



VISITA TÉCNICA POR REMOCIÓN EN MASA DE TIPO FLUJO DENTRO DEL PARQUE YERBA LOCA, COMUNA DE LO BARNECHEA, REGIÓN METROPOLITANA

Mónica Marín, Francisco Ramirez, Paula Olea, Valeska Farías y Antonio Muñoz



INFORME TÉCNICO

SUBDIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA

ENERO 2023

Visita técnica por remoción en masa de tipo flujo dentro del parque Yerba Loca, comuna de Lo Barnechea, Región Metropolitana
INFORME TÉCNICO, 2023

©Servicio Nacional de Geología y Minería. Av. Santa María 0104, Casilla 10465, Santiago, Chile.

Director Nacional: Patricio Aguilera Poblete

Subdirector Nacional de Geología (S): Álvaro Amigo Ramos

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

Tipo de informe: Informe Técnico

Unidad Ejecutora: Unidades de Peligros Geológicos y Ordenamiento Territorial, Asistencias Técnicas y Emergencias Geológicas y de Geomática, Santiago.

Revisado por: Carolina Jara, Encargada de la Unidades de Asistencias Técnicas y Emergencias Geológicas.

Edición

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

Referencia bibliográfica:

Marin, M.; Ramirez, F.; Olea, P.; Farías, V; Muñoz, A. 2023. Visita técnica por remoción en masa de tipo flujo dentro del Parque Yerba Loca, comuna de Lo Barnechea, Región Metropolitana. Informe Técnico (Inédito), Servicio Nacional de Geología y Minería: 23 p. Santiago.

Portada: Fotografía del depósito de flujo de detritos tomada por Monica Marin el 19/01/2023.

Este Informe inédito está disponible en Biblioteca del Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago:
<https://catalogobiblioteca.sernageomin.cl>

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. ANTECEDENTES	5
3. OBSERVACIONES DE TERRENO	5
4. ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES.....	8
5. ANÁLISIS METEOROLÓGICO.....	11
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	13
7. REFERENCIAS.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Área Ubicación de la zona de estudio, Estero Yerba Loca, cercano al sector La Lata, Comuna de Lo Barnechea. El zoom detalla la zona del punto donde se cortó el sendero. . 4	
Fig. 2. Área de alcance del flujo ocurrido el 19-01-2023, caracterizada sobre una imagen <i>SkySat</i> capturada el mismo día.....	5
Fig. 3. Zona de descarga de la quebrada en estudio observada en terreno. Arriba-izquierda: frente del depósito detrítico. Arriba-derecha: canal de descarga de la quebrada activada. Abajo: formación de <i>leveés</i> (montículos laterales) producto del paso del flujo.	7
Fig. 4. Zona de descarga de la quebrada en estudio. Izquierda: depósito del aluvión del 20 de enero a las 18:00 h. Derecha: círculo azul muestra el área de alcance dentro del mapa de peligro de remociones en masa de tipo flujo en la cuenca alta del río Mapocho (modificado de Marin <i>et al.</i> , 2022).....	7
Fig. 5. Secuencia de imágenes <i>Skysat</i> tomadas entre el 20/12/2022 y el 20/01/2023 en la parte alta de la cuenca de Yerba Loca.	8
Fig. 6. Secuencia de imágenes <i>Skysat</i> en la quebrada activada, desde el día con máxima cobertura de nieve (01/01/2023) hasta la ocurrencia del flujo de detritos (19/01/2023). La estrella indica zona de descarga (abanico) de la quebrada.	9
Fig. 7. Evolución temporal de la cobertura de nieve en la quebrada activada.	10
FIG. 8. Detalle del área de estudio definida para realizar la serie temporal con imágenes <i>Modis</i>	10
FIG. 9. Serie temporal con imágenes <i>Modis</i> . Izquierda: valor promedio anual. Derecha: valor promedio mensual.	11
Fig. 11. Serie temporal de temperatura del aire medida por estaciones meteorológicas de la DGA, cercanas al área de estudio. Las flechas amarillas indican un aumento considerable de temperatura.	12

VISITA TÉCNICA POR REMOCIÓN EN MASA DE TIPO FLUJO DENTRO DEL PARQUE YERBA LOCA COMUNA DE LO BARNECHEA, REGIÓN METROPOLITANA

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento responde al requerimiento ingresado a la Oficina de Emergencias de Sernageomin vía comunicación telefónica el jueves 19 de enero de 2023 por la dirección regional metropolitana del Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (Senapred), en el cual se solicita presencia de personal técnico del Sernageomin para evaluar los efectos de una remoción en masa de tipo flujo ocurrida el mismo día dentro del Parque Yerba Loca, comuna de Lo Barnechea, región Metropolitana (Fig. 1).

A raíz de la solicitud anterior, profesionales de Sernageomin, realizaron una campaña de terreno los días 20 y 21 de enero, con la finalidad de observar las zonas de alcance y generación del flujo, el cual descendido por una microcuenca afluyente del estero Yerba Loca, cercano al sector de La Lata, dentro del parque Yerba Loca.



