

**SUPERINTENDENCIA DE MEDIO AMBIENTE  
DIVISIÓN DE SANCIÓN Y CUMPLIMIENTO  
PROCESO SANCIONATORIO ROL D-011-2015**



**EN LO PRINCIPAL: TENGASE PRESENTE; OTROSÍ: ACOMPAÑA DOCUMENTOS**

Sr. Bastián Pastén Delich,  
Fiscal instructor suplente.

**María Elena Ugalde Castillo y Álvaro Toro Vega**, abogados habilitados para el ejercicio de la profesión, domiciliados para estos efectos en calle Sotero del Río 326 of 602, comuna de Santiago en representación, de los interesados y afectados de la comunidad en el proceso sancionatorio **D-011-2015**, venimos en solicitar se tengan presentes en el proceso sancionatorio los antecedentes que aquí señalamos:

El día viernes 16 de Octubre, se filtra por parte de Greenpeace Chile un informe del Plan de Monitoreo de Glaciares elaborado por el Centro de Estudios Científicos (CECs), titulado "Informe de Excedencia del Límite 2 del Índice A, Glaciar Guanaco y Glaciarete Esperanza, Año Hidrológico 2014-2015", fechado en septiembre de 2015, que se acompaña en esta presentación. En este documento se presenta una sección de monitoreo fotográfico de los cuerpos de hielo; sección en la cual se describe una visita al glaciar Esperanza en marzo de 2015 donde, "producto de la fuerte ablación aparecieron varios elementos inusuales entre los penitentes del glaciarete: tubos galvanizados, fierros, tubos de PVC y coligües, tambores de combustible, sacos de cemento y carbón, plásticos de diversa índole, materiales de trabajo (ropa, guantes, etc.), latas vacías de aceite, bolsas de basura, botellas de plástico, entre otros (...)" (pág. 27).

El mencionado CECs afirma que no existe un registro histórico respecto de la procedencia de estos elementos, sin embargo, estima que tienen una data mínima de 10 años. Por su parte, la empresa Barrick aceptó el hecho por medio de una declaración pública el 16 de Octubre de 2015, tras la cual, aparte de confirmarse el incumplimiento de la RCA con respecto a la protección y cuidado de los glaciares, se constata nuevamente que la empresa esconde información a la autoridad acerca del Plan de Monitoreo de Glaciares impidiendo y dificultando el trabajo de la autoridad ambiental fiscalizadora ya que teniendo en su poder dicha información no lo entregó oportunamente.

Como usted sabe, lo anterior fue difundido en diversos medios de prensa nacional y puesto en su conocimiento por Greenpeace Chile. Queremos hacer presente que CMN SpA tiene bajo su control absoluto el territorio que contiene a los glaciares afectados desde agosto del año 2004, al firmarse el Tratado Binacional Minero, siendo esta empresa, en el marco del proyecto Pascua Lama, la única que ha intervenido el Glaciar Guanaco y el Glaciar Esperanza.

Pedimos, en el marco del proceso sancionatorio, que estos antecedentes se tengan a la vista al ponderar las infracciones y las consecuentes sanciones, particularmente al aplicar los artículos 36 y 40 de la LOSMA.

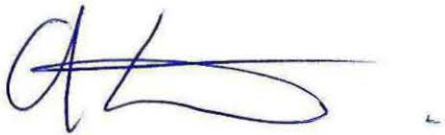
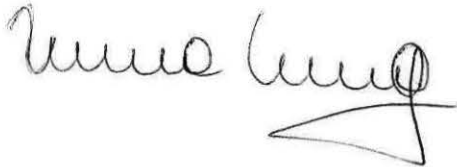
**POR TANTO,**  
Solicitamos a US. tener presentes estos antecedentes.

**OTROSÍ: ACOMPAÑA DOCUMENTOS**

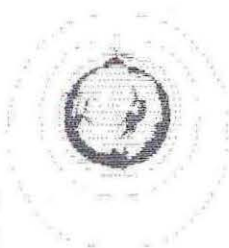
Se acompaña:

1. Copia del Informe del Centro de Estudios Científicos (CECs), titulado "Informe de Excedencia del Límite 2 del Índice A, Glaciar Guanaco y Glaciarete Esperanza, Año Hidrológico 2014-2015".
2. Copia del sitio web de Radio ADN, de fecha 16 de octubre de 2015, dando cuenta de la noticia.

**POR TANTO,**  
Solicito a US. tener por acompañados.



**CECs**  
CENTRO  
DE ESTUDIOS  
CIENTÍFICOS



**INFORME DE EXCEDENCIA DEL LIMITE 2  
DEL INDICE A, GLACIAR GUANACO Y GLACIARETE  
ESPERANZA  
AÑO HIDROLÓGICO 2014-2015**

Preparado por Centro de Estudios Científicos para Compañía Minera Nevada

**Francisca Bown**, MSc. en Geografía.

**Daniela Carrión**, Geógrafa.

**Claudio Bravo**, MSc. en Geofísica.

**Jorge Hernández**, Ingeniero Geomensor.

**Camilo Muñoz**, Licenciado en Geografía.

**Jorge Correa**, Geólogo.

**Andrés Rivera**, Glaciólogo Senior, Director de Proyecto.

Valdivia, Septiembre 2015

## **Limitaciones**

Este informe ha sido preparado por el Centro de Estudios Científicos (CECs) para la Compañía Minera Nevada S.p.A. (CMN) en el marco del Contrato N° NEVA-1302SC, "Asesoría e implementación del plan de monitoreo de Glaciares", celebrado entre el CMN y el CECs, y de acuerdo a los datos disponibles a la fecha. El CECs se desliga de la responsabilidad producto de decisiones o acciones por parte de CMN, la autoridad ambiental o terceras partes, basadas en el eventual uso de este informe. Excepto por el uso de este informe para los fines propios de CMN y para su eventual entrega a la autoridad ambiental, cualquier otro uso de este informe o parte de él a través de cualquier forma, incluyendo la vía impresa o en medios electrónicos, está sujeto a la aprobación por escrito por parte del CECs.

## Resumen ejecutivo

El presente informe tiene por objetivo analizar antecedentes geodésicos, meteorológicos, metodológicos y operacionales nuevos, así como algunos parcialmente reportados en informes previos, de modo tal que sea posible evaluar la excedencia durante el período 2014-2015 para el glaciar Guanaco y el glaciarete Esperanza del límite 2 del índice A del programa de balance de masa anual establecido en el PMGv3.

La excedencia del límite en cuestión, fue reportada en el informe anual CECs [2015a], e implica que el plan comunicacional establecido en el PMGv3 debe iniciarse.

En relación al análisis de la meteorología regional y local, puede concluirse que las condiciones predominantes en Pascua Lama en el período hidrológico 2014-2015 son las de un invierno anómalamente seco y la ocurrencia de temperaturas positivas recurrentes en verano. Estas son las condiciones que mejor explican la evolución de los cuerpos de hielo registrados en el set fotográfico anual, en el cual se observó la rápida desaparición del manto nival y la predominancia del hielo descubierto desde fases tempranas del año hidrológico.

Adicionalmente, se analizan datos topográficos de precisión decimétrica levantados en la zona de estudio en los últimos cuatro años, con el objetivo de evaluar las incertidumbres del balance de masa con el método glaciológico. Se concluye que el método glaciológico tiene incertidumbres de hasta un 30% debido al uso de datos discretos interpolados. En general, se estima que este método sobredimensiona el balance de masa en comparación al método geodésico, de mejor cobertura espacial y precisión.

Una revisión de los registros de los turnos de personal en terreno, permitió confirmar que durante este año no se detectaron tránsitos inusuales de personal ni movilidad de maquinarias que pudieran asociarse a deposición de polvo o remoción de nieve o hielo artificial.

Durante el período 2014-2015 no se detectó efectos de origen antrópico en el comportamiento de los glaciares. En particular, todos los informes del período indican que los índices de albedo no fueron superados, por lo que no hubo una deposición de polvo anómala. Por otro lado, las fotos de cámaras fijas disponibles no evidenciaron actividad antrópica en las zonas de glaciares/glaciaretes.

## Tabla de Contenidos

Limitaciones.....	2
Resumen ejecutivo .....	4
1 Introducción .....	6
2 Desarrollo.....	7
2.1 Balance de masa.....	7
2.2 Meteorología sinóptica y local .....	10
2.3 Balance de masa geodésico .....	15
2.4 Monitoreo fotográfico de cuerpos de hielo.....	25
2.4.1 Glaciarete Esperanza .....	25
2.4.2 Glaciar Guanaco.....	30
2.5 Análisis de operaciones en terreno .....	33
3 Discusión y Conclusiones.....	36
4 Referencias.....	38

## 1 Introducción

Como ha sido lo usual por más de una década y dando cumplimiento al plan de monitoreo glaciar vigente para la zona de Pascua Lama (PMGv3), en el pasado mes de julio se dieron a conocer los resultados del balance de masa 2014-2015 para el conjunto conocido de los 7 cuerpos de hielo [CECs, 2015a].

En el PMGv3 se describen una serie de indicadores y valores límite respectivos para el programa de balance de masa, los que constituyen el umbral a partir del cual se considera que el balance de masa resultante puede estar influido por actividades antrópicas. De estos índices destaca el "A" donde la excedencia de su límite 2 gatilla el Plan comunicacional que debe implementar CMN para la autoridad ambiental.

Durante este año hidrológico, se produjo la excedencia del Índice A en su límite 2 tanto en el glaciar Guanaco como en el glaciarete Esperanza. El análisis de esta excedencia es la razón principal de la preparación del presente informe, cuyo objetivo es dar a conocer diversos antecedentes que permitan explicar esta situación.

A continuación se hace una revisión de estos antecedentes, incluyendo una descripción meteorológica exhaustiva al integrar datos regionales con estaciones desplegadas en la zona de estudio. Se presenta la generación de un balance de masa geodésico (datos nuevos generados para este informe), los que permitirán evaluar la incertidumbre del método glaciológico. También se hizo un análisis detallado de los registros fotográficos de los cuerpos de hielo considerados, y finalmente se revisó las fichas de terreno y el plan operacional desplegado por el personal que realiza el monitoreo, con el objetivo de dilucidar las posibles causas de las excedencias detectadas.

Informe de excedencia Índice A (límite 2) Año Hidrológico 2014-2015

Finalmente, en las visitas bimensuales del personal que realiza el monitoreo glaciar, tampoco se detectó actividades que pudieran afectar los glaciares.

En base a lo anterior, se estima que los balances del glaciar Guanaco y glaciarete Esperanza están asociados principalmente a la variabilidad climática interanual. La excedencia del límite en cuestión en estos dos cuerpos de hielo, y no del resto de los glaciares o glaciaretes del área de estudio, se debe probablemente a que el período de comparación (promedio 2002-2009) no expresó plenamente la fuerte sequía experimentada en el área de estudio desde aproximadamente el año 2008, y que si bien cada cuerpo de hielo puede tener respuestas distintas, este año se dieron valores más exacerbadas en Guanaco y Esperanza, sin existir una explicación particular plausible de este hecho.



**Tabla 2-1).** No obstante lo anterior, Guanaco no tuvo el balance de masa más negativo de los glaciares estudiados, puesto que el de Estrecho fue más bajo (-1.3 m eq. a.). Entre los glaciaretos, efectivamente Esperanza tuvo el balance más negativo de todos los estudiados en este proyecto.

En todos los cuerpos de hielo estudiados, los balances de masa puntuales y polígonos Thiessen generados, mostraron una distribución espacialmente aleatoria en ambas estaciones del año (sin relación con gradientes altimétricos o exposición), por lo que se estima que la posición y número de balizas tampoco es un factor diferenciador importante.

Al analizar los balances del período invernal se detectó que todos los cuerpos de hielo tuvieron una baja acumulación, o incluso negativa (ablación en invierno) en el caso de Guanaco (**Figura 2-1 superior**) y Estrecho. Esto ratifica la condición regional de sequedad en este año. En los balances de verano, los resultados muestran fuerte ablación (desde -0.59 hasta -3.92 m eq. a), siendo Ortigas 1 el de valor más negativo entre los glaciares y Esperanza el más negativo entre los glaciaretos (**Figura 2-1 inferior**). Esto confirma las condiciones más cálidas en verano respecto de la serie histórica de la zona, lo que se ratifica al analizar el índice E del balance de masa, donde Guanaco y Estrecho tuvieron una ablación anual que superó sus límites respectivos (lo que no gatilla plan comunicacional).

