

Mitigación de laderas susceptibles a deslizamientos y caída de rocas en la zona urbana entre la ruta B-898 y la avenida Serrano de Taltal.

Mitigation of slopes susceptible to landslides and falling rocks in the urban area between route B-898 and Serrano de Taltal Avenue.

Miguel Pavez Román¹
Camilo Soto Pradenas²

RESUMEN

La ciudad de Taltal está situada en uno de los márgenes más activos del mundo sobre un cono de deyección que limita hacia el oeste con una extensa planicie litoral emergida y hacia el este con un macizo cordillerano costero, que exhibe en sus laderas salientes rocosas susceptibles a generar eventos de caída de rocas y deslizamientos en las zonas medias y altas de la ladera. La población que reside en el piedemont del segmento urbano que une la ruta B-898 con la avenida Serrano, podrían potencialmente verse afectadas debido a las condiciones litológicas del sustrato rocoso y pendientes de las laderas. Esta investigación busca proponer medidas de mitigación para la exposición y la vulnerabilidad vinculadas a estabilizar los taludes, utilizando los umbrales geomorfológicos definidos por Araya-Vergara & Börgel (1972) y la metodología de escenarios propuesta por López (2007) la cual permitió establecer obras de mitigación de índole ingenieril focalizadas en la reducción del nivel de exposición y vulnerabilidad de las viviendas localizadas en el piedemont mediante la implementación de mallas de triple torsión en las zonas altas y medias de los taludes y la ejecución de paneles móviles para frenar la energía de los bloques y clastos que por efectos gravitacionales se depositarían en la zona baja de la ladera y el piedemont costero.

ABSTRACT

The city of Taltal is located on one of the most active margins in the world on a dejection cone that borders to the west with an extensive littoral surface and to the east with a coastal mountain range. It exhibits on its slopes rocky ledges susceptible to generate events of falling rocks and landslides in the middle and high areas of the hillside, where the population residing in the piedmont of the urban segment that joins the route B-898 with the Serrano Avenue could potentially be affected due to the lithological conditions of the rocky substrate and slopes of the slopes. This research seeks to mitigate exposure and vulnerability through measures and engineering works linked to stabilizing the slopes, using as a first filter the geomorphological thresholds defined by Araya-Vergara & Börgel to recognize and identify the areas more susceptible to slope instability in the study area and as a second filter the scenario methodology proposed by López which allowed the establishment of mitigation works of an engineering nature focused on reducing the level of exposure and vulnerability of homes located in the piedmont through the implementation of triple torsion meshes in the high and middle areas of the slopes and the execution of mobile panels to stop the energy of the blocks and clasts that by gravitational effects would be deposited in the lower area of the slope and the coastal piedmont.

Palabras claves: Talud, caída de rocas, exposición, mitigación.

Key words: Slopes, rockfall, exposure, mitigation.

¹ Geógrafo U. de Chile, Magíster en Geografía Mención En Recursos Territoriales U. de Chile, Observatorio en Gestión del Riesgo de Desastres, Universidad Bernardo O'Higgins.

² Egresado en Construcción Civil. Pontificia Universidad Católica de Chile Escuela de Construcción Civil, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Fecha de recepción: 3 de julio de 2018

Fecha de aceptación: 4 de noviembre de 2018

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Taltal está situada en uno de los márgenes más activos del mundo (Comte et al., 1999); con un registro de distribución sísmica de 476 temblores superiores a 5.0 Ms Richter durante los últimos 15 años durante el periodo 2002-2017 (CSN³, 2018) siendo una zona sísmica propensa a eventos de deslizamientos y caída de rocas.

La ciudad de Taltal se encuentra sobre un cono de deyección que, limita hacia el oeste con una extensa planicie litoral emergida y hacia el este con un macizo cordillerano costero que, exhibe en sus laderas salientes rocosas que podrían generar una amenaza para la población que reside en el piedemont entre la ruta B-898 y la avenida Serrano. Esta condición de amenaza está respaldada por los antecedentes históricos de eventos en la ciudad de Taltal la cual registra un historial de 62 eventos de remoción en masa provocados por causas meteorológicas y 75 eventos provocados por sismos (Asun, 2017), los cuales han sido generados por la influencia directa de la gravedad (Hauser, 2000) y por el debilitamiento progresivo de los materiales debido a procesos de meteorización (Mardones & Vidal, 2001), cabe agregar en un contexto regional que en las regiones de Tarapacá y Antofagasta se han registrado más de 60 mega-remociones entre avalanchas de roca y deslizamientos múltiples rotacionales, de materiales y clastos los cuales en la actualidad se encuentran en distintos grados de preservación sobre una planicie costera datada ⁴entre 0,1 ka y 1 Ma. Mather et al. (2014).

