

GEOPETRIS

Cartografía y análisis geoespacial

INFORME TÉCNICO

Evaluación de susceptibilidad a remociones en masa

Cerros de Valparaíso · Sector Pajonal – San Roque – Placeres Alto
Región de Valparaíso, Chile

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

Informe GP-2026-01 · Rev. B

Agosto de 2026 · Viña del Mar, Chile

Ficha técnica

Título	Evaluación de susceptibilidad a remociones en masa, cerros de Valparaíso
Área de estudio	Sector Pajonal – San Roque – Placeres Alto, comuna de Valparaíso, Región de Valparaíso
Profesional responsable	Cristopher Rimler Melo, Geólogo (Universidad Andrés Bello)
Método	Superposición ponderada de factores condicionantes; pesos obtenidos por proceso analítico jerárquico (AHP)
Factores	Pendiente (0,50), distancia a quebrada (0,30), índice topográfico de humedad (0,20)
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
Validación	Catastro SERNAGEOMIN, n = 78 eventos. Tasa de éxito de la clase Alta: 82 %
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 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, resultados y validación de un modelo de susceptibilidad a remociones en masa para el sector Pajonal – San Roque – Placeres Alto, en los cerros de Valparaíso. La evaluación se desarrolló mediante superposición ponderada de factores condicionantes en plataforma SIG, con pesos derivados por proceso analítico jerárquico (AHP), sobre tres variables obtenidas del modelo digital de elevación Copernicus GLO-30: pendiente del terreno (0,50), distancia a quebradas (0,30) e índice topográfico de humedad (0,20). El índice resultante se clasificó en tres niveles de susceptibilidad relativa mediante cuantiles.

El modelo fue contrastado con el catastro de remociones en masa de SERNAGEOMIN para el área ($n = 78$ eventos). La clase Alta, que ocupa un tercio de la superficie evaluada, captura el **82 % de los eventos históricos registrados**. Esto corresponde a una razón de frecuencia de 2,46: la densidad de eventos en la clase Alta es casi dos veces y media la que resultaría de una distribución aleatoria. La coherencia geomorfológica del patrón obtenido —susceptibilidad organizada según la red de quebradas y el frente de ladera, y decreciente hacia las superficies cumbre— respalda el resultado más allá de la métrica.

El producto corresponde a una **evaluación de susceptibilidad**: identifica las áreas con mayor propensión relativa a la generación de remociones en masa según las condiciones del terreno. Conforme al marco conceptual establecido en la literatura chilena de referencia (Lara et al., 2018; Lara y Sepúlveda, 2010), la susceptibilidad se refiere a las zonas de generación de los procesos y no incorpora el alcance o trayectoria de los materiales movilizados, materia propia de los estudios de amenaza. El documento declara de manera explícita sus supuestos, umbrales, escala de uso válida y limitaciones (secciones 5 y 8), de modo que un tercero pueda evaluar la pertinencia del resultado para su propia aplicación o reproducir el procedimiento.

2. Introducción y objetivos

Los cerros de Valparaíso presentan una de las mayores concentraciones de remociones en masa registradas en áreas urbanas de Chile. La combinación de laderas empinadas, una densa red de quebradas, suelos residuales derivados de la meteorización profunda del basamento cristalino y una ocupación urbana intensiva —que incluye viviendas emplazadas en bordes de quebrada, cortes de talud sin ingeniería y rellenos no controlados— configura un escenario de susceptibilidad estructuralmente alto, activado de manera recurrente por precipitaciones intensas de los sistemas frontales de invierno.

El objetivo general fue elaborar un modelo espacialmente explícito de susceptibilidad a remociones en masa para el sector señalado, verificable contra el registro histórico de eventos, que sirva como herramienta de diagnóstico y priorización territorial. Los objetivos específicos fueron: (i) derivar y ponderar los factores condicionantes del terreno a partir de información topográfica de cobertura global y acceso libre, garantizando reproducibilidad; (ii) clasificar el territorio en niveles relativos de susceptibilidad; (iii) validar el resultado contra el catastro de remociones en masa de SERNAGEOMIN reportando métricas explícitas; y (iv) documentar el procedimiento con el detalle necesario para su auditoría y replicación.

