

# EVALUACIÓN DE PELIGRO DE MOVIMIENTO EN MASA MEDIANTE UN MODELO CONCEPTUAL, EN LA ESCUELA BÁSICA F - 490, SECTOR CERRO CORNOU, COMUNA DE TALCAHUANO.

*Paulett Olate Carrión<sup>1</sup> César Arias Tapia<sup>2</sup> Matilde Basso Aránguiz<sup>3</sup>*

## RESUMEN:

Los movimientos en masa son un tipo de riesgo geológico posible de prevenir y mitigar a partir de una evaluación de los factores desencadenantes y condicionantes de su ocurrencia, así como de su recurrencia en el tiempo. Este fenómeno es muy común en la zona del Gran Concepción, a la cual pertenece la comuna de Talcahuano, principalmente por su relieve de cerros. Se escogieron tres puntos de interés ubicados en la Escuela Básica F – 490, emplazada en el cerro Cornou, comuna de Talcahuano. Inicialmente se realiza una exhaustiva investigación bibliográfica con el objetivo de recopilar información que permita identificar los factores que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa; esta información se comprueba en visitas a terreno, donde se observa de manera *in situ* los factores a evaluar. Finalmente se evalúa el nivel de peligro presente en la zona, además de brindar recomendaciones para mitigar el riesgo. Se concluye que los puntos estudiados presentan un nivel de peligro de movimiento en masa desde alto a muy alto. Por lo anterior, se recomienda la realización de estudios específicos para implementar obras ingenieriles de contención adecuadas, mantener el control de la vegetación e informar a la comunidad educativa para la prevención y respuesta al peligro de movimiento en masa.

**PALABRAS CLAVES:** Movimientos en masa; Riesgos naturales; Gestión del riesgo de desastre.

## ABSTRACT:

Landslides are a kind of natural Hazard wich can be prevented and mitigated through an evaluation of conditioning and triggering factors of their ocurrence, as well as their occurrence over time. These are a very common phenomenon in Greater Concepción zone, to wich the commune of Talcahuano belongs, mainly due to its relief od hills, Three points of interest are chosen, all of them located in Elementary School F-490 Se escogen tres puntos de interés ubicados en la Escuela Básica F – 490, on Cornou Hill. Initially, and exhaustive bibliographic reaserch is carried out, with the objective of gather information to enable identification of factors contributing to the occurrence of landslides; this information is checked through field work, where the evaluation factors are observed *in situ*. Finally, hazard level in the zone is evaluated, besides delivering recommendations in order to mitigate this hazard. It is concluded that studied points present high to very high landslide hazard level. Because of this, it is recommended to perform specific research in order to implement engineering containment works, mantain vegetation control, and inform the educational community about prevention and response to the landslide hazard.

**KEY WORDS:** Landslides; Natural hazards; Disaster risk management.

<sup>1</sup> Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil Geológica, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [polatec@ing.ucsc.cl](mailto:polatec@ing.ucsc.cl)

<sup>2</sup> Profesor guía, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [cesar.arias@ucsc.cl](mailto:cesar.arias@ucsc.cl)

<sup>3</sup> Profesor informante, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [matildebasso@ucsc.cl](mailto:matildebasso@ucsc.cl)

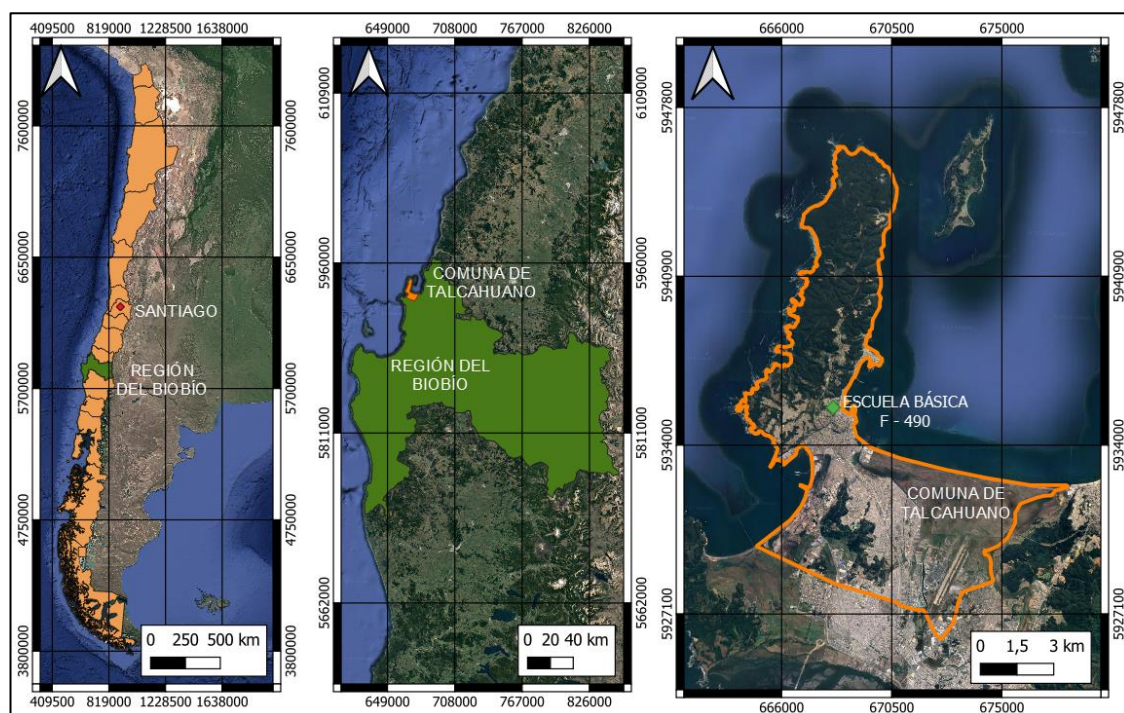
## 1. INTRODUCCIÓN

Se denomina movimientos en masa a aquellos movimientos que transportan material a través de laderas o taludes por efectos de la gravedad, pudiendo tratarse este material de roca, suelo o una mezcla de ambos (Cruden, 1991). Los principales factores desencadenantes de movimientos en masa son las precipitaciones de gran intensidad y los eventos sísmicos (González de Vallejo, 2002), motivo por el cual en Chile es frecuente su ocurrencia, existiendo registro de desastres provocados por este fenómeno desde 1928 hasta la actualidad, dejando un saldo de al menos 1.010 víctimas fatales, de las cuales 854 corresponden a fallecidos y 156 a desaparecidos (Marín *et al.*, 2021).

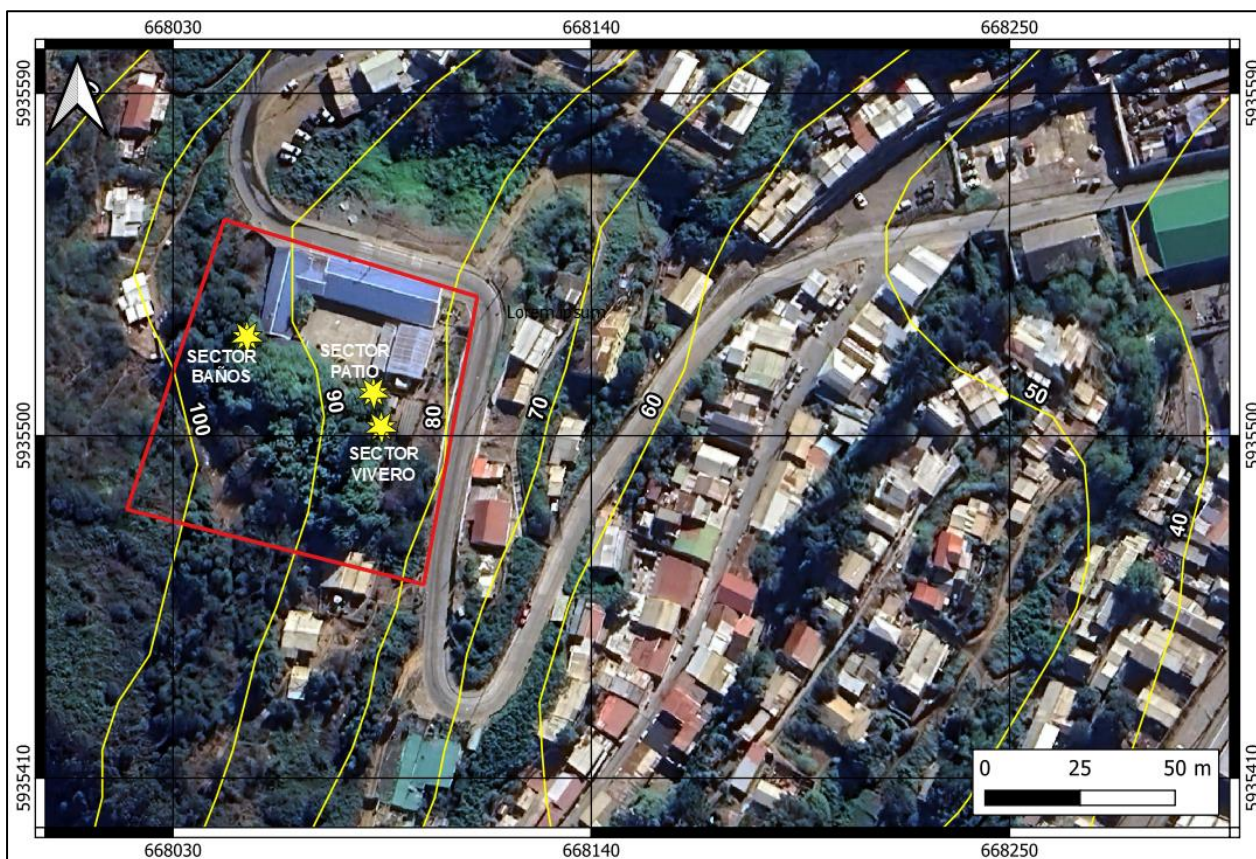
Los movimientos en masa, a diferencia de otros riesgos geológicos, permiten cierto manejo de sus causas, por lo que en general la evaluación de las características de estos fenómenos, de su ocurrencia en el tiempo y de su dependencia con factores desencadenantes y condicionantes, permiten prevenir y mitigar sus efectos sobre la población. Factores que condicionan estos fenómenos, ya sea favoreciendo o previniendo su ocurrencia, son las características físicas del terreno como la geología, geomorfología, entre otros. Es por esto por lo que la realización de estudios de este peligro es de gran importancia y ayuda para la gestión del riesgo de desastres.

