

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Mg. Carmen González Labbé

**“CARACTERIZACIÓN DE TALUDES
URBANOS EN ZONAS DE CAMBIO DE
USO DE SUELO DE LA COMUNA DE
PENCO”**

PROYECTO DE TÍTULO PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS REQUISITOS
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JOSÉ MANUEL BAEZA NEIRA

CONCEPCIÓN, DICIEMBRE DE 2019

ÍNDICE

RESUMEN	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Introducción	3
1.2 Objetivos.....	4
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES GENERALES.....	4
2.1 Introducción	4
2.2 Descripción del área de estudio	5
2.3 Precipitación y Clima.....	6
2.4 Historial de remociones en masa	7
CAPÍTULO 3. MARCO CONCEPTUAL	8
3.1 Introducción	8
3.2 Conceptos.....	8
3.3 Talud	8
3.4 Remoción en masa	9
3.5 Estabilidad de taludes	11
3.6 Factores que Influyen en la Inestabilidad de Taludes.....	12
3.6.1 Factores condicionantes y desencadenantes.....	13
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE CATASTRO.....	15
4.1 Introducción	15
4.2 Metodología de recolección de datos.....	16
4.3 Metodología de análisis	17
4.4 Materiales y equipos a emplear.....	18
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	18
5.1 Introducción	18
5.2 Resultados	20
5.3 Análisis de Resultados	36
5.3.1 Precipitaciones	37
5.3.2 Morfología y Topografía.....	38
5.3.3 Vegetación.....	39
5.3.4 Actividad Humana.....	39

5.4 Registro de datos.....	40
5.4 Discusión	41
5.4.1 Importancia de ensayos de laboratorio.....	41
5.4.2 Estratigrafía	41
5.4.3 Tecnología dron.....	41
5.4.4 Ensayos anexos	42
6. CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	42
6.1 Conclusiones	42
CAPÍTULO 7. REFERENCIAS	44

CARACTERIZACIÓN DE TALUDES URBANOS EN ZONAS DE CAMBIO DE USO DE SUELO DE LA COMUNA DE PENCO.

Autor: José Manuel Baeza Neira

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío – Bío

Correo electrónico: jose.baeza1601@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Mg. Carmen Gloria González Labbé

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío – Bío

Correo Electrónico: cgonzal@ubiobio.cl

RESUMEN

En las últimas décadas, la comuna de Penco ha experimentado un sostenido crecimiento poblacional, que se ha visto enfrentado a la poca disponibilidad de espacios planos para edificación de viviendas, llevando a sus habitantes y proyectos inmobiliarios a buscar nuevos terrenos en las serranías de la cordillera de la costa, muchas veces a los pies de taludes escarpados, poniendo en riesgo la seguridad de las personas y de la infraestructura ante eventos de remoción en masa de suelo. Por esta razón, el presente proyecto de título tiene por objetivo hacer una caracterización de taludes urbanos con susceptibilidad a sufrir deslizamientos, identificar los factores críticos que están afectando a estos taludes, proponer recomendaciones e intervenciones necesarias para cada uno de ellos, y plasmar la información recopilada en una plataforma actualizable de libre disposición.

El procedimiento de la caracterización consiste en una inspección en terreno compuesta por la descripción de propiedades físicas, cualitativas, un levantamiento topográfico y la clasificación del suelo para cada talud.

Finalmente, los resultados revelan las distintas intervenciones y cuidados necesarios para cada talud del estudio, y a grandes rasgos, el factor crítico que afecta a los taludes, son las precipitaciones, que propician la erosión hídrica, infiltración, cambio de estado tensional, etc. Generando problemas de estabilidad en el tiempo.

Palabras clave: Talud, Inspección Visual, Remoción en Masa.

7685 Palabras Texto+ 46 Figuras/Tablas*250+1 Figuras/Tablas *500=19685 Palabras

CADASTRE OF THE MAIN URBAN SLOPES IN THE SOUTH AREA OF THE COMMUNE OF CHIGUAYANTE

Author: José Manuel Baeza Neira

Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad del Bío - Bío

Email: jose.baeza1601@alumnos.ubiobio.com

Sponsor Teacher: Mg. Carmen González Labbé

Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad del Bío - Bío

Email: cgonzal@ubiobio.cl

ABSTRACT

In recent decades, the commune of Penco has experienced sustained population growth, which has been faced with the low availability of flat spaces for housing construction, leading its inhabitants and real estate projects to look for new places in the mountains that surrounds the city, often at the foot of steep slopes, putting the safety of people and infrastructure at risk of landslides. For this reason, this thesis project aims to characterize urban slopes that are susceptible to landslides, identify the critical factors that are affecting these slopes, propose recommendations and necessary interventions for each of them, and capture the information compiled on an updatable platform freely available.

The characterization procedure consists of an on-site inspection consisting of the description of physical, qualitative properties, a topographic survey and the soil classification for each slope.

Finally, the results reveal the different interventions and care needed for each slope of the study, and mainly, the critical factor that affects the slopes, are the rainfall, which propitiates water erosion, infiltration, change of tension state, etc. Generating problems of stability over time.

Keywords: Slope, visual inspection, landslides.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El crecimiento acelerado y la inadecuada planificación territorial de muchas poblaciones y ciudades en todo el mundo han generado transformaciones antropogénicas negativas en el espacio (González et al., 2008), llevando a la urbanización de zonas de lomeríos y terrenos escarpados donde las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrológicas y topográficas no son las más apropiadas para la construcción de edificaciones (Campos et al., 2000), generando un riesgo por remociones en masa entre quienes habitan en zonas de esta consideración.

El área de estudio del presente trabajo, la comuna de Penco, presenta un crecimiento demográfico sostenido que ha estado experimentando la situación descrita anteriormente, es decir, su población poco a poco se está desplazando hacia los cerros tras el agotamiento del espacio edificable sobre las planicies, quedando sus viviendas bajo el potencial peligro de remociones en masa si las condiciones son propicias para ello. Sin embargo, en la última década la comuna ya presenta antecedentes de eventos de esta naturaleza, por lo que ha sido una preocupación constante para las autoridades y la población que habita esta zona.

Desde una mirada ingenieril, muchos investigadores han intentado explicar y determinar de cierta forma, las propiedades del talud que controlan las fallas que dan origen a los deslizamientos, consensuando que el fenómeno que domina el comportamiento de la ruptura inicial son las fuerzas resistentes propias de la mecánica del suelo frente a fuerzas externas aplicadas sobre él, donde el cociente entre ambos da origen al conocido factor de seguridad, el cual permite evaluar cuantitativamente la estabilidad del talud. Desde otra perspectiva, aún se está investigando cuales son los factores críticos y preponderantes que desencadenan este tipo de eventos, y por otro lado, se intenta definir ciertas descripciones físicas y cualitativas de las masas de tierra, que permitan advertir y así prevenir este tipo de catástrofes. Por esta razón, este proyecto de título realiza una caracterización de variados taludes urbanos de la comuna de Penco, con el objetivo de analizar el potencial riesgo geológico en cada uno de ellos, a través de una ficha catastro que reúne aspectos geotécnicos, hidrológicos y topográficos, además de una descripción física y cualitativa de las condiciones actuales de cada talud. De esta forma, se logra plantear ciertas recomendaciones para intervenir cada

talud en caso necesario, o simplemente la aplicación de medidas de control para evitar que la masa de suelo se siga deteriorando, preservando así la seguridad de las personas, y además, generando un material valioso para las autoridades de la comuna.

1.2 Objetivos

Objetivos generales:

Desarrollar una caracterización de taludes urbanos de la comuna de Penco, por medio de un levantamiento topográfico, una clasificación de suelos en laboratorio y una ficha que describe aspectos físicos y cualitativos de cada talud.

Objetivos específicos:

Identificar los factores críticos que afectan a la estabilidad de los taludes catastrados.

Recomendar medidas de prevención ante los riesgos a los cuales se expone la población según el estado actual de los taludes observados.

Elaborar un registro disponible y actualizable de los datos relevantes obtenidos mediante el catastro.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1 Introducción

El área en el cual se desarrolla el presente trabajo es en la provincia de Concepción, una de las cuatro provincias que componen la Región del Bío-Bío, Octava Región de Chile (Ver figura 1). Dentro de esta, se encuentra la comuna de Penco, esta cuenta con 46.900 habitantes, a una tasa de crecimiento de 0,2% por año según los datos obtenidos del último censo (INE, 2017), cifra no menor considerando el reducido espacio disponible para nuevas edificaciones en la comuna, lo que ha llevado a sus pobladores a establecerse en las laderas de los cerros, e incluso, en los últimos años, numerosos proyectos inmobiliarios de la comuna se han ido asentando en las cotas más altas de la ciudad, teniendo que lidiar constantemente con el control de estabilidad de taludes para preservar la seguridad de las personas.

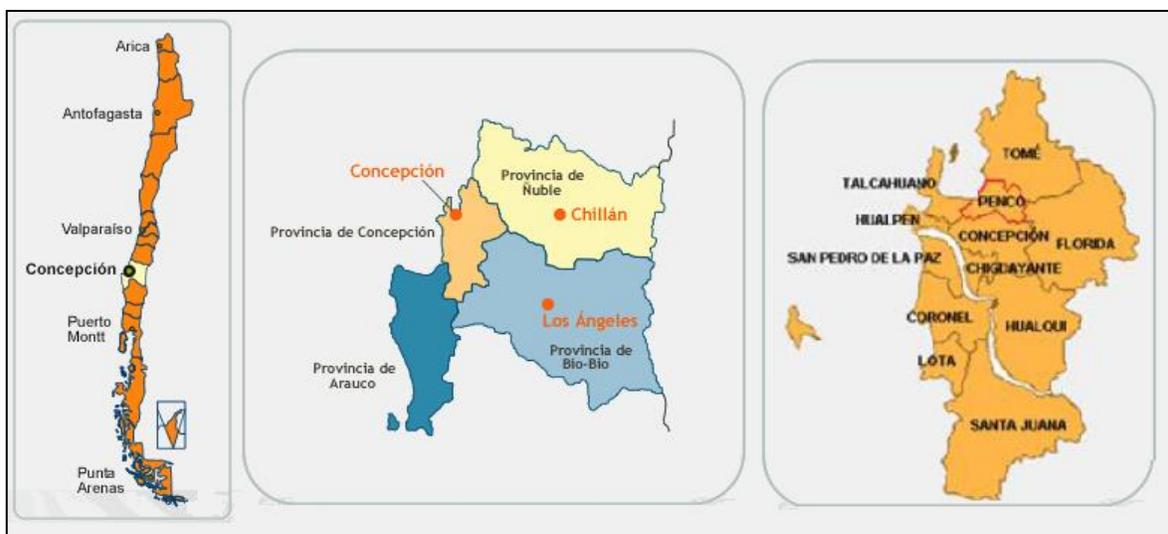


Figura 1. Ubicación Geográfica Comuna de Penco

Fuente: <http://www.sjjara.wordpress.com>

2.2 Descripción del área de estudio

La ciudad de Penco, presenta alturas promedio entre 5 m.s.n.m en el sector céntrico de la ciudad, que corresponde a una estrecha planicie litoral, y 80 m.s.n.m, con alturas máximas de hasta 200 m en las serranías de la cordillera de la costa, cercanas al límite urbano. La ciudad se ubica al noreste de la desembocadura del río Andalién, que corresponde a su límite natural con la Comuna de Concepción. Penco se encuentra al interior de la bahía de Concepción y está emplazada sobre depósitos fluviomarinos de escasa potencia, que se abren en una playa extensa de más de 2 km de largo, a partir de la desembocadura del río Andalién. Hacia el oriente, destaca el paisaje abrupto de los cordones de cerros de la cordillera de la costa conformados por rocas graníticas y del basamento metamórfico, al cual se superponen formaciones sedimentarias de la Formación Quiriquina (Cretácico Superior) y Formación Curanilahue (Eoceno). Localmente, hacia el sur del área de estudio, cerca de la desembocadura del río Andalién se observa una unidad de conglomerados clasto soportado, mal seleccionados y con cementación deficiente, los cuales corresponderían a depósitos fluvio-aluviales de edad Plioceno. Las rocas presentan en general, una intensa meteorización química, lo cual las hace muy disgregables e inestables en cortes de taludes abruptos, correspondientes a una arena limosa, desarrollados a partir de rocas de origen granítico los cuales son fácilmente erosionables, favoreciendo los procesos de erosión con desarrollo de cárcavas y otras formas de erosión hídrica (SERNAGEOMIN, 2011).

La Figura 2 representa el trabajo de Galli (1967) en el cual clasificó las rocas y sedimentos presentes en el área de estudio en tres grandes conjuntos estratigráficos como se presentan a continuación:

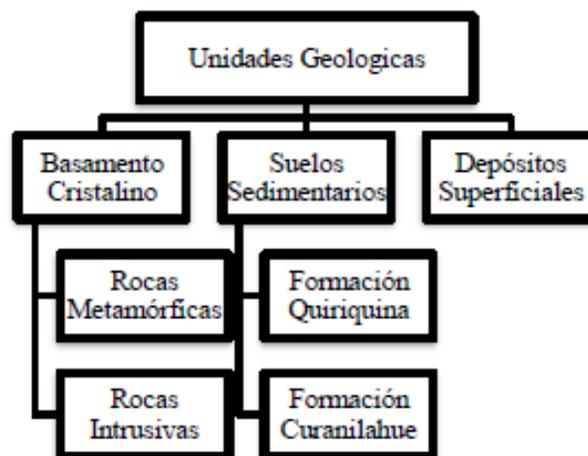


Figura 2. Unidades geológicas presentes en Penco.

Fuente: (Guiñez, 2016)

2.3 Precipitación y Clima

El clima de la comuna de Penco corresponde a un Clima Mediterráneo Oceánico de veranos secos o Csb según la clasificación de Köppen. Este se caracteriza por poseer inviernos fríos o templados, donde la temperatura media del mes más frío se encuentra entre 6°C y 13°C y las precipitaciones se concentran en invierno entre el mes de mayo y septiembre, siendo junio el mes más lluvioso con 181 mm de lluvia promedio acumulada (es.weatherspark.com). Sin embargo, según datos obtenidos del sitio web de la Dirección General de Aguas (DGA), en los últimos 20 años, un 26 de junio de 2005 se registraron 160 mm de precipitación máxima en 24 horas, con una precipitación acumulada del mismo mes de 468 mm según la estación pluviométrica Andalién. Considerando además que la precipitación media anual registrada para la zona en cuestión es de alrededor de 1100mm en los últimos diez años, queda en evidencia que estas condiciones son un punto relevante a considerar por la alta concentración e intensidad de las lluvias en época invernal, lo cual pone al suelo de Penco en un punto desfavorable por todo lo que significa tener un suelo en estado húmedo o saturado por largos periodos de tiempo, poniendo en riesgo la estabilidad de taludes.

2.4 Historial de remociones en masa

La comuna de Penco no ha estado exenta a eventos de remociones en masa, el tipo más común observado en el área corresponde a deslizamientos del tipo rotacional, donde la superficie de ruptura tiene una forma irregular a semicircular, y si bien los deslizamientos gatillados por eventos pluviales han involucrado pequeños volúmenes de material removido, del orden de menos de 100 m³, estos han provocado daños de diversa consideración en viviendas que afortunadamente no han cobrado víctimas fatales (SERNAGEOMIN, 2011).

En la población Villa Belén, a pasos del centro de la comuna, sobre conglomerados poco consolidados, se reconocen numerosos eventos de deslizamientos y formación de grietas de tracción en los cortes de laderas, en los cuales tuvieron que derribarse al menos seis viviendas durante la historia de esta población existente desde alrededor del año 1990 (SERNAGEOMIN, 1999; 2005; 2006 a y b). En el norte de la comuna, en los cerros que conectan con Lirquén se han registrado eventos de caídas de roca principalmente en taludes excavados para la infraestructura vial que conecta con la ciudad de Tomé.

Tras el terremoto de febrero 2010, se registraron deslizamientos menores en algunos cortes de terraplenes, formando grietas de tracción, extendiéndose principalmente a las viviendas construidas en muros de concreto y albañilería, quedando muchas de ellas en una situación de estabilidad precaria. Tal es el caso de Villa Belén, cuyos suelos de fundación corresponden a conglomerados poco cementados de origen aluvial, en el cual se registraron viviendas muy dañadas, en su mayoría ubicadas cerca del escarpe costero y en el coronamiento de taludes de media altura.

Finalmente, cabe mencionar los cuatro deslizamientos recientemente ocurridos en el presente año y que pasarán a formar parte de los taludes a estudiar, en las poblaciones Forjadores de Chile, Geochile, Lord Cochrane y Villa Penco, donde estos dos últimos forman parte de un informe publicado por SERNAGEOMIN en junio 2019, y cada uno de ellos se analizará en detalle en el Capítulo 5 del presente informe.

CAPÍTULO 3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 Introducción

En este capítulo se definen distintos conceptos y temas recopilados tras una revisión bibliográfica, abarcando importantes materias que permiten a grandes rasgos, poner en conocimiento al lector sobre los términos y procesos involucrados en las remociones en masa, y características del área de estudio en que está enfocado el presente trabajo.

3.2 Conceptos

Riesgo geológico:

Pérdidas potenciales debidas a un fenómeno geológico determinado. Incorpora consideraciones socio-económicas y puede ser medido por unidades monetarias o índices similares, a diferencia del peligro geológico.

Superficie de falla:

El concepto de superficie de falla se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o la rotura del talud. Si la falla ocurre, los esfuerzos de cortante serían iguales en todos los puntos a lo largo de la superficie de falla.

Erodabilidad:

La erodabilidad del suelo es un índice que indica la vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión. Cuanto mayor sea la erodabilidad mayor porcentaje de erosión.

Catastro:

La acción de catastrar corresponde a realizar un levantamiento de información de distinta índole, para luego proceder a un análisis y almacenamiento de esta.

Amenaza:

Probabilidad de ocurrencia de un evento que cause daños materiales o pérdidas de vidas en un lugar y en un lapso determinado.

3.3 Talud

Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, bien sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería.

Comúnmente, en la literatura técnica que abarca este tema, cuando el talud tiene origen natural, sin intervención humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera. Cuando los taludes son hechos por el hombre se denominan cortes o taludes artificiales (Figura 3), y según sea la génesis de su formación; en el corte, se realiza una excavación en una formación térrea natural, en tanto que los taludes de relleno se definen con el término terraplén.

En numerosos trabajos de la ingeniería, es necesario utilizar el suelo en forma de talud como parte de la obra. Estos se pueden encontrar en forma de terraplenes y cortes en caminos viales, en presas de tierra, canales, y en general, en cualquier construcción que se requiera una superficie plana en una zona de pendiente, o alcanzar una profundidad determinada por debajo de la superficie, donde en cada uno de ellos se debe estudiar la estabilidad del talud.

