

# A Comparison of Mass Movement Hazards in Agua Negra and La Chapetona Pass, Coquimbo Region

## Comparación de Peligros de Remociones en Masa entre los Pasos Internacionales Agua Negra y Chapetona, de la región de Coquimbo

[Cristina] [Brantt] & [Natalia] [Garrido]

[Geología Aplicada], [Sernageomin], [Chile], [cristina.brantt@sernageomin.cl]

**ABSTRACT:** In the Coquimbo region, there is a border crossing shared by Chile and Argentina called “Complejo Agua Negra”, which is the only pass enabled only for smaller vehicles and buses in the region. Also, the border crossing La Chapetona (Paso del Azufre) is one of the various land crossings to Argentina accessible by unpaved road and without necessary conditions to follow the requirements and controls imposed by national authorities.

The need to evaluate the favorable conditions for mass movements in both sectors is required, in order to provide relevant technical information that allows understanding and comparing the hazards present in each area. Both sectors are located in the central Andes with high mountain tundra climates characterized by high precipitation, low temperatures, and permanent snow cover, which contribute significantly to water supply.

Both areas have high mountain conditions highly conducive to mass movements. However, comparatively, the La Chapetona pass presents lower heights and average slopes, and absence of glacial forms, suggesting it a zone with lower susceptibility to generating mass movements than Agua Negra.

**KEYWORDS:** AGUA NEGRA, LA CHAPETONA, PASO DEL AZUFRE, RIO TASCADERO, MASS MOVEMENTS, COQUIMBO

### 1 INTRODUCCIÓN

Se define un Paso Fronterizo como aquellos lugares geográficos ubicados en el Límite Político Internacional por donde es posible el tránsito de entrada y salida terrestre del país. Los Complejos Fronterizos en cambio cuentan con elementos y procedimientos para cumplir requisitos y controles impuestos por las autoridades nacionales, para controlar flujos de personas, mercancías y vehículos que salen y entran al país por los Pasos Fronterizos habilitados. Actualmente en Chile los Complejos Fronterizos corresponden a 29 con Argentina, 6 con Bolivia y 1 con Perú. En la región de Coquimbo se presenta un Complejo Fronterizo que limita con Argentina, denominado Complejo Agua Negra habilitado sólo para vehículos menores y buses, accediendo a través de la ruta 41 -CH por Chile y por Argentina a través de la ruta RN-150. El Paso Fronterizo La Chapetona (o Paso del Azufre) corresponde a uno de los diversos pasos terrestres existentes hacia Argentina en la región de Coquimbo, ubicado en la provincia del Limarí al sur de la comuna de Monte Patria.

Dado el gran interés internacional, político y económico de avanzar hacia un paso habilitado para todo tipo de vehículos que proporcione condiciones aptas para un segundo corredor Bioceánico en Latinoamérica, es que se ha propuesto la construcción del Túnel Agua Negra, ubicado en el sector del Complejo Agua Negra. Sin embargo, tras ser un proyecto muy polémico por su alta inversión económica y otras complejidades, se ha puesto en la mira el Paso Fronterizo La Chapetona como una segunda opción para este objetivo.

Ambos pasos se ubican en la región de Coquimbo, el paso de Agua Negra se ubica en la comuna de Vicuña, provincia de Elqui

y el paso La Chapetona se ubica en la comuna de Monte Patria, provincia del Limarí (Fig. 1).