Fig. 1. Área Ubicación de la zona de estudio, Estero Yerba Loca, cercano al sector La Lata, Comuna de Lo Barnechea. El zoom detalla la zona del punto donde se cortó el sendero.

2. ANTECEDENTES

En la comuna de Lo Barnechea, a las 18:00 h del 19 de enero del 2023 se produjo un aluvión en una quebrada ubicada en el Parque Yerba Loca, cercana del Sendero Mirador del Glaciar La Paloma, específicamente en el sector denominado La Lata, el cual provocó el corte del camino, dejando aisladas a 21 personas que se encontraban dentro del parque.

Es importante mencionar que no se registraron lluvias previas ni en desarrollo para la generación de esta remoción en masa, por lo que era de esperar que el agente detonante se asocie más bien al deshielo, dada la presencia de nieve en la cuenca y el alza de temperaturas previas al aluvión.

La zona de estudio corresponde a la quebrada activada con un área aproximada de 2,5 km², con una elevación entre los 2.900 y 5.000 m s.n.m y que desemboca hacia el estero Yerba Loca en las coordenadas aproximadas (Latitud/Longitud) -33,240966/-70,262160, en el sector de La Lata, en la comuna de Lo Barnechea (Fig. 1).

3. OBSERVACIONES DE TERRENO

El trabajo en terreno se realizó entre el 20 y 21 de enero y, se enfocó en la identificación y descripción de las zonas de generación y alcance del aluvión ocurrido cercano al sector de La Lata, dentro del Parque Yerba Loca (Figs. 1 y 2).

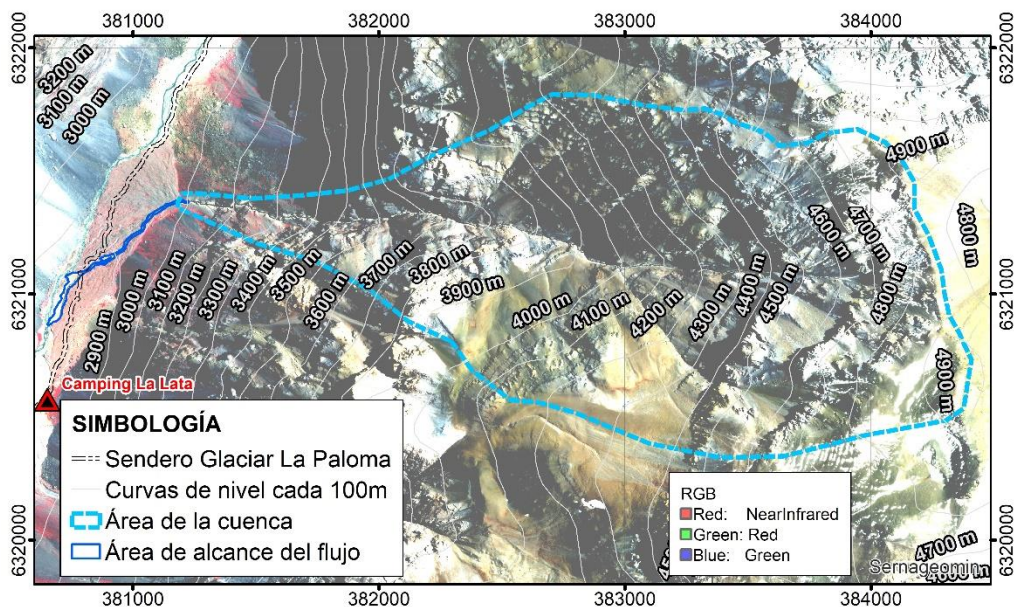


Fig. 2. Área de alcance del flujo ocurrido el 19-01-2023, caracterizada sobre una imagen SkySat capturada el mismo día.

De acuerdo con el relato entregado por los senderistas que resultaron aislados producto del paso del flujo aluvional, el 20 de enero ocurrieron dos flujos que descendieron por la quebrada en estudio. El primero habría ocurrido cerca de las 11:00 h y las características descritas permiten interpretar que se trata de un flujo de baja densidad (diluido), a tal punto, que los senderistas pudieron cruzarlo sin inconvenientes. En cambio, alrededor de las 18:00 h fueron testigos del segundo flujo, el cual tenía una mayor densidad y volumen y, que habría aportado la mayor cantidad de material que se observa en el lugar.

El flujo observado en terreno (el de las 18:00 h) se movilizó a lo largo de uno de los canales del abanico aluvial presentes en la zona de descarga de la quebrada, interceptando el sendero al glaciar La Paloma en las coordenadas aproximadas 380.777 E y 6.321.091 N. La gran acumulación de material en los laterales del cauce da cuenta de la alta densidad del flujo (Fig. 3). La altura aproximada del depósito del aluvión es de 1 m, con un ancho promedio de 20 m, el cual está constituido principalmente por clastos de 0,2 y 0,3 m de diámetro. El depósito es principalmente clasto-soportado y con una matriz arcillosa marrón-rojiza (Fig. 3). Este color rojizo, se asocia a las rocas volcánico-sedimentarias de la formación Farellones y zonas de alteración hidrotermal. Las evidencias de terreno del aluvión, respecto a su depósito, impacto y morfologías asociadas (frente y *leveés*) permiten interpretar que se trata de un flujo de detritos (Fig. 3).