Sin duda, considerando los antecedentes expuestos anteriormente se ratifica en base a los antecedentes e investigaciones científicas que la zona norte del país ha presentado históricamente eventos recurrentes de inestabilidad de la ladera, siendo éstos mitigados usualmente a través de la implementación de obras de mitigación como: mallas de triple torsión, pantallas dinámicas de

baja energía, gutinados y perfilamiento de los taludes (Opazo, 2014).

La zona norte de Chile situada entre los 18° y los 24° de latitud sur es un foco de recurrencia de eventos de caída de rocas y deslizamientos, con eventos de megaremociones en masa datados con edades cercanas al Cuaternario (Mather et al. 2014) con eventos de inestabilidad de la ladera que se han desencadenado recientemente (Asun, 2017), generando en los últimos eventos daños en la infraestructura habitacional de las ciudades costeras del norte de Chile. Por ende, considerando la recurrencia de los eventos de remoción en masa el contexto es primordial buscar medidas y obras de mitigación que logren estabilizar y reducir los impactos de los eventos de caída de rocas en las viviendas más susceptibles frente a la amenaza de inestabilidad de la ladera en la ciudad de Taltal, dando tiempo a la población de guarecerse y dirigirse a zonas seguras si se aplican medidas preventivas. Ya que, la población que reside entre la ruta B-898 y la avenida Serrano es susceptible a esta clase de eventos debido a una negligente planificación territorial que sumado a la escasa fiscalización de la autoridad municipal ha construido riesgo y exposición en lugares que en el plano regulador (PRC ⁵) presentan restricciones para el desarrollo de viviendas y proyectos inmobiliarios.

Esta investigación busca reducir los efectos y daños en la infraestructura habitacional generados por eventos de deslizamientos y caída de rocas asociado a factores gravitacionales y sísmicos que tanto en el Cuaternario como en la actualidad han depositado materiales en el piedemont de la cordillera de la costa donde actualmente se ha construido riesgo, ya que en el área estudiada hay viviendas y zonas urbanas expuestas a la amenaza de caída de rocas y deslizamientos debido a una acelerada urbanización, una negligente planificación territorial y un crecimiento urbano marcado desde sus orígenes por asentamientos que se localizaron en esta ciudad en torno a la actividad minera,

corresponderían a las etapas 5c, 5e, 7 y 9 (Ortlieb et al., 1996).

⁵ Plan Regulador Comunal, instrumento de planificación territorial que zonifica los usos de suelo de una comuna y determina las normas urbanísticas de edificación.

³ Centro sismológico Universidad de Chile

⁴ La edad fue estimada por medio de la datación de sedimentos pliocenos pertenecientes a terrazas marinas por medio de isótopos de oxígeno los cuales

la cual generó oleadas migratorias que configuraron el crecimiento urbano de la ciudad de Taltal en forma desordenada y aleatoria, por tanto en la presente investigación se pretende dar respuesta a los objetivos trazados mediante la modelación de las pendientes de las laderas de la cordillera de la costa bajo el alero de los umbrales geomorfológicos propuestos por Araya – Vergara & Börgel (1972), Young (1972) y Ferrando (1993) los cuales permitirán reconocer y evaluar qué medidas preventivas de mitigación deben aplicarse en la zona urbana situada entre la avenida serrano y la ruta B-898, considerando el modelo de López (2007), ya que el área de estudio propuesta en esta investigación es la zona más susceptible a eventos de caída de rocas y deslizamientos debido a que el sustrato rocoso de las paredes presentes en estas laderas, muestra indicios de meteorización química y física con una litología de origen volcánica perteneciente a la Formación La Negra (Escribano et al, 2013) en la sección media y alta de la cordillera de la

costa, la cual podría dependiendo de la magnitud del evento afectar la zona de contacto entre el piedemont y la cordillera de la costa donde están situadas viviendas y servicios que están altamente expuestos a este tipo de amenaza si hubiesen desprendimientos y debilitamiento de bloques, rocas, rodados y clastos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se desarrolló esta investigación en el área urbana localizada entre la ruta B-898 y la avenida Serrano (Ver Figura. 1) de la ciudad costera de Taltal⁶ porque esta zona urbana presenta remanentes de eventos de caída de rocas en el piedmont de la cordillera de la costa los cuales han sido ratificados en terreno mediante observaciones litológicas y vuelos realizado con el dron Phantom III, confirmando que, dicha área es la más susceptible a esta clase de evento. Por lo tanto, considerando la recurrencia de los