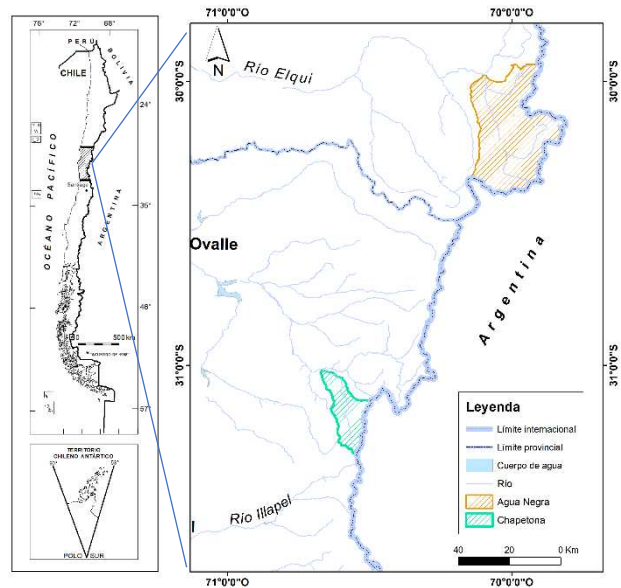


Figura 1. Mapa de ubicación paso Agua Negra y paso La Chapetona

### 1.1 Remociones en Masa

Por lo anterior, surge la necesidad de evaluar las condiciones favorables para la generación de remociones en masa que presentan ambos sectores, con el fin de proporcionar información técnica relevante que permita conocer y comparar los peligros presentes en cada zona. Respecto a las áreas de estudio, en el sector de Agua Negra el análisis se realiza desde el Complejo de Agua Negra hasta la frontera (80 km aprox.), y en el sector de la Chapetona desde la bifurcación de la ruta D-597 hasta la frontera por la “ruta Lapislázuli” o quebrada del río Tascadero (40 km aprox.).

## 2 METODOLOGÍA

El análisis se realiza principalmente comparando parámetros morfométricos entre ambos sectores, obtenidos mediante procesamiento de información digital a través de herramientas SIG-SAGA, basados en un DEM Copernicus (30 m). Posteriormente se incluye el análisis basado en los dos mapas de susceptibilidad de remociones en masa de SERNAGEOMIN (Alfaro et al., 2018 y Brantt et al., 2021). Para el procesamiento de imágenes el límite de ambos sectores utilizado fue las subcuencas de Bienes Nacionales, para el caso de Agua Negra se unieron dos subcuencas (1.000 km<sup>2</sup>) y para la Chapetona solo una (250 km<sup>2</sup>). Los mapas de susceptibilidad de remociones en masa de SERNAGEOMIN, se generaron a través de una metodología para escala regional 1:250.000, que incluye por un lado análisis de flujos (FL) y por otro, procesos de inestabilidad de laderas (deslizamientos, caídas y volcamientos) (DC). Mediante cuatro etapas, las cuales corresponden a 1) antecedentes e insumos, 2) homologación y remuestreo de mapas temáticos, 3) peso o ponderación de variables de generación de cada proceso de remoción en masa mediante análisis jerárquico (AHP) y finalmente 4) elaboración de mapas de susceptibilidad para cada proceso FL y DC, a través de álgebra de mapas (Brantt et al., 2020).

En este trabajo se utilizó el mismo catastro utilizado en los mapas publicados por SERNAGEOMIN e incorporando información reciente de Alfaro et al. (en prep.). Por lo anterior, el análisis de este trabajo permanece la categorización final de flujos (FL) y procesos de ladera (DC), clasificado por los mapas de SERNAGEOMIN.

Siguiendo el contexto utilizado en la metodología de Brantt et al., (2021), este estudio se ha titulado “Comparación de Peligros de Remociones en masa...” sin embargo, se analizan según su posibilidad espacial de generación de estos procesos, sin asignar una probabilidad temporal para la ocurrencia de ellos. No obstante, se prefiere usar la palabra “peligro” para mejor entendimiento del público general.

## 3 ANALISIS

### 3.1 Altura, Pendiente, TWI

En el sector de La Chapetona las alturas no superan los 3.890 m, con alturas promedio de 2.927 m, en cambio en el sector de Agua Negra las alturas máximas están por sobre los 6.000 m (Fig. 2), y alturas promedio de 4.030 m, favoreciendo de esta forma procesos glaciales y criogénicos (Alfaro, 2023). Respecto a las pendientes, se distingue en el valle de La Chapetona un promedio de 24°, donde

las mayores alturas tienen pendientes que no superan los 40° con notable influencia de pendientes suaves menores a 15° en el sector sur de la cuenca. Para la cuenca del río La Laguna y Colorado, las pendientes son mayoritariamente entre 30 y 40° distribuidos de forma uniforme (Fig. 3), con un promedio de 26°.

