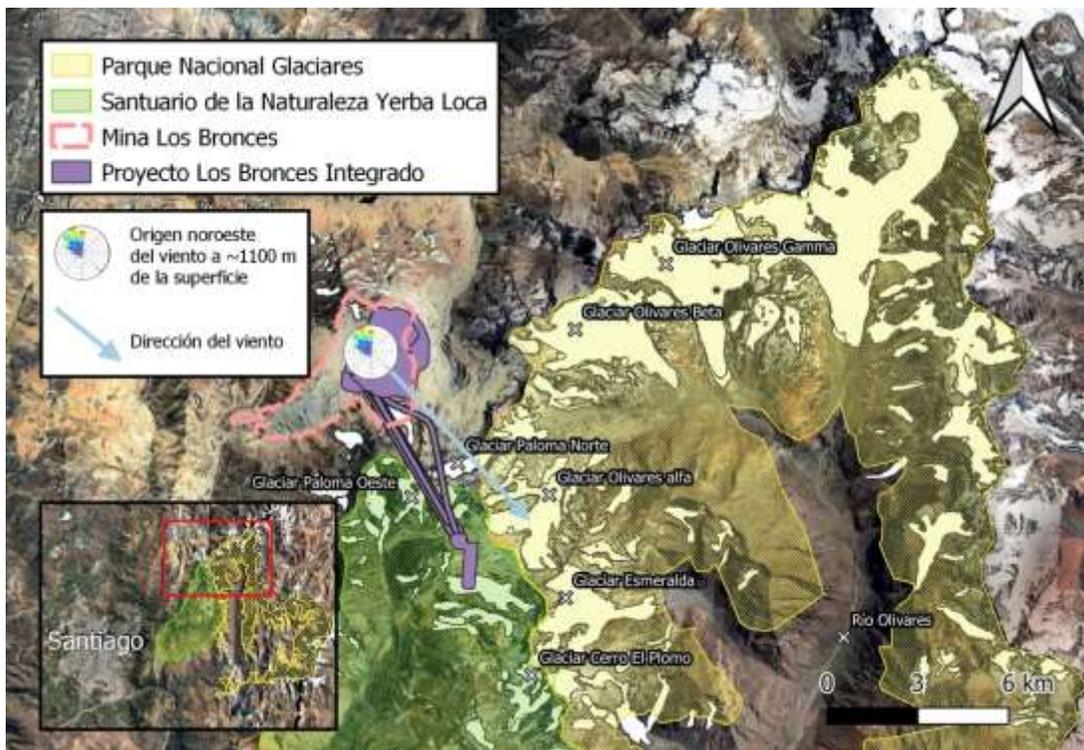


**MINUTA**

**LOS IMPACTOS SOBRE GLACIARES DEL PROYECTO LOS BRONCES INTEGRADO QUE ANGLO AMERICAN EXCLUYÓ DE SU ÁREA DE INFLUENCIA**



Abril 2022

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....</b>	<b>3</b>
<b>AUSENCIA DE MEDICIÓN DEL VIENTO EN ALTURA .....</b>	<b>6</b>
<b>NUEVOS ANTECEDENTES CIENTÍFICOS SOBRE CAMBIOS EN LOS GLACIARES OLIVARES Y SU ORIGEN ANTRÓPICO .....</b>	<b>6</b>
<b>DATOS DE VIENTO DEL YACIMIENTO ANDINA DE CODELCO .....</b>	<b>7</b>
<b>INCONSISTENCIAS EN LA DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA .....</b>	<b>8</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>9</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES .....</b>	<b>11</b>
<b>INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA .....</b>	<b>14</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>15</b>

## INTRODUCCIÓN

Distintas publicaciones científicas y antecedentes recopilados por investigadores y montañistas expuestos en esta minuta, permiten constatar que el área de influencia del Proyecto Los Bronces Integrado de la empresa Anglo American debe extenderse e incluir al menos los glaciares blancos Olivares Alfa y Paloma Norte, por el potencial impacto en su derretimiento asociado al material particulado y polvo mineral trasladado desde la mina a causa de vientos de superficie y de altura, estos últimos, no considerados en las mediciones del titular.

## ANTECEDENTES DEL PROYECTO

En el marco del proceso de evaluación ambiental del Proyecto Los Bronces Integrado, la empresa Anglo American Sur S.A. presenta una serie de antecedentes y definiciones relativas al impacto sobre los glaciares que, al contrastarlas con otros datos y líneas de base provenientes de investigaciones científicas y proyectos mineros en la zona, permiten identificar una serie de inconsistencias que deben ser revisadas exhaustivamente tanto por el Servicio de Evaluación Ambiental, como por el propio titular del proyecto.

