

Evaluación de los aportes de la fotogrametría terrestre en el estudio de glaciares de escombros (cordón del Plata, Mendoza, Argentina)

Bodin X.¹; Trombotto Liaudat, D.²

¹ Laboratoire EDYTEM, UMR 5204 CNRS / Université de Savoie, Le Bourget-du-Lac, Francia.
xavier.bodin@univ-savoie.fr

² Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CONICET, CCT Mendoza, Argentina.

► **Resumen** — Este trabajo investiga el potencial y los límites de la fotogrametría terrestre en el estudio de la dinámica de los glaciares de escombros, y en particular sus cambios superficiales interanuales. La contribución utiliza la restitución de dos modelos 3D, realizada gracias a la multi-correlación de más de 100 imágenes adquiridas entre los años 2013 y 2014 de un glaciar de escombros activo en los Andes Centrales. La calidad de los datos producidos es evaluada comparando los mismos con datos GPS medidos en blancos artificiales (XYZ) y a lo largo del camino (Z). Basado en estos resultados, se pudo estimar un margen de error de $\pm 0,24$ m, lo cual permitió evaluar los cambios superficiales entre los dos Modelos Numéricos de Altitud (MNA). Las diferencias verticales que afectan el frente del glaciar de escombros estudiado en el intervalo de tiempo de 15 meses pudieron ser cuantificadas e interpretadas en términos de procesos geomorfológicos.

Palabras clave: Glaciares de escombros, cambios superficiales, fotogrametría terrestre, modelos numéricos de terreno de muy alta resolución, Andes Centrales.

► **Abstract** — “Evaluation of the photogrammetry contribution in the studies of rock glaciers (Cordón del Plata, Mendoza, Argentina)”. This work investigates the potential and limits of terrestrial photogrammetry for studying rock glacier dynamics, and more specifically its interannual surface changes. Using a rather simple digital photogrammetric workflow, the restitution of two 3D-models was done thanks to multi-correlation of more than 100 images acquired in summers 2013 and 2014 on an active rock glacier in the Argentinian Andes. The quality of the output datasets is evaluated by comparing to GPS data collected on artificial targets (XYZ) and along tracks (Z). Based on these results, we can consider ± 0.24 m as the margin of error that has to be taken into account to assess the surface changes between the two Digital Elevation Models (DEMs). Vertical differences affecting the rock glacier front over the 15 months time lapse can then be quantified and interpreted in terms of geomorphological processes.

Keywords: Rock glacier, surface changes, terrestrial photogrammetry, very high resolution DEM, Central Andes.

1. INTRODUCCIÓN

Los glaciares de escombros, o litoglaciares, son crioformas indicativas de la presencia de permafrost de montaña (Barsch, 1996; Trombotto, 2000). Ellos se encuentran en todas las cadenas montañosas del mundo en donde existen temperaturas bajo cero debido a la altura, generalmente con precipitaciones sólidas reducidas y alta producción

de crioregolito que la región genera, es este el también llamado ambiente periglacial. Estas geoformas están compuestas por acumulaciones de detritos con un alto contenido en hielo subterráneo, irregular en cuanto a su dispersión areal y vertical, si se lo ve en un perfil o calicata. El alto contenido en hielo les permite a estas crioformas deformarse a lo largo de las pendientes, alcanzando velocidades del orden de unos cm/a hasta unos m/a (Haeberli *et al.*, 2006, Springman *et al.*, 2012).

La dinámica de los glaciares de escombros puede ser estudiada a través de sus desplazamientos superficiales, que están relacionados con la deformación visco-plástica del cuerpo congelado en el subsuelo cuando está sobresaturado en hielo. El monitoreo de los desplazamientos que se lleva a cabo en varios glaciares de escombros, mucho de ellos en los Alpes, han demostrado un vínculo fuerte entre la variación interanual de la velocidad de desplazamiento y el clima (Kääb *et al.*, 2007). Así mismo, las aceleraciones observadas en la década de los años 90 parecen ser controladas por el aumento de la temperatura promedio del aire mientras las variaciones medidas después del 2005 tienden a ser afectadas por la variabilidad del manto nival, cuyo espesor controla el enfriamiento invernal del suelo (Delaloye *et al.*, 2008).

Varios métodos han sido usados para medir y monitorear la cinemática de la superficie de los glaciares de escombros: la fotogrametría aérea con alta resolución espacial, pero con período de retorno de varios años, los métodos geodésicos (teodolito, GPS), con una resolución temporal que puede ser mayor, pero que se limitan a medir unos puntos en la forma (por ej. Lambiel y Delaloye, 2004) y el LiDAR terrestre, con alta resolución espacial (por ej. Bodin *et al.*, 2008), son los más comunes.

En este trabajo, presentamos los resultados del uso de la fotogrametría terrestre, a partir de imágenes ópticas tomadas desde el terreno con una cámara réflex, para generar modelos tri-dimensionales y multi-temporales de la superficie, mediante el uso de un programa de multi-correlación de imágenes (Photoscan, ® Agisoft). El lugar de estudio es un glaciar de escombros de fácil acceso en los Andes argentinos, lo cual permitió llevar a cabo varias campañas de adquisición de datos entre los años 2013 y 2014. Comparando entre ellos los Modelos Numéricos de Altitud (MNA) y las orto- imágenes de muy alta resolución que se generaron, se pueden estimar los cambios (variación vertical y desplazamiento horizontal) que han afectado el frente del glaciar de escombros.

2. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio está situado al Oeste de la Provincia de Mendoza, Argentina, en el Cordón del Plata, que forma parte de la Cordillera Frontal, con un eje principal NNE-SSO y los valles orientados hacia el este y sur-este. Las altitudes superan los 3500 m snm en la mayoría de los valles, hasta alcanzar aproximadamente los 6000 m en el cerro El Plata. La zona de trabajo está ubicada en la Cordillera de los Andes de Mendoza y pertenece a la región denominada «de los Andes Centrales», que se extiende aproximadamente entre las latitudes 31°S y 35°S. Esta región corresponde a la parte más austral de los Andes Secos («*Dry Andes*», ver Lliboutry & Corte, 1998).

El valle de estudio se encuentra en la cuenca del río Vallecitos de unos 54 km² de superficie, de los cuales más del 60% es ambiente periglacial con posible presencia de permafrost a partir de los 3600 m de altura aproximadamente (Trombotto *et al.*, 1997). La zona de trabajo fue elegida por su accesibilidad y porque en ella existen estudios regionales y locales, particularmente en el glaciar de escombros de Morenas Coloradas (Trombotto *et al.*, 2009) que fueron realizados entre 1992 y 1999, y a partir de esa fecha, en esta crioforma se llevan a cabo investigaciones en forma continua.

La estación meteorológica más cercana es la denominada «Vallecitos» a 2550 m snm. (32° 56' LS y 69° 23' LO), aunque sus datos son discontinuos. La temperatura media anual del aire (TMAA) entre 1979 y 1994 fue de 6,3 °C y la precipitación media de 442 mm (1979-1983). El período registrado entre 1988-1992 fue el más cálido, con una TMAA de 7,36° C. Son muy escasos los datos sobre precipitaciones sólidas. Totalizadores, para medir precipitaciones de lluvia y nieve, fueron colocados en la zona de estudio en las estaciones denominadas Vallecitos y Balcón I. Los datos de Vallecitos muestran que durante el período 1990-2004 (serie incompleta) las precipitaciones alcanzaron los 356 mm anuales, valor notablemente menor al mencionado anteriormente. En cambio, en la

estación de monitoreo geocriológico Balcón I sobre el glaciar de escombros de Morenas Coloradas (Trombotto *et al.*, 2009), la precipitación fue de 408 mm anuales entre 1991 y 2004 (serie incompleta).

Investigaciones geofísicas (GPR y ERT) se hicieron en el año 2008 (Götz *et al.*, 2008; Trombotto *et al.*, 2008) determinando importantes variaciones criogénicas. Estos últimos estudios determinaron que la capa activa de 5 m de espesor aproximado, antes a una altura de 3560 m, en el 2008 se encontraba a 3590 m. A partir del año 2013 se están llevando a cabo en el glaciar de escombros de Morenas Coloradas estudios de criodinámica con GPS geodésicos para conocer sus movimientos superficiales.

Un poco más hacia el sur del complejo de las crioformas de Morenas Coloradas, la Quebrada del Medio (Figura 1) alberga un complejo de glaciares de escombros de ori-

gen criogénico, cuya mayor unidad tiene más de 3 km de longitud por un ancho promedio de 200-250 m. La zona de interés se limita a la parte terminal de esta crioforma (últimos 650 m), con un desnivel de 200 m con respecto al pie del frente que se ubica a los 3400 m snm. La crioforma de estudio se desarrolla con forma de S y bordea la vertiente montañosa por el E, extendiéndose sobre una planicie aluvial y presentando unidades de varias edades, hoy inactivas o fósiles y bajando por un cañadón sin nombre. La crioforma llega hasta una morena lateral post-glacial ubicada al borde N del valle más grande de Piedra Grande, también informalmente denominado del Infiernillo (Figura 2).

Con una granulometría en su mayoría compuesta de detritos decimétricos hasta sub-métricos en una matriz de material fino, cuyo color revela dos fuentes litológicas de material distinto, la morfología del glaciar

