



EVALUACIÓN DE PELIGRO DE REMOCIÓN EN MASA EN TRES SECTORES DE LA COMUNA DE TALCAHUANO, REGIÓN DEL BIOBÍO

**Paola Ramírez
Felipe Carrasco**



INFORME TÉCNICO

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

2022

**EVALUACIÓN DE PELIGRO DE REMOCIÓN EN MASA EN TRES SECTORES DE LA COMUNA DE TALCAHUANO, REGIÓN DEL BIOBÍO.
INFORME TÉCNICO, 2022**

© Servicio Nacional de Geología y Minería. Av. Santa María 0104, Santiago, Chile.
Director Nacional (S): David Montenegro C.
Subdirector Nacional de Geología (S): Álvaro Amigo R.

Este informe se puede citar o reproducir libremente, siempre y cuando se mencione la fuente.

Tipo de informe: Asistencia Técnica.
Unidad Ejecutora: Dirección Regional de Los Ríos, Valdivia.
Código de identificación interno: INF-LOS RÍOS-14.2022.
Revisado por: Juan Pablo Lacassie R.

Edición

Este informe no ha sido editado en conformidad con estándares y/o nomenclaturas de la Subdirección Nacional de Geología del SERNAGEOMIN.

Referencia bibliográfica:

Ramírez, P.; Carrasco, F. 2022. Evaluación de peligro de remoción en masa en tres sectores de la comuna de Talcahuano, región del Biobío. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Técnico (Inédito): 24 p. Santiago.

Portada: Vista aérea del deslizamiento de suelo y roca en la sección más septentrional de Avenida Costanera, caleta Tumbes.

Fotografía: Paola Ramírez.

Este informe inédito está disponible en la Biblioteca del Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. Podrá ser impreso a demanda del usuario.

<https://catalogobiblioteca.sernageomin.cl/>

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. ANTECEDENTES GENERALES	7
2.1. GEOLOGÍA.....	8
2.2. PRECIPITACIONES DE AGOSTO DE 2022	11
3. REMOCIÓN EN MASA EN CERRO ZAROR	12
3.1. ANTECEDENTES.....	12
3.2. OBSERVACIONES DE TERRENO	12
3.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	13
4. REMOCIONES EN MASA EN CALETA TUMBES	15
4.1. ANTECEDENTES.....	15
4.2. OBSERVACIONES DE TERRENO	15
4.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	17
5. REMOCIÓN EN MASA EN VILLA SAN MARTÍN.....	18
5.1. ANTECEDENTES.....	18
5.2. OBSERVACIONES DE TERRENO	18
5.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
6. REFERENCIAS	21
7. ANEXOS.....	23

FIGURAS

Fig. 1. Mapa geológico simplificado del área de estudio.

Fig. 2. Precipitación diaria y acumulada de agosto de 2022.

Fig. 3. Remoción en masa en calle Colegio, cerro Zaror.

Fig. 4. Remociones en masa en Caleta Tumbes.

Fig. 5. Remoción en masa en calle Carlos Dittborn, Villa San Martín.

TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica de las remociones en masa evaluadas en este informe.

EVALUACIÓN DE PELIGRO DE REMOCIÓN EN MASA EN TRES SECTORES DE LA COMUNA DE TALCAHUANO, REGIÓN DEL BIOBÍO

RESUMEN

Durante el mes de agosto de 2022 el municipio de Talcahuano registró cinco eventos de remociones en masa ocurridos en diversos sectores de la comuna, entre los días 15 y 16 de agosto. En este informe se presentan las situaciones observadas en tres sectores de la comuna con el objetivo de entregar recomendaciones para disminuir el riesgo existente frente a posible reactivación de estas remociones en masa. Las remociones en masa analizadas se ubican en: 1) calle Colegio, en cerro Zaror; 2) Avenida Costanera, en caleta Tumbes y 3) calle Carlos Dittborn, en villa San Martín.

Según datos de Agromet en la estación Punta de Parra, el día 16 de agosto se registró un total de precipitaciones de 37 mm/24hr, lo cual, junto con las lluvias acumuladas entre el 5 y 16 de agosto (144,7 mm), serían el factor desencadenante de estos procesos de inestabilidad de laderas.

En el cerro Zaror, la remoción en masa de calle Colegio N° 366 corresponde a un proceso superficial, que puede ser controlado con un adecuado manejo de aguas lluvias, se sugiere construir estructuras anexas a la vivienda como escalera de acceso sin generar sobre carga y un muro al pie del talud que aumente la estabilidad de la ladera. En este lugar es urgente retirar los escombros y materiales sueltos que siguen disponibles para ser movilizados por el agua.

En caleta Tumbes se visitaron dos viviendas en Av. Costanera, las casas N° 640 y N° 744 las que fueron afectadas por remociones en masa el 16 de agosto, sin embargo, existen registro de al menos 5 remociones previas que han afectado a otras viviendas de esta avenida. Por lo tanto, las medidas de estabilización que se implementen deben ser avaladas con un estudio geotécnico de detalle que abarque la totalidad del área inestable del frente de costa de esta zona urbanizada y determine la factibilidad de implementar obras de mitigación globales. Si el costo de las obras de mitigación no las hace factible de

implementar, se deberá evaluar la erradicación de viviendas dejando habilitado el frente costero solo para fines comerciales y de restaurantes, para evitar la permanencia de personas particularmente en periodos de lluvias intensas que gatillan este tipo de procesos. También es urgente realizar obras de limpieza y mitigación en el talud adyacente al puente peatonal que conecta con otras viviendas ubicadas al norte de Caleta Tumbes, al pie del escarpe costero.