La comuna de Talcahuano, ubicada en la región del Biobío, ha mostrado una significativa susceptibilidad a la generación de movimientos en masa, donde estos fenómenos están condicionados principalmente por la geomorfología y la geología de la comuna (Ramírez & Carrasco, 2022). Sepúlveda (2022) indica que se han identificado en esta comuna 12 puntos de movimiento en masa durante los años 1999, 2005, 2006, 2007, 2010, 2019 y 2020, siendo la mayoría de ellos detonados por lluvias, a excepción de aquellos registrados durante el año 2010, asociados al terremoto del 27 de febrero de dicho año.

El área de estudio (Figura 1) se ubica en la comuna de Talcahuano, región del Biobío, a 522 kilómetros al sur de Santiago y 16 kilómetros al oeste de Concepción. Los puntos por evaluar se encuentran ubicados en Cerro Cornou, Talcahuano, junto a la Escuela Básica F-490, ubicada en las coordenadas 18H 668078m E 5935535 m S, donde se evaluarán tres puntos los cuales corresponden a Sector Vivero, Sector Patio, y Sector Baños (Figura 2). Uno de estos taludes sufrió un deslizamiento de suelo el día 26 de julio del 2022, lo que además de provocar daños menores, provoca preocupación por el posible peligro al que está expuesto el establecimiento educacional, al cual asisten 125 estudiantes y 41 docentes y funcionarios (Ramírez & Carrasco, 2022). El acceso al área de estudio es posible desde la zona céntrica de la comuna por la calle Siete de Enero, que lleva al Cerro Cornou, desde donde se llega a la escuela por la calle Veintiocho de Octubre.



**Figura 1:** Ubicación del área de estudio: a) ubicación de la región del Biobío en Chile; b) ubicación de la comuna de Talcahuano en la región del Biobío; c) ubicación del área de estudio en la comuna de Talcahuano. Elaboración propia.



**Figura 2:** Ubicación de los tres puntos a evaluar. Elaboración propia.

El objetivo principal del presente estudio es evaluar el peligro de movimiento en masa de los taludes estudiados. Para conseguir esto, se identifican y caracterizan los factores condicionantes y desencadenantes que contribuyen al peligro de movimiento en masa por medio de un modelo conceptual, estimando el nivel de peligro por dicho fenómeno, y determinando los puntos más susceptibles a movimientos en masa. Finalmente, se recomiendan principios generales de acción para la mitigación del riesgo al que podría estar expuesto el establecimiento educacional.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Definición de conceptos

#### 2.1.1 Conceptos asociados al riesgo

Según la definición del Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (Sinapred) de Chile (Ley 21364, 2021), se entiende como peligro o amenaza a aquellos fenómenos naturales, biológicos o antrópicos que tienen potencial de provocar alguna pérdida, daño o trastorno al ser humano, a infraestructura y servicios, a los modos de vida o al medio ambiente. La misma fuente define el concepto de vulnerabilidad como aquellas condiciones y características físicas, sociales, institucionales, económicas o ambientales que incrementan la susceptibilidad de una persona o comunidad, o de sus bienes, infraestructuras o servicios, a ser afectados por un peligro o amenaza.

Por su parte, se define el riesgo como el producto entre la probabilidad de ocurrencia de una amenaza o peligro, y la vulnerabilidad y exposición (Ayala-Carcedo, 1993). De forma equivalente, otros autores describen el riesgo como la capacidad de daño de un fenómeno en relación al tiempo (Fuentes, 2021) o la cuantificación de vidas perdidas, personas damnificadas, daños en edificaciones, entre otras, que causaría la ocurrencia de desastres (Varnes, 1984).

### 2.1.2 Laderas y taludes

Se define como ladera a una superficie de terreno no horizontal, es decir, que posee una pendiente o cambio de altura significativo, cuyo origen es por procesos naturales (Suárez, 1998). Por su parte, se llama talud a una superficie también con pendientes, pero que tiene origen artificial, es decir, originada por acción directa del hombre.

## 2.2 Movimiento en masa

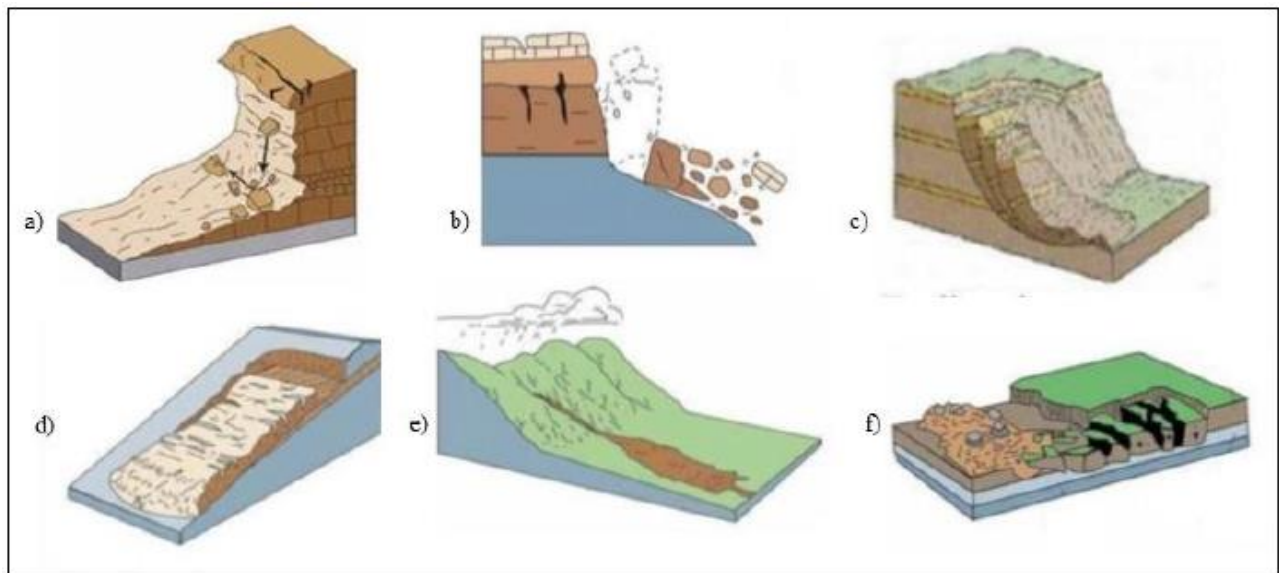
### 2.2.1 Definición

Los movimientos en masa, o también denominados procesos de remoción en masa, remoción en masa, o por el término en inglés *landslide* son todos aquellos movimientos descendentes por efecto de la gravedad de un volumen de material constituido por roca, suelo o detritos (Cruden, 1991).

Estos movimientos se ven afectados por las condiciones que presenta el terreno o el macizo rocoso, así como por condicionantes externos naturales o antrópicos (Cruden, 1991); son movimientos que se originan por la suma y combinación de diferentes factores geológicos, morfológicos, físicos y algunas actividades humanas (Cruden & Varnes, 1996). Estos factores en su conjunto generan condiciones tanto de estabilidad como inestabilidad de un talud o ladera, hasta que al menos uno de estos factores se altere llevando al terreno a un desequilibrio el cual gatilla la ocurrencia de un movimiento en masa (González de Vallejo, 2002). Alguno de los factores más comunes que actúan como detonante del proceso de movimiento en masa, son las precipitaciones y los movimientos sísmicos (Wieczorek, 1996 en Fuentes 2021).

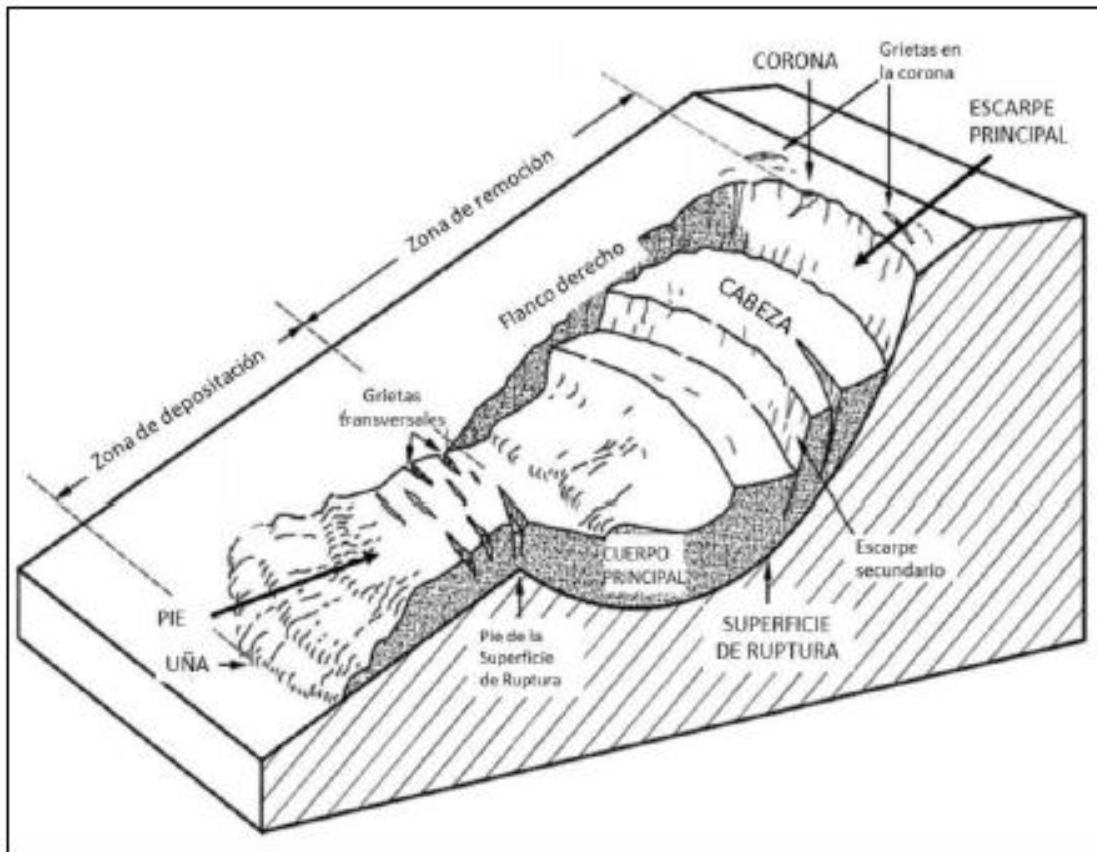
### 2.2.2 Clasificación y Morfología

Los movimientos en masa se pueden clasificar de diferentes maneras, siendo a la fecha la clasificación binomial abreviada de Cruden & Varnes (1996), que a su vez actualiza la clasificación de Varnes (1958 y 1978), el sistema de clasificación más comúnmente utilizada. Esta clasificación cataloga cada evento por su tipo de movimiento y tipo de material. Los tipos de movimientos que se pueden dar son: caídas, deslizamientos, flujos, extensión lateral y volcamientos (Figura 3); mientras que, para el tipo de material, se utilizan las categorías de roca, detritos y tierra.