En el [Anexo Adenda PAC Parte 2 de 3](#), de septiembre 2020, parte del expediente del proyecto, así como también en variadas instancias a lo largo del proceso de evaluación ambiental, el titular señala que **los glaciares de la microcuenca Olivares y de la microcuenca Estero Yerba Loca, quedan fuera del área de influencia del proyecto.**

En ese documento, así como también en la [Adenda Complementaria de noviembre 2021](#), el titular afirma que **en el área donde se concentran las fuentes de emisión de Los Bronces, el viento es predominante desde el Noreste, proyectando primariamente la pluma de dispersión en dirección hacia el suroeste**, como se manifiesta en el Anexo CyM-1 de la Línea Base para la Estación Los Bronces, aseverando también que **la pluma de dispersión de contaminantes atmosféricos no se transporta en la dirección del glaciar Olivares Alfa.**

En esa misma Adenda Complementaria de 2021, el titular expone que **el área de influencia se encuentra definida por los niveles de vibración y no por el material particulado en suspensión.**

De esta forma, Anglo American descarta realizar estudios, mediciones o modelaciones en los glaciares de la cuenca Olivares y más específicamente en los Glaciares Olivares Alfa y Paloma norte.

En la Adenda anteriormente mencionada se presenta **evidencia fotográfica** del proyecto “NUNATAK-CHILE”, Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), 2014, y del informe “Criósfera de la Cuenca del Río Mapocho: Hielos en Peligro”, que **muestra el transporte de partículas contaminantes a los sistemas glaciares y periglaciares colindantes a Los Bronces, indicándose que los impactos negativos de la actividad minera sobre los glaciares, trascienden ampliamente los límites determinados por el titular**, toda vez que los glaciares colindantes a las faenas superficiales del proyecto son evidentemente impactados. Además, en dicho documento se aporta evidencia científica de que **los glaciares ubicados en un radio de 9 km o más, presentan alteraciones en su composición superficial que se asocian directamente a la actividad minera, como es el caso del glaciar Olivares Alfa.**

A la evidencia fotográfica comentada, **se agrega** la siguiente (fotografías tomadas en un área cercana a la cumbre del cerro La Paloma). (Figuras 1 y 2):



Figuras 1 y 2: Material Particulado (MP) transportado por viento noroeste desde el sector de Los Bronces/Andina hacia el sureste, justamente transportando MP a la zona del Glaciar Paloma Norte (en las fotos) y por el flanco que conecta las cuencas del Río Blanco y Río Olivares.



Figura 3. Foto tomada hacia el Filo que separa el sector minero de la alta cuenca del Río Blanco y comunica con Glaciar Paloma Norte y Olivares Alfa.



Figura 4. Foto aérea en aproximación a la parte suroriente de las faenas mineras extractivas (Caracterización glacioquímica de elementos traza en muestras de nieve, CETAM- UTFSM, 2014)

En cuanto a la distancia de glaciares blancos al centro de la mina de Los Bronces, la figura 5 muestra que el glaciar Paloma Norte se encuentra a 4,9 km y el glaciar Olivares Alfa a 7,7 km. El lugar de túnel de acceso, ventilaciones y extracción de mineral del proyecto Los Bronces Integrado, se encuentra emplazado en las inmediaciones de la actual Mina de Los Bronces.



Figura 5: Distancia desde Los Bronces a glaciares blancos Paloma Norte y Olivares Alfa

## AUSENCIA DE MEDICIÓN DEL VIENTO EN ALTURA

El titular realiza mediciones en la Estación Los Bronces a 10 metros de la superficie, determinando que los vientos provienen del noreste, **pero sin considerar la dirección del viento a mayores alturas.**

**El material particulado y Black Carbon (BC) levantado en superficie por vientos del noreste, sería posteriormente trasladado hacia el sureste por vientos noroeste a mayor altura, con una potencial afectación (contaminación, oscurecimiento y modificación del albedo) de los glaciares blancos Olivares Alfa y Paloma Norte, entre otros, de las cuencas del río Olivares y estero Yerba Loca.**

La propia topografía de estos cajones montañosos, generan condiciones locales de vientos ascendentes y descendentes, que desencadenan direcciones y velocidades de vientos diferentes a los medidos en superficie (como lo hizo el titular del proyecto), tanto a altura de pasos cordilleranos, cumbres y sobre ellas. En definitiva, el titular solo se remite a estudios de vientos en superficie, sin considerar una modelación más completa y sistémica que permita conocer las trayectorias de vientos y traslado de material particulado y BC.

## NUEVOS ANTECEDENTES CIENTÍFICOS SOBRE CAMBIOS EN LOS GLACIARES OLIVARES Y SU ORIGEN ANTRÓPICO

Una muy reciente publicación científica titulada [“Anthropogenic influence on Surface changes at the Olivares Glaciers; Central Chile”, 2022](#), liderada por Martina Barandun del Instituto Paul Scherrer de Suiza junto a un grupo de destacados científicos, ha demostrado de forma contundente, tras realizar muestreos en terreno sobre los glaciares y posterior análisis químico y de propiedades mineralógicas en laboratorio, que deposiciones de partículas de polvo (con fuerte capacidad de absorción lumínica) han sido movilizadas desde depósitos de desechos y/o relaves mineros hasta los glaciares Paloma Norte y Olivares Alfa.

