



INFORME DE BALANCE DE MASA
(INFORME ANUAL AÑO HIDROLOGICO 2011-2012)
PROYECTO PASCUA LAMA

Preparado por Centro de Estudios Científicos para Compañía Minera Nevada

Francisca Bown, Geógrafa,
Gino Casassa, Glaciólogo,
Thomas Loriaux, Geógrafo
José Luis Rodríguez, Ingeniero Forestal,

Andrés Rivera Ibáñez, Glaciólogo Sénior, director del proyecto

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-1059SC, “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 CMM, 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.

Contenido

1. RESUMEN	4
2. INTRODUCCIÓN	5
3. ÁREA DE ESTUDIO.....	7
4. METODOLOGÍA	9
4.1. Balance de masa.....	9
4.2. Índices y Límites	11
5. RESULTADOS.....	12
5.1. Período 2011-2012.....	12
5.1.1. <i>Glaciar Guanaco</i>	12
5.1.2. <i>Glaciar Estrecho</i>	15
5.1.3. <i>Glaciar Ortigas 1</i>	18
5.1.4. <i>Glaciarrete Toro 1</i>	21
5.2 Síntesis de balance de masa período 2002/2003 - 2011/2012.....	23
6. RESUMEN Y CONCLUSIONES	29
6.1. Balance de masa	29
6.2. Uso del glaciar de referencia para el balance de masa de otros glaciares.....	29
6.3. Índices y Límites	30
6.4. Variaciones de área glaciar	35
7. REFERENCIAS.....	1
ANEXO 1	3

1. RESUMEN

Se calculó el balance de masa de 4 de los 7 cuerpos de hielo existentes en Pascua-Lama (glaciares Estrecho, Guanaco y Ortigas 1 y glaciarete Toro 1) para el año hidrológico 2011-2012 (1 abril 2011 al 31 marzo 2012). Se utilizó el método glaciológico tradicional, midiendo balizas a fines del verano 2010-2011, a fines del invierno 2011 y a fines del verano 2011-2012. Los balances de masa netos presentan valores negativos, de una magnitud similar al balance promedio de los últimos años, desde 2002-2003. Estos fluctuaron entre -1.30 m eq.a. en el Glaciar Estrecho a -0.71 m eq.a. en el Glaciar Guanaco, los dos principales glaciares de la zona en estudio. En los 3 glaciaretos restantes (Toro 2, Esperanza y Ortigas 2, éste último de referencia) no fue posible aplicar el método tradicional y obtener sus balances de masa dado el extravío generalizado de balizas a fines de verano. Se calcularon los Índices y sus respectivos límites para evaluar la eventual existencia de afectaciones antrópicas en los balances de masa de esos 4 glaciares.

Se midieron las áreas de los glaciares y glaciaretos en base a imágenes satelitales de mayo de 2011 y febrero de 2012. Si bien es cierto en dicho periodo existió una disminución pequeña de área, y en algunos casos incluso un ligero avance, si se analiza la serie completa desde 1955 (año de las primeras fotografías aéreas), se observa una reducción muy significativa de las superficies de todos los cuerpos de hielo que sumado a los balances de masa negativos confirman la importante pérdida de masa de hielo en la zona Norte del país.

2. INTRODUCCIÓN

El presente informe anual se ha realizado en el marco del cumplimiento del Plan de Monitoreo de Glaciares del Proyecto Pascua Lama versión 3 (PMGv3), aprobado el 2008, según quedó establecido en las Resoluciones de Calificación Ambiental N° 39 y 24 de 2001 y 2006, respectivamente.

En la zona del Proyecto Pascua Lama se encuentran tanto glaciares como glaciaretos, si bien se les tiende a considerar indistintamente como “glaciares”. Vale la pena hacer la distinción conceptual entre los dos tipos dadas las importantes diferencias en sus características, dimensiones y propiedades dinámicas. Un glaciar es “toda masa de hielo perenne, formada por acumulación de nieve, cualquiera sean sus dimensiones y formas, el que fluye lentamente por deformación, deslizamiento basal y deslizamiento de sedimentos subglaciales” (Lliboutry, 1956). Una de las principales propiedades que definen a un glaciar como tal es precisamente la evidencia de flujo de hielo en el presente o bien en el pasado (Cogley et al., 2011). Por su parte, un glaciarete es un glaciar muy pequeño, que perdura por al menos dos años consecutivos, típicamente menos de 0.25 km² (25 há) de superficie, que no exhibe evidencia marcada de flujo en superficie (Cogley et al., 2011).

El balance de masa es definido como la suma algebraica de la acumulación y ablación o el cambio neto de masa al término de un período hidrológico (Østrem & Brugman, 1991). La vía más importante de acumulación es la precipitación nival (Benn & Evans, 1998), en relación con la circulación atmosférica y su interacción con el relieve local (Oerlemans, 2001). La ablación se produce por fusión o derretimiento, evaporación y sublimación, entre otros procesos (Benn & Evans, 1998). No obstante lo anterior, cuantificar todos los componentes del balance de masa no siempre es viable debido a limitaciones meteorológicas y de accesibilidad y habitualmente se recurre a distintos métodos de captura y análisis de datos para aproximar estos valores.

Para comprender e interpretar el comportamiento de los glaciares de Pascua Lama es necesario estudiar el balance de masa anual, que constituye información esencial para conocer su estado actual, y poder interpretar su evolución de área y volumen en base a la variabilidad climática interanual y multidecadal (de un periodo mayor a 30 años), factores dinámicos inherentes del hielo, y eventuales causas antrópicas.

Se reportan aquí los resultados de las mediciones de balance de masa invernal, de verano y anual, de 3 glaciares (Guanaco, Estrecho, Ortigas 1) y 1 glaciarete (Toro 1) de Pascua-Lama mediante el método tradicional (balizas y pozo glaciológico), durante el año hidrológico 2011-2012 (1 abril 2011 al 31 marzo 2012). Debido al extravío generalizado de balizas en los restantes glaciaretos (sólo logró encontrarse una de ellas en Toro 2 y ninguna baliza en Esperanza y Ortigas 2), no fue posible calcular su balance de masa con el método glaciológico. Ello obedece en parte a que las balizas de coligüe no resistieron bien las condiciones meteorológicas de Pascua-Lama durante

el último año, por lo cual esta situación se corrigió con la instalación a partir de febrero-abril de 2012 de nuevas balizas de aluminio, las que son más robustas que las tradicionales balizas de coligüe. Con el objetivo de obtener una estimación de los balances de masa de estos tres glaciaretes, se intentó un análisis de correlaciones de Pearson entre todos los glaciares desde el inicio de las mediciones. Sin embargo, en muchos casos las correlaciones no resultaron estadísticamente significativas y los errores residuales son considerables. En los datos se advierte una alta variabilidad interanual y la discontinuidad de la serie en varios glaciares, esto particularmente para el caso de Ortigas 2, razón por la cual se omitió hacer este procedimiento estadístico.

3. ÁREA DE ESTUDIO

El PMGv3 indica que se debe estudiar el balance de masa en 5 cuerpos de hielo de Pascua-Lama (glaciaretos Toro 1, Toro 2, Esperanza, y glaciares Estrecho y Guanaco), y asimismo en 2 cuerpos de hielo de referencia (glaciar Ortigas 1 y glaciarete Ortigas 2). La comparación de los cuerpos de hielo de Pascua-Lama con aquellos de referencia (ubicados unos 8 km al sur del sector mina) tiene por objetivo identificar potenciales efectos antrópicos de la mina de Pascua-Lama en el balance de masa. La ubicación y los parámetros básicos de estos 7 cuerpos de hielo se presentan en la Figura 1 y la Tabla 1.

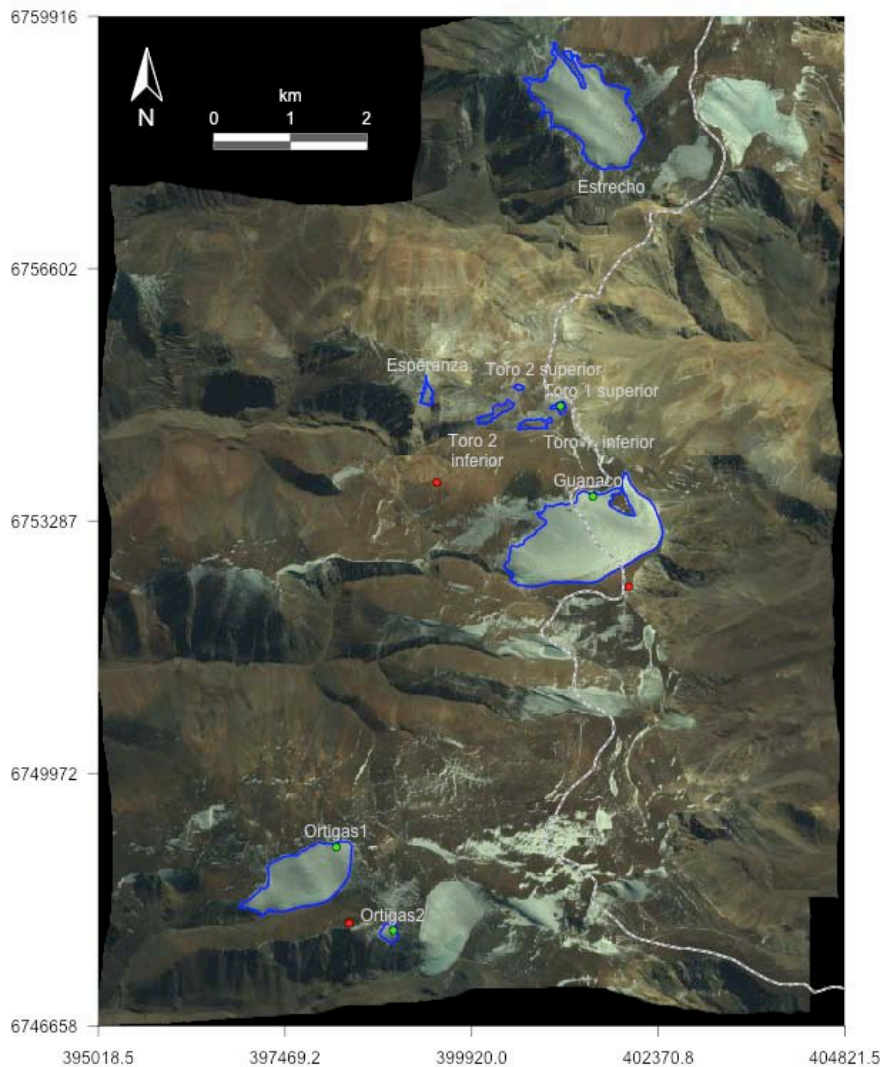


Figura 1. Glaciares y glaciaretos de Pascua-Lama representados en una imagen Ikonos del 11 de mayo de 2011, con los bordes de los cuerpos de hielo en estudio indicados en azul. Los puntos rojos representan las cámaras fotográficas secuenciales que adquieren fotos para el estudio diario del albedo. Los puntos verdes indican la ubicación de las estaciones meteorológicas automáticas. La línea segmentada blanca indica la frontera chileno-argentina.

Tabla 1. Cuerpos de hielo de Pascua-Lama, parámetros básicos. El área corresponde a la superficie medida en una imagen GeoEye del 11 de febrero de 2012. Para Toro 1 y Toro 2 se usaron datos GPS de terreno de febrero 2012 para delinear el área cubierta por detritos, que era de difícil interpretación en la imagen GeoEye. El espesor máximo fue medido con el método de radar (Golder, 2003), excepto en el Guanaco donde se efectuó una perforación hasta la base del glaciar (CEAZA, 2008). Las coordenadas centrales, altitudes y orientación fueron obtenidas a partir de GoogleEarth.

Cuerpo de hielo	Coordenadas centrales UTM 19J, WGS84 (m)		Área (há)	Altitud máxima (m s.n.m.)	Altitud mínima (m s.n.m.)	Espesor máximo (m) (año medición)	Orientación
Glaciar Estrecho	6758800 N	401400 E	116,07	5.500	5.050	s.i.	SE
Glaciar Guanaco	6753100 N	401400 E	166,73	5.350	4.985	113 (2008)	SSE
Glaciarete Toro 1	6755055 N	400900 E	4,73	5.245	5.095	28 (2003)	SO
Glaciarete Toro 2	6754800 N	400400 E	4,75	5.210	5.000	11 (2003)	SO
Glaciarete Esperanza	6755000 N	399400 E	3,41	5.120	4.990	36 (2003)	S
Glaciar Ortigas 1	6748000 N	398900 E	78,44	5.240	4.820	s.i.	SW
Glaciarete Ortigas 2	6747850 N	398850 E	3,45	5.140	5.025	s.i.	SW

s.i. : Sin información

4. METODOLOGÍA

4.1. Balance de masa

El balance de masa de un glaciar corresponde a la sumatoria algebraica de la acumulación de nieve y hielo (aporte positivo) y las pérdidas de nieve y/o hielo (o ablación, aporte negativo). La acumulación puede ocurrir por precipitación de nieve, aporte de escarcha superficial, lluvia congelada, transporte de nieve (nieve en deriva), avalanchas de nieve y/o hielo y acumulación por acreción de nieve y/o hielo en la base del glaciar (Cuffey & Paterson, 2010). En cambio la ablación puede ocurrir por derretimiento superficial y/o basal, desprendimiento de témpanos en el frente del glaciar, sublimación, pérdida de nieve por deriva y avalanchas.

Para Pascua-Lama la principal fuente de acumulación es por precipitación de nieve, mientras que la ablación ocurre principalmente por sublimación y derretimiento en superficie (Rabatel et al., 2011). Por ello el balance superficial es una buena representación del balance de masa total de un glaciar en Pascua-Lama. En este reporte “balance de masa” se refiere al “balance de masa superficial”. La medición directa de estos parámetros a través de estacas (balizas) instaladas en la superficie de hielo se denomina método glaciológico (Cogley et al., 2011). El balance de masa se calcula para una fecha fija definida como el año hidrológico austral (1º abril al 31 marzo). Dado que normalmente no es posible medir las balizas exactamente en esas fechas, se interpolan los resultados en el tiempo.

El balance de masa consiste en la suma de la acumulación total y la ablación total durante un año hidrológico y se calcula según la siguiente ecuación (Cuffey & Paterson, 2010):

$$bn = bw + bs \quad \text{(Ecuación 1)}$$

donde bn , bw y bs representan los balances puntuales en las balizas en metros equivalente de agua (m eq.a.) según sus siglas en inglés:

bn : balance neto

bw : balance de invierno

bs : balance de verano.

En las observaciones de terreno se mide la longitud de las balizas sobre la superficie del glaciar (al final del invierno y al final del verano), así como también la profundidad y densidad del manto de nieve (al final del invierno). La profundidad de la nieve al final del invierno se determina promediando nueve mediciones realizadas con una sonda de avalanchas alrededor de cada baliza en una grilla con una separación de 1 m centrada en la baliza. La medición de densidad se realiza al final del invierno excavando en cada glaciar y glaciarete un pozo o calicata hasta la superficie del

verano anterior, que se distingue como un horizonte manchando con polvo o por una base de hielo. En el pozo se mide la altura de nieve y se obtiene un perfil de densidades de la columna para determinar posteriormente la equivalencia en agua de la nieve acumulada.

De la comparación de las observaciones obtenidas en la campaña de fines del verano 2010/2011 con la realizada a fines del invierno 2011 se obtiene el balance de invierno (bw). De manera similar, comparando las mediciones de finales de invierno 2011 con las realizadas durante finales del verano 2011/2012 se obtiene el balance de verano (bs) 2011/2012. Para convertir los valores a su equivalente en agua (eq.a.), se aplica la densidad de nieve o hielo, dependiendo del tipo de superficie. Para la densidad de hielo se toma un valor de 0.9 g/cm^3 (Cuffey & Paterson, 2010). La acumulación/ablación representa valores puntuales pues son obtenidos para cada baliza, y luego extrapolados a toda la superficie del glaciar, asignando a cada baliza un área de influencia sobre el glaciar que se determina trazando polígonos de Thiessen (CEAZA, 2010; BGC Engineering, 2011). Estos polígonos se aprecian en Figuras 2, 3 y 4. Se prefirió utilizar los polígonos de Thiessen para preservar la uniformidad en el cálculo de los balances de masa presentados anteriormente a la autoridad.

Al multiplicar la variación de altura de agua equivalente por el área asignada se obtiene la variación de volumen de agua para cada polígono, los que posteriormente se suman para obtener la variación de volumen de agua para todo el glaciar. Este valor final representa el volumen de agua ganado o perdido por el cuerpo de hielo durante el año hidrológico. Los balances areales obtenidos mediante los polígonos de Thiessen se denotan como B_s , B_w y B_n (verano, invierno y neto, respectivamente).