**Figura 3:** Tipos de movimientos en masa, a) caída, b) volcamiento, c) deslizamiento rotacional, d) deslizamiento traslacional, e) flujo, f) extensión lateral. Modificado de Highland y Bobrowsky, 2008.

Para la morfología básica de estos fenómenos, Cruden & Varnes (1996) proponen un esquema idealizado de las partes de un movimiento en masa, el cual se muestra en la Figura 4.



**Figura 4:** Partes de un deslizamiento (Cruden & Varnes, 1996).

### 2.3 Modelo conceptual de un movimiento en masa

Se llama modelo conceptual a un proceso investigativo y descriptivo de los factores condicionantes de un movimiento en masa, a fin de identificar como contribuye cada uno, como se comporta y evoluciona en el tiempo, y como puede ser llevado al límite de provocar un movimiento; de tal manera, se distingue uno o más factores como desencadenantes (Arias, 2018).

Un modelo conceptual aplicado al estudio de movimientos en masa ayuda a explicar el comportamiento en el tiempo de una ladera o talud de acuerdo con las características físicas, químicas y ambiental de éste; además de explicar cómo actúan los mecanismos que pueden producir o estén produciendo un determinado comportamiento en dicha ladera o talud (Inostroza, 2017). Para poder describir cómo se comporta el movimiento en masa, es necesario conocer los factores condicionantes y desencadenantes de la ladera o talud.

Hauser (1993) menciona que existen ciertos factores que serán condicionantes para la generación de los diferentes tipos de movimiento en masa. Estos factores son los elementos que determinan la estabilidad de una ladera o talud, esto debido a las propiedades naturales por las que están definidos (Fuentes, 2021). Dichos factores son características propias del sector en estudio, las que crean situaciones potencialmente inestables para un talud o ladera, pudiendo ser de tipo geológico, geotécnico, morfológico, físico-químico, y meteorológico (Cruden & Varnes, 1996); otros factores condicionantes menos influyentes que favorecen directa o indirectamente a la estabilidad de un talud, son la vegetación, clima y actividad antrópica (Varnes, 1978; Hauser, 1993). Sepúlveda (1998) indica que los factores mencionados anteriormente, actúan controlando la susceptibilidad de una zona a generar fenómenos de movimientos en masa, donde la susceptibilidad se define como la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de ser afectada por un proceso geológico determinado.

Un factor desencadenante es un factor externo el cual genera un movimiento en masa mediante el rápido incremento de esfuerzos o la reducción de la resistencia del material de una ladera (Wieczorek, 1996 en Fuentes 2021). Son aquellos factores que causan los movimientos en masa ya que alteran las condiciones

de equilibrio del talud o ladera, lo que gatilla la ocurrencia de un movimiento en masa (González de Vallejo *et al.*, 2002).

Dentro de los principales factores desencadenantes encontramos los sismos y las precipitaciones intensas, donde el primer factor suele ser responsable de generar principalmente deslizamientos y caídas; por su parte, el segundo factor usualmente genera o desencadena movimientos de tipo flujos y deslizamientos, sin embargo, ambos factores son capaces de desencadenar todos los tipos de movimientos en masa (Lara & Sepúlveda, 2008).

Uno de los principales factores que se deben considerar, es la geología del área de estudio la cual hace referencia a características del terreno como litología de la roca, estructuras, alteraciones y meteorización presente, y como ésta determina en mayor o menor grado la ocurrencia de movimientos en masa (Vergara, 2020). Los procesos de meteorización están controlados por las condiciones climáticas y sus variables de temperaturas, humedad, precipitaciones, régimen de viento, etc., los cuales determinan el tipo y la intensidad de las transformaciones químicas y físicas que afectan a los materiales rocosos en la superficie (González de Vallejo, 2002). La meteorización es especialmente influyente en la generación de movimientos en masa, pues altera las propiedades de la roca original y la divide en trozos más pequeños, incrementando la inestabilidad; la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, por sus siglas en inglés) propone seis grados de meteorización, desde roca sana hasta suelo residual, que son mostrados en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Escala de evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso según ISRM. Modificado de González de Vallejo (2002).

Grado de meteorización	Tipo	Descripción
I	Fresco	No aparecen signos de meteorización.
II	Ligeramente meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.
III	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
IV	Altamente meteorizado	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura original del macizo rocoso.
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso.
VI	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo y la fábrica del material.

Las características geomorfológicas que condicionan eventos de movimientos en masa son principalmente la topografía escarpada, alta pendiente de laderas, orientación de las laderas, cambios bruscos en los ángulos de pendientes de las laderas, y la extensión y altura de estas (Lara & Sepúlveda, 2008). De esta manera, las zonas más propensas a que ocurran movimientos en masa son en terrenos con pendientes que superen los 15° a 25° de inclinación. Los factores anteriormente mencionados influyen en la velocidad, energía y volumen de posibles movimientos en masa. Cualquier modificación de estos factores puede transformar una ladera estable en inestable y generar movimientos en masa (Popescu, 2002 en Vergara *et al.*, 2020). También es de gran importancia considerar la orientación de la ladera, puesto que esta condiciona la acción de agentes erosivos sobre el terreno como precipitaciones, viento, o humedad y salinidad costera (Henríquez, 2019).

Los principales factores que generan erosión de laderas son las precipitaciones, temperaturas, viento y radiación solar, siendo las precipitaciones el más importante (Lara & Sepúlveda, 2008). González *et al.*, 2002 destacan que las lluvias como factores gatillantes de movimientos en masa se encuentran relacionadas

con su intensidad, duración y distribución. Esto dado que las precipitaciones hacen que el material se sature en agua, disminuyendo la resistencia de éste durante un período de tiempo (Lara & Sepúlveda, 2008 en Henríquez, 2019).

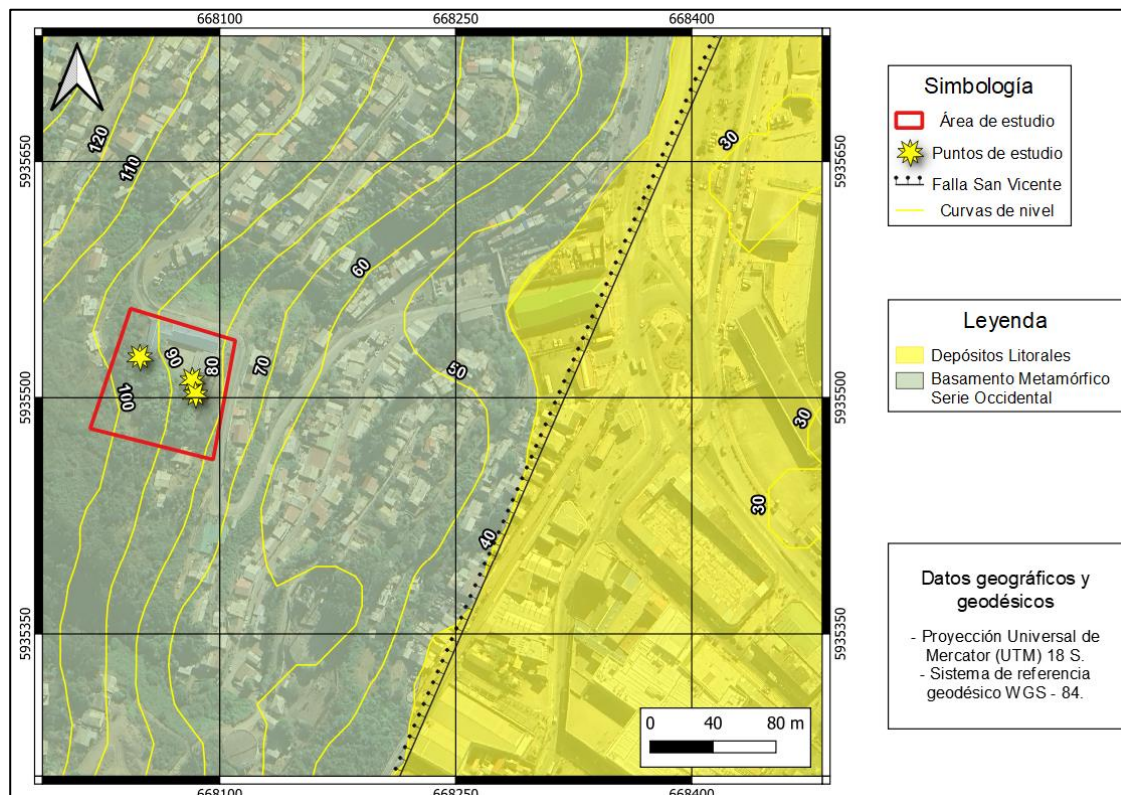
En cuanto a la cobertura vegetal, Prieto (1985) en Lara (2008) establece que la estabilidad dada por la vegetación está fuertemente condicionada por el efecto del clima y topografía, esto dado, por ejemplo, en zonas que sufren fuertes vientos, si la pendiente es fuerte, los árboles generan un efecto de palanca y remueven el terreno provocando su desestabilización. Otro concepto importante que considerar en el rol que cumple la cobertura vegetal, es la evapotranspiración, la cual disminuye el grado de saturación del suelo, produciendo compactación del suelo más profundo (Greenwood & Norris, 2006 en Lara & Sepúlveda, 2008). Por último, Selby (1993) en Lara (2008) menciona que la vegetación ideal para la estabilización de laderas corresponde a bosques con suelos cubiertos de pasto o hierba, lo que ayuda a disminuir la capacidad de erosión provocada por el agua en las laderas, aumentando la resistencia del suelo, su porosidad, y la evapotranspiración.

Por último, también es importante considerar el factor antrópico, puesto que la acción del ser humano en un terreno concreto altera las condiciones del medio natural de éste (González de Vallejos, 2002), siendo muchas veces desencadenante de movimientos en masa, siendo algunos de los ejemplos más importantes, la construcción de estructuras sobrecargando laderas, deforestación, corte o socavación del pie de laderas o taludes, acumulación de escombros, entre otros (Lara & Sepúlveda, 2008).

## 2.4 Características geológicas del área de estudio

### 2.4.1 Litología y meteorización

Las unidades geológicas presentes en la comuna de Talcahuano tienen un amplio rango de edad que van desde el Paleozoico hasta el Cuaternario (Figura 5) (Figueroa, 2020). El plan por amenaza “Procesos de Remoción en Masa” de la comuna de Talcahuano (Ilustre Municipalidad de Talcahuano, 2023) indica que dichas unidades son de tipo sedimentario en el centro de la comuna, y metamórficos e intrusivo en forma de pequeños stocks en la zona norte que pueden visualizarse en Caleta Tumbes. Estructuralmente, se tiene que el área de la comuna de Talcahuano corresponde a un horst, conformado por la península de Tumbes y limitado por la falla San Vicente, y una fosa tectónica en el sector de la comuna más plano y de menor cota (Quezada *et al.*, 1997).