El estudio plantea también que estas partículas podrían estar acelerando la pérdida de masa promedio de esos mismos glaciares, los cuales manifiestan **pérdidas de masa significativamente mayores** a otros glaciares de la cuenca. Es decir, **la causa de su mayor derretimiento escapa a efectos naturales y del propio cambio climático, sino que también tiene componentes locales y antrópicos que lo exacerban.**

Las partículas de polvo encontradas incluyen Black Carbon, polvo mineral (Warren, 1980) y minerales como la **jarosita y breccia**, además de elementos traza (Cu, Mo, Pb y S) en cantidades (altas) que indican fuentes no naturales (origen antrópico).

Importante la mención que hace esta publicación, al señalar que la jarosita puede ser transportada a los glaciares mencionados exclusivamente por el Viento, dado que en las inmediaciones o sobre el glaciar no puede formarse en condiciones naturales (en la cuenca Olivares), dado que ambientes húmedos y el PH del agua derretida no lo permiten.

## DATOS DE VIENTO DEL YACIMIENTO ANDINA DE CODELCO

En el marco del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto "Adecuación Obras Mineras de Andina para Continuidad Operacional Actual" de CODELCO, elaborado por ARCADIS y CECS, específicamente en el apartado [11. Capítulo 3.11 Glaciares](#) de su Línea de Base, se entregan antecedentes sobre la dirección y comportamiento de los vientos en la zona. En la página 26, se señala que *"respecto de la estacionalidad de los vientos en el Área de Influencia se destaca que el **viento del oeste es predominante durante todo el año**, y con mayor intensidad durante los meses de invierno. Próximo a la ladera occidental de los Andes, el viento adquiere una componente norte producto del bloqueo mecánico que produce la cordillera al flujo del oeste en altura. Por ende, la **componente sinóptica predominante del viento sobre la cuenca alta del río Blanco y Olivares proviene del Oeste-Noroeste**",* lo cual confirma que los glaciares Paloma Norte y Olivares Alfa podrían estar siendo afectados por el polvo y deposiciones industriales y mineras, y Black Carbon trasladados por el viento desde el Área del proyecto Los Bronces Integrado y del yacimiento Los Bronces (ubicadas justamente en dirección Oeste y Noroeste).

En el mismo informe de CODELCO se señala que *"se analizó el régimen estacional de los vientos en superficie con las estaciones meteorológicas instaladas en la zona. Las estaciones cerca de los glaciares muestran un predominio de un régimen catabático (descendente) con mayor intensidad de vientos durante los meses de junio a agosto. Diferente es la situación en el glaciar Olivares Alfa, que, si bien presenta un régimen catabático con mayor intensidad durante el invierno, el viento desde el norte (ascendente) es importante a lo largo del año. Sin embargo, estaciones ubicadas en cotas más altas y que quedan expuestas al viento sinóptico, presentan **vientos predominantes desde el oeste-noroeste**, como es el caso de la estación Olivares Beta..."*.