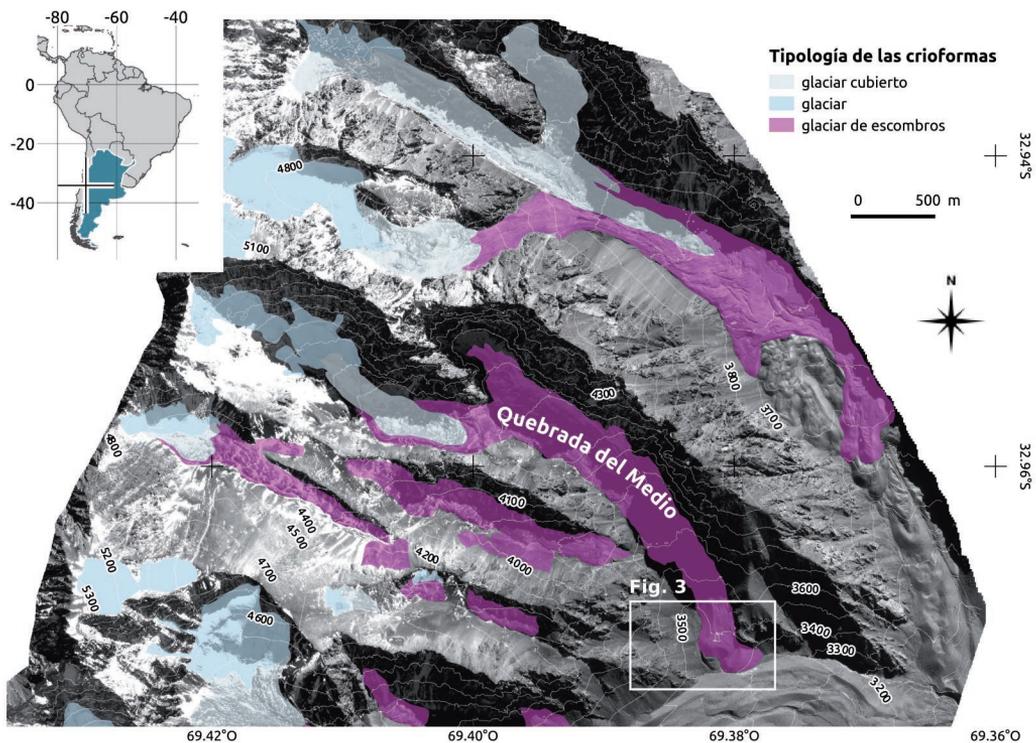


Figura 1. Glaciar de escombros estudiado en la Quebrada del Medio: mapeo geomorfológico de las crioformas más importantes del área y ubicación de la zona de interés. Orto-imagen de fondo y MNA extraídos de una imagen Pléiades, del 15 de Mayo 2014, adquirida con fondos del programa CMIRA, *Région Rhône Alpes*.

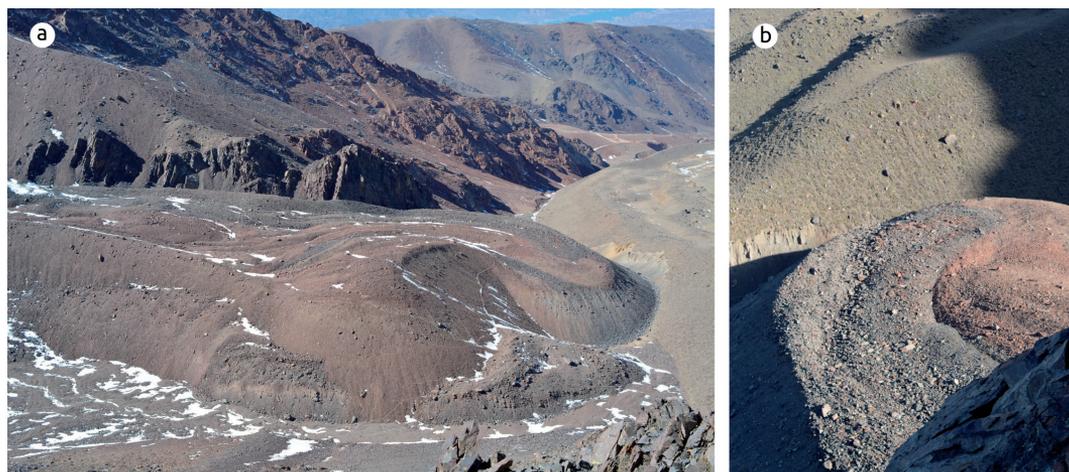


Figura 2. Vistas del glaciar de escombros Hans Stepanek en la Quebrada del Medio: a) el cuerpo del glaciar, con la superposición de varias unidades de distintas edades; b) frente del glaciar con los surcos y arrugas bien marcados que denotan actividad criogénica. Fotos: © X. Bodin, Mayo 2014.

de escombros Stepanek (Figura 2) se caracteriza por varios rasgos distintivos típicos de actividad (Barsch, 1996):

- surcos y arrugas transversales y longitudinales, que indican la deformación (compresión y extensión) del cuerpo;
- el talud lateral y frontal con fuerte pendiente, cerca del límite de equilibrio del material, y con un contacto con la superficie del cuerpo muy marcado;
- una mayor actividad en los 25 m más altos del frente, evidenciando el efecto del empuje por detrás del cuerpo congelado; y
- una mayor actividad del frente sur, muy marcado en comparación con el frente ubicado un poco más al norte que lleva pocas evidencias de actividad gravitacional y por lo tanto de desplazamiento del cuerpo.

3. METODOLOGÍA

La fotogrametría utiliza imágenes que presentan un solapamiento suficiente entre ellas como para medir orientaciones relativas de las imágenes en base a los principios de la estereoscopía. De esta manera, una vez corregidas las orientaciones internas y externas, se pueden calcular las coordenadas tridimensionales en cada punto de las imágenes.

Esta metodología sirve para generar Modelos Numéricos de Altitud (MNA) en los terrenos cubiertos por las imágenes y, a partir de estos, también poder rectificar las imágenes al suprimir las deformaciones tanto geométricas (debidas a la cámara y la lente) como topográficas (debidas a la forma del relieve).