**Figura 5:** Mapa geológico del área de estudio. Modificado Mendoza, 2001.

Las rocas más antiguas en esta área corresponden a rocas metamórficas de la serie Occidental (Aguirre *et al.*, 1972 en Ramírez & Carrasco, 2022) que corresponden a filitas y esquistos micáceos con desarrollo de deformación dúctil y presencia de bandas de cuarzo.

Los depósitos litorales corresponden en su mayoría a arenas de tamaño medio a grueso, con colores que varían desde el castaño a gris oscuro. El origen de estos depósitos está relacionado a procesos de meteorización, erosión y depositación de origen fluvial, costero, aluvial y eólico (Figuroa, 2020).

La comuna Talcahuano, por sus características geográficas, se encuentra expuesto a gran variedad de procesos de meteorización, erosión, transporte y sedimentación, tales como viento, radiación solar, precipitaciones, escorrentía superficial, oleaje y humedad costera, los cuales meteorizan y erosionan las rocas originando así suelos residuales de espesor y composición variable, y que conforman el material más común de movimiento en masa (Ilustre Municipalidad de Talcahuano, 2023).

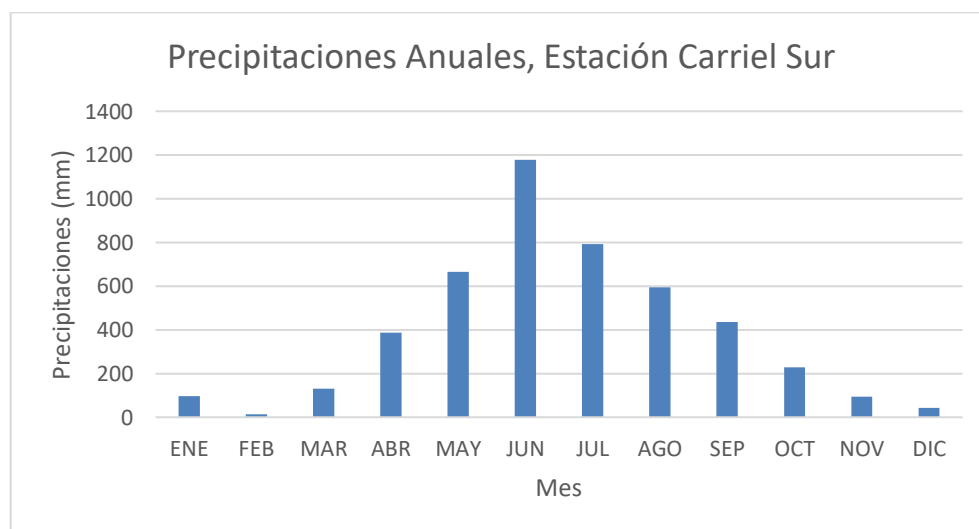
#### 2.4.2 Geomorfología

Figuroa (2020) indica que Talcahuano se compone de una terraza de abrasión marina representada por la Península de Tumbes y una extensa fluviocostera en las zonas de baja topografía de la comuna. En dicha llanura emergen cerros islas estructurados en rocas sedimentarias, cuyas altitudes se encuentran entre los 60 y 95 metros con laderas de pendiente considerables (Gajardo, 1981 en Figuroa, 2020).

La Península de Tumbes, en cuyo borde sur se encuentra el Cerro Cornou, y por tanto el área de estudio, corresponde a un macizo rocoso elongado en dirección N-S, el cual fue alzado por la Falla de San Vicente, y se compone de cerros de cimas aplanada con alturas de hasta 190 m s.n.m cortados por quebradas (Ramírez & Carrasco, 2022)

### 2.5 Características meteorológicas del área de estudio

Rioseco y Tesser (2015) en Rodríguez (2022) señalan que la comuna de Talcahuano posee un clima templado cálido con lluvias invernales y alta humedad atmosférica. Además, indican que la temperatura media del mes más cálido no supera los 22°C y existen al menos cuatro meses con temperaturas medias que superan los 10°C. Por su parte, Naranjo *et al.* (2005) sostiene que la zona presenta una concentración de precipitaciones durante los meses de mayo a agosto, mientras que los meses más secos van desde diciembre a marzo. También menciona, que la ocurrencia de períodos muy lluviosos es un factor desencadenante de movimientos en masa, al ocurrir precipitaciones diarias superiores a 80 mm y/o la acumulación de lluvias en tres días consecutivos sobre los 100 mm. Por su parte Figuroa (2020) indica que las precipitaciones medias anuales llegan a los 1.132 mm, siendo el mes de junio el más lluvioso (Figura 6) alcanzando casi los 250 mm, mientras que en los meses desde mayo a agosto se concentra más del 60% de las precipitaciones. Además, el anuario climatológico de la Dirección Meteorológica de Chile (2018) indica que la humedad relativa de la zona ronda los 66% en verano y supera un 80% en invierno.



**Figura 6:** Precipitaciones anuales, Estación Carriel Sur (2018 - 2023). Elaboración propia.



## 2.6 Cobertura Vegetal

Al sur de la región del Biobío se encuentra el bosque templado higromórfico, principalmente en la Cordillera de la Costa y en la precordillera andina, donde predominan especies como el roble (*Nothofagus obliqua*), el ciprés (*Austrocedrus chilensis*), y en los sectores con mayor altura es posible encontrar roble y mañío; además, está acompañado por un denso sotobosque formado por canelo (*Drimys winteri*), olivillo (*Aextoxicon punctatum*), avellano (*Gevuina avellana*) y especies menores como el copihue, quila y ulmo (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile/2016). No obstante, la cobertura de vegetación nativa se ve alterada por dos acciones antrópicas: la urbanización y la introducción de especies foráneas de uso comercial, como pino (*Pinus radiata*), eucalipto (*Eucaliptus globulus*) y aromos (*Acacia dealbata* y *Acacia melanoxylon*). Por su parte, el principal tipo de vegetación que se da en la parte plana de la comuna de Talcahuano, y cerros islas corresponden en su mayoría a bosques, matorrales, pastizales, plantación, praderas y renoval abierto (Castillo, 2016).

## 2.7 Impacto antrópico

Los factores antrópicos más comunes se relacionan a la expansión urbana que ocupa las unidades físicas marginales, particularmente laderas de cerros con pendientes en equilibrio precario y humedales (Mardones & Roja, 2012).

Con relación a lo anterior, en la comuna de Talcahuano, hay un total de 894 familias que tienen un alto porcentaje de sus viviendas emplazadas en laderas de cerro, que de acuerdo con el Plan Regulador no son aptas para el uso habitacional o bien requieren obras de infraestructura para contener sitios, vías y viviendas (Ilustre Municipalidad de Talcahuano, 2018).

## 2.8 Antecedentes históricos de movimientos en masa en el área de estudio

En la comuna de Talcahuano se han identificado 12 puntos de movimiento en masa desde el año 1991 al año 2020, donde los eventos que se identifican ocurrieron en los años 1999, 2005, 2006, 2007, 2010, 2019 y 2020, donde los eventos registrados en el año 2010 se asocian a movimientos en masa cosísmicas ocurridas durante el terremoto del 27 de febrero de dicho año (Sepúlveda, 2022).

Desde el año 2010 al 2022 se documentaron 10 informes técnicos por parte de Sernageomin, donde los principales desencadenantes de movimientos en masa son las precipitaciones ocurridas durante los meses de invierno y por eventos sísmicos (Ramírez & Carrasco, 2022). En agosto del 2022 el municipio de Talcahuano registró cinco eventos de movimientos en masa ocurridos entre los días 15 y 16 en diversos sectores de la comuna. Por último, al 31 de julio del 2023 han ocurrido 12 eventos de movimiento en masa en la comuna de Talcahuano (Ilustre Municipalidad de Talcahuano, 2023).

## 2.9 Análisis Jerárquico Multivariado

El proceso de análisis jerárquico de Saaty (1980) es un método que ayuda a plantear de forma más ordenada una problemática, ya que permite estructurar, relacionar y analizar de mejor manera la información de dicho problema de múltiples criterios, a los cuales el investigador otorga pesos ponderados que representan su nivel de importancia en tal efecto final, para luego ser enfrentados a través del uso de una matriz de comparación variada (Tabla 2). En este caso, es de utilidad para analizar los factores condicionantes y desencadenantes los que ayudan a que ocurra un movimiento en masa.

**Tabla 2:** Escala de Saaty. Modificada de Saaty (1980).

Escala numérica	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio
3	El elemento es moderadamente más importante respecto al otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro
5	El elemento es fuertemente más importante respecto al otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro
7	La importancia del elemento es muy fuerte respecto al otro	Un elemento domina fuertemente
9	La importancia del elemento es extrema respecto al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	

### 2.9.1 Matriz de decisión

Posterior a la comparación de los criterios, y una vez definido el valor de cada uno de ellos, se procede a realizar la matriz de decisión (Tabla 3), la cual corresponde a una matriz cuadrada que tiene como objeto obtener una ponderación de cada factor a analizar. Dicha ponderación es expresada en porcentaje, el cual para este estudio indicaría la importancia que tiene cada factor en la generación de un potencial movimiento en masa.

**Tabla 3:** Matriz de decisión. Modificada de Saaty (1980).

Variables (A/B)	X1	X2	...	Xn
X1	1	i12	...	i1n
X2	i21	1	...	i2n
...	...	...	...	...
Xn	in1	in2	...	1

Una vez obtenidos los valores que se le asignan a cada factor en la matriz de decisión, se calcula el valor propio ( $W_n$ ) de estos, para así obtener las ponderaciones de cada factor a comparar. Este valor propio ( $W_n$ ) se calcula mediante la siguiente expresión (Ecuación 1):

$$W_n = \left( \frac{i_{1n}}{i_{11}} \times \frac{i_{1n}}{i_{12}} \times \dots \times 1 \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

Donde:  $i_n$  corresponde a los factores de la matriz, y  $n$  al número de factores.

Luego del cálculo de  $W_n$ , se realiza el cálculo del valor propio normalizado ( $C_n$ ), que no es más que la ponderación final para cada factor, cuyo valor se obtiene mediante la siguiente expresión (Ecuación 2):

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

Donde:  $W$  corresponde al valor propio de cada factor,  $W_n$  es la sumatoria de los valores propios.

