecedentes del sector registran un resultado desastroso en los últimos 20 años.

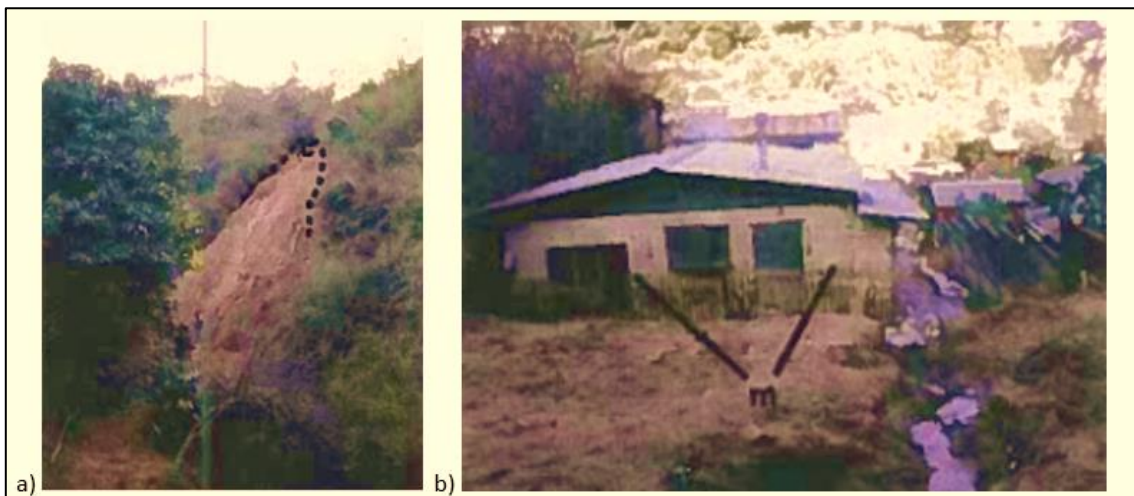


Figura 5: Deslizamiento ocurrido en Calle Cochrane (Punto 2). a) Cabecera de la ladera y corona y escarpe principal del deslizamiento (en línea punteada) que originó el flujo de maicillo. b) Detalle y altura (m) del flujo que afectó a las viviendas de la Calle Cochrane. Imágenes extraídas de Naranjo *et al.*, 2005.

En el punto 3, al igual que en el punto 1, no existen informes que detallen el movimiento en masa. No obstante, según el testimonio de vecinos del sector y dueños del terreno donde se encuentra este punto, han ocurrido movimientos al menos desde el año 2022. En la Figura 6, se ve material que ha sido desprendido, cayendo a sólo 7 metros de la vivienda. A este punto se le asignó un peso relativo 3, ya que el movimiento ocurrido es reciente.



Figura 6: Desprendimiento de material en el punto 3, mostrando en línea punteada material depositado; la vivienda se encuentra a sólo 7 metros de la zona de deposición del material. Imagen tomada en enero del 2023. Elaboración propia.

En el punto 4, se tiene registro de un movimiento en masa ocurrido el 18 de julio del año 2022, el cual provocó daños menores en una vivienda del sector (Figura 7). En visita a terreno se pudo observar que en la corona de este talud se ubica un camino de tierra de acceso a una vivienda ubicada más arriba. A este punto se le asignó un peso relativo 3.



Figura 7: a) Vivienda afectada por la remoción en masa del 18 de Julio del 2022. b) Vista de remoción en masa desde el interior de la vivienda. Imágenes extraídas del sitio *web* de la Municipalidad de Chiguayante.

En el punto 5, Calle Los Copihues, como se muestra en la Figura 8, existe un antecedente de movimiento en masa ocurrido el 11 de Julio del año 2006, cuya precipitación máxima en 24 horas fue de 140 mm. Las evidencias indican que ocurrió un colapso por los costados del escarpe (45°) producto de la saturación del suelo, este fenómeno destruyó una vivienda y dejó un saldo de 10 personas fallecidas (Naranjo *et al.*, 2006). A este punto se le asignó un peso relativo 3, ya que los antecedentes del sector registran un resultado desastroso en los últimos 20 años.



Figura 8: Deslizamiento de tierra en Calle Los Copihues (Punto 5). a) Corona agrietada del deslizamiento en calle Los Copihues. b) Casa destruida por el movimiento en masa. Imágenes extraídas de Naranjo *et al.*,2006.

4.1.2. Geología y meteorización

Este factor se realizó a través de la descripción litológica del área de estudio y su estado de meteorización. En la Tabla 6, se muestra la clasificación de peligro respecto a dichos factores.

Tabla 6: Clasificación de la meteorización del suelo con sus pesos relativos. Elaboración propia.

Tipo	Descripción	Peso relativo
Roca sana	Rocas sin cambio aparente en relación al estado original, se puede romper con dificultad en trozos pequeños	1
Roca medianamente meteorizada	La roca sigue conservando en gran parte su estructura original, y menos de la mitad del macizo rocoso está transformado en suelo.	2
Suelo residual	La roca está convertida en suelo residual, es disgregable al tacto y se desmorona con la presión de los dedos.	3

A los cinco puntos del área de estudio se les asignó un peso relativo 3, ya que, está en presencia de un suelo residual, es cual se disgrega y se desmorona con la presión de los dedos (Figura 9).



Figura 9: Muestras del estado de meteorización en el área de estudio. a) Muestra material punto 1. b) Muestra material punto 2. c) Muestra material punto 3. d) Muestra suelo residual punto 4. e) Suelo residual punto 5. Imágenes tomadas en diciembre del año 2022. Elaboración propia.