La zona de descarga de la quebrada en estudio (Figs. 2 y 4) es amplia y activa, ya que se identifican diversos paleocanales por donde han descendido anteriormente otros aluviones. Dichos cauces también interceptan en varios puntos al sendero Mirador del Glaciar La Paloma. Además, la quebrada en estudio se encuentra dentro del área de alto peligro de alcance de flujos (aluviones) según la zonificación de Marín *et al.* (2022) (Fig. 4).



Fig. 3. Zona de descarga de la quebrada en estudio observada en terreno. Arriba-izquierda: frente del depósito detrítico. Arriba-derecha: canal de descarga de la quebrada activada. Abajo: formación de *leveés* (montículos laterales) producto del paso del flujo.

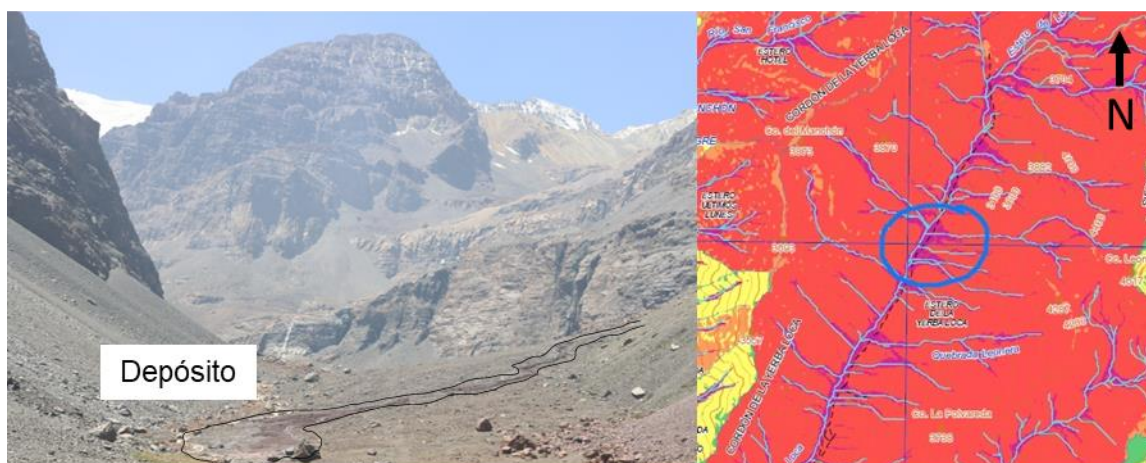


Fig. 4. Zona de descarga de la quebrada en estudio. Izquierda: depósito del aluvión del 20 de enero a las 18:00 h. Derecha: círculo azul muestra el área de alcance dentro del mapa de peligro de remociones en masa de tipo flujo en la cuenca alta del río Mapocho (modificado de Marin *et al.*, 2022).

4. ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES

Para complementar las observaciones de terreno y determinar los posibles factores desencadenante del flujo de detritos descrito en el capítulo anterior, se analizaron imágenes Skysat tomadas entre el 20/12/2022 y el 20/01/2023 en la parte alta de la cuenca de Yerba Loca (Fig. 5). En este sentido, se observa una variación en la zona de cobertura nival (línea de nieve) entre las fechas analizadas y la máxima cobertura nival capturada ocurrió el 1 de enero, con derretimiento hasta el 7 del mismo mes, día que se deposita una nueva capa de nieve, y posteriormente derretimiento hasta la nueva acumulación el 10 de enero. Desde la fecha anterior hasta la ocurrencia del flujo de detritos (incluso hasta el 24), sólo se observa fusión de nieve (Figs. 5 y 6).