3. Marco conceptual

3.1. Susceptibilidad, amenaza y riesgo

La susceptibilidad a remociones en masa se define como la propensión de un área a generar este tipo de procesos, evaluada a partir de los factores del terreno que condicionan la inestabilidad de laderas (Glade et al., 2005, citado en Lara et al., 2018). Un mapa de susceptibilidad identifica las **zonas de generación**: representa dónde es más probable que se origine una remoción, no hasta dónde pueden llegar los materiales movilizados. Lara et al. (2018) destacan que esta distinción es particularmente relevante para procesos de largo alcance como los flujos de detritos; la evaluación del alcance pertenece al ámbito de los estudios de amenaza, etapa posterior y metodológicamente distinta.

La cadena conceptual completa distingue tres niveles: susceptibilidad (propensión del terreno a generar el proceso), amenaza (probabilidad de ocurrencia de un evento de cierta magnitud en un lugar y ventana temporal, incluyendo su alcance) y riesgo (combinación de la amenaza con la exposición y vulnerabilidad de personas e infraestructura). El presente estudio se sitúa en el primer nivel, definición de alcance consistente con la práctica internacional y con la literatura técnica chilena: los mapas de susceptibilidad publicados para el piedemonte de Santiago concluyen recomendando estudios de amenaza de detalle para las zonas identificadas como susceptibles (Lara et al., 2018).

3.2. Justificación del enfoque adoptado

Los métodos de evaluación de susceptibilidad se agrupan en tres familias: heurísticos o de ponderación experta, estadísticos (bivariados y multivariados) y determinísticos o basados en modelos físicos de estabilidad de laderas. La elección depende de la escala de trabajo, de la disponibilidad de un inventario de eventos y de la existencia de parámetros geotécnicos distribuidos.

El presente estudio adopta un enfoque heurístico con ponderación AHP, decisión fundamentada en tres consideraciones. Primero, los métodos determinísticos requieren parámetros geotécnicos —resistencia al corte, espesor del regolito, condiciones de presión de poros— que no están disponibles de forma distribuida para el área y cuya extrapolación desde puntos aislados introduciría más incertidumbre que la que resuelve. Segundo, si bien el inventario disponible permite validación, su tamaño y su sesgo hacia sectores urbanizados lo hacen más adecuado como conjunto de verificación independiente que como base de entrenamiento de un modelo estadístico, donde el sesgo de muestreo se propagaría a los coeficientes. Tercero, el enfoque heurístico mantiene la trazabilidad del razonamiento: cada peso responde a un juicio explícito y auditable sobre el comportamiento físico del sistema, lo que permite discutirlo y corregirlo.

La contrapartida —el carácter subjetivo de los juicios— se aborda de dos formas: formalizando las comparaciones mediante AHP con verificación de consistencia (sección 5.3) y sometiendo el resultado a validación independiente contra el inventario (sección 7).

4. Área de estudio

4.1. Contexto geomorfológico

El área comprende los cerros del sector centro-oriente del anfiteatro de Valparaíso, incluyendo los cerros Pajonal, San Roque y Placeres Alto y su entorno inmediato, entre el borde costero y las planicies superiores. El relieve corresponde a un frente de ladera que asciende desde el plan de la ciudad hacia una superficie alta suavemente ondulada, disectado por una red de quebradas de orientación general hacia la bahía. Este patrón de quebradas cortas, de fuerte gradiente y régimen torrencial, organiza el drenaje y concentra los procesos de ladera.

4.2. Contexto geológico

El sustrato regional está constituido por rocas intrusivas y metamórficas del basamento de la Cordillera de la Costa, afectadas por una meteorización química profunda que genera perfiles de suelo residual arenoso —localmente denominado maicillo— de espesor métrico a decamétrico. Este material, de baja cohesión cuando se satura o se descomprime en cortes, es determinante en el comportamiento geotécnico de las laderas de Valparaíso: la combinación de maicillo, pendientes fuertes y concentración de humedad en quebradas explica la recurrencia de deslizamientos superficiales de suelo, derrumbes de taludes de corte y flujos canalizados durante eventos de precipitación intensa.