En la villa San Martín, para el talud de roca expuesto en la intersección de calle Carlos Dittborn con Las Encinas, se recomienda minimizar el volumen de material en condiciones inestables, a través de la caída controlada de bloques de roca sueltos. También se recomienda retirar la cornisa de suelo y vegetación que quedó expuesta en el coronamiento del talud luego de la remoción en masa. Se sugiere la construcción de un muro de gaviones al pie del talud u otra obra de mayor envergadura que permita detener la caída de rocas directamente hacia la calzada de calle Carlos Dittborn, pues el muro de madera construido no tiene las condiciones de resistencia para cumplir con este objetivo.

1. INTRODUCCIÓN

Durante el mes de agosto de 2022 la municipalidad de Talcahuano solicitó apoyo técnico a SERNAGEOMIN mediante el informe de incidente Alfa N°13, en el cual se identifican 5 eventos de remoción en masa ocurridos entre los días 15 y 16 de agosto en cuatro sectores de la comuna, estos sectores son el cerro Zaror, cerro Cornou, Caleta Tumbes y Villa San Martín.

Con fecha 15 de diciembre se realizó una visita técnica en terreno, con participación de profesionales de SERNAGEOMIN Región de Los Ríos, los geólogos Felipe Carrasco y Paola Ramírez, en compañía del Sr. Abel Rifo, funcionario de la Oficina de emergencias de la Municipalidad de Talcahuano. Cabe mencionar que se visitaron tres de los cuatro sectores reportados en el informe Alfa 13, debido a que en el cerro Cornou, el encargado municipal no tuvo respuesta de los vecinos para coordinar el acompañamiento y apoyo en la ejecución de la visita técnica.

A partir del diagnóstico y evaluación del peligro de remoción en masa se entregan las recomendaciones para implementar medidas de mitigación que permitan disminuir el riesgo de pérdidas tanto materiales como humanas por la eventual reactivación de estas remociones.

2. ANTECEDENTES GENERALES

En la comuna de Talcahuano se han analizado al menos 22 remociones en masa en diversos informes emitidos por SERNAGEOMIN (Sepúlveda, 2022). El objetivo de estos informes es entregar las recomendaciones respecto a las obras o acciones de planificación, orientadas a la estabilización de estos procesos, a prevenir su reactivación y evitar pérdidas materiales y humanas. Sin embargo, el número total de remociones en masa ocurridas en la comuna en los últimos 30 años es mucho mayor, un ejemplo de ello es el sector de caleta Tumbes, donde se han catastrado 54 eventos en un tiempo menor a 30 años (Anexo 1), lo cual demuestra la alta susceptibilidad a la generación de este tipo de procesos en la comuna. Además, se destaca la necesidad de realizar estudios más sistemáticos de este tipo de procesos que permitan realizar una gestión del riesgo acorde con el peligro existente.

En la figura 1 se observa la ubicación de los sectores visitados, y en tabla 1 se detallan las coordenadas de cada remoción en masa descrita en este informe.

Tabla 1. Ubicación geográfica de las remociones en masa evaluadas en este informe (Huso 18, WGS84).

Localidad	Dirección	UTM E (m)	UTM N (m)
Cerro Zaror	Colegio N°366	667572	5934955
Caleta Tumbes	Costanera N° 640	670528	5943663
Caleta Tumbes	Costanera N° 744	670566	5943763
Villa San Martín	Carlos Dittborn s/n	669583	5931415

2.1. GEOLOGÍA

Los fenómenos de remoción en masa en la comuna de Talcahuano están condicionados principalmente por su geología y geomorfología. La geología determina el tipo de roca y sus estructuras, así como el tipo de suelo que resulta de su meteorización; y la geomorfología, que caracteriza el relieve, sus formas y pendientes. Mardones (1978) describe las principales formas del relieve en la cuenca de Concepción-Talcahuano, con la cordillera de la costa hacia el este que actúa como límite para la llanura fluvial configurada por la dinámica de los ríos Biobío y Andalién, junto con la acción del mar. En esta llanura sobresalen un conjunto de cerros islas de poco más de 90 m de altura, su elevación estaría asociada al alzamiento en bloques provocado por un sistema de fallas de dirección NNE-SSW.

Hacia el oeste, esta extensa llanura de aproximadamente 100 km² es confinada por el mar y la Península de Tumbes, esta última es un macizo rocoso elongado en dirección N-S, con aproximadamente 10 km de largo y 2,5 km de ancho, en cuya cima se desarrolla una peneplanicie que alcanza alturas de hasta 190 m s.n.m. Este macizo rocoso es alzado por la denominada Falla San Vicente.

Según el mapa de Velásquez et al., (en preparación) escala 1:100.000 las unidades geológicas presentes en la comuna de Talcahuano tienen un amplio rango de edad que van desde el Paleozoico hasta el Cuaternario (Fig.1).

Las rocas más antiguas en esta área son las siguientes:

Rocas metamórficas de la serie Occidental (PzTrh; Aguirre *et al.*, 1972): filitas y esquistos micáceos, con desarrollo de deformación dúctil y presencia de bandas de cuarzo. Localmente en estas rocas existen intercalaciones de metabasitas y/o cuarcitas.

Granito Hualpén (Trsh; Davila *et al.*, 1979): monzogranitos de grano medio.