4.1.3. Pendientes

Entre los principales factores topográficos que condicionan los movimientos en masa se encuentran las pendientes, tanto el valor de su ángulo como los cambios bruscos de estos, su extensión, altura y orientación (Vergara, 2020). En general estos factores tienen un efecto favorable a la ocurrencia de movimientos en masa, y las pendientes bajas o menos pronunciadas tienden a ser más estables que las pendientes abruptas (Castillo, 2021).

Para el presente estudio, la clasificación de este factor fue a través del ángulo de pendientes. En la Tabla 7, se muestra el tipo de pendiente, la descripción y el peso relativo de cada uno.

Tabla 7: Clasificación de pendientes en las laderas con sus pesos relativos. Elaboración propia.

Tipo	Descripción	Peso relativo
Baja	Laderas que presentan pendientes menores a 5°.	1
Mediana	Laderas que presentan pendientes entre los 5° a 10°.	2
Alta	Laderas que presentan pendientes mayores a 10°.	3

En la Figura 10 se muestra la distribución de las pendientes en el área de estudio, siendo las zonas verdes las menores a 5° y que por tanto se clasifican como de baja susceptibilidad a movimientos en masa. Las pendientes entre 5° a 10° , clasificadas con una mediana susceptibilidad, se representan en color amarillo, mientras que las mayores a 10° se consideran abruptas, presentando una alta susceptibilidad a estos fenómenos y siendo representadas en rojo.

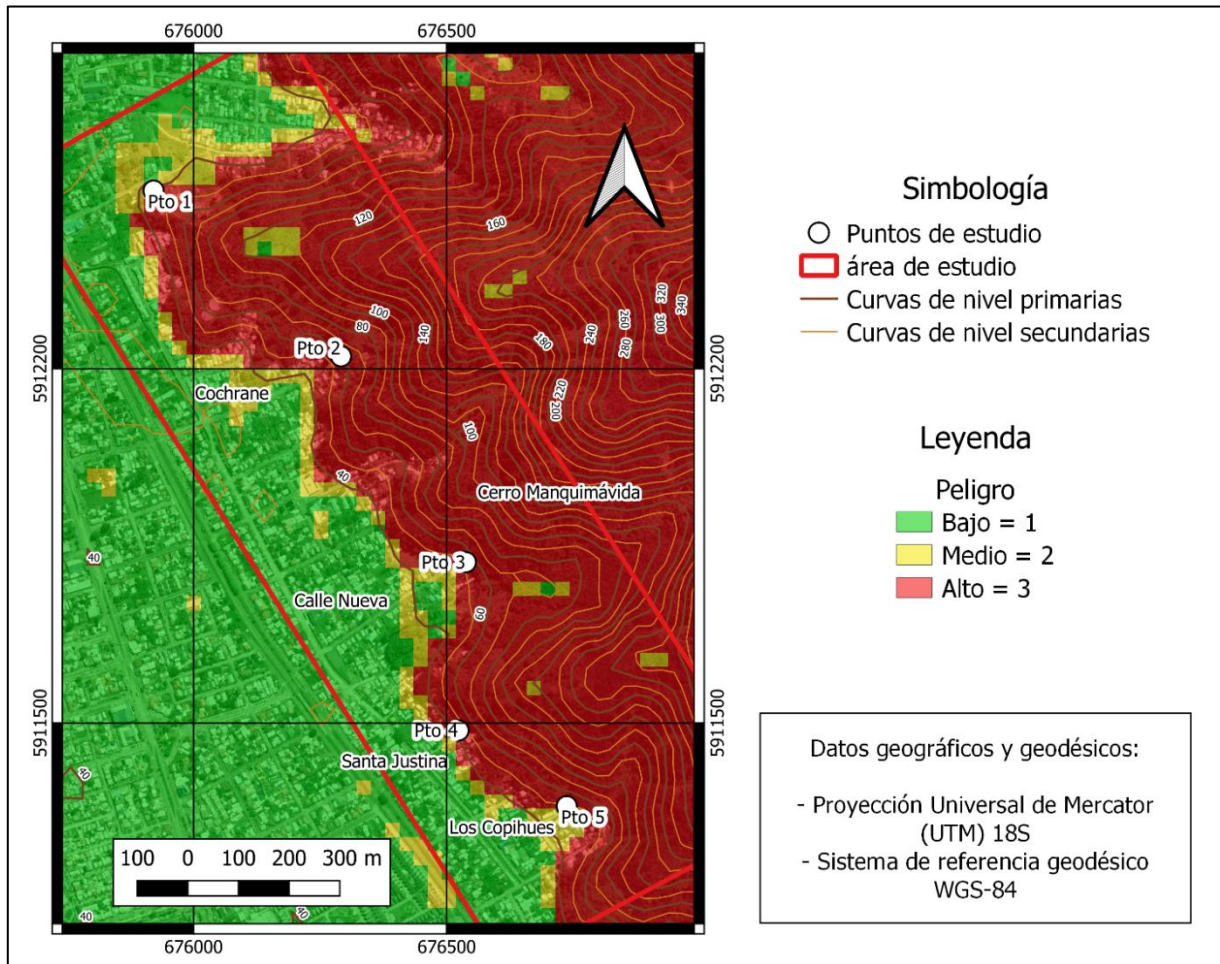


Figura 10: Mapa de pendientes en el área de estudio con zonificación de pendientes bajo, medio y alto. Elaboración propia.