Luego se procede a determinar el índice de consistencia (CI), el cual busca, como su nombre lo dice, que los valores sean consistentes y para eso CI debe ser igual a cero. Este término entonces evalúa si los pesos que se le otorgó a cada variable son o no consistentes, y para eso se usa la siguiente expresión (Ecuación 3):

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Donde:  $m\acute{a}x$  es el máximo valor propio, y  $n$  el tamaño de la matriz de decisión.

Finalmente, se realiza el mapa de susceptibilidad a movimiento en masa de la zona a partir de la ecuación 4. Dicho mapa se realiza una vez que los valores de las ponderaciones obtenidas son aceptables.

$$Y = C1 \times X1 + C2 \times X2 + \dots + Cn \times Xn \quad (4)$$

Donde:  $Y$  corresponde a la peligrosidad,  $Xn$  los criterios que intervienen en la investigación y  $Cn$  la ponderación que entrega la matriz.

### 3. METODOLOGÍA

Esta investigación se llevará a cabo bajo tres tareas principales: investigación bibliográfica, investigación en terreno y utilización de Software.

#### 3.1 Investigación bibliográfica

La investigación bibliográfica consiste en la revisión de diferentes documentos ya sean digitales o físicos de literatura de movimientos en masa. Esta investigación se apoya en estudios de revistas, memorias, literatura, revisión de mapas geológicos y mapas de riesgos de remoción en masa que puedan existir en la zona de estudio, además de apoyarse con las imágenes satelitales obtenidas por el software Google Earth. Adicionalmente se hace un estudio exhaustivo de los eventos de movimientos en masa ocurridos en el gran Concepción, para lograr identificar patrones y tendencias en la ocurrencia de estos fenómenos.

#### 3.2 Investigación en terreno

Se realizan visitas a la zona de estudio con la finalidad de observar y corroborar la información obtenida en la investigación bibliográfica. Una vez en terreno se efectúan mediciones de pendientes de cada talud, se caracterizan y reconocen las unidades de roca y suelo, se observa la cobertura vegetal que hay en la zona, además de buscar evidencia que indique la ocurrencia de movimientos en masa en el lugar. Por último, se realizan pequeñas entrevistas al equipo docente del establecimiento con el fin de obtener información tanto de los movimientos en masa que puedan haber ocurrido, como de la acción antrópica que hay en la zona.

#### 3.3 Utilización de Software

El trabajo en software permite realizar los mapas de peligro de movimientos en masa, asignando las zonas de peligro bajo, medio y alto para la zona de estudio. Este análisis se llevará a cabo con el software QGIS donde previo al trabajo computacional se descarga un Modelo Digital de Terreno del lugar (DEM por sus siglas en inglés) que permite conocer entre otras cosas las curvas de nivel del terreno. Una vez obtenido el DEM se trabaja directamente en QGIS donde se crean diferentes archivos de tipo shapefile y ráster, estos archivos permiten clasificar el área según el grado de peligrosidad del sector clasificándose en zonas de peligrosidad baja, media y alta.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Modelo conceptual

Este proceso consiste en elegir una cierta cantidad de criterios a comparar, donde para efectos de este documento, se describirán los factores mencionados en el marco teórico del modelo conceptual, los cuales corresponden a litología y meteorización, geomorfología, vegetación, precipitaciones y factor antrópico de los taludes ubicados en la Escuela Básica F – 490, junto con los antecedentes históricos de la zona.

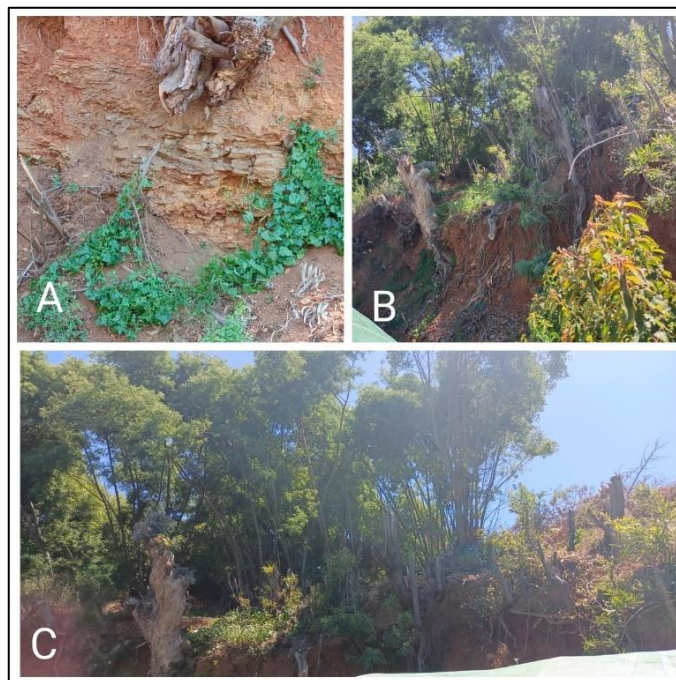
#### 4.1.1 Características meteorológicas generales del área de estudio

En agosto de 2022 se presentaron varios movimientos en masa, los cuales se gatillaron por las intensas precipitaciones generadas durante el mes de julio y agosto de dicho año, donde las precipitaciones registradas en la estación Carriel Sur de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), da un valor acumulado mensual de 220.5 mm (Ramírez & Carrasco, 2022). Dentro de las precipitaciones más importantes del 2022, fueron las ocurridas durante el 5 al 17 de agosto, las cuales alcanzaron una acumulación total de 144.7 mm en dicho período (Ramírez & Carrasco, 2022).

La estación meteorológica de Punta Parra de Agromet, ubicada en dicha localidad, registró máximos diarios de hasta 37 mm el 16 de agosto de dicho año, mientras que la estación Carriel Sur de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), ubicada en el aeropuerto de Talcahuano, registró el 15 de agosto el máximo diario de 41 mm (Ramírez & Carrasco, 2022). Ahora bien, según los datos entregados por la estación Carriel Sur de la DMC, las precipitaciones mensuales que se dieron durante agosto del 2022 estuvieron 40 mm por debajo de la media de los últimos 57 años y al comparar la precipitación anual a la fecha existe un déficit de 16%.

#### 4.1.2 Punto 1: Sector Vivero

El Punto 1 corresponde a un macizo rocoso el cual se encuentra completamente meteorizado, donde de acuerdo con la escala de meteorización (Tabla 1), tiene un grado de meteorización V la cual corresponde a un macizo rocoso completamente descompuesto y transformado en suelo, donde se conserva la estructura original del macizo (Figura 7 A). Este talud posee una pendiente mayor a  $50^\circ$  (Figura 7 B), donde dicha inclinación favorece a la generación de movimientos en masa. En cuanto a la cobertura vegetal que se da en este sector se puede observar que, a pesar de tener vegetación escasa, dejando expuesto al talud a agentes erosivos, la vegetación que se presenta ayuda al soporte del terreno, donde por una parte tenemos vegetación de tipo enredadera y raíces que si bien hay partes que están expuestas, hay otras que están ancladas al terreno (Figura 7 C).



**Figura 7:** Punto 1, Sector Vivero. A) Macizo rocoso completamente meteorizado. B) Pendiente del talud. C) Cobertura vegetal. Elaboración propia.

Este talud tiene una orientación al este, dejándolo más expuesto al viento, sol y precipitaciones, donde esta última ha sido el responsable de la generación de movimientos en masa en la zona de estudio. Por último, en cuanto a la intervención antrópica se tiene que en el año 2022 aproximadamente, se hizo un corte al talud para poder emplazar al pie de este (Figura 8) un vivero (Figura 9 A) y una caseta (Figura 9 B).



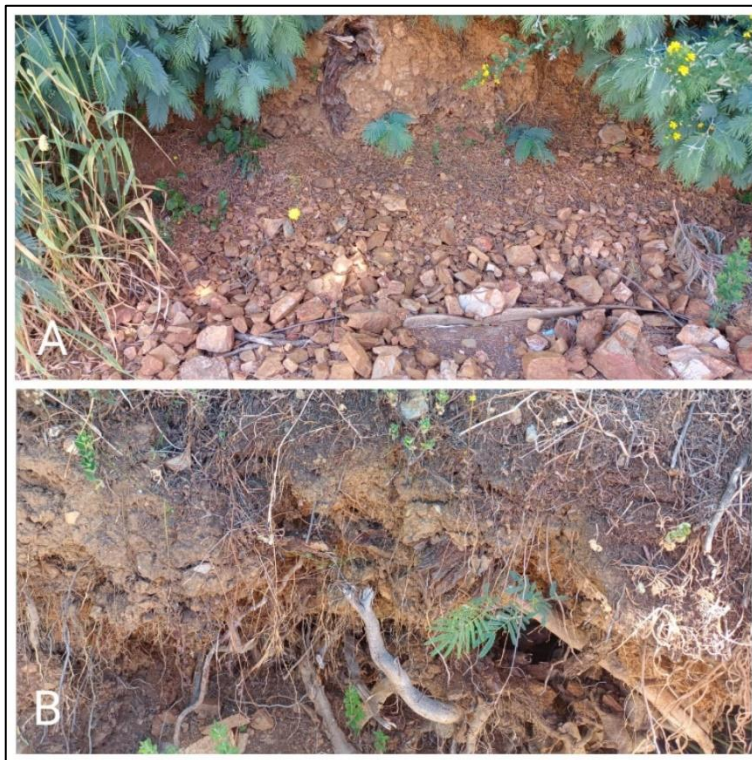
**Figura 8:** Intervención antrópica Sector Vivero, Escuela Básica F - 490. Elaboración propia.



**Figura 9:** Punto 1, Sector Vivero. A) Vivero, B) Caseta. Elaboración propia.

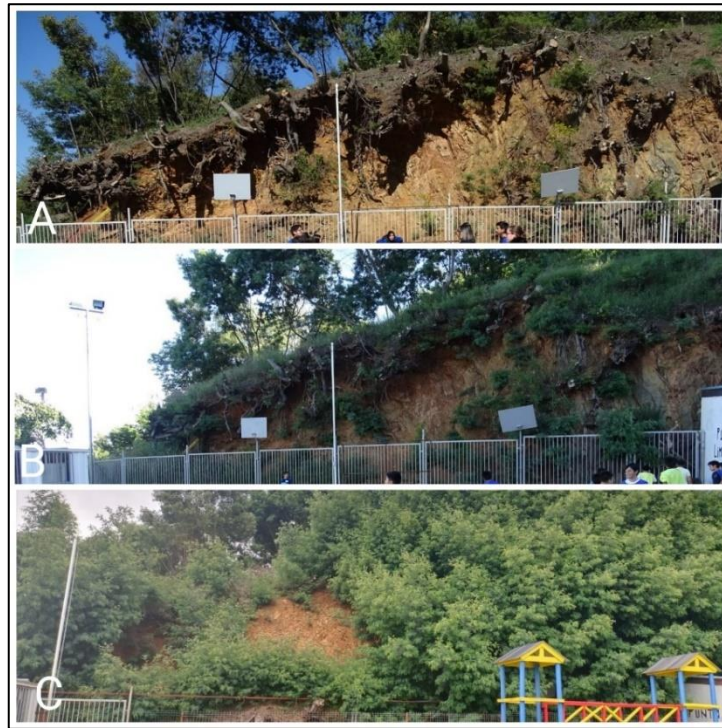
#### 4.1.3 Punto 2: Sector Patio

El Punto 2 corresponde a un macizo rocoso completamente meteorizado (Figura 10), el cual de acuerdo con la escala de meteorización (Tabla 1), tiene un grado de meteorización V que corresponde a un macizo rocoso completamente descompuesto y transformado en suelo donde se conserva la estructura original del macizo rocoso. La pendiente de este talud tiene una inclinación entre los 40 y 50° y una orientación en dirección norte.