Sobre las unidades anteriores existen unidades sedimentarias (rocas estratificadas) detalladas a continuación:

Formación Quiriquina (KrPq; Biró, 1982): rocas sedimentarias marinas, principalmente areniscas de grano medio a fino, de color verdoso a pardas, con niveles conglomerádicos intercalados y estratificación cruzada. Abundante contenido de fósiles como amonoideos, gastrópodos y bivalvos, además de restos de vertebrados marinos. En el área de estudio estas rocas están bien expuestas en los cerros islas que se elevan en la llanura de Talcahuano y en la isla Quiriquina.

Formación Cosmito (Pec; Galli, 1967; equivalente a Fm. Curanilahue, Muñoz-Cristi, 1956): areniscas continentales de grano medio a fino, con niveles carbonosos y arcillosos con fósiles de vegetales, intercalados con areniscas verdes glauconíticas marinas sin fósiles.

Formación Andalién (PPla, Galli, 1967): areniscas y conglomerados de origen fluvial, polimícticos, con niveles de areniscas finas y fangolitas.

Formación Huachipato (Plsh; Galli, 1967): areniscas grises a negras, de grano medio a fino, semiconsolidadas de origen volcánico. Poco consolidados. Cubre con una capa los sectores topográficos más bajos.

Depósitos cuaternarios (Qd): depósitos de baja a moderada consolidación, compuestos por gravas, arenas y fango de moderada a mala selección que pueden variar de clasto-a matriz soportadas, con clastos subredondeados a subangulosos.

Remociones en masa (PIHrm): depósitos semiconsolidados originados por remociones en masa. Su composición es polimíctica y varía dependiendo del área fuente. Son depósitos de mala a muy mala selección, con estructura caótica.

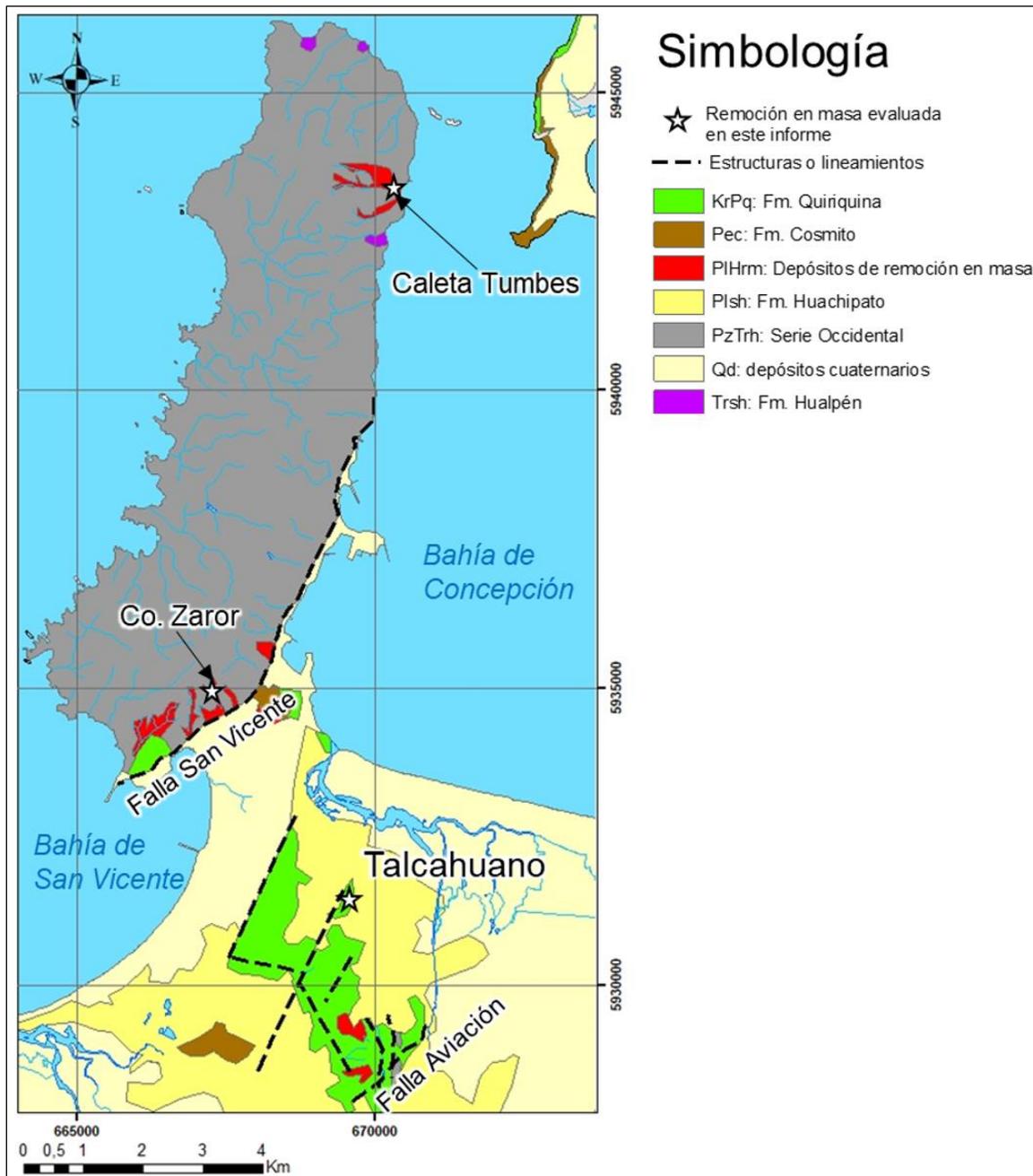


FIG. 1. Mapa geológico simplificado del área de estudio. Modificado de Velásquez et al. (in prep.).