Para los 5 puntos del área de estudio se les asignó un peso relativo 3, debido a que sus pendientes son mayores a 10° (Figura 11).



Figura 11: Laderas y pendientes en el área de estudio. a) Pendiente punto 1. b) Pendiente punto 2. c) Pendiente punto 3. d) Pendiente residual punto 4. e) Pendiente punto 5. Imágenes tomadas en diciembre del año 2022. Elaboración propia.

4.1.4. Vegetación

El factor de la vegetación se utiliza en general para determinar el grado de estabilidad de una ladera, mientras mayor cobertura vegetal presente la ladera, en muchas ocasiones, menor será el peligro de desencadenar un movimiento en masa, ya que su función es cubrir el suelo impidiendo la inestabilidad frente a estos movimientos. Cabe mencionar que puede ocurrir el efecto contrario cuando árboles crecen en rocas que presentan meteorización o discontinuidades, ya que sus raíces se introducen en los espacios que estos dejan, aumentando la separación, sumado al efecto de palanca que ocurre cuando el árbol es sacudido por el viento; todo esto a futuro puede ser detonante de movimientos (Burgos *et al.*, 2022).

Para la clasificación de este factor, se tomó en cuenta tanto la abundancia de la vegetación (abundante, moderada o nula), como su potencial papel negativo meteorizando mecánicamente la ladera (Tabla 8).

Tabla 8: Clasificación de la vegetación de las laderas con sus pesos relativos. Elaboración propia.

Tipo	Descripción	Peso relativo
Favorable	La ladera presenta vegetación abundante y sana que contribuye a la estabilidad	1
Levemente desfavorable	La ladera presenta vegetación disperso o escasa, o posee vegetación arbórea en desarrollo en posición que puede generar peligro.	2
Muy desfavorable	La ladera no presenta vegetación, o presenta vegetación arbórea dañina y/o contribuyente a la inestabilidad.	3

En los puntos 1, 3 y 4 la vegetación es dispersa o escasa, debido a esto se les asignó un peso relativo 2, es cual corresponde a un tipo de vegetación levemente desfavorable. Mientras que a los puntos 2 y 5 se les asignó un peso relativo 1, ya que presentan una vegetación abundante y sana.

Sin perjuicio de lo anterior, cabe notar el antecedente de que en el punto 5, los troncos presentan curvaturas de distinto grado en el segmento bajo de su tronco (Figura 12). Estos fenómenos son respuestas de las especies a una perturbación sufrida atribuible a movimientos en masa. En el caso de los dobleces marcados y angulosos, dan señal de que el árbol fue movilizado por un movimiento en masa rápido durante su juventud; en cambio, las curvaturas más abiertas son evidencia de un movimiento en masa lento a extremadamente lento o reptación.

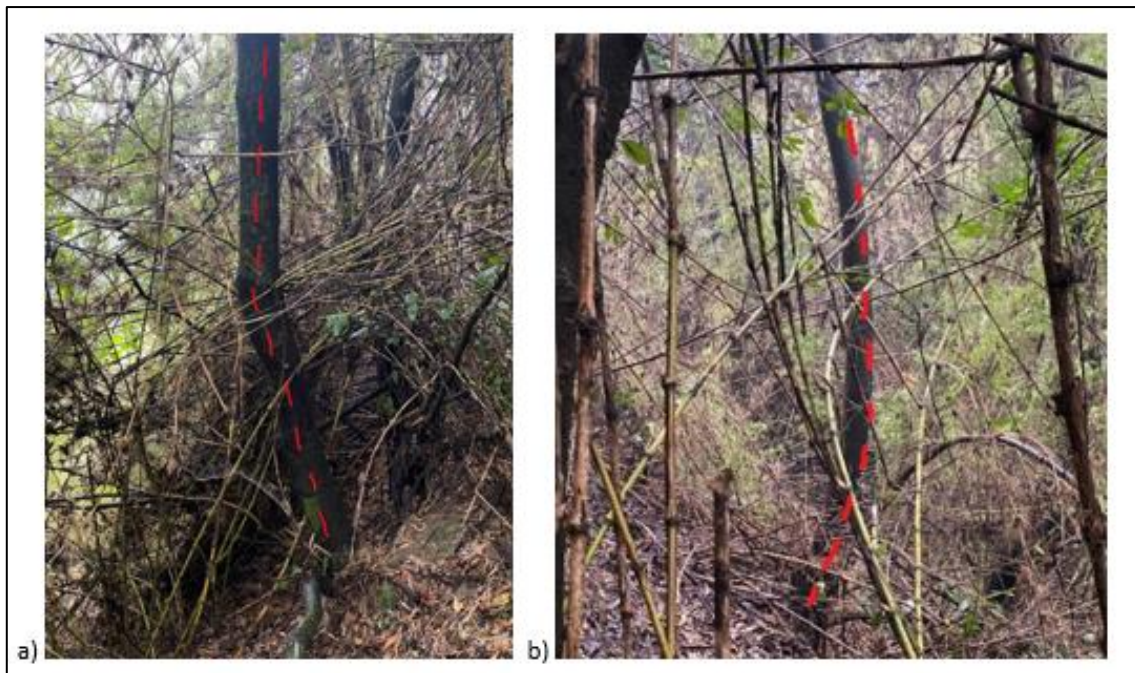


Figura 12: Árboles del punto 5 que presentan basculamiento, lo cual es una señal típica de movimientos en masa. En el caso de la imagen el basculamiento suave del árbol de la imagen indica un movimiento a velocidad lenta a muy lenta o reptación. Elaboración propia.