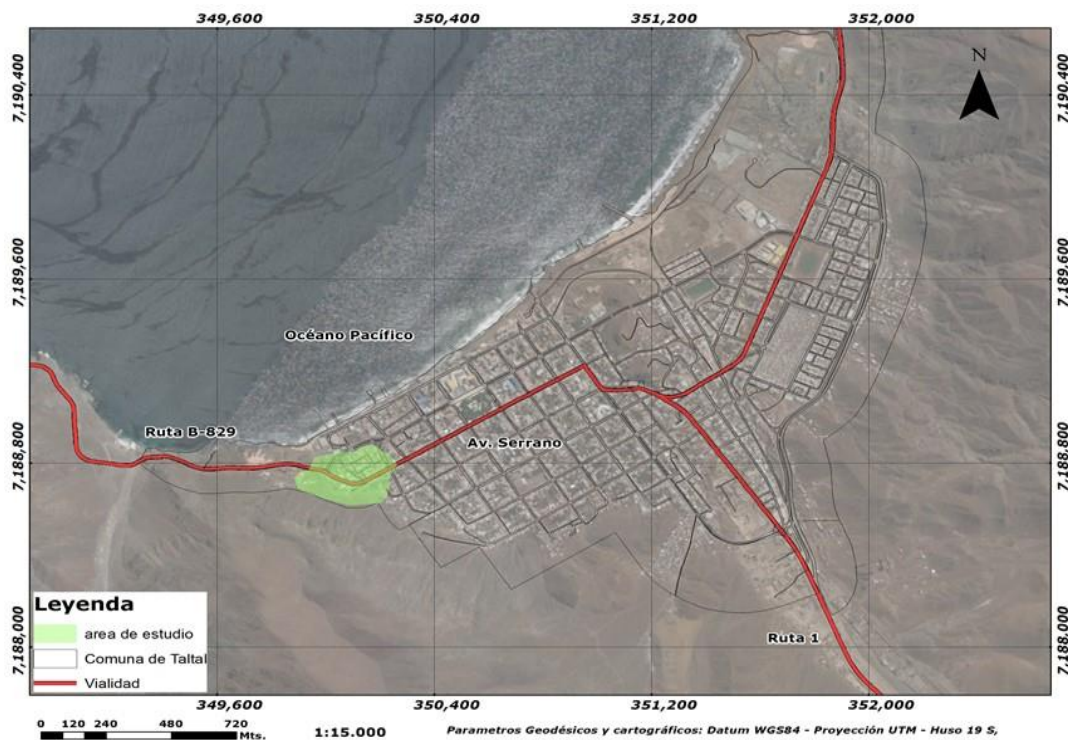


Figura 1. Área de estudio Elaboración propia en base a imagen captada por el dron Phantom III 2017 y la carta geológica de Taltal 1:100.000 (Escribano et al, 2013)

⁶ La ciudad de Taltal está ubicada en los 25°12' de latitud S en la región de Antofagasta, en la desembocadura de la Quebrada Taltal, limitando con el océano Pacífico por

el oeste y con el flanco occidental de la Cordillera de Los Andes por el este.

eventos de inestabilidad de la ladera y las observaciones de las laderas observadas en terreno, surge la necesidad de generar una propuesta para localizar sitios aptos para

situar las futuras obras de mitigación que ayudaran en el futuro a reducir los daños ocasionados por eventos de inestabilidad de la ladera en la infraestructura habitacional

Procedimientos

Se realizó una modelación de las pendientes en La ciudad de Taltal a través del software Arcgis 10.5, donde se aplicó el geoproceso Slope sobre el modelo digital de elevación del terreno extraído de la imagen de Radar⁷ captada por el sensor PALSAR, este geoproceso permitió determinar las pendientes de las laderas, para en la siguiente

fase reclasificar las pendientes con el criterio de rango de pendientes según umbrales geomorfológicos (Ver Tabla 1) desarrollado por Araya –Vergara & Börgel (1972), Young (1972) y Ferrando (1993) a partir del cual se identificaron las laderas más susceptibles a caída de rocas y deslizamientos a través del geo proceso reclassify.