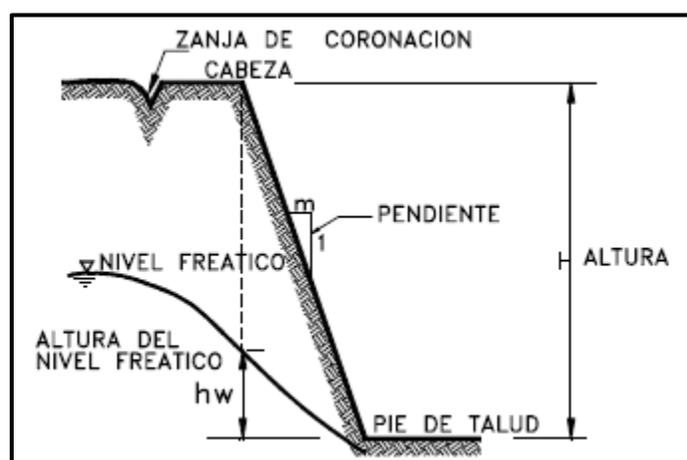


Figura 3. Nomenclatura de un Talud.

Fuente: (Suarez, 2009).

3.4 Remoción en masa

El término remoción en masa ha sido definido por Varnes (1978), Cruden & Varnes (1996), y actualizado por Hunger et al. (2013), como procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca, o ambos, en diversas proporciones, generados por distintos factores, correspondiendo intrínsecamente a procesos gravitacionales, considerando que una porción específica del conjunto del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior al original.

Existen numerosas clasificaciones para los distintos tipos de remociones en masa y estos han sido definidos por distintos autores que consideran su clasificación según distintos factores,

como por ejemplo, los materiales involucrados (suelo o roca), el mecanismo de ruptura, el grado de saturación que alcanza, y además considera características geológicas del evento, velocidades de desplazamiento y el volumen de material desplazado. Son frecuentes además, los procesos combinados, como por ejemplo, deslizamientos que derivan en flujos (Scott et al, 2001).

En la Tabla 1, se agrupa una clasificación general de los tipos de fallas más comunes hecha por Varnes (1978), que asume dos tipos de materiales a partir de los cuales se pueden generar los distintos tipos de eventos, correspondientes a roca y suelo; en tanto los tipos de movimientos que se pueden generar, son desprendimientos (o caídas), toppling (o volcamientos), deslizamientos, extensiones laterales, flujos, y movimientos complejos que corresponden a la combinación de dos o más tipos de movimientos.

Tabla 1. Clasificación de Remociones en Masa (Varnes, 1978)

Tipo de movimiento		Tipo de material involucrado y nombre del movimiento asociado a este		
Caída		Suelo		Roca
		Caída de rocas o desprendimientos		
Deslizamientos	Rotacional	Suelo		Roca
	Traslacional	Asentamiento		
		Deslizamiento de rocas		
Flujo		Material no consolidado		
		Bloques	Detritos	>50% arena, limo y arcilla
		Flujo de escombros	Flujo de detritos o derrubio	Flujo de barro
Volcamiento		Suelo		Roca
		Volcamiento (Toppling)		
Extensiones laterales		Material blocoso		Suelo
		Extensión lateral		

A continuación, en la Figura 4, se presenta una figura elaborada por González de Vallejo (2002), que ilustra simplifícadamente cada uno de los procesos descritos anteriormente en la Tabla 1.

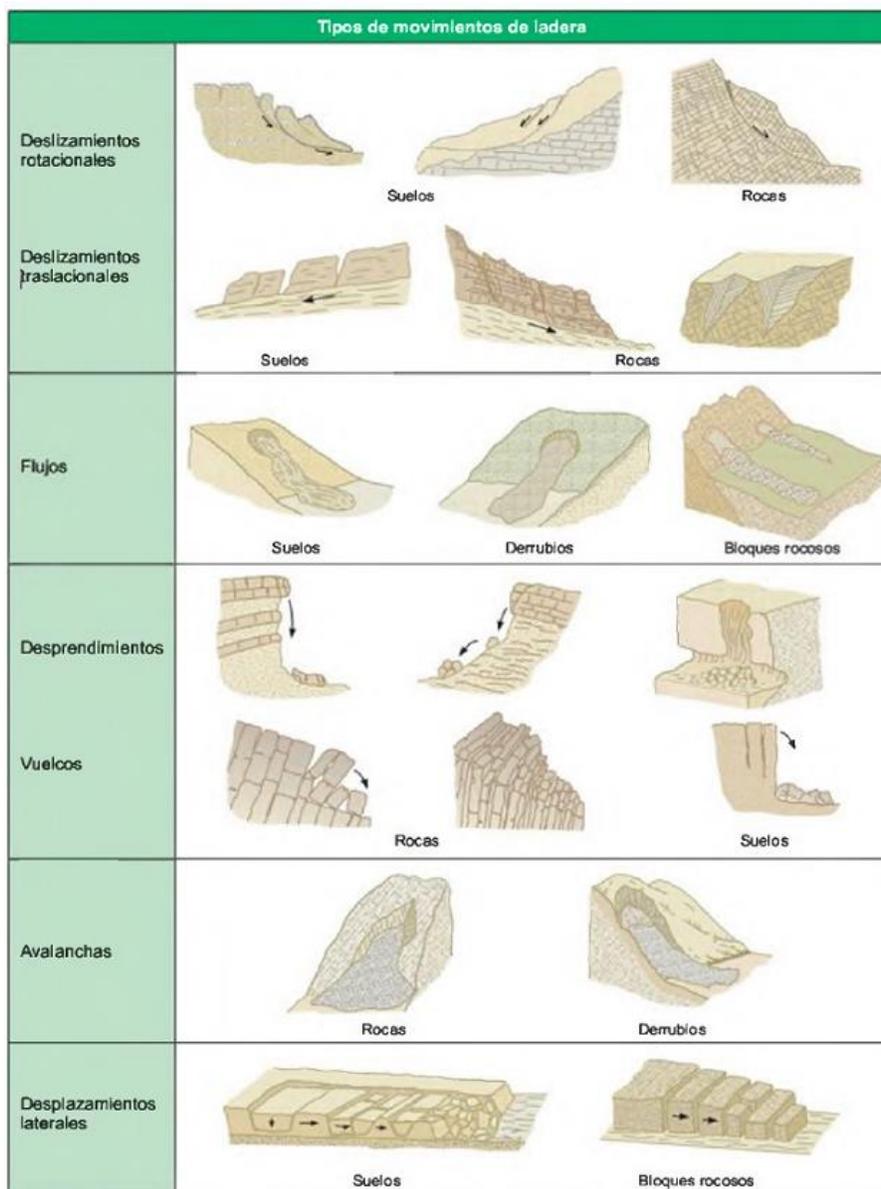


Figura 4. Ilustración de los tipos de movimiento de ladera.

Fuente: (González de Vallejo, 2002)

De la ilustración anterior (Figura 4), cabe poner especial atención en los movimientos rotacionales ya que estos son los que se han generado con mayor frecuencia en la comuna de Penco (Sernageomin, 2017), sin embargo, cada uno de ellos serán descritos en mayor detalle en el Anexo A del presente informe de tesis.

3.5 Estabilidad de taludes

Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. Como en los taludes la superficie no es horizontal, un componente de la gravedad hará que

el suelo se mueva hacia abajo en cuánto la fuerza motriz supere a la resistencia al corte del suelo a lo largo de la superficie de ruptura (Braja 2001).

Según estipula Braja M. Das, es de esperar que los ingenieros sean capaces de hacer los cálculos para comprobar la seguridad de los taludes artificiales y naturales, cuyo proceso se le llama análisis de estabilidad del talud, que a rasgos generales, se basa exclusivamente en la descomposición de fuerzas o momentos actuantes sobre la ladera en estudio y que condicionan su estabilidad. El método considera parámetros geotécnicos, efectos de la presión de poros, la resistencia al corte a lo largo de la superficie de falla y la influencia de fuerzas o momentos externos (Lara, 2007).

La estabilidad de los taludes está dado por su Factor de Seguridad (FS) ante el deslizamiento según la siguiente expresión:

$$FS = \frac{\text{Resistencia al corte del suelo}}{\text{Esfuerzo cortante requerido}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Un factor menor a 1 indicará que el talud es inestable ante las condiciones definidas, en tanto que un factor mayor que 1 indicará la estabilidad de la ladera. FS =1 presenta la condición de equilibrio límite.

En el presente proyecto de título, utilizaremos el método de cálculo de Bishop (1954) para determinar el factor de seguridad de un talud catastrado al cual se le realizó una topografía en detalle. Este método utiliza dovelas (o rebanadas) y tiene en cuenta el efecto de las fuerzas entre las mismas. Además, es aplicable exclusivamente a superficies de falla circulares, lo que se condice con el tipo de remociones en masa más abundante en Penco. **En el Anexo A se han introducido mayores detalles de este método.**

La importancia de estos cálculos radica en la toma de decisiones ya que permiten definir el tipo de medidas correctoras o estabilizadoras que deben ser aplicadas en caso de roturas reales o potenciales.

3.6 Factores que Influyen en la Inestabilidad de Taludes

Es complicado determinar la causa de muchos movimientos de masas de tierra, por ello es que se entiende que cualquier cosa que produzca una disminución de la resistencia del suelo

o un aumento de los esfuerzos en el suelo, contribuye a la inestabilidad y deben tomarse en consideración, tanto en el diseño de estructuras de tierra como en la corrección de las fallas.

Generalmente existen simultáneamente varias causas (aisladas o combinadas) por la cual fallan los taludes, por lo que encontrar la causa principal, además de ser una tarea difícil, es inexacto. Muchas veces se encuentra un factor preponderante por el cual es claro pensar que se produjo el deslizamiento, sin embargo, este factor es solo el desencadenante de la rotura en un talud que estuvo expuesto a otros factores (condicionantes) que pueden ser catalogados como inofensivos, pero que con su influencia sostenida pueden tener al talud al borde del colapso.

3.6.1 Factores condicionantes y desencadenantes

La inestabilidad de taludes depende de diversos factores dependiendo de las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrológicas y topográficas del lugar en el cual está emplazada la estructura de suelo (Campos et al., 2000). Estos factores se clasifican en dos grandes grupos, condicionantes y desencadenantes. El primero de estos, también conocido como factores pasivos, depende de las características intrínsecas de las laderas, y los segundos, conocidos también como factores externos, debido a las condiciones climáticas regionales, por los eventos extremos y por el grado de impacto o deterioro ocasionado por las actividades del hombre (Cuanalo et al. 2005). Entre ambos, de forma aislada o combinada, fomentan la capacidad de perder el estado de equilibrio generando procesos que lo vuelven potencialmente inestable.

En la Tabla 2, confeccionada por Cuanalo (2004), se resumen los principales factores condicionantes y desencadenantes que afectan a la estabilidad de taludes:

Tabla 2. Agentes Condicionantes y Desencadenantes de Remociones en Masa

Fuente: Cuanalo, 2004.

AGENTES	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Condicionantes (dependen de las características de la ladera)	<i>Morfología y Topografía</i>	El relieve influye en la estabilidad, a mayor pendiente y altura aumenta el efecto gravitacional.
	<i>Geología y características de los suelos superficiales</i>	El tipo de roca, grado de alteración y meteorización, presencia de discontinuidades (grietas, fracturas, fallas), planos estratigráficos, porosidad, permeabilidad, propiedades físicas y mecánicas (resistencia y deformación), y estado de esfuerzos.
	<i>Condiciones hidrogeológicas</i>	El agua en el interior del terreno disminuye la resistencia cortante al aumentar la presión intersticial, además incrementa el peso volumétrico del terreno con el consiguiente aumento en los esfuerzos actuantes.
	<i>Vegetación</i>	Las raíces fijan los suelos superficiales a los estratos de roca más resistentes ubicados a mayor profundidad, absorben el agua contenida en el suelo y atenúan la erosión superficial al mitigar el impacto de las gotas de lluvia y reducir la velocidad de escurrimiento.
Desencadenantes (factores externos responsables de la inestabilidad)	<i>Lluvias</i>	Su efecto depende de la intensidad, duración y distribución de la lluvia; puede ocasionar disolución de cementantes y rotura de capilaridad, además influye directamente en factores condicionantes como la meteorización y el nivel de agua subterránea.
	<i>Terremotos</i>	Las vibraciones sísmicas originan fluctuaciones en el estado de esfuerzos en el interior del terreno y pueden originar todo tipo de movimientos (caídos, deslizamientos, flujos, avalanchas, etcétera), dependiendo además de la magnitud del sismo y la distancia al epicentro.
	<i>Vulcanismo</i>	Las erupciones volcánicas pueden originar deslizamientos o avalanchas de derrubios de gran magnitud y velocidad en las laderas de los conos volcánicos; además que el deshielo de las partes altas puede originar flujos rápidos.
	<i>Congelación y deshielo</i>	Factores climáticos que afectan principalmente a regiones frías; este fenómeno produce expansiones, contracciones e infiltración de agua en fisuras y grietas.
	<i>Erosión y socavación</i>	Incluye la acción erosiva de ríos y oleaje, produciendo los siguientes efectos: - Socavación del material en el pie de la ladera que modifica el estado tensional y aumenta las fuerzas cortantes actuantes. - El deslizamiento puede embalsar un río y después romper súbitamente.
	<i>Actividad humana</i>	Influye en la estabilidad al cambiar la geometría de la ladera por excavaciones, construcción de caminos y presas, sobrecargas debido a estructuras, terraplenes o rellenos, voladuras, etc.; además, estas obras en general cambian las condiciones hidrogeológicas al alterar el drenaje superficial afectando el nivel freático y el flujo natural de escurrimiento. También se incluye la deforestación como una de las actividades humanas que más influencia negativa tiene en la estabilidad de una ladera.

Por otro lado, Wiczorek (1996) postula que para la zona en cuestión, junto con los sismos, los episodios de lluvia intensa han sido el principal detonante de las remociones en masa que se tiene antecedentes. Bajo esta premisa, a continuación se adjunta una tabla resumen (Tabla 3) del efecto de la lluvia sobre taludes.

Tabla 3. Efectos de la lluvia en la erosión de terrenos.

Fuente: Calla, 2014.

Tabla : Efectos de la lluvia en la erosión de terrenos		
<i>Acciones directa o indirectamente.</i>	<i>Mecanismo de acción.</i>	<i>Efectos erosivos, directos o indirectos.</i>
Impacto de las gotas.	Disgregación.	Erosión por escurrimiento laminar. Erosión por escurrimiento concentrado (torrentes).
Escurrimiento superficial.	Disgregación y transporte.	Erosión diferencial por diferentes resistencias al fenómeno de las distintas capas del terreno.
Infiltraciones.	Nivel freático suspendido. Elevación del nivel freático.	Deslizamientos de tierras. Erosión interna, tubificación, etc.
Humedecimiento y secado	Expansión y contracción.	Fisuramiento. Pérdida de cohesión. Flujos estacionales.

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE CATASTRO

4.1 Introducción

El presente catastro se realiza al interior de siete poblaciones de la comuna de Penco, donde la totalidad de los taludes observados son de carácter urbano y presentan un cierto grado de deterioro, descuido, o en los que no se han tomado las medidas de protección adecuadas para preservar la seguridad de las personas y sus pertenencias materiales frente al peligro de remociones en masa. En algunos casos, estos taludes ya han presentado fallas con anterioridad o durante el periodo de realización del presente trabajo de investigación. En el caso de los taludes que no han presentado daños a la fecha, se han seleccionado según sus características físicas y topográficas, las que permiten cuestionar su estabilidad en el tiempo debido a su vulnerabilidad ante factores desencadenantes que bajo acción progresiva podrán generar fallas en el talud, y con ello, peligros para la población por su cercanía a viviendas en la trayectoria de falla.

4.2 Metodología de recolección de datos

En primer lugar, para definir el área de estudio se acudió a distintas fuentes, entre ellas, archivos de artículos noticiosos sobre antiguos deslizamientos en Penco, consulta con profesionales de la municipalidad de la comuna, informes del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), entre los cuales, como principal hallazgo, destaca un informe que almacena un plano general con zonas de peligro por remoción en masa en toda la comuna y alrededores, además de numerosos informes de inspecciones en terreno tras eventos de deslizamientos en la zona, donde a modo de ejemplo, se contó con un informe del año 2006 realizado luego de un periodo de fuertes lluvias, otro del año 2010 tras el terremoto de magnitud 8.8 que afectó a toda la región del Bio-Bío, y por último, uno realizado en julio de 2019 también con motivo de periodos de lluvia intensa. Por otro lado, también se utilizó el software Google Earth, el cual permitió acceder a imágenes tomadas desde la calzada hacia las casas y taludes, e imágenes satelitales de toda la zona de estudio, detallando los límites de cada población de la comuna, y permitiendo identificar zonas con taludes expuestos, lo que llevó a planificar una hoja de ruta para realizar las visitas a terreno. Una vez realizadas, fue posible apreciar el estado actual de cada talud, con el objetivo de ir seleccionando aquellos que realmente presentaran una eventual amenaza para la población y discriminando aquellos que no se considerara un hecho de alta probabilidad o que tuvieran un sistema de control de estabilidad adecuado según criterio propio. Por consiguiente, una vez seleccionados los taludes a catastrar, comienza la etapa de caracterización visual del talud según los requerimientos descritos en la ficha de catastro empleada en esta tesis, entre las cuales destacan, la presencia de recubrimiento vegetal, soluciones de estabilidad o de manejo de aguas existentes, presencia de morfologías propias de agentes erosivos, entre otros. Concluida la inspección visual y descripción cualitativa, se procedió a tomar muestras de suelo para así realizar una clasificación de suelo en laboratorio según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (con sigla en inglés USCS). Por consiguiente, en los taludes que presentaron buena accesibilidad, se realizó un levantamiento topográfico que permitió determinar la pendiente promedio del talud y sus dimensiones más importantes. Y en aquellos con mala accesibilidad, se realizó un levantamiento de información con huincha de medir y una aplicación móvil para obtener el grado de inclinación de la superficie en cuestión. Luego, con todos los resultados adquiridos, se dejó constancia de estos en un archivo de formato

(.kmz) propio de la plataforma Google Earth, de manera que puedan estar accesibles y actualizables para cualquier persona o entidad que lo requiera.

Finalmente, se hizo el análisis de resultados con el fin de entender los principales factores condicionantes y desencadenantes que están interviniendo en la estabilidad de los taludes catastrados y suelos observados en la zona en general, y además entregar recomendaciones en el control de la estabilidad, ya sea por control de agentes erosivos sobre este, manejo de aguas, medidas de protección ante eventos de deslizamientos, medidas correctivas, entre otros.

4.3 Metodología de análisis

Con el objetivo de identificar los diferentes factores que afectan a cada talud, se ha optado por una metodología conocida como árbol de problemas, esta es una técnica que se emplea para identificar una situación negativa (problema central), la cual se intenta solucionar analizando relaciones de tipo causa-efecto. Una vez definido el problema central, se exponen tanto las causas que lo generan como los efectos negativos producidos, y se interrelacionan los tres componentes de una manera gráfica. Por otro lado, un árbol de objetivos resumirá todas las intervenciones (efectos) propuestas para el talud y sus impactos esperados.