4.1.5. Factor antrópico

La intervención del hombre muchas veces genera modificaciones en el medio, las cuales juegan un papel fundamental en el desarrollo de un movimiento en masa. Las principales contribuyentes al peligro son el corte de taludes, retiro de material, deforestación o reemplazo de flora nativa por plantación forestal, modificación de las condiciones hidrológicas, o la sobrecarga por edificación sobre la ladera. En cuanto a

efectos positivos de la intervención humana, estos se reducen a la restauración y reforestación de laderas, y las obras ingenieriles de contención (Hyndman & Hyndman, 2011).

Para la clasificación de este factor, se tomó en cuenta si hubo intervención leve a moderada, significativa o nula en la ladera, asignándoles los valores mostrados en la Tabla 9.

Tabla 8: Clasificación del factor antrópico en las laderas con sus pesos relativos. Elaboración propia.

Tipo	Descripción	Peso relativo
Natural	Ladera en su estado natural o con restauración de vegetación	1
Intervención leve a moderada	Ladera con deforestación parcial, reemplazo de bosque por plantación forestal, retiros leves de material y/o construcción de estructuras de contención.	2
Intervención significativa	Ladera con deforestación total o casi total, corte de taludes, retiro masivo de material o edificación en o por encima de la ladera.	3

A los puntos 1, 4 y 5 se les asignó un peso relativo 3, ya que hubo una intervención negativa, presentando indicios de excavación en la ladera para la construcción de viviendas, esto sin estudios previos que indiquen como estabilizar un talud. Además, como se indicó antes, en el punto 4 existe sobre la corona del movimiento un camino de tierra de acceso a una vivienda ubicada más arriba; este camino desprovee de vegetación a la ladera y talud, además de actuar como receptáculo de aguas de escorrentía superficial; no es infundado hipotetizar que este camino es responsable del movimiento en masa ocurrido en 2022 en dicho punto.

Al punto 2, se le asignó un peso relativo 2, ya que hubo una intervención leve a moderada, en esta ladera se observan tres métodos utilizados para la estabilidad de un talud, en primer lugar, se observa un revestimiento de shotcrete y tubos de drenaje (Figura 13, a) y en segundo lugar canaletas para que las aguas sean transportadas a un lugar donde no provoquen peligro (Figura 13, b).

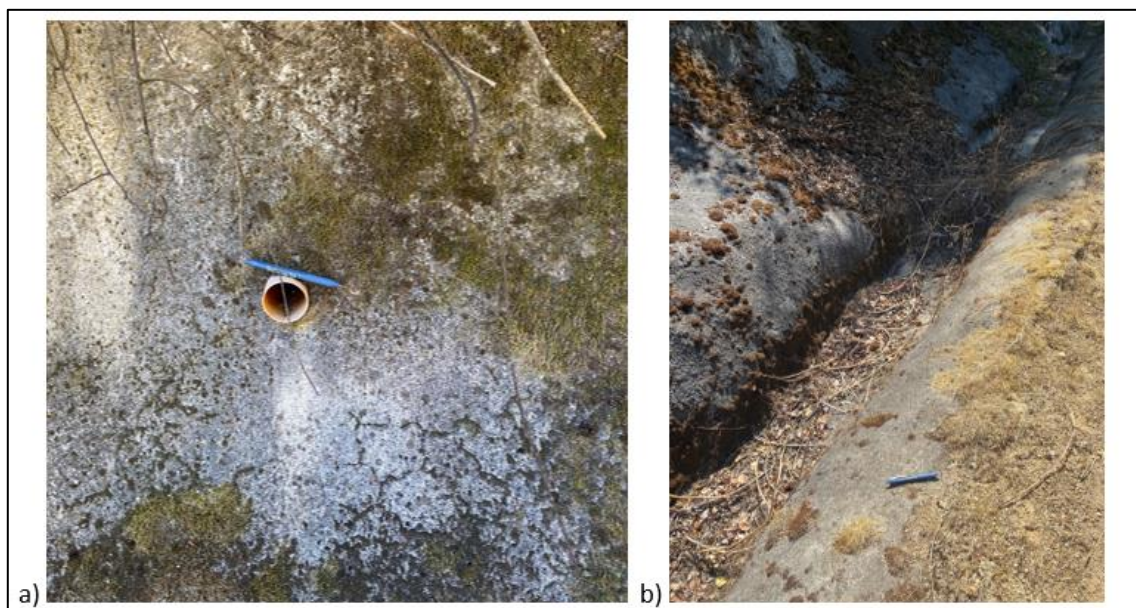


Figura 13: Intervención antrópica positiva en el Punto 2. a) Shotcrete y tubos de drenaje en la ladera. b) Canaletas para eliminar el agua. Imágenes tomadas en enero del 2023. Elaboración propia.

Finalmente, al punto 3 se le asignó un peso relativo 1, ya que no hay indicios de intervención del hombre, las evidencias muestran que los deslizamientos ocurridos, han sido por efecto de la meteorización del terreno.

4.1.6. Incendios forestales

Los incendios forestales repercuten de mala manera en los suelos, provocando alta erosionabilidad, la cual afecta a la infiltración de la lluvia y a la resistencia del suelo a liberar estas partículas, también provoca un aumento en volumen de la escorrentía debido a que no hay protección en cuanto a vegetación. Además, hay un cambio en las propiedades del suelo en las zonas quemadas, por lo que el material es más susceptible a ser arrastrado ladera abajo (Benito *et al.*, 2014).