Las observaciones obtenidas durante las campañas de terreno han sido registradas en forma de notas de terreno. Estas anotaciones contienen las mediciones requeridas, las condiciones en que se encontraron las balizas (inclinadas, desenterradas o perdidas), tipo de superficie (nieve o hielo) y presencia de penitentes. La longitud de la baliza sobresaliente de la superficie de nieve o hielo se corrige en el caso que éstase encuentre oblicua a la superficie.

Debido a que las condiciones meteorológicas de Pascua-Lama son adversas, muchas veces las balizas se ven afectadas por el viento y la nieve, particularmente las balizas de coligües que normalmente se han instalado en Pascua-Lama, lo que en algunas ocasiones puede resultar en la caída, quiebre e incluso la pérdida de las balizas. En general, se pudo recuperar en buena forma las balizas ubicadas en los cuerpos de hielo más grandes y se hizo la lectura para una proporción importante al final del invierno y verano, resultando en la obtención del balance neto y estacional.

4.2. Índices y Límites

De acuerdo a lo establecido en el Plan de Monitoreo (PMGv3), se ha realizado el cálculo de los Índices A, B, C, D, E y F y sus correspondientes límites para establecer una eventual afectación de actividades antrópicas en el balance de masa 2011/2012 de los glaciares medidos. Los índices han sido calculados de la siguiente manera:

- Índice A: Comparación del balance de masa neto del glaciar en el período 2011/2012 con el balance de masa promedio en el período de referencia. Para ello, se ha tomado como referencia, el período 2002/2003 a 2008/2009, considerando que a partir de 2009 comienzan las operaciones en el área del proyecto. El Índice A excede el Límite 1 cuando el balance de masa actual es inferior a 0.75 desviaciones estándar del período de referencia, y excede el Límite 2 cuando es inferior de 1 desviación estándar de ese período.
- Índice B: Razón del balance de invierno, balance de verano y balance de masa promedio de la parte baja y la parte alta del glaciar, entendiéndose ambas como dos zonas con efectos de riesgos adversos diferenciados. Esta razón es calculada solamente en el glaciar Estrecho. El Índice B excede el Límite 1 cuando la razón es ≥ 1.5 , y excede el Límite 2 cuando la razón es ≥ 2 .
- Índice C: Razón del balance de masa neto actual del glaciar y el balance de masa neto del glaciar de referencia (Ortigas 1), también actual. El Índice C excede el valor 1 cuando el balance de masa neto del glaciar es inferior al balance neto del glaciar de referencia.
- Índice D: Corresponde a la variación interanual (%) del balance de acumulación anual. El Índice D excede el Límite 1 cuando el balance de acumulación es inferior a 0.75 desviaciones estándar del balance de acumulación del período de referencia (2003/2004 – 2008/2009), y excede el Límite 2 cuando es inferior de 1 desviación estándar de ese período.
- Índice E: Corresponde a la variación interanual (%) del balance de ablación anual. El Índice E excede el Límite 1 cuando el balance de ablación es inferior a 0.75 desviaciones estándar del balance de acumulación del período de referencia (2003/2004 – 2008/2009), y excede el Límite 2 cuando es inferior de 1 desviación estándar de ese período.
- Índice F: Corresponde a la variación interanual (%) de las áreas de los glaciares. El Índice F es $< 100\%$ cuando el glaciar experimentó una reducción de su superficie en el período de comparación interanual.

5. RESULTADOS

En este informe se presenta el balance de masa de los 3 glaciares (Guanaco, Estrecho y Ortigas 1) y 1 glaciarete (Toro 1) de Pascua-Lama (Figura 1 y Tabla 1) para el año hidrológico 2011-2012. La red de balizas de coligüe en aquellos cuerpos de hielo fue instalada en terreno y medida por el CEAZA a fines del verano 2010/2011 (abril 2011), a fines de invierno de 2011 (octubre-noviembre 2011), y posteriormente medidas por el CECs a fines del verano de 2011/2012 (febrero-marzo 2012). Debido a la pérdida de las balizas durante el período de estudio no fue posible obtener el balance glaciológico para los tres glaciaretos faltantes (Toro 2, Esperanza y Ortigas 2).

5.1. Período 2011-2012

5.1.1. Glaciar Guanaco

La campaña de fines de verano de 2011/2012 se efectuó a fines de enero/principios de febrero de 2012, que representa un desfase de unos 2 meses con respecto al fin del año hidrológico. La ablación en cada baliza (A_b) en ese periodo de 2 meses fue estimada a partir del dato de altura de la superficie del glaciar registrado mediante el sensor sónico (A_{AWS}) instalado en la estación meteorológica automática (AWS según sus siglas en inglés, *Automatic Weather Station*). Esta fue estimada en 11.6 cm en superficie, predominantemente hielo, vale decir 10.4 cm eq.a. considerando la densidad teórica del hielo de 0.9 g/cm^3 . Se calculó primero un factor de amplificación o disminución de la ablación (F_{ab}) para cada baliza comparado con la ablación registrada en el sensor sónico de la AWS entre octubre 2011 y febrero 2012, que alcanzó 40 cm eq.a., como el cociente entre A_b y A_{AWS} . Los factores F_{ab} para las balizas varían entre 0.34 y 3.17. La ablación para cada baliza en ese periodo se estimó entonces como $10.4 \times F_{ab}$ (cm eq.a.). Para todo el glaciar el F_{ab} promedio (ponderando por el área de influencia de cada baliza) es de 1.56, por lo que para febrero-marzo se agregó para el glaciar Guanaco una corrección por ablación de $1.56 \times 10.4 = 16.2 \text{ cm eq.a.}$

De las 18 balizas medidas en la campaña de fin de invierno, solo se pudieron concretar 9 en la campaña de verano (Tabla 2 y Figura 2) debido a que las demás balizas no fueron encontradas, estaban quebradas o se encontraban completamente fuera del hielo. Se calcularon los balances puntuales para cada una de las 9 balizas (bw , bs y bn), así como también el área de influencia de cada uno de esos puntos y sus respectivos balances areales expresados en volúmenes equivalente de agua (Figura 2).

Tabla 2. Resultados del balance de masa puntual equivalente en agua en cada baliza (*bw*, *bs*, *bn* en m eq.a.) y el volumen equivalente de agua determinado para cada área de influencia de cada baliza (*Bw*, *Bs*, *Bn* en m³ eq.a.) para el año hidrológico 2011-2012, glaciar Guanaco. El área representa la superficie de influencia de cada baliza calculada según el polígono de Thiessen correspondiente.

Baliza	Altitud (m s.n.m.)	Balance en balizas (m eq.a.)			Área (m ²)	Volumen total (m ³ eq.a.)		
		<i>bw</i>	<i>bs</i> ⁽¹⁾	<i>bn</i>		<i>Bw</i>	<i>Bs</i>	<i>Bn</i>
6G-0	5.318	-0,06	-1,00	-1,06	83.062	-4.984	-76.417	-81.401
6G-1	5.297	0,09						
6G-2	5.279	-0,26						
6G-3	5.216	-0,15	-0,66	-0,81	121.956	-18.293	-74.393	-92.686
6G-4	5.173	-0,17	-0,48	-0,65	313.933	-53.369	-138.131	-191.500
6G-5	5.159	-0,32						
CG7-1	5.239	-0,23						
CG7-2	5.173	0,29						
CG7-3	5.165	-0,85						
7G-7	5.242	0,09	-0,19	-0,10	137.456	12.371	-23.368	-10.997
7G-8	5.147	0,31	-1,03	-0,72	267.929	83.058	-254.533	-171.475
7G-11	5.314	-0,21	-0,61	-0,82	92.190	-19.360	-51.626	-70.986
7G-12	5.311	-0,09	-0,41	-0,50	38.605	-3.474	-14.670	-18.144
8G-13	5.286							
8G-14	5.212	0,01	-0,41	-0,40	251.438	2.514	-95.546	-93.032
8G-15	5.131		-0,99					
8G-16	5.095	0,33	-1,71	-1,38	36.0724	119.039	-577.158	-458.119
G_TERMIRD	5.161		-0,51					
TOTAL					1.667.293	117.502	-1.305.842	-1.188.340

(1) Valores de ablación medidos en las balizas en terreno hasta el 01 de febrero de 2012, luego extrapolados al 31 de marzo a partir de los datos del sensor sónico de altura de la AWS Guanaco según se indica en el texto.

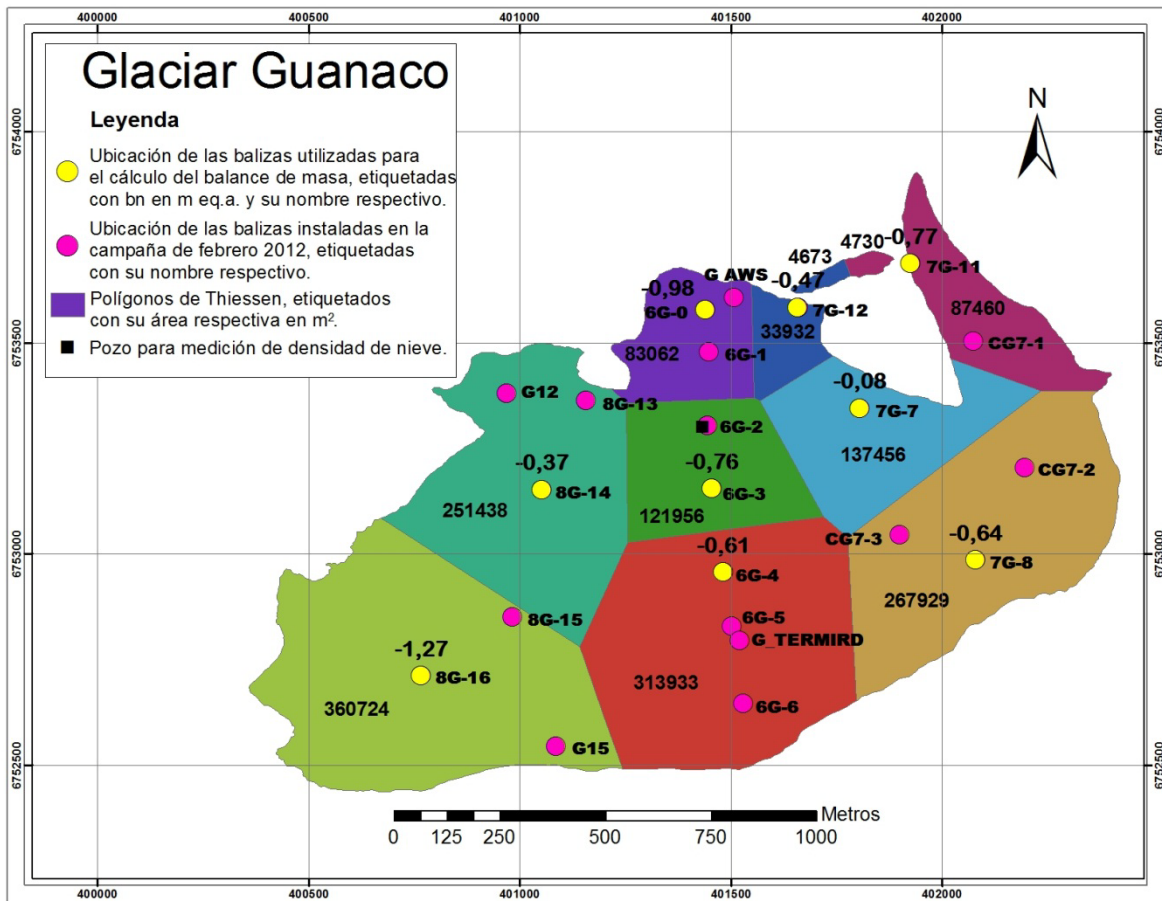


Figura 2. Ubicación de las balizas en el glaciar Guanaco y área de influencia determinada para los puntos utilizados en el cálculo del balance de masa para las balizas que cuentan con datos de invierno y verano. El contorno (perímetro) del glaciar corresponde al 11 de febrero de 2012 según una imagen satelital GeoEye de esa fecha.

La pérdida neta de masa en el glaciar Guanaco el año hidrológico 2011-2012 fue de $-1.188.340 \text{ m}^3 \text{ eq.a}$. Considerando un área total del glaciar de $1.667.293 \text{ m}^2$ (Tabla 2), resulta un balance neto específico (por unidad de área) de $-0,71 \text{ m eq.a}$ para el período 2011-2012 (Tabla 3). En la Tabla 3 también se presentan las sumatorias de los balances positivos (acumulación) y negativos (ablación) para los cálculos correspondientes a las áreas de influencia de las balizas a nivel semestral efectuadas el año hidrológico 2011-2012. Los valores del balance de invierno y del balance de acumulación no son idénticos puesto que, por ejemplo, en algunas balizas ocurrió ablación durante el invierno.

Tabla 3. Resultados del balance de masa para el año hidrológico 2011-2012, glaciar Guanaco.

Balance de masa	Invierno	Verano	Neto	Acumulación	Ablación	Neto
Balance total (m ³ eq.a.)	117.502	-1.305.842	-1.188.340	216.982	-1.405.322	-1.188.340
Balance específico (m. eq.a.)	0,07	-0,78	-0,71	0,13	-0,84	-0,71

Para extender las mediciones en las temporadas sucesivas se instalaron 25 balizas de aluminio (Figura 2 y Anexo 1), de las cuales 18 fueron reinstaladas en lugares preexistentes de balizas de coligües, 4 están ubicadas a una distancia de 10 m en los cuatro puntos cardinales de la AWS para comprobar los datos registrados por el sensor de altura de nieve, y otras 3 se instalaron en nuevos puntos tales que se conseguirá mejorar la cobertura de balizas en la superficie del glaciar.

5.1.2. Glaciar Estrecho

En el glaciar Estrecho se logró recuperar datos en 12 de las 16 balizas instaladas (Tabla 4 y Figura 3). Los valores obtenidos en los balances son principalmente negativos, incluso durante el invierno (Tabla 4). En invierno se detectó acumulación solo en 6 balizas, aunque de ellas solo se encontraron cuatro en el verano (Tabla 4). El control de las balizas al fin del verano 2011-2012 se realizó en un periodo entre febrero y marzo, con una fecha promedio del 24 de febrero. Por ello es necesario corregir el balance de verano para agregar la ablación ocurrida durante 36 días, hasta el 31 de marzo. Dado que no existe una estación meteorológica automática (AWS) en Estrecho con un sensor de altura de la superficie del glaciar, se ajustó la ablación considerando una ablación de 11.6 cm de hielo (10.4 cm eq.a.) medida en la AWS de Guanaco para el periodo del 25 febrero al 31 marzo, lo que constituye la mejor aproximación con los datos ahora disponibles en el otro glaciar del área del proyecto, de similar tamaño que el glaciar Estrecho. Se consideró para el glaciar Estrecho un factor de ablación (F_{ab}) promedio de 1.56, idéntico al glaciar Guanaco (ver sección anterior). De esta manera la corrección por ablación en el periodo de 36 días tiene un valor de 0.16 m eq.a., que, sumado a la ablación de verano medida en las balizas de -1.04 m eq.a. resulta en una ablación corregida de -1.20 m eq.a. (Tabla 5).

Tabla 4. Resultados del balance de masa puntual equivalente en agua en cada baliza (*bw*, *bs*, *bn*) y el volumen equivalente de agua determinado para cada área de influencia por baliza (*Bw*, *Bs*, *Bn*) para el año hidrológico 2011-2012, glaciar Estrecho. Al fin del verano 2011-2012 las balizas fueron controladas, en promedio, el 24 de febrero, cuyos datos están reflejados en esta tabla. En el texto y en la Tabla 11 se refleja la corrección por ablación ocurrida entre el 25 de febrero y el 31 de marzo. El área de influencia se calcula mediante polígonos de Thiessen.