En lo que respecta a análisis de estabilidad, una vez realizado el levantamiento topográfico del talud, se importaron los puntos tomados al software Civil 3d para crear una superficie. Luego se tomó un alineamiento vertical representativo del talud, para finalmente generar un archivo con extensión .dxf que contiene el perfil del talud a analizar. Desde el software GEOSLOPE se importa el archivo .dxf creado y se procede a realizar el análisis de estabilidad utilizando el método de Bishop (1955).

A continuación, en la Figura 5 se presenta un esquema que resume la metodología propuesta anteriormente para facilitar su comprensión.

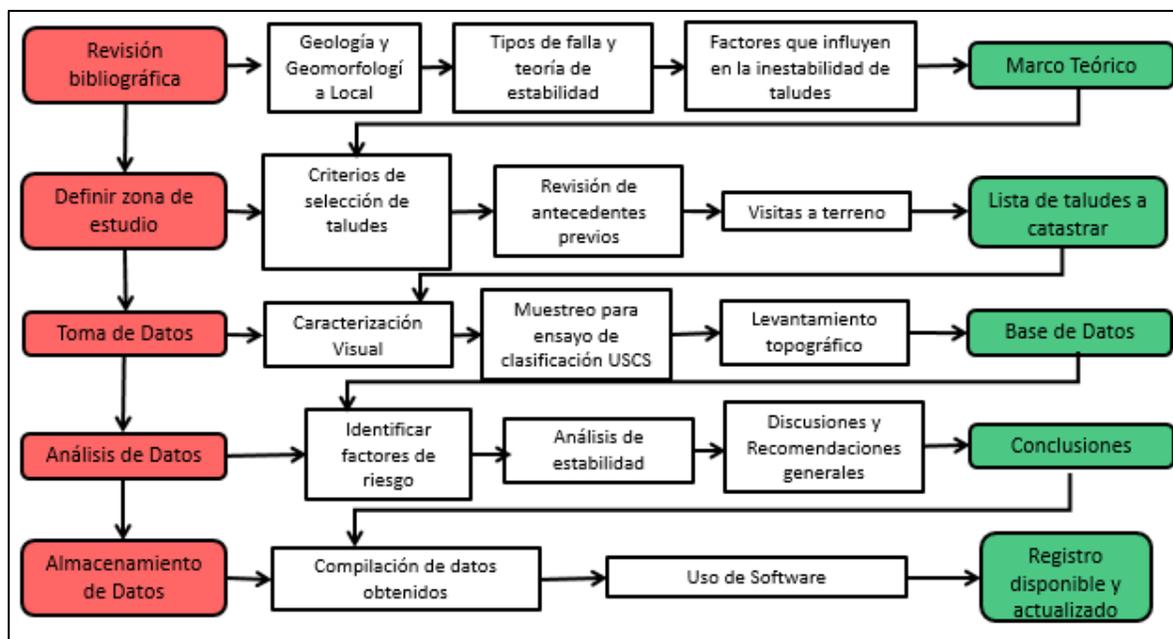


Figura 5. Metodología del proyecto de título.

Fuente: Elaboración propia

4.4 Materiales y equipos a emplear

- Ficha Catastro
- Estación Total (TOPCON modelo 3005L)
- Huincha de medir
- Drone (DJI Spark)
- Materiales de Laboratorio de Mecánica de Suelos, Universidad del Bío-Bío, Concepción.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 Introducción

En este capítulo, se dan a conocer los resultados obtenidos tras la aplicación de la ficha catastro y ensayos propuestos, para cada uno de los taludes seleccionados.

La ficha catastro almacena una serie de datos cualitativos y cuantitativos del talud, que abarca aspectos morfológicos del terreno, manejo de aguas, presencia de vegetación, geometría, y otras descripciones que permiten finalmente comprender el escenario actual en el que se encuentra cada uno de los taludes en cuanto a la susceptibilidad a sufrir remociones en masa.

La aplicación de la ficha catastro está representada en el Anexo A del presente proyecto de título, sin embargo, en la presentación de datos de este informe de tesis que sigue a continuación, se presenta un cuadro resumen para cada talud, que refleja los aspectos más relevantes que la caracterizan. Para este efecto, se ha planteado un lenguaje que permite describir el talud en base a un estudio cuantitativo. De este modo, la pendiente de cada talud será representada como se menciona en la siguiente Tabla 4:

Tabla 4. Calificación según presencia del fenómeno.

Fuente: Elaboración propia.

Pendiente [grados]	Calificación
0-10°	Plano
10-25°	Pendiente suave
25°-50°	Pendiente fuerte
>50°	Escarpado

De la misma forma, el área de la superficie del talud compuesta de vegetación también llevará una clasificación como se determina a continuación en la Tabla 5:

Tabla 5. Calificación según cubierta de vegetación.

Fuente: Elaboración propia

Superficie	Grado
-	No presenta
0-25%	Leve
25%-60%	Moderada
>60%	Alta

A continuación, en la Figura 6 se presenta una imagen satelital en la cual se señala la ubicación de los siete taludes seleccionados para el catastro.

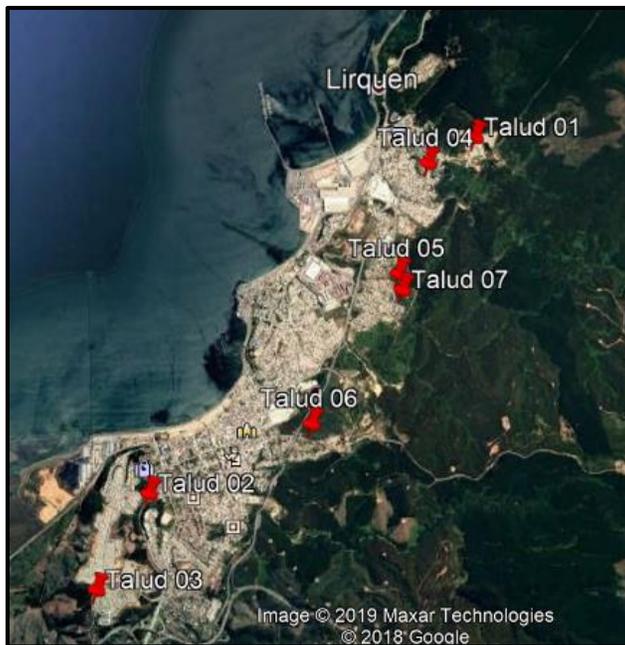


Figura 6. Ubicación general de taludes catastrados en la comuna de Penco.

Fuente: Google Earth

5.2 Resultados

Talud 01

Es un talud de gran envergadura que debido a su fácil acceso, ubicación y topografía está siendo utilizado como basural. Las casas colindantes al talud han ido ampliando sus patios traseros, acercándose gradualmente al borde del talud en su parte alta. Por otro lado, la superficie del escarpe se encuentra muy deteriorada, presentando rasgos claros de pequeños desprendimientos de suelo, cárcavas y surquillos.



Figura 7. Talud N°01, Población Montahue, Penco.

Descripción

Tabla 6. Resumen de información de talud N°01

UBICACIÓN	Los Avellanos #365 Población Montahue, Penco
DISTANCIA ASENTAMIENTO URBANO	6 metros
ÁNGULO ELEVACIÓN TALUD	60°
CUBIERTA VEGETAL	No presenta
CLASIFICACIÓN USCS	MH
% FINOS	69
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	27
ALTURA TALUD	4.5 metros
INTERVENCIONES	No presenta

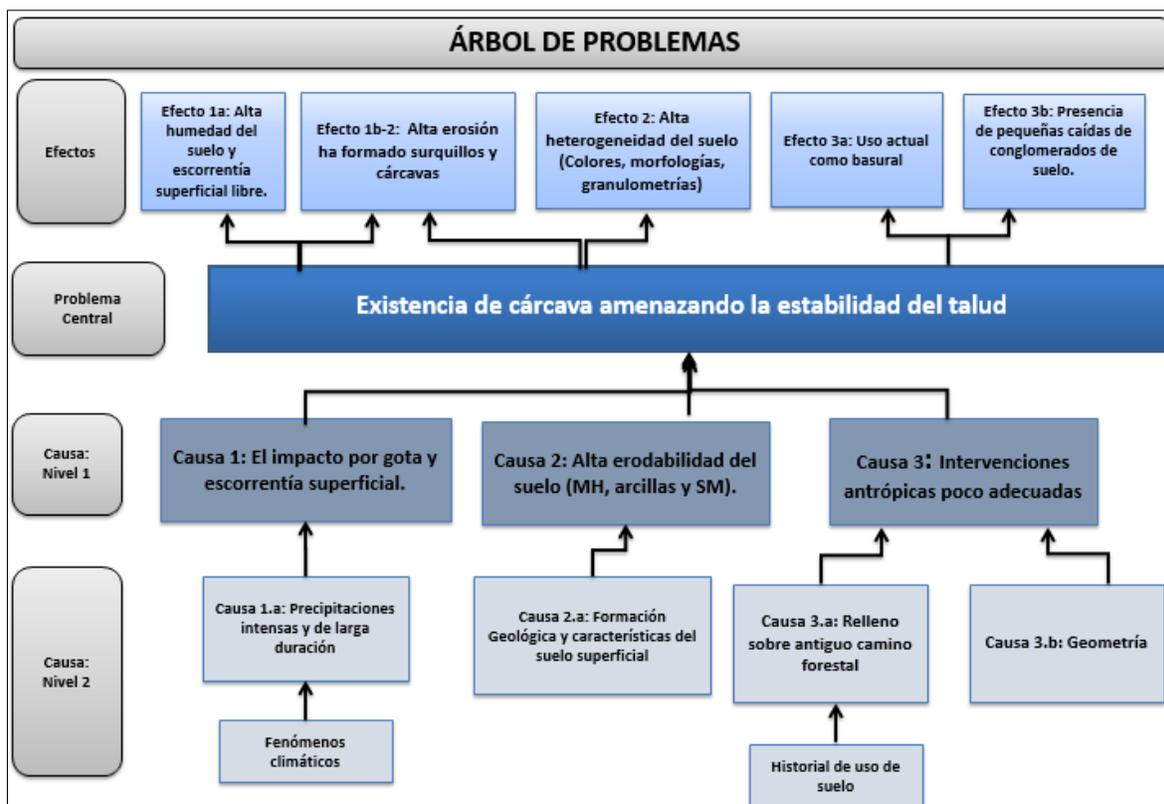


Figura 8. Árbol de Problemas para el talud N°01

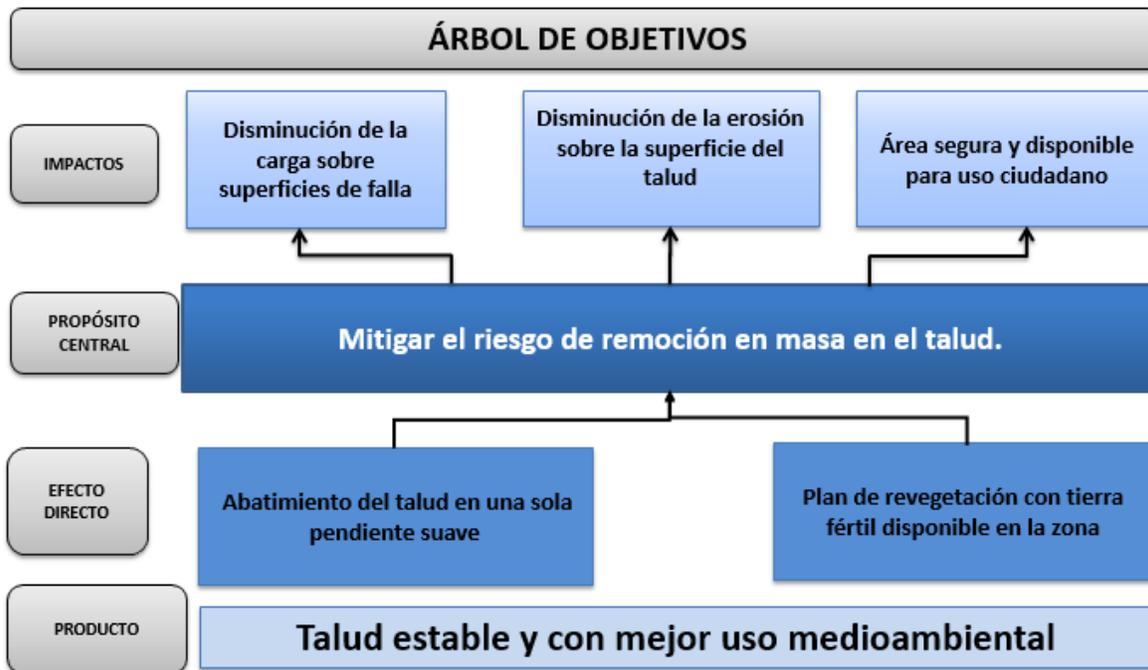


Figura 9. Árbol de Objetivos para el talud N°01

Análisis de estabilidad

Tabla 7. Valores de referencia para distintos tipos de suelo (Geodata, 2013)

Tipo de suelo	Cohesión (Kg/cm2)	Ángulo fricción (Rango)
Arena limosa compactada (SM)	0,2-0,5	30-37
Arenas limpias (SP)	0	30-39
Grava bien graduada (GW)	0	33-42
Arcillas de alta plasticidad (CH)	0,25-1,2	17-31
Limos de alta plasticidad (MH)	0,2-0,7	23-33

Al no contar con los parámetros geotécnicos propios del suelo en estudio que permitan realizar un análisis de estabilidad, se utilizarán valores referenciales para proceder, además se fijará el valor del ángulo de fricción y se analizarán 3 casos distintos variando los valores de cohesión con el fin de observar el comportamiento del factor de seguridad mínimo. En la siguiente imagen se puede apreciar la superficie de falla asociada al mínimo factor de seguridad encontrado por el software.

Tabla 8. Parámetros utilizados análisis de estabilidad

Parámetro	Magnitud
Ángulo Fricción	25
Cohesión	0,2/ 0,5 / 0,7 (kg/cm2)
Peso específico natural	1800 kg/cm3
Peso específico saturado	2100 kg/cm3
Kv	0,005
Kh	0,2

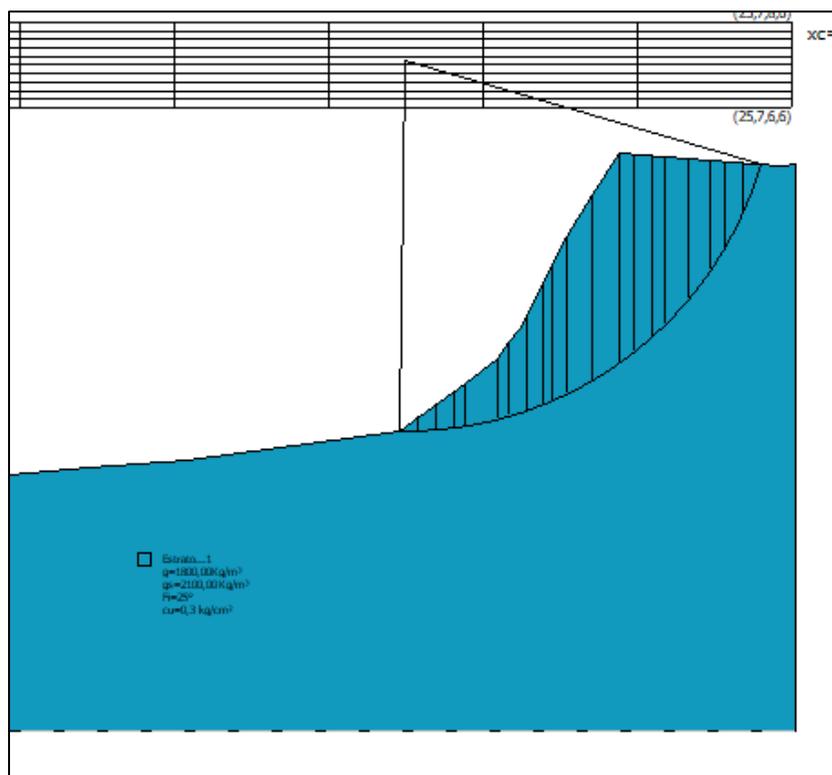


Figura 10. Superficie de falla asociada al factor de seguridad mínimo.

Tabla 9. Parámetros utilizados análisis de estabilidad

Cohesión (kg/cm2)	FS mínimo
0,3	2,18
0,5	3,32
0,7	4,46

Talud 02

El presente talud sufre un deslizamiento rotacional en julio del presente año, bloqueando el acceso a Penco por la Ruta 150, poniendo en peligro a los automovilistas que transitaban por la calzada por tratarse de una zona que se ubica a continuación de una curva cerrada.

Se observa una alta presencia de gravas redondeadas de gran tamaño entre partículas pequeñas de diámetro inferior a 4mm.

Al día de hoy, no presenta soluciones o medidas de contención.



Figura 11. Talud 02 Población Forjadores de Chile, Ruta 150, Penco.