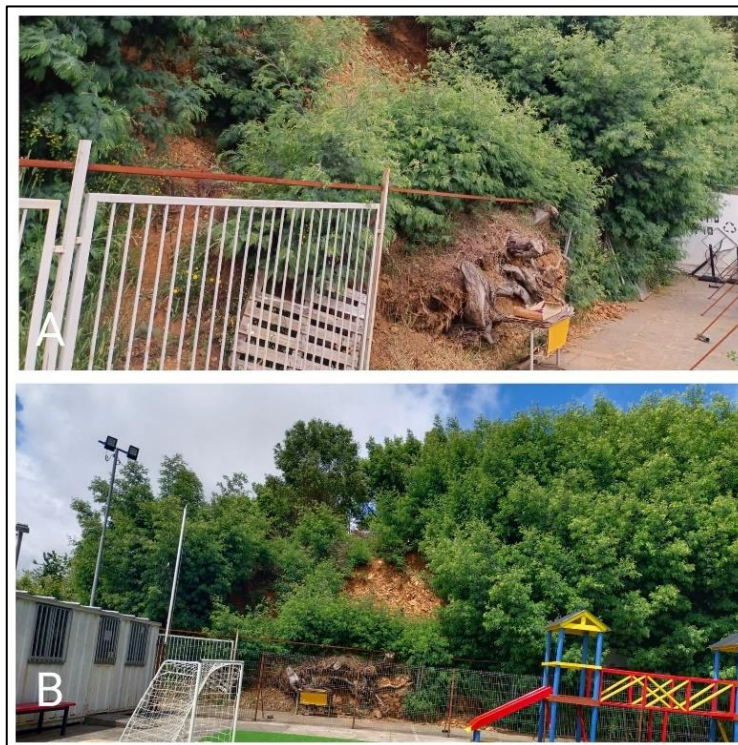


**Figura 10:** Meteorización macizo rocoso Sector Patio, Escuela Básica F - 490. Elaboración propia.

El tipo de vegetación que se da en este punto ayuda a la ocurrencia de movimientos en masa, esto dado que hay una gran cantidad de árboles de tipo aramo, de gran altura y con sus raíces expuestas por erosión y movimientos ocurridos. En cuanto a la acción antrópica, en el sector cada cierto tiempo, usualmente 1 vez al año o cada 2 años, se realiza poda de los árboles (Figura 11), controlando la sobrecarga que estos producen, pero dejando expuesto el terreno a los agentes erosivos como el viento, sol, y precipitaciones. Además, se instaló una cerca metálica en el pie del talud en el año 2018 aproximadamente, con la finalidad de impedir el paso de los niños al cerro, ya que este sector es parte del área de recreación de los alumnos. Esta estructura sirvió para amortiguar el impacto del movimiento en masa que se generó en el invierno del año 2022 producto de las intensas precipitaciones, reteniendo una parte significativa del material removido (Figura 12 A). Por último, luego del deslizamiento se realizó una nueva cerca, a 1 metro de distancia aproximadamente de la antigua, como es posible ver en la Figura 12 B.



**Figura 11:** Cobertura vegetal y factor antrópico Sector Patio, Escuela Básica F - 490. A) Talud año 2018, B) Talud año 2019, C) Talud año 2023. Elaboración propia.



**Figura 12:** Factor antrópico Sector Patio, Escuela Básica F - 490. A) Material acumulado al pie del talud. B) Nueva cerca metálica. Elaboración propia.

#### 4.1.4 Punto 3: Sector Baños

El talud ubicado en el Sector Baños corresponde a un macizo rocoso altamente meteorizado (Figura 13), con grado de meteorización IV de acuerdo con la escala de meteorización (Tabla 1), donde más de la mitad del macizo aparece descompuesto y transformado en suelo.



**Figura 13:** Meteorización macizo rocoso Sector Baños, Escuela Básica F - 490. Elaboración propia.

En cuanto a su morfología, este talud se caracteriza por tener una gran altitud con una pendiente mayor a los 50° de inclinación, orientado al noroeste, con bastantes árboles en la corona del talud, donde muchos de ellos presentan basculamiento (Figura 14), además de raíces que atraviesan y ensanchan las fracturas de la roca a lo largo del talud como es posible apreciar en la Figura 15.



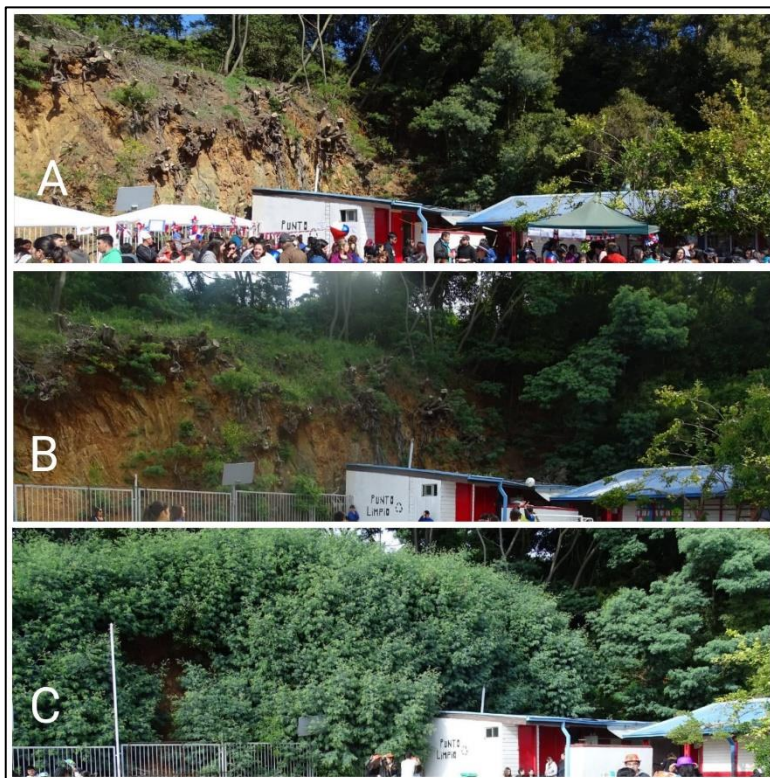
**Figura 14:** Basculamiento de árboles en el Sector Baños, Escuela F - 490. Elaboración propia.





**Figura 15:** Roca diaclasada por vegetación, Sector Baños Escuela F - 490. Elaboración propia.

En cuanto a la acción antrópica que existe en el sector, se tiene la tala de árboles con la misma frecuencia que en el Punto 2, además de la construcción de los baños del establecimiento justo al pie del talud, tal como se puede apreciar en la Figura 16.



**Figura 16:** Talud Sector Baños, Escuela Básica F - 490. A) Talud año 2018. B) Talud año 2019. C) Talud año 2023. Elaboración propia.

En cuanto a los antecedentes históricos el 11 de septiembre del 2023, producto de la gran altura de los árboles, el sector sufrió la caída de uno de ellos de aproximadamente 5 metros de altura y un diámetro

aproximado de 15 a 20 centímetros, además de constantes pequeñas caídas de rocas las cuales quedan retenidas entre la parte trasera de los baños y el pie del talud, cómo es posible apreciar en la Figura 17.



**Figura 17:** Acumulación del material caído del talud Sector Baños. Escuela Básica F - 490. Elaboración propia.

## 4.2 Evaluación del peligro

La evaluación del peligro del sector se realiza mediante un proceso de análisis jerárquico, en el cual se evalúan los factores de litología y meteorización, pendientes, orientación, precipitaciones, efecto de cobertura vegetal y factor antrópico. Dichos factores se evaluarán a partir de una matriz de comparación de variables, en el cual se le otorga un valor de importancia al compararlas entre sí y la influencia que tiene en la ocurrencia de movimientos en masa, ordenando las filas y columnas desde el factor con mayor importancia al de menor importancia tal como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4:** Matriz de comparación de variables. Elaboración propia.

Factor	Litología y meteorización	Pendiente	Cobertura vegetal	Orientación	Precipitaciones	Factor antrópico
Litología y meteorización	1,00	1,00	1,00	4,00	3,00	6,00
Pendiente	1,00	1,00	2,00	3,00	2,00	3,00
Cobertura vegetal	1,00	0,50	1,00	3,00	2,00	3,00
Orientación	0,25	0,33	0,33	1,00	3,00	5,00
Precipitaciones	0,33	0,50	0,50	0,33	1,00	3,00
Factor antrópico	0,17	0,33	0,33	0,20	0,33	1,00

Posterior a la confección de la matriz de comparación de variables se realiza la tabla de valores propios y ponderaciones obtenidas (Tabla 5), esto con la finalidad de estimar los porcentajes de importancia que tiene cada factor en la generación de movimientos en masa con respecto a los demás factores.