Si bien el método existe desde hace mucho tiempo para fotografías aéreas, el empleo de fotografías tomadas desde el terreno se ha desarrollado mucho más en estos últimos años (ver por ej. Kaufmann, 2012; Westoby *et al.* 2012). Esa situación es el producto de los avances de las tecnologías numéricas, tanto para la adquisición de imágenes con cámaras fotográficas de más alta resolución, como para procesar las mismas con computadores y con software cada vez más potentes y eficientes.

En este trabajo se emplearon dos sistemas de adquisición fotográfica ligeramente distintos entre sí (por disponibilidad de los aparatos) que están basados en el material de Nikon de tipo *reflex* con sensor digital de formato DX, y utilizados con lentes focales fijas (Tabla 1). La toma de foto se realizó sin trípode, para mayor comodidad al andar sobre el terreno que es normalmente dificultoso (ajustes comunes: modo automático,

Tabla 1. Características de los sistemas de adquisición fotográfica. La resolución en el terreno es el tamaño del pixel en la superficie del suelo, que es a su vez proyectado en un plano ortogonal con respecto a la distancia focal. Por ejemplo: a una distancia de 500 m (entre la cámara y el terreno), la resolución del terreno es de 5.4 cm con el D7100 y de 9 cm para el D7000.

Modelo cámara (Nikon)	D. focal (eq. 35 mm)	Sensor (DX)				Resolución terreno (mm) para distancia (m)			
		Tamaño (mm)		Número de píxeles		100	250	500	700
		largo	ancho	largo	ancho				
D7000	27 mm	23.6	15.6	4928	3264	18	44	89	124
D7100	36 mm	23.5	15.6	6000	4000	11	27	54	76

sensibilidad 100-400 ISO, de f/7.1 a f/10).

El protocolo para obtener fotos en el terreno se basa en principios sencillos (ver el manual de Agisoft, editor del programa Photoscan, ocupado para procesar las fotos en este trabajo: <http://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>), como:

I. se deben multiplicar los puntos de vista observados, lateral y verticalmente, para que cada parte del objeto estudiado esté visible en varias fotos con distintos ángulos de vista y así optimizar el solapamiento entre fotos (Figura 3);

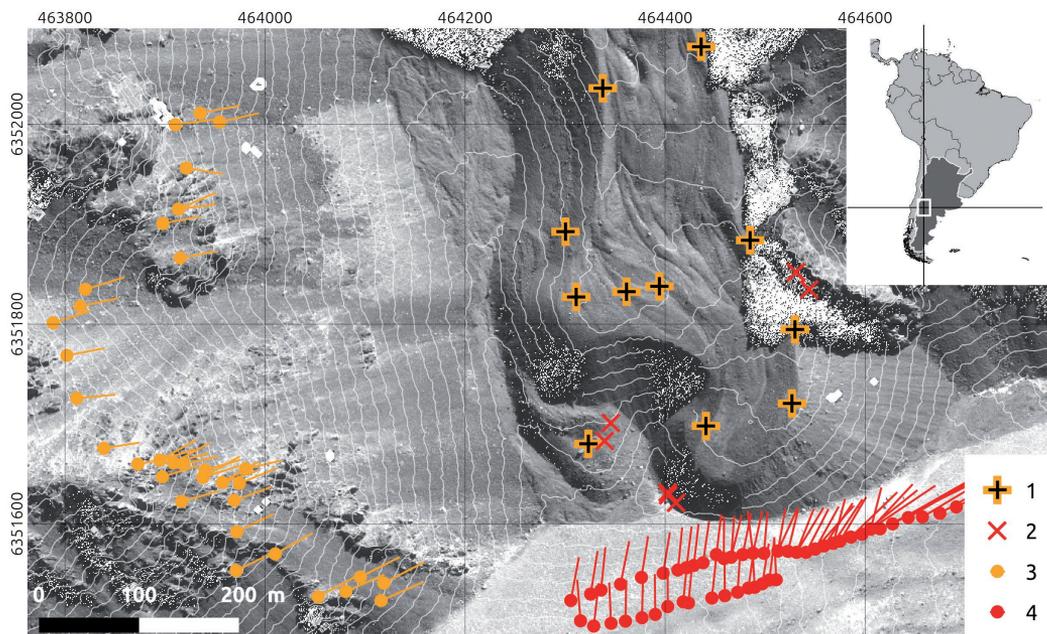


Figura 3. Ubicación (coordenadas métricas, en el sistema UTM 19 Sud) de la red de puntos GPS y posiciones de las cámaras y de las señales para las 2 campañas citadas en el texto (1 de mayo de 2013 y 15 de agosto de 2014). Leyenda: 1 (cruz amarilla) señales (ver Fig. 4) usadas como GCP (Ground Control Point) para georeferenciar el modelo 2014; 2 (cruz roja) GCP tomados en el modelo 2014 para georeferenciar el modelo 2013; 3 (punto amarillo) puntos de toma de foto en 2014; 4 (punto rojo) puntos de toma de foto en 2013. El rayo de los puntos rojos y amarillos indican la dirección de toma de las fotos. La ortoimagen de fondo y el MNA usado para generar las curvas de nivel derivan de imágenes Pléiades estéreo (15-Mayo-2014, programa ISIS).