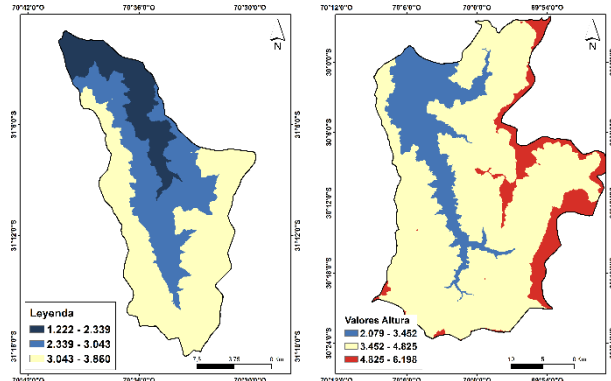


Figura 2. Mapa de altura sector La Chapetona (izq.) y Agua Negra (der.)

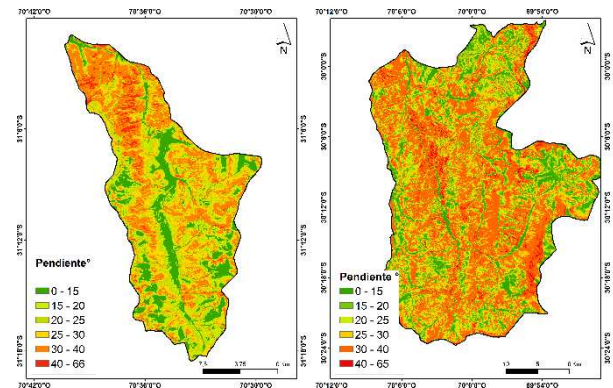


Figura 3. Mapa de pendientes sector La Chapetona (izq.) y Agua Negra (der.).

Respecto a los valores del parámetro TWI (*Topographic Wetness Index*) se posible identificar en el sector de Chapetona altos valores en el sector sur de la cuenca asociada a descargas de drenajes tributarios al curso principal. Para la cuenca de Agua Negra se observan valores relativamente alto en sectores de máximas cotas (>4.000 m) asociado a zonas de procesos criogénicos (Fig. 4).

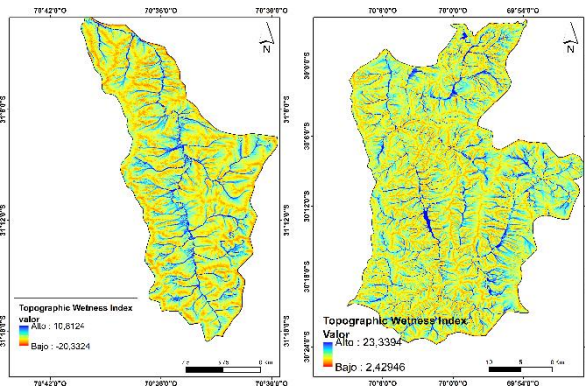


Figura 4. Mapa TWI (Topographic Wetness Index) sector La Chapetona (izq.) y Agua Negra (der.).

### 3.2 Mapas de Susceptibilidad SERNAGEOMIN

Al evaluar las subcuencas en los mapas de susceptibilidad de remociones en masa de la región de Coquimbo de Sernageomin a escala 1:250.000 (Alfaro *et al.*, 2018 y Brant *et al.*, 2021) se evidencia que ambos pasos se encuentran en zona de alta susceptibilidad de generación de procesos de remoción en masa (Fig. 5 y Fig. 6). Ambos estudios se realizaron con una metodología similar lo que permite realizar comparaciones respecto a su análisis.