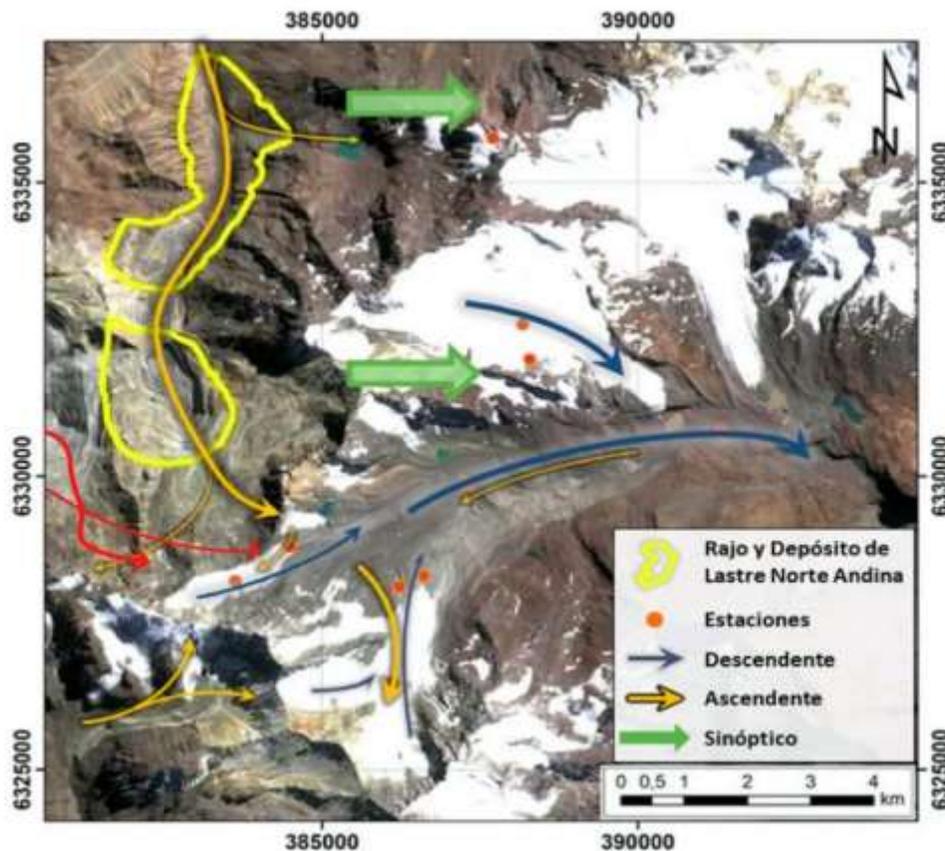


Figura 6: Imagen modificada, obtenida del Estudio de Glaciares Anexo 3.11 A (CECS): “Esquema Conceptual de Vientos en la Cuenca Alta del Río Olivares y Río Blanco, Coordenadas UTM19S”. Fuente: ANDINA, CODELCO, 2019. Se agregó con flechas rojas posibles direcciones de vientos ascendentes (siguiendo la topografía) e influenciadas por el viento de altura (Sinóptico) de componentes oeste/noroeste originados en la zona de Los Bronces.

### INCONSISTENCIAS EN LA DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

A partir de la información expuesta, es posible identificar que **el área de influencia del proyecto no estaría correctamente definida, la cual debiese incorporar los glaciares de la microcuenca Olivares y microcuenca Estero Yerba Loca**, considerándose los glaciares Olivares Alfa, Paloma Norte y otros glaciares. Tras ello, es preciso evaluar el impacto y consecuencias sobre dichos glaciares, especialmente sobre la ablación y la velocidad de pérdida de masa, así como sobre la disponibilidad futura de agua de origen glaciar para la región Metropolitana. Es fundamental recurrir a este análisis y ampliar la zona de influencia, considerando que parte de estos glaciares se sitúan al interior del nuevo **Parque Nacional Glaciares de Santiago**, que corresponde a la categoría de mayor protección del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE).



Las rosas de los vientos fueron calculadas usando todos los datos horarios simulados en el verano del 2017. (El año 2017 fue elegido por el titular como año base de estudio de línea de base meteorológica y de calidad de aire).

La figura 8 muestra la rosa de los vientos sobre Los Bronces, Andina y sobre el glaciar Olivares Alfa, **en donde se observa presencia de viento noroeste a 10 metros sobre la superficie en el glaciar Olivares Alfa.**