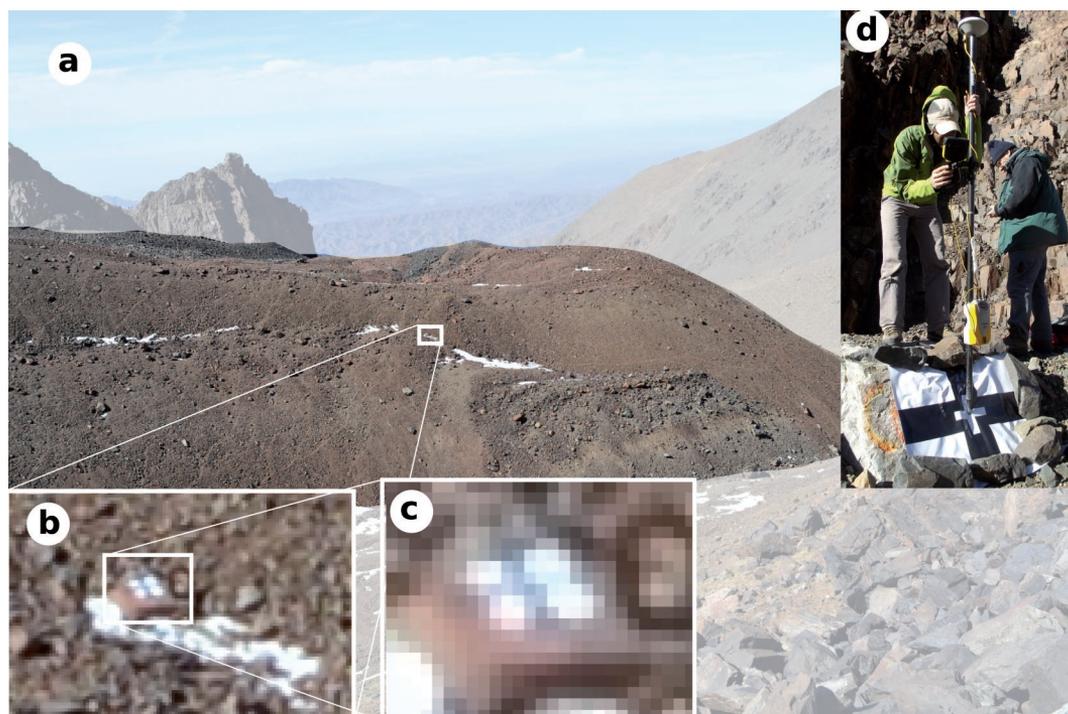


Figura 4. Señales usadas en terreno durante la adquisición de fotos para georeferenciar los modelos 3D: a) foto completa, con partes exteriores al glaciar de escombros blanqueadas; b) ampliación de la imagen mostrando la señal (punto GPS C1, tamaño de la señal: 40 x 40 cm); c) nivel de ampliación mayor con píxeles visibles; (d) levantamiento por GPS diferencial del centro de la cruz del señal (punto GPS B1, tamaño de la señal: 80 x 80 cm).

II. los puntos deben quedar a una distancia suficiente para que el campo visual abarque una mayor parte del terreno pero al mismo tiempo;

III. los mismos no deben estar muy lejos para que puedan tener una resolución de pixel en terreno suficiente como para poder reconocer la textura de la superficie y los puntos de referencia.

Teniendo en cuenta lo anterior se llevaron a cabo 4 campañas para la adquisición de fotos en la Quebrada del Medio. Las campañas fueron realizadas el 1 de mayo de 2013, el 29 de abril de 2014, el 15 de agosto de 2014 y el 5 de diciembre de 2014. Sin embargo, para el presente trabajo solamente se utiliza la información obtenida en mayo del año 2013 y de agosto del año 2014 (Tabla 2).

Para poder georeferenciar los modelos 3D por un lado, y evaluar la precisión de los

datos y de las comparaciones multi-temporales por otro, se desplegó una red de puntos GPS, marcando con pintura bloques de tamaño métrico y midiéndolos con GPS diferenciales de doble-frecuencia (Trimble R5). Los levantamientos GPS fueron llevados a cabo durante la campaña del 15 de agosto de 2014. La precisión de posicionamiento en el modo PPK (Post-Processing Kinematic) empleado para los levantamientos, alcanza 10 mm en planimetría y 20 mm en altimetría según los datos del constructor del aparato. Para la campaña del 15 de agosto de 2014, fueron colocadas 11 señales (cruces negras sobre lona blanca, de tamaño 40 x 40 cm y 80 x 80 cm) en los puntos GPS (Figura 4).

El proceso de multi-correlación de las imágenes (plena resolución, formato .JPEG) se realizó utilizando el software Photoscan (® Agisoft) y el protocolo siguiente:

Tabla 2. Características de los juegos de fotos para las campañas de 2013 y 2014.

Fecha	Sistema adquisición	Numero de imágenes	Características imágenes				Características terreno		
			Tamaño (pixel)		Hora de toma (ART)		Alturas (m snm)		Otros
			largo	ancho	inicio	fin	min	max	
01/05/13	D7000 + 27mm	151	4928	3264	12h10	12h50	3307	3432	Parte baja sola
15/08/14	D7100 + 36mm	145	6000	4000	11h29	14h57	3478	3694	Restos de nieve

– clasificación de las imágenes obtenidas en grupos con partes similares y con solapamiento de terreno y eliminación de las imágenes de baja calidad (desenfocadas, sobre- o subexpuestas, con demasiado contraste);

– alineamiento entre imágenes formando grupos diferentes de acuerdo a la orientación interna;

– identificación manual de las señales en cada imagen (orientación externa);

– cálculo de correlación densa para obtener el modelo 3D (1.5 millones de puntos para el modelo de 2013, 6.2 millones de puntos para 2014);

– exportación de la nube de puntos y del MNA con resolución de 15 cm y de la orto- imagen con resolución de 7 cm.