La macrounidad definida en estos estudios como Alta Montaña es comparativamente más favorable a la generación de remociones en masa con respecto a las otras geoformas de la región y ambas subcuencas se ubican en esta macrounidad lo que sugiere el principal factor condicionante de susceptibilidad en esta zona.

Por lo anterior, que es posible determinar que para eventos de deslizamientos y caídas el sector de Agua Negra posee casi la totalidad de subcuenca en zona de alta susceptibilidad, en comparación al sector de La Chapetona la cual presenta susceptibilidades moderadas en el sector sur, asociado a las pendientes menores a 20°.

Para eventos de flujos de detritos, el paso La Chapetona presenta la zona de alta susceptibilidad concentrada en el valle principal y las zonas de baja susceptibilidad de generación se ubican en mayor proporción y en zonas de altura. Con respecto al Paso de Agua Negra, se observa principalmente como una subcuenca con moderada a alta zona de susceptibilidad de manera uniforme de estos fenómenos.

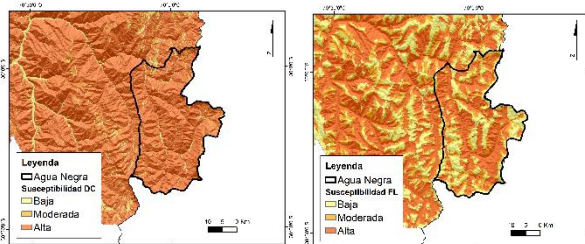


Figura 5. Mapa de susceptibilidad de generación deslizamientos y caídas (izq.) y de flujos de detritos (der.) Extraído y modificado de Mapa de Peligro de Remociones en Masa sector norte de la región de Coquimbo (Alfaro *et al.*, 2018). Polígono negro corresponde limite de la cuenca de sector La Chapetona.

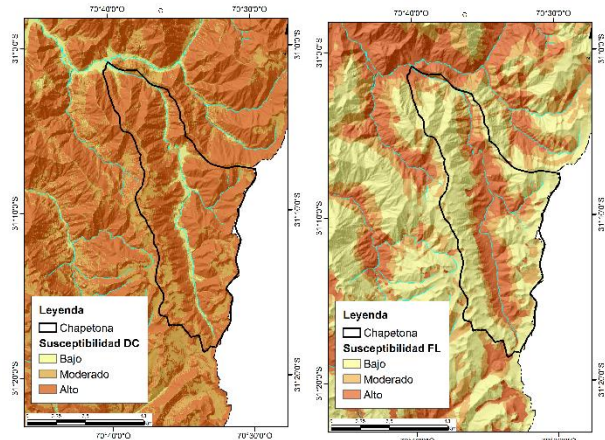


Figura 6. Mapa de susceptibilidad de generación deslizamientos y caídas (izq.) y de flujos de detritos (der.) Extraído y modificado de Mapa de Peligro de Remociones en Masa en el sector sur de la región de Coquimbo (Brant *et al.*, 2023). Polígono negro corresponde límite de la cuenca de sector La Chapetona.

### 3.3 Catastro de remociones en masa

Basado en los informes de Sernageomin y en Alfaro *et al.* (en prep.), se deja precedente de los eventos registrados como catastro de remociones en masa, los cuales claramente predominan en el Paso Agua Negra (Fig. 7) debido principalmente a la presencia de actividad antrópica, la cual al verse afectada por estos eventos se logran registrar mayormente. Por lo anterior, la mayor cantidad de eventos en la subcuenca de Agua Negra no es comparable con La Chapetona, sin embargo dada las condicionantes favorables del sector podría ser representativo de la susceptibilidad.