Baliza	Altitud (m s.n.m.)	Balance en balizas (m eq.a.)			Área (m ²)	Volumen total (m ³ eq.a.)		
		<i>bw</i>	<i>bs</i>	<i>bn</i>		<i>Bw</i>	<i>Bs</i>	<i>Bn</i>
6ET-1	5.103	0,24	-1,11	-0,87				
6ET-2	5.128	-0,10	-0,78	-0,88				
6ET-3	5.157	-0,56			102.226	24.534	-113.471	-88.937
6ET-4	5.174	0,12	-1,30	-1,18	32.697	-3.270	-25.504	-28.774
6ET-5	5.191	-0,25	-1,98	-2,23				
6ET-6	5.218	0,14			51.453	6.174	-66.889	-60.715
6ET-7	5.140	-0,17	-0,44	-0,61	98.537	-24.634	-195.103	-219.737
CE7-1	5.064	-0,20	-0,59	-0,79				
CE7-2	5.123	-0,02	-1,72	-1,74	104.901	-17.833	-46.156	-63.989
CE7-3	5.172	-0,03	-1,79	-1,82	114.729	-22.946	-67.690	-90.636
CE7-9	5.203	0,19			113.962	-2.279	-196.015	-198.294
7ET-9	5.282				169.417	-50.83	-303.256	-308.339
7ET-10	5.395	-0,47	-0,32	-0,79				
9ET-11	5.246	0,20	-0,83	-0,63				
9ET-12	5.361	0,24	-1,11	-0,87	212.602	-99.923	-68.033	-167.956
9ET-13	5.273	-0,10	-0,78	-0,88	160.136	32.027	-132.913	-100.886
TOTAL					1.160.660	-113.233	-1.215.030	-1.328.263

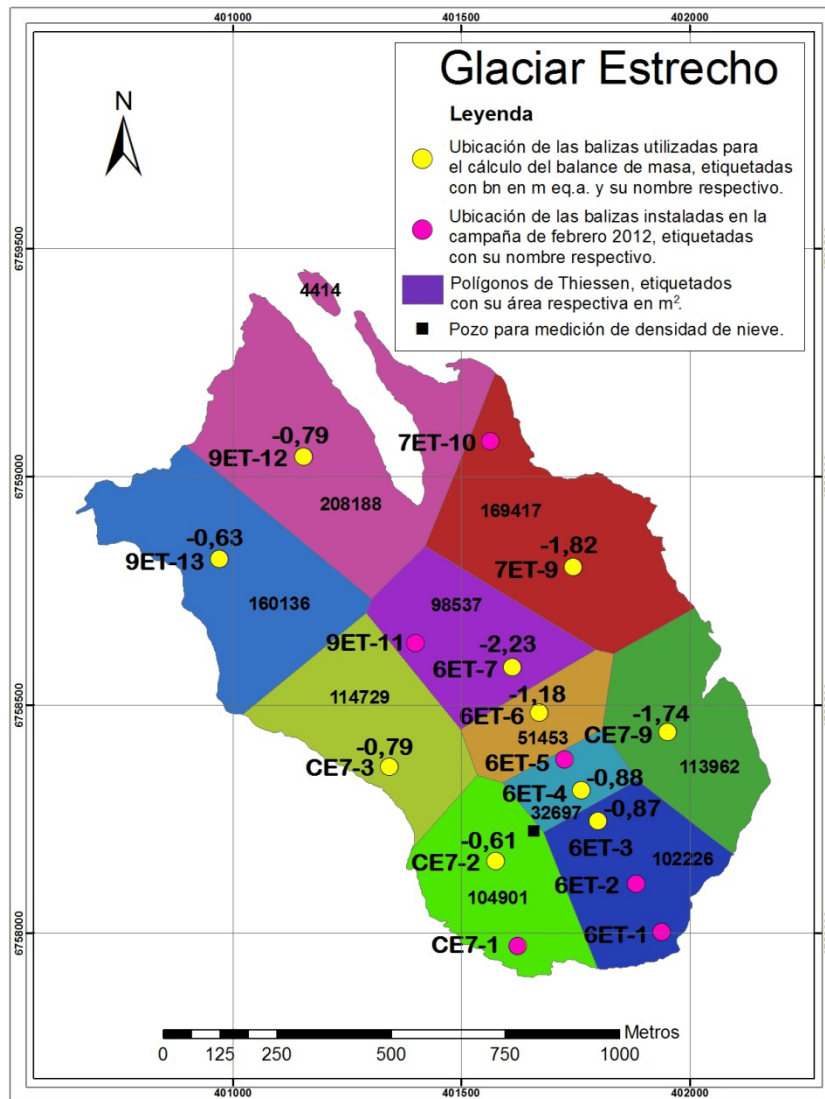


Figura 3. Ubicación de las balizas y área de influencia determinada para los puntos utilizados en el cálculo del balance de masa en el glaciar Estrecho. El contorno del glaciar corresponde a una imagen satelital GeoEye del 11 de febrero de 2012.

Una vez realizada la corrección por ablación ocurrida en el periodo 25 febrero-31 marzo, según se describe arriba, resulta un balance neto negativo con un aporte de agua total de $-1.508.858 \text{ m}^3$, equivalente a $-1,30 \text{ m eq.a.}$ (Tabla 5). En la Tabla 5 el balance de acumulación es la suma de todos los valores positivos de las balizas en sus mediciones de invierno y verano. De manera similar para el balance de ablación, que consiste en la suma de los valores negativos.

Tabla 5. Resultados del balance de masa para el año hidrológico 2011-2012, glaciar Estrecho. El balance específico es el balance por unidad de área. Los datos de verano y de ablación están corregidos al 31 de marzo de 2012 según se indica en el texto.

Balance de masa	Invierno	Verano	Neto	Acumulación	Ablación	Neto
Balance total (m³ eq.a.)	-113.233	-1.395.625	-1.508.858	62.735	-1.571.593	-1.508.858
Balance específico (m. eq.a.)	-0,10	-1,20	-1,30	0,05	-1,35	-1,30

Para continuar con las mediciones de acumulación y ablación en las temporadas siguientes, se reinstalaron balizas de aluminio en los 16 puntos vigentes para el año hidrológico 2011-2012 (Figura 3) (Anexo 1).

5.1.3. Glaciar Ortigas 1

De las 8 balizas medidas en la campaña de fin de invierno, se pudieron encontrar 7 en la campaña de verano (Tabla 6 y Figura 4). A partir de estas 7 balizas se calculó bw , bs y bn , así como también el área de influencia de esas balizas sobre la superficie del glaciar, considerando áreas de influencia mediante polígonos de Thiessen (Figura 4). Los valores del balance del fin de la temporada de verano 2011-2012 se obtuvieron de las mediciones de balizas efectuadas en promedio el 26 de marzo, por lo que se considera marginal la diferencia hasta el 31 de Marzo y no necesario efectuar corrección para ajustar la ablación hasta el final del año hidrológico, como en el caso de los glaciares Guanaco y Estrecho.

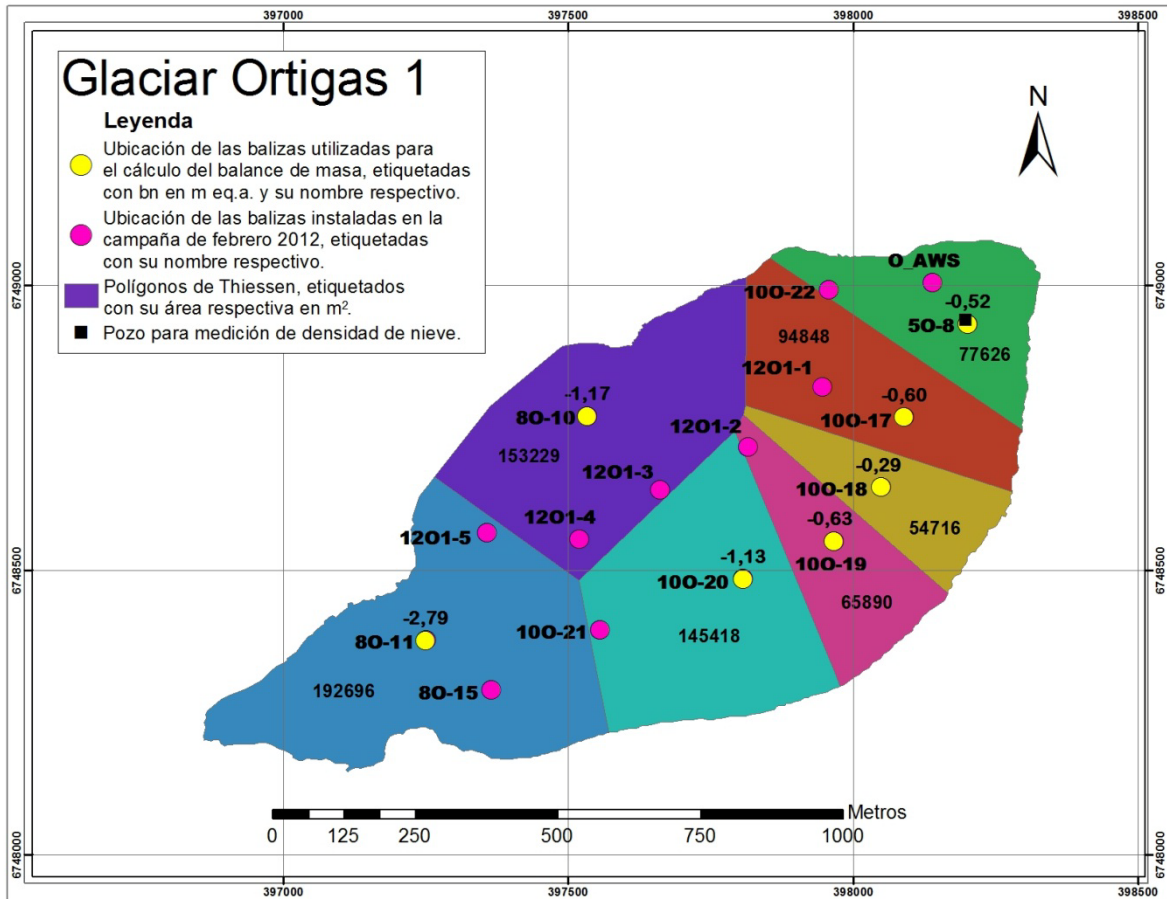


Figura 4. Ubicación de las balizas y áreas de influencia determinadas mediante polígonos de Thiessen para las balizas utilizadas en el cálculo del balance de masa, glaciar Ortigas 1. El contorno del glaciar corresponde al 11 de febrero de 2012 según una imagen satelital GeoEye de esa fecha.

Tabla 6. Resultados del balance de masa puntual equivalente en agua en cada baliza y el volumen equivalente de agua determinado para cada área de influencia por baliza para el año hidrológico 2011-2012, glaciar Ortigas 1.

Baliza	Altitud (m s.n.m.)	Balance en balizas (m eq.a.)			Área (m ²) (¹)	Volumen total (m ³ eq.a.)		
		<i>bw</i>	<i>bs</i>	<i>bn</i>		<i>Bw</i>	<i>Bs</i>	<i>Bn</i>
80-10	5.142	0,14	-1,31	-1,17	153.229	21.452	-200.730	-179.278
80-11	4.971	0,62	-2,79	-2,17	192.696	119.472	-537.622	-418.150
80-15	4.941	0,08						
50-8	5.228	-0,13	-0,39	-0,52	776.26	-10.091	-30.274	-40.365
100-17	5.166	0,19	-0,79	-0,60	94.848	18.021	-74.930	-56.909
100-18	5.107	0,37	-0,66	-0,29	54.716	20.245	-36.113	-15.868
100-19	5.079	0,33	-0,96	-0,63	65.890	21.744	-63.254	-41.510
100-20	5.051	0,19	-1,32	-1,13	145.418	27.629	-191.952	-164.323
100-21	4.990							
100-22	5.235							
TOTAL					784.423	218.472	-1.134.875	-916.403

(1) Área de influencia calculada a través de polígonos de Thiessen para las balizas que cuentan con datos de invierno y verano.

El balance de masa neto del glaciar Ortigas 1 fue negativo durante el período 2011-2012, con un valor de -1,17 m eq.a. y con un aporte total de -916.403 m³ eq.a. (Tabla7).

Tabla 7. Resultados del balance de masa para el año hidrológico 2011-2012, glaciar Ortigas 1. El balance específico es el balance por unidad de área.

Balance de masa	Invierno	Verano	Neto	Acumulación	Ablación	Neto
Balance total (m³ eq.a.)	218.472	-1.134.875	-916.403	228.563	-1.144.966	-916.403
Balance específico (m eq.a.)	0,28	-1,45	-1,17	0,29	-1,46	-1,17

Para extender las mediciones en las temporadas sucesivas se instalaron 18 balizas de aluminio (Figura 4) (Anexo 1), de las cuales 10 fueron reinstaladas, 3 están ubicadas a una distancia de 10 m al norte, sur y este de la estación meteorológica automática para comprobar los datos registrados por el sensor de altura de nieve, y otras 5 balizas se instalaron en nuevos puntos para mejorar la cobertura de balizas en la superficie del glaciar.

5.1.4. Glaciarete Toro 1

En el Glaciarete Toro 1 se logró medir para todo el año hidrológico 4 de 9 balizas instaladas (Tabla 8 y Figura 5). Los valores obtenidos en los balances de verano y neto son negativos (Tabla 8). En la época de invierno se detectó acumulación en 7 de 8 balizas (Tabla 8).

El control de las balizas al fin del verano 2011-2012 se realizó el 19 y 20 de febrero de 2012, por lo cual es necesario corregir el balance de verano para agregar la ablación ocurrida durante un lapso de 40 días, hasta el 31 de marzo. Existe en Toro 1 una estación meteorológica automática (AWS) (Figura 5). Debido a que la torre de la AWS había casi totalmente emergido en Toro 1, a fines de diciembre de 2011 debió ser desinstalada por el CEAZA. Esta estación AWS fue reinstalada por el CECs el 22 de febrero de 2012, lo cual permite corregir la ablación en el periodo 23 febrero-31 marzo (38 días) mediante la altura de la superficie del hielo registrada en el sensor sónico, que fue de 19 cm de hielo (17.1 cm eq.a.) para dicho periodo. Para extrapolar esta ablación de 17.1 cm eq.a. a todo el glaciarete Toro 1, y en ausencia de datos simultáneos para Toro 1 en el verano 2011-2012 de ablación en balizas y altura de la superficie mediante el sensor sónico, se asumió un factor de ablación (F_{ab}) promedio de toda la superficie de 1.56, idéntico al glaciar Guanaco (ver sección anterior), que constituye la mejor aproximación con los datos disponibles. De esta manera la corrección por ablación en el periodo de 38 días tiene un valor de 0.27 m eq.a., que, sumado a la ablación de verano medida en las balizas de -1.37 m eq.a. resulta en una ablación corregida de -1.64 m eq.a. (Tabla 9).

Tabla 8. Resultados del balance de masa puntual equivalente en agua en cada baliza y el volumen equivalente de agua determinado para cada área de influencia por baliza para el año hidrológico 2011-2012, glaciarete Toro 1.

Baliza	Altitud (m s.n.m.)	Balance en balizas (m eq.a.)			Área (m ²) (¹)	Volumen total (m ³ eq.a.)		
		<i>bw</i>	<i>bs</i>	<i>bn</i>		<i>Bw</i>	<i>Bs</i>	<i>Bn</i>
7T1-3	5.227	0,49	-1,98	-1,49	5.045	2.472	-9.989	-7.517
6T1-7	5.137	0,31						
6T1-9	5.114	0,05						
6T1-10	5.102	-0,03						
6T1-11	5.160	0,71	-1,19	-0,48	23.930	16.990	-28.477	-11.487
8T1-13	5.229	0,57	-1,54	-0,97	12.407	7.072	-19.107	-12.035
8T1-16	5.152	0,36	-1,19	-0,83	5.924	2.133	-7.050	-4.917
9T1-18	5.216	0,39						
9T1-20	5.122							
TOTAL					47.306	28.667	-64.623	-35.956

(1) Área de influencia calculada a través de polígonos de Thiessen para las balizas que cuentan con datos de invierno y verano.

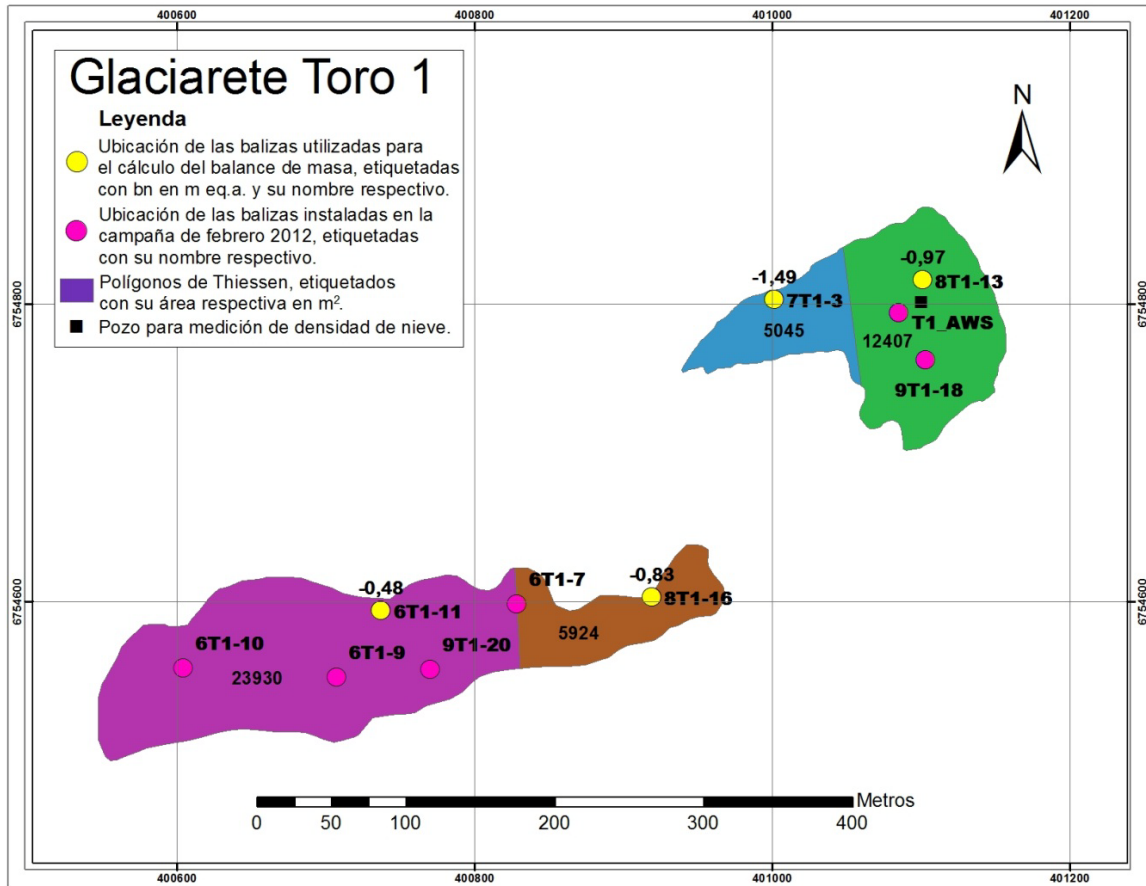


Figura 5. Ubicación de las balizas y área de influencia determinada para los puntos utilizados en el cálculo del balance de masa, glaciarete Toro 1. El contorno (perímetro) del glaciar corresponde al 11 de febrero de 2012 según una imagen satelital GeoEye de esa fecha.