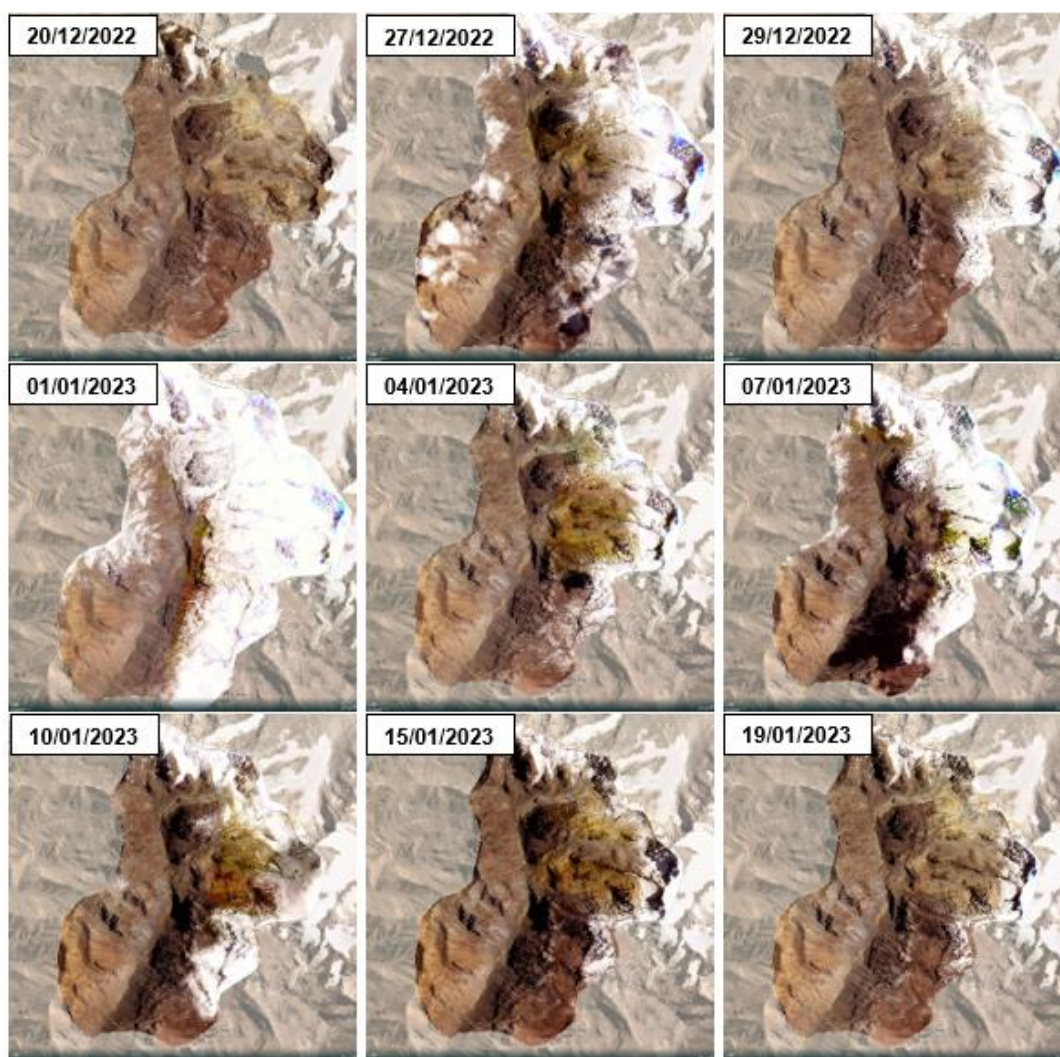


Fig. 5. Secuencia de imágenes *Skysat* tomadas entre el 20/12/2022 y el 20/01/2023 en la parte alta de la cuenca de Yerba Loca.