**Tabla 5:** Valores propios y ponderaciones obtenidas. Elaboración propia.

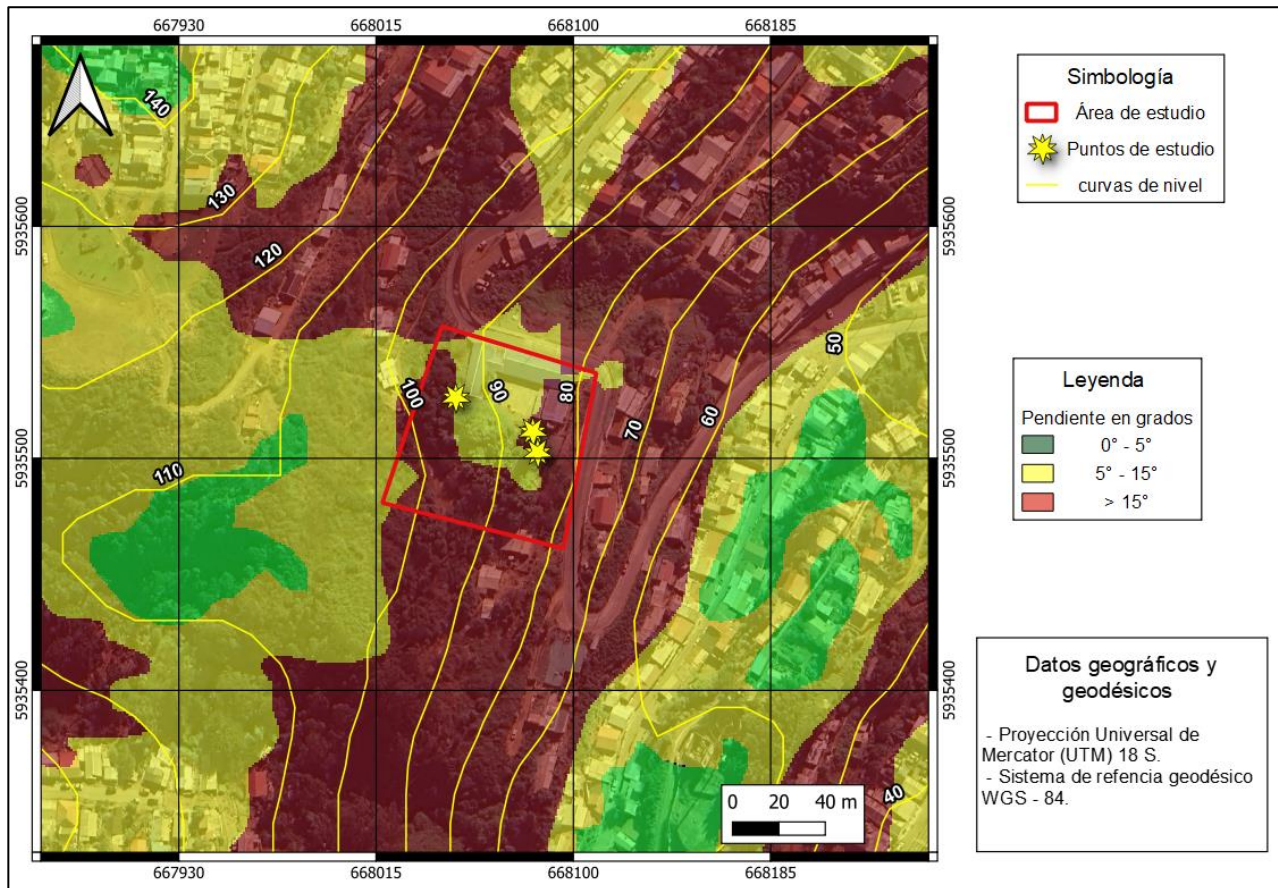
Factor	Valor propio ( $W_n$ )	Valor propio normalizado ( $C_n$ )	Peso ponderado
Litología y meteorización	2,04	0,29	29 %
Pendiente	1,82	0,25	25 %
Cobertura vegetal	1,44	0,20	20 %
Orientación	0,86	0,12	12 %
Precipitaciones	0,66	0,09	9 %
Factor antrópico	0,33	0,05	5 %

Una vez obtenidos los pesos ponderados, se otorgan valores a los factores de cada talud (Tabla 6), cuyo valor indica el nivel de peligro que tiene cada factor en la ocurrencia de movimientos en masa. Estos valores van del 1 al 3 indicando, 1 “peligro bajo”, 2 “peligro medio” y 3 “peligro alto”.

**Tabla 6:** Nivel de peligro para cada factor. Elaboración propia

Factor		Punto 1	Punto 2	Punto 3
Litología y meteorización	Peligro	3	3	3
	Justificación	Roca completamente meteorizada	Roca completamente meteorizada	Roca altamente meteorizada
Pendiente	Peligro	3	3	3
	Justificación	Entre 40° y 50°	Mayor a 45°	Mayor a 50°
Cobertura vegetal	Peligro	1	3	3
	Justificación	Escasa, no dañina	Moderada a escasa, dañina	Escasa, dañina
Orientación	Peligro	3	3	3
	Justificación	Norte a Noreste	Suroeste a Norte	Suroeste a Norte
Precipitaciones	Peligro	3	3	3
	Justificación	> 100 mm	> 100 mm	> 100 mm
Factor antrópico	Peligro	3	2	1
	Justificación	Intervención significativa	Intervención moderada	Sin intervención

Se considera la litología y meteorización como el factor más importante, y con el máximo nivel de peligro ya que el grado de meteorización que presenta en general la zona es alto, donde es posible ver que la mayor parte del área corresponde casi en su totalidad a suelo. Por su parte, a las pendientes también se les otorgó el máximo nivel de peligro, ya que los taludes presentan pendientes abruptas superando los 25° (Figura 18) de inclinación, que es el valor que muchos autores coinciden en que es más propenso a que ocurran movimientos en masa.



**Figura 18:** Mapa de pendientes del área de estudio. Elaboración propia.

La cobertura vegetal por su parte también cumple un rol importante en la posible generación de movimientos en masa en el área estudiada, en especial por el crecimiento de los árboles introducidos, teniendo en su mayoría un alto nivel de peligro, donde como es posible apreciar en la tabla anterior, a pesar de tener dos taludes con vegetación escasa (Punto 1 y Punto 3), hay un sector donde la vegetación cumple un rol estabilizador y en otro ayuda a la generación de movimientos en masa.

En cuanto a la orientación y las precipitaciones se tiene que para el caso de las precipitaciones, todos los puntos estudiados tienen un nivel de peligro alto, ya que por el clima que se da en la zona, se presentan meses muy lluviosos lo cual ayudan a la ocurrencia de movimientos en masa; cabe destacar también que los eventos ocurridos en el sector se han dado en meses de invierno. Ahora, en cuanto al nivel de peligro que se le otorga a la orientación tiene directa relación en como afectan los agentes erosivos a cada talud, es por esto que todos los puntos evaluados presentan el máximo nivel de peligro, ya que tienen orientación que van desde el suroeste al noreste.

Por su parte, el último factor a considerar en la evaluación del peligro de movimiento en masa corresponde al factor antrópico, el cual ha sido una constante a lo largo de la historia de la escuela, ya que cada cierto tiempo, una vez al año aproximadamente, se realiza el corte de árboles dejando desprotegido la cara del talud.

Por último, con el peso ponderado y el nivel de peligro asignado a cada factor y a partir de los rangos de nivel de peligro (Tabla 7), se obtiene la ponderación final para cada talud como se muestra en la Tabla 8.

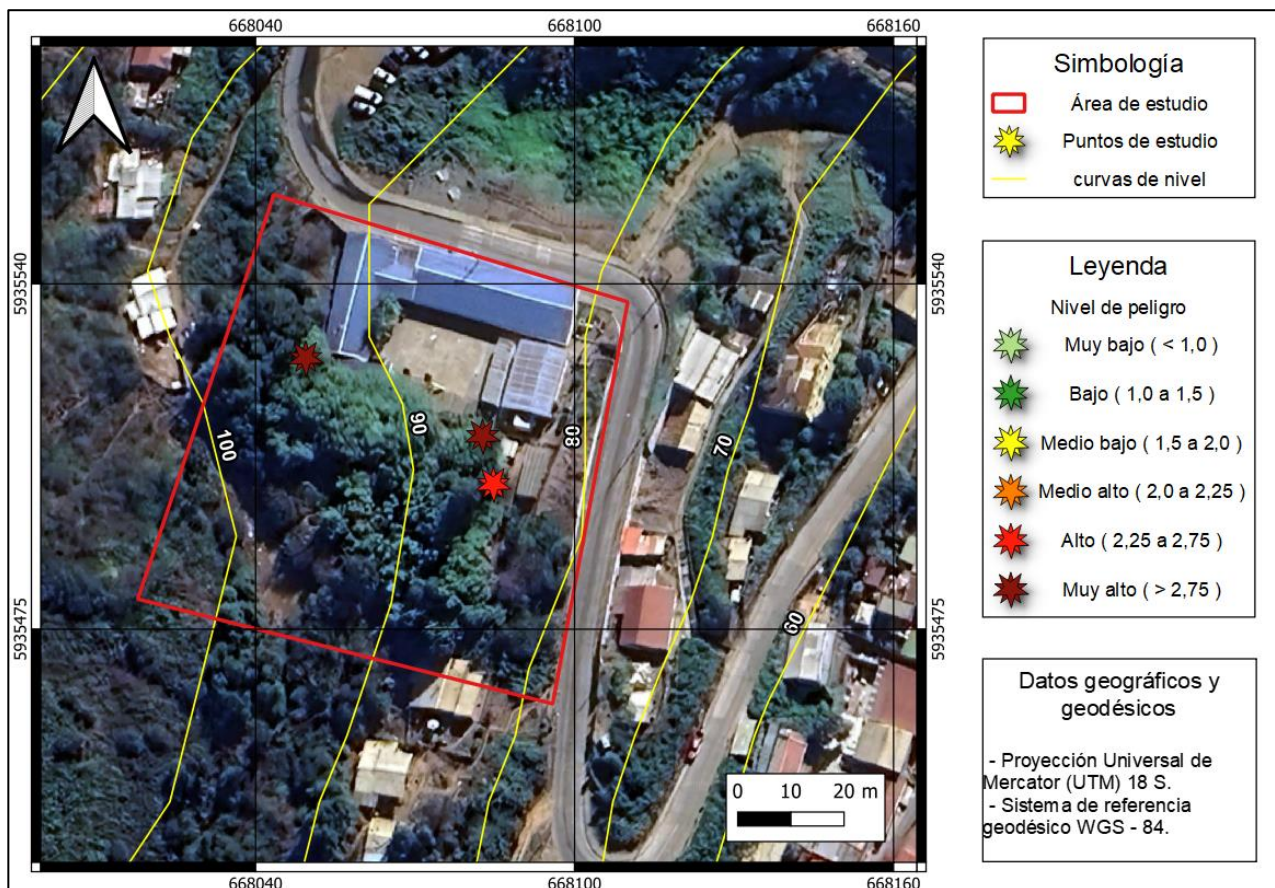
**Tabla 7:** Rango de susceptibilidad. Elaboración propia.

Clasificación	Nivel de peligro
Muy bajo	< 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

**Tabla 8:** Ponderación de peligro por punto. Elaboración propia.

Punto	Ponderación	Nivel de peligro
Punto 1: Sector Vivero	2,6	Alto
Punto 2: Sector Patio	2,95	Muy alto
Punto 3: Sector Baños	2,90	Muy alto

Finalmente, la figura 19 muestra la ubicación de los puntos estudiados y el nivel de peligro con que cada uno ha sido evaluado.