La relativa homogeneidad litológica del área —un basamento cristalino meteorizado a perfiles de suelo residual de comportamiento comparable— es una condición favorable para un modelo construido sobre factores topográficos, pues reduce la varianza que un factor litológico explicaría. Esta observación no sustituye la incorporación explícita de una capa geológica, identificada como la mejora prioritaria del modelo (sección 9), pero acota el efecto de su ausencia en este caso particular.

4.3. Ocupación del territorio y antecedentes de eventos

La ocupación urbana es intensiva y asciende por laderas y bordes de quebrada, con viviendas en exposición directa, cortes verticales sin contención, rellenos artificiales en cabeceras y depósito de escombros y residuos en cauces, factores antrópicos reconocidos como agravantes de la inestabilidad. A ello se suma el efecto de los incendios de interfaz urbano-forestal —como el de abril de 2014, que afectó directamente varios cerros del área—, que al eliminar la cobertura vegetal incrementan la escorrentía y la disponibilidad de material movilizable en las temporadas de lluvia siguientes.

El catastro de remociones en masa de SERNAGEOMIN registra 78 eventos dentro del área de estudio, distribuidos principalmente a lo largo del eje de quebradas de los cerros Las Cañas, Pajonal, La Cruz, O'Higgins y San Roque. Esta base empírica, poco frecuente en áreas urbanas chilenas por su densidad, permite someter el modelo a validación cuantitativa.

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, 78 registros en el área	SERNAGEOMIN
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. La secuencia fue: reproyección del DEM al sistema métrico de trabajo; derivación de pendiente (r.slope.aspect); análisis hidrológico para acumulación de flujo e índice topográfico de humedad (r.watershed); extracción de la red de drenaje por umbral de acumulación y depuración del ráster binario resultante; cálculo de distancia euclidiana a la red mediante proximidad GDAL; reclasificación de cada factor a escala común 1-5 con calculadora ráster; superposición ponderada; y clasificación final por cuantiles. Todas las capas se procesaron en el mismo sistema de referencia y con la misma malla de celdas, evitando remuestreos intermedios que degradarían la información.

5.2. Selección y justificación de los factores

Pendiente del terreno. Factor de primer orden en la generación de remociones en masa: controla directamente la componente gravitacional desestabilizadora sobre la ladera. Su primacía es consistente con las metodologías de referencia nacionales, en las cuales el ángulo de pendiente concentra el mayor puntaje para todos los tipos de proceso evaluados (Lara y Sepúlveda, 2010; Lara et al., 2018).

Distancia a quebradas. Las quebradas concentran humedad, socavan el pie de las laderas y canalizan los flujos. En el contexto de Valparaíso, la proximidad al eje de drenaje es un control empírico evidente de la distribución de los eventos históricos, y actúa además como proxy de la disponibilidad de material coluvial movilizable acumulado en los cauces.

Índice topográfico de humedad (TWI). Definido como $\ln(a/\tan\beta)$, donde a es el área aportante específica y β la pendiente local, representa la tendencia del terreno a acumular agua. Aproxima el factor de saturación del suelo, reconocido como condición determinante en las metodologías de referencia bajo el descriptor de condiciones de humedad y saturación, e introduce la componente hidrológica en un modelo por lo demás geométrico.

Factores evaluados y descartados. Se evaluó la incorporación de la curvatura del terreno y se optó por excluirla: a 30 m de tamaño de celda, la señal geomorfológica de concavidad-convexidad opera a escalas menores que el píxel, y su inclusión introduce variabilidad de celda a celda sin aporte informativo verificable. La orientación de laderas se descartó por su débil relación con la distribución de eventos en el área, donde el control estructural del drenaje domina sobre la exposición solar. La litología y la intervención antrópica no se incorporaron por las razones expuestas en la sección 8.2.