Tabla 9. Resultados del balance de masa para el año hidrológico 2011-2012, glaciarete Toro 1. El balance específico es el balance por unidad de área.

Balance de masa	Invierno	Verano	Neto	Acumulación	Ablación	Neto
Balance total (m ³ eq.a.)	28.667	-77.582	-48.915	28.667	-77.582	-48.915
Balance específico (m eq.a.)	0,61	-1,64	-1,03	0,61	-1,64	-1,03

La acumulación promedio para toda el área del glaciar fue de 0,61 m eq.a. El balance neto fue negativo con un aporte de agua total de -48.915 m³ eq.a. y -1,03 m eq.a. de balance de masa neto (Tabla 9). Para continuar las mediciones en las temporadas sucesivas se instalaron 13 balizas de aluminio (Figura 5) (Anexo 1), de las cuales 9 fueron reinstaladas y 4 están ubicadas a una distancia de 10 m en los cuatro puntos cardinales de la AWS, para comprobar los datos registrados por el sensor de altura de nieve. Parte importante de la superficie de Toro 1 está recubierta, sin embargo este

factor no es suficiente aún para disminuir la ablación dado que el balance de masa de neto es fuertemente negativo.

5.2 Síntesis de balance de masa período 2002/2003 - 2011/2012

En las Tablas 10 y 11 se muestra un resumen con los balances de masa medidos en los glaciares y glaciaretos de Pascua Lama. Los balances netos para el periodo observado son todos negativos, con valores entre -1,30 m eq.a. en el glaciar Estrecho y -0,71 m eq.a. en el glaciar Guanaco. En la Tabla 11 se aprecia además la baja acumulación medida en los glaciares Guanaco y Estrecho.

Tabla 10. Resumen de resultados de balance de masa específico (m eq.a.) y balance de masa total (m³ eq.a.) (2011-2012) de invierno, verano y neto para los glaciares y glaciaretos del proyecto Pascua Lama. s.i.: sin información.

Glaciar/ Glaciarete	Balance específico (m eq.a.)			Balance total (m ³ eq.a.)		
	Invierno (<i>bw</i>)	Verano (<i>bs</i>)	Neto (<i>bn</i>)	Invierno (<i>Bw</i>)	Verano (<i>Bs</i>)	Neto (<i>Bn</i>)
Toro 1	0,61	-1,64	-1,03	28.667	-77.582	-48.915
Toro 2	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
Esperanza	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
Ortigas 2	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
Guanaco	0,07	-0,78	-0,71	117.502	-1.305.842	-1.188.340
Estrecho	-0,10	-1,20	-1,30	-113.233	-1.395.625	-1.508.858
Ortigas 1	0,28	-1,45	-1,17	218.472	-1.134.875	-916.403

Tabla 11. Resumen de resultados de balance de masa específico (m eq.a.) y balance de masa total (m³ eq.a.) (2011-2012) de acumulación, ablación y neto para los glaciares y glaciaretos del proyecto Pascua Lama. s.i.: sin información.

Glaciar/ Glaciarete	Balance específico (m eq.a.)			Balance total (m ³ eq.a.)		
	Acumulación (<i>bac</i>)	Ablación (<i>bab</i>)	Neto (<i>bn</i>)	Acumulación (<i>Bac</i>)	Ablación (<i>Bab</i>)	Neto (<i>Bn</i>)
Toro 1	0,61	-1,64	-1,03	28.667	-77.582	-48.915
Toro 2	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
Esperanza	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
Ortigas 2	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.
Guanaco	0,13	-0,84	-0,71	216.982	-1.405.322	-1.188.340
Estrecho	0,05	-1,35	-1,30	62.735	-1.571.593	-1.508.858
Ortigas 1	0,29	-1,46	-1,17	228.563	-1.144.966	-91.6403

En la figura 6 se muestra el balance de masa específico de invierno, verano y neto para los glaciares y glaciaretos de Pascua-Lama. Los valores siguen la tendencia esperada en invierno y verano a excepción del glaciar Estrecho que presentó un balance de invierno negativo.

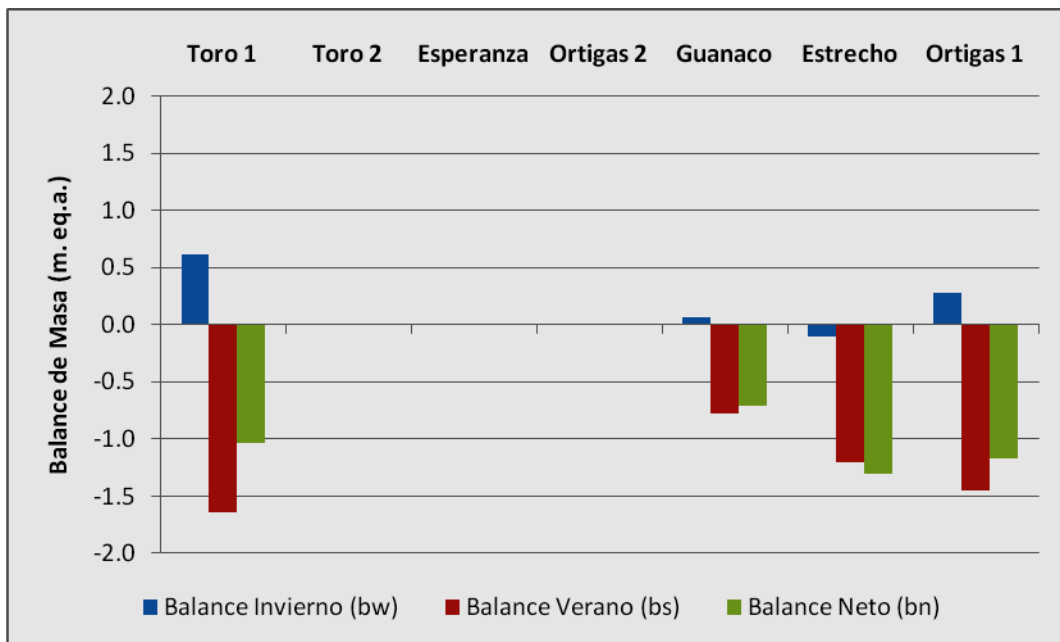


Figura 6. Resumen del balance de masa específico 2011-2012 de invierno, verano y neto en los glaciares y glaciaretos de Pascua-Lama.

En la Figura 7 se aprecian los balances de acumulación, ablación y neto.

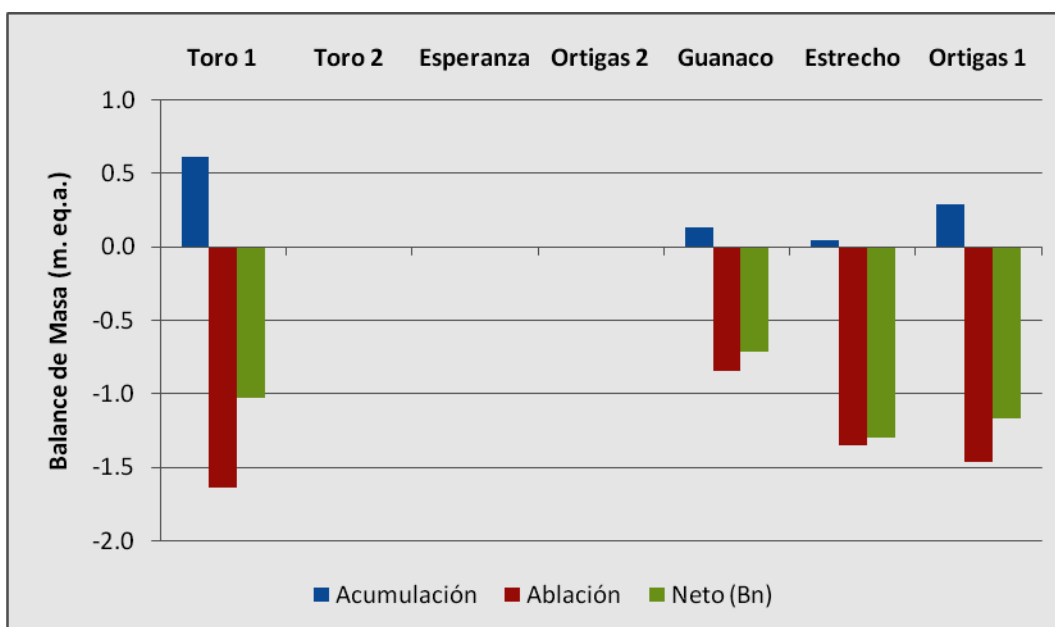


Figura 7. Balance de masa específico 2011-2012 de acumulación, ablación y neto en los glaciares y glaciaretos de Pascua-Lama.

En la Tabla 12 y Figura 8 se presenta la serie de balance de masa específico neto desde 2002-2003 a 2011-2012 para los glaciares y glaciaretos de Pascua-Lama. Se observa que para 2011-2012 los balances netos de Toro 1 y Ortigas 1 estuvieron cerca del promedio. En cambio el balance neto de los glaciares Guanaco y Estrecho estuvo bajo el promedio. En la Figura 8 se aprecia la tendencia de pérdida de masa en los glaciares y glaciaretos de Pascua Lama.

Tabla 12. Balance de masa específico neto (m eq.a.) para los glaciares y glaciaretos del proyecto Pascua Lama en el periodo 2002-2012. Valores 2002-2010 según BCG Engineering (2011) y valores 2011-2012 son los obtenidos en este trabajo.

Glaciar /Glaciarete	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	Promedio *	Desv. Est.
Toro 1	0,90	-1,43	-1,72	-0,28	-1,94	-1,55	-1,30	-0,78	0,02	-1,03	-0,91	0,84
Toro 2	0,65	-1,67	-1,00	-1,27	-1,57	-0,85	-0,47	-1,98	1,25		-0,77	1,08
Esperanza	1,70	-1,64	-1,37	0,39	-1,49	-0,42	-2,29	-2,15	-0,90		-0,91	1,29
Ortigas 2	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	-0,08	-1,44	-0,98			
Guanaco	1,23	-0,66	-0,96	0,21	-0,59	-0,37	-0,27	-0,77	-1,00	-0,71	-0,39	0,64
Estrecho	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	-0,70	-0,33	-0,08	-0,60	-0,63	-1,30	-0,61	0,38
Ortigas 1	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	-0,65	-0,43	-0,19	-2,07	-1,63	-1,17	-1,02	0,67

*Promedio y desviación estándar de Ortigas 2 no es calculado por la escasez de datos.

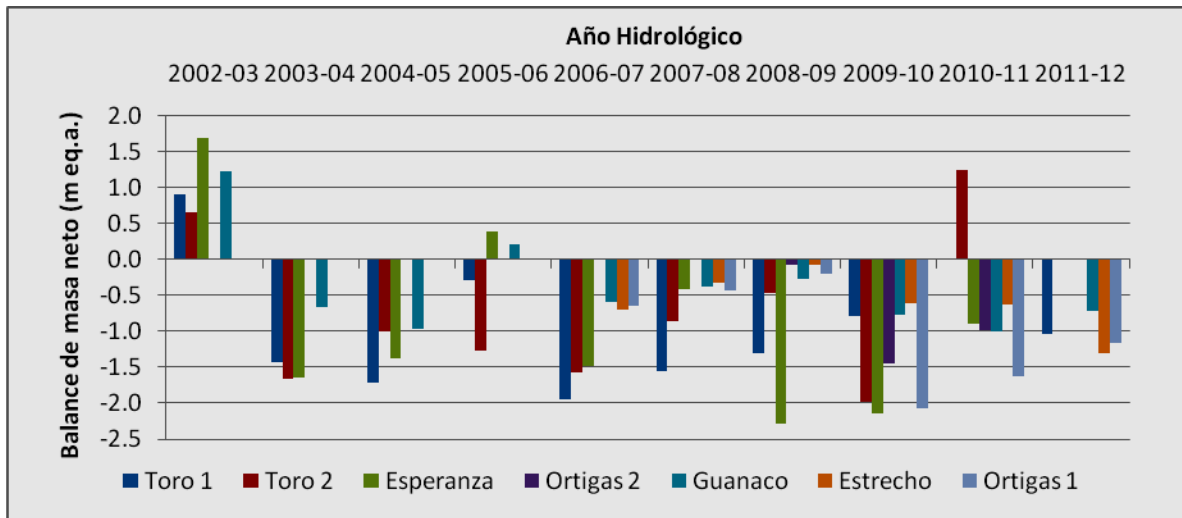


Figura 8. Serie de tiempo de balance de masa específico neto en 2002-2012 para los glaciares y glaciaretos de Pascua Lama. Valores 2002-2010 según BCG Engineering (2011) y 2011-2012 obtenidos en este trabajo.

En la Tabla 13 y Figura 9 se presenta la serie de balance de masa específico de acumulación desde 2003-2004 a 2011-2012 para los glaciares y glaciaretos de Pascua-Lama. Se observa que para 2011-2012 el balance de acumulación de Ortigas 1 estuvo cerca del promedio de la serie, mientras los restantes glaciares muestran valores inferiores de acumulación. En la Figura 9 se aprecia la tendencia a la disminución de la acumulación en los glaciares y glaciaretos de Pascua-Lama.

Tabla 13. Balance de masa específico de acumulación (m eq.a.) para los glaciares y glaciaretos del proyecto Pascua-Lama en el periodo 2003-2012. Valores 2002-2010 según BCG Engineering (2011) y 2011-2012 obtenidos en este trabajo.

Glaciar/ Glaciarete	2003- 04	2004- 05	2005- 06	2006- 07	2007- 08	2008- 09	2009- 10	2010- 11	2011- 12	Promedio*	Desv. Est.
Toro 1	0.19	0.47	0.92	0.02	0.34	0.60	0.25	0.18	0.61	0.40	0.26
Toro 2	0.23	0.58	1.11	0.38	0.87	0.80	0.27	0.31	s.i.	0.57	0.33
Esperanza	0.31	0.35	1.89	1.09	1.33	0.79	0.82	0.38	s.i.	0.87	0.55
Ortigas 2	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	0.37	s.i.	0.10	s.i.		
Guanaco	0.25	0.11	0.93	0.17	0.29	0.14	s.i.	0.09	0.13	0.26	0.26
Estrecho	s.i.	s.i.	s.i.	0.18	0.47	0.39	0.12	0.10	0.05	0.22	0.16
Ortigas 1	s.i.	s.i.	s.i.	0.20	0.47	0.41	s.i.	0.11	0.29	0.30	0.13

*Promedio y desviación estándar de Ortigas 2 no es calculado por la escasez de datos.