Las comparaciones de los MNA se realizaron con el software QGIS, con la herramienta *Raster calculator* (sustracción de los MNA). La evaluación de los resultados se hizo en base a mediciones con GPS diferencial y estimando la coherencia de los cambios calculados por comparación con los conocimientos actuales que se tienen sobre la dinámica de los glaciares de escombros.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para evaluar la calidad de los MNA producidos, especialmente en términos de estimación de altura, se calculó la diferencia entre los valores generados por 361 puntos GPS medidos (modo «*Stop-and-Go*») durante la campaña de terreno del 15 de agosto de

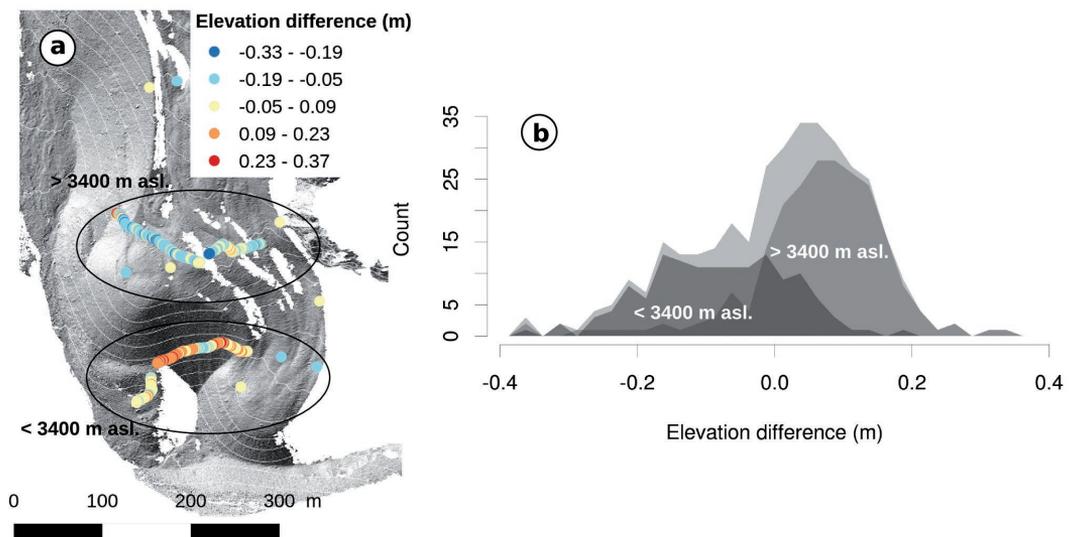


Figura 5. Diferencia de altura entre el MNA 2014 y los 361 puntos GPS medidos durante la campaña de Agosto 2014 a lo largo de dos sendas transversales al glaciar de escombros de la Quebrada del Medio: a) Mapa con la ubicación y los valores de diferencia (las dos áreas por encima y por abajo de los 3400 m snm están distinguida); b) distribución de los valores para las dos áreas y para el total.