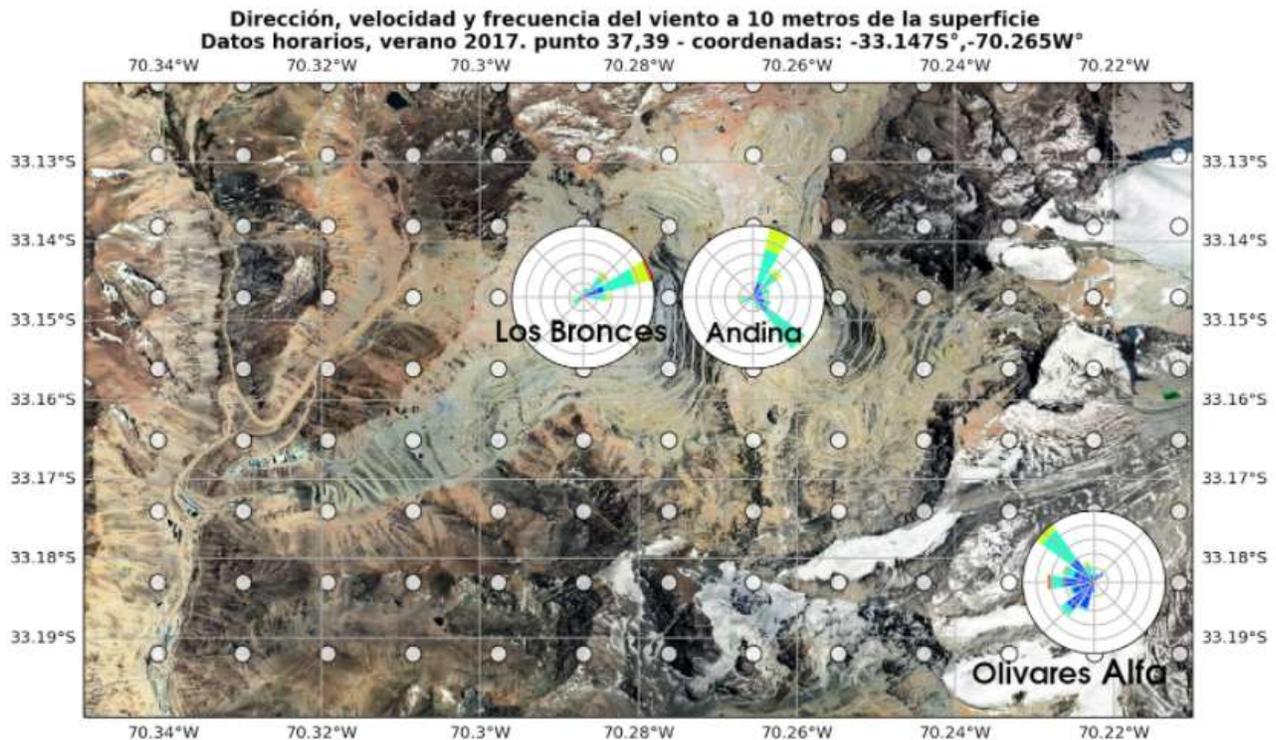


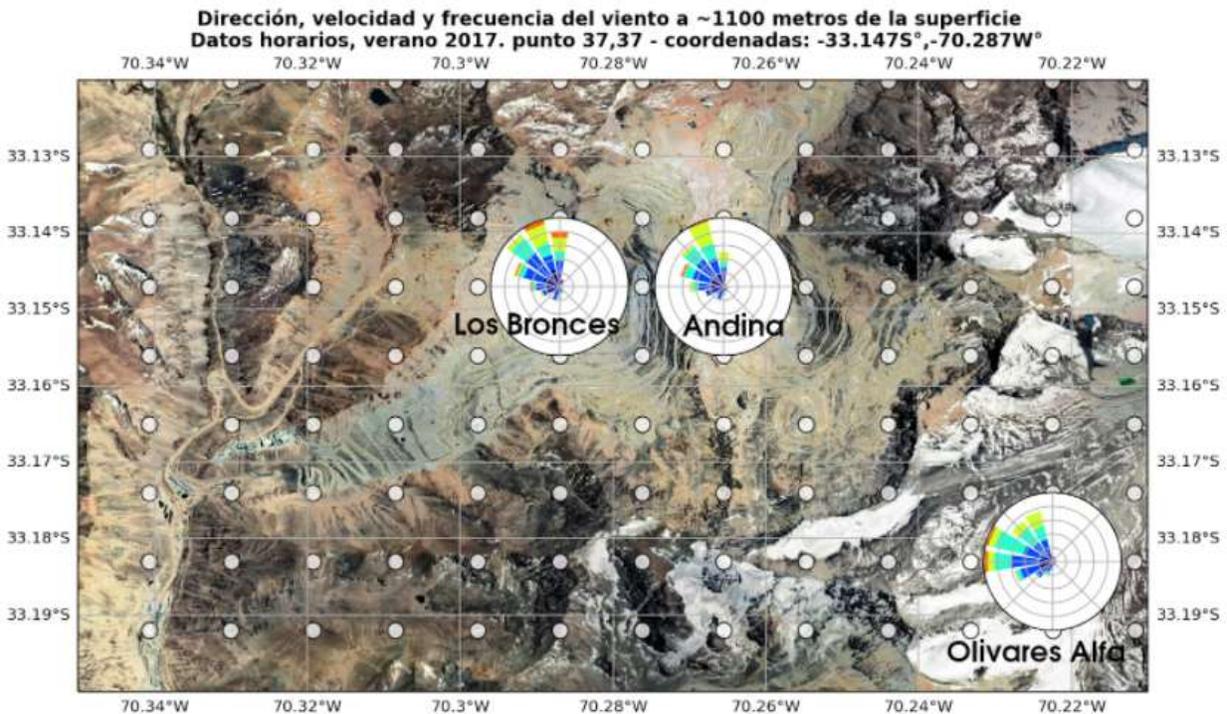
Figura 8. Viento a 10 metros de la superficie, usando datos horarios calculados por WRF para el verano del 2017. (Elaboración: Camilo Márquez, Geofísico UdeC)

**Se observa presencia de viento noroeste en altura, desde el nivel 17 o 700 metros de altura sobre el nivel de la superficie, este viento noroeste comienza a ser más intenso a medida que nos alejamos de la superficie, estando de acuerdo con el viento noroeste predominante en altura en estas latitudes.** Este viento fue descrito por José Rutllant (Rutllant, J., 1983a). En la publicación, “Episodes of strong flow down the western slope of the subtropical Andes” explican brevemente la naturaleza de este viento producido por bloqueo de la cordillera. Cita textual:

*“At the coastal radiosonde station of Quintero, average winds in the free atmosphere near the top of the Andes (5 km) present a year-round dominance of the WNW direction (Rutllant 1983a). Below that level the northerly wind component strengthens in response to the mechanical blocking of the flow by the Andes. Previous observations in the same area (Rutllant 1983a, b; Kalthoff et al. 2002) show that close to the mountains these **NW winds** may often present a jetlike structure (“barrier jet”) that results from the damming of a statically stable incoming westerly flow against the Andes and the subsequent slope overpressure and geostrophic adjustment (Schwerdtfeger 1975; Parish 1982)”.*

De acuerdo a la referencia de Rutllant, la simulación de vientos realizada estaría describiendo este viento a medida que nos separamos de la capa límite de la cordillera.