2.2. PRECIPITACIONES DE AGOSTO DE 2022

Las precipitaciones más importantes durante agosto de 2022 en Talcahuano ocurrieron entre los días 5 y 17 con una acumulación total en dicho periodo de 144,7 mm. La estación meteorológica de Punta Parra de Agromet, ubicada en la localidad homónima, registró máximos diarios de hasta 37 mm el 16 de agosto (Fig. 2), mientras que la estación Carriel Sur de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), ubicada en el aeropuerto de Talcahuano, registró el 15 de agosto el máximo diario de 41 mm.

Según los datos de la estación Carriel Sur de la DMC, durante agosto de 2022 las precipitaciones mensuales estuvieron 40 mm por debajo de la media de los últimos 57 años y al comparar la precipitación anual a la fecha existe un déficit de 16%.



FIG. 2. Precipitación diaria y acumulada de agosto de 2022. Registro de la estación meteorológica de Punta Parra de Agromet. Fuente: Visualizador meteorológico, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia.

3. REMOCIÓN EN MASA EN CERRO ZAROR

3.1. ANTECEDENTES

El sitio de la vivienda evaluada se ubica en la ladera superior de la calle Colegio. Esta casa tuvo daños con el terremoto de febrero de 2010, los cuales fueron reparados parcialmente habilitándose el segundo piso de la estructura, con acceso desde el patio a través de una escalera lateral (Fig. 3).

El 15 de agosto de 2022 ocurrió una remoción en masa, que movilizó principalmente la vegetación, suelo y muros de mampostería y de concreto ubicados en la ladera de acceso a la vivienda, los que se depositaron sobre la calzada de la calle Colegio, obstruyendo el tránsito y la canalización de aguas lluvias perimetral a la calle.

Según señala la propietaria de la vivienda Sra. Gladys Echeverría, durante las obras de pavimentación de la calle (realizadas con posterioridad al año 2010), se extrajeron rocas que se ubicaban al pie del talud de la vivienda, provocando una pérdida de estabilidad en el terreno.

3.2. OBSERVACIONES DE TERRENO

Durante la visita se constató que la ladera es de roca metamórfica del tipo filita, la cual se observa al pie del talud donde se emplaza la vivienda afectada y en sitios vecinos, verificando que la roca se encuentra a poca profundidad y existe una delgada capa de suelo residual, menor a 30 cm. Esta situación otorga una condición favorable para implementar obras de mitigación que permitan mejorar la estabilidad del terreno y el acceso a la vivienda.

La remoción en masa es del tipo deslizamiento de suelo y movilizó unos 5 m³ de material los que incluyen muros de mampostería y estructuras reforzadas con cemento, sin anclaje a la roca, que se encontraba a media ladera. Estas estructuras de materiales densos colapsaron siendo acarreados por la remoción del suelo de fundación, arrastrando también parte de la escalera de acceso a la vivienda y la cubierta vegetal existente (Fig. 3). Parte de estos escombros aún se encuentran en el lugar con peligro de caer hacia la calle.

La sección inferior de la escalera de acceso fue cortada por efecto de la remoción y al momento de la visita aún se encuentra sin algunos escalones ni barandas de apoyo, lo que constituye un alto riesgo de accidente para los transeúntes. También fue afectada la tubería del alcantarillado y la canalización de aguas lluvias.

3.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda retirar basuras y escombros del sitio, dejando despejado de materiales que pudieran ser arrastrados por el agua.

En lo posible aterrazar la ladera, utilizando la misma roca del lugar, sin agregar cargas que pudieran favorecer la pérdida de estabilidad.

Reforzar el pie del talud de la vivienda afectada con un muro de contención de al menos 15 m de largo, habilitar con drenes para evitar el aumento de presión por el agua.

Se debe reconstruir el acceso a la vivienda, en lo posible con pilotes metálicos anclados en la roca y con barandas de apoyo para prevenir caídas.

Se recomienda canalizar las aguas lluvias hacia la calle y revisar el sistema de alcantarillado para evitar filtraciones al suelo.



FIG. 3. Remoción en masa en calle Colegio, cerro Zaror. 1. Escalera lateral de acceso a vivienda. 2. Escombros de estructuras colapsadas. 3. Sedimentos bloqueando el canal de drenaje perimetral de la calle. 4. Afloramiento de roca metamórfica tipo filita al pie del talud. 5. Conexión provisoria a la red de alcantarillado.

4. REMOCIONES EN MASA EN CALETA TUMBES

4.1. ANTECEDENTES

La localidad de Caleta Tumbes Tumbes se ubica en el NE de la península homónima, en la comuna de Talcahuano. En este lugar se han identificado más de cincuenta remociones en masa y evidencias de estas, algunas de ellas documentadas en el registro histórico. Estas remociones son principalmente de tipo deslizamiento distribuidas en el escarpe costero (López *et al.*, 2021; Sepúlveda, 2022; Hauser, 2006; ver Anexos). Durante 2022 ocurrieron cuatro remociones en masa debido a intensas precipitaciones, dos en julio (Sepúlveda, 2022) y dos en agosto.