**Tabla 2-1 Balance de masa 2014-2015 invernal,  $b_w$ , estival,  $b_s$ , y anual,  $\bar{b}_a$ , en cuerpos de hielo Guanaco y Esperanza. Índice A de balance de masa anual se encuentra excedido en sus límites 1 y 2 por ambos cuerpos de hielo (destacados en rojo). Fuente: [CECs, 2015a].**

Cuerpo de hielo	Balance de masa (m eq. a.)			Índice A	
	$b_w$	$b_s$	$\bar{b}_a$	Límite 1	Límite 2
Guanaco	-0.2	-0.93	-1.13	-0.90	-0.95
Esperanza	0.57	-3.92	-3.35	-2.51	-2.64

## 2 Desarrollo

### 2.1 Balance de masa

El método glaciológico aquí empleado para la obtención del balance de masa, se basa en la medición directa por medio de una red de balizas y datos de densidad de la superficie glaciar, enfoque tradicional que es usado en numerosos glaciares de montaña tanto en Chile como en el mundo [Zemp et al., 2009].

Se estima que este método glaciológico es adecuado para comparaciones regionales porque entrega datos útiles y representativos de distintos cuerpos de hielo, sin embargo, es un método que no está exento de errores o incertidumbres, las que pueden llegar hasta un 20-30%, dependiendo de diversos aspectos, como la distribución y representatividad espacial de la red de balizas, la distribución de puntos de muestreo de densidad de nieve, la frecuencia de las mediciones, etc.

Al comparar este método con el método geodésico (comparación de modelos digitales de terreno para obtener el balance de masa anual), se han detectado diferencias que incluso pueden ser mayores al 30%, lo que ejemplifica la importante incertidumbre en este tipo de mediciones [Rivera et al., 2015a].

Puesto que los glaciares, en especial en los Andes Centrales, son sensibles indicadores del clima [Rabatel et al., 2013], las condiciones más secas observadas en los datos meteorológicos y ratificadas por los operadores en terreno, hacían presumir que los balances de masa fueran tanto o más negativos en comparación con años anteriores en la zona de Pascua Lama [Rabatel et al., 2011].

Efectivamente, en el año hidrológico 2014-2015 (1 de abril 2014 a 31 de marzo 2015) los balances resultantes para todos los cuerpos de hielo fueron negativos (entre los -0.42 y los -3.35 m eq. a.), condición que ha sido recurrente desde el inicio de las mediciones en el año 2002-2003. Estos valores negativos han sido coincidentes con una reducción de área de la mayoría de los cuerpos de hielo, algunos de los cuales han experimentado un progresivo recubrimiento (Toro 1 y Toro 2). En términos de área, Guanaco es el de mayor dimensión (1.61 km<sup>2</sup>), mientras que Esperanza es junto a Toro 2 el de menor dimensión, lo que indica que el tamaño no es probablemente el factor principal que explica la excedencia en discusión.

El glaciar Guanaco y el glaciarete Esperanza registraron los balances de masa más negativos de sus series durante el 2014-2015, lo que explica la excedencia de sus límites respectivos (

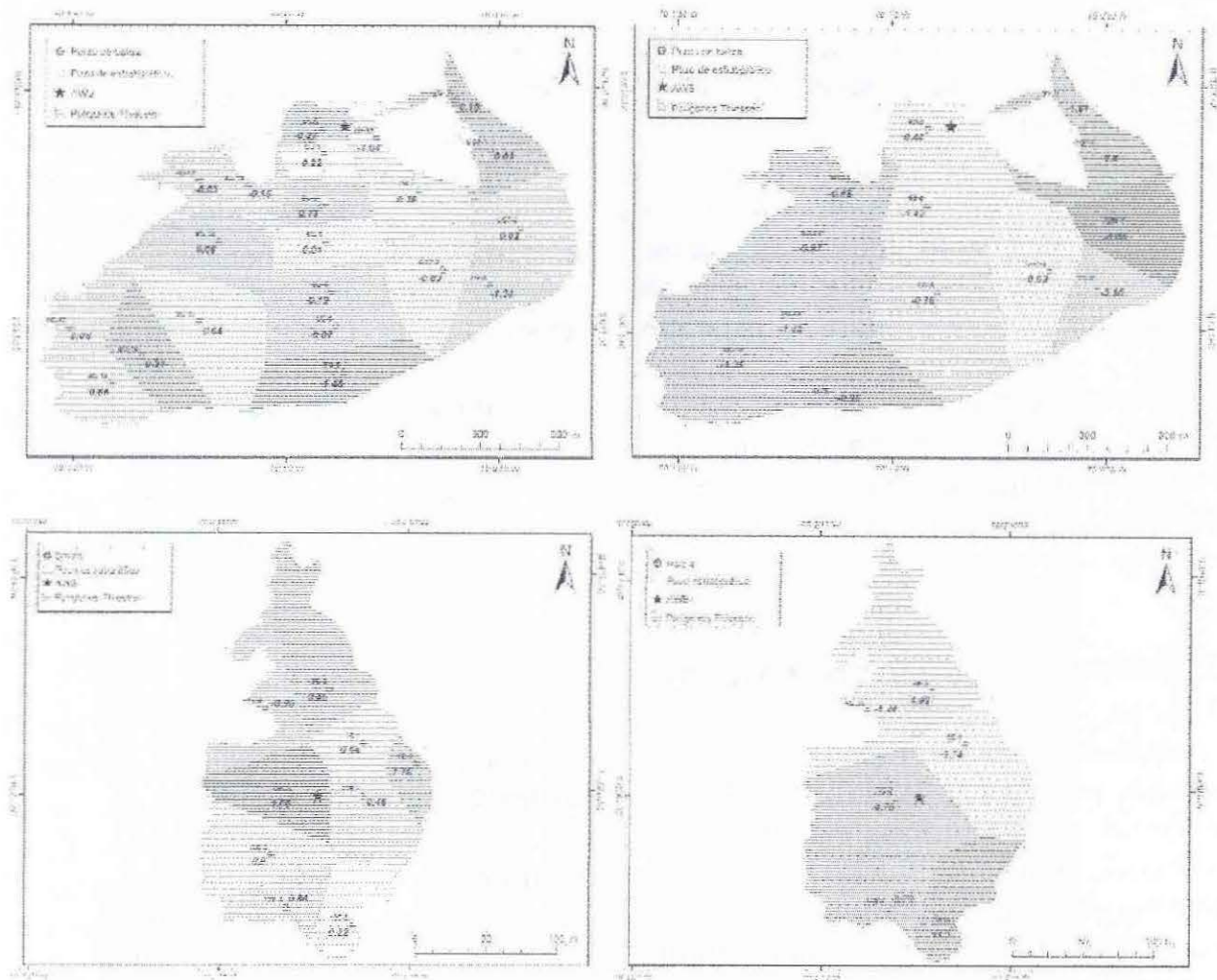
Es importante señalar que, para calcular el balance de masa anual del 2014-2015 en el área de estudio, no se incluyó un gran evento nivoso que tuvo lugar la última semana de marzo 2015, debido a que se estimó que esta fuerte acumulación a pocos días del término del año, hubiese distorsionado las condiciones predominantemente secas observadas en el año completo. De haber incluido este evento, prácticamente todos los cuerpos de hielo estudiados hubiesen tenido balances de masa positivos y no se hubiese superado ningún índice, lo que no se condice con lo observado durante este año hidrológico.

En síntesis, se estima que los balances de masa negativos observados en el área, se explican por las condiciones meteorológicas prevalecientes durante el año hidrológico en cuestión, y que la excedencia del límite 2 del Índice A para Guanaco y Esperanza, debe considerar las incertidumbres propias del método y la corta serie de referencia.

## 2.2 Meteorología sinóptica y local

La Temperatura Superficial del Mar o TSM en la región Niño 3.4 (un cuadrante delimitado por los 120°W-170°W y 5°S-5°N, **Figura 2-2 superior**) es un indicador que normalmente se asocia con el tiempo atmosférico en la zona norte del país. Es así como en el informe respectivo a meteorología [CECs, 2015e] se mencionaron las anomalías positivas, aunque moderadas, que caracterizaron el período hidrológico 2014-2015 (a la fecha del último reporte liberado por la NOAA es advertible un incremento en el primer semestre del presente año, **Figura 2-2 inferior**).

Informe de excedencia Índice A (límite 2) Año Hidrológico 2014-2015



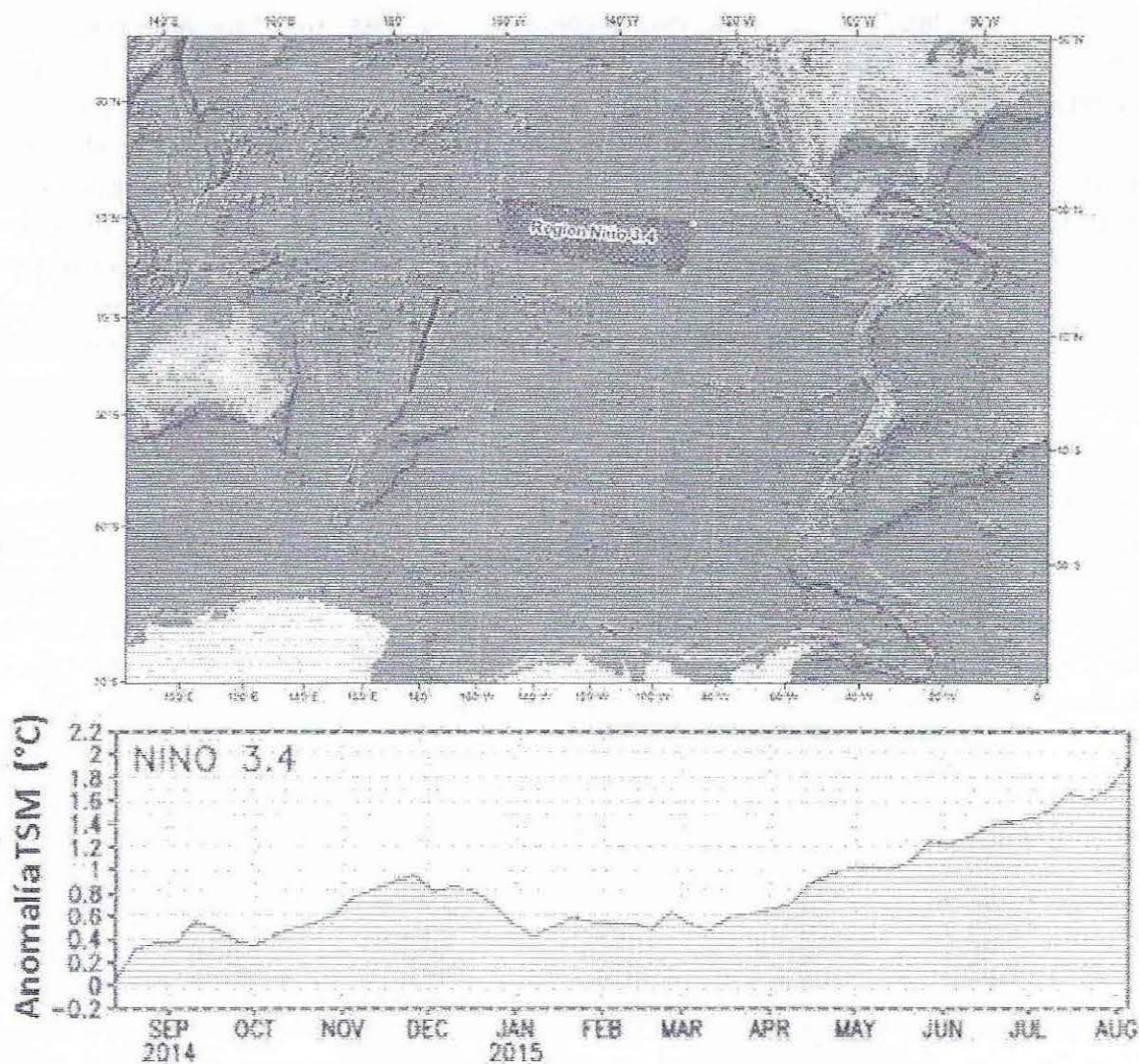
**Figura 2-1 Balance de masa 2014-2015 puntual y polígonos Thiessen en invierno (tonos azules) y verano (tonos cálidos) en glaciar Guanaco (panel superior) y glaciarete Esperanza (panel inferior). Fuente: [CECs, 2015a].**

Se estima que las condiciones meteorológicas locales quedan adecuadamente representadas por La Olla, estación que se ubica unos 1000 metros bajo la cota de los cuerpos de hielo allí monitoreados. En casi 9 años de registros continuos de temperaturas (comenzó a operar a principios de 2007) se pone en evidencia la variabilidad interanual de los datos mensuales (**Figura 2-3**). El año hidrológico 2014-2015 se aprecia con anomalías más típicamente positivas, con dos meses muy destacables en el contexto decadal: octubre y enero (esto último es pertinente de considerar, puesto que se trata de la primera fase del verano). Adicionalmente, cabe destacar la coincidencia de estas anomalías en octubre con condiciones cálidas durante ese mes a nivel regional [DGF, 2015].

En la estación del glaciar Guanaco (AWS), particularmente, destaca el período 2014-2015 respecto de los pasados 6 años hidrológicos puesto que registra el mayor número de días cuyas temperaturas medias resultan positivas (**Figura 2-4**). Esto soslaya condiciones de flujos radiativos diurnos reforzados respecto a otras temporadas. En el glaciarete Esperanza no se dispone de observaciones en ese rango de tiempo; sin embargo, por su cercanía puede presumirse que dichas condiciones no debieran haber diferido significativamente.