La componente noroeste es ya clara desde los 1100 m sobre la superficie, que corresponde a aproximadamente 4500-4600 metros sobre el nivel del mar, que es también la altura aproximada del filo o paso cordillerano que une la cuenca del Río Blanco (por el norte) y la alta cuenca del Olivares, por el sureste.



### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

1. Presencia del viento noroeste en superficie en el glaciar Olivares Alfa.
2. Ausencia del viento noroeste en superficie sobre la mina Los Bronces, pero presencia del viento noreste que levanta el material particulado, polvo mineral y Black Carbon.
3. Presencia del **viento noroeste** desde los 700 metros sobre el nivel de superficie en la mina Los Bronces y su proyecto Los Bronces Integrado (acceso túneles y chimeneas explotación subterránea y zona de rajo abierto). A medida que se gana altura la componente noroeste y Oeste va aumentando, lo que confirma la información de CODELCO, de un viento sinóptico de predominio oeste.
4. Ausencia total de un estudio enfocado en los **vientos en altura** por parte del titular.

5. Riesgo potencial de arrastre de contaminantes, Black Carbon, polvo mineral y material particulado en general desde las minas Los Bronces y el proyecto Los Bronces Integrado, hacia los glaciares al sureste de las minas por la presencia de viento noroeste en altura, como Glaciares Olivares Alfa, Paloma Norte, Paloma Sur y Altar Sur, entre otros.
6. Particularmente preocupante son las tronaduras, el polvo de depósitos minerales /relaves y emisiones de motores y móviles, ductos de ventilación y salidas de túneles de extracción mineral, desde donde la dispersión de contaminantes puede superar la altura de la capa límite, siendo arrastrados a la cuenca glaciar del Río Olivares, que **actualmente el titular considera FUERA DEL ÁREA DE INFLUENCIA.**
7. Fotografías confirman el paso de material particulado proveniente del sector minero. La figura 10 muestra un perfil altitudinal del filo rocoso que separa la mina los Bronces, el proyecto Los Bronces Integrado y Minera Andina con los glaciares aledaños, y directamente con el glaciar Paloma Norte a la izquierda de la imagen. Los vientos en altura pueden cruzar por este filo rocoso hacia los glaciares blancos Paloma Norte y Olivares Alfa. La trayectoria final de los vientos en estos contrafuertes cordilleranos, presentan una clara influencia de la topografía del lugar, por ejemplo, en el valle del Río Blanco, se encuentra una tendencia "Ascendente", que irremediablemente en la medida que ascienda irá sumando la componente de dirección de los vientos de altura.

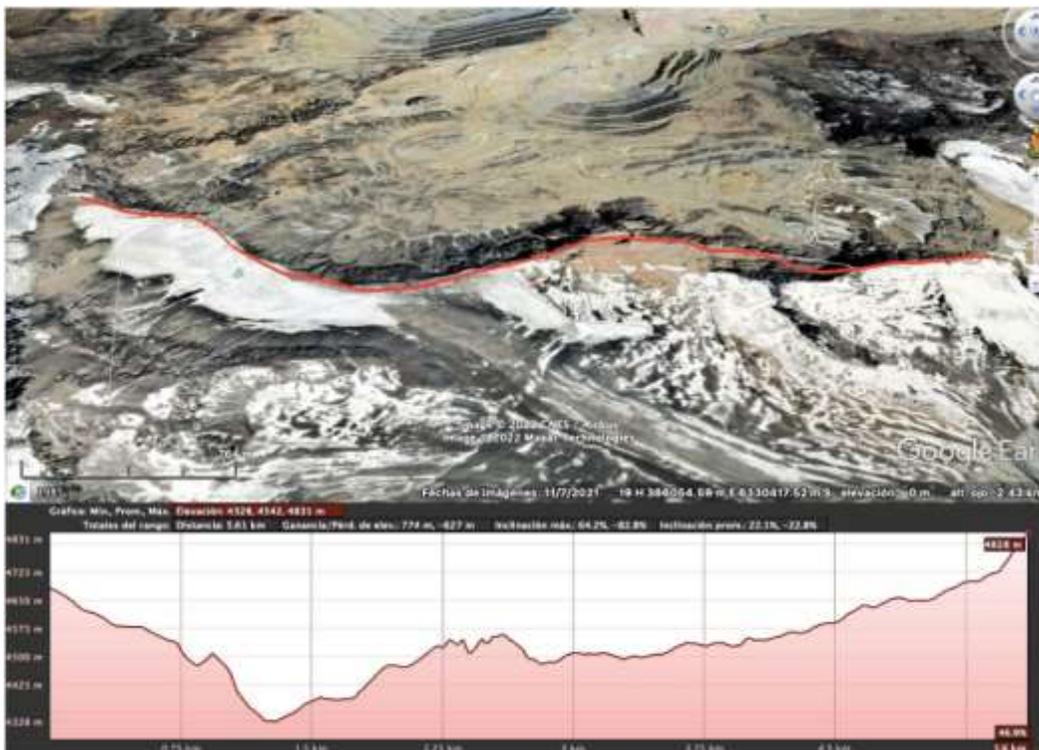


Figura 10. Perfil altitudinal del filo rocoso que separa la mina con los glaciares aledaños de la cuenca del Río Olivares.