4.2. OBSERVACIONES DE TERRENO

En términos generales, en el escarpe costero fue posible constatar a simple vista la existencia de varias cicatrices de remociones en masa y de bloques de roca inestables. Sin embargo, durante la campaña de terreno se revisó en detalle solo las dos remociones en masa ocurridas el 16 de agosto de 2022.

La primera remoción revisada se ubica en el escarpe costero tras un restaurant y a un costado de un puente peatonal (Costanera N°744 en tabla 1; fotografía de portada; A y B en Fig. 4; remoción en masa N°54 en Anexos). La cicatriz de la remoción es de 10 m de ancho por 25 m de altura y tiene una pendiente superior a los 40°. Se estima un volumen de suelo y roca movilizada de unos 20 a 30 m³ (Fig. 4). En torno a esta remoción se identificaron bloques de roca inestables en la ladera limitados a esta por grietas planas y abiertas (letra C en Fig. 4). El puente peatonal afectado permite la conectividad por tierra con algunas viviendas que se ubican en el borde costero al norte de caleta Tumbes.

La segunda remoción ocurrió en la ladera ubicada en el patio trasero de la casa situada en calle Costanera N°640 (Tabla 1), su cicatriz es de 4 m de altura por 4,5 m de ancho (letra D en Fig. 4). Se estima que el depósito de esta remoción fue de entre 2 y 3 m³ de roca y suelo, esta alcanzó la base de la vivienda, pero no la dañó. Posteriormente, los propietarios limpiaron en lugar y construyeron un radier con una canaleta para evacuar el barro y aguas lluvias que bajan desde la ladera.

En las laderas aflora filita, esta roca presenta numerosos planos de debilidad o de foliación, además y está deformada en pliegues suaves de longitud de onda de entre 10 y 20 cm. Estas rocas están inclinadas (la foliación) de manera perpendicular y oblicua al plano de la ladera y en ella existen por lo menos tres familias de fracturas (diaclasas), orientadas de manera tal, que generan bloques de roca capaces de deslizarse y caer. Sobre estas rocas existe una delgada capa de suelo residual y coluvio sobre el cual crece la vegetación que está constituida principalmente por arbustos y en menor proporción por árboles.

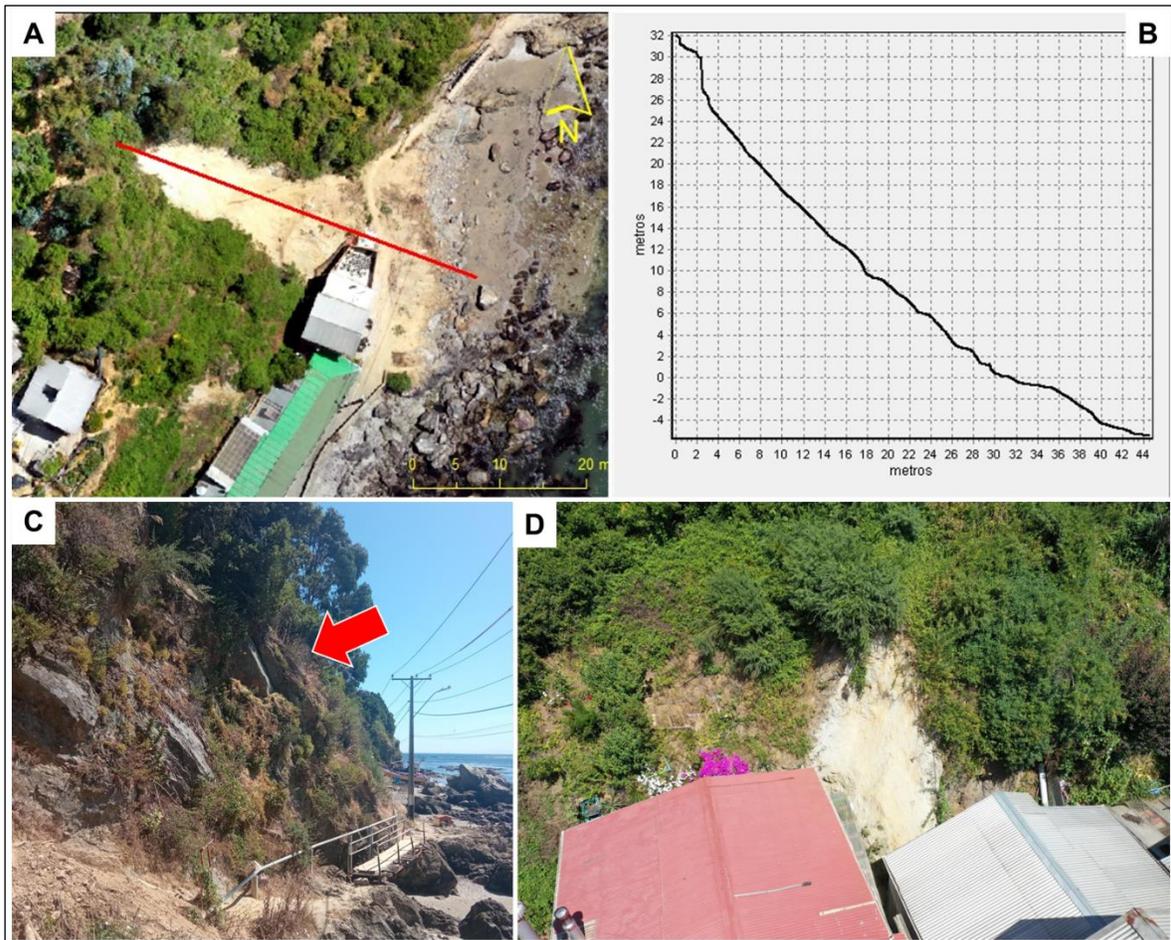


FIG. 4. Remociones en masa en Caleta Tumbes. A. vista en planta de la cicatriz de la remoción en masa más grande ocurrida en agosto de 2022. B. perfil topográfico de la traza roja dibujada en A. C. Bloque de roca métrico inestable cercano al puente peatonal. D. Cicatriz de remoción en masa tras la casa de Costanera N°640.