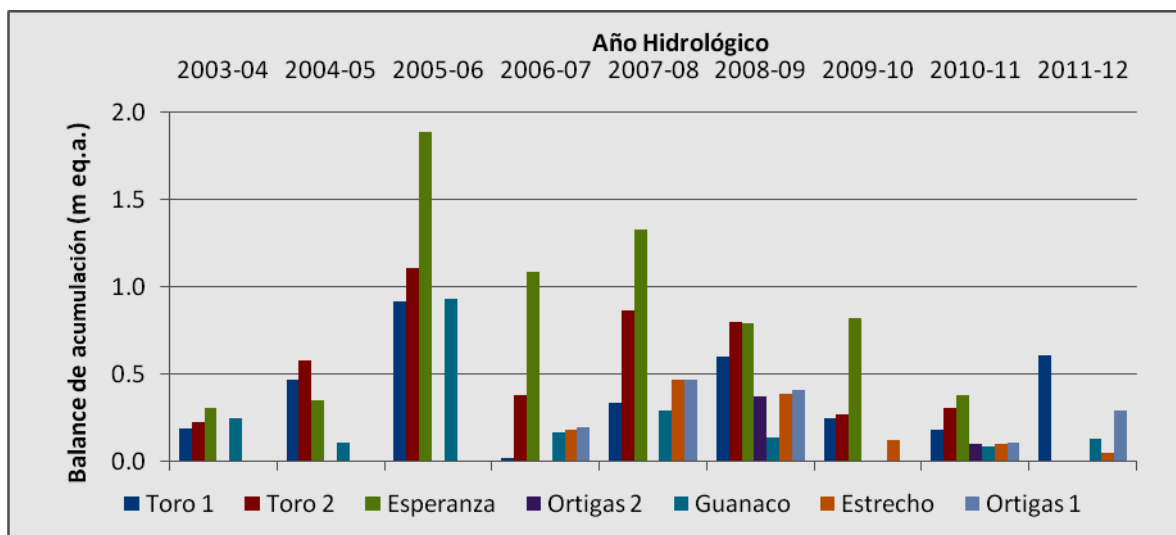


Figura 9. Serie de tiempo de balance de masa específico de acumulación en 2003-2012 para los glaciares y glaciaretos de Pascua Lama. Valores 2002-2010 según BCG Engineering (2011) y 2011-2012 obtenidos en este trabajo.

En la Tabla 14 y Figura 10 se presenta la serie de balance de masa específico de ablación desde 2003-2004 a 2011-2012 para los glaciares y glaciaretos de Pascua-Lama. Se observa que para 2011-2012 el balance de ablación de Toro 1 y Guanaco estuvo cerca del promedio. En cambio el balance de ablación de Estrecho y Ortigas 1 fue inferior al promedio. En general los valores de ablación se mantienen en torno al promedio de la serie (Tabla 14).

Tabla 14. Balance de masa específico de ablación (m eq.a.) para los glaciares y glaciaretos del proyecto Pascua-Lama en el periodo 2003-2012. Valores 2002-2010 según BCG Engineering (2011) y 2011-2012 obtenidos en este trabajo.

Glaciar/ Glaciarete	2003- 04	2004- 05	2005- 06	2006- 07	2007- 08	2008- 09	2009- 10	2010- 11	2011- 12	Promedio*	Desv. Est.
Toro 1	-1.62	-2.19	-1.20	-1.84	-2.17	-1.90	-1.03	-0.16	-1.64	-1.53	0.61
Toro 2	-1.90	-1.58	-2.38	-1.89	-1.90	-1.27	-2.25	s.i.	s.i.	-1.88	0.38
Esperanza	-1.96	-1.72	-1.50	-2.49	-1.90	-3.09	-2.40	-1.28	s.i.	-2.15	0.54
Ortigas 2	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	s.i.	-0.45	s.i.	-1.08	s.i.		
Guanaco	-0.91	-1.07	-0.72	-0.71	-0.67	-0.41	s.i.	-1.09	-0.84	-0.80	0.21
Estrecho	s.i.	s.i.	s.i.	-0.85	-0.78	-0.46	-0.73	-0.73	-1.35	-0.82	0.27
Ortigas 1	s.i.	s.i.	s.i.	-1.22	-0.90	-0.60	s.i.	-1.75	-1.46	-1.19	0.40

*Promedio y desviación estándar de Ortigas 2 no es calculado por la escasez de datos.

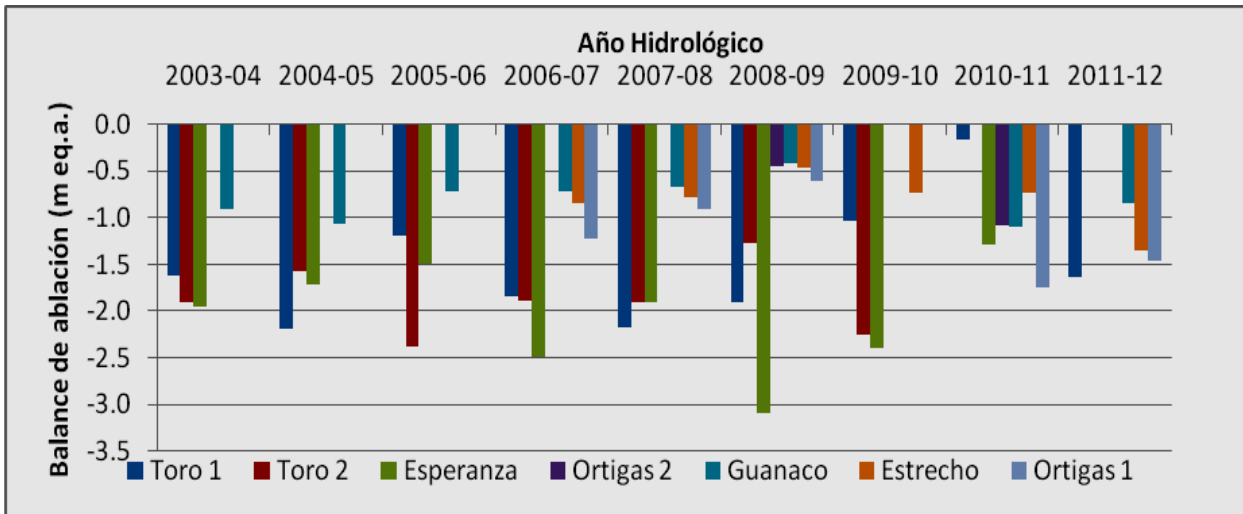


Figura 10. Serie de tiempo de balance de masa específico de ablación en 2003-2012 para los glaciares y glaciaretos de Páscua Lama. Valores 2002-2010 según BCG Engineering (2011) y 2011-2012 obtenidos en este trabajo.

6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

6.1. Balance de masa

Se calculó el balance de masa de los cuerpos de hielo de Pascua-Lama (glaciares Estrecho, Guanaco y Ortigas 1 y glaciarete Toro 1) para el año hidrológico 2011-2012 (1 abril 2011 al 31 marzo 2012). Se utilizó el método glaciológico tradicional, midiendo balizas a fines del verano 2010-2011, a fines del invierno 2011 y a fines del verano 2011-2012. Todos los balances de masa resultaron con valores negativos (entre -1.3 y -0.71 m eq. a.), vale decir pérdida de hielo, de una magnitud similar al balance promedio de los últimos años, desde 2002-2003. Debido al extravío de balizas, la falta de datos impidió obtener balances de masa para los 3 glaciaretos restantes (Toro 1, Esperanza y Ortigas 2), por lo cual esta situación se está corrigiendo con la instalación de balizas robustas de aluminio y en el futuro será necesario reevaluar la localización de balizas, la frecuencia de visitas y la selección de cuerpos de hielo de referencia.

Si bien los valores negativos obtenidos es una tendencia generalizada en las últimas décadas y atribuible a los cambios en las temperaturas atmosféricas (Falvey & Garreaud, 2009), los valores de balances de masa hasta ahora medidos reflejan una alta variabilidad interanual que es necesario evaluar en detalle. Una parte importante puede explicarse por los patrones de circulación atmosférica de meso-escala, ya sea por condiciones asociadas a los eventos Niño/Niña y la variabilidad climática interanual. Será necesario evaluar de manera más compleja el efecto de los factores meteorológicos y energéticos locales y específicos de cada cuerpo de hielo (recubrimiento versus hielo blanco, presencia y altura de penitentes, pendiente y exposición...) en la distribución de los balances de masa en el área de Pascua Lama.

6.2. Uso del glaciar de referencia para el balance de masa de otros glaciares

Una comparación entre el balance neto promediado de los 5 glaciares de Pascua Lama y el balance neto de Ortigas 1, en el período 2006/2007-2010/2011, logra reflejar algunas similitudes y divergencias entre el conjunto de los glaciares y el glaciar de referencia (Figura 11). Aquí se aprecia el balance neto de Ortigas 1 superior al promedio de glaciares en los primeros 3 años para luego descender abruptamente, sin lograr representar en forma óptima los cambios a nivel interanual de la totalidad de los cuerpos de hielo. Lo anterior explica en gran medida que no existan correlaciones significativas y que en esta etapa no sea viable realizar análisis estadísticos simples y multivariados. Dada la distribución de los datos hasta ahora disponibles, la frecuencia de la lectura de balizas y las dificultades logísticas esperables en las mediciones, se requiere reevaluar la metodología aplicada y el glaciar de referencia seleccionado, como también considerar métodos de extrapolación y modelación más robustos que permitan obtener valores de balances de masa en ausencia de datos observados.

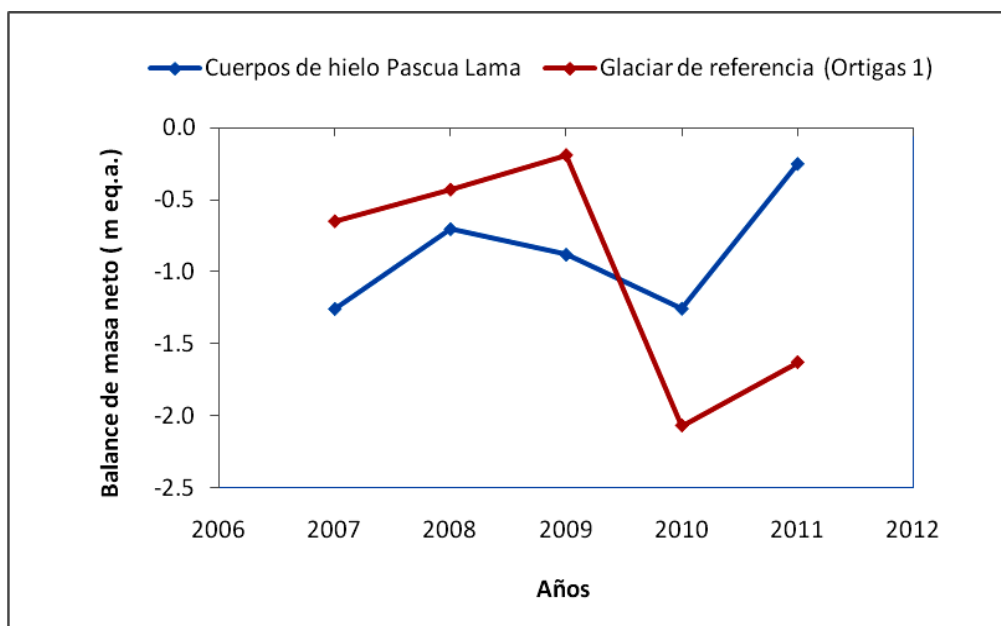


Figura 11. Comparación entre el balance de masa neto de los glaciares y glaciaretos de Pascua Lama y el balance neto del glaciar de referencia, Ortigas 1 entre 2006/2007 y 2010/2011.

6.3. Índices y Límites

En el Plan de Monitoreo Glaciar PMGv3, se establecen los Índices y Límites del balance de masa de los 5 glaciares localizados en el área de operación de Pascua Lama requeridos para el plan comunicacional. De los 5 glaciares, los índices han sido calculados para los glaciares Toro 1, Guanaco y Estrecho, sin embargo no fue posible realizar el cálculo para los glaciaretos Esperanza y Toro 2 debido a la ausencia de datos en el período 2011/2012.

En la Tabla 15 se muestra el resultado del cálculo del Índice A. Los glaciares Toro 1 y Guanaco presentan el Índice A, bajo los límites 1 y 2 en el período 2011-2012, dado que su balance en ambos es superior a 0.75 y 1 desviación estándar del período de referencia. En el Glaciar Estrecho, el período de referencia es inferior a 5 años, por lo tanto dicho Índice no debiera ser aplicable, y los glaciaretos Esperanza y Toro 2 no registran datos.

En la Tabla 16, se presentan los resultados del Índice B. Este cálculo fue realizado solamente en el Glaciar Estrecho donde es factible realizar una comparación entre la parte baja y la parte alta del glaciar. Para el balance de invierno, el Límite 1 está excedido, es decir el balance de invierno en la parte baja es levemente inferior al de la parte alta, lo cual resulta razonable debido al gradiente altitudinal de la acumulación. Sin embargo el balance de verano y el balance de masa neto están bajo límites 1 y 2. Ello quiere decir que tanto el balance de verano como el balance neto son superiores

en la parte baja, lo cual representa una situación distinta a lo esperable, indicando mayor ablación en la parte alta del glaciar, probablemente asociada a fluctuación interanual y controles locales.

En la Tabla 17 se presenta el Índice C. Para el Glaciar Toro 1 y Guanaco el Índice C es menor a 1, es decir su balance de masa es superior al de balance del glaciar de referencia, Ortigas 1. Sólo el glaciar Estrecho registró un Índice C superior a 1 dado que su balance de masa es inferior al glaciar de referencia en un 10%.

En la Tabla 18 se presenta el Índice D. El Índice D para los glaciares Toro 1 y Guanaco está en ambos casos bajo límites 1 y 2 en período 2011-2012, es decir, su balance de acumulación es superior a 0.75 desviaciones estándar del balance de acumulación del período de referencia 2003/04 - 2008/09. En el glaciar Estrecho, el período de referencia es <5 años, y por lo tanto no se puede aplicar este cálculo y en glaciares Toro 2 y Esperanza no existen datos. La misma situación se observa en relación al Índice E (Tabla 19), dado que los glaciares Toro 1 y Guanaco muestran un valor de ablación superior al del período de referencia.

Finalmente la Tabla 20 muestra el Índice F, es decir la variación interanual de las áreas de los glaciares a partir del año 2005. Puede apreciarse que las mayores reducciones se observaron en el período 2010-2009 en glaciares Toro 2 y Esperanza (-64% y -85% respectivamente), pero esto sucede de igual manera en Ortigas 2 (-71%), fuera del área de influencia, con lo cual se refuerza la idea de la variabilidad interanual en el comportamiento de todos los glaciares, independientemente de su localización en relación al área de operación del proyecto Pascua Lama.

En base a los datos disponibles en el período 2011/2012 y lo ya señalado, se tienen únicamente los Índices B y C del Glaciar Estrecho superando ligeramente su respectivo límite 1. No se dispone de sus Índices A, D y E sin embargo su Índice F no es particularmente bajo en relación a los otros glaciares al mostrar una variación interanual más reducida que la observada en los glaciaretos (se analizan las variaciones en la siguiente sección). En síntesis, no se concluye un indicador claro de excedencia de límites en el balance de masa de los 5 glaciares a partir de 2009; ello debe estar relacionado en gran medida a la variabilidad natural del balance de masa y las características locales de topografía y morfología glaciar. Sin embargo se advierte que la selección del glaciar de referencia es muy probablemente inapropiada en derivar indicadores dada la variabilidad interanual que éste registra en la serie de datos.

Tabla 15. Índice A: Balance de masa neto (en m eq.a.) en período 2011-12 comparado con balance de masa neto en período de referencia (2002/2003 – 2008/2009).

Glaciar	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	Prom.	Desv. st.	Lim 1	Lim 2
Toro 1	0.90	-1.43	-1.72	-0.28	-1.94	-1.55	-1.30	-0.78	0.02	-1.03	-1.05	1.01	-1.80	-2.05
Toro 2	0.65	-1.67	-1.00	-1.27	-1.57	-0.85	-0.47	-1.98	1.25		-0.88	0.79		
Esperanza	1.70	-1.64	-1.37	0.39	-1.49	-0.42	-2.29	-2.15	-0.90		-0.73	1.38		
Guanaco	1.23	-0.66	-0.96	0.21	-0.59	-0.37	-0.27	-0.77	-1.00	-0.71	-0.20	0.73	-0.75	-0.93
Estrecho					-0.70	-0.33	-0.08	-0.60	-0.63	-1.30				
Ortigas 1					-0.65	-0.43	-0.19	-2.07	-1.63	-1.17				
Ortigas 2							-0.08	-1.44	-0.98					

Tabla 16. Índice B: Razón del balance de invierno, balance de verano y balance de masa neto, período 2011/2012, entre parte baja (< 5.185 m snm) y parte alta (>5.185 m snm) del glaciar.

Período	2011/2012	2006/07 a 2008/09	
Valores parte baja	(este trabajo)	(CEAZA, 2010)*	
Bal. Invierno	-0.10	0.40	
Bal. Verano	-0.98	-1.14	
Balance masa neto	-1.08	-0.74	
Valores parte alta			
Bal. Invierno	-0.04	0.34	
Bal. Verano	-1.16	-0.57	
Balance masa neto	-1.23	-0.23	
Razón baja/alta			
Bal. Invierno	2.40	1.40	
Bal. Verano	0.85	1.96	
Balance masa neto	0.87	2.93	
Razón baja/alta proporcionado**		Límite 1	Límite 2
Bal. Invierno	1.71	1.5	2.0
Bal. Verano	0.43	1.5	2.0
Balance masa neto	0.30	1.5	2.0

* Balance de acumulación y balance de ablación, respectivamente

** Razón 2011-12 se le aplica factor de proporcionalidad al ser dividido por razón período de referencia

Tabla 17. Índice C: Razón del balance de masa neto del glaciar y balance de masa neto glaciar de referencia, período 2011/2012.