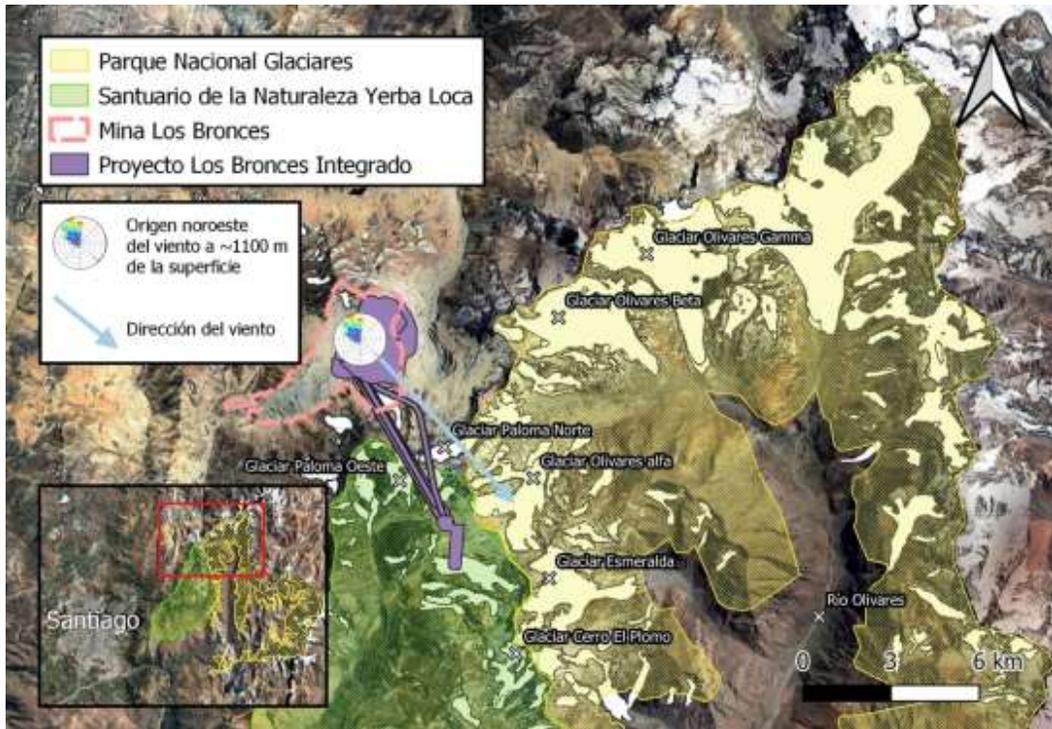


Figura 11. Vientos de altura podrían estar transportando material particulado que se levanta en la zona de Los Bronces en superficie hacia los glaciares Olivares Alfa y Paloma Norte, entre otros, ubicados en el Parque Nacional Glaciares de Santiago.

8. Se manifiesta ausencia de datos públicos de viento en la zona para el periodo estudiado. Estos datos deberían ser de libre acceso para permitir realizar un análisis de incertidumbre.
9. Se sugieren toma de observaciones tipo radiosondeo, LIDAR o SODAR, durante una campaña de observación intensiva que permita observar el perfil vertical de vientos y estudiar la altura de la capa límite cordillera, para poder concluir sobre el impacto de este en los glaciares.
10. El titular debiese realizar una modelación de viento en altura, y considerar diferentes meses o periodos del año. La condición de verano difiere de la de otoño/invierno según patrones meteorológicos de la zona cordillerana.
11. **El área de influencia del proyecto Los Bronces Integrado debe ser ampliada, incluyendo al menos los glaciares Olivares Alfa, Paloma Norte, Altar Sur y Paloma Sur y Oeste. Situación particularmente importante en vista del escenario de cambio climático y consecuente estrés hídrico en la región Metropolitana, y considerando que algunos de los glaciares potencialmente afectados, como Olivares Alfa, se encuentran dentro del nuevo Parque Nacional Glaciares de Santiago (Ver figura 11).**

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

A continuación, un trabajo recientemente publicado, donde se presenta trayectorias de viento en un caso (a) de la Región Metropolitana, a algunos kilómetros del proyecto minero.