5.3. Ponderación: matriz AHP y verificación de consistencia

Los pesos se obtuvieron mediante proceso analítico jerárquico (Saaty, 1980), formalizando las comparaciones pareadas entre los tres factores sobre la escala fundamental 1–9 con valores intermedios. Los juicios adoptados fueron: la pendiente domina moderadamente sobre la distancia a quebrada (3/2) y de forma más marcada sobre el TWI (5/2); la distancia a quebrada domina moderadamente sobre el TWI (3/2).

Factor	Pendiente	Dist. quebrada	TWI
Pendiente	1	3/2	5/2
Dist. quebrada	2/3	1	3/2
TWI	2/5	2/3	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 0,486; distancia a quebrada 0,313; TWI 0,201. El autovalor principal es $\lambda_{\max} = 3,001$, de donde el índice de consistencia resulta $CI = 0,0006$ y, con el índice aleatorio $RI = 0,58$ correspondiente a $n = 3$, el **ratio de consistencia es CR = 0,001**, muy por debajo del umbral de 0,10 admitido convencionalmente.

Corresponde precisar el alcance de esta verificación. Para matrices de orden 3 la consistencia es fácil de satisfacer, de modo que un CR bajo confirma la coherencia interna de los juicios pero no valida los juicios en sí: no demuestra que los pesos sean los correctos, solo que no se contradicen entre ellos. La verificación sustantiva de la ponderación es la validación contra el inventario de eventos (sección 7.2), y en segundo término el análisis de sensibilidad (sección 7.3).

Para el cálculo ráster los pesos se redondearon a 0,50 / 0,30 / 0,20. La diferencia respecto del vector de prioridades es inferior a 0,015 en todos los casos y se sitúa dentro del margen explorado en el análisis de sensibilidad, donde no produce reclasificación significativa.

5.4. Reclasificación de los factores

Cada factor se reclasificó a una escala ordinal común de 1 (menor contribución a la inestabilidad) a 5 (mayor contribución), condición necesaria para que la suma ponderada sea dimensionalmente coherente. Los umbrales adoptados se detallan a continuación.

Clase	Pendiente (°)	Distancia a quebrada (m)	TWI
1	< 15	> 500	Quintil inferior
2	15 – 25	250 – 500	Segundo quintil
3	25 – 30	120 – 250	Tercer quintil
4	30 – 40	60 – 120	Cuarto quintil
5	> 40	0 – 60	Quintil superior

Tabla 3. Umbrales de reclasificación de los factores condicionantes.

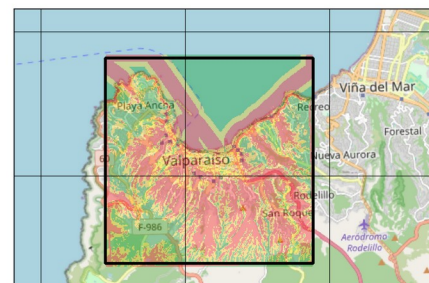
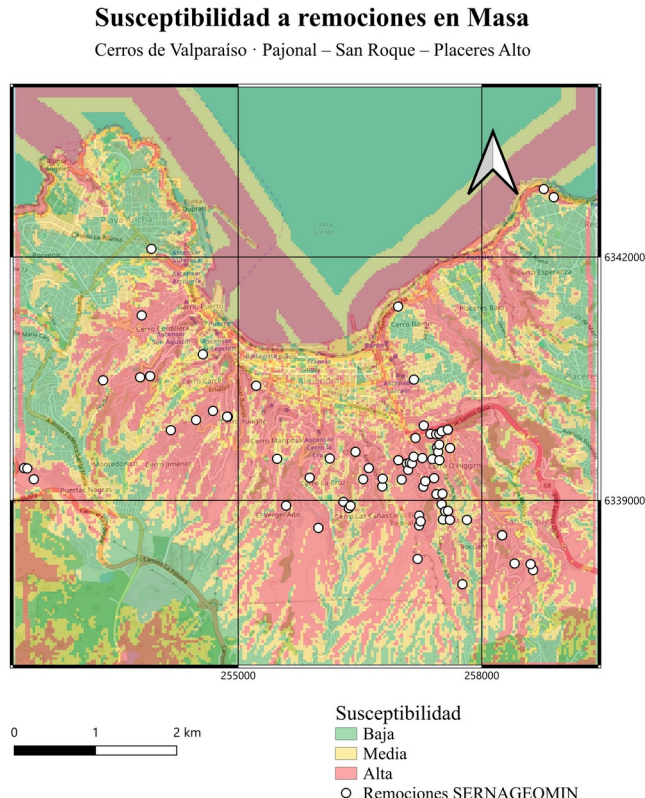
Los tramos de pendiente se alinean con los intervalos empleados en las tablas de puntaje de la metodología de referencia para el piedemonte de Santiago (Lara y Sepúlveda, 2010), lo que facilita la comparación entre estudios. Los umbrales de distancia a quebrada se definieron como múltiplos del tamaño de celda —2, 4, 8 y aproximadamente 17 celdas— para evitar clases de ancho inferior a la resolución del dato, que serían espurias. El TWI, al carecer de umbrales físicos universales y depender su distribución del área y la resolución analizadas, se reclasificó 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: $IS = 0,50 \cdot P + 0,30 \cdot D + 0,20 \cdot T$, donde P, D y T corresponden a los valores 1–5 de pendiente, distancia a quebrada y TWI. El índice varía teóricamente entre 1 y 5.