**Figura 19:** Mapa de peligro de los puntos estudiados en la Escuela Básica F - 490. Elaboración propia.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La Escuela Básica F – 490 presenta un alto nivel de peligro de movimiento en masa, tal como se puede apreciar en la Tabla 8 y en el mapa de la Figura 19, donde los factores que condicionan la ocurrencia de este fenómeno son, en primer lugar, la litología y meteorización presente en el sector, ya que los taludes están altamente meteorizados presentando casi en su totalidad suelo residual; en segundo lugar, se tiene la presencia de pendientes muy abruptas, donde todos los puntos estudiados superan los 40° de inclinación, facilitando los procesos gravitacionales. Por lo tanto, las condiciones que presentan los factores recientemente mencionados generan mayor susceptibilidad a la ocurrencia de estos procesos.

En cuanto a la vegetación, orientación y factor antrópico, también son factores condicionantes. Donde la vegetación o cobertura vegetal presente en el área, juega un papel desestabilizador en el talud por el tipo de vegetación y la altura de esta, es por esto que para la mayoría de los puntos evaluados tiene un nivel de peligro alto. En cuanto a la orientación de los taludes se tiene que los tres puntos evaluados tienen un nivel de peligro alto, ya que al tener una orientación que va desde el suroeste al noreste está más expuesto a los agentes erosivos debilitando así el talud. Por último, el factor antrópico si bien no es el más influyente en la generación de movimientos en masa en el área de estudio, ha sido una constante a lo largo de la historia del establecimiento, por lo que cada vez que se realiza algún cambio en la estructura del talud, está más propenso a que éste pierda el equilibrio y por ende se genere un movimiento en masa.

Por último, como factor desencadenante se tienen las precipitaciones, ya que el área de estudio al estar ubicado en una zona que tiene un clima templado y por ende presenta meses de mucha lluvia, y en conjunto con las condiciones del terreno anteriormente mencionadas, las precipitaciones ayudan a la ocurrencia de este fenómeno, tal como ocurrió en el invierno del 2022.

Al evaluar los factores anteriormente mencionados se tiene que el Sector Vivero que corresponde a un área asignada por el colegio para realizar actividades fuera del aula, presenta un nivel del peligro alto; mientras que tanto el Sector Patio y el Sector Baños presenta un nivel de peligro de movimiento en masa muy alto, requiriendo mayor atención por ser espacios de uso frecuente. En conjunto, la sola localización de los puntos en un establecimiento educacional, una infraestructura crítica de la comuna, convierte a estos puntos de peligro en lugares de riesgo.

Para la mitigación del riesgo al que el área de estudio se encuentra expuesta, se recomienda realizar estudios para la implementación de obras ingenieriles de contención adecuadas a las características de cada punto. Por otra parte, también se recomienda mantener el control de la altura de los árboles del Sector Patio y Sector Baños, y en la medida de lo posible reemplazarlos por flora nativa, o por cobertura vegetal herbácea. Es también de importancia poder realizar un seguimiento periódico del comportamiento de los taludes.

Finalmente, es necesario educar a la comunidad estudiantil sobre lo que es el peligro de movimiento en masa, evitando cualquier acción que pueda desencadenar este fenómeno, y preparando a la comunidad para responder adecuadamente ante la eventual ocurrencia de este riesgo. Además, se recomienda evaluar la instalación de señalética que advierta del peligro para que así tanto los alumnos como funcionarios no frecuenten los sectores evaluados.

## 6. REFERENCIAS

**Aguirre, L., Hervé, F., Godoy, E.** (1972). “Distribution of metamorphic facies in Chile: an outline”. *Krystallinikum*. N° 9: 7 – 19.

**Arias C., King R., Montenegro, J.** (2018). “Modelo conceptual del movimiento en masa en PK 28+400, Ruta 160, Comuna de Lota”. Proyecto de título, Ingeniería Civil Geológica, Departamento Ingeniería Civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile.

**Ayala-Carcedo, F. J.** (1993). “Estrategias para la reducción de desastres naturales”. *Investigación y Ciencia*, (200), 6-13.

**Biblioteca del Congreso Nacional de Chile / 2016** “Clima y vegetación de la Región del Biobío”.

**Castillo, I.** (2016). “Propuesta para un plan de emergencia, respuesta y evacuación en caso de incendio para la comuna de Talcahuano”. Informe de proyecto de título para optar al título de Ingeniero Civil Logístico, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción.

**Cruden, D.** (1991). “A simple definition of landslides”. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, v 43, p.27-29.

**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.

**Figuroa, G.** (2020). “Caracterización hidrogeológica de Talcahuano entre los 36°44’ – 36°49’S y 73°00’ – 73°08’W, Región del Biobío, Chile”. Memoria para optar al título de Geólogo, Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción.

**Fuentes, F.** (2021). “Causas y zonificación de los procesos de remoción en masa en la cuenca alta del río Mapocho, comuna de Lo Barnechea, Santiago, Chile”. Memoria de pregrado para optar al título de Geólogo, Facultad de Ingeniería, Universidad Andrés Bello, Viña del Mar, Chile.

**Gajardo, A.** (1981). “Hoja Concepción – Chillán, escala 1:250.000, Región del Biobío”. Instituto de Investigaciones Geológicas, Mapas Geológicos Preliminares N° 4: 32 pp. Santiago.

**González de Vallejo, L; Ferrer, M; Ortuño, L; Oteo, C.** (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España. Prentice Hall.

**Hauser, A.** (1993). “Remociones en masa en Chile”. Servicio Nacional de Geología y Minería.

**Henríquez, E.** (2019). “Análisis de susceptibilidad a remociones en masa en la Comuna de Corral, al Norte de los 39°54’S, Región de los Ríos, Chile” (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción, Concepción.

**Highland, L. M., y Bobrowsky, P.** (2008). “Manual de derrumbes: Guía para entender todo sobre derrumbes”. Reston, Virginia, Circulas 1325 del Sistema Geológico de los EUA, 129 p.

**Ilustre Municipalidad de Talcahuano** (2023). “Anexo – Plan Por Amenazaa”. Proceso de Remoción en Masa.

**Ilustre Municipalidad de Talcahuano** (2018). Plan de Desarrollo Comunal 2016-2019.

**Inostroza, D.** (2017). “Aplicación del modelo conceptual para procesos de remoción en masa a un talud de la ruta CH-160, Lota, Región del Biobío”. (Tesis de pregrado). Universidad Católica De La Santísima Concepción, Chile.

**Lara, M., Sepúlveda, S.** (2008). “Remociones en masa” (Apunte del curso). Departamento de Geología, Universidad de Chile.

- Ley 21364** (2021). Establece El Sistema Nacional De Prevención Y Respuesta Ante Desastres, Sustituye La Oficina Nacional De Emergencia Por El Servicio Nacional de Prevención Y Respuesta Ante Desastres, Y adecúa Normas Que Indica. 27 de Julio de 2021.
- Mardones, M., Rojas, J.** (2012). “Procesos de remoción en masa incluidos por el terremoto del 27F de 2010 en la franja costera de la Región del Biobío, Chile”. Revista de Geografía Norte Grande.
- Marín, M., Neira, H., Garrido, N., Báez, F.** (2021). “Visitor Territorial De Fallecidos Por Remoción En Masa En Chile En Los Últimos 90 Años”. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D., Garcia, D** (2019). “Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos”. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería. Ingeniare. Rev. chil. ing. vol.27 no.3 Arica set.
- Mendoza, J. L.** (2001). “Distribución, caracterización, génesis y características tectónicas de los yacimientos de arenas silíceas del área costera de la Octava Región entre Coliumo y Los Álamos”. Memoria de título, Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra. 1 mapa. Concepción.
- Naranjo, J., Clavero, J., Hauser, A., Ramirez, P.** (2005). “Informe geológico sobre las remociones en masa causadas por las lluvias torrenciales de los días 26 y 27 de junio 2005 en Concepción, VIII Región”. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Norris, J. E., Greenwood, J. R.** (2006). Evaluación del papel de la vegetación en las laderas del suelo en áreas urbanas. *Documento IAEG2006*, 744 .
- Popescu, M. E.** (2002). “Landslide Causal Factors and Landslide Remedial Options”. Keynote Lecture, proceedings 3<sup>rd</sup> International Conference on Landslides, Slope Stability and Safety of Infra-Structures Singapore, p. 61-81.
- Prieto, C.** (1985). Inestabilidades y erosión de laderas asociadas a riadas. Geología y prevención de riesgos por inundaciones, Instituto Geológico y Minero de España, p. 117 – 192.
- Quezada, J., Cecioni, A., Esterio, H., Pineda, V.** (1997). Geología Urbana de Talcahuano. Departamento de Ciencias Geológicas, VIII congreso Geológico Chileno. Universidad Católica del Norte.
- Ramírez, P., Carrasco, F.** (2022). “Evaluación de peligro de remoción en masa en tres sectores de la comuna de Talcahuano, Región del Biobío” Informe Técnico, Subdirección Nacional de Geología.
- Rioseco, R. & Tesserm C.** (2015). “Cartografía interactiva de los climas de Chile”. Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Rodríguez, D.** (2022). “Análisis estructural, implicancias tectónicas y geología del margen suroccidental de la comuna de Talcahuano, Región del Biobío” (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción, Concepción.
- Saaty, T. L.** (1980). “The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, McGraw-Hill”.
- Selby, M. J.** (1993). *Hillslope Materials*. Oxford University Press, 451p.
- Sepúlveda, N.** (2022). “Visita técnica a sectores de la comuna de Talcahuano Región del Biobío, afectados por remociones en masa durante julio del año 2022”. Informe técnico, Subdirección Nacional de Geología.
- Sepúlveda, S. A.** (1998). “Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana”. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.





**Suárez, J.** (1998). “Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales”. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.

**Varnes, J.** (1978). “Slope movement types and processes”. In *Landslides, Analysis and Control*, Special N°176.

**Varnes, J.** (1984). “Landslide hazard zonation: a review of principles and practice”. *Natural Hazards. UNESCO*. Vol 3: 63 pp. Paris.

**Vergara, E.** (2020). “Análisis de susceptibilidad de remociones en masa en el área del embalse Ralco, Comuna de Alto Biobío, Región del Biobío, Chile”. Memoria para optar al título de Geólogo, Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción.

**Wieczorek, G.** (1996). “Landslide Triggering Mechanisms in Landslides – Investigations and Mitigation”. En A. K. Turner, & R. L. Schuster (Edits). Washington D.C., USA: Transportation Research Board. National Research Council, National Academic Press.