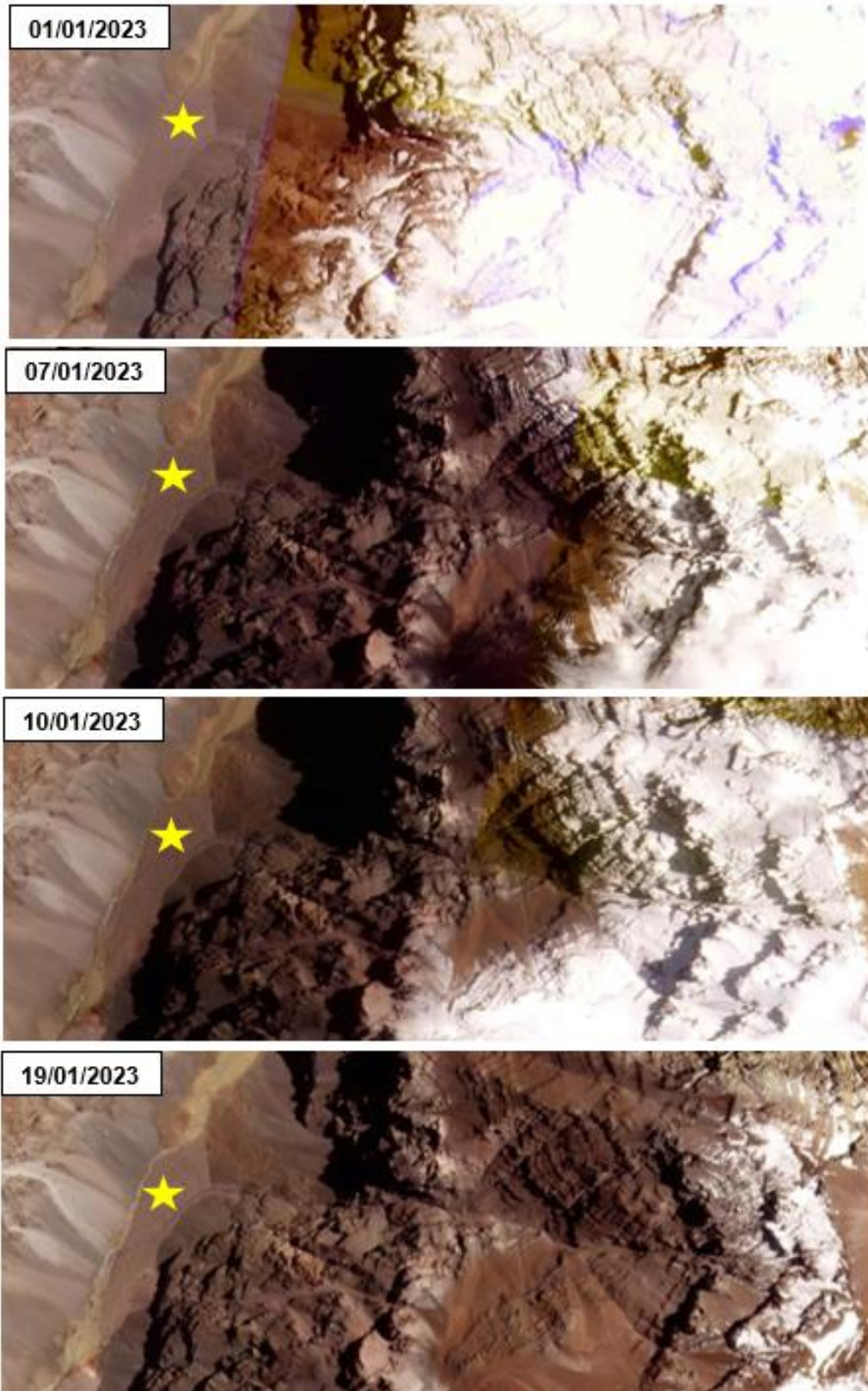


Fig. 6. Secuencia de imágenes Skysat en la quebrada activada, desde el día con máxima cobertura de nieve (01/01/2023) hasta la ocurrencia del flujo de detritos (19/01/2023). La estrella indica zona de descarga (abanico) de la quebrada.

Para detallar el análisis anterior, se determinó la superficie cubierta de nieve entre el 24/12/2022 y el 23/01/2023, a partir del producto NDSI (*Normalized Difference Snow Index*) disponible en la plataforma EO Browser en base a las imágenes Sentinel 2, cuya gráfica se muestra en la Fig. 7. Esta figura es consistente con las imágenes Skysat, ya que muestra un alza en la cobertura de nieve hasta alcanzar una superficie de 1,03 km² (40% del área de la cuenca en estudio) el 3 de enero. Posteriormente se produjo un derretimiento paulatino hasta el 18, que luego, aumenta su tasa y se tiene una superficie de 0,01 km² para el 24 del mismo mes (Fig. 7).

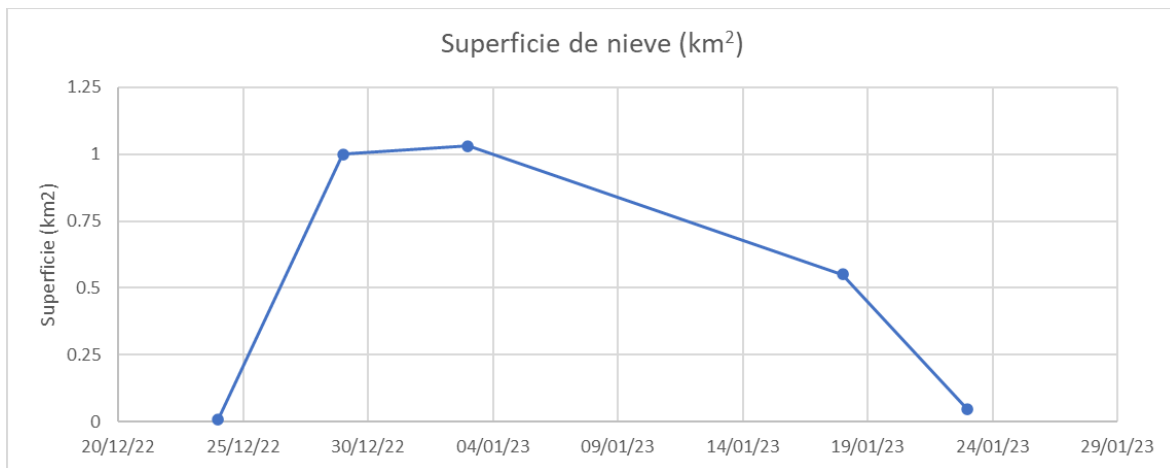


Fig. 7. Evolución temporal de la cobertura de nieve en la quebrada activada.

Por otra parte, se realizó la serie temporal del producto NDSI con imágenes de Modis (compuesto de 16 días) con un píxel de 500 m para el periodo comprendido entre 2020 y 2023 (presente). La serie temporal se realizó a partir del polígono dibujado en la Fig. 8. Este procesamiento se realizó en *Google Earth Engine*.