Glaciar	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	Prom.	Razón gl/gl ref
Toro 1	0.90	-1.43	-1.72	-0.28	-1.94	-1.55	-1.30	-0.78	0.02	-1.03	-1.05	0.88
Toro 2	0.65	-1.67	-1.00	-1.27	-1.57	-0.85	-0.47	-1.98	1.25		-0.88	
Esperanza	1.70	-1.64	-1.37	0.39	-1.49	-0.42	-2.29	-2.15	-0.90		-0.73	
Guanaco	1.23	-0.66	-0.96	0.21	-0.59	-0.37	-0.27	-0.77	-1.00	-0.71	-0.20	0.61
Estrecho					-0.70	-0.33	-0.08	-0.60	-0.63	-1.30	-0.37	1.11
Ortigas 1					-0.65	-0.43	-0.19	-2.07	-1.63	-1.17	-0.42	
Ortigas 2							-0.08	-1.44	-0.98		-1.05	

Tabla 18. Índice D: Variación interanual del balance de acumulación anual (en m eq.a.).

Glaciar	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	Prom.	Desv. st.	Límite 1	Límite 2
Toro 1		0.19	0.47	0.92	0.02	0.34	0.60	0.25	0.18	0.61	0.42	0.32	0.19	0.11
Toro 2		0.23	0.58	1.11	0.38	0.87	0.80	0.27	0.31	-	0.66	0.33		
Esperanza		0.31	0.35	1.89	1.09	1.33	0.79	0.82	0.38	-	0.96	0.61		
Guanaco		0.25	0.11	0.93	0.17	0.29	0.14	-	0.09	0.13	0.32	0.31	0.08	0.01
Estrecho		-	-	-	0.18	0.47	0.39	0.12	0.10	0.05				
Ortigas 1		-	-	-	0.20	0.47	0.41	-	0.11	0.29				
Ortigas 2		-	-	-	-	-	0.37	-	0.10	-				

Tabla 19. Índice E: Variación interanual del balance de ablación anual (en m eq.a.).

Glaciar	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	Prom.	Desv. st.	Límite 1	Límite 2
Toro 1		-1.62	-2.19	-1.20	-1.84	-2.17	-1.90	-1.03	-0.16	-1.64	-1.82	0.37	-2.10	-2.19
Toro 2		-1.90	-1.58	-2.38	-1.89	-1.90	-1.27	-2.25	-	-	-1.82	0.37		
Esperanza		-1.96	-1.72	-1.50	-2.49	-1.90	-3.09	-2.40	-1.28	-	-2.11	0.58		
Guanaco		-0.91	-1.07	-0.72	-0.71	-0.67	-0.41	-	-1.09	-0.84	-0.75	0.22	-0.92	-0.97
Estrecho		-	-	-	-0.85	-0.78	-0.46	-0.73	-0.73	-1.35				
Ortigas 1		-	-	-	-1.22	-0.90	-0.60	-	-1.75	-1.46				
Ortigas 2		-	-	-	-	-	-0.45	-	-1.08	-				

Tabla 20. Índice F: Variación interanual (%) de las áreas de los glaciares (en há).

Glaciar	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Dif. 2008-07	Dif. 2009-08	Dif. 2010-09	Dif. 2011-10
Toro 1	8.7		7.1	6.5	6.3	5.9	4.7	92	97	94	80
Toro 2	7.0		6.6	8.2	7.2	4.6	4.8	124	88	64	104
Esperanza	4.4		4.1	4.0	4.0	3.4	3.4	98	100	85	100
Guanaco	184.9		183.6	180.8	176.0	178.3	166.7	98	97	101	93
Estrecho	134.0		130.3	130.5	120.9	124.9	116.1	100	93	103	93
Ortigas 1	91.3		87.3	85.2	83.8	77.7	78.4	98	98	93	101
Ortigas 2	9.0		7.1		5.1	3.6	3.5			71	97

*Datos 2008 y 2009 según informe Ceaza de balance de masa (2010).

6.4. Variaciones de área glaciar

Se midieron las áreas de los glaciares y glaciaretos basado en imágenes satelitales de mayo de 2011 y febrero de 2012. Si bien es cierto en dicho periodo existió una pequeña disminución de área, y en algunos casos incluso un avance, si se analiza la serie de datos de variaciones de superficie desde 1955 (año de las primeras fotografías aéreas), se observa una fuerte disminución de las áreas de los cuerpos de hielo.

Existen datos de área de los glaciares y glaciaretos de Pascua-Lama desde el año 1955 (Tabla 21), fecha de las primeras fotografías aéreas. Desde el 2005 existen imágenes satelitales de alta resolución (Tabla 21).

Tabla 21. Evolución del área (há) de los glaciares y glaciaretos de Pascua-Lama en el periodo 1955-2012.

AÑO	1955	1978	1996	2005	2007	2011	2012
Día	27 abr	31 may	26 nov	1 mar	26 mar	11 may	11 feb
Fuente	Fotos aéreas Hycon	Fotos aéreas SAF	Fotos aéreas SAF	Imagen satelital Ikonos	Imagen satelital Ikonos	Imagen satelital Ikonos	Imagen satelital GeoEye
Cuerpo de hielo							
Glaciar Guanaco	217.0	200.2	193.5	184.9	183.6	178.3	166.7
Glaciar Estrecho	176.8	152.2	141.6	134.0	130.3	124.9	116.1
Glaciarete Toro 1	25.7	16.0	14.2	8.7	7.1	5.9	4.7
Glaciarete Toro 2	31.6	18.5	16.6	7.0	6.6	4.6	4.8
Glaciarete Esperanza	18.6	9.1	5.9	4.4	4.1	3.4	3.4
Glaciar Ortigas 1	96.3	95.7	94.0	91.3	87.3	77.7	78.4
Glaciarete Ortigas 2	16.5	11.9	9.6	9.0	7.1	3.6	3.5

En el período total de 57 años se advierte, para el conjunto de los 7 cuerpos de hielo, la reducción de las superficies que originalmente presentaban en 1955 (Figura 12). Esta tendencia se observa con un carácter monótono al no registrarse aceleraciones significativas (salvo al finalizar el período). Este retroceso glaciar generalizado en Pascua-Lama sigue lo observado a nivel global y regional. Pese a lo anterior, en la tendencia pueden distinguirse matices, con los cuerpos de hielo con mayor retroceso neto siendo precisamente los glaciaretos (sus remanentes apenas bordean el ~20% al año 2012), mientras que en igual período los glaciares muestran variaciones en el rango de las tendencias observadas en las principales macro-zonas glaciológicas del país (-20/-30%).

En el corto plazo (principalmente el último año) este proceso tiende a invertirse, con una reducción mayor en los glaciares grandes y cierto aumento de área en los glaciaretos, aunque esto puede perfectamente tratarse de una condición transitoria y

volver a la situación previa al 2012, o de una imprecisión mayor de la delimitación por imágenes satelitales dado el recién cubrimiento observado en los glaciaretos Toro 1 y Toro 2 (Figuras 20 y 21) Notar al respecto, que en el último año se detectaría de acuerdo con la metodología empleada, un leve aumento en el área de Toro 2. Es importante notar que la cobertura de sedimentos sobre la superficie de los glaciaretos Toro 1 y Toro 2 puede parcialmente inhibir la ablación por fusión, al aislar térmicamente el hielo subyacente (Informe Semestral de Balance de Energía elaborado por CECs, julio 2012). En este último período, la región estuvo caracterizada por condiciones de una fase Niña, con temperaturas anormalmente altas generalizadas en el período de ablación (Informe de Meteorología, julio 2012). Si bien la mayor actividad convectiva asociada contribuyó con mayores precipitaciones estivales, su magnitud probablemente no debió ser suficientemente importante como para atenuar el efecto de las temperaturas en elevar la línea de equilibrio altitudinal de los glaciares grandes, efecto que no debiera afectar de la misma manera a cuerpos de hielo pequeños como los glaciaretos ubicados en esta zona.

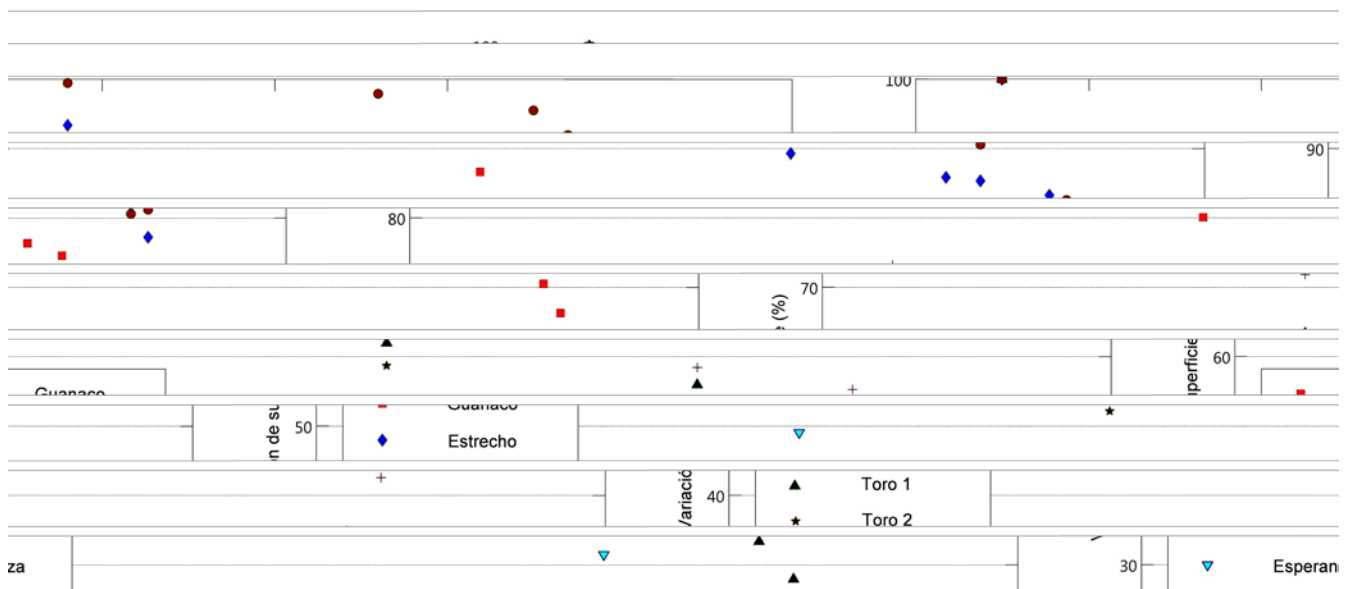


Figura 12. Variación de superficie (%) de los 7 cuerpos de hielo del proyecto Pascua Lama a partir de su superficie original en 1955.

Las figuras 13-19 ilustran la pérdida de área en cada cuerpo de hielo en el periodo 2011-2012.

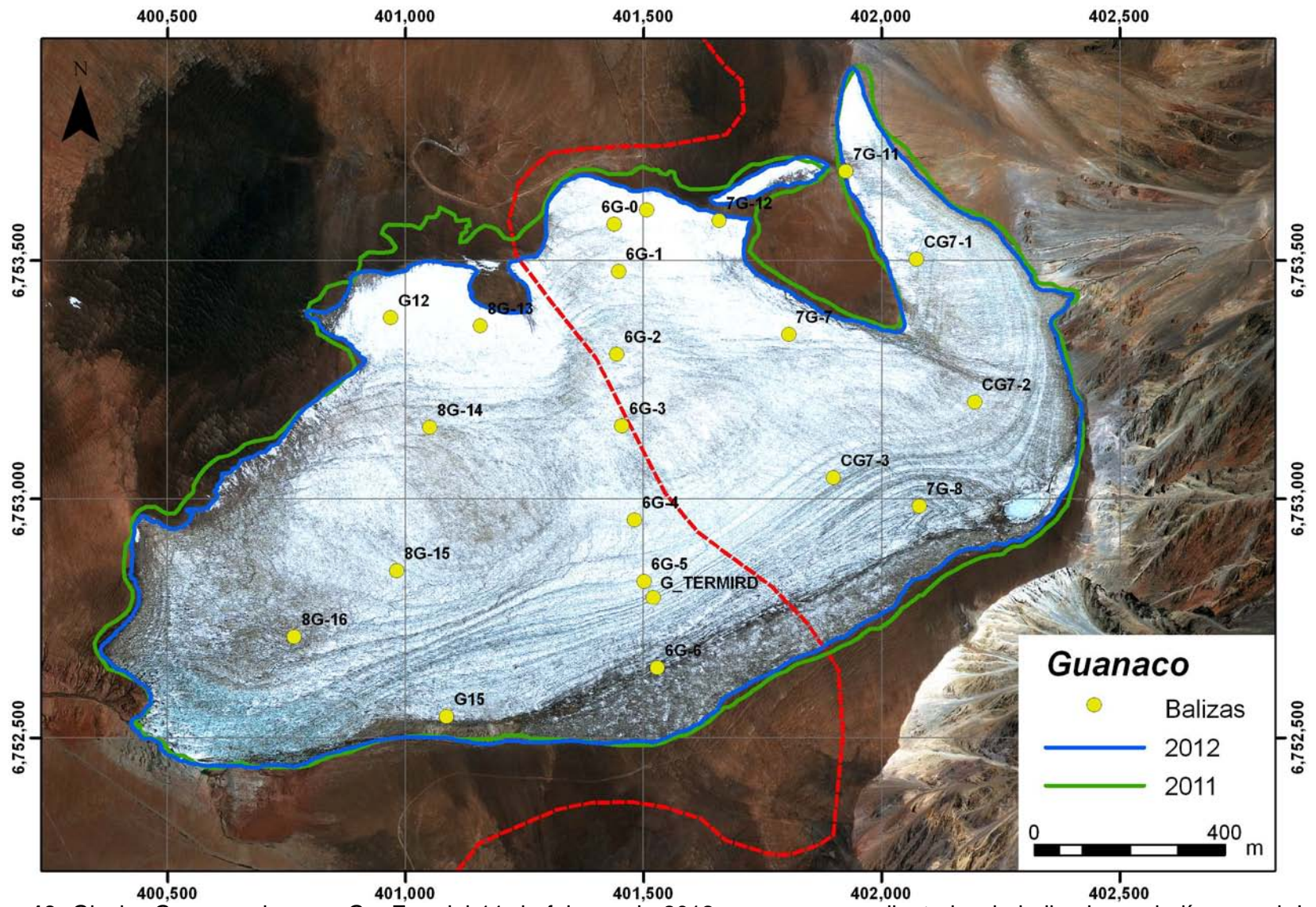


Figura 13. Glaciar Guanaco, imagen GeoEye del 11 de febrero de 2012 y su correspondiente borde indicado por la línea azul. La línea verde indica el borde del glaciar el 11 de mayo de 2011 según una imagen satelital Ikonos de esa fecha. En la Tabla 25 se indican las áreas respectivas para el periodo. La línea segmentada roja indica la posición de la frontera Argentina-Chile.