Descripción

Tabla 10. Resumen de información de talud N°02

UBICACIÓN	Ruta 150 km.8 Población Forjadores de Chile
DISTANCIA ASENTAMIENTO URBANO	No presenta
ÁNGULO ELEVACIÓN TALUD	38°
CUBIERTA VEGETAL	Leve
CLASIFICACIÓN USCS	ML-MH
% FINOS	66
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	16
ALTURA TALUD	8 metros
INTERVENCIONES	No presenta

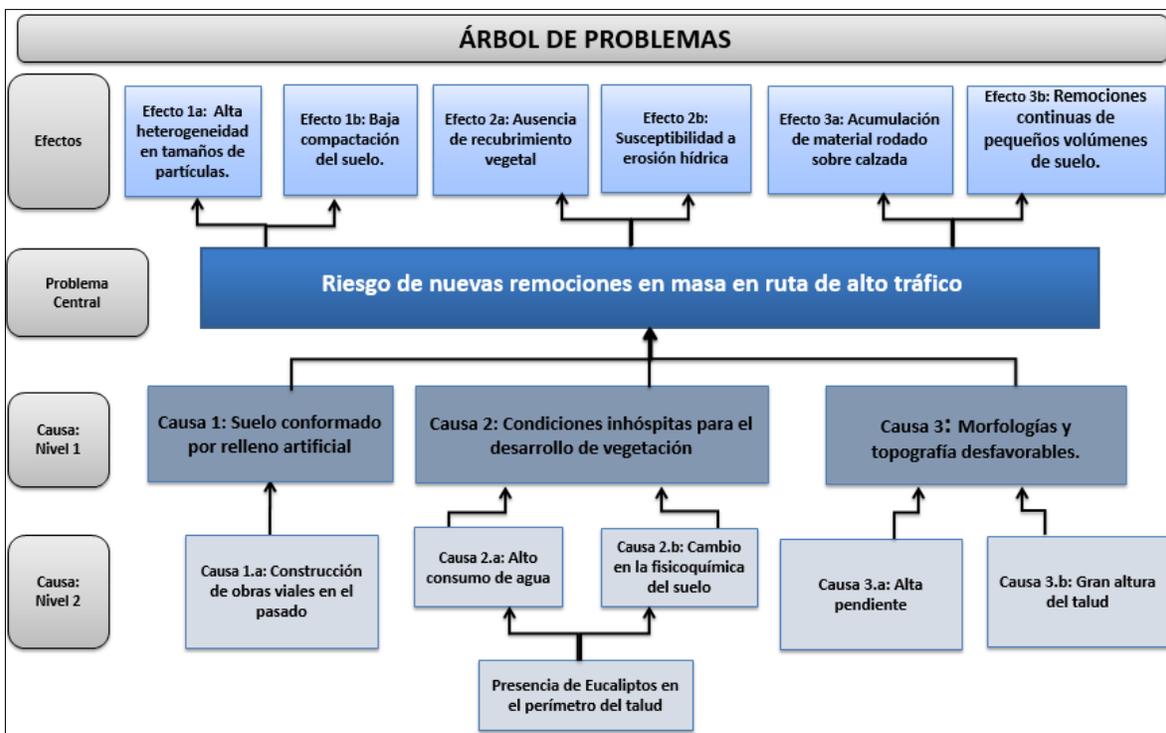


Figura 12. Árbol de Problemas para el talud N°02

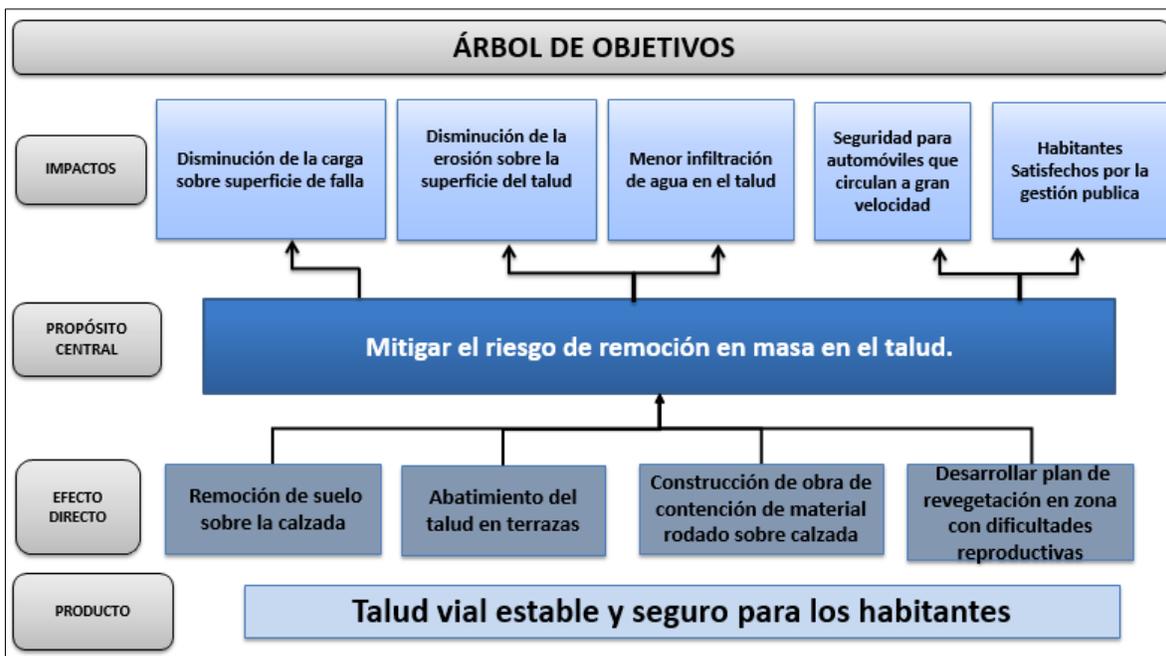


Figura 13. Árbol de Objetivos para el talud N°2

Talud 03

Pie del talud ubicado a dos metros de viviendas, con un muro de hormigón en su base de un metro de altura que fue insuficiente para soportar las presiones laterales ejercidas por el talud tras un episodio de lluvia intensa. Se infiere que la saturación del suelo provocó el aumento excesivo del peso de un talud ya erosionado por la precipitación directa sobre el escarpe así como el depósito de agua proveniente de las viviendas asentadas en la corona. Finalmente, resultando un deslizamiento de tipo rotacional, en agosto del presente año donde no hubo grandes daños que lamentar debido al bajo volumen de suelo desplazado. Este destruyó el muro de hormigón, permitiendo al suelo cubrir por completo sus patios traseros. Sin embargo, si no se toman las medidas necesarias, se pueden afrontar nuevas remociones de mayor magnitud, que podrían afectar severamente a las casas involucradas en el perímetro.



Figura 14. Talud 01 Población Geochile, Lirquén.

Descripción

Tabla 11. Resumen de información de talud N°03

UBICACIÓN	Pje. La Cata #35-#45, Población Geochile
DISTANCIA ASENTAMIENTO URBANO	2.5 metros
ÁNGULO ELEVACIÓN TALUD	44
CUBIERTA VEGETAL	Descubierto
CLASIFICACIÓN USCS	Pie del talud SM, escarpe ML
% FINOS	Pie: 57% Escarpe: 40%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	Pie: 10 Escarpe: 9
ALTURA TALUD	8.5 metros
INTERVENCIONES	Muro hormigón de 1m altura.

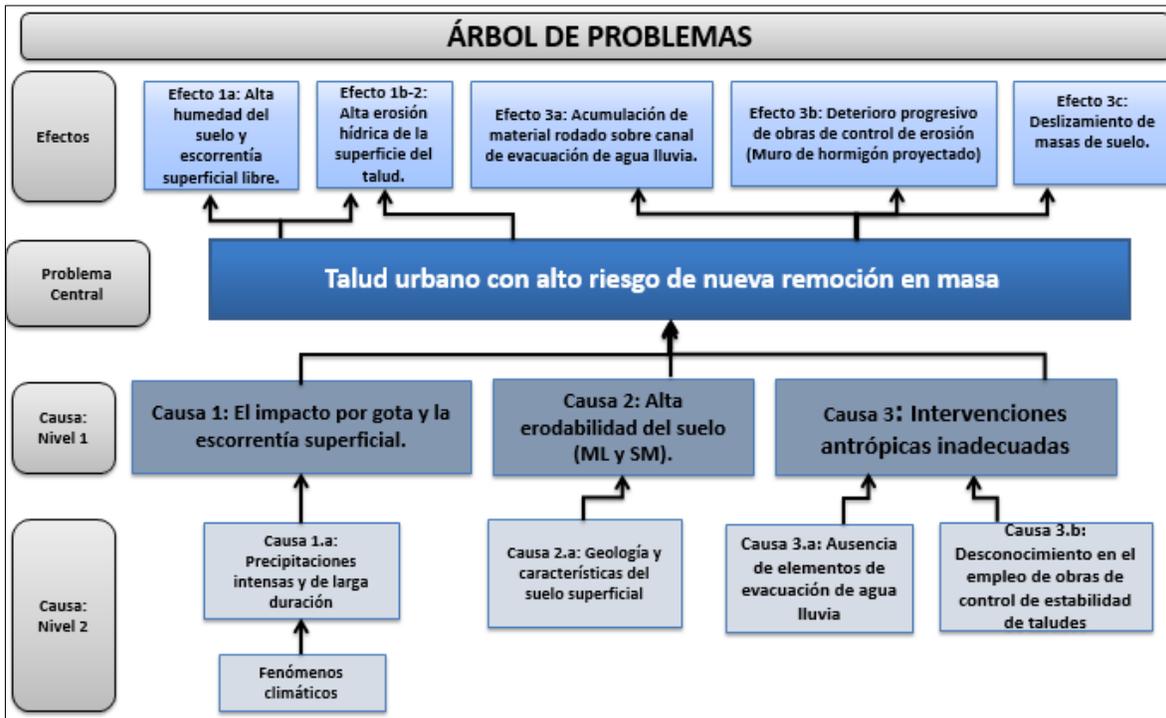


Figura 15. Árbol de Problemas para el talud N°03

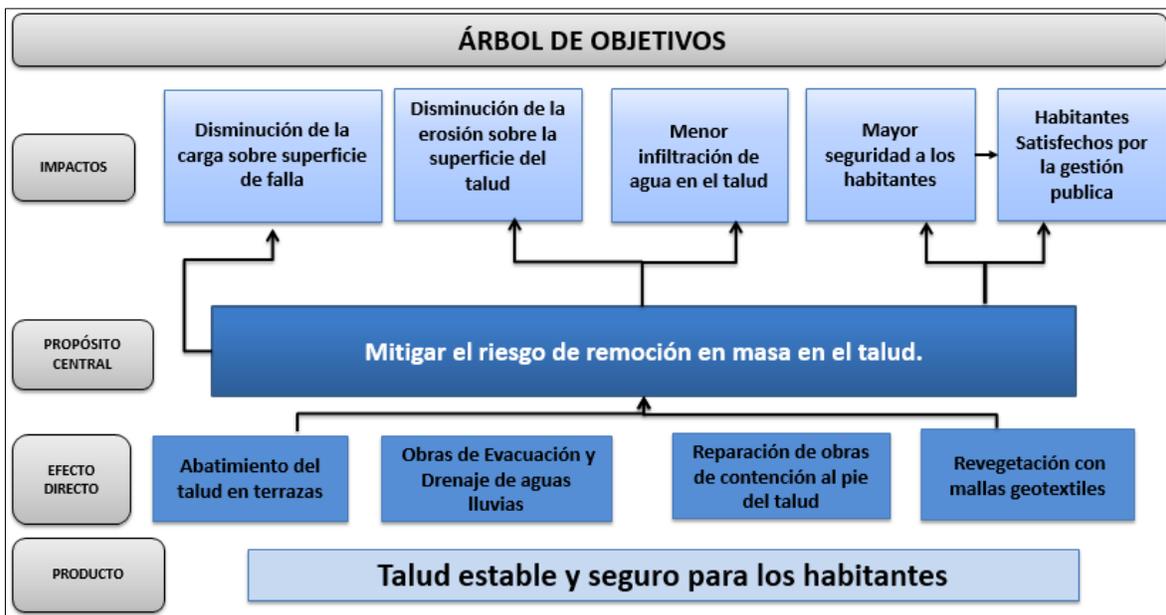


Figura 16. Árbol de Objetivos para el talud N°03

Talud 04

Talud sufre remoción en masa tras episodio de lluvia intensa en el mes de junio. Según informes de SERNAGEOMIN determinan que el talud el talud falló por una sobresaturación del suelo compuesto mayoritariamente por arcilla.

El talud presentaba un grueso recubrimiento vegetal antes del deslizamiento.



Figura 17. Talud 04. Población Jaime Lea, Penco.

Descripción

Tabla 12. Resumen de información de talud N°04

UBICACIÓN	Independencia #150, Villa Jaime Lea, Lirquén
DISTANCIA ASENTAMIENTO URBANO	2m
ÁNGULO ELEVACIÓN TALUD	55°
CUBIERTA VEGETAL	No presenta
CLASIFICACIÓN USCS	SM
% FINOS	25
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	8
ALTURA TALUD	7 metros
INTERVENCIONES	Muro de hormigón 1m altura

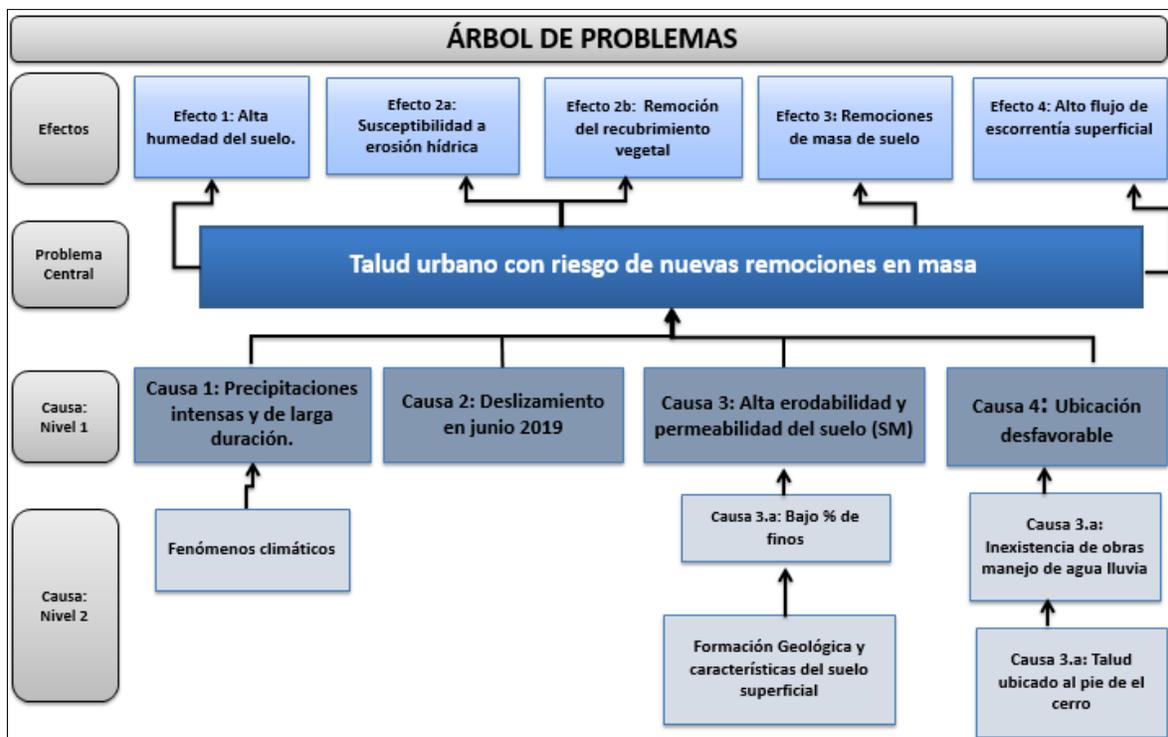


Figura 18. Árbol de Problemas para el talud N°04

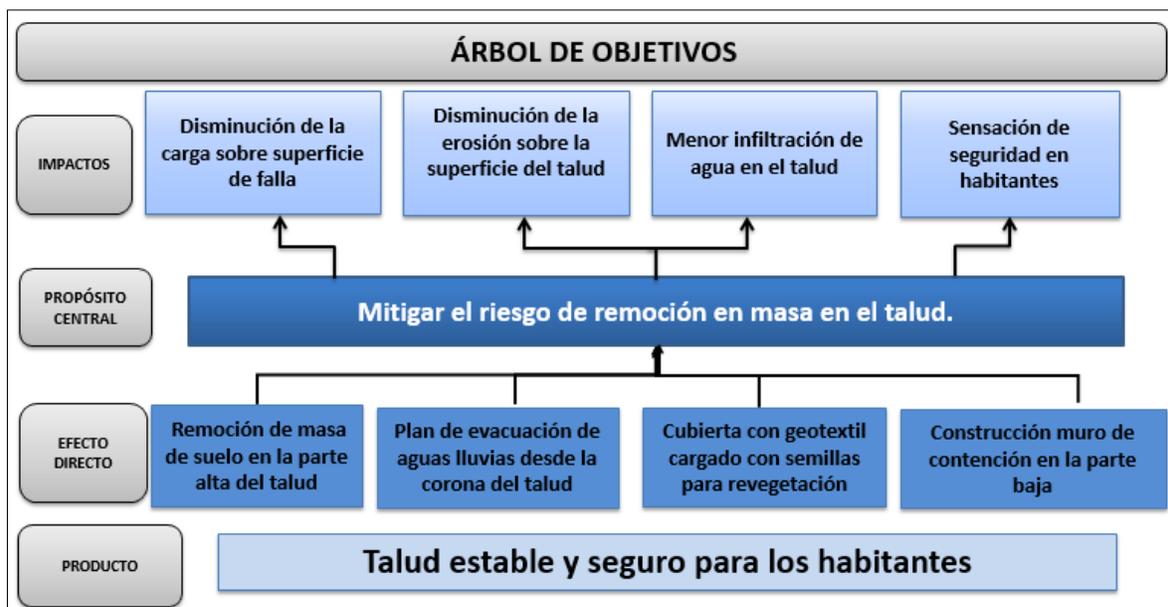


Figura 19. Árbol de Objetivos para el talud N°04

Talud 05

Talud muy cercano al hogar, que ya ha presentado pequeñas remociones que se han depositado por encima de la vivienda.

Luego del deslizamiento se procedió a simplemente desplazar manualmente el suelo caído, dejando parte de este descansando sobre la techumbre de la vivienda.



Figura 20. Población Villa Valparaíso, Penco.