Como se muestra en la Tabla 10, para clasificar los registros históricos de incendios forestales, se tomó en cuenta el tiempo que ha transcurrido desde la fecha de ocurrencia de dichos eventos.

Tabla 10: Clasificación de registros históricos de incendios forestales en las laderas con sus pesos relativos. Elaboración propia.

Tipo	Descripción	Peso relativo
Sin registro	La ladera no tiene registros de haber sido afectada por incendios forestales.	1
Antiguo	La ladera ha sido afectada por incendios forestales ocurridos hace mas de 5 años.	2
Reciente	La ladera ha sido afectada por incendios forestales ocurridos hace menos de 5 años.	3

En el punto 1, existe un registro de incendios forestales entre el año 2019 y 2020 (Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos de Chile (SIMEF), 2023). A este punto se le asignó un peso relativo 3. Mientras que a los puntos 2,3, 4 y 5 se les asignó un peso relativo 1, ya que no cuentan con antecedentes de incendios.

4.1.7. Precipitaciones

El gráfico de la Figura 14 muestra las precipitaciones diarias de la estación pluviométrica de Concepción (5921946 m N y 669387 m E), durante los meses de mayo a agosto del año 2022. Se puede observar que las precipitaciones del año 2006 superaron los 110 mm, lo cual coincide con el umbral propuesto por Mardones *et al.* (1994) que dieron origen al movimiento en masa del Punto 5. Así mismo se puede observar que en los años 2020 y 2021 se dieron recientemente los peaks más altos, acercándose al umbral de los 80 mm diarios, así como en años como 2018 y 2022 se ha estado cerca del umbral de 100 mm en tres días.

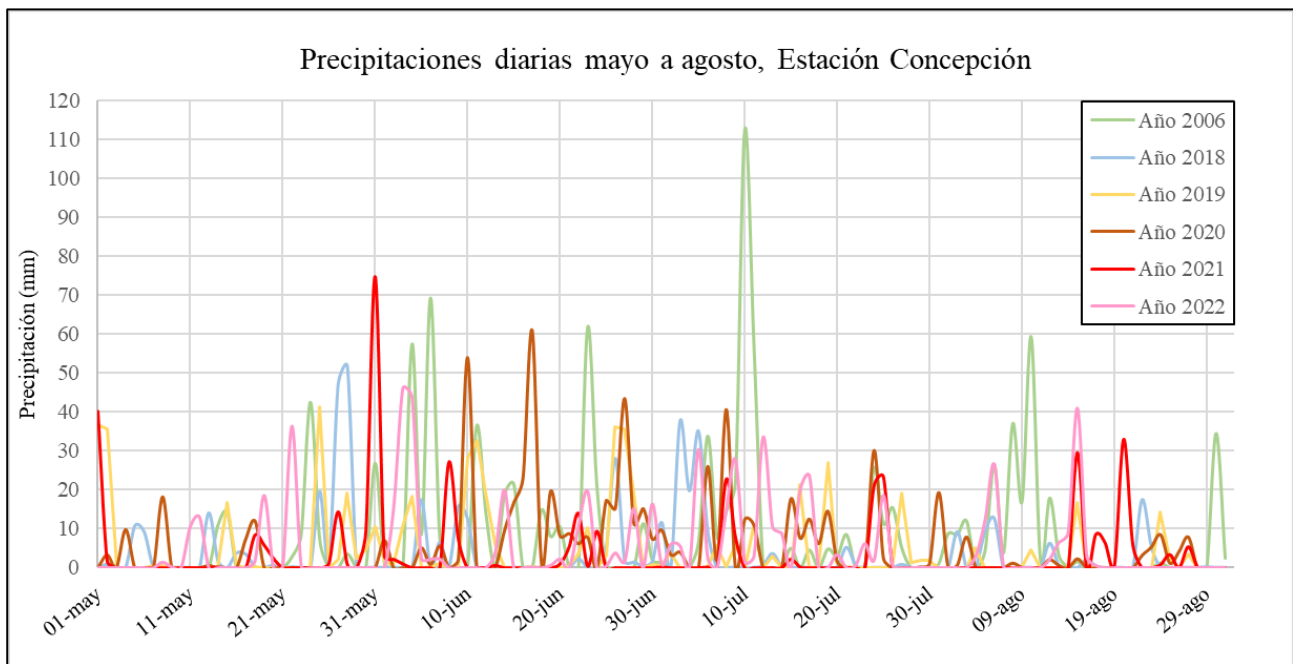


Figura 14: Precipitaciones diarias, del 1 de mayo al 31 de agosto, del año 2006 y desde el año 2018 al 2022, registradas en la estación pluviométrica de Concepción. Información entregada por la Dirección General de aguas y la Dirección Meteorológica de Chile. Elaboración propia.

El factor meteorológico no ha sido considerado en el proceso de análisis jerárquico de este estudio por ser un factor detonante de los eventos de movimiento en masa, actuando de manera equitativa en todos los puntos, por lo que al momento de la modelación reduce la especificidad del resultado. Esto no debe entenderse como un descarte de información, sino como una precisión a favor del objetivo de la investigación. El conocimiento de los umbrales de precipitación es una parte fundamental del modelo conceptual, y debe ser directamente en la preparación y alerta ante este peligro, y en el caso del área de estudio, existe el potencial de superar esos umbrales.