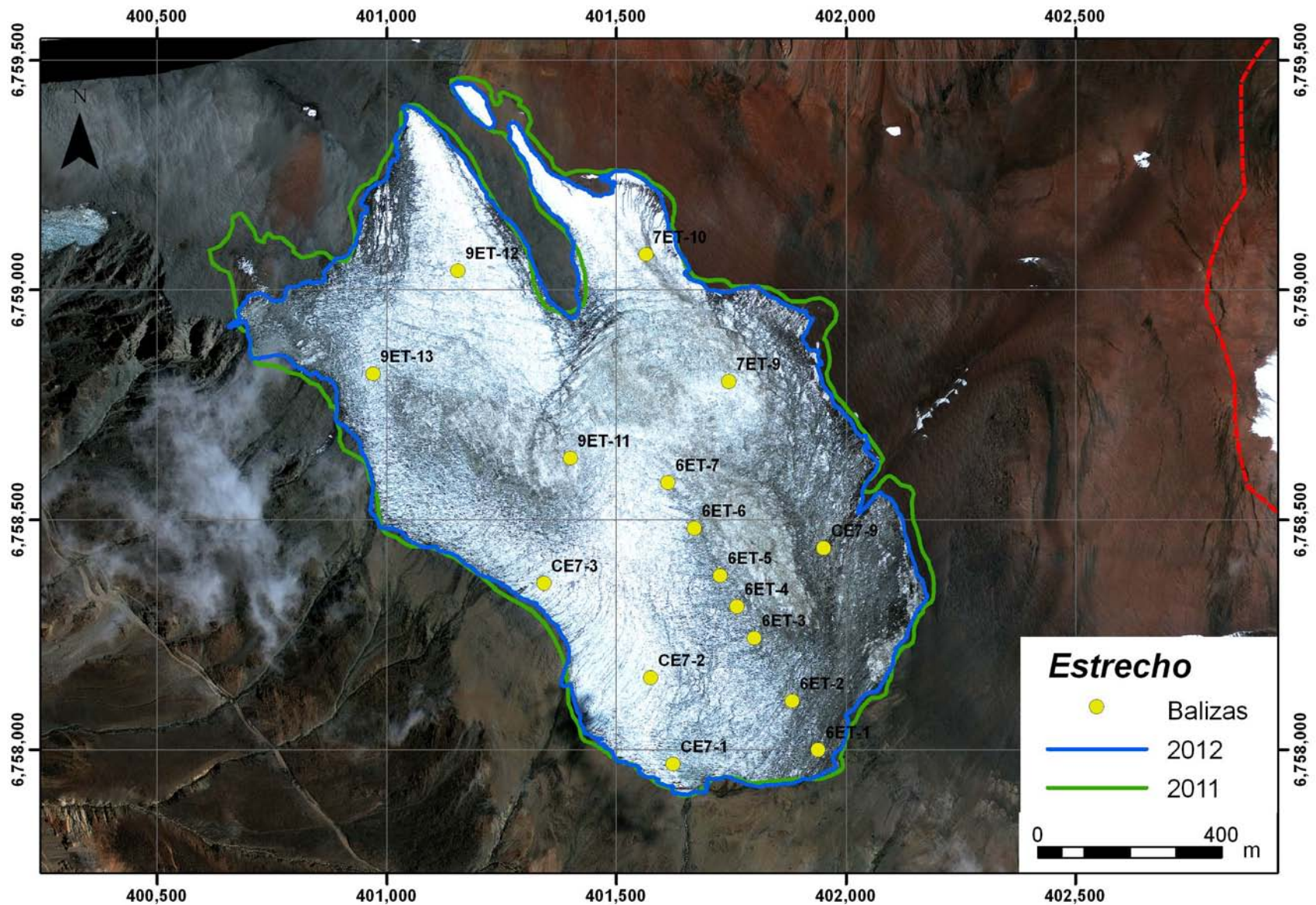


Figura 14. Glaciar Estrecho, imagen GeoEye del 11 de febrero de 2012 y su correspondiente borde indicado por la línea azul. La línea verde indica el borde del glaciar el 11 de mayo de 2011 según una imagen satelital Ikonos de esa fecha. En la Tabla 25 se indican las áreas respectivas para el periodo.

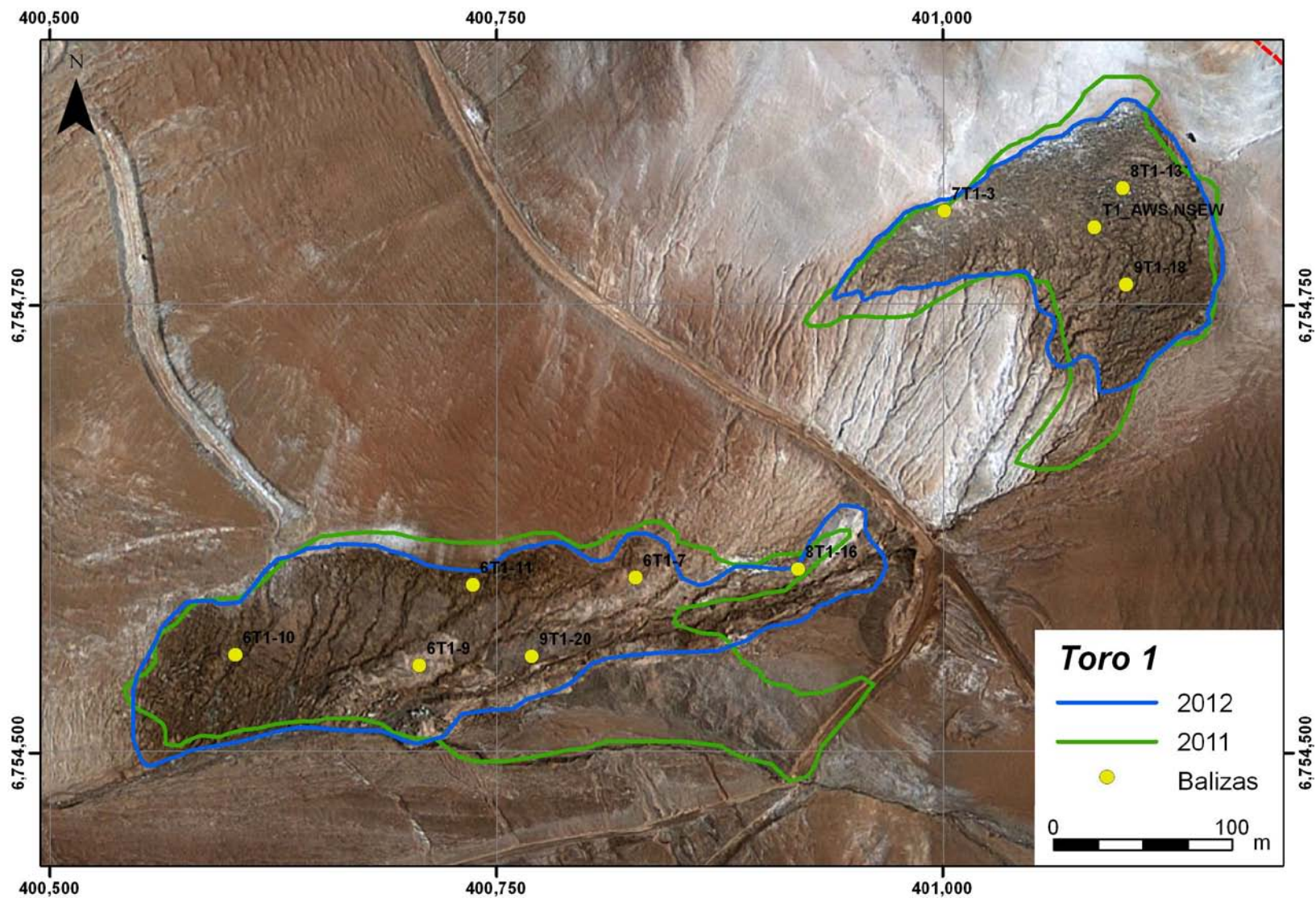


Figura 15. Glaciarete Toro 1, imagen GeoEye del 11 de febrero de 2012 y su correspondiente borde indicado por la línea azul. La línea verde indica el borde del glaciar el 11 de mayo de 2011 según una imagen satelital Ikonos de esa fecha. La delineación del glaciarete en área cubierta por detritos se han estimado a partir de análisis de imagen y observaciones de terreno. En la Tabla 25 se indican las áreas respectivas para el periodo. Notar la superficie recubierta del glaciarete.

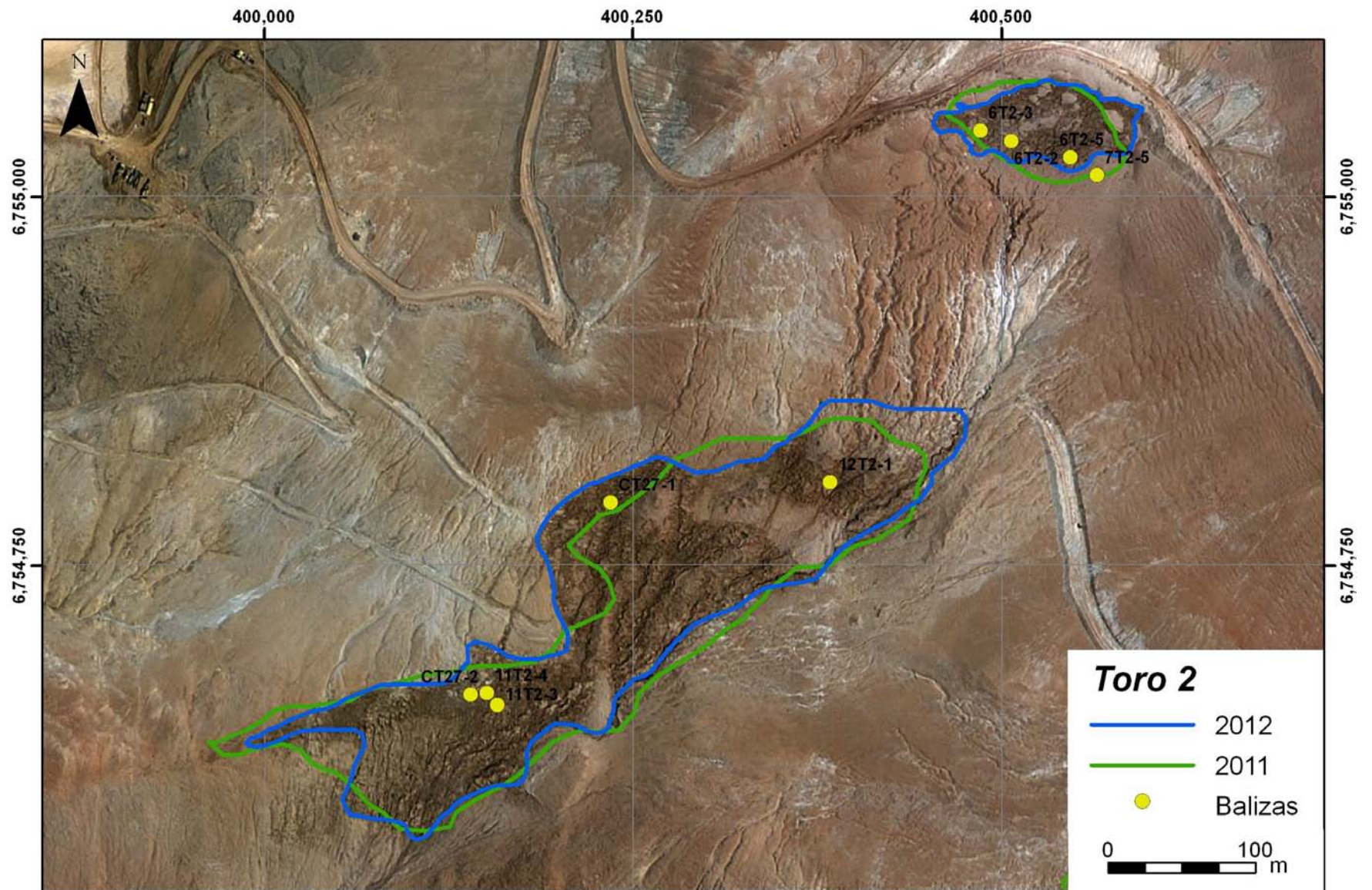


Figura 16. Glaciar Toro 2, imagen GeoEye del 11 de febrero de 2012 y su correspondiente borde indicado por la línea azul. La línea verde indica el borde del glaciar el 11 de mayo de 2011 según una imagen satelital Ikonos de esa fecha. En la Tabla 25 se indican las áreas respectivas para el periodo. Notar la superficie recubierta del glaciar.

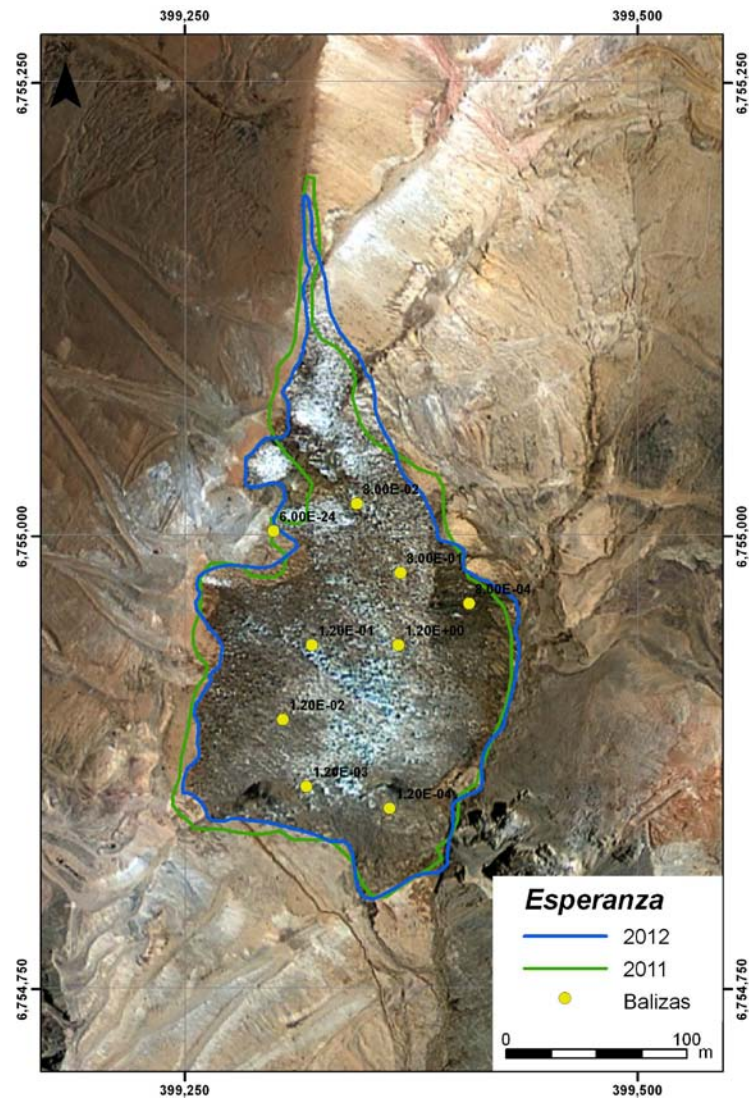


Figura 17. Glaciarete Esperanza, imagen GeoEye del 11 de febrero de 2012 y su correspondiente borde indicado por la línea azul. La línea verde indica el borde del glaciar el 11 de mayo de 2011 según una imagen satelital Ikonos de esa fecha. En la Tabla 25 se indican las áreas respectivas para el periodo.

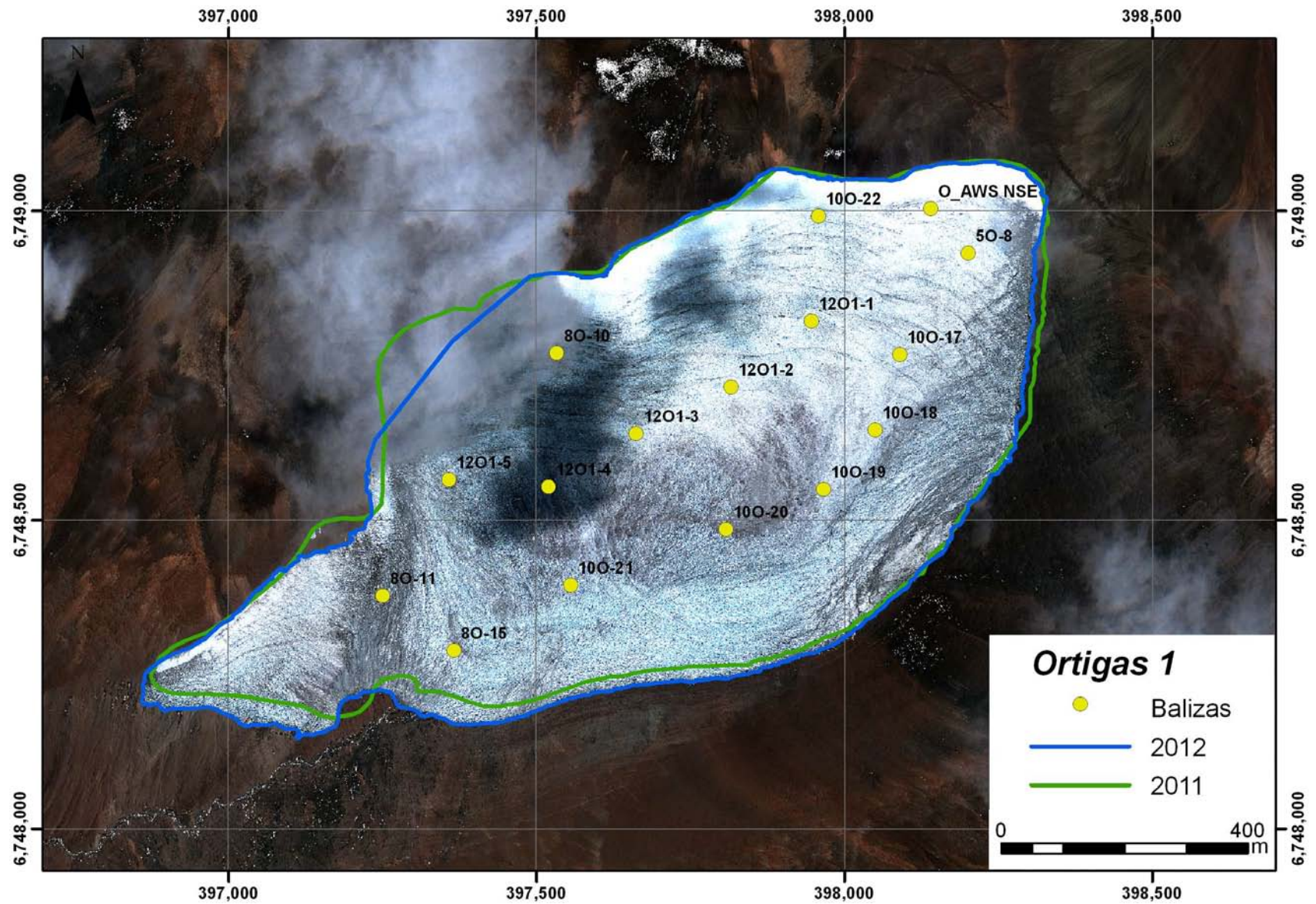


Figura 18. Glaciar Ortigas 1, imagen GeoEye del 11 de febrero de 2012 y su correspondiente borde indicado por la línea azul. La línea verde indica el borde del glaciar el 11 de mayo de 2011 según una imagen satelital Ikonos de esa fecha. La delineación del área cubierta por nubes se estimó en base a observaciones de terreno. En la Tabla 25 se indican las áreas respectivas para el periodo.