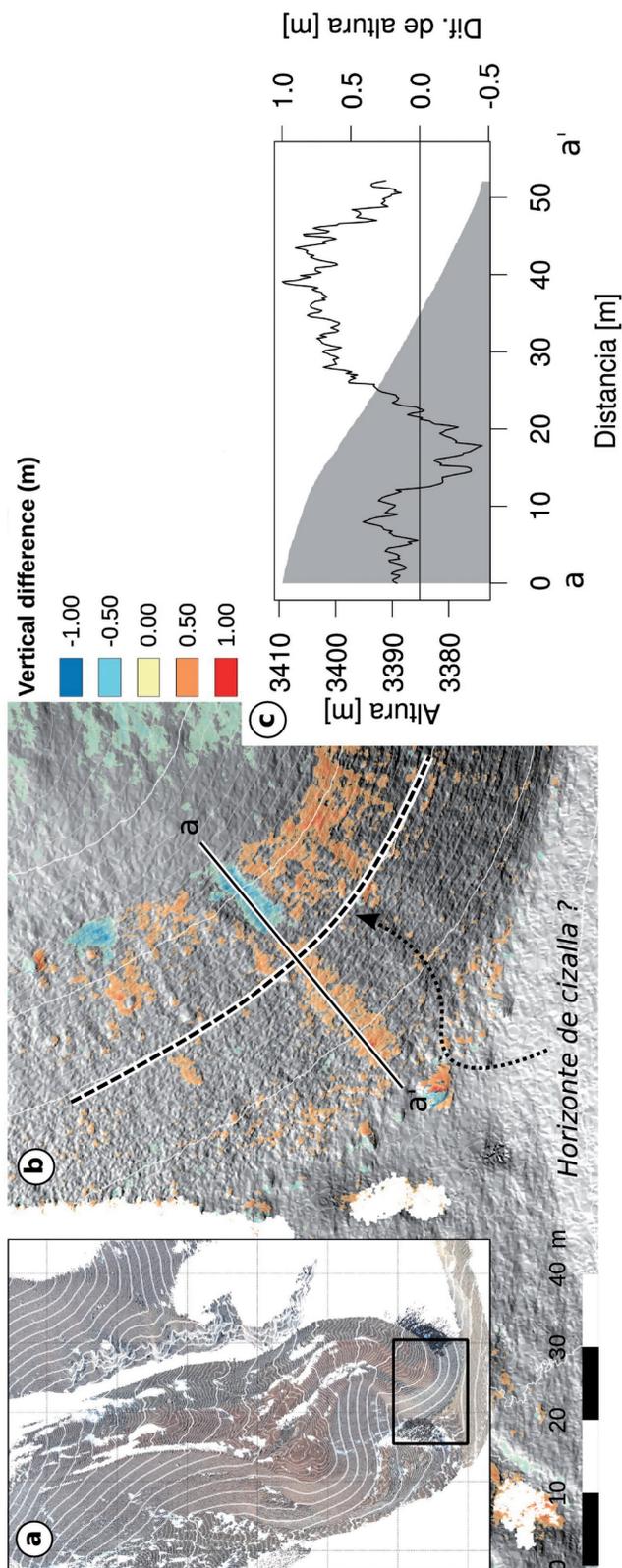


Figura 6. Diferencia altitudinal entre los MNA de los años 2013 y 2014 en la parte terminal del glaciar de escombros Stepanek en la Quebrada del Medio: a) mapa mostrando el zoom del área detallado (la imagen de fondo es la orto-imagen de Agosto 2014 con las curvas de niveles correspondiente con equidistancia de 1 y 10 m); b) mapa de las diferencias de altura (los valores entre -0,24 y 0,24 m, que corresponden al margen de error, han sido presentado en transparente); c) perfil topográfico en un corte vertical cruzando el frente del glaciar (caída en masa de bloques).

2014 con los valores obtenidos por el MNA de las imágenes de la misma campaña (Figura 5). Considerando un error de ± 0.08 m debido al movimiento vertical del jalón que soporta la antena GPS, la diferencia entre los datos GPS y el MNA alcanza valores entre -0.371 y 0.326 m, con un RMSE de 0.123 m.

Se puede notar una distribución asimétrica de los valores de diferencia de altura que corresponde, en términos espaciales, a las distintas partes del conjunto de puntos GPS: en la parte alta (sobre los 3400 m snm), la mediana de la diferencia de altura es de 0.074 m, con una desviación estándar de 0.099m, mientras en la parte baja, la mediana es de -0.079 m (desviación estándar = 0.102 m). Es probable que esta distribución desigual entre los puntos de la parte alta con la parte baja, resulte por un lado por problemas de alineamiento y por otro lado por la manipulación del jalón del GPS en el terreno.

Considerando el valor de 2σ (0.24 m) de la distribución de las diferencias de altura como una estimación razonable del margen de error, se pueden interpretar los resultados en términos de la dinámica geomorfológica que está afectando el glaciar de escombros de la Quebrada del Medio entre Mayo del 2013 y Agosto del 2014. Debido al problema de alineamiento mencionado anteriormente, el análisis se enfoca ahora solamente en la parte baja (lengua terminal) del glaciar de escombros, donde mas puntos de control obligan el alineamiento del modelo del 2013 sobre el del 2014 (ver Figura 3).

Durante el intervalo de 15 meses entre las 2 campañas, varios fenómenos se encuentran bien ilustrados por los datos obtenidos (Figura 6). Primero, el patrón de diferencia de altura del talud frontal refleja un probable avance del cuerpo congelado, con un perfil vertical típico para una deformación visco-plástica (Kääb y Reichmuth, 2005). En efecto, los cambios verticales importantes coronando la parte alta del talud frontal podrían indicar un horizonte de cizalla posiblemente ubicado a unos 10-15 metros bajo la superficie de la lengua. Por otra parte, la caída en masa de bloques desde la parte superior del frente, con más pendiente,

es otro fenómeno bien ilustrado por los datos que acá se presentan, ya que se observa claramente una acumulación crio-sedimentaria por debajo de la corona (Figura 6c).

5. CONCLUSIONES

A partir de este trabajo se pudieron evaluar los aportes de la fotogrametría terrestre para el estudio de dinámicas geomorfológicas superficiales relativamente lentas, como la deformación visco-plástica ($\sim 1\text{m/año}$) de un glaciar de escombros en los Andes Centrales de Mendoza. Con dos juegos de fotografías tomadas en terreno, durante dos campañas separadas por 15 meses, producimos dos MNA de muy alta resolución (0.15 m). Usando datos obtenidos por GPS geodésico de alta precisión, evaluamos el margen de error de la metodología a ± 0.24 m. A través de estos resultados, varios fenómenos característicos de la dinámica de los glaciares de escombros han sido observados, especialmente los relacionados con el avance del frente (caída de bloques, inclinación del talud frontal). Se demostró así, que esta metodología, con un costo bajo, se puede cuantificar dinámicas superficiales con una precisión suficiente para evaluar los procesos físicos científicos en juego.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto ANDALP («*Geomorphological dynamics and permafrost in the Andes*»), financiado por el programa CMIRA de la *Région Rhône Alpes*, Francia (dispositivo CO-OPERA n°13.005522.01/02). El programa AAP 2014 de la *Université Savoie Mont-Blanc* contribuyó también a las investigaciones (compra de material, campañas de terreno). Agradecemos al programa ISIS (Incitation à l'utilisation des images SPOT) del CNES (Centre National d'Etudes Spatiales, Francia) que nos permitió obtener las imágenes Pléiades (proyecto n°796 «Evaluating rock glacier dynamics in the Central Andes with TerraSAR-X»). X. Bodin se benefició de una beca de la *Région Rhône Alpes* (EXPLORA PRO).