4.2. Análisis jerárquico

4.2.1. Matriz de decisión

Se realizó una matriz de comparación (Tabla 11) y una con los valores propios obtenidos (Tabla 12), esta matriz se acepta puesto que está dentro del rango de consistencia requerido. La matriz se construye con relación a la comparación de variables definidas e independientes. Para cada punto se seleccionaron seis variables de las antes expuestas: geología y meteorización, pendiente, antecedentes históricos, factor antrópico, vegetación y afectación por incendios. Los valores para cada variable se dan de acuerdo con el grado de importancia que tienen una sobre la otra y también se tiene en consideración el rol que juegan en la remoción en masa.

Tabla 11: Matriz de comparación. Elaboración propia.

Variables	Geología y meteorización	Pendiente	Antecedentes históricos	Factor Antrópico	Vegetación	Afectación por incendios
Geología y meteorización	1,00	1,00	1,00	2,00	3,00	4,00
Pendiente	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00
Antecedentes históricos	1,00	1,00	1,00	3,00	2,00	3,00
Factor Antrópico	0,50	0,50	0,33	1,00	3,00	2,00
Vegetación	0,33	0,50	0,50	0,33	1,00	3,00
Afectación por incendios	0,25	0,33	0,33	0,50	0,33	1,00

Tabla 12: Valores propios y ponderación obtenida. Elaboración propia.

Variables	Valor propio (Wn)	Valor propio normalizado (Cn)	Peso ponderado (%)
Geología y meteorización	1,698	0,250	25%
Pendiente	1,513	0,223	22%
Antecedentes históricos	1,619	0,238	24%
Factor Antrópico	0,891	0,131	13%
Vegetación	0,661	0,097	10%
Afectación por incendios	0,408	0,060	6%
W total	6,790		

4.2.2. Nivel de susceptibilidad al peligro

Con los pesos ponderados y los niveles de peligro se obtiene la ponderación final para cada punto como se muestra en la Tabla 13. Finalmente, se presenta el mapa de susceptibilidad al peligro de movimiento en masa en el área de estudio, para el mapa se consideraron seis rangos de susceptibilidad (Tabla 14), insignificante (color verde), bajo (color amarillo claro), medio bajo (color amarillo oscuro), medio alto (color naranja), alto (color rojo) y muy alto (color rojo oscuro). En la Figura 15, predomina la alta y muy alta susceptibilidad a estos procesos, debido principalmente al tipo de suelo de las laderas y a las zonas con pendientes más altas. Para los puntos 2, 3 y 5 la susceptibilidad es alta, mientras que para los puntos 1 y 4 la susceptibilidad es muy alta.



Tabla 13: Ponderación de peligro obtenida para cada punto. Elaboración propia.

Variables	Peso ponderado (%)	Nivel de peligro Punto 1	Nivel de peligro Punto 2	Nivel de peligro Punto 3	Nivel de peligro Punto 4	Nivel de peligro Punto 5
Geología y meteorización	25%	3	3	3	3	3
Pendiente	22%	3	3	3	3	3
Antecedentes históricos	24%	3	3	3	3	3
Factor Antrópico	13%	3	2	1	3	3
Vegetación	10%	2	1	2	2	1
Afectación por incendios	6%	3	1	1	1	1
Ponderación final		2,90	2,55	2,52	2,78	2,69

Tabla 14: Rangos de susceptibilidad. Elaboración propia.

Clasificación	Nivel de peligro
Insignificante	< 1,0
Bajo	1,0 a 1,5
Medio bajo	1,5 a 2,0
Medio alto	2,0 a 2,25
Alto	2,25 a 2,75
Muy alto	> 2,75