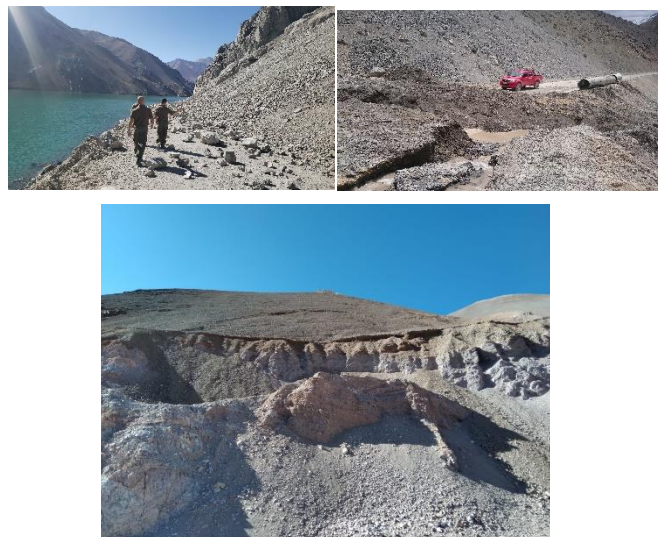


Figura 7. Fotografías de remociones en masa en ruta 41CH, (Garrido, N., 2022)

La ausencia de registro de remociones en masa en el sector de La Chapetona, obedece principalmente a la ausencia de actividad antrópica frecuente en el sector, sin embargo a través de un estudio de detalle de fotointerpretación podría ser posible aumentar el registro histórico de eventos en la zona como lo realizado por Alfaro et al. (en prep.) (Fig. 8), complementando el registro inicial de antecedentes bibliográficos.

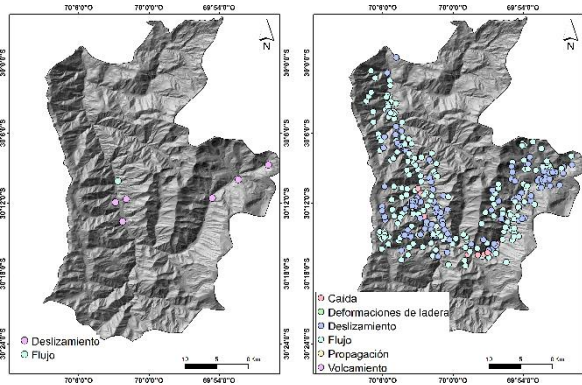


Figura 8. (Izq.) Catastro de Remociones en Masa extraído y modificado de Mapa de Peligro de Remociones en Masa sector norte de la región de Coquimbo (Alfaro *et al.*, 2018). (Der.) Catastro e Remociones en masa en sector Agua Negra complementado con registro fotointerpretado histórico, extraído de Alfaro *et al.*, (en prep.).

Según Alfaro (2023), en el sector de la subcuenca de Agua Negra existe una influencia glacial y criogénica en los procesos de remociones en masa, las geofomas criogénicas se ubican a partir de los 4.000 m s.n.m. (Fig. 9) condiendo con las alturas promedio anual de isoterma 0°, contexto asociado principalmente hacia el sector oriental de la subcuenca. Asumiendo este análisis para la cuenca de la Chapetona, los valores máximos de altura no superan los 3.890 m s.n.m. aproximadamente, lo que implica menor influencia de estos procesos sobre eventos de remociones en masa (Fig. 10)

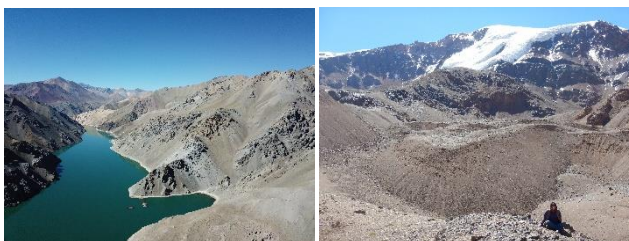


Figura 9. Fotografías del valle del río La Laguna y de glaciar El Tapado del sector Paso de Agua Negra (Fotos Cristina Brantt H.).