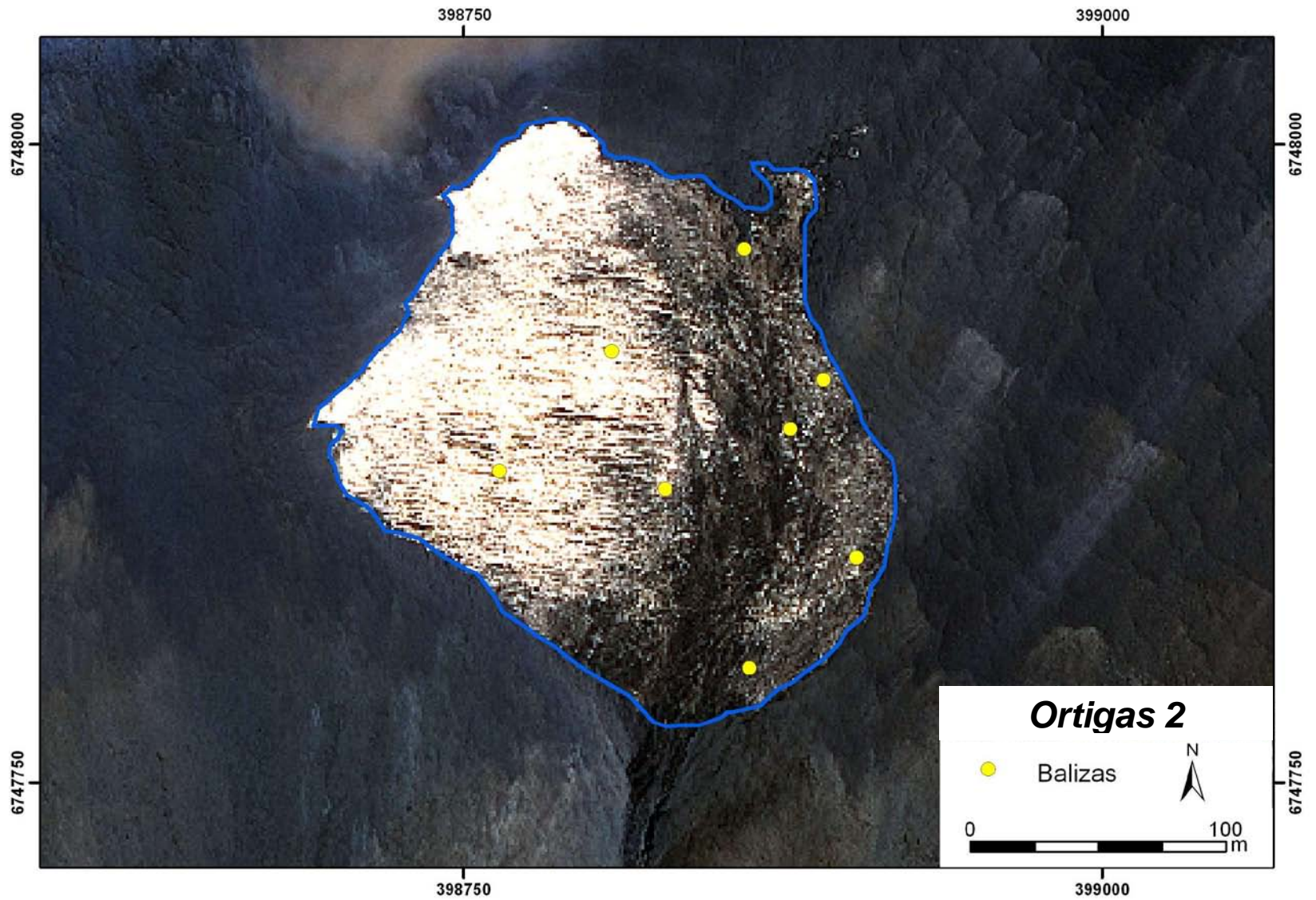


Figura 19. Glaciarete Ortigas 2, imagen GeoEye del 11 de febrero de 2012 y su correspondiente borde indicado por la línea azul. La línea verde indica el borde del glaciar el 11 de mayo de 2011 según una imagen satelital Ikonos de esa fecha. En la Tabla 25 se indican las áreas respectivas para el periodo.

7. REFERENCIAS

- Benn, D. & D. Evans (1998). *Glaciers and Glaciation*. Arnold, Londres, 734 pp.
- BGC Engineering (2011). Informe de balance de masa de Pascua-Lama 2010-2011.
- Boletín Climático (2011). (http://met.dgf.uchile.cl/clima/HTML/BOL_ANT/anterior.htm).
- CEAZA (2010). Balance de masa de los glaciaretos Toro 1, Toro 2, Esperanza y Ortigas 2, y de los glaciares Guanaco, Estrecho y Ortigas 1, región de Pascua-Lama, año hidrológico 2009 – 2010. 47 p.
- Cogley, J.G., R. Hock, L.A. Rasmussen, A.A. Arendt, A. Bauder, R.J. Braithwaite, P. Jansson, G. Kaser, M. Möller, L. Nicholson & M. Zemp (2011). Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms. IHP-VII Technical Documents in Hydrology. No. 86, IACS Contribution No. 2. UNESCO-IHP, Paris Rep.
- Cuffey, K.M. & W.S.B. Paterson (2010). *The Physics of Glaciers*, 4th Edition. Academic Press, 704 p.
- Falvey, M. & R. Garreaud (2009). Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979-2006). *Journal of Geophysical Research*, 114, D04102, doi:10.1029/2008JD010519,
- Golder (2009). Recopilación de estudios de línea base actualizada de la criósfera. Area de Pascua Lama, Tercera Región de Atacama. Rep., Número de informe 0792155019-0792155013.OIT0792155005, 0792155203 p. pp.
- IRD. 2008. Informe de terreno en Pascua Lama. 18 septiembre 2009. Informe de Patrick Ginot a CEAZA.
- Lliboutry, L. (1956). *Nieves y glaciares de Chile. Fundamentos de glaciología*. Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago, 471 pp.
- Oerlemans, J. (2001). *Glaciers and Climate Change*. Wilco, Amsterdam, 148 pp.
- Østrem, G. & M. Brugman (1991). *Glacier Mass-Balance Measurements. A manual for field and office work*. Norwegian Water Resources and Energy Administration, Saskatchewan, 224 pp.
- Paterson, W. S. B. (1994), *The physics of glaciers*. Pergamon third edition, 480 pp.
- Rabatel, A., H. Castebrenet, V. Favier, L. Nicholson, & C. Kinnard (2011). Glacier changes in the Pascua-Lama region, Chilean Andes (29°S): recent mass-balance and 50-year surface-area variations. *The Cryosphere*, 5, 1029-1041.

WGMS, World Glacier Monitoring Service (2010). Global Glacier Changes: facts and figures. ISBN 978-92-807-2898-9, 45 p.

ANEXO 1

Listado de balizas de aluminio instaladas en la temporada de verano 2012 en los glaciares y glaciaretos de Pascua Lama. Celdas sombreadas en gris indican instalación de baliza en un nuevo punto.

ID	Glaciar Glaciarete	Nombre baliza	Coordenadas UTM		Altitud (m s.n.m.)	Tipo baliza	Observación
			Este (m)	Norte (m)			
1	Estrecho	6ET-1	401,939	6,758,001	5,103	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
2	Estrecho	6ET-2	401,883	6,758,107	5,128	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
3	Estrecho	6ET-3	401,800	6,758,244	5,157	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
4	Estrecho	6ET-4	401,762	6,758,312	5,174	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
5	Estrecho	6ET-5	401,726	6,758,379	5,191	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
6	Estrecho	6ET-6	401,670	6,758,482	5,218	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
7	Estrecho	6ET-7	401,612	6,758,581	5,140	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
8	Estrecho	CE7-1	401,623	6,757,970	5,064	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
9	Estrecho	CE7-2	401,575	6,758,157	5,123	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
10	Estrecho	CE7-3	401,342	6,758,363	5,172	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
11	Estrecho	CE7-9	401,951	6,758,439	5,203	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
12	Estrecho	7ET-9	401,745	6,758,801	5,282	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
13	Estrecho	7ET-10	401,564	6,759,077	5,395	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
14	Estrecho	9ET-11	401,400	6,758,634	5,246	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
15	Estrecho	9ET-12	401,155	6,759,042	5,361	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
16	Estrecho	9ET-13	400,970	6,758,818	5,273	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
17	Guanaco	6G-0	401,439	6,753,577	5,318	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
18	Guanaco	6G-1	401,448	6,753,478	5,297	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
19	Guanaco	6G-2	401,444	6,753,304	5,279	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
20	Guanaco	6G-3	401,455	6,753,154	5,216	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
21	Guanaco	6G-4	401,481	6,752,956	5,173	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
22	Guanaco	6G-5	401,501	6,752,828	5,159	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
23	Guanaco	6G-6	401,528	6,752,645	5,154	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
24	Guanaco	CG7-1	402,073	6,753,503	5,239	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
25	Guanaco	CG7-2	402,196	6,753,204	5,173	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
26	Guanaco	CG7-3	401,899	6,753,044	5,165	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
27	Guanaco	7G-7	401,805	6,753,345	5,242	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
28	Guanaco	7G-8	402,079	6,752,985	5,147	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
29	Guanaco	7G-11	401,925	6,753,687	5,314	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
30	Guanaco	7G-12	401,658	6,753,583	5,311	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
31	Guanaco	8G-13	401,157	6,753,363	5,286	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
32	Guanaco	8G-14	401,051	6,753,151	5,212	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
33	Guanaco	8G-15	400,982	6,752,850	5,131	Aluminio	Se mantiene el mismo punto

34	Guanaco	8G-16	400,766	6,752,711	5,095	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
35	Guanaco	G_TERMIRD	401,519	6,752,794	5,161	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
36	Guanaco	G12	400,969	6,753,380	5,307	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
37	Guanaco	G15	401,086	6,752,544	5,114	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
38	Guanaco	G AWS N	401,507	6,753,607	5,317	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
39	Guanaco	G AWS S	401,507	6,753,607	5,317	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
40	Guanaco	G AWS E	401,507	6,753,607	5,317	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
41	Guanaco	G AWS W	401,507	6,753,607	5,317	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
42	Toro 1	7T1-3	401,001	6,754,803	5,227	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
43	Toro 1	6T1-7	400,828	6,754,598	5,137	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
44	Toro 1	6T1-9	400,707	6,754,549	5,114	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
45	Toro 1	6T1-10	400,604	6,754,555	5,102	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
46	Toro 1	6T1-11	400,737	6,754,594	5,160	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
47	Toro 1	8T1-13	401,101	6,754,816	5,229	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
48	Toro 1	8T1-16	400,919	6,754,603	5,152	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
49	Toro 1	9T1-18	401,103	6,754,762	5,216	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
50	Toro 1	9T1-20	400,770	6,754,554	5,122	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
51	Toro 1	T1_AWS N	401,085	6,754,794	5,226	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
52	Toro 1	T1_AWS S	401,085	6,754,794	5,226	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
53	Toro 1	T1_AWS E	401,085	6,754,794	5,226	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
54	Toro 1	T1_AWS W	401,085	6,754,794	5,226	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
55	Toro 2	6T2-2	400,507	6,755,038	5,187	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
56	Toro 2	6T2-3	400,486	6,755,045	5,193	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
57	Toro 2	6T2-5	400,547	6,755,027	5,191	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
58	Toro 2	CT27-1	400,235	6,754,793	5,100	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
59	Toro 2	CT27-2	400,140	6,754,663	5,057	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
60	Toro 2	7T2-5	400,565	6,755,015	5,189	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
61	Toro 2	11T2-3	400,158	6,754,656	5,069	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
62	Toro 2	11T2-4	400,151	6,754,664	5,075	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
63	Toro 2	12T2-1	400,384	6,754,806	5,135	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
64	Esperanza	6E-24	399,299	6,755,003	5,112	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
65	Esperanza	8E-1	399,369	6,754,980	5,091	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
66	Esperanza	8E-2	399,345	6,755,018	5,109	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
67	Esperanza	8E-4	399,407	6,754,963	5,059	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
68	Esperanza	12E-1	399,368	6,754,940	5,051	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
69	Esperanza	12E-2	399,320	6,754,940	5,064	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
70	Esperanza	12E-3	399,303	6,754,898	5,053	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
71	Esperanza	12E-4	399,316	6,754,861	5,040	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
72	Esperanza	12E-5	399,363	6,754,850	5,022	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
73	Ortigas 1	8O-10	397,533	6,748,770	5,142	Aluminio	Se mantiene el mismo punto

74	Ortigas 1	8O-11	397,250	6,748,376	4,971	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
75	Ortigas 1	8O-15	397,365	6,748,289	4,941	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
76	Ortigas 1	5O-8	398,201	6,748,932	5,228	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
77	Ortigas 1	10O-17	398,089	6,748,768	5,166	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
78	Ortigas 1	10O-18	398,049	6,748,645	5,107	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
79	Ortigas 1	10O-19	397,966	6,748,550	5,079	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
80	Ortigas 1	10O-20	397,807	6,748,484	5,051	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
81	Ortigas 1	10O-21	397,556	6,748,394	4,990	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
82	Ortigas 1	10O-22	397,957	6,748,991	5,235	Aluminio	Se mantiene el mismo punto
83	Ortigas 1	O_AWS N	398,140	6,749,004	5,209	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
84	Ortigas 1	O_AWS S	398,140	6,749,004	5,209	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
85	Ortigas 1	O_AWS E	398,140	6,749,004	5,209	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
86	Ortigas 1	12O1-1	397,946	6,748,821	5,153	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
87	Ortigas 1	12O1-2	397,815	6,748,715	5,111	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
88	Ortigas 1	12O1-3	397,662	6,748,640	5,081	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
89	Ortigas 1	12O1-4	397,520	6,748,553	5,027	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
90	Ortigas 1	12O1-5	397,358	6,748,565	5,028	Aluminio	Se instala en un nuevo punto
91	Ortigas 2	8R-5	398,900	6,747,919	5,144	Aluminio	Se mantiene el mismo punto. Instalación pendiente
92	Ortigas 2	8O2-1	398,829	6,747,865	5,118	Aluminio	Se mantiene el mismo punto. Instalación pendiente
93	Ortigas 2	10O2-2	398,807	6,747,919	5,139	Aluminio	Se mantiene el mismo punto. Instalación pendiente
94	Ortigas 2	O2_AWS	398,885	6,747,903	5,106		Soporte de AWS
95	Ortigas 2	O2_AWS N	398,885	6,747,903	5,106	Aluminio	Se instala en un nuevo punto. Instalación pendiente
96	Ortigas 2	O2_AWS S	398,885	6,747,903	5,106	Aluminio	Se instala en un nuevo punto. Instalación pendiente
97	Ortigas 2	O2_AWS E	398,885	6,747,903	5,106	Aluminio	Se instala en un nuevo punto. Instalación pendiente
98	Ortigas 2	O2_AWS W	398,885	6,747,903	5,106	Aluminio	Se instala en un nuevo punto. Instalación pendiente
99	Ortigas 2	12O2-1	398,903	6,747,838	5,090	Aluminio	Se instala en un nuevo punto. Instalación pendiente
100	Ortigas 2	12O2-2	398,861	6,747,794	5,068	Aluminio	Se instala en un nuevo punto. Instalación pendiente
101	Ortigas 2	12O2-3	398,764	6,747,871	5,099	Aluminio	Se instala en un nuevo punto. Instalación pendiente
102	Ortigas 2	12O2-4	398,859	6,747,959	5,123	Aluminio	Se instala en un nuevo punto. Instalación pendiente