Tabla 1. Rango de pendiente según el tipo de Umbral Geomorfológico

Pendiente	Tipo de pendiente	Umbral Geomorfológico	Grado de erodabilidad
0°-2°	Horizontal	Erosión nula o leve	Bajo
2.1° - 5°	Suave	Erosión débil, difusa (Shell wash), inicio de requeros y soliflucción fría.	Bajo
5.1° - 10°	Moderada	Erosión Moderada a fuerte, inicio de erosión lineal (rill wash)	Medio
10.1° - 20°	Fuerte	Erosión intensa, cárcavas incipientes	Alto
20.1° -30°	Moderadamente escarpada	Cárcavas frecuentes, movimientos en masa, reptación.	Alto
30.1° - 45°	Muy escarpada	Coluvamiento, soliflucción intensa	Muy Alto
➤ 45°	Acantilada	Desprendimientos, derrumbes, corredores de derrubios.	Muy Alto

Fuente: Araya – Vergara & Börgel (1972), Young (1972) y Ferrando (1993)

Una vez reconocida el área más susceptible a deslizamientos y caída de rocas de la ciudad de Taltal se aplicó secuencialmente la metodología de López (2007) (Ver Figura 2) la cual permitió establecer y determinar las obras de mitigación recomendadas para mitigar las laderas con paredes rocosas que se encuentran sobre la zona urbana localizada entre la ruta B-898 y la avenida Serrano,

considerando el volumen de material caído mayor a $> 0,03 m^3$ y menor $< 0,03 m^3$, considerándose a partir de este rango la recurrencia de los eventos de caída de rocas con una escala de tiempo mayor > 1 una semana y con una escala de tiempo inferior < 1 semana.

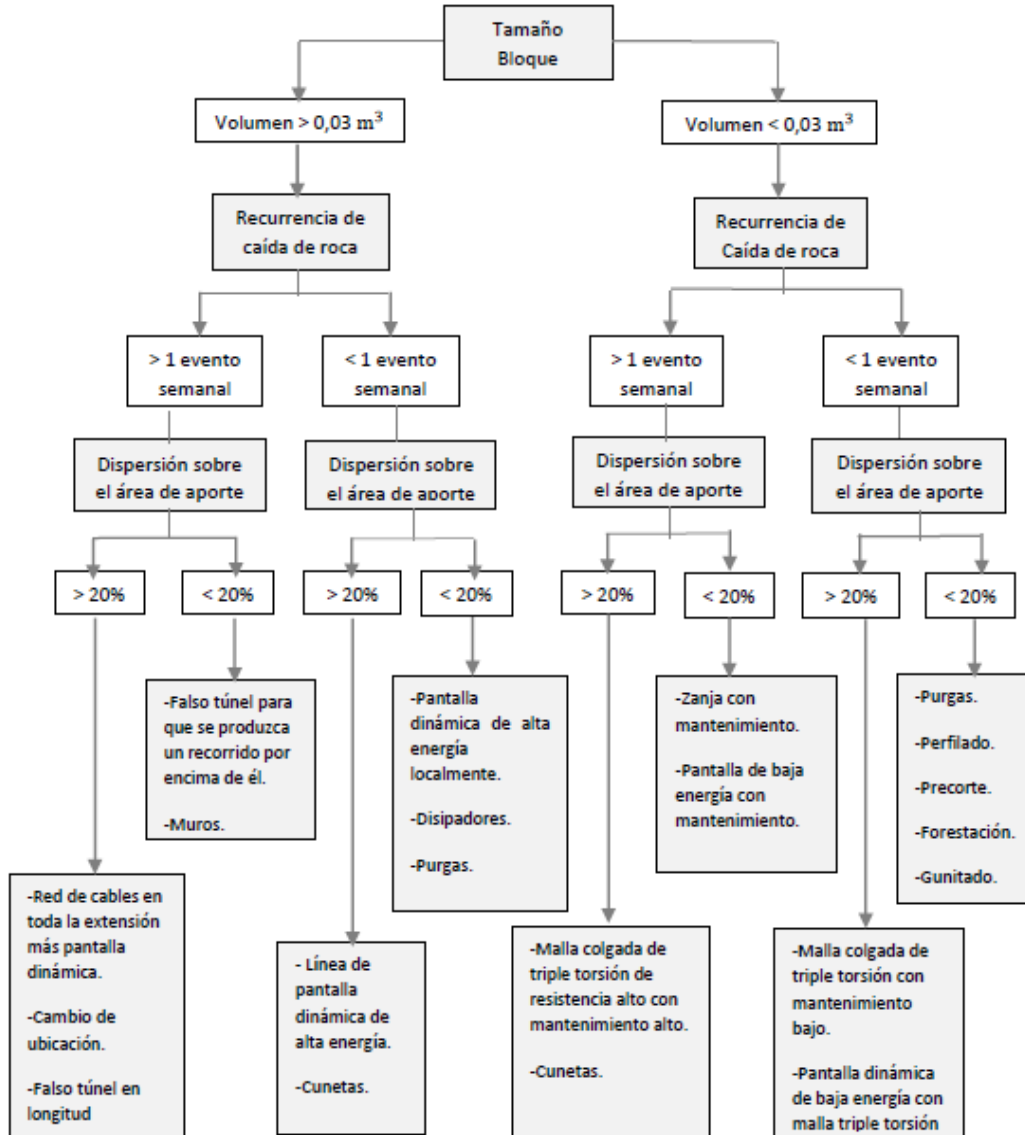
⁷ La imagen de radar captada por el sensor japonés Palsar presenta un píxel de 12,5 metros con el cual se