4.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La mayor parte de las zonas escarpadas de Caleta Tumbes posee una alta susceptibilidad a ser afectada por procesos de remoción en masa debido a las condiciones naturales propias de las laderas (tipo de roca, fracturas, pendiente, etc.) y también debido a factores antrópicos como la construcción de edificaciones y el mal manejo de aguas lluvias, entre otros. Se estima que el factor desencadenante para las remociones en masa ocurridas en agosto fueron las intensas precipitaciones.

Existen bloques de roca que podrían caer en cualquier momento desde la ladera, especialmente durante precipitaciones intensas o sismos, por lo que se sugiere identificar cuáles son estos bloques y realizar una caída controlada de ellos (saneamiento de ladera).

Existen abundantes antecedentes de remociones en masa que han afectado a otras viviendas en la Av. Costanera, por lo tanto, las medidas de estabilización que se implementen deben ser avaladas con un estudio geotécnico de detalle que abarque la totalidad del área inestable del frente de costa de esta zona urbanizada y determine la factibilidad de implementar obras de mitigación globales. Si el costo de las obras de mitigación no las hace factible de implementar, se deberá evaluar la erradicación de viviendas dejando habilitado el frente costero solo para fines comerciales y de restaurantes, para evitar la permanencia de personas particularmente en periodos de lluvias intensas que gatillan este tipo de procesos.

En el sector del puente peatonal, al final de avenida Costanera, se debe realizar un estudio geotécnico para implementar una obra de estabilización de rocas y un mejoramiento general de la estructura. Se sugiere evaluar una protección con malla, perno de anclaje y hormigón proyectado.

5. REMOCIÓN EN MASA EN VILLA SAN MARTÍN

5.1. ANTECEDENTES

Las remociones en masa del tipo caída de rocas son procesos recurrentes en las laderas del cerro adyacente a calle Carlos Dittborn, el cual es una prolongación del cerro San Martín, conformado predominantemente por rocas sedimentarias marinas de la Fm. Quiriquina. De acuerdo con lo señalado por el Sr. Rifo, también son recurrentes los deslizamientos de suelo y vegetación desde las laderas hacia las viviendas que se ubican al pie de este cerro.

Durante el mes de agosto de 2022, la caída de fragmentos de roca de un volumen aproximado de 20 m³ rompió la calzada de la calle, sin provocar lesiones a personas o vehículos que transitaban por el lugar al momento del colapso del talud.

5.2. OBSERVACIONES DE TERRENO

La remoción en masa se produce por caída de rocas a partir de la meteorización física de un talud vertical de 7 m de altura y 32 m de ancho, el fracturamiento principal de la roca se produce en capas paralelas a la cara expuesta del talud. En este caso la fractura que generó la caída está a unos 30 cm de profundidad a partir de la cara de roca expuesta. Lo cual hace suponer que existen otras familias de grietas en desarrollo a mayor profundidad las que se extenderán a medida que vayan quedando más cerca de la superficie.

En la parte superior del talud expuesto, quedó expuesta una cornisa de suelo y raíces que podría generar nuevas remociones en masa (Fig. 5). También, se observaron bloques de roca de diversas dimensiones (< 1 m³) que se encuentran en situación inestable, debido al fracturamiento del macizo rocoso.

El municipio construyó un muro de contención de madera, de aproximadamente 1,5 m de altura y 32 m de ancho. El muro tiene una distancia de al menos 3 m al pie del talud afectado, lo cual genera un espacio que permite acumular eventuales depósitos que procedan de futuros caídas de roca y suelo, sin embargo, muy posiblemente el golpe de fragmentos de rocas haga colapsar pronto dicho muro.



FIG. 5. Remoción en masa en calle Carlos Dittborn, Villa San Martín. A. Al pie del talud colapsado se observa muro de madera recientemente construido, se observa el escombros de falda al pie del cerro, por acumulación de material que cae habitualmente. B. Vista de la remoción desde el SE. Se indica el área detallada en fotografía C. C. Conjunto de bloques de roca algunos de los cuales se encuentran sueltos y deben ser retirados de manera planificada, cortando el tránsito vehicular.

5.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una caída controlada de rocas sueltas, así como de la cornisa de suelo y materia vegetal expuesta en el coronamiento de la remoción.

Se sugiere implementar un muro de contención más resistente, por ejemplo, con gaviones o tetrápodos de concreto al pie del talud u alguna otra obra de mayor envergadura que permita detener la caída de rocas de gran volumen hacia la calle, pues el muro de madera construido no tiene las condiciones de resistencia para cumplir con este objetivo.

Para evitar el rebote de las rocas al caer desde una altura cercana a los 7 m, es más efectivo rellenar con arena la parte inferior del espacio generado entre la estructura de contención y el talud.