Descripción

Tabla 13. Resumen de información de talud N°04

UBICACIÓN	Pje 3 #698, Villa Valparaíso, Lirquén
DISTANCIA ASENTAMIENTO URBANO	0.5m
ÁNGULO ELEVACIÓN TALUD	60°
CUBIERTA VEGETAL	Leve
CLASIFICACIÓN USCS	SM
% FINOS	47
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	8
ALTURA TALUD	4 metros
INTERVENCIONES	No presenta

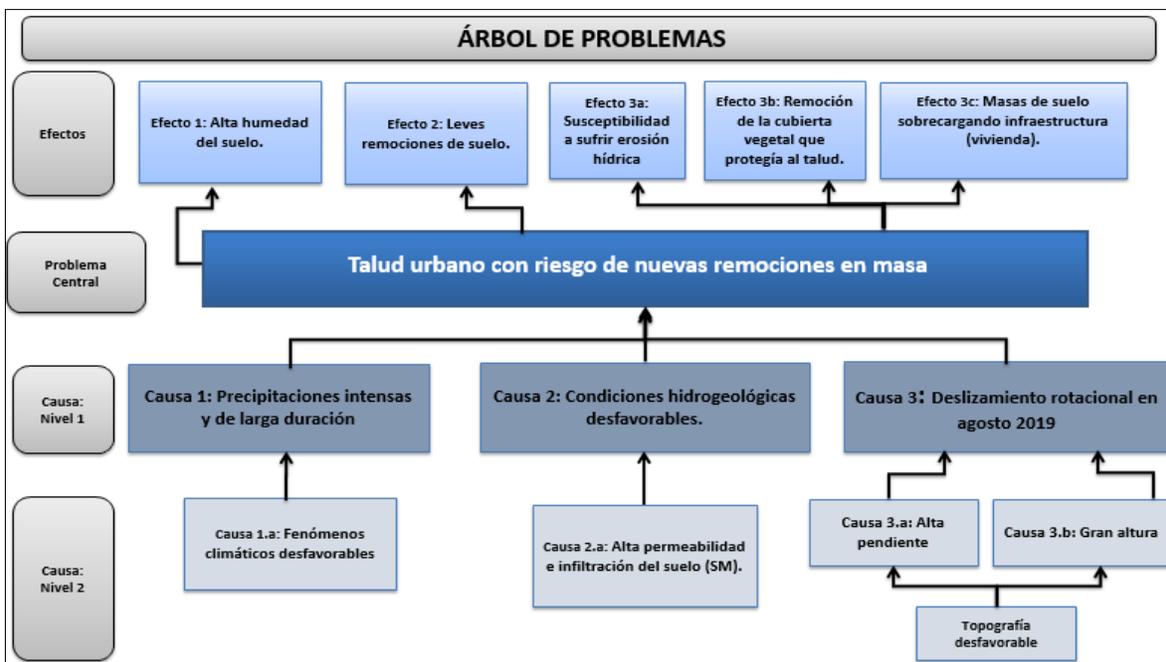


Figura 21. Árbol de Problemas para el talud N°05

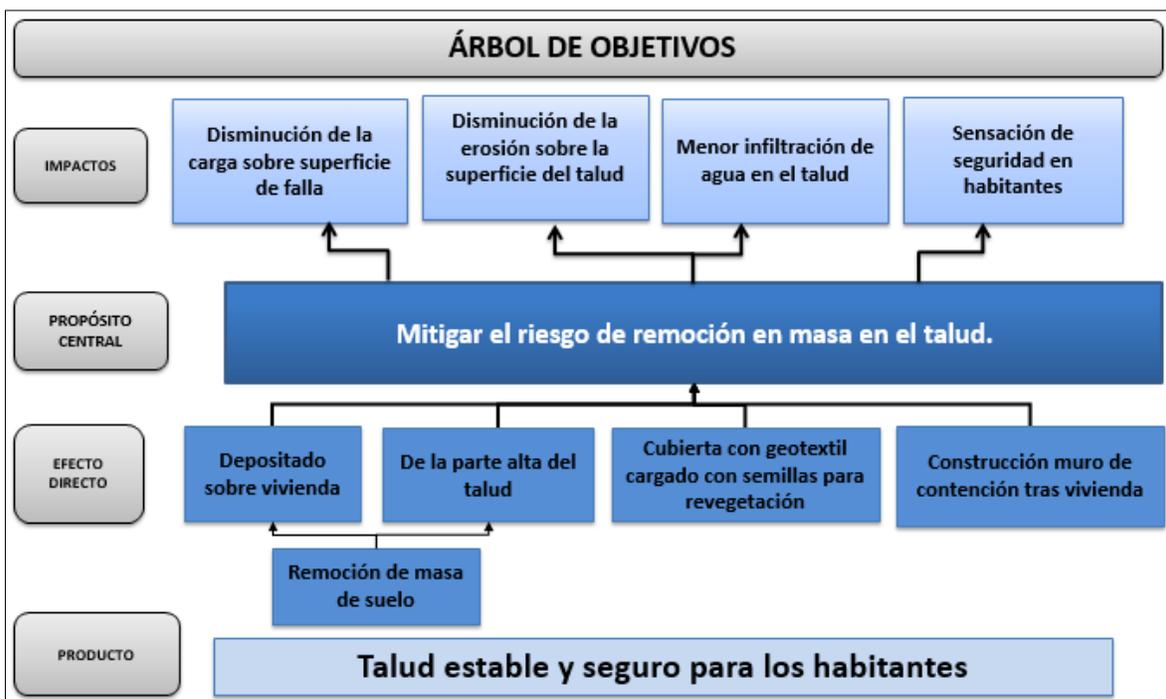


Figura 22. Árbol de Objetivos para el talud N°05

Talud 06

- El talud sufre deslizamiento rotacional en el mes de julio, en el cual un gran muro de mampostería de 2.5m de altura fue derribado.
- Una gran masa de suelo se encuentra depositada en el patio trasero de la vivienda.



Figura 23. Talud 06 Villa Penco, Comuna de Penco.

Descripción

Tabla 14. Resumen de información de talud N°06

UBICACIÓN	O'higgins #950, Villa Penco
DISTANCIA ASENTAMIENTO URBANO	2.5m
ÁNGULO ELEVACIÓN TALUD	75°
CUBIERTA VEGETAL	Moderada
CLASIFICACIÓN USCS	SM
% FINOS	23
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	8
ALTURA TALUD	3 metros
INTERVENCIONES	Muro mampostería

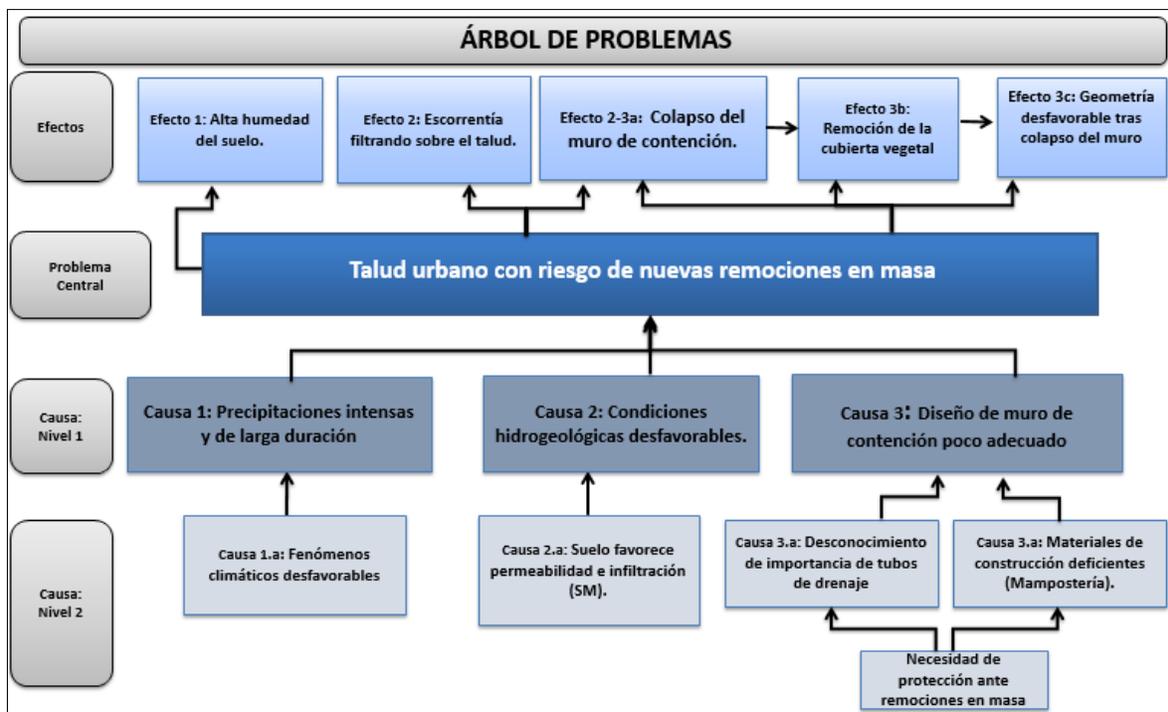


Figura 24. Árbol de Problemas para el talud N°06

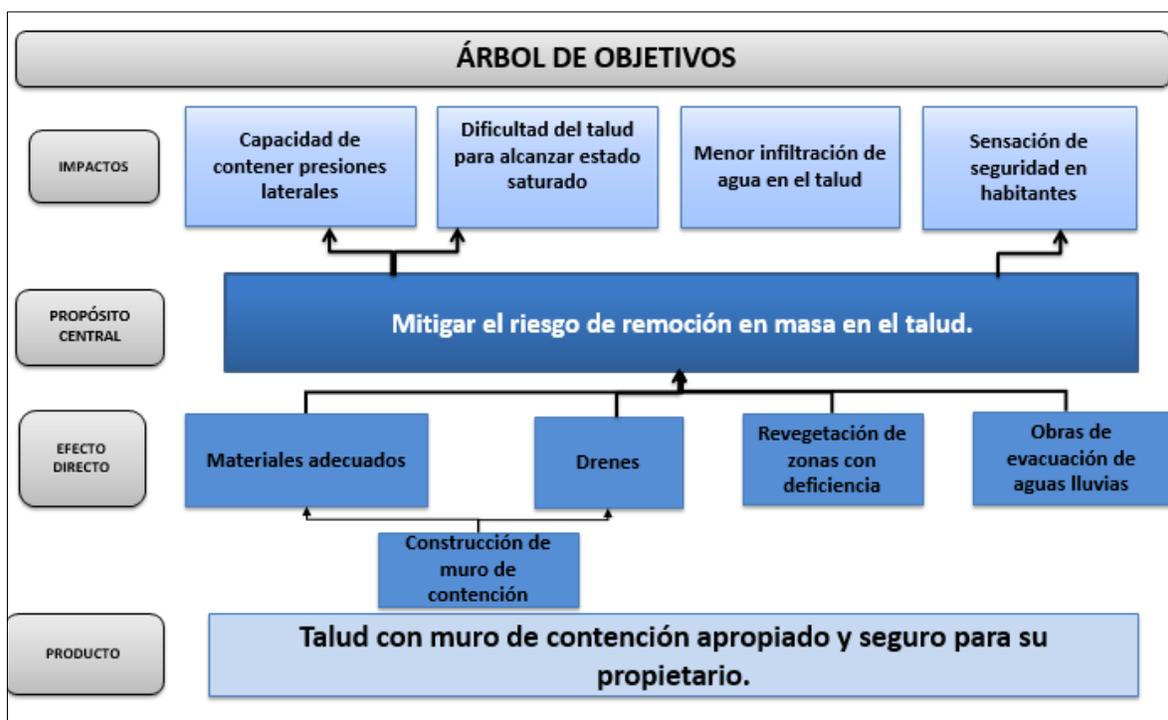


Figura 25. Árbol de Objetivos para el talud N°06

Talud 07

- Remoción en masa sufrida en el mes de junio, tras episodio de lluvia intensa.
- Muro de hormigón de 1.5m derribado.
- No presenta soluciones a la fecha, solo una cubierta plástica de protección.



Figura 26. Talud 07. Población Lord Cochrane, Penco.

Descripción

Tabla 15. Resumen de información de talud N°06

UBICACIÓN	Los Álamos #576, Población Lord Cochrane
DISTANCIA ASENTAMIENTO URBANO	1m
ÁNGULO ELEVACIÓN TALUD	45°
CUBIERTA VEGETAL	Moderada
CLASIFICACIÓN USCS	SM
% FINOS	42
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	11
ALTURA TALUD	4.5 metros
INTERVENCIONES	Muro de hormigón de 2m

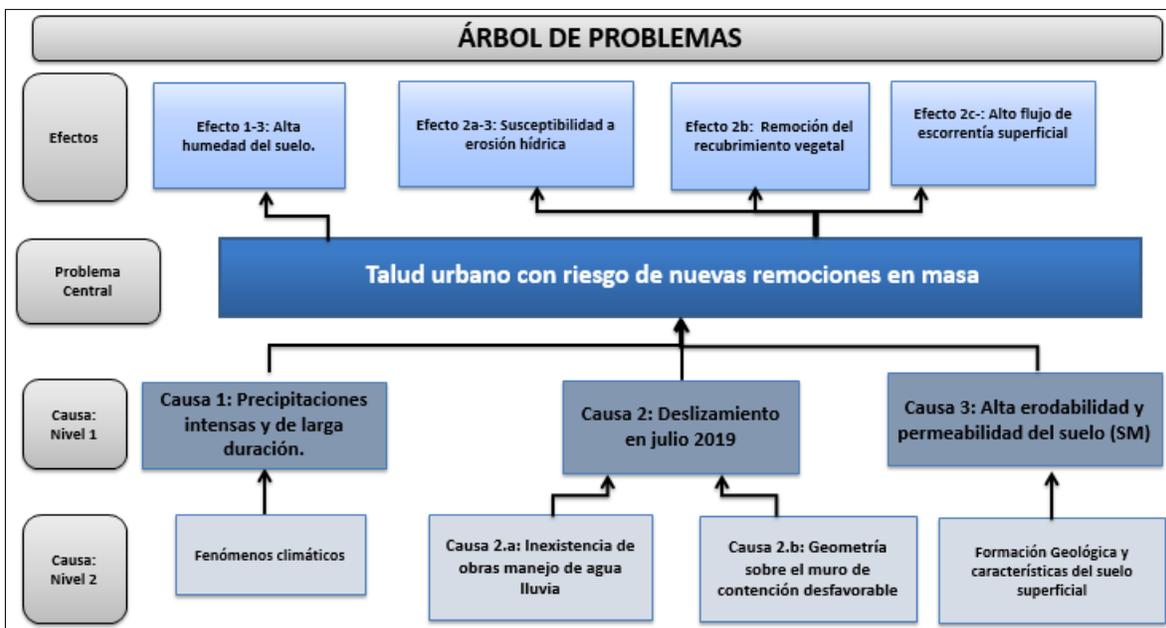


Figura 27. Árbol de Problemas para el talud N°07

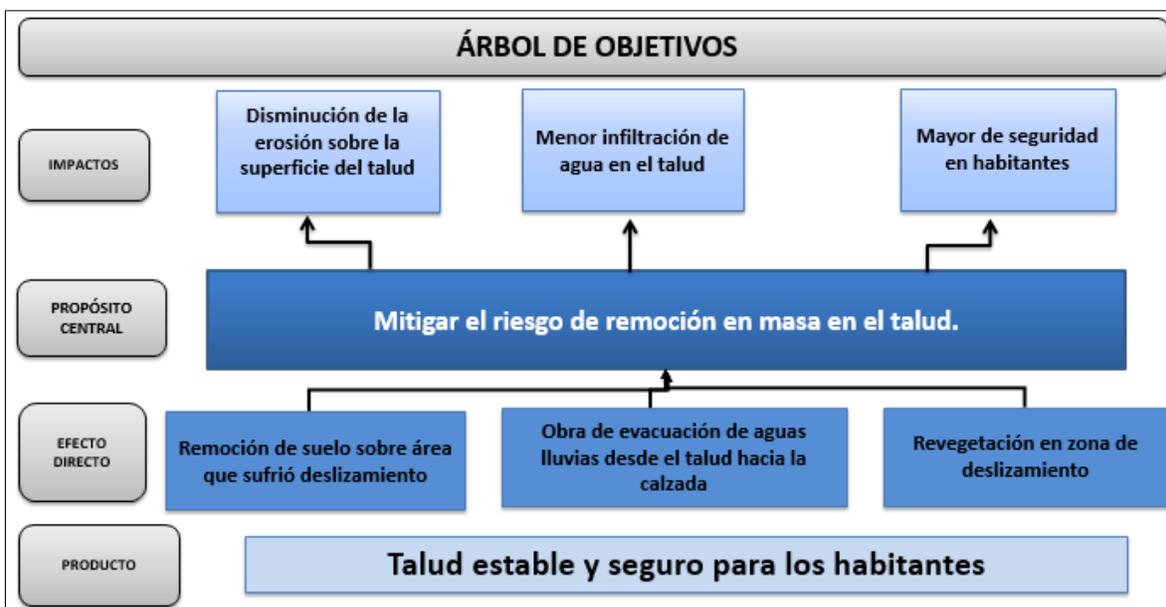


Figura 28. Árbol de Problemas para el talud N°07

5.3 Análisis de Resultados

Una vez realizada la inspección en terreno, llenado de fichas de catastro, topografía y clasificación de suelos, se identificaron las problemáticas más recurrentes en el total de taludes observados, de manera de identificar los factores más relevantes que están causando una serie de efectos negativos en el cuerpo del talud, que convergen en problemas de estabilidad y deslizamientos.

A continuación, en la Tabla X, se resume una serie de elementos de cada talud, los que permiten interpretar una serie de análisis que se presentarán en breve.

Tabla 16. Resumen de aspectos relevantes de cada uno de los taludes observados.

	Talud 1	Talud 2	Talud 3	Talud 4	Talud 5	Talud 6	Talud 7
Clasificación USCS	MH	ML- MH	SM y ML	SM	SM	SM	SM
Pendiente Media [grados]	60°	38°	44°	55°	60°	75°	45°
Altura [metros]	4.5m	8m	8.5m	5.5m	4m	3.5m	4.5m
Material Fino [%]	69%	66%	57y40%	25%	47%	23%	42%
Vegetación [%]	0%	15%	0%	0%	20%	50%	40%

La Tabla 12, deja en manifiesto que el suelo preponderante en la zona es la arena limosa (SM), encontrándose presencia de limo en la totalidad de las muestras analizadas, en distintos porcentajes que varían entre un 23% y 69%. Por otro lado, las pendientes observadas son muy elevadas en comparación a los parámetros estándar que se esperan para suelos de este tipo. La altura de cada talud es suficiente para abarcar grandes masas de suelo y así aportar con una significativa componente del peso sobre la superficie de falla, y finalmente, la presencia de vegetación en la superficie de cada talud es preponderantemente escasa, lo que también es un aspecto negativo a considerar. Estos y otros análisis se profundizarán a continuación del siguiente esquema resumen que contempla cada uno de los elementos involucrados en el deterioro e inestabilidad de los taludes catastrados.

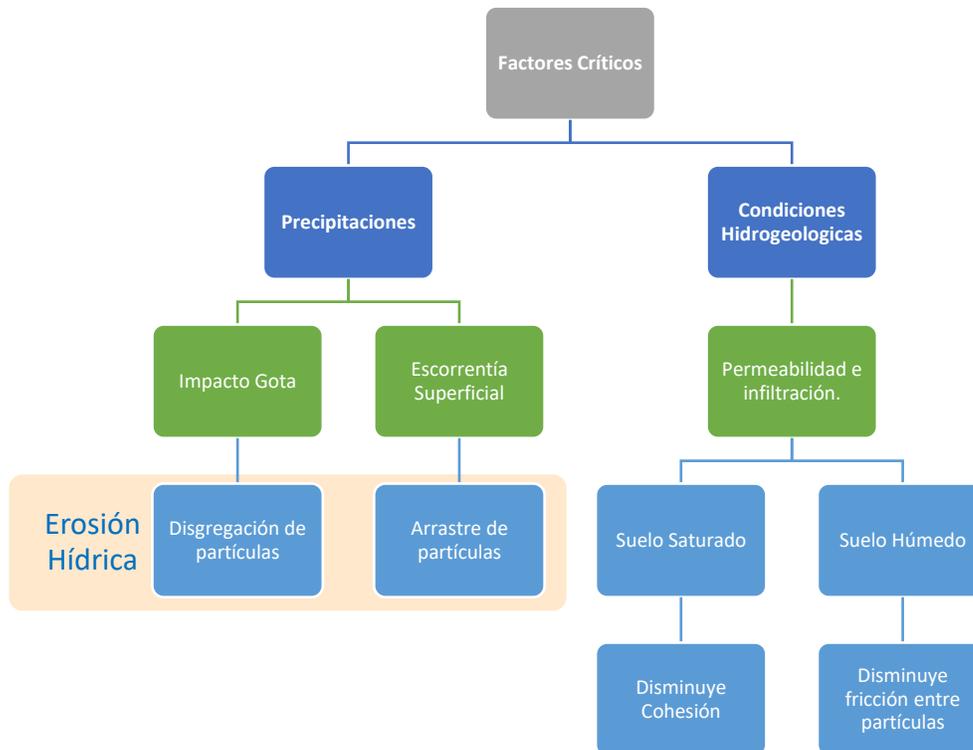


Figura 29. Esquema resumen de Factores Críticos.