Figure 10. Fotografías del valle del río Tascadero del sector La Chapetona (Fotos Google Earth).

## 2 CONCLUSIONES

Finalmente relacionando las características de ambos sectores se concluye que ambas subcuencas poseen condiciones de alta montaña, altamente favorables a generar remociones en masa, sin embargo, comparativamente el sector de La Chapetona presenta menores alturas, menor promedio de pendientes y menor presencia de geofomas glaciares, indicando representar una zona con menor susceptibilidad a generar a remociones en masa que Agua Negra. De todas formas, los altos valores de TWI en el sector sur de la subcuenca del paso La Chapetona, sugieren potenciales zonas de inundación y acumulación de agua.

El catastro de remociones en masa podría ser un factor relevante para validar las condiciones de ambos sectores, sin embargo, el escaso registro de eventos en el valle del río Tascadero del paso La Chapetona, no permite generar esta validación ni su comparación.

El paso Agua Negra presenta estructura habilitada como paso Fronterizo, habilitar las condiciones para vehículos de mayor envergadura y mayor tráfico, resulta una inversión económica considerable, ya que se debe implementar medidas de mitigación y mantención para procesos de remociones en masa que presentan una recurrencia e intensidad no menor.

La implementación del paso La Chapetona, debería considerar además la afectación a un sector rural y de comunidades, y sus medidas de mitigación, deberían ser asociadas principalmente a potenciales flujos de detritos y zonas inundables. Sin embargo, es necesario generar un estudio de catastro histórico de remociones en masa basado en fotointerpretación para identificar el tipo y la frecuencia de estos eventos, para contar con una prevención efectiva.

Debido a que estas decisiones son políticas y económicas, el alcance de este estudio es un primer acercamiento a las potenciales condiciones que presentan ambas zonas y aportar en su mitigación.

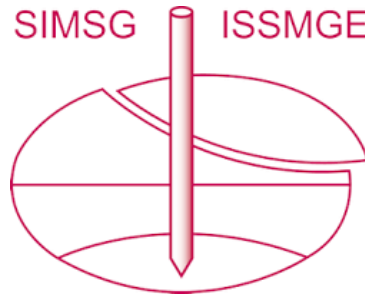
## 3 AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Unidad de Peligros Geológicos y Ordenamiento Territorial de Sernageomin y a la sede regional de Coquimbo de Sernageomin.

#### 4 REFERENCIAS

- Alfaro A. (en preparación). Mapa de Remociones en Masa sector Paso Agua Negra. Escala 1:50.000, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Alfaro A. 2023. Influencia Glaciar y Criogénica en los procesos de remoción en masa de la alta cordillera del Vall del Elqui, subcuenca del río Colorado, Región de Coquimbo. Tesis de Magister en Ciencias Mención Geología. Universidad de Chile.
- Alfaro A.; Brantt C.; Pantoja G. 2018. Peligro de remociones en masa en la región de Coquimbo-sector norte. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-18-68: 52 p.
- Brantt C; Pantoja G.; Muñoz A. 2021. Peligro de remociones en masa en el sector sur de la región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-21-88:107p.
- Brantt C; Pantoja G; Muñoz A. 2020. Metodología para evaluar susceptibilidad de remociones en masa a escala regional. Caso de estudio: sector sur de la región de Coquimbo, Chile. XXI Congreso Geológico Argentino. Puerto Madryn, Chubut – Septiembre 2020.
- Garrido N. 2022. Evidencias de remoción en masa en el km 225 de la ruta 41 CH sector Paso Agua Negra, región de Coquimbo, Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe técnico (Inédito): 17 p. Santiago.

# INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



*This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:*

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

*This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.*

*The paper was published in the proceedings of the 17th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVII PCSMGE) and was edited by Gonzalo Montalva, Daniel Pollak, Claudio Roman and Luis Valenzuela. The conference was held from November 12<sup>th</sup> to November 16<sup>th</sup> 2024 in Chile.*