6. REFERENCIAS

- Aguirre, L.; Hervé, F.; Godoy, E. 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile: an outline. *Krystallinikum*. N° 9: 7 – 19.
- Biró, L. 1982. Revisión y redefinición de los "estratos de Quiriquina", Campaniano – Maastrichtiano, en su localidad tipo, en la isla Quiriquina, 36°37' lat. sur, Chile, Sudamérica, con un perfil complementario en Cocholgüe. Congreso Geológico Chileno N°3. Actas 1: A29 – A64. Concepción.
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). Visualizador meteorológico. URL: <https://vismet.cr2.cl/>, consultado: diciembre de 2022.
- Dávila, A.; Hervé, F.; Munizaga, F. 1979. Edades K/Ar en granitoides de la Cordillera de la Costa de la provincia de Colchagua, VI Región, Chile Central. Congreso Geológico Chileno N° 2: F107 – F120. Arica.
- Dirección Meteorológica de Chile. Servicios Climáticos. Dirección General de Aeronáutica Civil. URL: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/requerimiento/producto/RE1006>, consultado: diciembre de 2022.
- Gajardo, A. 1981. Avance geológico hoja Concepción - Chillán, Región del Bio-Bio. Instituto de Investigaciones Geológicas. Mapas Geológicos Preliminares de Chile N°004. 32 p., 1 mapa escala 1:250.000. Santiago.
- Galli, C. 1967. Geología urbana y suelo de fundación de Concepción y Talcahuano, Chile. Informe final del proyecto de investigación N° 75 de la Comisión de Investigación Científica de la Universidad de Concepción (Inédito): 248 p. Concepción.
- Hauser, A. 2006. Riesgo de remoción en masa en viviendas de caletas Puerto Inglés, Canteras y Candelaria, Península de Tumbes, comuna de Talcahuano, octava región Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Técnico (Inédito): 16 p.

López, P.; Qüense, J.; Henríquez, C.; Martínez, C. 2021. Applicability of spatial prediction models for landslide susceptibility in land-use zoning instruments: a guideline in a coastal settlement in South-Central Chile. Geocarto International, 1–20. [doi:10.1080/10106049.2021.1939440](https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1939440)

Mardones, M. 1978. El sitio geomorfológico de las ciudades de Concepción y Talcahuano, Instituto de Antropología, Historia y Geografía, Universidad de Concepción. 86 p, Concepción.

Muñoz-Christi, J. 1956. Handbook of South American Geology. Chile. Geological Society of America. Memoir. Vol. 65: 187-214.

Pontificia Universidad Católica de Chile, 2022. Recopilación de datos espaciales para estudios de deslizamientos de tierra en Caleta Tumbes por López *et al.* (2021). Obtenida a través de la Plataforma de Datos Abiertos de Itrend. URL: <https://www.plataformadedatos.cl/map-viewer>, consultado: diciembre de 2022.

Rodríguez, D. 2022. Análisis estructural, implicancias tectónicas y geología del margen suroccidental de la comuna de Talcahuano. Tesis para optar al título de geólogo. Departamento Ciencias de la Tierra, Facultad De Ciencias Químicas, Universidad de Concepción. 354 p.

Sepúlveda, N. 2022. Visita técnica a sectores de la comuna de Talcahuano Región del Biobío, afectados por remociones en masa durante Julio del año 2022. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Técnico (Inédito): 24 p. Concepción.

Velásquez, R.; Creixell, C.; Merino, R.N.; Sepúlveda, N.; Quinzio, L.A. (*in prep.*). Geología del área Concepción-Talcahuano, Región del Biobío. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica XXX: X p. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

7. ANEXOS

Tabla 1. Inventario de remociones en masa de Caleta Tumbes.

Punto	Este	Norte	Sector	(*) Tipo	(**) Fuente	Fecha
1	670653	5944603	Candelaria	DR	1	-
2	670651	5944563	Candelaria	DR	1	-
3	670660	5944584	Candelaria	DR	1	-
4	670667	5944571	Candelaria	DR	1	-
5	670674	5944563	Candelaria	DR	1	-
6	670666	5944434	Candelaria	DR	1	-
7	670579	5944391	Candelaria	DR	1	-
8	670587	5944228	Candelaria	DR	1	-
9	670579	5944205	Candelaria	DR	1	-
10	670592	5944169	Candelaria	DR	1	-
11	670542	5944057	Candelaria	DR	1	-
12	670624	5943934	Candelaria	DR	1	-
13	670579	5943839	Tumbes (Acantilados)	DR	1	-
14	670554	5943769	Tumbes (Acantilados)	DR	1	-
15	670533	5943730	Tumbes (Acantilados)	DR	1	-
16	670280	5943520	Maryland	FB	1	-
17	670523	5943547	Tumbes (Acantilados)	DR	1	-
18	670215	5943520	Maryland	DR	1	-
19	670033	5943502	Fernando Paz	DR	1	-
20	669888	5943639	Fernando Paz	DR	1	-
21	669928	5943671	Fernando Paz	DR	1	-
22	669917	5943292	Maryland	FB	1	27 de mayo de 2013
23	670048	5943499	Maryland	DR	1	-
24	670279	5943004	San Juan	FB	1	-
25	670250	5942988	San Juan	DR	1	-
26	670109	5942947	San Juan	DR	1	-
27	670071	5942926	San Juan	DR	1	-
28	670317	5943050	San Juan	DR	1	-
29	670274	5942967	Maryland	FB	1	-
30	670269	5942961	San Juan	FB	1	-
31	670157	5942919	San Juan	DR	1	-
32	670388	5943262	Maryland	DR	1	-
33	670226	5943532	Maryland	DR	1	23 de junio de 1997
34	670600	5943832	Candelaria	DR	1	-
35	670570	5943777	Tumbes (Acantilados)	DR	1	-
36	670525	5943629	Tumbes (Acantilados)	DR	1	-
37	670532	5943592	Tumbes (Acantilados)	DR	1	-
38	670510	5943516	Tumbes (Acantilados)	DR	1	-
39	670293	5943542	Maryland	DR	1	-
40	670297	5943515	Maryland	DR	1	-
41	670227	5943512	Maryland	DR	1	29 de julio de 2014
42	670014	5943559	Fernando Paz	DR	1	-
43	670318	5943070	San Juan	DR	1	-
44	670304	5942989	San Juan	FB	1	-
45	670289	5942974	San Juan	FB	1	-
46	670236	5942949	San Juan	FB	1	-
47	669905	5942848	San Juan	DR	1	-
48	669930	5942892	San Juan	DR	1	24 de julio de 1994
49	670003	5942869	San Juan	DR	1	-
50	670027	5942875	San Juan	DR	1	-
51	669907	5942812	San Juan	DR	1	-
52	669875	5942801	San Juan	FB	1	-
53	669764	5942735	San Juan	DR	1	-
54	670538	5943509	Tumbes (Acantilados)	D	2	julio de 2022
55	670567	5943755	Tumbes (Acantilados)	CR	2	julio de 2022
56	670008	5943375	Maryland	D	2	julio de 2022
57	670547	5943765	Tumbes (Acantilados)	D	3	16 de agosto de 2022
58	670528	5943661	Tumbes (Acantilados)	D	3	16 de agosto de 2022