En este contexto, merece realizarse una síntesis de las condiciones específicas al entorno de Pascua Lama en el pasado período hidrológico, comenzando por un invierno seco caracterizado por nevadas débiles y algunos meses de temperaturas positivas en varias estaciones meteorológicas [CECs, 2014d]. Al iniciar el verano se apreciaban, por lo general, cielos despejados y algunos episodios de transporte eólico de nieve [CECs, 2014c]. Hacia el mes de noviembre hay alternancia entre días de mayor y menor nubosidad y aumentos de temperaturas [CECs, 2014b]. A mitad de verano, no hay registro de tormentas ni derivas eólicas y las temperaturas positivas se generalizan [CECs, 2014a, 2015b]. En el mes de febrero se registran dos eventos nivosos en CECs [2015c]; sin embargo, las temperaturas tienden a mantenerse altas. El año culmina con el temporal de fines de marzo [CECs, 2015d], que dejó precipitaciones importantes y recubrió toda la zona, evento que no fue incluido en el balance de masa anual, por considerarse que tendría un efecto distorsionador de las condiciones anuales predominantemente secas.

Con todo, se observó la conjunción de condiciones atmosféricas secas y cálidas (en comparación con promedios históricos u otros años) y probablemente más reforzadas que en las estaciones costeras. El impacto principal, y más plausible, sería el derretimiento temprano (y prolongado) del manto nival. Durante el mes de octubre comienzan los deshielos, dejando la superficie descubierta por más tiempo y por ende más afectada por la disminución del albedo. En diciembre de 2014 se registraban los valores más bajos de albedo de los últimos años para ese mes en el glaciar Guanaco. A mediados de verano (enero), las anomalías térmicas positivas



**Figura 2-2** Región Niño 3.4 en el Pacífico ecuatorial (panel superior). Serie de anomalías de la Temperatura Superficial del Mar en dicha región (panel inferior). Fuente: [NOAA, 2013].

El período hidrológico en cuestión, no resultó particularmente húmedo para la región. Por el contrario, hay indicaciones de un déficit pluviométrico al finalizar el año calendario 2014 de acuerdo al 5% registrado en La Serena, una estación de referencia para el proyecto Pascua Lama. En cuanto a temperaturas, el Boletín del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile [DGF, 2015], hizo referencia a condiciones variables entre meses más cálidos (destaca particularmente agosto 2014) y otros que oscilaron bajo el promedio climatológico. La baja intensidad de las anomalías en el Pacífico ecuatorial no permitiría hacer las teleconexiones con las observaciones en términos de temperaturas y precipitaciones regionales, de modo tal que no habría certeza respecto a la influencia de la fase Niño.

Informe de excedencia Índice A (límite 2) Año Hidrológico 2014-2015

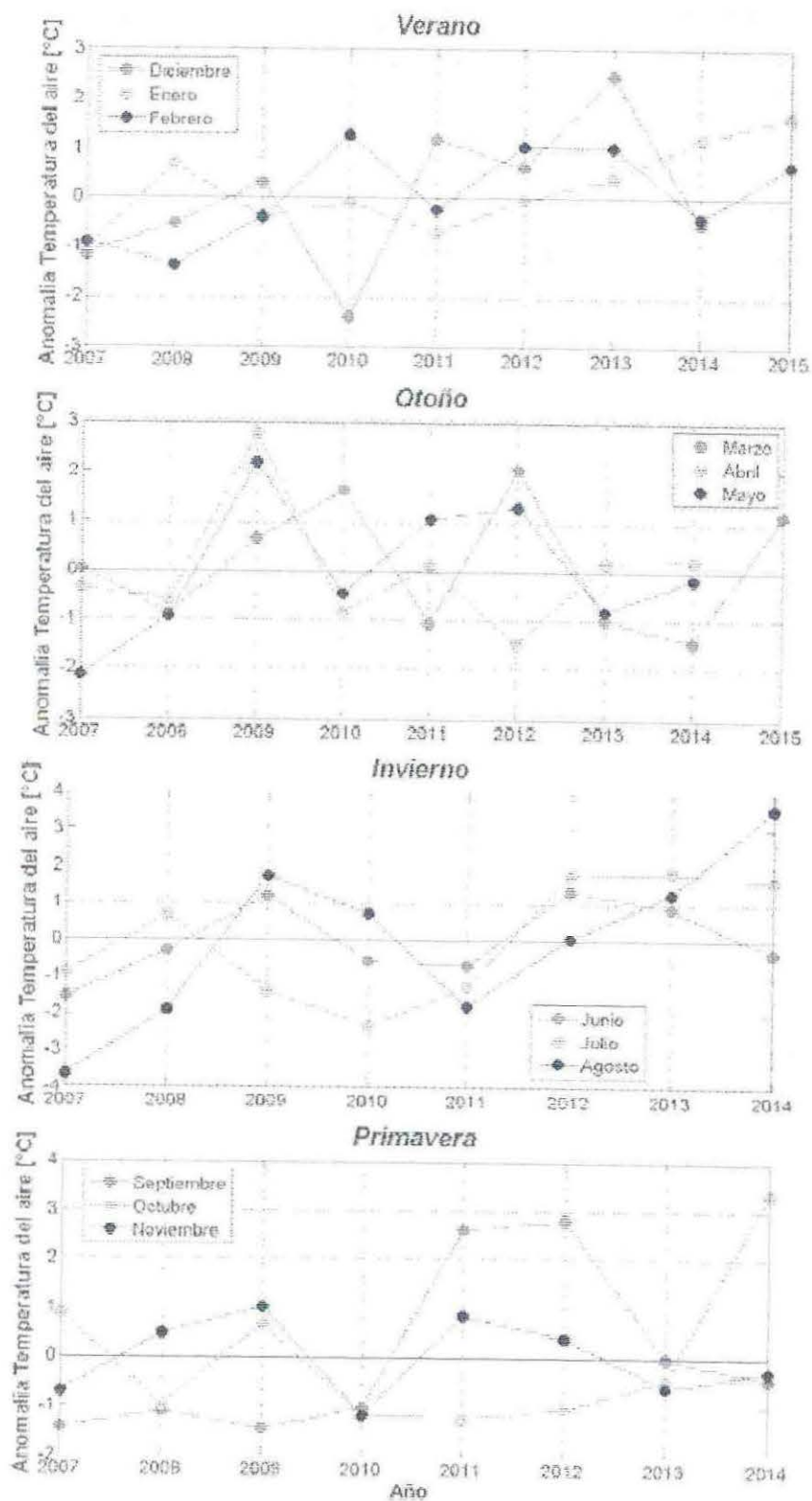


Figura 2-3 Diagrama estacional de anomalías térmicas mensuales en La Olla (3975 m s.n.m.) respecto al promedio del período 2007-2014.

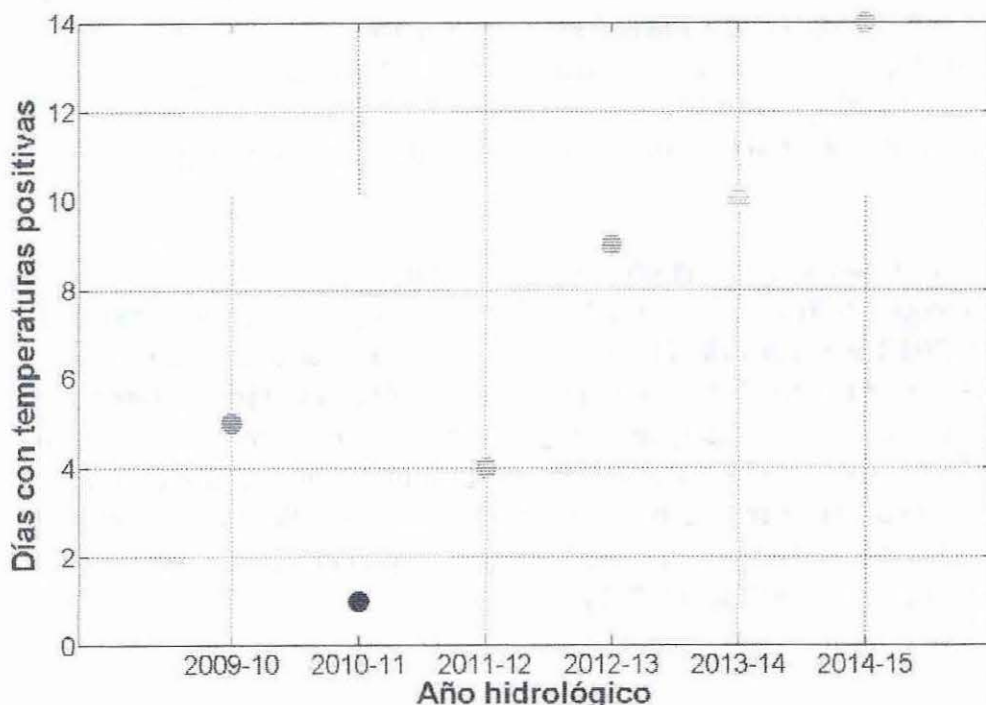
favorecieron el derretimiento generalizado del hielo. Al mes de febrero, el albedo superficial se mantenía en niveles bajos para luego revertirse hacia fines del año hidrológico cuando se produjo un evento nivoso pocos días antes del año hidrológico.

En síntesis, se estima que las condiciones meteorológicas del año hidrológico en cuestión fueron más secas que años anteriores, y que en verano se dieron mayores temperaturas que en años anteriores, lo que explica los balances negativos o cercanos a cero en invierno y el alto derretimiento de verano. Esto afectó a todos los cuerpos de hielo del área, en montos diferenciales, dependiendo de las condiciones locales de cada uno.



Las mediciones aerotransportadas en el área de Pascua Lama mediante el sistema CAMS [CECs, 2011] datan de mayo de 2011 y cubren parcialmente los siguientes cuerpos de hielo; Estrecho, Esperanza, Toro 1, Toro 2, Ortigas 1 y Ortigas 2. Lamentablemente, el glaciar Guanaco no ha podido ser medido por restricciones aéreas (límite internacional) y por escasa visibilidad lateral para el uso de un láser terrestre.

Junto al sistema aerotransportado, el CECs ha llevado a cabo mediciones de altimetría terrestre o TLS (*Terrestrial Laser Scanning*), en cuatro campañas entre diciembre de 2013 y marzo de 2015. En ellas se ha usado un sistema láser RIEGL modelo LPM-321 (**Figura 2-5**), que opera mediante un barrido horizontal (hasta 360°) que cuantifica el tiempo de ida y retorno de una señal emitida hacia una superficie reflectante, de modo que permite obtener la distancia existente entre ese blanco y el sensor (**Figura 2-6**). Su desempeño es altamente satisfactorio en términos de alcance y precisión de mediciones, resolución y longitud de onda, entre otros aspectos (detalles en **Tabla 2-2**).



**Figura 2-4 Frecuencia diaria de temperaturas medias positivas en AWS del glaciar Guanaco.**

### 2.3 Balance de masa geodésico

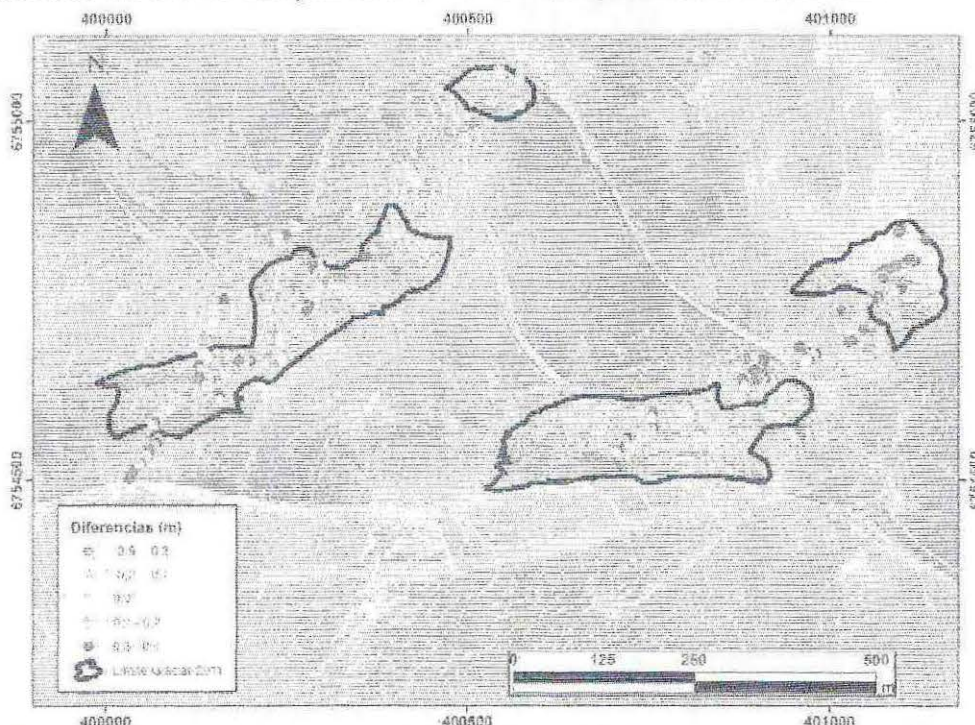
En el contexto del PMGv3 que se ha implementado en Pascua Lama, el CECs ha realizado en los últimos cuatro años una serie de levantamientos topográficos con medios aerotransportados y terrestres, debido a que ha considerado que la topografía es un factor importante en lo relativo a balance de masa, morfología y dinámica glacial. La obtención del balance de masa anual por este método, es independiente de las mediciones directas (glaciológicas), lo que permite validar y complementar las técnicas glaciológicas tradicionales.