Queremos agradecer a los integrantes de las campañas de terreno: Dani, Carla, Gilen, Damien, Elise y Clément, así también a los cuidadores del Refugio Universidad de Cuyo en Vallecitos, y a Pepe Hernández por habernos permitido el acceso a un lugar estable para instalar la base del GPS.

BIBLIOGRAFÍA

- Barsch, D. 1996. Rockglaciers. Indicators for the permafrost and former geocology in high mountain environments. Springer, Berlin.
- Bodin, X., Schoeneich, P., y Jaillet, S. 2008. High-Resolution DEM Extraction from Terrestrial LIDAR Topometry and Surface Kinematics of the Creeping Alpine Permafrost: The Laurichard Rock Glacier Case Study (Southern French Alps). In Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost, 137-142.
- Delaloye, R., Perruchoud, E., Avian, M., Kaufmann, V., Bodin, X., Hausmann, H. y Thibert, E. 2008. Recent Interannual Variations of Rock Glacier Creep in the European Alps. In Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost (pp. 343-348).
- Götz, J., Keuschnig, M., Hartmeyer, I., Trombotto, D. y Schrott, L. 2008. 3. Mitteleuropäischen Geomorphologietagung. «Geophysical prospection on a complex rock glacier system - Morenas Coloradas, revisited (Cordón del Plata, Mendoza, Argentina)». Tagungsband (Hrsg Schrott & Otto), p. 80, Salzburg, Austria.
- Haeberli, W., Hallet, B., Arenson, L., Elconin, R., Humlum, O., Käab, A., Kaufmann, V., Ladanyi, B., Matsuoka, N., Springman, S. y Vonder Mühll, D. 2006. Permafrost Creep and Rock Glacier Dynamics. *Permafrost and Periglacial Processes*, 21(June), 189- 214. doi:10.1002/ppp
- Käab, A., Frauenfelder, R., y Roer, I. 2007. On the response of rockglacier creep to surface temperature increase. *Global and Planetary Change*, 56(1-2), 172-187. doi:10.1016/j.gloplacha.2006.07.005
- Käab, A., y Reichmuth, T. 2005. Advance mechanisms of rock glaciers. *Permafrost and Periglacial Processes*, 16(2), 187-193. <http://doi.org/10.1002/ppp.507>
- Kaufmann, V. 2012. The evolution of rock glacier monitoring using terrestrial photogrammetry: the example of Äußeres Hochebenkar rock glacier (Austria). *Austrian Journal of Earth Sciences*, 105(2), 63-77.
- Lambiel, C. y Delaloye, R. 2004. Contribution of real-time kinematic GPS in the study of creeping mountain permafrost. Examples the Western Swiss Alps. *Permafrost and Periglacial Processes*, 15: 229-241.
- Lliboutry, L. y Corte, A. 1998. Glaciers of South America- Glaciers of Chile and Argentina. En «Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: South America», United States Geological Survey. Professional Paper 1386-I (Williams, R. & Ferrigno, J., Editores), 109-206, Washington.
- Springman, S. M., Arenson, L. U., Yamamoto, Y., Maurer, H., Kos, A., Buchli, T., y Derungs, G. 2012. Multidisciplinary Investigations on Three Rock Glaciers in the Swiss Alps: Legacies and Future Perspectives. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 94(2), 215-243. doi:10.1111/j.1468-0459.2012.00464.x
- Trombotto, D., Buk, E. y Hernández, J. 1997. Monitoring of Mountain Permafrost in the Central Andes, Argentina. *Permafrost and Periglacial Processes*, Vol. 8: 123 -129, Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK.
- Trombotto, D. 2000. Survey of cryogenic processes, periglacial forms and permafrost conditions in South America. *Revista Do Instituto Geológico*, 21(1/2), 33-55.
- Trombotto Liaudat, D., Borzotta, E., Blöthe, J. H., Keuschnig, M., Götz, J., Hernández, J. y Hartmeyer, I. 2008. ICES IV: Nuevos datos en la detección de permafrost de montaña en el litoglacial de Morenas Coloradas, Vallecitos, Mendoza, Argentina. Resúmenes, p. 19, Malargüe, Mendoza.
- Trombotto, D. y Borzotta, E. 2009. Indicators of present global warming through changes in active layer-thickness, estimation of thermal diffusivity and geomorphological observations in the Morenas Coloradas rock glacier, Central Andes of Mendoza, Dry Andes, Argentina. *Cold Regions Science and Technology*, 55: 321-330. Elsevier, The Netherlands.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., y Reynolds, J. M. 2012. Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314. doi:10.1016/j.geomorph.2012.08.021