determinó la pendiente de las laderas con un parámetro de 10 metros de equidistancia entre cada curva

Finalmente se consideró la dispersión de materiales sobre un rango superior a $> 20\%$ y permitieron filtrar y segar en esta investigación las obras más adecuadas para la viviendas y

en un rango bajo el $< 20\%$, criterios definidos en la metodología de López (2007) los cuales servicios situados en zona urbana localizada entre la ruta B-898 y la avenida Serrano.

Figura 2. Medidas preventivas asociadas a riesgo de inestabilidad de la ladera.



Fuente: López (2007)

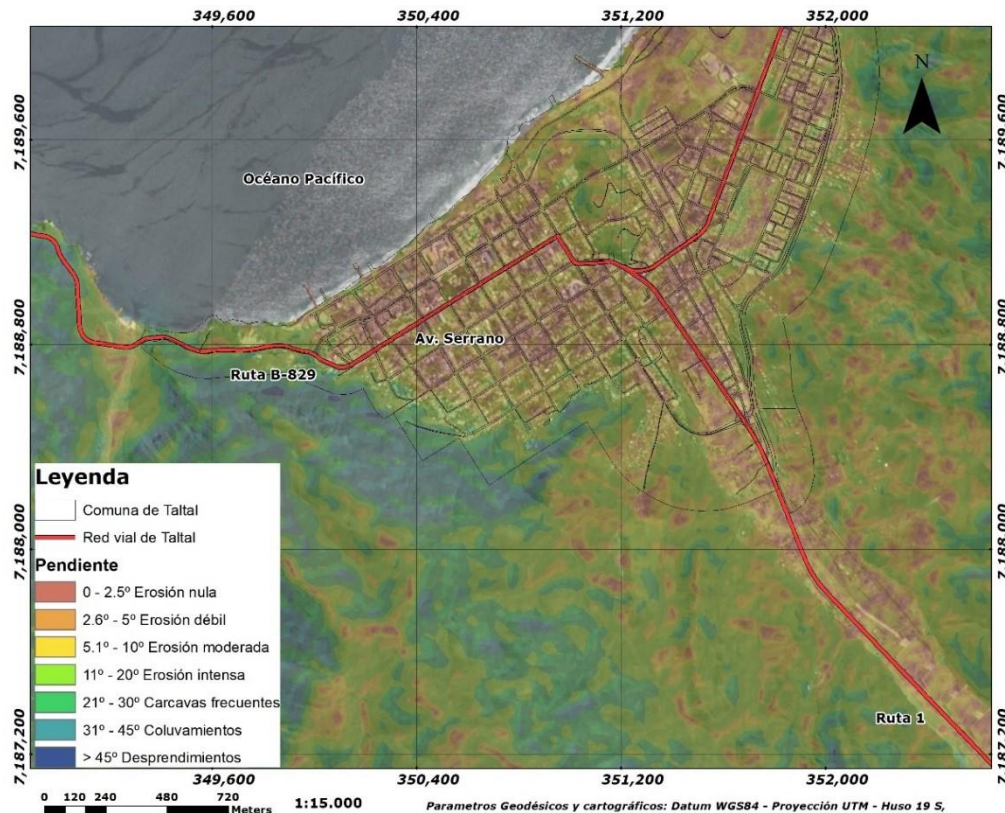
En la Figura 2 se observa la metodología de López que se utilizó en la presente investigación para establecer preventivamente que obras de mitigación se pueden erigir en una ladera a partir de la recurrencia de eventos de caída de rocas y dispersión de los clastos sobre el área de aporte.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la modelación ratifican que las laderas localizadas entre la ruta B-898 y la Avenida Serrano tienen una condición favorable para que se generen eventos de inestabilidad de la ladera, debido a que las laderas presentan pendientes superiores $> 45^\circ$ en la parte alta y media de la cordillera de la costa (Ver Figura 3) las cuales además de presentar pendientes altas exhiben un nivel muy alto grado de erodabilidad (Ver Tabla 1) y un tipo de pendiente acantilada. Atributos fundamentales y esenciales para generar desprendimiento, derrumbes y corredores de derrubio.