En el esquema anterior, se resumen los factores críticos que afectan a la inestabilidad de taludes en el área de estudio, propiciado por el origen de los suelos de esta zona, correspondiente a roca granítica que presenta una intensa meteorización química traducida en partículas muy pequeñas de baja resistencia, y que son susceptibles a una serie de desventajas frente a otros suelos, que se presentarán a continuación.

5.3.1 Precipitaciones

En cuanto a las precipitaciones, vemos afectaciones de distinta índole, por un lado, las condiciones hidrogeológicas de una arena limosa son desfavorables porque la porción granular tiene una permeabilidad considerable (ver tabla de permeabilidad según tipo de suelo en Anexo A), que facilita la infiltración de agua en el cuerpo del talud, afectándolo de varias formas que se presentan a continuación:

- Pérdida de cohesión como resultado de la lubricación que propicia el agua sobre las partículas, disminuyendo el roce entre ellas, y en condiciones saturadas también pueden disminuir significativamente el ángulo de fricción interna. Las presiones de poro en suelos

saturados disminuyen la tensión efectiva según la Ley de Terzaghi (ver Anexo A), lo que hace disminuir la capacidad de carga del suelo.

- Desde otro punto de vista, la infiltración de agua también aumenta el peso del talud, afectando a la componente gravitacional que se contrapone a las fuerzas de roce, disminuyendo el factor de seguridad de las superficies de falla.
- La erodabilidad de la arena limosa encontrada en Penco es muy alta, siendo las precipitaciones, la principal causante de una creciente erosión hídrica, manifestándose en la presencia de surquillos y cárcavas en todos aquellos taludes desprovistos de cubierta vegetal. Esta erosión se aplica de dos formas, la primera y más elemental es el impacto por gotas de lluvia, que salpica pequeños granos de suelo, dispersándolos por la superficie del talud, y en segundo lugar, la escorrentía superficial es la encargada de arrastrar estos granos dispersos hacia cotas inferiores.

5.3.2 Morfología y Topografía

En el total de los taludes catastrados, se midieron altas pendientes que van desde los 40 hasta los 70 grados, siendo estas muy elevadas si comparamos con parámetros estándar de ángulos de reposo para suelos de este tipo, que representan la inclinación máxima para la cual el suelo se encuentra en un estado estable, por lo que sin duda significan mayor riesgo de deslizamiento. La razón por la que no se generen deslizamientos en los taludes que se han mantenido en pie, tiene explicación en la cohesión propia de los suelos finos y además la cementación del material, proceso químico y mineralógico que a lo largo de los años ha formado enlaces entre las partículas.

Otra implicancia de la pendiente actual que tienen los taludes observados, sumado con una elevada altura que supera los 4 metros en cada uno de ellos, es el gran aporte en peso que se genera sobre la superficie de falla, aumentando aún más el riesgo de deslizar, tal como se presenta en la figura 25.

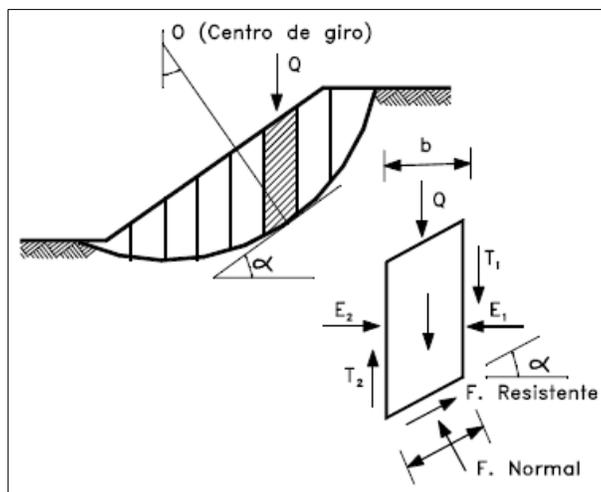


Figura 30. Bloque de tensiones para una dovela. (Suarez, 1998)

5.3.3 Vegetación

Siguiendo con los factores que afectan a la estabilidad de taludes, pero entrando en materia de factores condicionantes, que por sí solos no serán capaces de provocar deslizamientos, se encuentra el bajo porcentaje de recubrimiento vegetal en la superficie de los taludes. Como bien se ha señalado antes, la vegetación sobre la superficie tiene variados beneficios tales como; impedir la erosión hídrica por impacto de gotas, disminuir el arrastre de partículas de suelo por escorrentía superficial, y además, a través de la raíces, proporciona una cierta cohesión a las partículas en un gran grosor de la superficie, que evita en cierta medida la infiltración de agua y la absorción de esta para su propio consumo.

5.3.4 Actividad Humana

La intervención humana presente en los taludes catastrados tiene dos aristas, por un lado, existen viviendas que con el propósito de ganar el máximo terreno posible, han ido desplazando la infraestructura de su hogar hasta el pie o corona del talud, poniéndose en riesgo de sufrir daños por deslizamiento de suelo sobre la edificación, o por aportar con una sobrecarga en la corona, pudiendo concluir con una falla. Y en segundo lugar, con el propósito de proteger sus viviendas, han diseñado medidas de contención que no se adecuan al problema existente, claros son los casos de muros de mampostería que han fallado por el aumento del peso volumétrico del suelo tras saturarse, aumentando considerablemente las presiones sobre el muro, sin contar este con tubos de drenaje que permitan liberar esta presión extra.

5.4 Registro de datos

Dentro de las motivaciones del presente proyecto de título, se encuentra la intención de contribuir a la sociedad a través de la prevención de riesgos geológicos, y desde esta consigna, se buscó la forma de dar a conocer el registro de datos recolectados, de manera que pueda ser utilizado por las entidades encargadas de tomar las medidas correctivas o preventivas necesarias, y posterior a ello, puedan editar la información según el cambio de las condiciones de cada talud en el tiempo. De esta forma, se ha elegido el programa computacional Google Earth, que permite seleccionar áreas libremente a través de polígonos, el que permite añadir todo tipo de información que el operador estime conveniente, a través de texto e imágenes, para luego crear un archivo con formato Keyhole Markup Language Zipped abreviado .kmz que puede ser compartido entre usuarios.

A continuación, en la Figura 26 se presenta una imagen rescatada de la plataforma Google Earth, en la cual se observa una polígono irregular de color rosado que representa el área comprendida del talud, y un cuadro blanco que muestra la información almacenada en él. La totalidad de la información almacenada en el archivo resultante, se encuentra disponible en el disco compacto que almacena todos los contenidos del presente proyecto de título.



Figura 31. Imagen referencial de registro de datos.

Fuente: Google Earth

5.4 Discusión

5.4.1 Importancia de ensayos de laboratorio

De los taludes catastrados, dos de ellos corresponden a casos extraídos de un informe de SERNAGEOMIN del mes de agosto del presente año, tras un episodio de lluvia intensa en el cual acontecieron varios deslizamientos en la zona, y a fin de explicar el fenómeno y evaluar los daños ocasionados, inspectores de la entidad mencionada fueron a terreno a realizar inspecciones visuales, en las cuales concluyeron que el suelo existente era arcilla, sin embargo, de los ensayos de clasificación de suelos realizados en este proyecto de título, los resultados arrojaron que el suelo que domina ambos taludes corresponde a arena limosa. Una diferencia de esta magnitud, lleva a análisis muy opuestos y que pueden concluir en soluciones erróneas. Por esta razón, queda en evidencia la importancia de la realización de una clasificación de suelos según las normas establecidas.

5.4.2 Estratigrafía

Cuando se necesita hacer un estudio detallado del perfil del talud, no basta con extraer una sola muestra de suelo superficial, más bien se requieren muestras a lo largo de todo el escarpe y a distintas profundidades. El suelo es un material muy heterogéneo que incluso puede ir variando en su composición elemental entre un estrato y otro, en pocos metros de distancia. Como bien se ha dicho, la superficie de falla de los taludes muchas veces puede encontrarse a varios metros bajo la superficie, por lo que será necesario conocer las características del suelo que la componen para hacer los estudios pertinentes con menor nivel de incertidumbre.

5.4.3 Tecnología dron

La realización de topografías con estación total presenta la desventaja de necesitar que las condiciones del terreno sean las apropiadas para el desplazamiento seguro de sus operarios, sin embargo, ante los recientes avances tecnológicos, los ingenieros en los últimos años han empezado a utilizar la tecnología de vehículos aéreos no tripulados conocidos como dron, los cuales, en sus versiones más sofisticadas, tienen la capacidad de poder realizar levantamientos topográficos a través de la fotogrametría y presentando consigo numerosas ventajas, como la disminución de tiempos en terreno, de recursos y lo más importante, de riesgos. Generan además un aumento de productividad y de competitividad en el mercado.

Entre las desventajas que se pueden mencionar, estos no son eficientes cuando se requiere medir zonas boscosas, donde el dron no consigue obtener datos completos del terreno, por lo que se necesitaría complementar con topografía clásica.

5.4.4 Ensayos anexos

Si bien el enfoque del presente proyecto de título, manifiesta que las inspecciones visuales en terreno, acompañadas de una clasificación de suelos y una representación geométrica, es una herramienta válida para determinar a priori posibles vulnerabilidades del talud frente a distintas amenazas que pueden converger en problemas de estabilidad, es necesario constatar que para una efectiva descripción de un talud, se requiere la aplicación de distintos ensayos que ayudan a caracterizar íntegramente propiedades importantes del terreno en cuestión y que permiten operar métodos de análisis y cálculos de estabilidad. Estos ensayos apuntan a la obtención de propiedades índice del suelo y parámetros como el ángulo de fricción interna y cohesión. A modo de ejemplo, estos se pueden obtener en laboratorio con el ensayo de corte directo, o en terreno con la prueba de penetración estándar, entre otros. En caso de pretender estudiar otros fenómenos, el empleo de ensayos para determinar permeabilidad e infiltración serán de ayuda en casos específicos en los que se requiera. Por otro lado, en la actualidad se están empleando cada vez más en Chile los estudios geofísicos, que logran determinar la litología o estratigrafía del subsuelo en grandes áreas, incluyendo la compacidad, presencia de agua y humedades.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Se ha logrado identificar que los factores críticos en la zona de estudio, han sido las precipitaciones y las condiciones hidrogeológicas, agravadas por el cambio de uso de suelo de forestal a urbano y el manejo inadecuado de obras de evacuación de aguas lluvias.

6.1 Conclusiones

Del estudio se puede concluir lo siguiente:

Del total de los taludes catastrados, los factores críticos más relevantes que se encuentran afectando la estabilidad de cada talud, o que ya ha sido causante de anteriores deslizamientos en el área, son las condiciones hidrogeológicas propiciadas por el tipo de suelo, en conjunto con precipitaciones intensas y de larga duración. Este dato es de gran relevancia, puesto que

es el punto de partida en las propuestas de control de estabilidad de taludes. Por otro lado, esta condición se ve agravada cuando existe un cambio de uso de suelo de forestal a urbano, por el elevado nivel de erosión en que se entrega el suelo para urbanizar.

Una vez realizada la caracterización de cada talud por medio de una ficha de catastro, se concluye que esta es una herramienta efectiva, de fácil y directa utilización que complementa favorablemente los análisis de estabilidad por medio de software, de esta forma, se mejora la toma de decisiones con respecto a las medidas de mitigación y soluciones tanto globales como particulares según cada situación.

La metodología de árbol de problemas causa-efecto y el árbol de objetivos utilizado para el análisis, resultó ser una herramienta útil para organizar y condensar las distintas problemáticas de cada talud, permitiendo identificar de manera clara el problema central, los puntos débiles del diseño del talud y las recomendaciones propuestas, esto de manera ordenada y de fácil comprensión.

Desde el punto de vista preventivo, la municipalidades pueden ayudar a mitigar el riesgo por remociones en masa promoviendo con información de utilidad para la población, ya sea por medio de la identificación de zonas inestables, reconociendo las señales de alerta que indica el propio suelo y estructuras aledañas, informando a los pobladores sobre cómo reducir su exposición, y desde esta perspectiva, un punto relevante es que la municipalidad y sus funcionarios deben tomar conocimiento del estado actual de los taludes de la comuna, y por ello es que el registro de datos propuesto por el presente proyecto de título es un buen punto de partida para el constante monitoreo debido a su fácil aplicación y edición.

CAPÍTULO 7. REFERENCIAS

7.1 Referencias

Ramírez, P.; Falcón, M.F.; Marín, M.; Creixell, C. 2011. Evaluación preliminar de peligros geológicos: Área Ciudad de Penco, Región del Biobío. Mapa 10-1: Peligro de inundación por tsunami. In Geología para la reconstrucción y la gestión del riesgo en la Región del Biobío (2012). Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-12-48: 12 p., 35 mapas diferentes escalas. Santiago.

Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996, Landslide Types and Processes, Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report CONASET (2003). “Guía para realizar una Auditoría de Seguridad Vial”

Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. In Landslides, Analysis and Control, Special Report N°176. Schuster, R.L., Krizek, R.J., edits. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., p.11-33

SERNAGEOMIN 2010, INF-BIOBIO-35. Efectos Geológicos del Sismo del 27 de Febrero de 2010: Evaluación de daños y riesgo geológico en Villas Esperanza y Belén, Penco, Región Del Biobío. Inédito. Concepción, Chile.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Resultados Censo 2017, Proyecciones de Población Total, según periodo, Región del Bio-Bío https://regiones.ine.cl/biobio/estadisticas#Estad%C3%ADsticas_de_poblaci%C3%B3n . Visitado 11 de agosto 2019.

Geotechdata.info, Angle of Friction, <http://geotechdata.info/parameter/angle-of-friction.html> (as of September 14.12.2013).

Wieczorek, G. F., 1996. Landslide Triggering Mechanisms in Landslides – Investigations and Mitigation. Special Report 247. A. K. Turner y R. L. Schuster, Editores. Transportation Research Board. National Research Council, National Academic Press, Washington, DC, USA, p.76-90.

Das B. M., 2001. “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”. México. Editorial International Thomson Learning. 594p

LARA, M. & SEPÚLVEDA, S. 2008. Remociones en Masa. Apuntes del curso, Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 63 pp. Santiago.

Cuanalo, O. (2011). “Inestabilidad de laderas, influencia de la actividad humana”. *Revista Elementos, Ciencia y Cultura*.39.

GONZÁLEZ DE VALLEJO., V.; FERRER, M.; ORTUÑO, L. & OTEO, C. 2002. Ingeniería Geológica. Pearson Educación: 744 pp. Madrid.

Scott, K.M., Macías, J.M., Naranjo, J.A., Rodríguez, S., McGeehin, J.P., 2001. Catastrophic Debris Flows Transformed from Landslides in Volcanic Terrains: Mobility, Hazard Assessment and Mitigation Strategies. U.S. Geological Survey Professional Paper 1630.

SUAREZ, Jaime. (2009). “Deslizamientos: análisis geotécnico”. Colombia, Universidad Industrial de Santander. 588p.

Mardones, C. (2007). “Catastro a taludes viales de la provincia de Concepción”. Chile, Universidad del Bío-Bío.

Machuca, G. (2012). “Propuesta de instrumento de inspección visual, para taludes urbanos”. Chile, Universidad del Bío-Bío.

ANEXO A

**PROYECTO DE TÍTULO: “CARACTERIZACIÓN DE TALUDES URBANOS EN
ZONAS DE CAMIO DE USO DE SUELO DE LA COMUNA DE PENCO”**

ALUMNO: JOSÉ MANUEL BAEZA NEIRA

Diciembre 2009

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. MARCO CONCEPTUAL	3
1.1 Remociones en masa	3
1.2. Estabilidad de taludes	4
1.3 Factores que influyen en la estabilidad de taludes	4
1.4 Permeabilidad	6
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	7
2.1 Ficha de Catastro	7
REFERENCIAS	10

CAPÍTULO 1. MARCO CONCEPTUAL

1.1 Remociones en masa

1.1.1 Caídas de roca

Son movimientos abruptos de bloques independientes de roca, siendo sus causas principales la presencia de discontinuidades en el macizo rocoso.

1.1.2 Deslizamientos

Corresponde a un movimiento ladera debajo de masas de suelo o roca a través de superficies de cizalle definidas. Según Varnes (1978) los movimientos más comunes que presentan los deslizamientos, son los traslacionales y rotacionales.

a) Deslizamiento traslacional: Pueden ocurrir tanto en suelo como en roca y tienen lugar en superficies preexistentes más o menos planas, generadas por discontinuidades presentes en el macizo rocoso, como por ejemplo, diaclasas, fallas o planos de estratificación.

b) Deslizamiento rotacional: Son frecuentes en suelos cohesivos o roca muy meteorizada, donde la rotura, ya sea superficial o profunda, tiene lugar a favor de superficies curvas, en que una vez iniciada la inestabilidad, la masa empieza a rotar, pudiendo dividirse en varios bloques que deslizan entre sí y dan lugar a “escalones” con la superficie hacia la ladera y a grietas de tracción estriada (González de Vallejo et al., 2002). Este tipo de movimiento es el más común observado en la comuna de Penco según informes de SERNAGEOMIN.

3.6.3 Flujos

Los flujos son movimientos continuos en el espacio, de masas de suelo en forma de barro o tierra, derrubios (coladas de derrubios) o bloques rocosos (coladas de fragmentos rocosos) con abundante presencia de agua y material muy disgregado que se comporta como un fluido, sin presentar superficies de rotura definidas.

3.6.4 Volcamiento (Toppling)

Tipo de movimiento desencadenado por acción de la gravedad, empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas, en el cual hay una rotación generalmente hacia delante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto pivote de giro en su parte inferior (Varnes, 1978).

3.6.5 Extensiones laterales

Es un movimiento de bloques rocosos o masas de suelo muy coherente y cementado sobre un material blando y deformable. Su origen está basado en la pérdida de resistencia del material subyacente, que fluye o se deforma bajo el peso de los bloques rígidos.

1.2. Estabilidad de taludes

Lowe (1976) señaló que es lógico definir el factor de seguridad en función de la resistencia cortante, por ser precisamente la resistencia al corte, el parámetro que involucra mayor grado de incertidumbre en el análisis de la estabilidad.