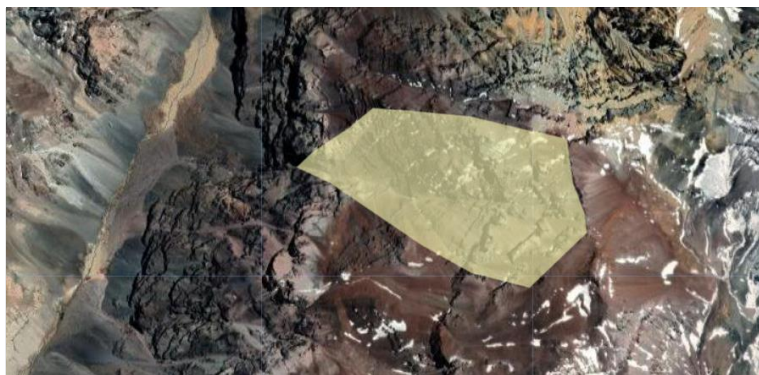


FIG. 8. Detalle del área de estudio definida para realizar la serie temporal con imágenes Modis.

En el gráfico de la serie temporal (Fig. 9) se evidencia que desde el 2017 al menos el 75% de los datos tienen un valor de NDSI menor a 0,4, el cual es el umbral de presencia de nieve. Lo que se traduce en que ha habido una disminución de la superficie de nieve desde el 2017 a la fecha en el área de estudio. Por otra parte, los meses de julio a octubre poseen un alto valor de NDSI (mayor a 0,4) en al menos 75% de los datos, mientras que los meses de enero a abril presentan un valor bajo de NDSI (menor a 0,2) de forma estable, lo que representa la ausencia de nieve. Sin embargo, estos meses poseen valores anómalos que se encuentra sobre el umbral de 0,2 que puede inferirse como parcialmente cubiertos de nieve (Fig. 9).

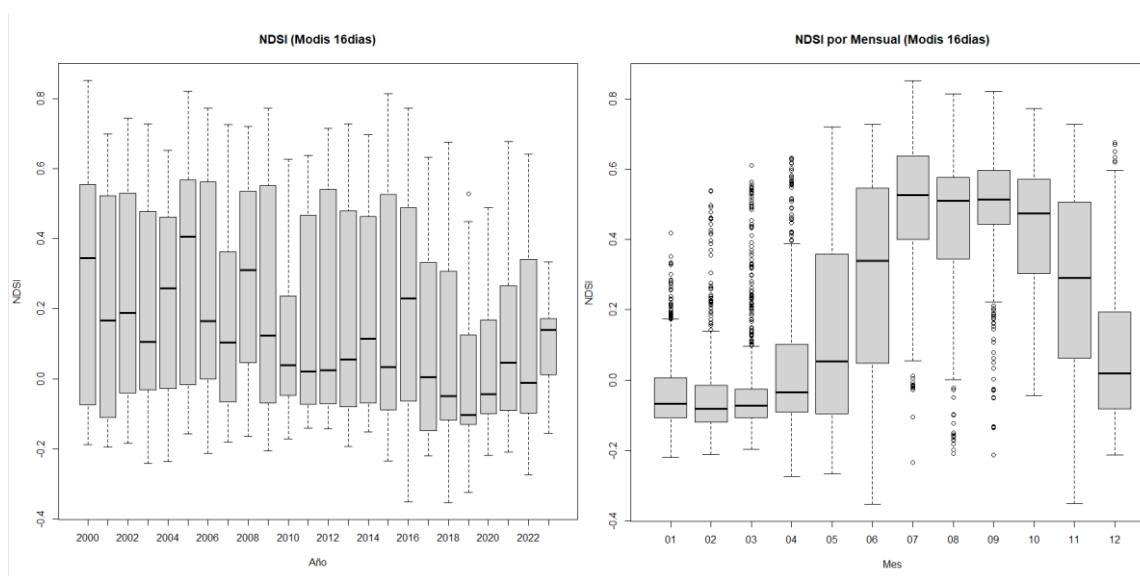


FIG. 9. Serie temporal con imágenes Modis. Izquierda: valor promedio anual. Derecha: valor promedio mensual.

5. ANÁLISIS METEOROLÓGICO

A partir de las imágenes satelitales descritas en el capítulo anterior, se desprende que el 1 de enero de 2023, había presencia importante de nieve en el área de estudio, la cual disminuye hacia el 7 del mismo mes (Figs. 5 y 6). Un proceso similar al descrito anteriormente se observa entre el 10 y 19 de enero (Figs. 5 y 6), lo que evidencia del derretimiento de la nieve ubicada en la parte alta de la cuenca.

Al analizar las mediciones horarias de temperatura del aire en las estaciones de la DGA1 cercanas a la cuenca, que son, La Parva (2.700 m s.n.m) y Estero Yerba Loca en Piedra

¹ Información descargada de <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/hidrolineasatel.aspx>

Carvajal (3.250 m s.n.m; en adelante Piedra Carvajal) (Fig. 1), se tiene que ambos episodios de deshielo son atribuibles a aumentos progresivos de la temperatura del aire (Fig. 10). En efecto, entre el 1 y 4 de enero la temperatura del aire varió de -0,8 a 13,0 °C y 3,1 a 17,9 °C, para las estaciones La Parva y Piedra Carvajal, respectivamente. Lo anterior, se traduce en gradientes de temperatura del aire de 4 a 5 °C/día en ambas estaciones. Por su parte, entre el 13 y 18 de enero se tienen variaciones de 1,4 a 12,5 °C en 5 días para Piedra Carvajal. A su vez, entre el 13 y 19, las temperaturas van de 5,0 a 17,3 °C en 6 días para La Parva. En estos últimos periodos, los máximos gradientes se dan el día 13 con valores de 7,7 °C en 8 h (1,4 a 9,1 °C) y 8,9 °C en 14 h (5,0 a 13,9 °C), para las estaciones La Parva y Piedra Carvajal, respectivamente (Fig. 10).