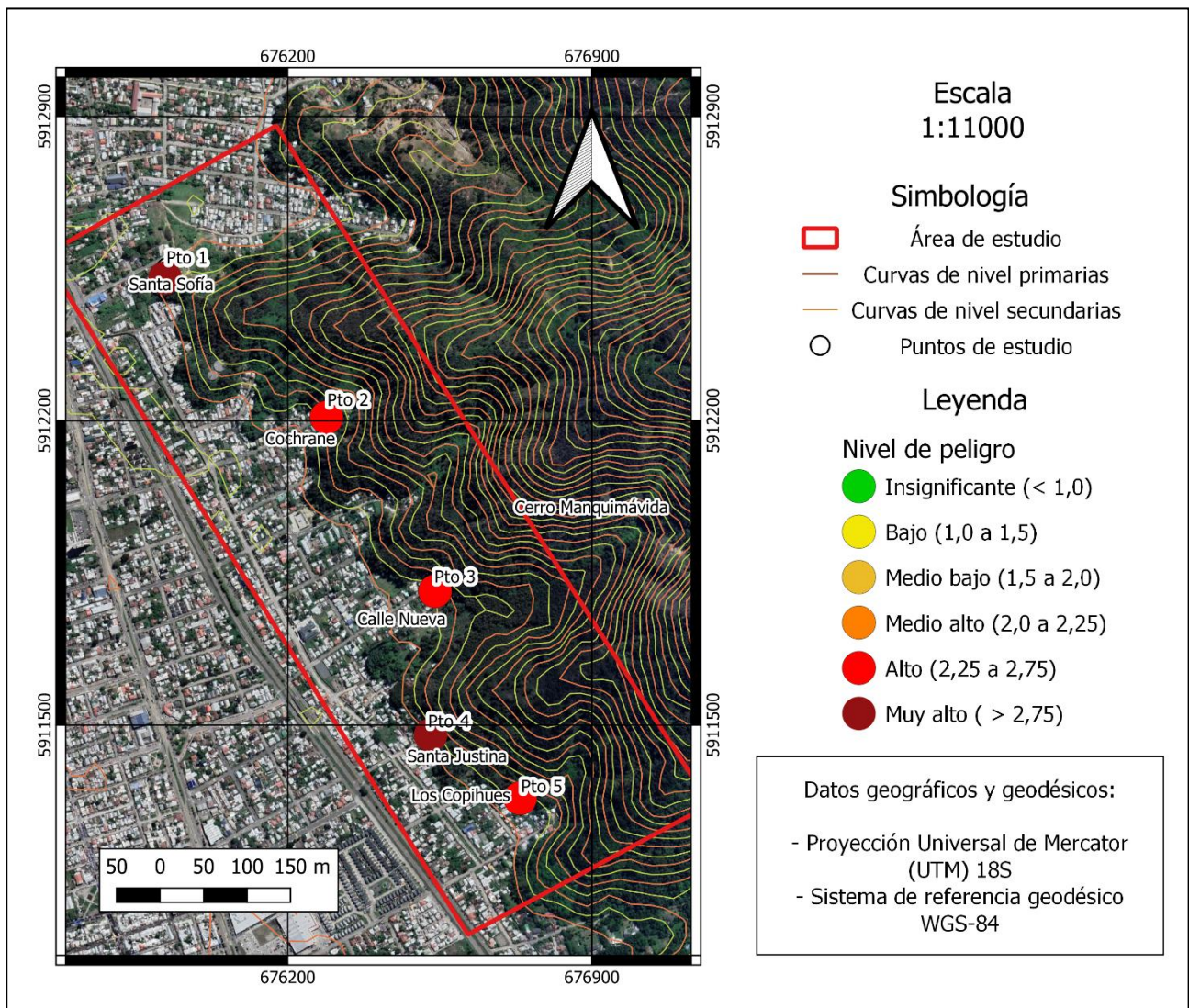


Figura 15: Mapa de susceptibilidad al peligro de movimientos en masa en el área de estudio. Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

5.1. Análisis de resultados de la investigación

Basado en los resultados obtenidos, los factores que condicionan mayormente el peligro de movimientos en masa son, en primer lugar, la geología y meteorización, debido que el cerro está altamente meteorizado lo que provoca que un alto porcentaje de “maicillo”; en segundo lugar, están las pendientes, que en todos los puntos son mayores a 10° , facilitando los procesos gravitacionales. Por lo tanto, estos factores actúan como condicionantes, generando una mayor susceptibilidad a estos procesos.

Por otro lado, están los factores desencadenantes, en este estudio el principal son las precipitaciones ya que como fue mencionado con anterioridad es el desencadenante más común en estos procesos y los eventos en la zona generalmente ocurren en los meses de otoño-invierno (mayo a agosto). A esto también se suma la intervención antrópica, que ha alterado el equilibrio de las laderas, principalmente con el corte de taludes y la edificación sobre laderas, todo ello generalmente sin regulación.

Cabe destacar que, la vegetación puede jugar un rol de factor estabilizador ya que le entrega cohesión al suelo con sus raíces, sin embargo, a veces puede contribuir a la meteorización del suelo producto de las mismas raíces, facilitando el movimiento del terreno.



Finalmente, uno de los mayores factores a considerar, y que dan motivo a estudios de este tipo, son los antecedentes históricos. Los movimientos en masa son procesos de evolución de las laderas constantes y en cierta medida cíclicos, y la recurrencia de este fenómeno en el sector estudiado es muestra de que es un proceso actual y activo, no indiferente al ser humano, sino por el contrario, con potencial de generar pérdida de vidas humanas.

5.2. Recomendaciones de mitigación

Como todos estos puntos estudiados en el cerro Manquimávida han sido clasificados con un peligro alto, es de gran importancia tomar medidas para minimizar los daños. Muchas de estas medidas de mitigación requieren del esfuerzo de la autoridad civil, por ejemplo, inclusión de estudios de peligro en el Plan Regulador de la Comuna, enfocándose en las poblaciones que están aledañas al cerro Manquimávida. Se requiere aumentar, fortificar la fiscalización y regulación para que la población no construya viviendas en lugares peligrosos. En cuanto a los lugares en que la población ya está asentada, se recomiendan realizar estudios específicos tanto a viviendas como a su fundación, monitoreo de la evolución del terreno, e incluso, en los casos más graves, la reubicación de las personas asentadas en lugares peligrosos. Se recomienda también crear un Plan Específico de Emergencia por movimientos en masa, como existe en otras Comunas del país.

Dependiendo de la situación de las laderas y taludes del cerro, y del resultado de los estudios específicos que se recomienda, deben también diseñarse medidas de mitigación de tipo ingenieril, tales como canalización de aguas lluvias, tubos de drenaje, geomallas, revegetación y cunetas, o estructuras de refuerzo, como anclajes, pilotes, muros de contención o la aplicación de hormigón proyectado. El objetivo de estos métodos es eliminar el agua que se encuentre en el cuerpo del talud para así evitar un posible deslizamiento, captar aguas de escorrentías y transportarlas a zonas donde no causen peligro, proporcionar una tensión en la superficie de rotura, lo que aumentará su resistencia al deslizamiento y revestir el talud para la construcción de viviendas.

Cabe mencionar que en el Punto 5 se recomienda hacer un estudio detallado por el basculamiento que existe en los troncos de los árboles, fenómenos que son atribuibles a procesos de remoción en masa lento de tipo reptación. Se debe evaluar la rapidez y dimensiones del movimiento, así como su potencial de generar movimientos rápidos que sean desastrosos.