Este enfoque metodológico (balance de masa geodésico) requiere topografía de distintas fechas a ser comparadas entre sí, de lo cual resultan cambios de elevación y volúmenes de agua equivalente, al asumir valores de densidad de hielo/nieve de la superficie [Cuffey and Paterson, 2010].

**Tabla 2-2 Especificaciones técnicas del sistema TLS RIEGL LPM-321. Fuente: RIEGL (2010).**

<b>Precisión de toma de datos</b>	25 mm
<b>Precisión del modelo resultante</b>	15 mm
<b>Frecuencia de medición</b>	10 a 1000 puntos/seg
<b>Memoria Interna</b>	2 Gb, 2 millones de puntos
<b>Telescopio</b>	3 x 20
<b>Rango de medición</b>	vertical $-20^{\circ} \leq \theta \leq +130^{\circ}$ horizontal $0^{\circ} \leq \theta \leq 360^{\circ}$
<b>Medición angular mínima entre cada punto</b>	$\Delta\theta \geq 0.018^{\circ}$
<b>Interface de conexión</b>	Ethernet TCP/IP interface

Con estos instrumentos se generaron modelos digitales de elevación (DEMs, acrónimo del inglés *Digital Elevation Models*), los que tienen una precisión vertical mejor que 0.5 m. Las diferencias obtenidas en zonas de traslape de distintas vistas en iguales fechas son consideradas el error interno del método. Adicionalmente, un proceso de validación a partir de datos GPS (**Figura 2-7**) permitió estimar los errores de estas mediciones. Se estima que los errores combinados al momento de la comparación de DEMs subyacen a la señal de cambios a detectar.



**Figura 2-7 Puntos de control (GPS) utilizados para la validación vertical de los DEMs generados de las mediciones TLS. Proyección UTM, Zona 19S, Datum WGS84.**

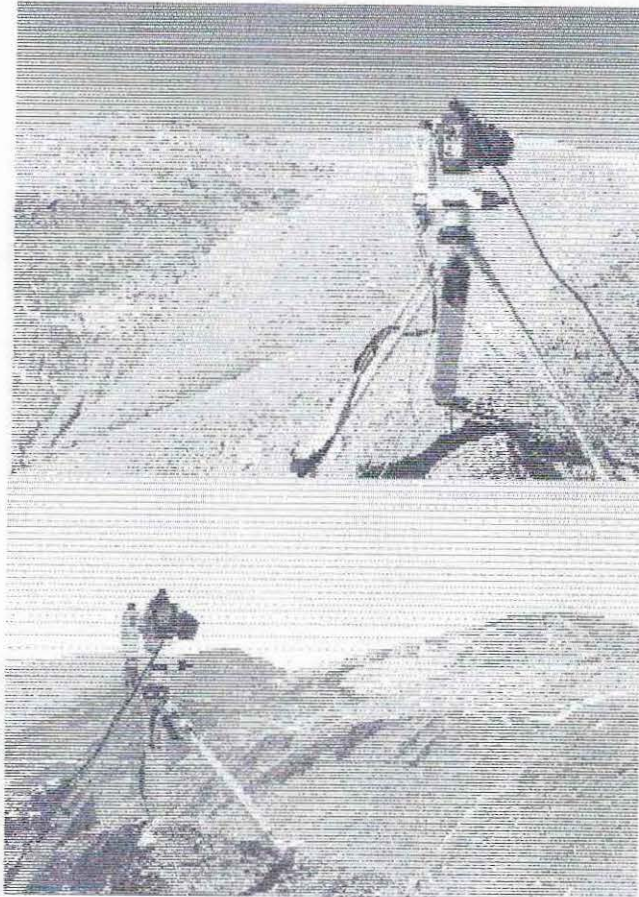


Figura 2-5 Sistema de láser terrestre RIEGL LPM-321 apuntando en dirección a glaciaretos Toro 2 y Esperanza durante la medición en 2015.

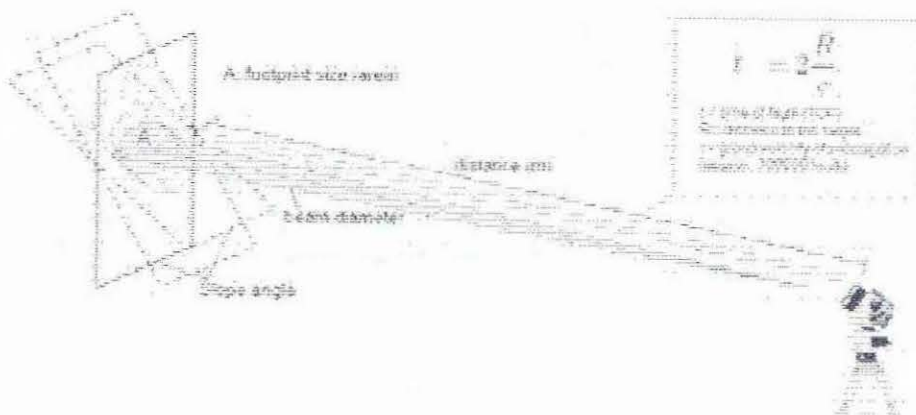
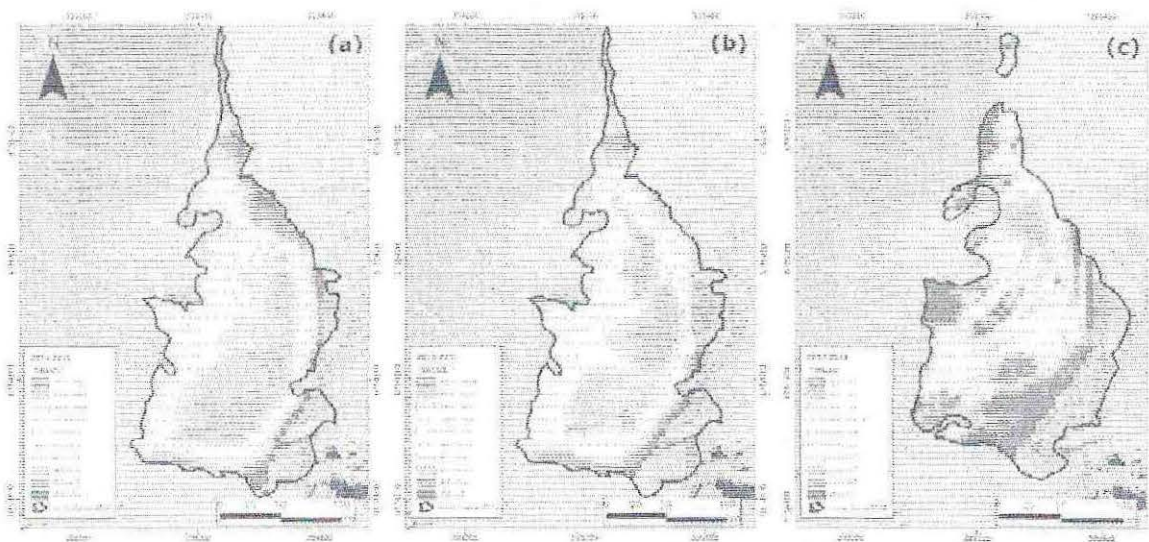


Figura 2-6 Principio de medición del sistema TLS, donde  $t$  es el tiempo de viaje de la señal,  $R$  es distancia entre superficie y sensor, y  $c$  es la velocidad de propagación de la señal (300000 km/h). Fuente: Prokop (2008).

tres períodos (incluido el último año hidrológico), los que se ilustran en las **Figura 2-8, Figura 2-9, Figura 2-10 y Figura 2-11.**

**Tabla 2-4 Cambio de elevación promedio (m/a), desviación estándar y área del glaciar con datos (%).**

Glaciar o Glaciarete	Promedio (m/a)	Desv. Est.	Área monitoreada (%)
<b>Marzo 2014 - Mayo 2011</b>			
Esperanza	-2.9	1.4	94
Estrecho	-2.7	0.5	28
<b>Marzo 2015 - Mayo 2011</b>			
Esperanza	-2.8	1.0	90
Estrecho	-2.3	0.3	28
Ortigas 1	-1.1	0.4	85
<b>Marzo 2015 - Marzo 2014</b>			
Esperanza	-2.1	1.6	84
Estrecho	-1.7	1.1	66
Toro 1	-0.7	0.5	30
Toro 2	-0.7	0.5	100



**Figura 2-8 Cambios de elevación (m/a) en glaciarete Esperanza en (a) marzo 2014 – mayo 2011; (b) marzo 2015 – mayo 2011; y (c) marzo 2015 – marzo 2014. Imágenes de fondo: Ikonos 07 de julio 2010 (a, b) y Geoeye 22 de marzo 2015 (c).**

De ese modo, se han obtenido cambios de elevación en los cuerpos de hielo mencionados toda vez que los DEMs han sido georreferenciados en base a un modelo elipsoidal común (WGS84), utilizando el sistema de coordenadas UTM (huso 19S) y una resolución de grilla de 5 m. Cabe mencionar que, en dicho procedimiento se midieron numerosos puntos en roca en modo GPS diferencial (DGPS), obteniendo así las coordenadas tridimensionales de la nube de puntos original (**Tabla 2-3**) que se utilizó en la construcción de los DEMs.

**Tabla 2-3** Coordenadas puntos en roca, utilizados para la georreferenciación de nube de puntos TLS, Datum WGS-84, referencia altimétrica elipsoidal, proyección 19S.

Vértices	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)
TR1-2	400357.30	6754374.99	5124.56
TR1-3	401087.06	6754559.94	5229.27
TR1-4	401063.57	6754544.15	5225.10
TR2-1	399951.76	6754291.89	5077.34
TR2-2	399963.27	6754295.56	5078.92
TR2-3	399972.55	6754298.35	5079.75
ETR1-1	402239.73	6757338.03	5086.85
ETR1-2	402236.18	6757328.59	5087.39
OTR2-1	398901.84	6747760.40	5072.22
OTR2-2	398905.92	6747749.54	5070.92
OTR2-3	398943.96	6747815.87	5104.35
OTR2-4	398948.83	6747809.21	5103.56
OTR1-1	398313.48	6748008.37	5169.41
OTR1-1	398317.71	6748015.49	5169.80
TR1-2	400357.30	6754374.99	5124.56
TR1-3	401087.06	6754559.94	5229.27

A partir de los DEMs generados con altimetría CAMS y TLS junto con la delimitación satelital de contornos glaciares, fue posible obtener cambios de elevación anual en diferentes períodos entre 2011 y 2015.

Se aprecia una tendencia generalizada de adelgazamiento, cuya máxima expresión se encuentra en el glaciarete Esperanza. El hecho que el área cubierta por las mediciones sea variable (los cuerpos de hielo pequeños tienden a estar mejor representados) no dice relación con las tasas de cambios de elevación allí obtenidas. En el caso de Toro 1 y Toro 2, por ejemplo, se obtienen cambios de elevación similares, y moderadamente negativos. Este hecho no es sorprendente por cuanto ya se ha evaluado el efecto aislante de la cubierta detrítica en los flujos energéticos y en los balances de masa de ambos glaciaretes; señales de su progresiva desaparición [CECs, 2015a]. La **Tabla 2-4** muestra los cambios de elevación de los

Informe de excedencia Índice A (límite 2) Año Hidrológico 2014-2015

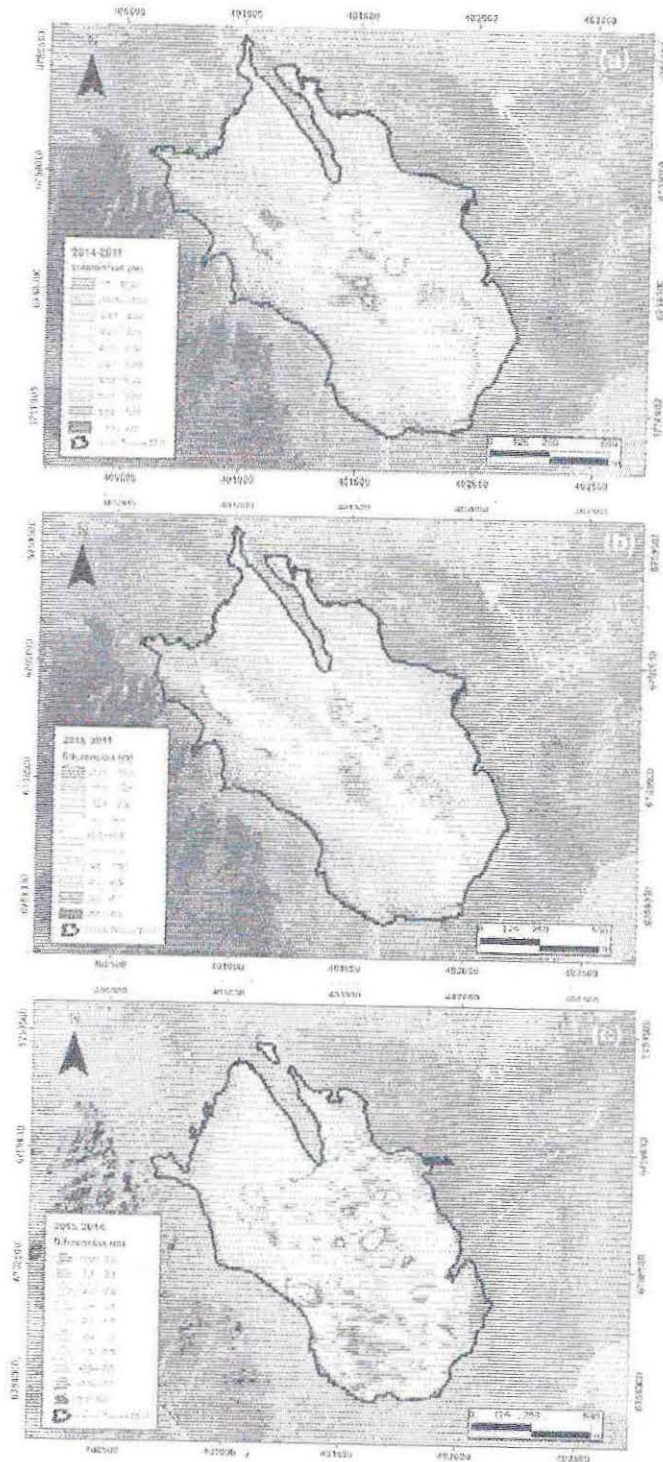


Figura 2-10 Cambio elevación (m/a) en glaciar Estrecho en (a) marzo 2014 – mayo 2011; (b) marzo 2015 – mayo 2011; y (c) marzo 2015 – marzo 2014. Imágenes de fondo: Ikonos 07 de julio 2010 (a, b) y Geoeye 22 de marzo 2015 (c).

Informe de excedencia Índice A (límite 2) Año Hidrológico 2014-2015

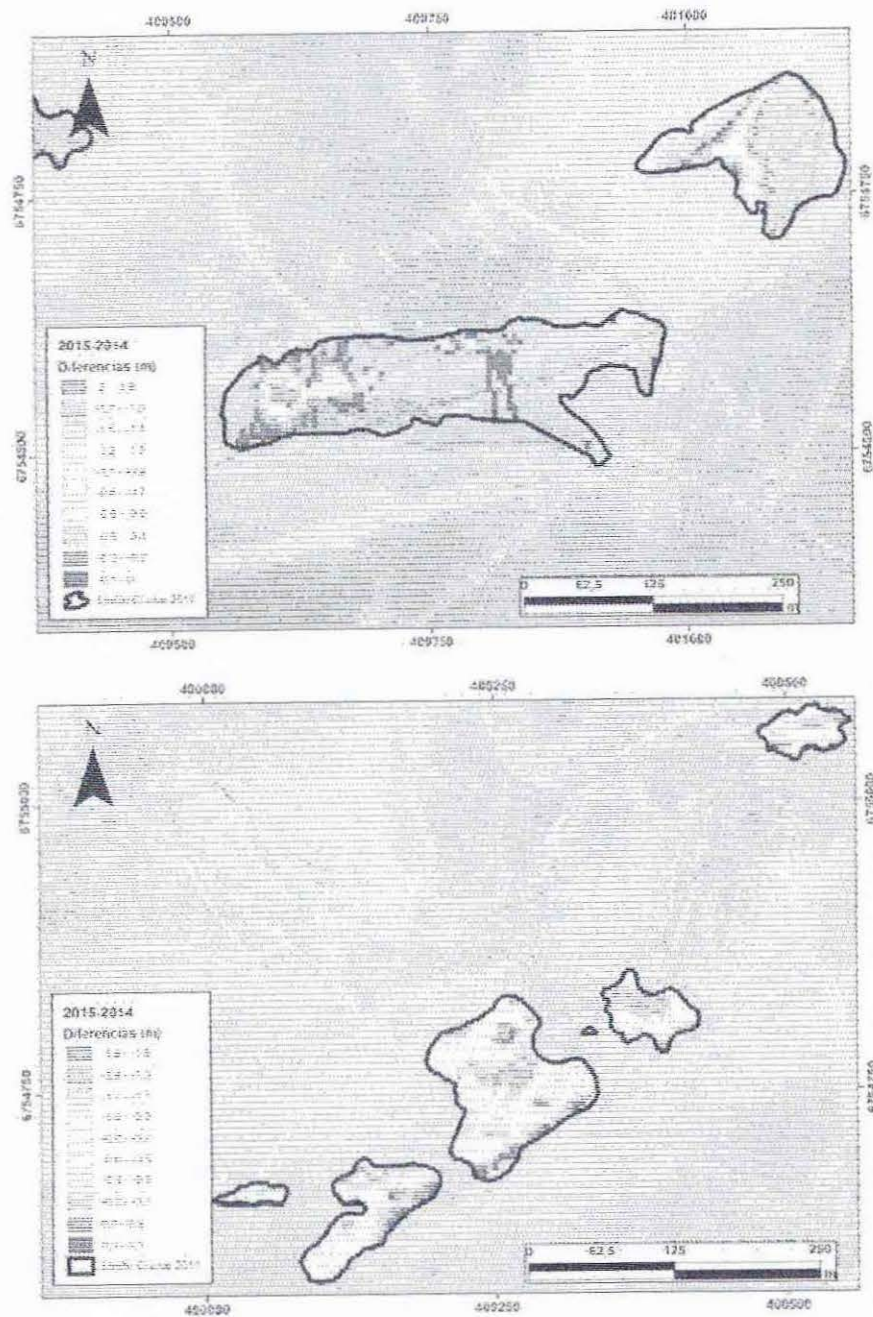


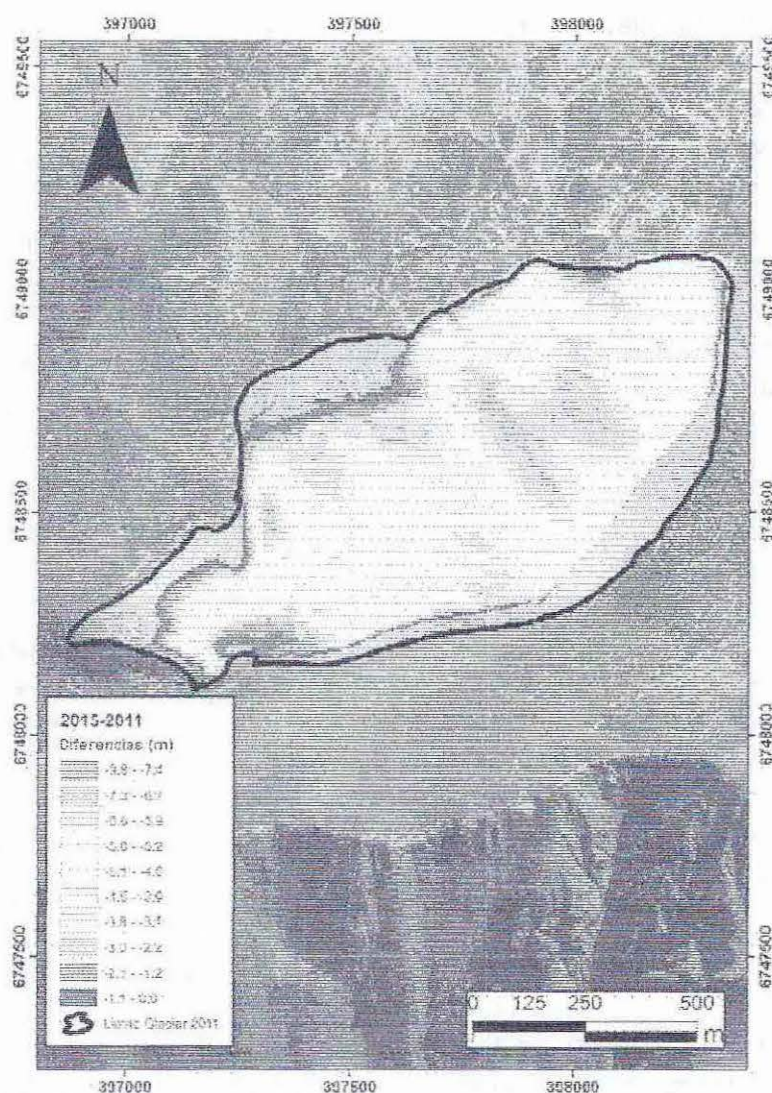
Figura 2-9 Cambio elevación (m/a) en glaciarete Toro 1 (panel superior) y Toro 2 (panel inferior) en marzo 2015 – marzo 2014. Imagen de fondo: Geoeye 22 de marzo 2015.



Debido a la cobertura parcial de las áreas de glaciares y glaciaretos por los DEMs, resulta, particularmente, difícil hacer estimaciones de balance de masa anual. Sin embargo; los mayores adelgazamientos tienen lugar, precisamente, en aquel glaciarete que ha venido mostrando los balances más altamente negativos. Si se asume la toma de datos TLS en Esperanza con una razonable distribución espacial y una densidad teórica de hielo [Paterson, 1994], el balance geodésico anual 2014-2015 se encontraría en torno a los -2.0 m eq. a., versus el balance glaciológico que alcanzó a -3.3 m eq. a. En base a lo anterior, se puede concluir que el método glaciológico sobre estima la señal negativa del balance de masa (método con mayor imprecisión). En esta diferencia concurren varios factores (ya se mencionó el grado de cobertura espacial y la asignación de una densidad constante), incluyendo, por ejemplo, las dificultades metodológicas en interpretar superficies cubiertas por penitentes de gran altura, la frecuencia de mediciones y los métodos de interpolación empleados.

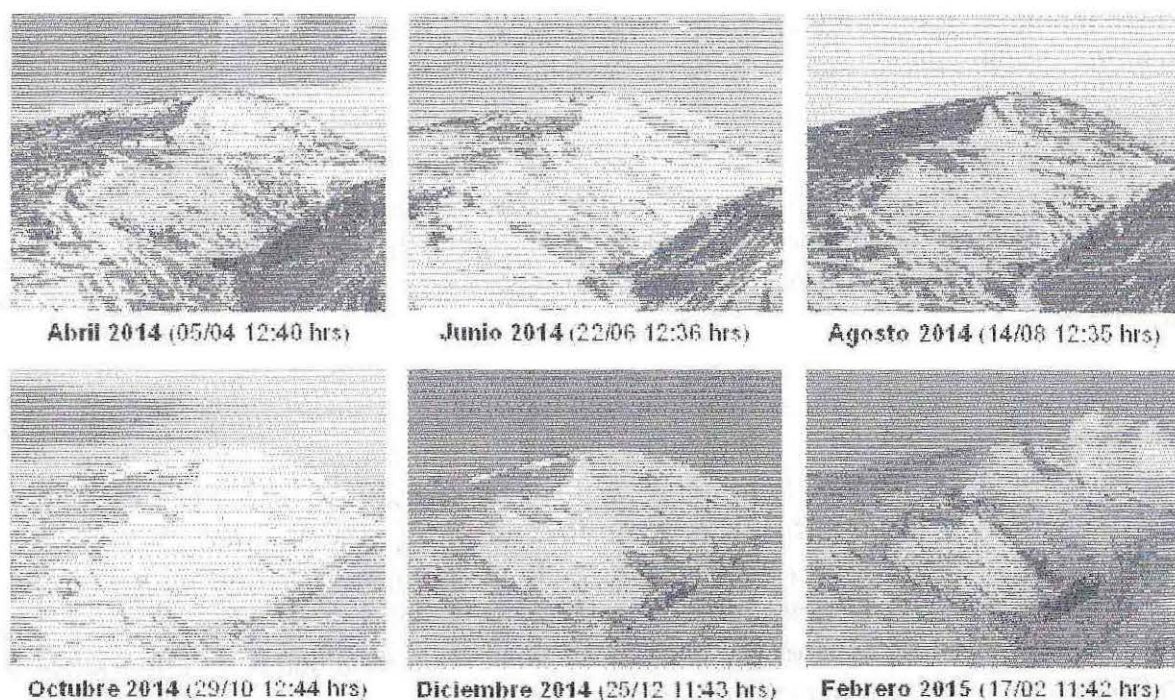
En síntesis, el balance geodésico genera resultados menos negativos que los medidos por el balance de masa con el método glaciológico, lo que ilustra las incertidumbres de ambos métodos y lo delicado de sacar conclusiones con un índice generado a partir de pocos años. El balance geodésico en general tiene una mejor cobertura espacial y errores calculables (calidad de los DEMs), mientras que el método glaciológico se basa en valores discretos, que luego se interpolan y donde es difícil definir errores. En otras experiencias [Rivera et al., 2015b], al comparar balances de masa con el método glaciológico aplicando dos métodos de interpolación al mismo glaciar, se detectaron diferencias dentro del 10%. Sin embargo, al comparar el balance obtenido por ambos métodos (glaciológico y geodésico), las diferencias fueron de un 30-50%. Esto confirma que el balance de masa tiene incertidumbres altas y que lo más importante es la tendencia y el balance acumulado, más que valores anuales, eventualmente, anómalos.

El balance de masa anual obtenido en Guanaco y Esperanza debe considerarse por lo tanto una incertidumbre del orden de un 30% como mínimo. Este nivel de incertidumbre es similar al medido en otros glaciares en el mundo.



**Figura 2-11 Cambio elevación (m/a) en glaciar Ortigas 1 en marzo 2015 – mayo 2011. Imagen de fondo: Ikonos 07 de julio 2010.**

El hecho que el consolidado de datos muestre cambios de elevación negativos, arroja una señal coherente con los balances de masa obtenidos desde inicios del programa y con las tendencias de retroceso a nivel regional y nacional [Rivera et al., 2015b]. Eventualmente, pueden existir factores locales de orden topográfico y/o meteorológico que contribuyan a exacerbar adelgazamientos en cuerpos de hielo específicos, si bien ello es difícil de demostrar dada las habituales dificultades operacionales y meteorológicas del trabajo de monitoreo.



**Figura 2-12 Evolución del glaciarete Esperanza durante el año hidrológico 2014-2015.**

En diciembre 2014, se apreció una ablación continuada hasta que la nieve fuera del glaciarete desapareció por completo, observándose una superficie bastante rugosa debido a la aparición de penitentes de gran tamaño formados en años anteriores [CECs, 2014a]. Mientras que, en enero y febrero 2015, se observó escorrentía en el glaciarete, y sucede un fenómeno bien particular: el albedómetro es influenciado en exceso por los sedimentos en el fondo de los penitentes y por la sombra que éstos mismos ocasionan (**Figura 2-13**). Dicha influencia es evidente y hace que las medidas de albedo tengan una influencia local y no sean representativas del glaciarete en su totalidad [CECs, 2015b, 2015c].

## 2.4 Monitoreo fotográfico de cuerpos de hielo

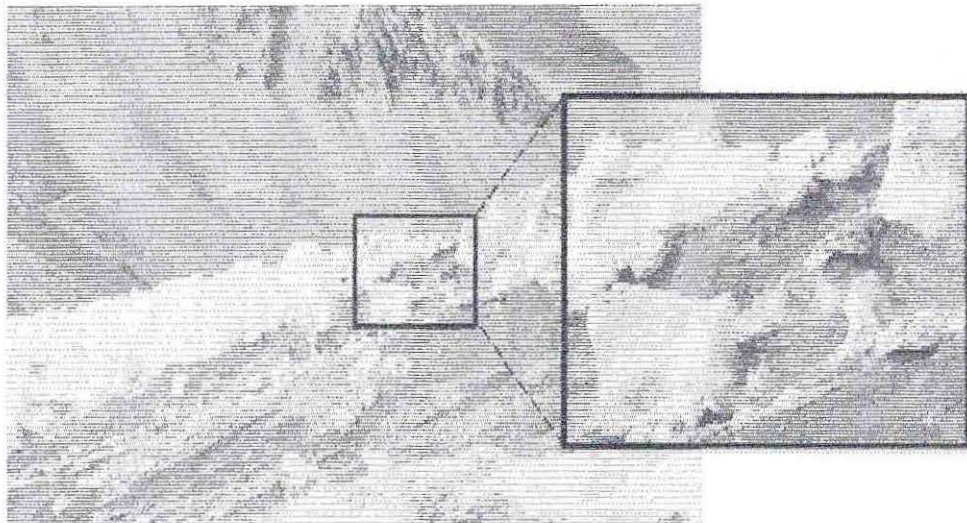
Durante el año hidrológico 2014-2015 se han tomado más de 2000 fotografías por dos cámaras automáticas; una frente al glaciar Guanaco y la otra apuntando al glaciarete Esperanza. Este set fotográfico ha registrado la evolución de estos cuerpos de hielo en dicho período, a partir de lo cual ha sido factible evaluar los patrones superficiales que mejor explican los resultados del balance de masa anual [CECs, 2015a].

Las condiciones meteorológicas del período hidrológico, se caracterizan por un invierno particularmente seco, y temperaturas de verano que en general han sido mayores a las de otros años. Éstos son factores, probablemente, relacionados con las observaciones de la superficie de todos los glaciares, principalmente, la rápida desaparición de la nieve periférica y el afloramiento del hielo descubierto en etapas más tempranas de lo habitualmente esperable. En este contexto, se detallan las características más importantes que se observaron en el glaciarete Esperanza y glaciar Guanaco en fotografías continuas y de terreno.

### 2.4.1 Glaciarete Esperanza

En la **Figura 2-12**, se observa la evolución del glaciarete Esperanza durante el presente año hidrológico (abril 2014 – marzo 2015), a partir de fotografías tomadas por su cámara automática. En invierno (abril – agosto) se presentaron nevadas relativamente débiles que no cubrieron por completo el glaciarete -se distinguen áreas de hielo descubierto- y la nieve desaparece rápidamente en los días siguientes [CECs, 2014d]. En verano se aprecia una progresiva (no puntual) depositación de polvo en superficie, lo que va reduciendo el albedo superficial en igual progresión.

En este sentido, tal como se ha explicado en todos los informes de albedo entregados, se establece por calibración un valor base del albedo del hielo con sedimentos para el glaciarete Esperanza, ya que los penitentes de gran tamaño que cubren su superficie, atrapan con mayor facilidad el polvo suspendido en el aire. El fondo de estos penitentes está recubierto de sedimentos. Debido a las múltiples reflexiones de luz incidente en las paredes del penitente y que está aislado de las corrientes de aire que disminuyen la sublimación, en el fondo se produce mayor fusión de hielo y los sedimentos están por tanto húmedos, con un valor de albedo aún más bajo.



**Figura 2-14 Gran cantidad de detrito y plástico adherido e incorporado al cuerpo de hielo, característica apreciada para todo el glaciarete Esperanza en una visita realizada en marzo 2015 (en el cuadrado negro se resalta en detalle lo comentado).**

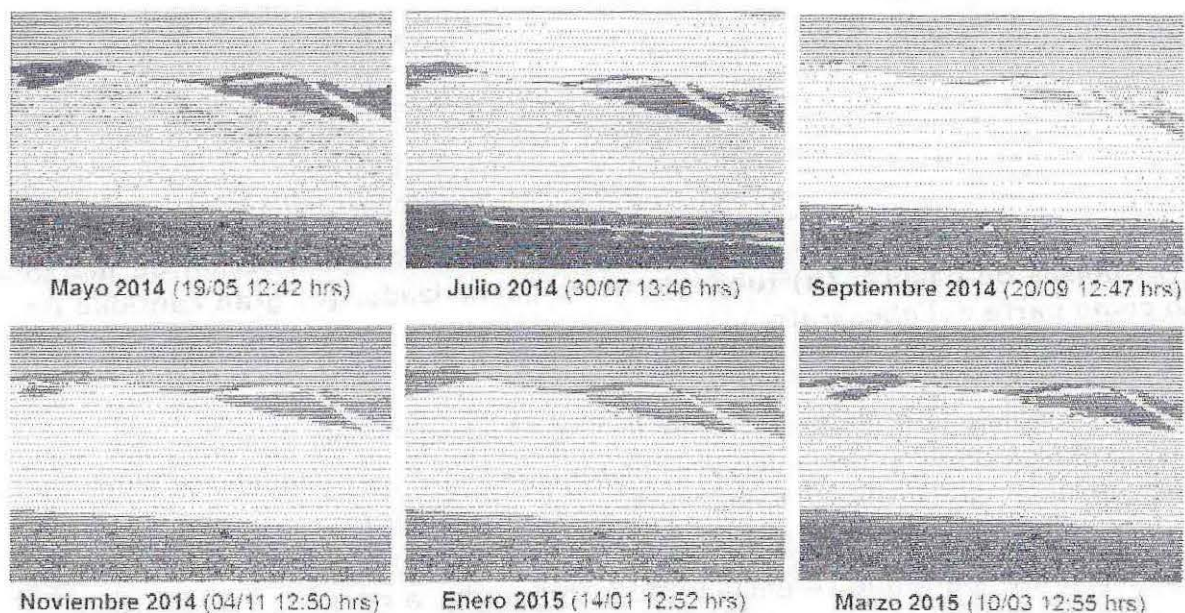


**Figura 2-13 Albedómetro del glaciarete Esperanza rodeado de penitentes el 24 de enero de 2015.**

Cabe destacar que, en febrero 2015 debido a las condiciones de inseguridad del glaciarete para el personal CECs por presencia de grandes penitentes (algunos >6 metros de alto), se decidió suspender las actividades en este sector. Situación que se mantuvo hasta marzo 2015, cuando se realizó una visita de inspección al lugar junto con personal CMN, para evaluar nuevamente las condiciones. En dicha inspección, producto de la fuerte ablación aparecieron varios elementos inusuales entre los penitentes del glaciarete: tubos galvanizados, fierros, tubos de PVC y coligües, tambores de combustible, sacos de cementos y carbón, plásticos de diversa índole, materiales de trabajo (ropa, guantes, etc.), latas vacías de aceite, bolsas de basura, botellas de plástico, entre otros (**Figura 2-14** y **Figura 2-15**). La aparición de estos materiales antiguos, indica que la ablación ha sido tan fuerte en el último año, que han aparecido en superficie basuras depositadas con anterioridad al período de monitoreo llevado a cabo por el CECs desde el año 2012. No se tiene registro histórico del origen de estos materiales. No obstante, se estima que tienen una data mínima de 10 años. No se puede asociar la presencia de estos materiales al proceso de ablación/acumulación del glaciarete, ni a la excedencia en estudio. Se presenta esta observación, como una confirmación de la fuerte ablación que afectó a este glaciarete y que llegó a perder la totalidad del hielo en superficie, hasta aparecer material antiguo en su base.

### 2.4.2 Glaciar Guanaco

En la **Figura 2-16**, se observa la evolución del glaciar Guanaco durante el año hidrológico abril 2014 – marzo 2015, a partir de fotografías tomadas por la cámara automática ubicada frente a este cuerpo de hielo. En este glaciar se detectó el mismo patrón de cielos cubiertos y nevadas que en el glaciar Esperanza. Antes del día 13 de septiembre se observó que la mayor parte del glaciar presentaba hielo descubierto de nieve en superficie, lo cual es indicativo de una escasa acumulación invernal. Después del 22 de octubre se observó de nuevo predominancia de hielo sobre el glaciar [CECs, 2014c]. Es más, hacia fines de noviembre y principios de diciembre 2014 se apreció que gran parte de la superficie del glaciar es hielo descubierto con zonas dispersas de neviza [CECs, 2014a]. Mientras que, en enero 2015 se observó un aumento de la rugosidad y la desaparición de zonas de neviza a lo largo del mes [CECs, 2015b], lo cual se vio acentuado en febrero 2015, cuando se observó un aumento progresivo de las zonas con hielo descubierto.



**Figura 2-16 Evolución del glaciar Guanaco durante el año hidrológico 2014-2015, en base a las fotografías tomadas por la cámara automática instalada frente dicho cuerpo de hielo.**

Cabe destacar que, debido a la fuerte ablación ocurrida en verano 2014-2015, se observaron varios fenómenos. En primer lugar, la laguna que se encuentra ubicada en la parte inferior (lado argentino), la que siempre contaba con una gruesa capa de hielo, este año se observó que dicha cobertura había adelgazado y la laguna había crecido (**Figura 2-17**). Esto último, se confirma al analizar las imágenes satelitales obtenidas desde el año 2010 hasta el 2015 (**Figura 2-18** y **Tabla 2-5**), calculándose que la laguna se redujo en un 14% entre el año 2010 y 2012, para



**Figura 2-15 Algunos elementos encontrados en la visita de inspección de marzo 2015: (a) bolsas de basura; (b) tubos de hierro galvanizado; (c) gran cantidad de plástico como parte del glaciarete.**

De esta manera, en verano se observó una ablación del hielo más intensa que temporadas anteriores: (a) presencia de penitentes de gran tamaño con el fondo de éstos recubierto de sedimentos; (b) presencia de hielo de forma irregular mientras que en los bordes apareció hielo cubierto de detritos; y, (c) aparición de elementos ajenos al glaciarete, pero que se encuentran incorporados a su masa.

Los resultados entregados en los informes de albedo [CECs, 2014a, 2014b, 2014c, 2014d, 2015b, 2015c, 2015d], no superaron los límites establecidos en el PMGv3 [BARRICK, 2008], asociados a los índices 1, 2 y 3x.

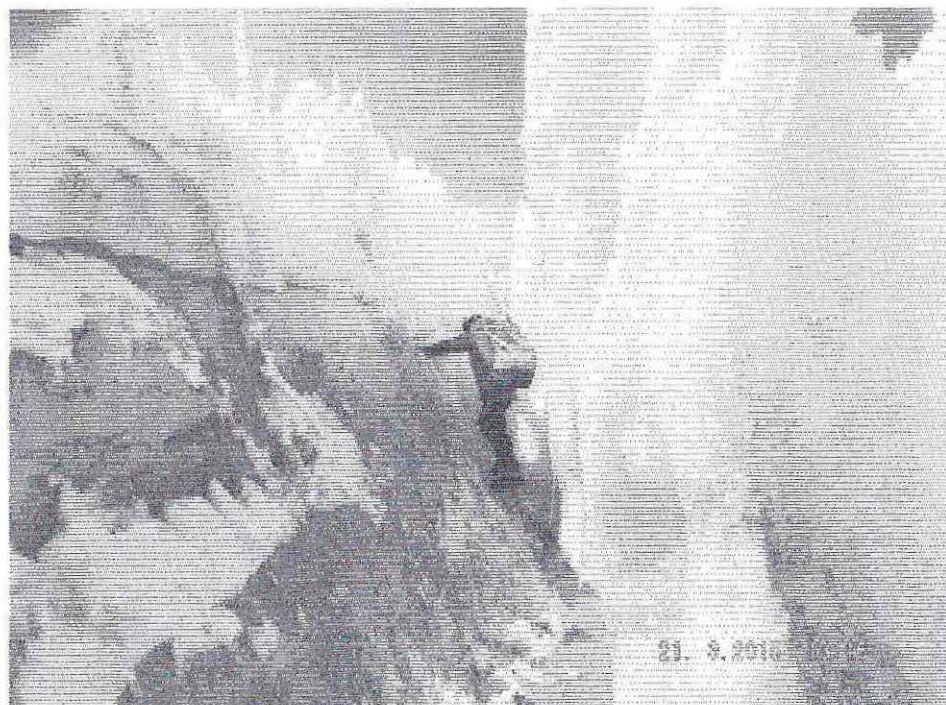
En las series de fotos tampoco se detectaron eventos o intervenciones de maquinarias o personal inusual.



**Tabla 2-5 Área de la laguna ubicada sobre el glaciar Guanaco desde el año 2010.**

Año	Area	Variación respecto año anterior
	(m <sup>2</sup> )	%
<b>2010</b>	4944	s/i
<b>2012</b>	4271	-14%
<b>2014</b>	4911	+15%
<b>2015</b>	14180	+189%

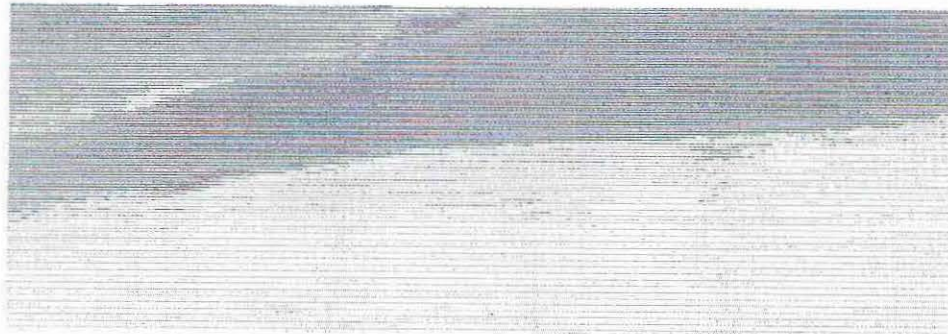
En segundo lugar, se observa la aparición de grandes penitentes en toda la parte inferior del glaciar, entre los cuales se aprecia acumulación de material detrítico y pequeños riachuelos en sus bases (**Figura 2-19**).



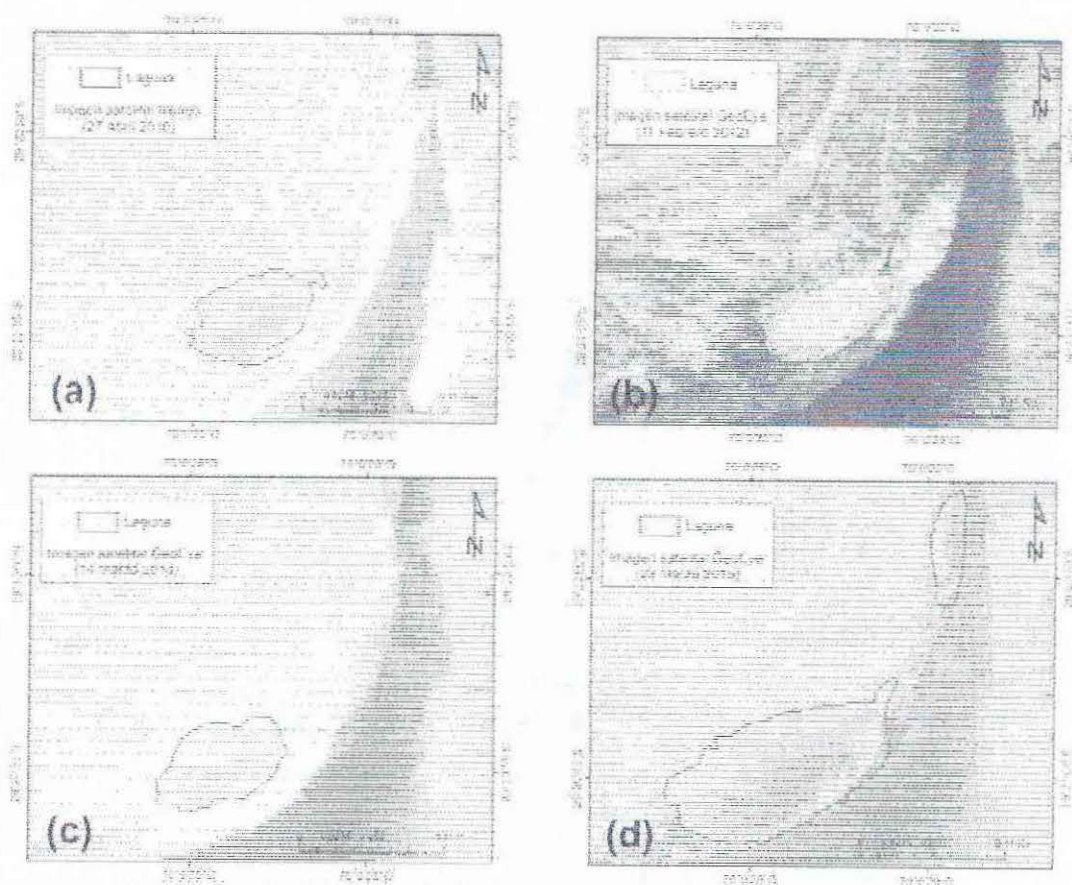
**Figura 2-19 Formación de grandes penitentes en la parte inferior del glaciar Guanaco a fines de marzo 2015, donde se observa acumulación de material detrítico entre penitentes.**

En tercer y último lugar, la estación meteorológica automática, instalada en la parte superior del glaciar Guanaco el año 2013 (enterrada a 4 metros de profundidad), tuvo que cambiarse de posición en marzo 2015, debido a que entre los meses de enero y febrero 2015 se constató que se encontraba cerca de los márgenes del glaciar y a 0.5 m de profundidad.

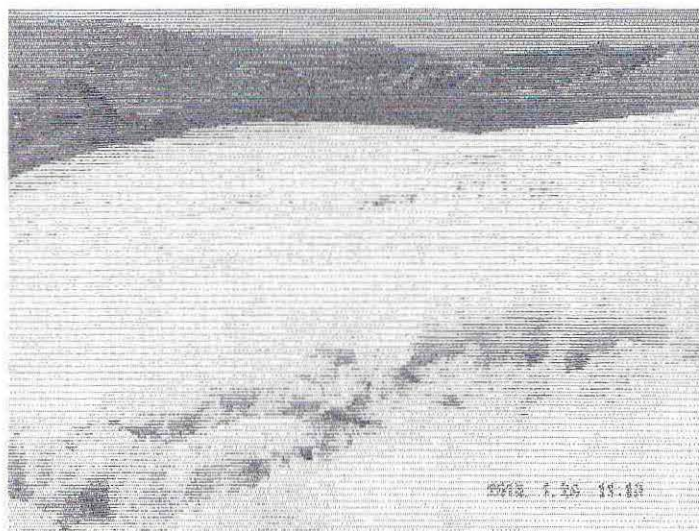
posteriormente aumentar hasta en un 189% entre los años 2014 y 2015, apareciendo otra pequeña laguna que drena hacia Argentina. Esto confirma la fuerte ablación del año hidrológico en cuestión.



**Figura 2-17** Fotografía tomada desde la parte superior del glaciar, donde se observa la laguna en la parte inferior de éste, el día 19 de marzo 2015.

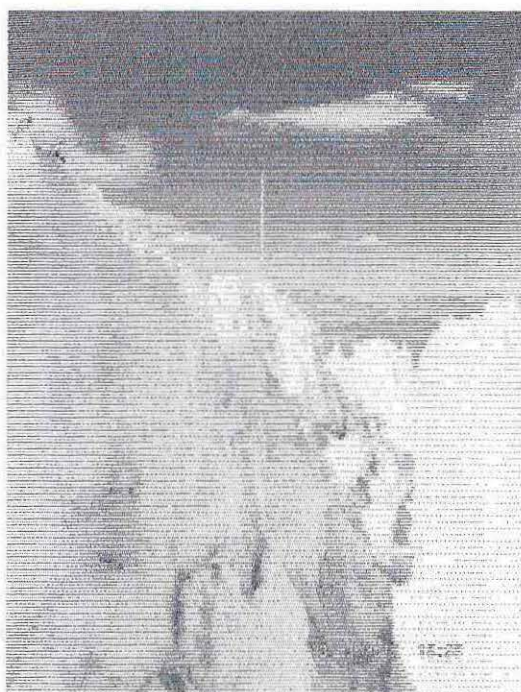


**Figura 2-18** Evolución de la laguna ubicada sobre el glaciar Guanaco, durante los años 2010 (a), 2012 (b), 2014 (c) y 2015 (d).



**Figura 2-20 Condición del glaciar Guanaco el 24 de enero de 2015.**

La última visita al glaciar, realizada el 19 de marzo, fue complicada debido a las malas condiciones de la superficie del glaciar para caminar y realizar los trabajos propios del programa de balance de masa. Se encontraron penitentes de 4 metros aproximadamente en algunas zonas (**Figura 2-21**). Además, se observó escurrimiento superficial (**Figura 2-22**) y el equipo de terreno comentó haber escuchado escurrimiento de agua subsuperficial.



**Figura 2-21 Condición de penitentes del glaciar Guanaco el 19 de marzo de 2015.**

La aparición de penitentes, agua en superficie y poca nieve fue un hecho común a todos los glaciares y glaciaretos estudiados, ilustrando que el año fue especialmente desfavorable para el balance de masa.

## 2.5 Análisis de operaciones en terreno

En el año 2014, los turnos en Pascua Lama eran cuatro por mes, lo que hacía que hubiesen turnos y contra turnos. Así fue hasta mediados de mayo en donde se decidió fusionar los turnos y hacer un solo equipo con dos subidas semana por medio. El número total de integrantes del equipo ha variado durante el período de trabajo en el proyecto, sin embargo, el número oscila entre 8 y 12 personas (cuando se integran los miembros del equipo CECs de Valdivia).

La época en que más se visitó el área de glaciares fue a partir de septiembre, ya que en invierno es complicado el tránsito en la zona por las condiciones meteorológicas y por la seguridad del equipo de terreno.

Durante las visitas a terreno, no se reportan condiciones anómalas de la nieve, y en las fotografías de terreno no se observan condiciones fuera de lo natural. Sin embargo, en la época de verano (octubre a marzo), la topografía varió mucho en comparación al periodo de invierno (abril a septiembre), apareciendo penitentes y agua en superficie.

Durante el año 2014, no se observaron actividades fuera de lo común en el área de glaciares. Sólo transitó el personal autorizado por turno y se hicieron contadas excepciones con visitas guiadas a autoridades, miembros de comunidades en conflicto con el proyecto y actividades específicas de CMN.

El 27 de enero de 2015, se visitó por última vez el glaciarete Esperanza, donde se encontraron penitentes normales en comparación al mismo periodo del año anterior.

El glaciar Guanaco también se visitó en enero de 2015 (24 de enero) cuando se llevó a cabo la totalidad de las actividades planificadas del balance de masa. El tránsito por este glaciar no tuvo mayores complicaciones en comparación al mismo periodo del año anterior (**Figura 2-20**).

### 3 Discusión y Conclusiones

La superación de límites 1 y 2 en el Índice A, depende principalmente del promedio de balance de masa medido en el llamado período de referencia:

- Índice A: Balance de masa del glaciar/glaciarete comparado con el balance de masa de dicho glaciar/glaciarete en un período sin influencia de la actividad minera, el que para estos efectos ha sido definido entre los años 2002-2003 y 2008-2009.

En este sentido, la primera pregunta que se debe plantear es si dicho período de referencia es suficientemente representativo como para definir la variabilidad natural de los glaciares de la zona.

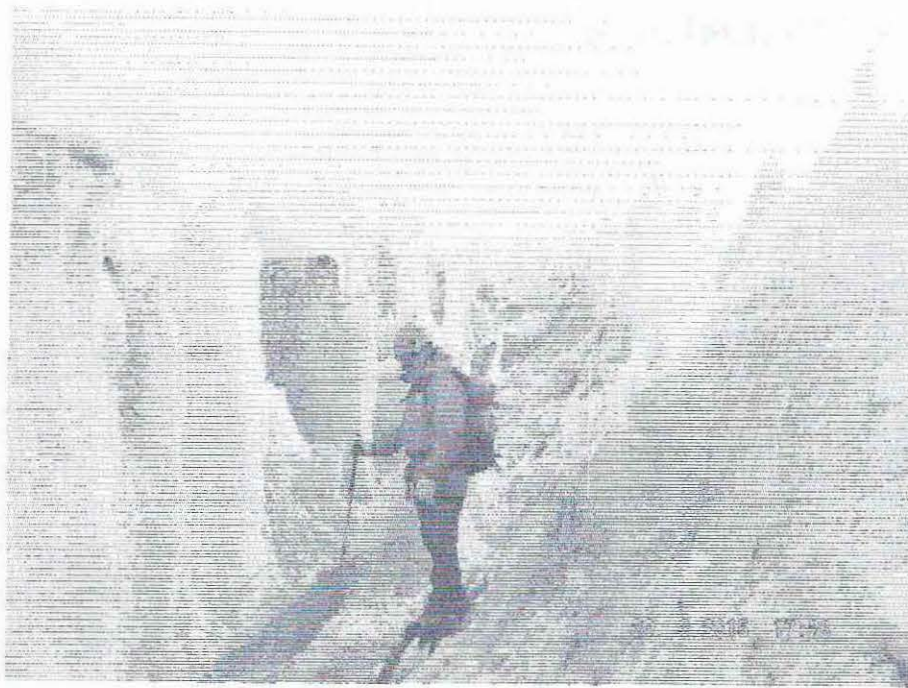
Al analizar las series de balance de masa, se ha detectado que este período de referencia es insuficiente, puesto que no existió durante esos años eventos tan extremos como los observados en los últimos 7 años, cuando ha habido una predominancia de eventos La Niña, asociados a sequedad atmosférica, lo que se ha traducido en una sequía prolongada que sólo se está recuperando durante el invierno en curso (2015).

Por otro lado, y tal como se planteó en la formulación de la propuesta de PMGv4 [CECs, 2014e], el glaciar Ortigas 1 y glaciarete Ortigas 2 que sirven de referencia para caracterizar la variabilidad natural sin interferencia antrópica, han tenido una variabilidad incluso mayor a la de los cuerpos de hielo cercanos al proyecto minero, por lo que habría que extender la serie de referencia, con el fin de detectar con el método glaciológico *per se*, un posible impacto de origen antrópico.

En el mencionado PMGv4 se planeó este problema y se recomendó cambiar el método de cálculo de las posibles excedencias. Se incluyó para ello un Índice M:

*“Balance de masa específico (balance de masa por unidad de área) promedio para cada glaciar/glaciarete de PL, dividido por el balance de masa específico promedio para los glaciares/glaciaretes de referencia (Glaciar Ortigas 1 y Glaciarete Ortigas 2) ubicados al sur de la mina. Los balances de masa serán calculados con una combinación de métodos glaciológicos y geodésicos. La comparación del balance de masa de los glaciares/glaciaretes de PL con los glaciares/glaciaretes de referencia es necesaria para contribuir a distinguir entre efectos naturales de efectos provocados por las actividades del Proyecto de mediano y largo plazo”.*

En dicha propuesta, se recoge el problema de las series cortas de referencia por glaciar y se asume que a pesar de que no hay un “buen” glaciar de referencia, al menos es preferible comparar cada cuerpo de hielo del área de influencia con el de



**Figura 2-22 El círculo rojo destaca el escurrimiento superficial del glaciar Guanaco el 19 de marzo de 2015.**

Durante las visitas del equipo de terreno a los glaciares no se registraron situaciones anómalas ni comentarios sobre intervenciones antrópicas.

#### 4 Referencias

- BARRICK (2008), Plan de Monitoreo Glaciares Proyecto Pascua-Lama Revisión 3.
- CECs (2011), Informe Técnico Levantamiento Aéreo Pascua Lama, Valdivia, Chile.
- CECs (2014a), Informe mensual de albedo, diciembre 2014, Valdivia, Chile.
- CECs (2014b), Informe mensual de albedo, noviembre 2014, Valdivia, Chile.
- CECs (2014c), Informe mensual de albedo, octubre 2014, Valdivia, Chile.
- CECs (2014d), Informe semestral de albedo, invierno 2014, Valdivia, Chile.
- CECs (2014e), Plan de Monitoreo de Glaciares Proyecto Pascua Lama, PMGv4, Valdivia, Chile.
- CECs (2015a), Balance de masa (informe año hidrológico 2014-2015). Proyecto Pascua Lama. Informe entregado a CMN, elaborado por Centro de Estudios Científicos (CECs)., Valdivia, Chile.
- CECs (2015b), Informe mensual de albedo, enero 2015, Valdivia, Chile.
- CECs (2015c), Informe mensual de albedo, febrero 2015, Valdivia, Chile.
- CECs (2015d), Informe mensual de albedo, marzo 2015, Valdivia, Chile.
- CECs (2015e), Meteorología Abril 2014 - Marzo 2015 en la zona del proyecto Pascua-Lama, Valdivia, Chile.
- Cuffey, K., and W. Paterson (2010), *The Physics of Glaciers*, 4th editio., edited by Elsevier, Burlington, MA.
- DGF (2015), Boletín Climático de Chile, Dpto. Geofísica Univ. Chile. Available from: <http://met.dgf.uchile.cl/clima/>
- NOAA (2013), EL NIÑO/OSCILACION SUR, Available from: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/enso\\_disc\\_Sp.html](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/enso_disc_Sp.html)
- Paterson, W. S. B. (1994), *The physics of glaciers*, p. 481, Elsevier, Oxford.
- Prokop, A. (2008), Assessing the applicability of terrestrial laser scanning for spatial snow depth measurements, *Cold Reg. Sci. Technol.*, 54(3), 155-163.

referencia, que hacerlo entre cada glaciar con un promedio de su serie, que lamentablemente es muy corta y poco representativa.

Se estima que la excedencia de límites en este año hidrológico 2014-2015, se explica básicamente por este problema de representatividad de la serie de referencia. Todos los antecedentes expuestos hasta aquí, y los incluidos en los informes entregados a la autoridad a fines de julio del 2015, confirman que este año hidrológico fue uno de los más secos de los últimos 100 años en la región y que el verano fue uno de los más cálidos de la serie, por ende, el período de referencia del 2002/3 a 2008/9 no puede ser representativo de la variabilidad natural de cada cuerpo de hielo en la zona. Es dable esperar años con balances incluso más negativos a futuro, y también, como parece ser el caso del presente año hidrológico 2015-2016, pueden darse años con balances mucho más "positivos" que los observados en el período de referencia.

El método glaciológico tiene además una incertidumbre intrínseca elevada, la que se constata al comparar distintos métodos de interpolación o con métodos geodésicos de cálculo. Esto implica que la superación del límite 1 y 2 podría no ser significativa, estadísticamente hablando.

Ahora, ¿por qué solo estos dos cuerpos de hielo experimentaron esta excedencia? No hay una respuesta absoluta y plausible sin considerar la variabilidad espacial de los fenómenos glaciológicos y la validez de las series de referencia. Lo que sí está claro, es que con todas las mediciones y monitoreo llevados a cabo en este año hidrológico, no se detectó posibles efectos de origen antrópico que expliquen esta excedencia, lo que se ratifica por fotos terrestres secuenciales, datos de estaciones meteorológicas, mediciones de albedo y frecuentes visitas de terreno.

En síntesis, se concluye que la excedencia es debida a condiciones extremas del año en cuestión y no a efectos derivados de la actividad antrópica en la zona.



Rabatel, a. et al. (2013), Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change, *Cryosph.*, 7(1), 81-102, doi:10.5194/tc-7-81-2013.

Rabatel, A., H. Castebrunet, V. Favier, L. Nicholson, and C. Kinnard (2011), Glacier changes in the Pascua-Lama region, Chilean Andes (29° S): recent mass balance and 50 yr surface area variations, *Cryosph.*, 5(4), 1029-1041.

RIEGL (2010), LPM-321.

Rivera, A., F. Bown, F. Napoleoni, C. Muñoz, and M. Vuille (2015a), Balance de masa glaciar con método glaciológico, ACCION-UNE., Santiago, Chile.

Rivera, A., T. Loriaux, J. Hernandez, S. Cisternas, C. Bravo, R. Wilson, T. Kohoutek, and F. Bown (2015b), Negative mass balance and high discharge from glaciers in the central Andes of Chile, in International Symposium on Hydrology of Glaciers and Ice Sheets, Höfn in Hornafjörður, p. Abstract 72A1776.

Zemp, M., M. Hoelzle, and W. Haeberli (2009), Six decades of glacier mass-balance observations: a review of the worldwide monitoring network, *Ann. Glaciol.*, 50(50), 101-111.



FOTOS Greenpeace reveló basurales escondidos en glaciares en faena de Pascua Lama  
**ADNradio.cl** | 10/16/2015

[Greenpeace](#) alertó de la existencia de basurales debajo de glaciares en faenas de [Pascua Lama](#), "que evidencian la destrucción de estas reservas de agua".

Según la ONG, "la minería destruye glaciares". A su juicio, esto es "un acto criminal, y sin precedentes que requiere rápida y urgente acción judicial y la máxima sanción: el cierre definitivo, de una vez por todas de esta empresa -[Barrick Gold](#)- que tanto daño ha causado".

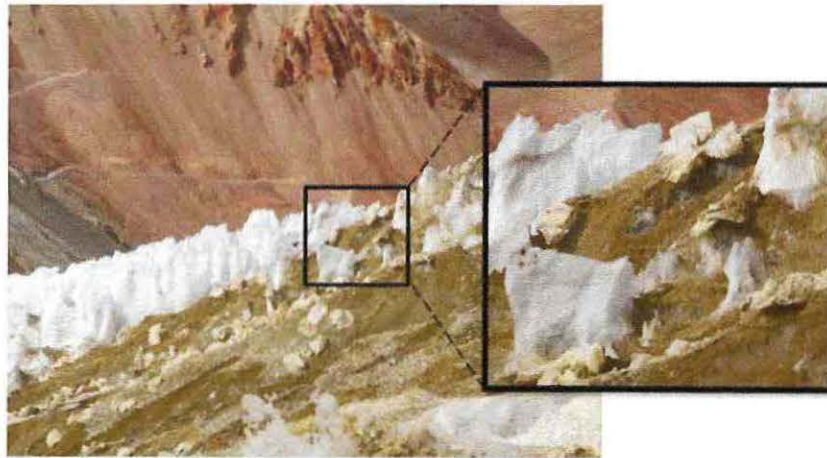
Su director, [Matías Asún](#), insiste que "necesitamos una ley de glaciares que ponga reglas a la minería" y asegura que "la propuesta de ley de glaciares actual del Gobierno permitiría que esto siga ocurriendo".

Greenpeace realizó una denuncia en la Superintendencia de Medio Ambiente con los antecedentes recibidos para iniciar la investigación, lo que se sumará a las que ya existen contra la empresa por ocultamiento de información, contaminación e incumplimientos de los compromisos ambientales.

En marzo de este año, el [Tribunal Ambiental](#) declaró inexistente el daño a glaciares por parte de Pascua Lama, hecho que las comunidades han venido denunciando durante años.

●● FLICKR

Informe de excedencia Índice A (límite 2) Año Hidrológico 2014-2015



**Figura 2-14 Gran cantidad de detrito y plástico adherido e incorporado al cuerpo de hielo, característica apreciada para todo el glaciarete Esperanza en una visita realizada en marzo 2015 (en el cuadrado negro se resalta en detalle lo comentado).**

Cerrar

Derechos Reservados. Radio ADN 91.7. <http://www.adnradio.cl/>