Por otro lado, en la zona de contacto entre el piedemont y la ladera, las pendientes presentan una erosión moderada (5.1° - 10°) a intensa (11° - 20°) con estratos sedimentarios correspondientes a depósitos sedimentarios de playa Hi pertenecientes al Holoceno donde la geometría del relieve permite mitigar y edificar zanjas, las cuales pueden ser robustecidas si se rellena con material fino de arena ya existente en el piedemont. Debido a que esta clase de material reduce el nivel de energía de los clastos, bloques rocas y rodados que caen por procesos gravitacionales.

Figura 3. Rango de pendiente según umbral geomorfológico.



Fuente: Elaboración propia, en base a Imagen Alospalsar 2011

La Figura 3 muestra las pendientes y los umbrales geomorfológicos del área de estudio situada entre la ruta B-898 y la avenida Serrano, donde se aprecia la zona más susceptible a eventos de deslizamientos y caída de rocas donde actualmente hay viviendas, jardines infantiles, comercio expuestos a este tipo de eventos.

La modelación de pendientes permitió reconocer la zona más susceptibles a eventos de caída de rocas y deslizamientos, como así también dio cabida al desarrollo de medidas preventivas basadas en los registros históricos y antecedentes del Cuaternario los cuales se integraron como input a la simulación de escenarios basada en la metodología de López, la cual arrojó como resultado para el primer escenario de esta investigación el uso de pantallas dinámicas de alta energía, disipadores y purgas para estabilizar los taludes, considerando un volumen de los clastos con valores superior a $0,03 m^3$, una recurrencia en los eventos de inestabilidad de la ladera inferior a 1, y con un área de aporte menor a un 20%.

Para el segundo escenario se modeló considerando un evento cuyo volumen fuese inferior a $0,03 m^3$, una frecuencia inferior a un evento semanal y con un área de aporte menor a un 20%, para lo cual se sugieren obras de mitigación basadas en purgas, perfilados y precorte. Finalmente en el tercer escenario se consideró un área de aporte mayor a un 20%, un volumen inferior a $0,03 m^3$ y una frecuencia inferior a un evento semanal, lo cual arrojó como resultado las siguientes medidas de mitigación señaladas a continuación: malla de triple torsión con bajo mantenimiento y pantallas dinámica de baja energía, éstas últimas se ajustan a las características de sustrato rocoso como así también a la geometría de la zona de contacto entre el piedemont y la cordillera de la costa.

DISCUSIÓN

Hay bastantes estudios sobre deslizamientos de remociones en masa en la región de Antofagasta, pero existe un escaso desarrollo de investigaciones que propongan obras de mitigación para estabilizar laderas en la zona urbana entre la ruta B-898 y la avenida Serrano, es por este motivo que la realización de inventarios y una caracterización de remociones en masa es de crucial importancia debido a las pérdidas económicas y/o humanas asociadas a su ocurrencia (Guzzeti, 2012).

Hasta antes del terremoto de Iquique del 2014, la zona de subducción ubicada entre los $18^\circ S$ y $23^\circ S$ se caracterizaba por la falta de actividad sísmica desde 1877; por lo cual era

esperada la ocurrencia de un sismo de gran magnitud en este tramo (Comte y Pardo, 1991; Bejar-Pizarro et al., 2013.) El sismo del 1 de abril del 2014 de magnitud de momento (Mw) 8,1 rompió en una porción altamente acoplada de ese gap sísmico (Ruiz et al., 2014) que, sin embargo, no fue de la magnitud ni extensión espacial esperados en la ruptura (Hayes et al., 2014). Por ende el área de estudio potencialmente podría verse afectada si se desencadena un evento sísmico de gran magnitud que podría generar desprendimientos y caída de rocas al liberarse la energía que no fue liberada el año 2014, por lo tanto se debe prestar atención a las viviendas y servicios expuestos a laderas susceptibles a inestabilidad de la ladera, ya que no solo la ciudad de Taltal se puede ver afectada, todas las ciudades y localidades del norte emplazadas con este estilo de subducción abrupta y gap sísmico podrían verse afectadas.

Por otro lado, en relación con la metodología planteada en esta investigación se reconoce que se logró determinar las áreas susceptibles inestabilidad de la ladera, pero la precisión del pixel de las imágenes Palsar es insuficiente para un estudio de mejor detalle. Ya que para esta investigación se trabajó sobre un pixel de 12,5 metros lo cual entrega una aproximación bastante aceptable de las pendientes modeladas, sin embargo, para estudios más específicos el uso de drones y el uso de imágenes de mejor resolución proporcionarán la elaboración de resultados más prolijos que contribuirán en la recomendación y propuesta de obras de mitigación más adecuadas para estabilizar laderas.

En relación con las soluciones planteadas en los tres escenarios se puede discutir si estas son complementarias entre sí, sin embargo la única certeza al respecto es que el terreno permitirá al equipo multidisciplinario y al equipo de profesionales y académicos elegir desde su experiencia, cual de toda la gama de obras de mitigación para estabilizar laderas es la más adecuada, bajo el alero de variables como el sustrato rocoso, las características geomorfológicas y geológicas el tipo de suelo y los recursos económicos disponibles, permitiendo identificar la opción de mitigación más viable. Ya que, si bien una cobertura vegetal densa puede contribuir a estabilizar taludes al igual que el perfilado de

taludes, estas no garantizan la seguridad de las personas ya que es sabido que la mejor medida y obra de mitigación es una planificación territorial que inhiba la creación de riesgo y exposición en las zonas urbanas.

Por otro lado, no cabe dudas que, por costo y beneficio y por ser considerada una necesidad primaria. La malla de triple torsión, es la más usada para estabilizar paredes rocosas, la cual puede complementarse para este caso desde una posición conservadora mediante la edificación de una pantalla dinámica situada entre la zona de contacto entre el piedemont y la cordillera de la costa, actuando como última defensa en el piedemont de la ladera en las zonas de mayor pendiente.

CONCLUSIÓN

Esta investigación logró mitigar y establecer medidas mitigadoras a partir de la modelación de los umbrales geomorfológicos de los laderas de la zona urbana comprendida entre la ruta B-898 y la avenida Serrano, identificando las zonas más susceptibles a eventos de caída de rocas y deslizamiento en la ciudad de Taltal, apuntando en todo momento en salvaguardar las viviendas y servicios situados en la zona urbana comprendida entre la ruta B-898 y la avenida Serrano las cuales fueron mitigadas mediante escenarios basados en obras estructurales que consideraron tres escenarios, logrando para todos los escenarios planteados estabilizar las laderas en la zona de contacto del piedemont y en la zona media y alta de la cordillera de la costa en relación a la magnitud del evento y a los antecedentes históricos de eventos de caída de rocas y deslizamientos en el área de estudio.

El énfasis de esta investigación radica en la propuesta de soluciones y medidas mitigadoras que se adecuen a las condiciones planteadas en los distintos escenarios, por consiguiente, el sistema de mallas de triple torsión ha destacado siempre debido a que es un método de mitigación altamente versátil, que se ajusta a cualquier tipo de relieve y gradiente altitudinal, Cabe destacar que las tipologías de este sistema de mallas son muy variadas, con diseños ingenieriles que pueden ser seleccionados según la necesidad y las condiciones del terreno, siendo altamente utilizado en la contención de las laderas,

principalmente en obras civiles de vialidad, con la salvedad de que en muchos casos se les incorpora hormigón proyectado cuando el tipo de suelo requiere el uso de este tipo de ajuste. El segundo método planteado en esta investigación es el de las pantallas dinámicas, el cual tiene la particularidad de poder adaptarse a distintos rangos de flujo de energía de los sedimentos y clastos los cuales están relacionados, con las pendientes de las laderas y la distancia de caída.

Debe quedar claro, sin embargo, que la mejor medida de planificación, en el largo plazo es, sin duda, el ordenamiento territorial y sus complementos no-estructurales (e.g. reglamentos, restricciones, requisitos, códigos de construcción, etc.), fundamentados en la zonificación de las amenazas y en la actualización de datos nuevos que mejoren los análisis y fundamentos espaciotemporales y probabilísticos de su determinación. Las medidas estructurales deben considerarse, siempre, como elementos de protección transitorios por lo que deben conseguirse solamente con el objeto de ganar tiempo para la aplicación e implantación del ordenamiento territorial.

Es importante que este criterio sea comprendido adecuadamente por parte de las autoridades y la población: Las medidas estructurales de mitigación pueden generar sensaciones de seguridad falsa y la población llegaría confiar en que el problema en sí está resuelto de manera definitiva. En tal caso, se estimularía la ocupación de terrenos expuestos a estas amenazas y, en tal caso, se ocasionarían daños a las personas, servicios y bienes, lo cual generaría un incremento de la exposición y la vulnerabilidad.

En resumidas cuentas los resultados ratifican que, las obras de mitigación más adecuadas para mitigar la recurrencia de eventos de caída de rocas y deslizamientos se basan principalmente en la geometría del piedemont de la cordillera de la costa y en el mix de obras de mitigación que se ajustan al sustrato rocoso y al tipo de suelo, por lo tanto las obras de mitigación pueden reducir significativamente los potenciales impactos de los eventos de caída de rocas y deslizamientos asociados a procesos gravitacionales.

Finalmente, este estudio en todo momento busco establecer parámetros idóneos de como mitigar amenazas de deslizamiento y caída de rocas en una ladera mediante una solución conservadora y orientativa desde el punto de vista del riesgo.

REFERENCIAS

Araya – Vergara, J.F. & Börgel. Definición de Parámetros para Establecer un Banco Nacional de Riesgos y Amenazas Naturales. Criterios para su Diseño. ONEMI/PNUD Uchile/92/009/A. Chile. 1972. Pp. 219.

Asun, M. Análisis del registro histórico de catástrofes geológicas: evaluación del peligro remociones en masa para Taltal, región de Antofagasta. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile. 2017.

Comte D, Pardo M Reappraisal of great historical earthquakes in the northern Chile and southern Peru seismic gaps. Nat Hazards 4:23–44. Doi: 10.1007/BF00126557. 1991.

CSN. (2018). Información sísmica de la Región de Antofagasta, Servicio sismológico Nacional recuperado de [<http://www.sismologia.cl/>]

Escribano, J.; Martínez, P.; Domagala, J.P.; Padel, P.; Espinoza, M.; Jorquera, R.; Contreras, J.P.; De La Cruz, R.; Calderón, M (2013). Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 164-165. Sernageomin.

Ferrando, F. 1992. “Bases Para la Confección de Cartas de Erodabilidad”. Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas, Universidad de Talca. Pp. 8.

Guzzetti, F.; Mondini, A. C.; Cardinali, M.; Fiorucci, F.; Santangelo, M. Y Chang, K.-T. (2012). «Landslide inventory maps: New tools for an old problem». Earth-Science Reviews, 112(1-2), pp. 42–66. ISSN 00128252. Doi: 10.1016/j.earscirev.2012.02.001.

Hauser, A. B. (2000) Remociones en masa en Chile (Vol. 59). Boletín Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile).

López, L. (2007) “Pantallas dinámicas para protección de caídas de rocas”, Tesis Doctoral

Universidad de Cantabria. ciclo conferencias grupo de geotecnia pontificia universidad católica de Valparaíso.

Mardones, M., & Vidal, C. (2001) La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. Eure - Revista Latinoamericana de Estudios Urbano-Regionales. 27(81). 97-122.

Mather, A. E.; Hartley, A. J. y Griffiths, J. S. (2014). «The giant coastal landslides of Northern Chile: Tectonic and climate interactions on a classic convergent plate margin». Earth and Planetary Science Letters, 388, pp. 249–256. ISSN 0012821X. Doi: 10.1016/j.epsl.2013.10.019.

Opazo, E. (2014) Evaluación y zonificación de peligro de remociones en masa en la ruta a-16, vía de acceso principal a la ciudad de Iquique (región de Tarapacá). Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile.

Ortlieb, L.; Zazo, C.; Goy, J.; Hillaire-Marcel, C.; Ghaleb, B. y Cournoyer, L. (1996). «Coastal deformation and sea-level changes in the northern Chile subduction area (23°S) during the last 330 ky». Quaternary Science Reviews, 15(8), pp. 819–831. ISSN 02773791. Doi: 10.1016/S0277-3791(96)00066-2.

Young, A. 1977. “Slopes”. Longman Group Limited. London, United Kingdom. Pp. 288

Mitigación de laderas susceptibles a deslizamientos y caída de rocas en la zona urbana entre la ruta B-898 y la avenida Serrano de Taltal
M. Pavez y C. Soto