Finalmente, se necesita educar a la población sobre el peligro de los procesos de remoción en masa, específicamente a las personas que viven a los pies del cerro, preparándolos ante un posible evento y enseñándoles a prevenir alguna acción que pueda desencadenarlos.

6. REFERENCIAS

- Arias C., King, R., Montenegro, J.** (2018). “Modelo conceptual del movimiento en masa del talud ubicado en PK 28+400, ruta 160, Comuna de Lota”. Proyecto de título, Ingeniería Civil Geológica, Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile.
- Artero, I.** (2015, julio 20). *¿Qué es el Shotcrete? - Descúbralo en una infografía.* Putzmeister. <https://bestsupportunderground.com/que-es-el-shotcrete/>
- Basso, M., Martínez, X., Rodríguez, R., Oróstegui, P., García, A.** (2015). Una mirada interdisciplinaria: proceso de remoción en masa en el cerro La Virgen, Concepción, Chile.
- Benito, E., Varela, M., Rodríguez, M.** (2014). “Efectos de los incendios forestales en suelos de Galicia” (Vol. 40). Universidad de La Rioja.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile** (2014). “Chile Nuestro País”.
- Burgos, M., Arias, C., King, R.** (2022). “Evaluación de susceptibilidad de movimientos en masa a partir de un modelo conceptual multivariado en Caleta Lengua, Comuna de Hualpén, Región del Biobío, Chile”. Proyecto de título, Ingeniería Civil Geológica, Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile.
- Campos, F.** (2014). “Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en la Quebrada de los Chanchos, región Metropolitana, Chile”. Tesis de pregrado. Universidad de Chile, Santiago.
- Castillo, M.** (2021). “Análisis de susceptibilidad frente a procesos de remoción en masa para la localidad de Cocholgüe, Región del Biobío, Chile”. Tesis de pregrado. Universidad de Concepción, Concepción.
- Cruden, D.; Varnes, D.** (1996). “Landslides types and processes”. En *Landslides. Investigation and Mitigation* (Turner, A.K.; Schuster, R.L.; editores). Transportation Research Board, National Research Council. p 36-75. Washington.
- Dirección General de Aguas (DGA)** (2022). Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas años 2012 a 2022 [Data set]. En *Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea.*
- Ferraris, F.** (1981). “Mapas geológicos preliminares de Chile: hoja Los Ángeles-Angol escala 1: 250.000 Región del Biobío”. Instituto de Investigaciones Geológicas
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C.** (2002). *Ingeniería Geológica.* Madrid, España. Prentice Hall.
- Hauser, A.** (2000). “Remociones en masa en Chile” (versión actualizada). Santiago de Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería, Subdirección Nacional de Geología.
- Hyndman, D.; Hyndman, D.** (2011). *Natural Hazards and Disasters, Third Edition.* Brooks-Cole Cengage Learning. Canada.
- Inostroza, D., King, R., Montenegro, J.** (2017). “Aplicación del modelo conceptual para procesos de remoción en masa a un talud de la Ruta CH-160, Lota, región del Biobío”. Proyecto de título, Ingeniería Civil Geológica, Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile.
- Mardones, M., Rodríguez, A., Soto, J.** (1994). “Los riesgos naturales en la Comuna de Talcahuano”. *VII Congreso Geológico Chileno.* Vol. 1, p. 653-656. Concepción.
- Mardones M., Echeverría F., Jara C.** (2006). Una contribución al estudio de los desastres naturales en Chile Centro Sur: efectos ambientales de las precipitaciones del 26 de junio del 2005 en el área Metropolitana de Concepción.
- Mardones, M; Rojas, J.** (2012). “Procesos de remoción en masa inducidos por el terremoto del 27F de 2010 en la franja costera de la Región de Biobío, Chile”. *Revista geográfica Norte Grande,* 53: 57-54.

- Meneses, B.** (2019). “Modelamiento hidrogeológico conceptual y caracterización hidroquímica de la Cuenca del Río Biobío, comprendida en la Comuna de Chiguayante, Región del Biobío, Chile”. Tesis de pregrado. Universidad de Concepción, Concepción.
- Naranjo, J; Arenas, M., Ramírez, P.** (2006). “Remociones en Masa causadas por las precipitaciones de los días 9 al 11 de Julio de 2006, en algunos sectores de la provincia de Concepción”. SERNAGEOMIN. Santiago, Chile.
- Núñez, T.** (2022). “Incendios forestales en Chile: fenómenos cada vez más frecuentes, severos y extensos”. *Ladera Sur*. Recuperado de <https://laderasur.com/articulo/incendios-forestales-en-chile-fenomenos-cada-vez-mas-frecuentes-severos-y-extensos/>
- Ramírez, P., Alejano, L.** (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*.
- Ramos, A., Trujillo-Vela, M., Prada, L.** (2015). “Análisis descriptivos de procesos de remoción en masa en Bogotá”. *Obras y Proyectos* 18, 63-75.
- Saaty, T.L.** (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill
- Sepúlveda, S.** (1998). “Metodología para evaluar el peligro de flujos de detritos en ambientes montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, región Metropolitana”. Tesis de pregrado. Universidad de Chile, Santiago.
- SERNAGEOMIN** (2003). “Mapa Geológico de Chile: versión digital”. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión 1.0, 2003). Santiago.
- Vergara, E.** (2020). “Análisis de susceptibilidad de remociones en masa en el área del Embalse Ralco, Comuna de Alto Biobío, Región del Biobío, Chile”. Tesis de pregrado. Universidad de Concepción, Concepción.