En la zona central de Chile, no se han encontrado documentos que relacionen la ocurrencia de remociones en masa desencadenadas con deshielo productor de alzas en la temperatura del aire. Sin embargo, en la cuenca del río Las Minas de Punta Arenas, se ha señalado que incrementos sostenidos en la temperatura del aire, con tasas de 1 a 2 °C/día (Muñoz *et al.*, 2020; Pérez *et al.*, 2021) durante 3 días o más, han sido capaces de derretir nieve que desencadena remociones en masa y crecidas de agua. Estos gradientes han sido superados al menos en dos ocasiones en el área de estudio, tanto entre el 1 y 4 de enero (4 a 5 °C/día), como entre el 13 y 18-19 de enero (~2 °C/día).

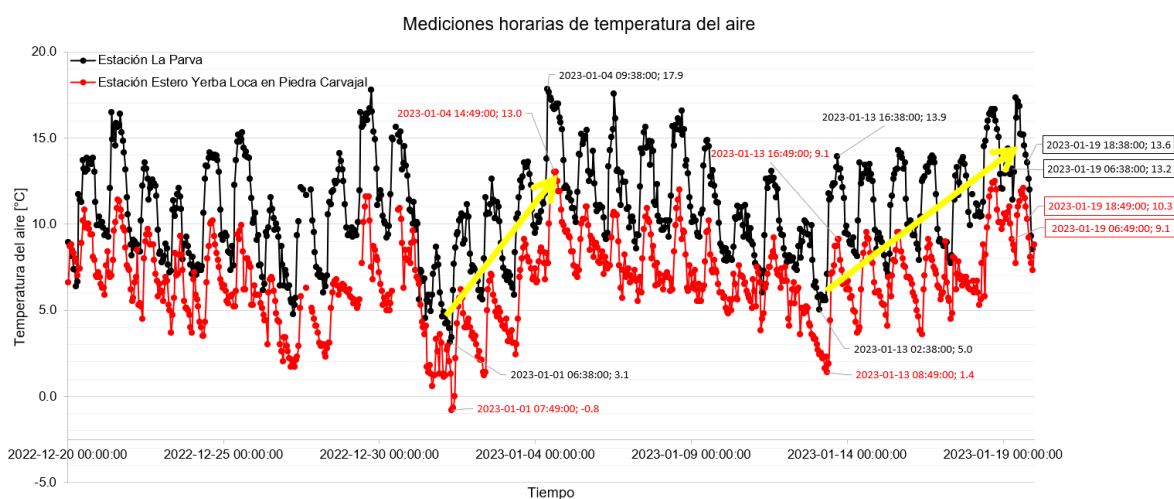


Fig. 10. Serie temporal de temperatura del aire medida por estaciones meteorológicas de la DGA, cercanas al área de estudio. Las flechas amarillas indican un aumento considerable de temperatura.

Por otra parte, es importante destacar que, según la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), las altitudes de la isoterma 0°C para los días 18 y 19 de enero fueron de 4.400 a 4.700 m s.n.m y 4.500 y 4.800 m s.n.m respectivamente, lo que se condice con las mediciones de las estaciones de la DGA analizadas anteriormente.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis realizado en este trabajo permite concluir que la presencia de nieve, sumado al aumento sostenido de la temperatura del aire en el área de estudio, generó el deshielo que desencadenó procesos de esorrentía, formando surcos de erosión y flujos que, a su vez, fueron incorporando material detrítico cerca del eje de la quebrada en estudio, el cual se desplazó ladera abajo hasta depositarse en zonas más planas y abiertas de su abanico, cercanas al estero Yerba Loca. Además, en particular se puede concluir lo siguiente:

- El 19 de enero a aproximadamente las 18:00 h ocurrió un aluvión, que descendió por una las microcuencas que conforman la cuenca del estero Yerba Loca, aproximadamente a 8,8 km aguas arriba de la entrada principal al Parque Yerba Loca, pasada la junta con el estero La Leonera, sector La Lata.
- El aluvión corresponde a un flujo de detritos se originó en una quebrada sin nombre de aproximadamente 2,5 km² desencadenado por derretimiento de nieve.
- El sendero mirador del glaciar La Paloma es intersecado en varios puntos por conos de deyección, abanicos y depósitos aluviales de microcuencas laterales que llegan directamente al Estero Yerba Loca.
- Sobre la base de las observaciones de terreno, así como de la obtención de productos derivados de las imágenes de satélite y del sobrevuelo, se logró realizar un mapeo de detalle del área afectadas por el flujo de detritos, principalmente zonas de transporte y depositación e indicar donde se cortó el sendero antes de llegar al Estero Yerba Loca.
- Según el mapa de peligro de Marin *et al.* (2022), la quebrada activada está en la zona de alto grado de peligro para la generación y alcance de flujos de detritos.
- En el área analizada la nieve se concentra en el periodo invernal, aunque también se presentan episodios nivales en verano.
- Según las imágenes satelitales *Skysat* observadas y las comparaciones multitemporales de estas se indica que algunas microcuencas cercanas al Glaciar La

Paloma presenta remanentes de nieve que se mantienen aun en el verano y que pueden asociarse a las precipitaciones de la última semana de diciembre 2022.