Tradicionalmente, el criterio de rotura más extendido y utilizado en la práctica geotécnica es el criterio lineal establecido por primera vez en el año 1773 por Coulomb, para determinar la resistencia al esfuerzo cortante (τ) en un plano. Es un criterio lineal y viene dado mediante la siguiente expresión:

$$\tau = c + \sigma_n \cdot \tan(\phi)$$

Donde:

τ = esfuerzo cortante

c = cohesión. Representa la tensión cortante susceptible de ser resistida cuando la tensión normal no es aplicada.

σ_n = tensión normal al plano de rotura.

ϕ = es una constante denominada ángulo de rozamiento o ángulo de fricción interna del suelo o roca.

El criterio de Mohr-Coulomb es un criterio lineal que es ampliamente usado para definir las condiciones de falla en un suelo, asumiendo el comportamiento lineal que éstos generalmente presentan.

1.3 Factores que influyen en la estabilidad de taludes

En el análisis de los movimientos es de primordial importancia el reconocimiento de los factores que condicionan la estabilidad de los taludes y aquellos otros que actúan como desencadenantes de los movimientos. El conocimiento de ambos factores permite una evaluación del peligro existente y, por tanto, las medidas necesarias para evitar o corregir los posibles movimientos (IGME, 1986)

1.3.1 Factores condicionantes

Los factores condicionantes corresponden a aquellos que generan una situación potencialmente inestable. Los principales son la

La pendiente del talud juega un rol importante en la estabilidad de taludes. Existe una relación inversamente proporcional entre la pendiente del talud β y el factor de seguridad (F_s); es decir a mayor ángulo β , menor factor de seguridad F_s . En laderas donde la disposición de los estratos de suelo y/o roca favorece el fallo a través de una superficie de rotura plana, la influencia del ángulo de inclinación del talud (β) y su relación con la pendiente de los estratos (α) juegan un papel esencial en el comportamiento de la estabilidad (Cuanalo, 2011).

Condiciones hidrogeológicas: El vertido incontrolado de agua sobre el talud repercute en que la presencia de agua aumenta la presión de poro “ u ” y reduce el esfuerzo normal σ_n , por ende disminuye también la resistencia cortante del material, y por otro lado, aumenta el peso del material por saturación.

Vegetación: La presencia de vegetación es un factor que condiciona en gran medida la acción de otros factores considerados como desencadenantes de la inestabilidad de laderas. Las raíces de los árboles y las plantas ayudan a fijar los suelos superficiales a los estratos de suelo más resistentes ubicados a mayor profundidad, absorben parte del agua del subsuelo, mitigan con su follaje el impacto de las gotas de lluvia y reducen la erosión superficial al disminuir la velocidad del agua de escurrimiento.

La meteorización es uno de los más importantes procesos geológicos por el cual las rocas y sus minerales constitutivos sufren fragmentación o desintegración y descomposición, transformado, modificando y/o alterando su estructura y sus propiedades físico químicas.

1.3.1 Factores desencadenantes

Precipitaciones: Constituyen un factor desencadenante de inestabilidades, contribuyendo a aumentar la acción de diversos factores condicionantes: meteorización, acción de aguas subterráneas, etc. El impacto de las gotas de lluvia sobre los suelos produce salpicaduras que levantan y dejan caer las partículas, tendiendo a transportarlas hacia niveles inferiores de la vertiente (IGME, 1986).

Sismicidad y vulcanismo: Constituyen factores desencadenantes de grandes deslizamientos. Cuando ocurre un sismo se producen grandes vibraciones, que se propagan como ondas de diferente frecuencia.

1.4 Permeabilidad

Tabla 1. Grado de permeabilidad según clasificación del suelo.

	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Según Casagrande y Fadum	Grava Limpia		Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezcla de arena, limo y arcilla				Arcillas homogéneas "impermeables"		
Según Clasif. Unificada	GW, GP					GM, SM, ML				GC, SC		
	SW, SP						OL, MH		CL, CH, OH			
Grado de Permeabilidad	Elevada			Media			Baja		Muy Baja		Prácticamente Impermeable	

f
v

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1 Ficha de Catastro

La ficha catastro es una herramienta que dispondrá el inspector de la visita a terreno, en esta se reúnen aspectos geotécnicos, hidrológicos y topográficos, además de descripciones físicas y cualitativas que permitan interpretar las condiciones actuales de cada talud.

A continuación, se desglosará cada detalle de la ficha, señalando los métodos empleados en la obtención de cada ítem.

Altura máxima, altura media y ancho

Idealmente, estos datos serán medidos a través de topografía debido al nivel de exactitud que esta ofrece. La altura máxima es el punto más alto del talud en relación a la superficie plana encontrada al pie de este. Por otro lado, la altura media corresponde al promedio de las diferentes alturas encontradas a lo largo de todo el ancho del talud. Y el ancho se entiende como la longitud transversal al talud, que limita con lo que se considera como perímetro de interés de estudio. En caso de no contar con topografía de precisión, corresponde buscar métodos alternativos, como huinchas de medir u otro similar.

Pendiente media

Esta medida también se obtiene a través de la topografía, utilizando el programa computacional Civil 3D de Autodesk, se puede obtener un perfil representativo del talud, del cual se pueden obtener infinitas pendientes que tenderán a converger en una pendiente media que será útil conocer para emplearla en programas de análisis de estabilidad u otros fines. En el caso particular del presente proyecto de título, no se pudo acceder al levantamiento topográfico en la totalidad de los taludes, por lo que se empleó una aplicación móvil (Brújula) que cumple esta función con alta precisión.

Aterrazamiento y n° de terrazas

Las terrazas son una alternativas de solución en los taludes cuando se considera que hay un riesgo de inestabilidad, que consisten en un mejoramiento de las características geométricas del talud, que consiguen disminuir el ángulo y el peso sobre la superficie de falla y además

mejora el manejo de agua cuando se añaden canaletas al diseño. De aquí resulta la importancia de registrar su existencia en la ficha.

Distancia Vivienda-talud

Distancia en metros comprendida entre el pie del talud y la casa adyacente, pudiendo medirse con el uso de topografía o herramientas de medición manual, con el propósito de evaluar la vulnerabilidad de la vivienda ante eventos catastróficos.

Clasificación de suelo

Corresponde a la clasificación Unified Soil Classification System (USCS) que se realiza en laboratorio. Para tomar las muestras de suelo del presente proyecto de título, se realizó una inspección general del terreno, tomando una muestra representativa en la mitad de la longitud del talud, a una profundidad mayor a 20 centímetros, libre de suelo orgánico, limpia y que aparentemente se vea homogénea. Sin embargo, en el Capítulo 6 del informe de tesis, en el apartado de discusiones, se señala que idealmente se deben tomar varias muestras, a distintas alturas del talud y diferentes profundidades.

Orientación

La orientación del talud indica hacia cual dirección está mirando el escarpe y se mide ya sea con una brújula de bolsillo o aplicaciones móviles. Su importancia está relacionada con la dirección del viento, su exposición al sol y por sobre todo, en esta región del planeta las lluvias tienen una dirección típica, que podría afectar a unos taludes más que a otros en relación al impacto por gotas.

Vegetación

La importancia de la vegetación en los taludes está explicada en el marco conceptual del informe de tesis. Para medir su abundancia, se selecciona el área total de interés y se estima el porcentaje en que está compuesto por vegetación según la siguiente tabla:

Tabla 1. Calificación según cubierta de vegetación.

Fuente: Elaboración propia

Superficie	Grado
-	No presenta
0-25%	Leve
25%-60%	Moderada
>60%	Alta

Observación del viento

La erosión eólica es el desgaste de las rocas o la remoción del suelo debido a la acción del viento, y es un fenómeno muy presente sobre todo en zonas costeras. Su medición fue subjetiva por parte del inspector en terreno, separándolo en tres niveles de intensidad; leve, moderada e intensa, y finalmente se registró la hora de la medición.

Estado de obras realizadas

En este apartado, se dio cuenta de las obras de ingeniería realizadas, evaluando su condición actual (si se encuentra en pie, estado de grietas, desgaste, vida útil, etc) y un espacio para realizar observaciones, como el material del cual está compuesto y si requiere intervención.

Nivel de deterioro e inestabilidad

Esta sección solo requiere marcar con una x si se observa cada ítem en terreno.

Grado de erosión

Antes de finalizar el catastro, esta sección se utilizó para entregar una evaluación general y subjetiva según la percepción de daño en el talud catastrado, dado que muchas veces la ausencia de morfologías propias de la erosión, no indica que no haya problemas de desgaste de la superficie del talud.

Observaciones generales

Apartado destinado a escribir todos los detalles pasados por alto de la ficha catastro y que el inspector en terreno estima conveniente incluir. Dentro de estas características, se pueden

mencionar las propiedades cualitativas del suelo, color, textura, presencia de rocas, discontinuidades y flujos de agua. Por otro lado, se puede incluir algún tipo de intervención requerida y descripciones adicionales del terreno que permitan un mejor entendimiento del área en estudio.

REFERENCIAS

Lowe J., 1976 “Stability Analysis of Embankments”, ASCE, I.S.M.F.D., Vol 93, July.

Igme. (1988). “Manual de Taludes”.

Cuanalo, O. (2011). “Inestabilidad de laderas, influencia de la actividad humana”. *Revista Elementos, Ciencia y Cultura*.39.

ANEXO B

**PROYECTO DE TÍTULO: “CARACTERIZACIÓN DE TALUDES URBANOS EN
ZONAS DE CAMIO DE USO DE SUELO DE LA COMUNA DE PENCO”**

ALUMNO: JOSÉ MANUEL BAEZA NEIRA

Diciembre 2019

ÍNDICE

1. Fichas de Catastro	3
2. Ensayo de clasificación de suelos	17

1. Fichas de Catastro

Talud 01

Identificación	Talud 01		N° visita	1
Monitor	José Manuel Baeza		Fecha	09/09/19
Hora inicio	11:00		Hora término	11:30
Ubicación	Los Avellanos #365, Población Montahue, Penco			
Geometría		Plano de ubicación		
Altura máx. (m)	4.5m			
Altura media (m)	4.5m			
Ancho (m)	15m			
Pendiente media (°)	60°			
Aterrazamiento	Si	No		
N° de terrazas	NP			
Dist. Vivienda - talud (m)	6m			
Clasificación de suelo	MH			
Orientación	SO			
Afloramiento de agua				
Si	No			
Vegetación cara del talud		Fotografía del talud		
No presenta	X			
Leve				
Moderada				
Alta				
Inclinación de árboles				
Si	No			
Observación del viento				
Intensidad		Hora		
Leve				
Moderada	X	11:00		
Alto				
Estado de obras realizadas				
Obras	Condición	Observaciones: Mejoramiento, mantención, nada.		
Muro de Contención				
Perfilado				
Control de erosión				
Otras				
Ninguna	X			

Nivel de deterioro e inestabilidad						
Surquillos		Cárcavas	x	Desprendimientos	x	Grietas de tracción en la corona
Deslizamientos	Si	No				
Detalles de surquillos preponderantes						
Número	1	2	3	4	5	
Longitud (m)						
Ancho (m)						
Profundidad (m)						
Detalles deterioro de cárcavas preponderantes				Grietas de tracción en corona		
Número	1	2	3	1	2	
Longitud (m)	4.5m					
Ancho (m)	1.2m					
Profundidad (m)	1.1m					
Grado de erosión						
No presenta		Leve		Moderada		Alta
						X
Observaciones generales						
<ul style="list-style-type: none"> - Talud de gran envergadura que debido a su fácil acceso, ubicación y topografía está siendo utilizado como basural. - Casas colindantes al talud han ido ampliando sus patios traseros, acercándose gradualmente al borde del talud en su parte alta. - La superficie del escarpe se encuentra muy deteriorada, presentando rasgos claros de pequeños desprendimientos de suelo, cárcavas y surquillos. 						

Figura 9: Ficha Catastro propuesta.

Fuente: Elaboración Propia.

Talud 02

Identificación	Talud 02		N° visita	1
Monitor	José Manuel Baeza		Fecha	09/09/19
Hora inicio	11:40		Hora término	12:20
Ubicación	Ruta 150 km.8 Población Forjadores de Chile			
Geometría			Plano de ubicación	
Altura máx. (m)	8m			
Altura media (m)	8m			
Ancho (m)	6m			
Pendiente media (°)	38°			
Aterrazamiento	Si	No		
N° de terrazas	NP			
Dist. Vivienda - talud (m)	-			
Clasificación de suelo	MH-ML			
Orientación	O			
Afloramiento de agua				
Si	No			
Vegetación cara del talud				
No presenta				
Leve	X			
Moderada				
Alta				
Inclinación de árboles				
Si	No			
Observación del viento				
Intensidad		Hora		
Leve	X	11:50		
Moderada				
Alto				
Estado de obras realizadas				
Obras	Condición	Observaciones: Mejoramiento, mantención, nada.		
Muro de Contención				
Perfilado				
Control de erosión				
Otras				
Ninguna	X			

Nivel de deterioro e inestabilidad						
Surquillos		Cárcavas		Desprendimientos	x	Grietas de tracción en la corona
Deslizamientos	Si	No				
Detalles de surquillos preponderantes						
Número	1	2	3	4	5	
Longitud (m)						
Ancho (m)						
Profundidad (m)						
Detalles deterioro de cárcavas preponderantes				Grietas de tracción en corona		
Número	1	2	3	1	2	
Longitud (m)						
Ancho (m)						
Profundidad (m)						
Grado de erosión						
No presenta	X	Leve		Moderada		Alta
Observaciones generales						
<p>-Talud sufre deslizamiento en el mes de junio 2019, dejando masas de suelo sobre la calzada, bloqueando el acceso a Penco por la ruta 150 y poniendo en peligro a los automovilistas.</p> <p>- Existe alta presencia de gravas de gran tamaño (superior a 4cm de diámetro) entre arena limosa.</p> <p>- Al día de hoy, no presenta soluciones o medidas de contención frente a potenciales remociones en masa.</p>						

Figura 9: Ficha Catastro propuesta.

Fuente: Elaboración Propia.

Talud 03

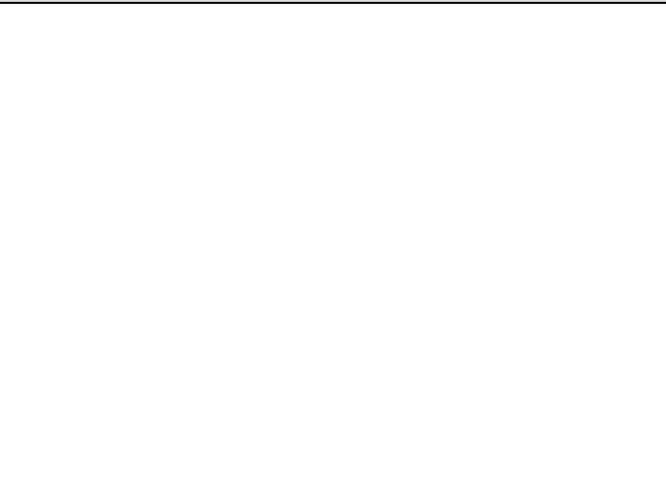
Identificación	Talud 03		N° visita	1
Monitor	José Manuel Baeza		Fecha	09/08/19
Hora inicio	15:00		Hora término	15:30
Ubicación	Pje. La Cata #35-#45, Población Geochile, Lirquen			
Geometría			Plano de ubicación	
Altura máx. (m)	8.5m			
Altura media (m)	8.5m			
Ancho (m)	15m			
Pendiente media (°)	44°			
Aterrazamiento	Si	No		
N° de terrazas	NP			
Dist. Vivienda - talud (m)	2.5m			
Clasificación de suelo	ML y SM			
Orientación	S			
Afloramiento de agua				
Si	No			
Vegetación cara del talud				
No presenta				
Leve	X			
Moderada				
Alta				
Inclinación de árboles				
Si	No			
Observación del viento				
Intensidad		Hora		
Leve	X	15:00		
Moderada				
Alto				
Estado de obras realizadas				
Obras	Condición	Observaciones: Mejoramiento, mantención, nada.		
Muro de Contención	x	Al pie del talud, 1.2m de alto		
Perfilado				
Control de erosión	x	Hormigón proyectado en algunas zonas		
Otras	x	Escalones pequeños y con peldaños de 30cm		
Ninguna				

Nivel de deterioro e inestabilidad						
Surquillos		Cárcavas		Desprendimientos		Grietas de tracción en la corona
Deslizamientos	Si	No				
Detalles de surquillos preponderantes						
Número	1	2	3	4	5	
Longitud (m)						
Ancho (m)						
Profundidad (m)						
Detalles deterioro de cárcavas preponderantes				Grietas de tracción en corona		
Número	1	2	3	1	2	
Longitud (m)						
Ancho (m)						
Profundidad (m)						
Grado de erosión						
No presenta		Leve		Moderada		Alta X
Observaciones generales						
<ul style="list-style-type: none"> - El pie del talud se encuentra a dos metros de ambas viviendas, con un muro de hormigón en su base, de un metro de altura, el cual fue insuficiente para soportar las presiones laterales ejercidas por el talud tras un episodio de lluvia intensa. Se infiere que la saturación del suelo provocó el aumento excesivo del peso de un talud ya erosionado, afectado por la misma erosión hídrica que venía ejerciendo la precipitación directa sobre el escarpe así como el depósito directo de agua proveniente de las viviendas asentadas en el coronamiento de este. Finalmente, resultando en un deslizamiento de tipo rotacional, en agosto del presente año. - El talud contaba con medidas de control de erosión, correspondientes a escalones con vegetación y hormigón proyectado, sin embargo, la infiltración de agua en el talud fue erosionando y destruyendo progresivamente esta solución. 						

Figura 9: Ficha Catastro propuesta.

Fuente: Elaboración Propia.