*Tipo: CR, Caída de roca; DR, Deslizamiento Rotacional; D, Deslizamiento; FB, Flujos de Barro

**Fuente: 1, López et al., (2021); 2, Sepúlveda (2022); 3, Este trabajo

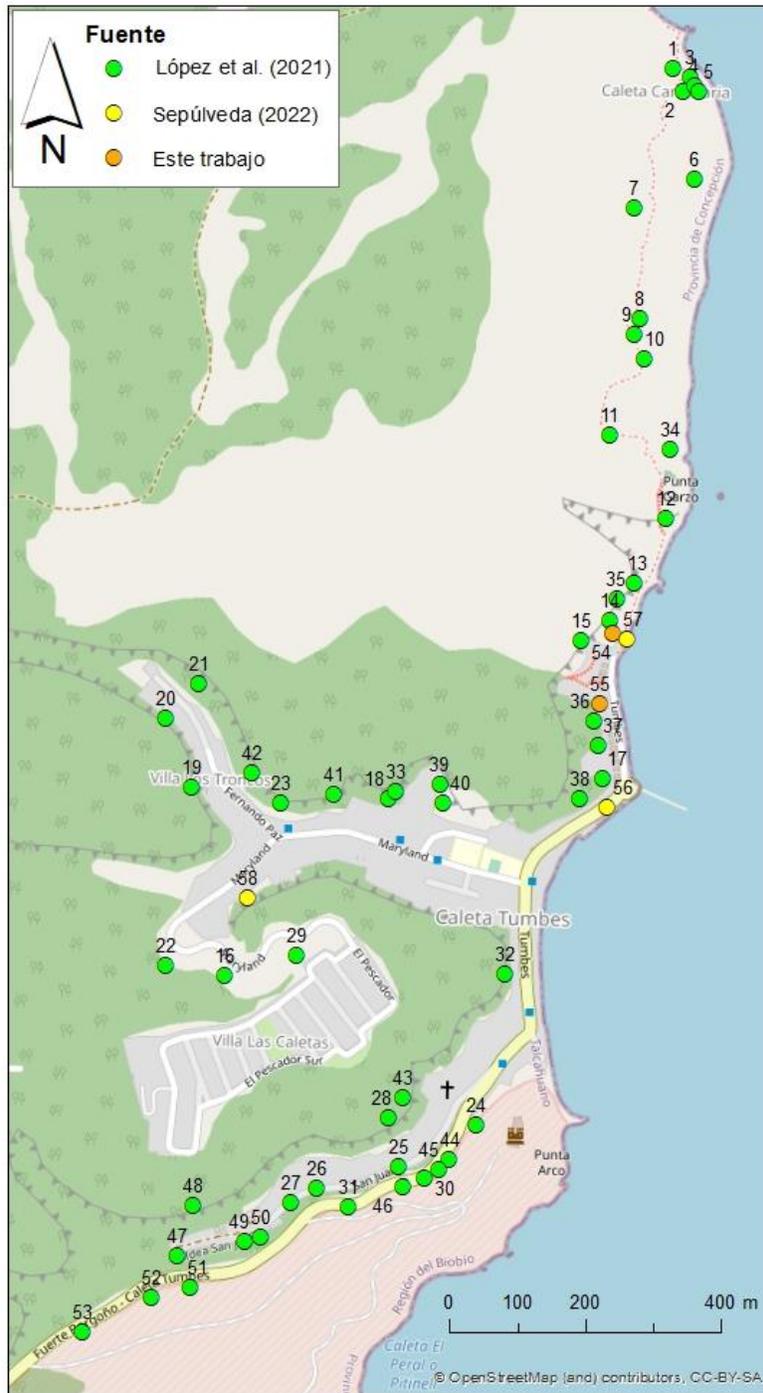


FIG. 1. Ubicación de remociones en masa detalladas en la tabla 1 de Anexos.