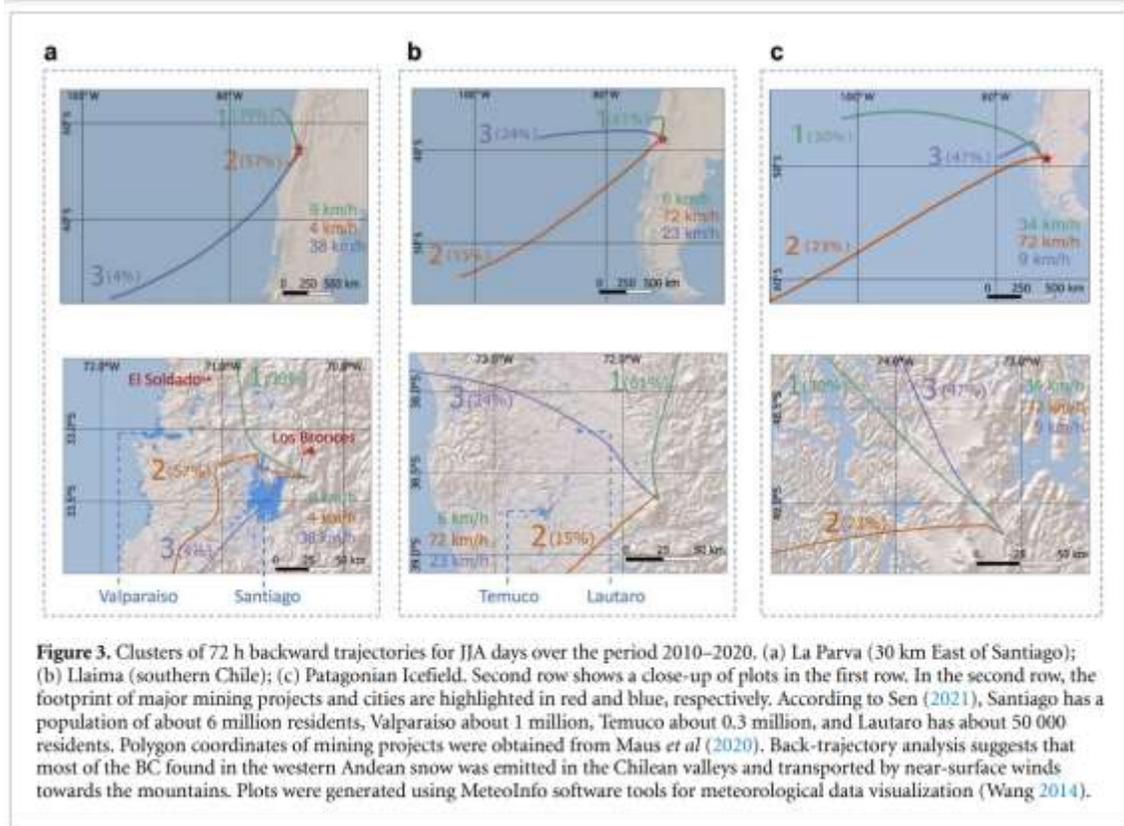


Figura 12. Modelación de las trayectorias de vientos y aerosoles atmosféricos, según modelo “hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory”. Extracto del artículo “black carbon in the southern andean snowpack” (cordero, r.r. 2022 . Revista environ. Res. Lett. N° 17).

## BIBLIOGRAFÍA

- Barandun M., Bravo C., Grobety B., *et al.*, Anthropogenic influence on surface changes at the Olivares glaciers; Central Chile, *Science of the Total Environment* (2021), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155068>
- Cereceda, F. CETAM-UTFSM, 2014. Caracterización glacioquímica de elementos traza en muestras de nieve.
- Codelco Chile, División Andina. Estudio de Impacto Ambiental. Adecuación Obras Mineras de Andina para Continuidad Operacional Actual. (<https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=98/af/489047648e6d57df8d21750bbb6006f0ceff>)
- Kalthoff, N., Bischoff-Gauß, I., Fiebig-Wittmaack, M., Fiedler, F., Thürauf, J., Novoa, E., Pizarro, C., Castillo, R., Gallardo, L., Rondanelli, R., & Kohler, M. (2002). Mesoscale Wind Regimes in Chile at 30°S, *Journal of Applied Meteorology*, 41(9), 953-970.
- Parish, T., 1982: Barrier winds along the Sierra Nevada mountains. *J. Appl. Meteor.*, 21, 925–930.
- Rutllant, J., & Garreaud, R. (2004). Episodes of strong flow down the western slope of the subtropical Andes. *Monthly Weather Review*, 132(2), 611-622.
- Rutllant, J., 1983a: Vientos de barrera en los Andes de Chile Central (Barrier winds in the Andes of central Chile). *Frontera*, 1, 49–52. [Special issue in Spanish, available from R. Garreaud.]
- Schwerdtfeger, W., 1975: The effect of the Antarctic Peninsula on the temperature regime of the Wedell Sea. *Mon. Wea. Rev.*, 103,45–51.