Talud 04

Identificación	<i>Talud 04</i>		N° visita	<i>1</i>
Monitor	<i>José Manuel Baeza</i>		Fecha	<i>10/09/19</i>
Hora inicio	<i>15:00</i>		Hora término	<i>15:30</i>
Ubicación	Independencia #150, Villa Jaime Lea, Lirquén			
Geometría			Plano de ubicación	
Altura máx. (m)	5.5m			
Altura media (m)	5.5m			
Ancho (m)	3.5m			
Pendiente media (°)	55°			
Aterrazamiento	Si	No		
N° de terrazas	NP			
Dist. Vivienda - talud (m)	2m			
Clasificación de suelo	SM			
Orientación	SE			
Afloramiento de agua				
Si	No			
Vegetación cara del talud			Fotografía del talud	
No presenta	X			
Leve				
Moderada				
Alta				
Inclinación de árboles				
Si	No			
Observación del viento				
Intensidad		Hora		
Leve	X	15:00		
Moderada				
Alto				
Estado de obras realizadas				
Obras	Condición	Observaciones: Mejoramiento, mantención, nada.		
Muro de Contención				
Perfilado				
Control de erosión				
Otras	Buena	Lamina de polietileno de alta densidad		
Ninguna				

Nivel de deterioro e inestabilidad							
Surquillos		Cárcavas		Desprendimientos		Grietas de tracción en la corona	
Deslizamientos	Si	No					
Detalles de surquillos preponderantes							
Número		1	2	3	4	5	
Longitud (m)							
Ancho (m)							
Profundidad (m)							
Detalles deterioro de cárcavas preponderantes					Grietas de tracción en corona		
Número		1	2	3	1	2	
Longitud (m)							
Ancho (m)							
Profundidad (m)							
Grado de erosión							
No presenta		Leve		Moderada		Alta	X
Observaciones generales							
<ul style="list-style-type: none"> - Talud presenta deslizamiento rotacional en el mes de julio 2019. - Funcionarios municipales instalan lámina de polietileno de alta densidad para proteger el talud de la erosión hídrica, sin embargo, este tipo de soluciones no son permanentes. - Informes de SERNAGEOMIN determinan que el talud el talud falló por una sobresaturación del suelo compuesto mayoritariamente por arcilla. - Actualmente cuenta con un extenso plástico que pretende cuidar la superficie ante la erosión hídrica. - El acceso al talud es extremadamente limitado para todo tipo de maquinaria. Cualquier solución aplicable al talud corresponderá a trabajo manual. - 							

Figura 9: Ficha Catastro propuesta.

Fuente: Elaboración Propia.

Talud 05

Identificación	Talud 05		N° visita	1
Monitor	José Manuel Baeza		Fecha	10/09/19
Hora inicio	14:00		Hora término	14:30
Ubicación	Pje 3 #698, Villa Valparaíso, Lirquén			
Geometría			Plano de ubicación	
Altura máx. (m)	4m			
Altura media (m)	4m			
Ancho (m)	3.5m			
Pendiente media (°)	60°			
Aterrazamiento	Si	No		
N° de terrazas	NP			
Dist. Vivienda - talud (m)	0.5m			
Clasificación de suelo	SM			
Orientación	SO			
Afloramiento de agua				
Si	No			
Vegetación cara del talud				
No presenta				
Leve	X			
Moderada				
Alta				
Inclinación de árboles				
Si	No			
Observación del viento				
Intensidad		Hora		
Leve	X	14:00		
Moderada				
Alto				
Estado de obras realizadas				
Obras	Condición	Observaciones: Mejoramiento, mantención, nada.		
Muro de Contención				
Perfilado				
Control de erosión				
Otras				
Ninguna	X			

Nivel de deterioro e inestabilidad						
Surquillos		Cárcavas		Desprendimientos	X	Grietas de tracción en la corona
Deslizamientos	Si	No				
Detalles de surquillos preponderantes						
Número	1	2	3	4	5	
Longitud (m)						
Ancho (m)						
Profundidad (m)						
Detalles deterioro de cárcavas preponderantes				Grietas de tracción en corona		
Número	1	2	3	1	2	
Longitud (m)						
Ancho (m)						
Profundidad (m)						
Grado de erosión						
No presenta		Leve	X	Moderada		Alta
Observaciones generales						
<ul style="list-style-type: none"> - Talud presenta deslizamiento rotacional en invierno 2019. - Masa de suelo se encuentra depositada sobre infraestructura de la vivienda - Gran superficie del talud se encuentra desprovista de vegetación y permanece susceptible a erosión. - 						

Figura 9: Ficha Catastro propuesta.

Fuente: Elaboración Propia.

Talud 06

Identificación	<i>Talud 06</i>		N° visita	<i>1</i>
Monitor	<i>José Manuel Baeza</i>		Fecha	<i>10/09/19</i>
Hora inicio	<i>12:00</i>		Hora término	<i>12:30</i>
Ubicación	O'higgins #950, Villa Penco			
Geometría			Plano de ubicación	
Altura máx. (m)	3.5m			
Altura media (m)	3.5m			
Ancho (m)	12m			
Pendiente media (°)	75°			
Aterrazamiento	Si	No		
N° de terrazas	1			
Dist. Vivienda - talud (m)	3m			
Clasificación de suelo	SM			
Orientación	N			
Afloramiento de agua				
Si	No			
Vegetación cara del talud				
No presenta				
Leve	X			
Moderada				
Alta				
Inclinación de árboles				
Si	No			
Observación del viento				
Intensidad		Hora		
Leve	X	14:00		
Moderada				
Alto				
Estado de obras realizadas				
Obras	Condición		Observaciones: Mejoramiento, mantención, nada.	
Muro de Contención			Muro de contención derribado	
Perfilado				
Control de erosión				
Otras				
Ninguna	X			

Nivel de deterioro e inestabilidad						
Surquillos		Cárcavas		Desprendimientos		Grietas de tracción en la corona
Deslizamientos	Si	No				
Detalles de surquillos preponderantes						
Número	1	2	3	4	5	
Longitud (m)						
Ancho (m)						
Profundidad (m)						
Detalles deterioro de cárcavas preponderantes				Grietas de tracción en corona		
Número	1	2	3	1	2	
Longitud (m)						
Ancho (m)						
Profundidad (m)						
Grado de erosión						
No presenta		Leve	X	Moderada		Alta
Observaciones generales						
<ul style="list-style-type: none"> - Talud sufre deslizamiento en el mes de junio 2019. - Colapso de muro de contención de mampostería. (Ausencia de tubos de drenaje) - Ausencia de obras de evacuación de aguas lluvias. 						

Figura 9: Ficha Catastro propuesta.

Fuente: Elaboración Propia.

Talud 07

Identificación	<i>Talud 07</i>		N° visita	<i>1</i>
Monitor	<i>José Manuel Baeza</i>		Fecha	<i>10/09/19</i>
Hora inicio	<i>11:20</i>		Hora término	<i>12:00</i>
Ubicación	Los Álamos #576, Población Lord Cochrane, Penco			
Geometría			Plano de ubicación	
Altura máx. (m)	4.5m			
Altura media (m)	4.5m			
Ancho (m)	5m			
Pendiente media (°)	40°			
Aterrazamiento	Si	No		
N° de terrazas	NP			
Dist. Vivienda - talud (m)	1m			
Clasificación de suelo	SM			
Orientación	S			
Afloramiento de agua				
Si	No			
Vegetación cara del talud				
No presenta				
Leve				
Moderada				
Alta	X			
Inclinación de árboles				
Si	No			
Observación del viento				
Intensidad		Hora		
Leve	X	11:20		
Moderada				
Alto				
Estado de obras realizadas				
Obras	Condición	Observaciones: Mejoramiento, mantención, nada.		
Muro de Contención	Buen estado	2m de alto		
Perfilado				
Control de erosión				
Otras	Buen estado	Lámina de polietileno		
Ninguna				

Nivel de deterioro e inestabilidad									
Surquillos		Cárcavas		Desprendimientos		Grietas de tracción en la corona			
Deslizamientos	Si	No							
Detalles de surquillos preponderantes									
Número		1	2	3	4	5			
Longitud (m)									
Ancho (m)									
Profundidad (m)									
Detalles deterioro de cárcavas preponderantes						Grietas de tracción en corona			
Número		1	2	3		1	2		
Longitud (m)									
Ancho (m)									
Profundidad (m)									
Grado de erosión									
No presenta	X	Leve		Moderada		Alta			
Observaciones generales									
<ul style="list-style-type: none"> - Deslizamiento en invierno 2019 - Zona de deslizamiento pierde cobertura vegetal - Superficie susceptible a erosión - Lámina de polietileno de alta densidad protege al talud de erosión - La localización del talud no permite la entrada de maquinaria pesada. 									

Figura 9: Ficha Catastro propuesta.

Fuente: Elaboración Propia.

2. Ensayo de clasificación de suelos

Talud 01

Ubicación: Montahue, Penco

A) GRANULOMETRÍA								
	Peso Retenido (g)	% retenido	% que pasa					
1"	0	0,0	100,0					
3/4"	0	0,0	100,0					
3/8"	0	0,0	100,0					
4	0	0,0	100,0					
10	4,4	1,2	98,8					
40	24,5	7,0	91,8					
200	78,8	22,4	69,4					
recibidor	244,5	69,4						
Total	352,2	100,0						

B) LÍMITES DE CONSISTENCIA								
	cap1	cap2	cap3	cap4	cap5	cap6	cap7	cap8
Cantidad de golpes				10	16	20	30	35
1 peso cápsula + suelo hum. (g)	27,93	24,44	24,86	20,83	21,23	24,98	30,75	24,11
2 peso cápsula + suelo seco (g)	27,59	24,08	24,55	17,99	18,39	21,1	27,61	20,36
3 Peso de la cápsula	26,76	23,04	23,71	13,93	14,13	15,28	22,73	14,25
4 Peso del agua 1-2	0,34	0,36	0,31	2,84	2,84	3,88	3,14	3,75
5 Peso del suelo seco 2-3	0,83	1,04	0,84	4,06	4,26	5,82	4,88	6,11
Humedad 4/5*100	40,96	34,62	36,90	69,95	66,67	66,67	64,34	61,37
Promedio límite plástico	37,49							

CLASIFICACIÓN USCS:	MH
CLASIFICACIÓN AASHTO:	a-7-5 ig20

Talud 02

Ubicación: Forjadores de Chile, Penco

A) GRANULOMETRÍA			
	Peso Retenido (g)	% retenido	% que pasa
1"	0	0,0	100,0
3/4"	18,9	4,1	95,9
3/8"	6,9	1,5	94,4
4	11,1	2,4	92,0
10	13,2	2,9	89,1
40	32,8	7,2	81,9
200	72,4	15,8	66,1
recibidor	303,2	66,1	
Total	458,5	100,0	

suelo fino

B) LÍMITES DE CONSISTENCIA		cap1	cap2	cap3	cap4	cap5	cap6	cap7	cap8
Cantidad de golpes					15	25	22	30	37
1	peso cápsula + suelo hum. (g)	16,68	24,43	24,72	24,28	22,66	26,43	34,84	34,47
2	peso cápsula + suelo seco (g)	16,29	24,07	24,49	21,28	19,93	22,26	31,4	31,11
3	Peso de la cápsula	15,27	22,97	23,76	14,12	14,5	13,92	24,44	24,29
4	Peso del agua 1-2	0,39	0,36	0,23	3	2,73	4,17	3,44	3,36
5	Peso del suelo seco 2-3	1,02	1,1	0,73	7,16	5,43	8,34	6,96	6,82
	Humedad 4/5*100	38,24	32,73	31,51	41,90	50,28	50,00	49,43	49,27
	Promedio límite plástico	34,16							

CLASIFICACIÓN USCS:	ML-MH
CLASIFICACIÓN AASHTO:	a-7-5 ig11

Talud 03

Ubicación: Población Geochile, Lirquén

A) Granulometría			
1) Muestra parte alta			
	Peso Retenido (g)	% retenido	% que pasa
3/8"	11,6	3,4	96,6
4	3,8	1,1	95,4
10	4,1	1,2	94,2
40	25,4	7,5	86,7
200	100	29,6	57,1
recibidor	192,8	57,1	
Total	337,7	100,0	
			suelo fino
2) Muestra al pie del talud			
	Peso Retenido (g)	% retenido	% que pasa
3/8"	11,7	3,4	96,6
4	10	2,9	93,6
10	25,9	7,6	86,1
40	62,8	18,4	67,7
200	93,5	27,4	40,3
recibidor	137,4	40,3	
Total	341,3	100,0	
			arena

B) Límites de consistencia

1) Muestra parte alta

		cap1	cap2	cap3	cap4	cap5	cap6	cap7	cap8
	Cantidad de golpes				22	27	30	33	18
1	peso cápsula + suelo hum. (g)	25,55	26,39	26,02	38,28	34,58	32,7	37,27	35,62
2	peso cápsula + suelo seco (g)	25,07	25,78	25,38	33,83	30,9	28,8	34,05	31,69
3	Peso de la cápsula	23,64	24,07	23,74	23,81	22,61	19,92	26,75	23,72
4	Peso del agua 1-2	0,48	0,61	0,64	4,45	3,68	3,9	3,22	3,93
5	Peso del suelo seco 2-3	1,43	1,71	1,64	10,02	8,29	8,88	7,3	7,97
	Humedad 4/5*100	33,57	35,67	39,02	44,41	44,39	43,92	44,11	49,31
	Promedio límite plástico	36,09							

2) Muestra al pie del talud

		cap1	cap2	cap3	cap4	cap5	cap6	cap7	cap8
	Cantidad de golpes				18	20	26	36	40
1	peso cápsula + suelo hum. (g)	16,15	16,34	27,47	36,51	27,83	27,88	26,88	30,01
2	peso cápsula + suelo seco (g)	15,71	15,67	26,61	31,36	23,35	23,48	23,21	25,33
3	Peso de la cápsula	14,52	13,93	24,45	20,69	14,12	14,27	15,3	15,27
4	Peso del agua 1-2	0,44	0,67	0,86	5,15	4,48	4,4	3,67	4,68
5	Peso del suelo seco 2-3	1,19	1,74	2,16	10,67	9,23	9,21	7,91	10,06
	Humedad $4/5 * 100$	36,97	38,51	39,81	48,27	48,54	47,77	46,40	46,52
	Promedio límite plástico	38,43							

	Muestra 1	Muestra 2
CLASIFICACIÓN USCS:	ML	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO:	a-5 IG5	a-5 IG1

Talud 04

Ubicación: Jaime Lea, Lirquén

A) GRANULOMETRÍA								
	Peso Retenido (g)	% retenido	% que pasa					
1"	0	0,0	100,0					
3/4"	0	0,0	100,0					
3/8"	0	0,0	100,0					
4	0	0,0	100,0					
10	1,9	0,5	99,5					
40	119,9	30,0	69,6					
200	179,7	44,9	24,6					
recibidor	98,5	24,6						
Total	400	100,0						

B) LÍMITES DE CONSISTENCIA								
	cap1	cap2	cap3	cap4	cap5	cap6	cap7	cap8
Cantidad de golpes				14	21	22	35	40
1 peso cápsula + suelo hum. (g)	15,5	15,57	15,68	34,55	38,21	37,49	26,6	33,38
2 peso cápsula + suelo seco (g)	15,17	15,17	15,38	31,19	34,88	33,22	24,78	30,26
3 Peso de la cápsula	14,13	13,95	14,51	23,67	26,76	22,62	20	22,08
4 Peso del agua 1-2	0,33	0,4	0,3	3,36	3,33	4,27	1,82	3,12
5 Peso del suelo seco 2-3	1,04	1,22	0,87	7,52	8,12	10,6	4,78	8,18
Humedad 4/5*100	31,73	32,79	34,48	44,7	41,0	40,3	38,1	38,1
Promedio límite plástico	33,00							

CLASIFICACIÓN USCS:	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO:	a-2-5 ig0

Talud 05

Ubicación: Villa Valparaíso, Penco

A) GRANULOMETRÍA							
	Peso Retenido (g)	% retenido	% que pasa				
1"	0	0,0	100,0				
3/4"	0	0,0	100,0				
3/8"	0	0,0	100,0				
4	1,6	0,3	99,7				
10	5,3	0,9	98,8				
40	99,1	17,6	81,2				
200	194,5	34,5	46,7				
recibidor	263,3	46,7					
Total	563,8	100,0					

B) LÍMITES DE CONSISTENCIA							
	cap1	cap2	cap3	cap4	cap5	cap6	cap7
Cantidad de golpes				12	18	30	45
1 peso cápsula + suelo hum. (g)	24,64	25,24	23,34	33,7	27,31	34,46	35,79
2 peso cápsula + suelo seco (g)	24,16	24,86	23,05	31,15	24,12	31,65	32,76
3 Peso de la cápsula	22,64	23,69	22,1	23,83	15,32	23,78	23,78
4 Peso del agua 1-2	0,48	0,38	0,29	2,55	3,19	2,81	3,03
5 Peso del suelo seco 2-3	1,52	1,17	0,95	7,32	8,8	7,87	8,98
Humedad 4/5*100	31,58	32,48	30,53	34,8	36,3	35,7	33,7
Promedio límite plástico	31,53					40,5	

CLASIFICACIÓN USCS:	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO:	a-5 IG2

Talud 06

Ubicación: Villa Penco

A) GRANULOMETRÍA								
	Peso Retenido (g)	% retenido	% que pasa					
1"	0	0,0	100,0					
3/4"	0	0,0	100,0					
3/8"	0	0,0	100,0					
4	0,7	0,2	99,8					
10	2,5	0,6	99,2					
40	45,4	11,2	88,0					
200	264,1	65,2	22,8					
recibidor	92,1	22,8						
Total	404,8	100,0						

B) LÍMITES DE CONSISTENCIA								
	cap1	cap2	cap3	cap4	cap5	cap6	cap7	cap8
Cantidad de golpes				12	15	19	26	30
1 peso cápsula + suelo hum. (g)	21,47	27,84	15,36	33,93	36,98	42,17	39,22	30,35
2 peso cápsula + suelo seco (g)	21,07	27,56	15,07	29,89	32,57	36,31	34,73	25,98
3 Peso de la cápsula	19,93	26,75	14,27	20,72	22,72	22,97	24,09	15,26
4 Peso del agua 1-2	0,4	0,28	0,29	4,04	4,41	5,86	4,49	4,37
5 Peso del suelo seco 2-3	1,14	0,81	0,8	9,17	9,85	13,34	10,64	10,72
Humedad 4/5*100	35,09	34,57	36,25	44,1	44,8	43,9	42,2	40,8
Promedio límite plástico		35,30						

CLASIFICACIÓN USCS:	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO:	a-2-5 IGO

Talud 07

Ubicación: Lord Cochrane, Penco

A) GRANULOMETRÍA							
	Peso Retenido (g)	% retenido	% que pasa				
1"	0	0,0	100,0				
3/4"	0	0,0	100,0				
3/8"	0	0,0	100,0				
4	0,3	0,1	99,9				
10	7,3	1,8	98,2				
40	116,3	28,0	70,2				
200	115,7	27,8	42,3				
recibidor	175,9	42,3					
Total	415,5	100,0					

B) LÍMITES DE CONSISTENCIA								
	cap1	cap2	cap3	cap4	cap6	cap7	cap8	
Cantidad de golpes				10	21	34	45	
1	peso cápsula + suelo hum. (g)	14,93	16,25	15,51	31,74	35,41	28,44	33,8
2	peso cápsula + suelo seco (g)	14,69	15,7	15,25	29,09	31,42	25,84	30,27
3	Peso de la cápsula	13,96	14,14	14,51	23,68	22,62	19,93	22,08
4	Peso del agua 1-2	0,24	0,55	0,26	2,65	3,99	2,6	3,53
5	Peso del suelo seco 2-3	0,73	1,56	0,74	5,41	8,8	5,91	8,19
	Humedad 4/5*100	32,88	35,26	35,14	48,98	45,34	43,99	43,10
	Promedio límite plástico	34,42						

CLASIFICACIÓN USCS:	SM
CLASUIFICACIÓN AASHTO:	a-7-5 ig2