- La información proporcionada por las imágenes satelitales se corresponde con los datos medidos en las estaciones de la DGA cercanas a la cuenca, que son, La Parva (2.700 m s.n.m) y Estero Yerba Loca en Piedra Carvajal (3.250 m s.n.m). En este sentido se distinguen dos eventos de deshielo. El primero, entre el 1 y 4 de enero, con un gradiente de temperatura promedio de 4 a 5 °C/día. El segundo, entre el 13 y 18-19 de enero, con un gradiente de temperatura promedio de 2 °C/día aproximadamente, los cuales superan los valores de referencia determinados por Muñoz *et al.* (2020) y Pérez *et al.* (2021) para estos procesos.

En virtud de lo anterior, se recomienda al Senapred región Metropolitana y a la municipalidad de Lo Barnechea lo siguiente:

- Es necesario realizar estudios adicionales, integrando datos hidrometeorológicos que permitan entender la dinámica nival de la cuenca para comprender la recurrencia de estos eventos en el futuro que incluyan monitoreo de depósitos de nieve.
- Instalar señalética que advierta del peligro de remociones en masa de tipo flujo en el lugar. De ser necesario, consultar a Sernageomin su opinión sobre la materia y la ubicación de éstas.
- Se recomienda indicar a los turistas que ingresen al parque sobre los procesos de remociones en masa a los cuales están expuestos, los cuales pueden ocurrir por deshielo y lluvias intensas. Dicho esto, se debe hacer énfasis en no acampar en zonas de descarga de quebradas (abanicos), no cruzar la quebrada si existe un aluvión en desarrollo, además de dar a conocer las zonas de mayor riesgo de alcance del mapa de peligro mencionado en la Fig. 4.
- Se recomienda incluir la información levantada en este trabajo para mejorar los planes de emergencia y gestión del riesgo de remociones en masa locales, además del mapa de peligro de remociones en masa de la cuenca alta del río Mapocho, involucrando a autoridades y comunidades locales, en ámbitos como la prevención, la educación sobre los peligros naturales y la práctica de planes de emergencia, evacuación, entre otros.
- En caso de la presencia de nieve en el área de estudio, tener en cuenta aumentos de temperatura del aire que superen los 2 °C/día (por sobre los 0 °C) en las estaciones de la DGA señaladas en este estudio, ya que pueden generar fusión de nieve que

desencadene remociones en masa. Ante pronósticos como estos, restringir el ingreso al área de estudio a este sector o donde exista nieve en la parte alta de la cuenca.

- Se recomienda un monitoreo de las variables meteorológicas desencadenantes de remociones en masa. Este debería considerar información dirigida a la comunidad establecida y a turistas que visitan la zona, así como la implementación de señalética y de zonas de evacuación en caso de que se declare la alerta temprana.
- En conjunto con el monitoreo, debe establecerse un protocolo de evacuación de las áreas de riesgo en caso de sismos, lluvias intensas con isoterma 0 °C alta o percepción de estruendos y/o nubes de polvo provenientes del sector de la remoción. Deben participar tanto la población expuesta como el personal del Parque Yerba Loca.
- En cuanto a las zonas de abanicos, conos de deyección y la zona mapeada como área de afectación (Fig. 2), se recomienda evitar la instalación de campamentos en estas zonas y sus proximidades, así como evitar el ingreso a las quebradas cuando exista un evento en desarrollo.

7. REFERENCIAS

Marín, M.; Farías, V.; Arcos, R.; Fuentes, P. 2022. Peligro de remociones en masa de tipo flujo en la cuenca alta de río Mapocho, región Metropolitana de Santiago. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-22-98 (Inédito), 1 mapa en 2 hojas, escala 1:100.000. Santiago.

Muñoz, A.; Opazo, E.; Gálvez, V. 2020. Evaluación geológica por el aumento de sedimentos en la desembocadura del río Las Minas entre el 23 y 25 de septiembre de 2019, comuna de Punta Arenas, región de Magallanes y la Antártica Chilena. Informe técnico (Inédito), Servicio Nacional de Geología y Minería: 28 p. Santiago.

Pérez, L.; Opazo, E.; Gálvez, V. 2020. Análisis geológico del sobrevuelo del 20 de octubre de 2020 en la cuenca del río Las Minas, comuna de Punta Arenas, región de Magallanes y la Antártica Chilena. Informe Técnico (Inédito), Servicio Nacional de Geología y Minería: 23 p. Santiago.