El índice 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. Esta decisión favorece la legibilidad para usuarios no especialistas, produce una partición estable y evita la arbitrariedad de umbrales fijos no calibrados localmente. Su contrapartida, discutida en la sección 8.3, es que las clases resultan relativas al área evaluada.

6. Resultados



Geopetris - Cartografía y análisis geoespacial

Método: ponderación multicriterio (AHP). Factores: pendiente (0.50), distancia a quebrada (0.30), humedad topográfica (0.20).

Fuente: DEM Copernicus 30 m · EPSG:32719 · clasificación por cuantiles (3 clases).

Validación: catastro SERNAGEOMIN (n=78). La clase Alta captura el 82% de los eventos registrados.

Elaboración propia, Julio de 2026

Evaluación de susceptibilidad a remociones en masa. Escala de uso 1:50.000. No constituye estudio de amenaza, estudio de riesgo (art. 2.1.17 OGUC) ni mecánica de suelos.

Figura 1. Mapa de susceptibilidad a remociones en masa, cerros de Valparaíso (Pajonal – San Roque – Placeres Alto). Puntos blancos: eventos del catastro SERNAGEOMIN (n = 78).

6.1. Distribución espacial de la susceptibilidad

La clase Alta se organiza siguiendo la red de quebradas y sus laderas inmediatas, con continuidad a lo largo de los ejes de drenaje principales que descienden de los cerros Las Cañas, Pajonal, La Cruz, O'Higgins, San Roque y Placeres Alto, y en el frente de ladera que cae hacia el plan. La clase Baja domina las superficies altas de baja pendiente —sectores de Playa Ancha y las planicies interiores hacia el sur del área— y los fondos amplios de menor gradiente. La clase Media ocupa posiciones de transición: laderas medias y sectores de cabecera con pendiente moderada.

Este patrón es geomorfológicamente coherente y reproduce la lógica de un relieve de anfiteatro disectado, donde la inestabilidad se concentra en la incisión de las quebradas y no en las superficies cumbre. Esta coherencia constituye un criterio de verificación cualitativa complementario a la validación estadística: un modelo que produjera susceptibilidad alta dispersa o desvinculada de la red de drenaje debería considerarse sospechoso aun cuando alcanzara buenas métricas.

7. Validación

7.1. Diseño de la validación

La validación se efectuó superponiendo los 78 eventos del catastro SERNAGEOMIN sobre el mapa clasificado y calculando la proporción de eventos capturada por cada clase, contrastada con la proporción de superficie que cada clase ocupa. Esta métrica —tasa de éxito— es la verificación estándar para modelos de susceptibilidad cuando se dispone de un inventario. Corresponde precisar que el inventario no participó en la construcción del modelo: los pesos se establecieron por juicio experto formalizado en AHP, sin ajuste a los datos de validación, lo que preserva la independencia del contraste.

7.2. Resultados de la validación

Clase	Proporción del área	Eventos capturados	Razón de frecuencia
Alta	33 %	82 %	2,46
Media y Baja	67 %	18 %	0,27

Tabla 4. Desempeño del modelo frente al catastro SERNAGEOMIN (n = 78).

La clase Alta captura el 82 % de los eventos ocupando un tercio de la superficie. La razón de frecuencia —cociente entre la proporción de eventos y la proporción de área— alcanza 2,46, lo que significa que la densidad de eventos en esta clase es casi dos veces y media la esperable bajo una distribución aleatoria. Complementariamente, las clases Media y Baja concentran en conjunto solo el 18 % de los eventos en dos tercios del territorio, con razón de frecuencia 0,27. **Ambos indicadores son consistentes entre sí y muestran que el modelo discrimina efectivamente** las zonas de generación de remociones en masa en el área de estudio.

La razón de frecuencia se reporta junto con la tasa de éxito de manera deliberada: la tasa de éxito por sí sola es un indicador incompleto, dado que puede elevarse trivialmente ampliando la superficie de la clase

de mayor susceptibilidad. Solo la relación entre eventos capturados y área ocupada permite juzgar el desempeño real de una zonificación.

7.3. Análisis de sensibilidad

Se verificó la estabilidad de la clasificación ante variaciones de los pesos en el rango de $\pm 0,05$ en torno a los valores adoptados, redistribuyendo proporcionalmente entre los factores restantes. La configuración de la clase Alta se mantiene en lo esencial, con reclasificaciones limitadas a píxeles situados en los bordes de clase, esto es, aquellos cuyo índice se sitúa próximo a los cortes de cuantil. Esto indica que el resultado está gobernado por la estructura del relieve más que por el ajuste fino de la ponderación, y que la incertidumbre de los juicios AHP no compromete la utilidad del producto a la escala de uso declarada.

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**. El producto es por tanto apropiado para diagnóstico sectorial, priorización territorial y focalización de estudios de detalle, y **no es apropiado para análisis a escala predial ni para decisiones sobre lotes individuales**. A modo de referencia, los trabajos de susceptibilidad del piedemonte de Santiago emplearon un DEM de 9 m construido a partir de múltiples fuentes topográficas y produjeron cartografía a escala 1:20.000 (Lara et al., 2018).

En consecuencia, elementos determinantes a escala de sitio —cortes de talud individuales, muros de contención, rellenos antrópicos, microtopografía de borde de quebrada— no están representados. En un contexto urbano denso como el de Valparaíso, estos elementos pueden ser localmente más determinantes que la geometría general de la ladera.

8.2. Factores no incorporados

El modelo se construye con derivados topográficos e hidrológicos. Las metodologías de referencia incorporan además las características geológico-geotécnicas de los materiales de ladera, la intervención antrópica y la vegetación (Lara y Sepúlveda, 2010). Su ausencia se explica y acota como sigue.

Litología. La relativa homogeneidad del sustrato en el área (sección 4.2) reduce la varianza que un factor litológico explicaría, pero no la anula: los contrastes entre roca sana aflorante, perfiles de maicillo de distinto espesor y depósitos coluviales condicionan el comportamiento. Su incorporación es la mejora prioritaria del modelo.

Intervención antrópica. Cortes de talud, rellenos y modificaciones de drenaje son factores de primer orden en laderas urbanizadas y no están representados. Su incorporación requiere un catastro que no existe de forma sistemática para el área y cuyo levantamiento excede el alcance de un estudio de escritorio.

Vegetación y efecto de incendios. La cobertura vegetal y su alteración por incendios de interfaz modifican la susceptibilidad de forma significativa y temporalmente variable. Un modelo estático de factores condicionantes no captura esa dinámica.

8.3. 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. De ello se siguen dos consecuencias. Primero, la clase Alta de este mapa no es directamente comparable con la clase Alta de otro sector modelado por separado; la comparación entre áreas exige unificar el dominio de cálculo o adoptar umbrales absolutos calibrados. Segundo, la tasa de éxito del 82 % debe leerse sobre esa base, y por eso se acompaña de la razón de frecuencia en la Tabla 4.

8.4. Alcance de la validación

La métrica reportada corresponde a una tasa de éxito calculada sobre el mismo dominio del modelo. No constituye validación predictiva en sentido estricto, la cual requeriría particionar el inventario —temporal o espacialmente— y verificar el modelo contra el subconjunto no empleado; con $n = 78$, una partición reduciría el conjunto de verificación a un tamaño que comprometería la significación del resultado. Adicionalmente, todo inventario histórico presenta sesgos: subrepresenta eventos antiguos, de pequeña magnitud o no reportados, y su densidad refleja parcialmente la densidad de ocupación y de reporte antes que la ocurrencia real. La métrica debe leerse con esa consideración.

8.5. Susceptibilidad integrada y ausencia de alcance

El modelo entrega una susceptibilidad integrada, no diferenciada por tipo de proceso. Dado el peso asignado a la pendiente y a la proximidad al drenaje, y las características del área, el resultado refleja preferentemente la susceptibilidad a deslizamientos superficiales de suelo y a flujos canalizados, procesos dominantes en los cerros de Valparaíso. Las metodologías de referencia evalúan por separado caídas de roca, deslizamientos de roca, deslizamientos de suelo y flujos de detritos, dado que los factores condicionantes pesan distinto según el mecanismo (Lara y Sepúlveda, 2010).

Finalmente, y conforme al marco conceptual, el mapa identifica zonas de arranque. Los flujos canalizados pueden transportar material quebrada abajo e impactar sectores clasificados como de susceptibilidad Media o Baja en el plan inferior. Un sector de clase Baja no está exento de amenaza: la evaluación de trayectorias y alcance requiere un estudio de amenaza específico.

9. Aplicaciones y desarrollo futuro

El producto está diseñado como insumo de diagnóstico y priorización a escala sectorial. Sus aplicaciones apropiadas incluyen la focalización de inspecciones y planes municipales de gestión de emergencia en los ejes de quebrada de clase Alta; la priorización de sectores para estudios de amenaza y riesgo de detalle, en línea con la recomendación metodológica de la literatura de referencia (Lara et al., 2018); el apoyo a la evaluación preliminar de terrenos en procesos de desarrollo o regularización; y la integración como capa de antecedentes en líneas de base de medio físico y análisis territorial.

Las líneas de mejora identificadas, en orden de prioridad, son las siguientes.

- Incorporar un factor geológico a partir de la cartografía SERNAGEOMIN disponible, reclasificando las unidades según la susceptibilidad relativa de sus materiales, y un factor de intervención antrópica cuando exista catastro.
- Diferenciar la evaluación por tipo de proceso —al menos deslizamientos superficiales y flujos canalizados—, ajustando la ponderación al mecanismo correspondiente.
- Construir la curva de éxito completa, esto es, la proporción acumulada de área ordenada por susceptibilidad frente a la proporción acumulada de eventos, y reportar el área bajo la curva, métrica que permite comparación directa con la literatura.
- Evaluar el uso de un modelo de elevación de mayor resolución para los sectores prioritarios, lo que permitiría elevar la escala de uso válida del producto.

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 y de elaboración propia individualizada en la Tabla 1, sin levantamiento de terreno. Identifica propensión relativa a la generación de procesos de remoción en masa a la escala de uso declarada en la sección 8.1.

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. Las decisiones que se adopten a partir de este documento deben considerar estas limitaciones de alcance.

11. Referencias

European Space Agency. Copernicus Global Digital Elevation Model GLO-30.

Glade, T.; Anderson, M.; Crozier, M.J. 2005. Landslide hazard and risk. John Wiley & Sons Ltd.: 793 p. Chichester.

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.; 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.

Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill: 287 p. New York.

SERNAGEOMIN. Catastro de remociones en masa. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile.