

Evaluación del Peligro de Remoción en Masa en el Deslizamiento de San José de Maipo, Chile Central

Sergio A. Sepúlveda^{1*}, Sofía Rebolledo^{1*}, Alejandro Alfaro^{1*}, Marisol Lara^{1*}, Ricardo Moffat^{2*}, David N. Petley^{3*}

1. Depto. de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Plaza Ercilla 803, Santiago.

2. Depto. de Ingeniería Civil. Fac. de Cs. Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Blanco Encalada 2002, Santiago.

3. Institute of Hazard, Risk and Resilience, University of Durham, Durham DH1 3LE, United Kingdom

+ Estudio desarrollado por la Secretaría Regional Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile

* E-mail: sesepulv@ing.uchile.cl

Resumen. Se analiza el peligro de deslizamiento, flujos de detritos y caídas de rocas en el cerro Divisadero de San José de Maipo, considerado una zona de remoción en masa activa que implica una situación de riesgo a un centro hospitalario y viviendas cercanas. Los resultados indican zonas de peligro alto y medio de flujos de detritos, caídas de rocas y deslizamientos superficiales de suelo que afectan de distinta manera la zona urbana, por lo que se propone hacer modificaciones al Plan Regulador Comunal y se sugieren medidas de mitigación.

Palabras Claves: remoción en masa, peligro geológico

1 Introducción

En el marco de un estudio multidisciplinario de riesgo y adecuación del Plan Regulador Comunal de San José de Maipo en la zona cordillerana de la Región Metropolitana, desarrollado por la Secretaría Regional Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo (SEREMI Metropolitana MINVU, 2012), se realizó un estudio de peligro de remociones en masa en el sector del cerro Divisadero, ubicado sobre el sector de Villa Victoria (camino El Carmen) y el centro hospitalario Sanatorio Elba Guarategua Peña del pueblo de San José de Maipo (Figura 1a). Este lugar fue escenario de un deslizamiento y flujos detríticos generados por lluvias el año 1997 y eventos posteriores de flujos y caídas de rocas, lo que junto con observaciones de grietas de tracción son indicativos de diversos escenarios de peligro de remoción en masa (Sepúlveda et al., 2009 y sus referencias). Este trabajo resume los estudios geológicos realizados para el análisis de amenazas de movimientos en masa en el sector, los que fueron utilizados para la definición de recomendaciones para modificar el Plan Regulador Comunal y también para realización de obras de mitigación estructurales.

2 Metodología

Se realizaron análisis de caídas de rocas y de estabilidad de laderas de equilibrio límite con software para distintos escenarios, utilizando datos de un levantamiento topográfico de la ladera, perfiles geofísicos y de dos calicatas en la zona superior y un sondaje en la zona inferior del talud, que permitieron definir un perfil del

suelo, con un espesor variable entre 5 y 11 m, y obtener datos de resistencia a partir de ensayos. Los análisis de estabilidad consideraron escenarios sísmicos para 72 y 475 años de periodo de retorno y para un sismo en la vecina falla San Ramón (SEREMI Metropolitana MINVU, 2012). Con un retroanálisis del deslizamiento de 1997 se estimaron parámetros de resistencia para condiciones saturadas. Para los flujos detríticos se estimaron volúmenes para distintos escenarios históricos de lluvia, con los cuales se estimó la extensión de los depósitos en la terraza fluvial ubicada al pie del talud, considerando la topografía y la presencia de una fosa excavada detrás del sanatorio, la cual requiere una extensión al sur que fue incluida en los análisis (Figura 1).

3 Resultados

Las observaciones de terreno muestran que la fuente principal de material para la generación de flujos de detritos se ubica al pie del cuerpo del deslizamiento de 1997, donde hay abundante material suelto de granulometría variable en alta pendiente. Se observa además las trayectorias de flujos recientes hacia las dos quebradas laterales. La evaluación de la peligrosidad de flujos originados por lluvias intensas en esta zona (Figura 1b) indica zonas de Peligro Alto en el área fuente al pie del deslizamiento de 1997, las dos quebradas laterales y zonas de derrame en el sector del camino El Carmen y en el talud inferior a éste, hasta la fosa ubicada en la terraza tras el sanatorio. El área de Peligro Medio incluye la zona superior de la ladera, sujeta a potenciales flujos menores generados en el material suelto del deslizamiento; la ladera entre ambas zonas de peligro alto; y la continuación natural de la trayectoria de los flujos en la terraza fluvial, según la topografía. En este caso, el peligro baja de Alto a Medio en la fosa (incluyendo su extensión recomendada hacia el sur), la cual puede capturar flujos menores a moderados, pero puede ser rebasada en caso de flujos mayores, en especial si se generan en ambas quebradas simultáneamente. El material esperado que alcance esta zona es de barro y bloques menores, pues el material más grueso debiera ser depositado en los quiebres de pendiente previos o en la fosa. El Peligro Bajo considera áreas aguas abajo de las zonas de peligro medio, que solo serían alcanzadas en eventos de gran volumen, eventualmente

sufriendo inundaciones de agua y barro. El área involucra las zonas distales de la terraza fluvial al pie de la ladera, el escarpe de ésta y las zonas aledañas de la terraza inferior.

Los análisis indican que la ladera es susceptible a deslizamientos traslacionales a rotacionales de baja profundidad de la capa superior de suelo, de espesores variables afectando hasta el contacto con la roca basal. Estos deslizamientos son probables de ocurrir bajo condiciones de saturación generadas por lluvias intensas y/o derretimiento rápido de cubierta de nieve y/o bajo condiciones sísmicas para sismos mayores que puedan afectar el área de estudio. Estos deslizamientos pueden afectar distintas zonas de la ladera, pudiendo ser locales o de mayor área, siempre acotados a la capa de suelo. En caso de ocurrir deslizamientos en suelo saturado, considerando las altas pendientes y los antecedentes históricos, es probable que al menos parte de la masa deslizada derive en flujos de detritos y se generen caídas de rocas.

Basado en los análisis de estabilidad, se elaboró el mapa de peligro de deslizamientos superficiales y flujos asociados (Figura 1c). La zona de Peligro Alto corresponde a toda la ladera analizada y el pie del talud hasta pasado la fosa de contención, donde se pueden generar deslizamientos de distintos tamaños y espesores. El Peligro Medio se define para gran parte de la terraza fluvial, incluyendo el sanatorio y zonas de viviendas. Este peligro corresponde, dados los volúmenes analizados, fundamentalmente a flujos de detritos y barro que se pueden derivar de los deslizamientos cuando éstos ocurren en condiciones saturadas. El Peligro Bajo afecta las zonas distales de la terraza fluvial y aguas abajo de ésta, asociado principalmente a inundaciones de agua y barro.

La ladera es estable ante deslizamientos profundos de roca (falla global del talud) para las condiciones estáticas y sísmicas analizadas. No obstante lo anterior, no es posible descartar un modo de falla progresivo de desarrollo lento, el cual de ocurrir debiera manifestarse con deformaciones superficiales. Por ello, se inició en octubre de 2011 un monitoreo topográfico con una grilla de miniprismas. Hasta el mes de abril de 2012, se habían registrados movimientos pequeños ladera abajo en la zona central del talud, los que podrían asociarse a periodos de lluvias estivales. Para poder concluir sobre la posibilidad de una falla profunda es necesario mantener este monitoreo por un periodo prolongado de tiempo.

Los análisis de caídas de rocas muestran que su fuente principal se ubica en la zona de quiebre de pendiente ubicada al pie del cuerpo del deslizamiento de 1997, donde se observan bloques sueltos en condición de alta pendiente. Los análisis muestran que estos bloques alcanzan al menos el pie del talud donde se ubica el camino El Carmen y las viviendas ubicadas a orillas de ésta, las que han sido alcanzadas por caídas, por ejemplo para el terremoto del 27 de febrero de 2010 (Arenas et al., 2010). El mapa de peligro resultante (Figura 1d) indica Peligro Alto para toda la ladera bajo el deslizamiento actual hasta el sector del camino, incluyendo además las quebradas laterales proclives a desprendimientos de bloques en escarpes

locales. En la zona superior, el peligro alto se restringe al sector del escarpe y los flancos del deslizamiento de 1997 y al pie de estos. El Peligro Medio afecta la mayor parte del cuerpo del deslizamiento de 1997, de menor pendiente, y el pie del talud bajo el camino del Carmen, ya que la mayor parte de los bloques quedaría retenido por las casas o en las plataformas donde se ubican éstas y el camino. El Peligro Bajo se asigna a la terraza fluvial al pie de la ladera, considerando su baja pendiente y el efecto de contención de rodados que ejerce la fosa.

4 Discusión y Conclusiones

La ladera ubicada en el cerro Divisadero de San José de Maipo ha presentado inestabilidades asociadas a procesos de remoción en masa en los últimos 15 años y que han causado daños en viviendas ubicadas al pie de la ladera. El análisis de peligro de remoción en masa indica que el mayor peligro se asocia a flujos de detritos, caídas de rocas y deslizamientos superficiales de suelo que derivan en flujos, generados por lluvias intensas o eventualmente fusión de nieve y/o sismos mayores de alta intensidad.

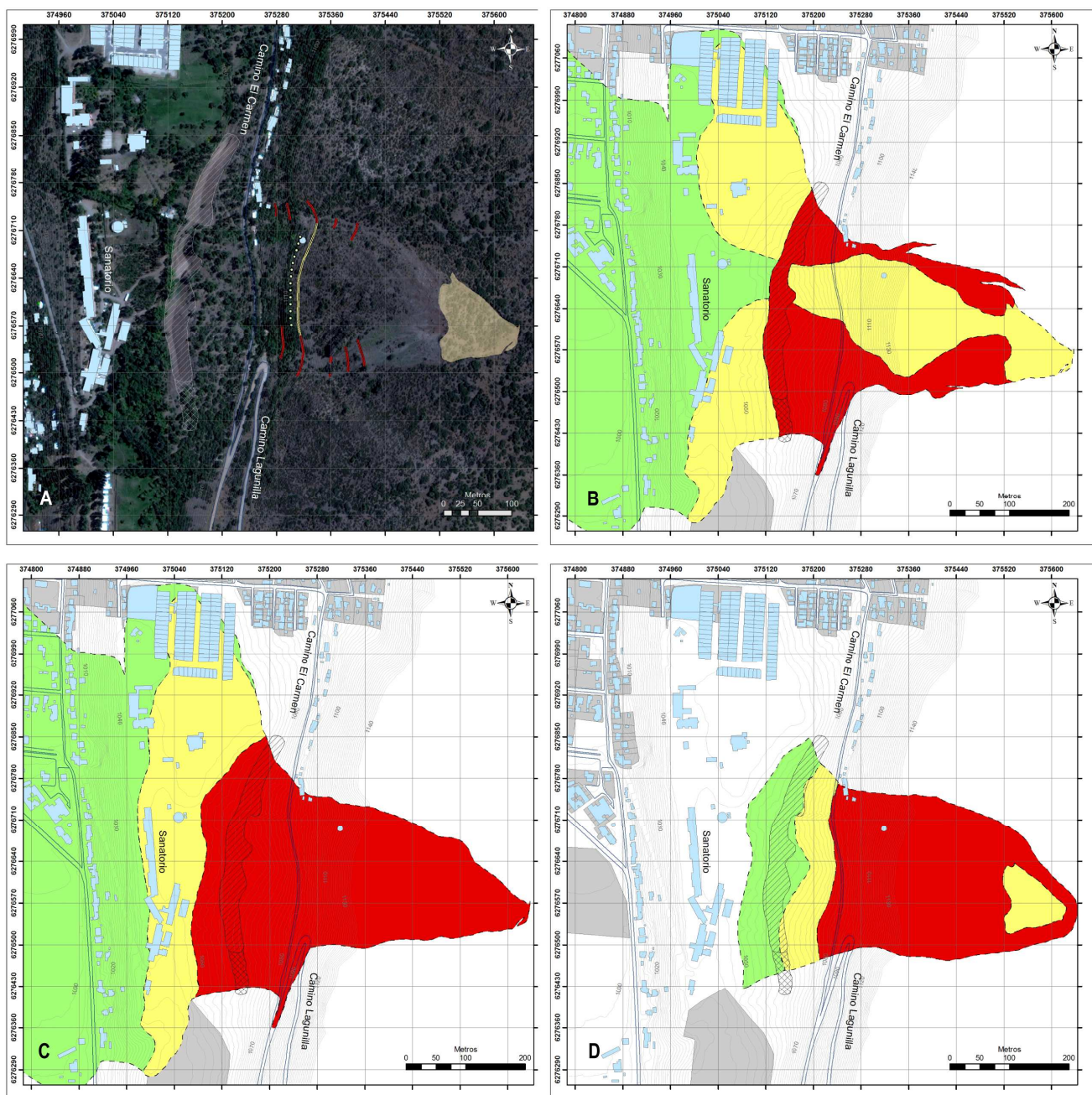
Se ha recomendado aplicar restricciones de uso de suelo mediante un estudio de riesgo y propuesta de modificaciones al Plan Regulador Comunal (SEREMI Metropolitana MINVU, 2012). Complementariamente, se han propuesto una serie de medidas de mitigación. Estas incluyen una barrera dinámica de contención de caídas de rocas, barreras flexibles aluvionales en las quebradas laterales, extensión y profundización de la fosa de contención aluvional al pie de la ladera y sostenimiento de la masa de suelo superficial mediante pilotes o anclajes en la zona baja del talud (Figura 1a), las cuales modifican las zonas de peligro en caso de realizarse. Se recomienda la mantención del monitoreo topográfico de la ladera para concluir sobre posible falla progresiva profunda que pudiera derivar en una falla global del talud.

Agradecimientos

Se agradece a la Seremi Metropolitana de Vivienda y Urbanismo y a Territorio y Ciudad Consultores por autorizar la publicación de los resultados de este estudio.

Referencias

- Arenas, M., Fernández, J., Marín, M., Sepúlveda S.A. 2010. Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010: Estado del deslizamiento activo cerro Divisadero San José de Maipo, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, informe inédito
- Sepúlveda, S.A., Rebolledo, S. Petley, D.N., Alvarez, M., Schachter, P., 2009. El Deslizamiento de San José de Maipo: Nuevos Antecedentes e Implicancias en el Peligro Geológico. In Congreso Geológico Chileno, No. 12, Actas, paper S3_023. Santiago.
- SEREMI Metropolitana MINVU, 2012. Estudio de Riesgo y Adecuación Plan Regulador Comunal San José de Maipo. Seremi Metropolitana de Vivienda y Urbanismo, informe inédito.



SIMBOLOGÍA

- Caminos
- Curvas de Nivel
- Construcciones
- Predios
- Deslizamiento 1997

Peligro de Remoción en Masa

- Alto
- Medio
- Bajo

Fosa de Contención

- Actual
- Proyectoada

Medidas de Mitigación

- Barrera Caídas de Rocas
- Barrera Flujos de Detritos
- Pilotes

Figura 3. Imagen satelital del área de estudio, indicando construcciones cercanas, zona deslizada en 1997 y obras de mitigación existentes y propuestas en este estudio (A); y mapas de peligro de flujos de detritos (B), deslizamientos superficiales y flujos asociados (C) y caídas de roca (D).