

El glaciar de Cuerpo de Hombre (Sierra de Béjar, Sistema Central Español) durante la deglaciación: génesis primaria del till supraglaciar de Los Hermanitos

The Cuerpo de Hombre glacier (Sierra de Béjar, Spanish Central System) during the deglaciation times: primary origin of the supraglacial till of Los Hermanitos

Rosa M. Carrasco ