

GEOPETRIS

Cartografía y análisis geoespacial

INFORME TÉCNICO

Evaluación de susceptibilidad a remociones en masa

Quebrada de Macul y su entorno · Comunas de Peñalolén y La Florida
Región Metropolitana, Chile

Elaborado por: Cristopher Rimler Melo — Geólogo, Universidad Andrés Bello

Informe GP-2026-02 · Rev. B

Agosto de 2026 · Viña del Mar, Chile

Ficha técnica

Título	Evaluación de susceptibilidad a remociones en masa, Quebrada de Macul y entorno
Área de estudio	Quebrada de Macul y frente precordillerano adyacente, comunas de Peñalolén y La Florida, Región Metropolitana
Profesional responsable	Cristopher Rimler Melo, Geólogo (Universidad Andrés Bello)
Método	Superposición ponderada de factores condicionantes; pesos obtenidos por proceso analítico jerárquico (AHP)
Factores	Pendiente (0,45), distancia a quebrada (0,25), índice topográfico de humedad (0,20), curvatura (0,10)
Base topográfica	DEM Copernicus GLO-30, tamaño de celda 30 m
Sistema de referencia	EPSG:32719 — WGS 84 / UTM huso 19 Sur
Clasificación	Tres clases (Baja, Media, Alta) por cuantiles del índice
Verificación	Contraste cualitativo con cartografía publicada (Lara et al., 2018). SIN validación cuantitativa propia (sección 7)
Escala de uso recomendada	1:50.000. No apto para análisis a escala predial (sección 8.1)
Naturaleza del producto	Evaluación de susceptibilidad (zonas de generación). No representa el alcance de flujos. No constituye estudio de amenaza, estudio de riesgo (art. 2.1.17 OGUC) ni mecánica de suelos
Fecha	Agosto de 2026 · Revisión B

1. Resumen ejecutivo

Este informe documenta la elaboración y el contraste bibliográfico de un modelo de susceptibilidad a remociones en masa para el sector de la Quebrada de Macul y su entorno, en el frente precordillerano andino de Santiago. La evaluación se desarrolló mediante superposición ponderada de factores condicionantes en plataforma SIG, con pesos derivados por proceso analítico jerárquico (AHP), sobre cuatro variables obtenidas del modelo digital de elevación Copernicus GLO-30: pendiente del terreno (0,45), distancia a quebradas (0,25), índice topográfico de humedad (0,20) y curvatura (0,10), con clasificación por cuantiles en tres niveles de susceptibilidad relativa.

El área evaluada es uno de los sectores con mayor tradición de estudio de remociones en masa del país. La cuenca de la Quebrada de Macul concentra susceptibilidad de moderada a alta en la cartografía académica de referencia y fue el escenario del flujo de detritos del 3 de mayo de 1993, uno de los eventos de mayor impacto urbano documentados en Chile (Naranjo y Varela, 1996; Lara et al., 2018). El patrón espacial obtenido —susceptibilidad Alta concentrada en las laderas de mayor gradiente de la cuenca y del frente montañoso, y Baja en el piedemonte urbanizado— es cualitativamente consistente con dicha cartografía publicada.

A diferencia del modelo homólogo elaborado para los cerros de Valparaíso, validado con 78 eventos del catastro SERNAGEOMIN, el área de este estudio contiene un número insuficiente de eventos catastrados dentro de su polígono para sustentar una validación estadística propia. En consecuencia, y por transparencia metodológica, este informe declara la verificación del modelo como **contraste cualitativo con la cartografía de susceptibilidad publicada para el sector** (Lara et al., 2018), y no como validación cuantitativa. El resultado debe leerse como una hipótesis espacial plausible y bibliográficamente consistente, apropiada como capa de diagnóstico preliminar, no como un producto verificado contra evidencia empírica propia.

Se subraya desde el resumen una advertencia central para esta cuenca en particular: el mapa identifica **zonas de generación**, no el alcance de los materiales movilizados. El daño histórico en la Quebrada de Macul se ha materializado en el cono aluvial urbanizado, aguas abajo de las zonas de arranque. Un sector clasificado como de susceptibilidad Baja en el piedemonte no está, por tanto, exento de amenaza por flujos.

2. Introducción y objetivos

La expansión urbana de Santiago hacia el piedemonte andino ha incorporado al tejido urbano áreas cuyas condiciones geológicas y geomorfológicas presentan potencial de ser afectadas por remociones en masa; la actividad de laderas es más frecuente en la franja oriental de la ciudad, y los flujos de detritos y barro que alcanzan la planicie aluvial constituyen un riesgo creciente para áreas pobladas (Antinao et al., 2003; Hauser, 1993, 2000; Lara et al., 2018). La Quebrada de Macul, en el límite de las comunas de Peñalolén y La Florida, es el caso emblemático de esta problemática: el flujo de detritos del 3 de mayo de 1993 impactó sectores urbanos consolidados con consecuencias catastróficas, y la cuenca figura de manera sistemática entre las de mayor susceptibilidad en la cartografía técnica del piedemonte.

El objetivo fue elaborar un modelo distribuido de susceptibilidad a remociones en masa para la Quebrada de Macul y su entorno inmediato, basado íntegramente en información de acceso público y flujos

reproducibles en QGIS, y contrastar su patrón espacial con la cartografía académica publicada para el sector, explicitando con rigor el alcance y las limitaciones del resultado.

3. Marco conceptual

3.1. Susceptibilidad, amenaza y alcance

La susceptibilidad se define como la propensión de un área a generar remociones en masa, determinada mediante la correlación de los principales factores del terreno que contribuyen a su generación (Glade et al., 2005; Highland y Bobrowsky, 2008, citados en Lara et al., 2018). Un mapa de susceptibilidad se enfoca en las zonas fuente y no muestra necesariamente todas las áreas de peligro, pues no incorpora el alcance de los materiales movilizados. Lara et al. (2018) subrayan que esta diferencia respecto de los mapas de amenaza es especialmente importante para remociones de largo alcance como los flujos de detritos — observación directamente pertinente a la Quebrada de Macul, donde el daño histórico se produjo en el cono aluvial urbanizado, aguas abajo de las zonas de generación.

3.2. La metodología de referencia para este piedemonte

Para el frente precordillerano de Santiago, la metodología de referencia es el Índice de Susceptibilidad (SI) de Lara (2007) y Lara y Sepúlveda (2010): una suma de puntajes ponderados asignados a factores condicionantes sobre unidades de terreno delimitadas por criterios geomorfológicos y geológicos, diferenciada por tipo de proceso —caídas de roca, deslizamientos de roca, deslizamientos de suelo y flujos de detritos—, donde la condición más crítica alcanza $SI = 100$. El umbral $SI \geq 50$, calibrado con la actividad observada en la Quebrada San Ramón, define las unidades susceptibles que deben priorizarse para análisis de amenaza. Las pendientes inferiores a 10° se excluyen del cálculo por su muy baja probabilidad de generar remociones.

El presente modelo emplea una aproximación distinta: ráster distribuido con ponderación AHP de derivados del terreno. Las diferencias son sustantivas y conviene explicitarlas. La metodología de referencia opera sobre unidades de terreno delineadas por el analista con apoyo de fotointerpretación y cartografía geológica, incorpora factores geotécnicos y de intervención antrópica no obtenibles de escritorio, y se apoyó en un modelo de elevación de 9 m elaborado ad hoc (Rauld, 2011). El presente enfoque, en cambio, es plenamente reproducible a partir de datos públicos, con menor exigencia de insumos y menor resolución temática. No sustituye a la metodología de referencia: constituye un diagnóstico distribuido de primer orden, útil para priorizar dónde aplicar el análisis detallado. La sección 8 desarrolla las implicancias de esta diferencia.

4. Área de estudio

4.1. Contexto geológico y geomorfológico

El área se emplaza en el frente cordillerano andino de Santiago oriente, en el flanco occidental del cordón del cerro San Ramón, que se desarrolla entre los ríos Mapocho y Maipo con altitudes máximas superiores a los 3.200 m s.n.m., más de 2.000 m por sobre los sectores urbanizados más altos. Sobre los 1.500 m s.n.m. las laderas presentan en general pendientes de 30° a 50° , alcanzando localmente 50° - 70° ; el resto

del relieve varía mayormente entre 20°-30°, con 5°-15° en las áreas planas con depósitos aluviales (Lara et al., 2018). Más de una treintena de cuencas drenan este frente hacia la ciudad mediante quebradas que construyen conos aluviales en el piedemonte, sobre los cuales ha avanzado la urbanización.

El cordón está compuesto por rocas volcánicas y volcanosedimentarias neógenas de la Formación Abanico, de resistencia al corte moderada a alta, que configuran un relieve abrupto de laderas rocosas con escaso suelo residual. La acción del agua y del hielo durante el invierno produce un fracturamiento intenso y generación de detritos, que forman capas coluviales en las laderas y se acumulan en los canales de drenaje con alto potencial de removilización (Fernández, 2001; Naranjo y Varela, 1996; Sepúlveda et al., 2006b; Ferrando, 2008; síntesis en Lara et al., 2018). Cuerpos intrusivos menores —diques y filones— introducen contrastes locales de resistencia y relieve.

Respecto de los factores desencadenantes, la lluvia intensa es el gatillante primario, modulada por la precipitación antecedente, la altitud de la isoterma 0 °C y la fase ENSO (Hauser, 2000; Sepúlveda et al., 2006a; Sepúlveda y Padilla, 2008; Sepúlveda et al., 2015). A ello se suma la sismicidad, en particular por la presencia de la falla San Ramón, falla inversa de rumbo aproximado norte-sur con actividad reconocida en los últimos 20.000 años (Rauld, 2011; Vargas et al., 2014). La actividad de remociones asociada a los grandes terremotos de subducción, como el Mw 8,8 de 2010, aparece limitada en el área a caídas de rocas y deslizamientos menores debido a la distancia a la fuente sísmica (Sepúlveda et al., 2012; Serey et al., 2017).

4.2. Antecedentes de eventos

Los eventos históricos con daño documentado en el sector oriente de Santiago han sido principalmente flujos de detritos e hiperconcentrados en 1908, 1936, 1957, 1982, 1986, 1987, 1991, 1993, 2004, 2005 y 2009, además de caídas de rocas que han bloqueado rutas durante tormentas o sismos (recopilación en Lara et al., 2018). El evento del 3 de mayo de 1993 en la Quebrada de Macul constituye el caso de referencia nacional del impacto potencial de flujos catastróficos sobre áreas urbanas (Naranjo y Varela, 1996; Sepúlveda et al., 2006a, 2006b). La cartografía académica del piedemonte muestra que la susceptibilidad de flujos y deslizamientos de suelo se concentra, entre otras, en la cuenca de Macul, con zonas susceptibles principalmente en laderas de quebradas secundarias (Lara et al., 2018).

5. Datos y metodología

5.1. Fuentes de información y procesamiento

Insumo	Descripción	Fuente
Modelo de elevación	DEM Copernicus GLO-30, celda 30 m, reproyectado a UTM 19S	ESA / Copernicus
Red de quebradas	Derivada del DEM por acumulación de flujo (GRASS r.watershed), depurada sobre ráster binario	Elaboración propia
Catastro de eventos	Remociones en masa; referencial en este polígono (ver sección 7)	SERNAGEOMIN
Cartografía de contraste	Mapas de susceptibilidad del piedemonte de	Lara et al. (2018)

	Santiago, escala 1:20.000	
Cartografía base	Topónimos, vialidad y contexto urbano	OpenStreetMap

Tabla 1. Insumos utilizados. Sistema de referencia: EPSG:32719 (WGS 84 / UTM 19S).

El procesamiento se realizó íntegramente en QGIS con módulos GRASS y GDAL: reproyección del DEM; derivación de pendiente y curvatura (r.slope.aspect); análisis hidrológico para acumulación de flujo e índice topográfico de humedad (r.watershed); extracción y depuración de la red de drenaje; distancia euclidiana a la red mediante proximidad GDAL; reclasificación a escala común 1-5; superposición ponderada; y clasificación por cuantiles.

5.2. Selección y justificación de los factores

Pendiente del terreno (0,45). Factor de primer orden en la generación de remociones en masa, coherente con su primacía en las tablas de puntaje de la metodología de referencia, donde el ángulo de pendiente concentra el mayor puntaje para todos los tipos de proceso (Lara y Sepúlveda, 2010).

Distancia a quebradas (0,25). Captura la concentración de humedad, la socavación basal y, de manera particularmente relevante en este frente, la disponibilidad de material detrítico acumulado en los canales de drenaje con alto potencial de removilización. La metodología de referencia recoge esta dimensión mediante los factores de ángulo del canal de drenaje al pie de la ladera y de confinamiento del flujo.

Índice topográfico de humedad (0,20). Definido como $\ln(a/\tan\beta)$, aproxima las condiciones de saturación del suelo, reconocidas como factor condicionante explícito en la metodología de referencia.

Curvatura (0,10). Distingue laderas cóncavas —convergencia de flujo y acumulación de material— de convexas. Se incorporó con el menor peso del conjunto por su reconocida sensibilidad a la resolución del modelo de elevación; la sección 8.2 discute esta decisión y su efecto observable en el resultado.

La litología, la intervención antrópica y la vegetación no se incorporaron; sus implicancias se desarrollan en la sección 8.3.

5.3. Ponderación: matriz AHP y verificación de consistencia

Los pesos se obtuvieron mediante proceso analítico jerárquico (Saaty, 1980), formalizando las comparaciones pareadas sobre la escala fundamental 1-9 con valores intermedios. Los juicios adoptados expresan la jerarquía pendiente > distancia a quebrada > TWI > curvatura, con dominancia moderada entre factores contiguos y marcada respecto de la curvatura.

Factor	Pend.	Dist. queb.	TWI	Curv.
Pendiente	1	2	2	4
Dist. quebrada	1/2	1	3/2	3
TWI	1/2	2/3	1	2
Curvatura	1/4	1/3	1/2	1

Tabla 2. Matriz de comparación pareada de los factores condicionantes.

El vector de prioridades obtenido por el método de la media geométrica es: pendiente 0,437; distancia a quebrada 0,267; TWI 0,197; curvatura 0,099. El autovalor principal es $\lambda_{\text{máx}} = 4,025$, de donde $CI = 0,008$ y, con el índice aleatorio $RI = 0,90$ correspondiente a $n = 4$, el **ratio de consistencia es $CR = 0,009$** , muy por debajo del umbral de 0,10 admitido convencionalmente. Para el cálculo ráster los pesos se redondearon a 0,45 / 0,25 / 0,20 / 0,10; la diferencia respecto del vector de prioridades es inferior a 0,015 en todos los casos.

Como en toda aplicación de AHP, el ratio de consistencia verifica la coherencia interna de los juicios, no su corrección: acredita que las comparaciones no se contradicen entre sí, pero no demuestra que los pesos reproduzcan el comportamiento real del sistema. En el modelo homólogo de Valparaíso esa verificación sustantiva la proporciona el inventario de eventos; en el presente caso no está disponible, circunstancia que se aborda en la sección 7.

5.4. Reclasificación de los factores

Clase	Pendiente (°)	Dist. quebrada (m)	TWI	Curvatura
1	< 15	> 500	Quintil inf.	Muy convexa
2	15 – 25	250 – 500	2.º quintil	Convexa
3	25 – 30	120 – 250	3.er quintil	Planar
4	30 – 40	60 – 120	4.º quintil	Cóncava
5	> 40	0 – 60	Quintil sup.	Muy cóncava

Tabla 3. Umbrales de reclasificación de los factores condicionantes.

Los tramos de pendiente se alinean con los intervalos de las tablas de puntaje de la metodología de referencia (Lara y Sepúlveda, 2010), lo que facilita la comparación entre estudios. Los umbrales de distancia a quebrada se definieron como múltiplos del tamaño de celda —2, 4, 8 y aproximadamente 17 celdas— para evitar clases de ancho inferior a la resolución del dato. El TWI y la curvatura, al carecer de umbrales físicos universales y depender su distribución del área y la resolución analizadas, se reclasificaron por quintiles de su propia distribución en el área de estudio.

5.5. Integración y clasificación

El índice de susceptibilidad se calculó como suma ponderada de los factores reclasificados: $IS = 0,45 \cdot P + 0,25 \cdot D + 0,20 \cdot T + 0,10 \cdot C$. El resultado se clasificó en tres clases —Baja, Media y Alta— mediante cuantiles, de modo que cada clase representa un tercio del área de estudio ordenada por susceptibilidad creciente.

6. Resultados

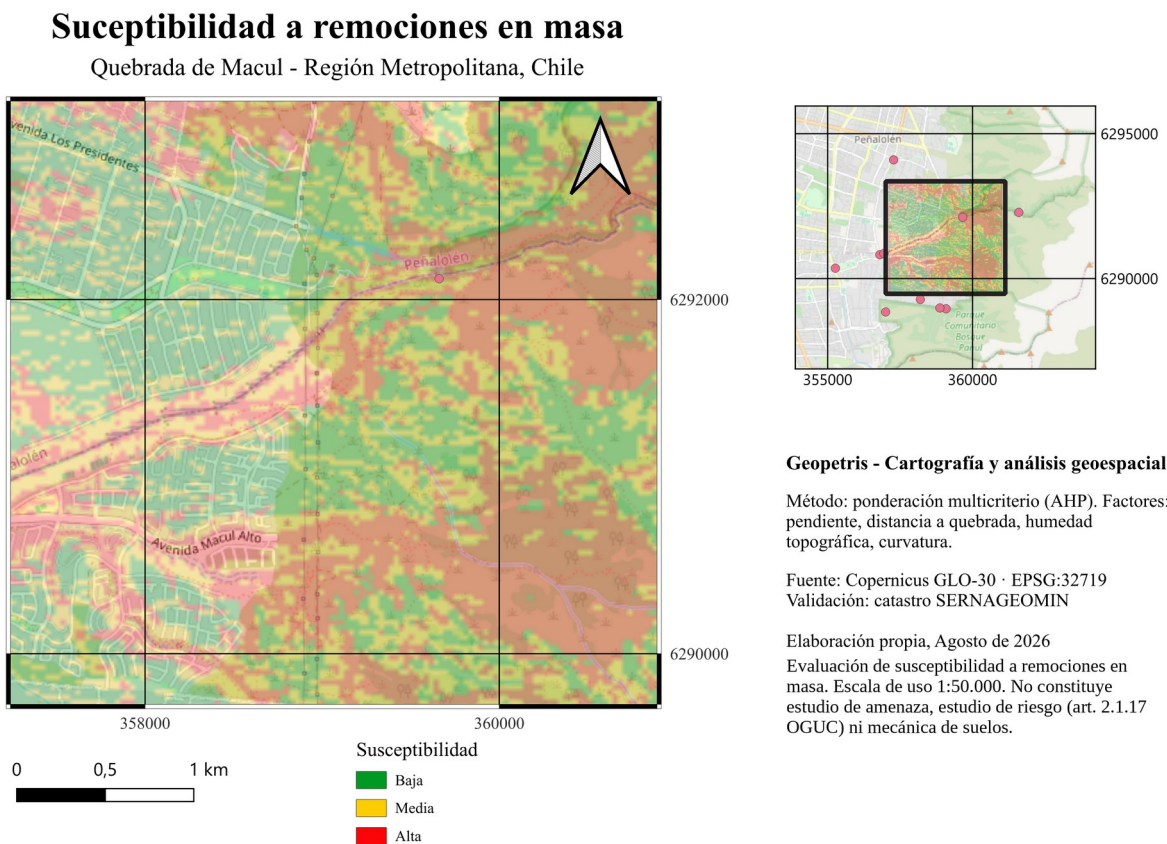


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a remociones en masa, Quebrada de Macul y entorno. Puntos: eventos del catastro SERNAGEOMIN en el sector, mayoritariamente situados fuera o en el borde del polígono modelado.

6.1. Distribución espacial de la susceptibilidad

La clase Alta se concentra en el frente montañoso del sector oriental del área y en las laderas de mayor gradiente asociadas al eje de la Quebrada de Macul y a los cordones que la flanquean, con desarrollo continuo hacia las cabeceras. La clase Baja domina el piedemonte urbanizado de baja pendiente — sectores de Peñalolén y Macul Alto hacia el poniente del área— y los fondos amplios. La transición Media se dispone en franjas intermedias del frente y en laderas de gradiente moderado.

El patrón reproduce la estructura esperable del frente precordillerano: susceptibilidad de generación concentrada en el relieve montañoso y decreciente hacia el cono aluvial. Esta coherencia geomorfológica constituye un criterio de verificación cualitativa, necesariamente complementario —y en este caso sustitutivo— de la validación estadística.

7. Situación de la validación y contraste bibliográfico

7.1. Declaración sobre la validación

El catastro SERNAGEOMIN contiene, dentro del polígono modelado, un número de eventos insuficiente para una validación estadística con significado: la mayor parte de los registros del sector se localiza fuera o en el borde del área evaluada, como se aprecia en la Figura 1. Declararlo expresamente es una decisión de transparencia metodológica. **Este modelo no cuenta con validación cuantitativa propia**, y en consecuencia no se reporta para él ninguna métrica de desempeño —ni tasa de éxito, ni razón de frecuencia, ni área bajo la curva—. Cualquier cifra en ese sentido carecería de sustento y no se presenta.

7.2. Contraste con la cartografía publicada

En reemplazo de la validación se efectuó un contraste cualitativo con la cartografía académica del piedemonte. Los mapas consolidados de Lara et al. (2018), elaborados a escala 1:20.000 sobre unidades de terreno y diferenciados por tipo de proceso, muestran que la susceptibilidad de deslizamientos de suelo y flujos de detritos se concentra en las cuencas de San Ramón y Macul y en las cuencas menores situadas entre ambas y al sur de Macul; que en la cuenca de Macul las zonas susceptibles corresponden principalmente a laderas de quebradas secundarias; y que los valores muy altos ($SI > 75$) son puntuales, mientras que los moderados a altos ($50 < SI < 75$) dominan las áreas de cuenca.

El patrón del presente modelo es consistente con esa descripción en su estructura general: concentración de la susceptibilidad en el relieve de cuenca y en las laderas de mayor gradiente, y valores bajos en el piedemonte plano. Adicionalmente, ambos productos coinciden en que las zonas de mayor susceptibilidad se sitúan mayoritariamente fuera del suelo urbanizado, observación que en Lara et al. (2018) fundamenta precisamente la advertencia sobre la importancia del alcance.

Este contraste sustenta la plausibilidad del resultado; no lo valida cuantitativamente ni permite atribuirle un nivel de desempeño. Las vías identificadas para una validación efectiva en una siguiente revisión son dos: ampliar el polígono de análisis al frente precordillerano entre los ríos Mapocho y Maipo, lo que incorporaría un número suficiente de eventos catastrados; o construir un inventario complementario mediante fotointerpretación de imágenes satelitales históricas y antecedentes documentales del evento de 1993 y posteriores.

8. Discusión y limitaciones

8.1. Resolución del dato y escala de uso válida

El DEM Copernicus GLO-30 tiene un tamaño de celda de 30 m. Aplicando el criterio convencional según el cual el tamaño de celda no debiera representar menos de 0,5 mm en el documento impreso, la **escala de uso máxima recomendada es del orden de 1:50.000**. La cartografía de referencia para este mismo piedemonte se elaboró a 1:20.000 sobre un DEM de 9 m construido ad hoc (Rauld, 2011; Lara et al., 2018), lo que sitúa al presente producto un nivel por debajo en resolución temática y espacial. No es apropiado para análisis a escala predial ni para decisiones sobre lotes individuales.

8.2. El factor curvatura y el moteado del resultado

A 30 m de tamaño de celda y sobre un área acotada, la curvatura introduce variabilidad de celda a celda — moteado— apreciable en el resultado, pues la señal geomorfológica de concavidad-convexidad opera a escalas menores que el píxel. Su peso reducido (0,10) contiene el efecto sobre el índice, pero no lo elimina del aspecto visual del mapa. La experiencia comparada del modelo homólogo de Valparaíso, donde el factor fue descartado por esta misma razón, indica que en futuras revisiones debe evaluarse su eliminación, el suavizado previo del modelo de elevación, o su reemplazo por un derivado más estable a esta resolución, como el índice de posición topográfica calculado sobre una ventana de varias celdas.

8.3. Factores no incorporados

El modelo se construye exclusivamente con derivados topográficos e hidrológicos. La metodología de referencia incorpora además las características geológico-geotécnicas de los materiales de ladera, las condiciones de humedad y saturación, la acumulación nival, la vegetación, la intervención antrópica y el registro de remociones declaradas por unidad (Lara y Sepúlveda, 2010). Tres omisiones son particularmente relevantes en este frente.

Litología y materiales de ladera. A diferencia del área de Valparaíso, donde la homogeneidad del basamento meteorizado atenúa el efecto de esta omisión, aquí conviven roca volcánica competente de la Formación Abanico, cuerpos intrusivos menores de resistencia contrastante y coberturas coluviales de espesor variable. La ausencia de un factor litológico es, en este contexto, una limitación de mayor peso.

Acumulación nival. Las tablas de puntaje de la metodología de referencia incluyen la acumulación de nieve como factor condicionante, pertinente en un frente que supera los 3.200 m s.n.m. El presente modelo, que no incorpora la altitud como variable, no la representa.

Registro de actividad previa. La metodología de referencia puntúa las remociones declaradas en la ladera y en la unidad, incorporando así la evidencia de actividad al propio índice. Al no disponer de un inventario suficiente en el polígono, este modelo tampoco puede utilizar esa información como factor.

8.4. Susceptibilidad integrada frente a evaluación por tipo de proceso

La metodología de referencia evalúa la susceptibilidad de forma diferenciada para caídas de roca, deslizamientos de roca, deslizamientos de suelo y flujos de detritos, dado que los factores condicionantes pesan distinto según el mecanismo y que sus tablas de puntaje difieren tanto en factores como en escalas (Lara y Sepúlveda, 2010; Lara et al., 2018). El presente modelo entrega una susceptibilidad integrada, apropiada como diagnóstico general pero no sustitutiva del análisis por tipo de proceso, que constituye la mejora estructural prioritaria para este sector. Ello es especialmente relevante aquí porque los flujos de detritos —el proceso de mayor consecuencia histórica en Macul— responden en la metodología de referencia a un conjunto de once factores condicionantes, entre ellos el ángulo del canal de drenaje al pie de la ladera, el confinamiento del flujo y la obstrucción del canal, ninguno de los cuales está representado en el presente modelo.

8.5. Zonas de generación frente a alcance: advertencia central para esta cuenca

En la Quebrada de Macul el daño histórico se ha materializado en el cono aluvial urbanizado, alcanzado por flujos generados aguas arriba. Las áreas de mayor susceptibilidad quedan en general fuera del suelo

urbanizado, y por ello el alcance de las remociones potenciales —no representado en los mapas de susceptibilidad— es clave para evaluar la amenaza y el riesgo para la ciudad (Lara et al., 2018). Un sector clasificado como de susceptibilidad Baja en el piedemonte de este mapa no está, por tanto, exento de amenaza por flujos: esa evaluación exige estudios específicos con análisis de trayectorias, volúmenes y zonas de depositación.

8.6. Naturaleza relativa de las clases

La clasificación por cuantiles produce clases relativas al área evaluada: por construcción, un tercio del territorio queda en la clase Alta con independencia de los valores absolutos del índice. La clase Alta de este mapa no es comparable en términos absolutos con la clase Alta de otro polígono modelado por separado, incluido el modelo de Valparaíso elaborado bajo el mismo procedimiento. La comparación entre áreas exige unificar el dominio de cálculo o adoptar umbrales absolutos calibrados, como el $SI \geq 50$ de la metodología de referencia.

9. Aplicaciones y desarrollo futuro

En su estado actual, el producto es apropiado como capa de diagnóstico preliminar y como material de referencia metodológica: documenta un flujo de trabajo reproducible aplicado a un área de complejidad reconocida y de abundante literatura de contraste. No es apropiado, en cambio, para fundar decisiones territoriales por sí solo, dada la ausencia de validación cuantitativa declarada en la sección 7.

Para su desarrollo se recomienda, en orden de prioridad:

- Ampliar el dominio de análisis al frente precordillerano entre los ríos Mapocho y Maipo, lo que habilitaría la validación cuantitativa con el catastro SERNAGEOMIN y con los inventarios publicados, y permitiría comparar directamente el resultado con la cartografía de Lara et al. (2018) sobre un mismo dominio.
- Diferenciar el modelo por tipo de proceso, incorporando al menos la distinción entre deslizamientos superficiales y flujos canalizados, con factores específicos para estos últimos.
- Incorporar un factor geológico a partir de la cartografía SERNAGEOMIN disponible para el área.
- Revisar el tratamiento del factor curvatura conforme a lo señalado en la sección 8.2.
- Para cualquier evaluación de amenaza en el piedemonte urbanizado, desarrollar el análisis de alcance de flujos que la susceptibilidad, por definición, no cubre.

10. Alcance del estudio y limitación de responsabilidad

Este informe corresponde a una evaluación técnica de susceptibilidad a remociones en masa elaborada mediante análisis geoespacial de escritorio, sobre la base de la información pública individualizada en la Tabla 1, sin levantamiento de terreno y sin validación cuantitativa propia, condición esta última declarada expresamente en las secciones 1 y 7. Identifica propensión relativa a la generación de procesos de remoción en masa a la escala de uso declarada en la sección 8.1, y no representa el alcance de los materiales movilizados.

No constituye un estudio de riesgo en los términos del artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, ni un estudio de mecánica de suelos, ni un estudio de amenaza, ni una declaración sobre la seguridad o aptitud constructiva de predios específicos, materias que requieren estudios de detalle suscritos por los profesionales competentes que la normativa establece.

11. Referencias

- Antinao, J.; Fernández, J.C.; Naranjo, J.A.; Villarroel, P. 2003. Peligro de remociones en masa e inundaciones de la Cuenca de Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 2. Santiago.
- European Space Agency. Copernicus Global Digital Elevation Model GLO-30.
- Fernández, J. 2001. Estudio geológico ambiental para la planificación territorial del sector Tilttil-Santiago. Memoria de título (inédita). Universidad de Chile, Departamento de Geología: 127 p. Santiago.
- Ferrando, F. 2008. Amenazas Naturales en el Sector Oriente de la Región Metropolitana de Santiago de Chile: Los movimientos en masa. Tesis doctoral (inédita). Universidad de Zaragoza: 366 p.
- Glade, T.; Anderson, M.; Crozier, M.J. 2005. Landslide hazard and risk. John Wiley & Sons Ltd.: 793 p. Chichester.
- Hauser, A. 1993. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín 45: 75 p. Santiago.
- Hauser, A. 2000. Remociones en masa en Chile (versión actualizada). Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín 59: 89 p. Santiago.
- Highland, L.M.; Bobrowsky, P. 2008. The landslide handbook — A guide to understanding landslides. Geological Survey Circular 1325: 129 p. Reston.
- Lara, M. 2007. Metodología para la evaluación y zonificación de peligro de remociones en masa con aplicación en Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis de magíster (inédita). Universidad de Chile, Departamento de Geología: 212 p. Santiago.
- Lara, M.; Sepúlveda, S.A. 2010. Landslide susceptibility and hazard assessment in San Ramón Ravine, Santiago de Chile, from an engineering geological approach. Environmental Earth Sciences 60 (6): 1227-1243.
- Lara, M.; Sepúlveda, S.A.; Celis, C.; Rebolledo, S.; Ceballos, P. 2018. Landslide susceptibility maps of Santiago city Andean foothills, Chile. Andean Geology 45 (3): 433-442.
- Naranjo, J.A.; Varela, J. 1996. Flujos de detritos y barro que afectaron el sector oriente de Santiago el 3 de mayo de 1993. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín 47: 42 p. Santiago.
- Rauld, R. 2011. Deformación cortical y peligro sísmico asociado a la falla San Ramón en el frente cordillerano de Santiago, Chile Central (33°S). Tesis doctoral (inédita). Universidad de Chile: 445 p. Santiago.
- Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill: 287 p. New York.
- Sepúlveda, S.A.; Padilla, C. 2008. Rain-induced debris and mudflow triggering factors assessment in the Santiago cordilleran foothills, Central Chile. Natural Hazards 47 (2): 201-215.

- Sepúlveda, S.A.; Rebolledo, S.; Vargas, G. 2006a. Recent catastrophic debris flows in Chile: geological hazard, climatic relationships and human response. *Quaternary International* 158: 83-95.
- Sepúlveda, S.; Rebolledo, S.; Lara, M.; Padilla, C. 2006b. Landslides hazards in Santiago, Chile: an overview. In *Proceedings of the 10th Congress of the IAEG*, paper No. 105. Nottingham.
- Sepúlveda, S.A.; Rebolledo, S.; Farías, M.; Vargas, G.; Arriagada, C. 2012. Efectos Geológicos. In *Mw = 8,8 Terremoto en Chile, 27 de febrero 2010*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile: 323 p. Santiago.
- Sepúlveda, S.A.; Moreiras, S.M.; Lara, M.; Alfaro, A. 2015. Debris flows in the Andean ranges of central Chile and Argentina triggered by 2013 summer storms. *Landslides* 12: 115-133.
- Serey, A.; Escobar, P.; Moya, S.; Sepúlveda, S.A.; Petley, D. 2017. Landslide inventory of the 2010 Mw 8.8 Maule earthquake, Central Chile. In *World Conference on Earthquake*, No. 16, Paper No. 1873: 9 p. SERNAGEOMIN. Catastro de remociones en masa. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile.
- Vargas, G.; Klinger, Y.; Rockwell, T.; Forman, S.L.; Rebolledo, S.; Baize, S.; Lacassin, R.; Armijo, R. 2014. Probing large intra-plate earthquakes at the west flank of the Andes. *Geology* 42 (12): 1083-1086.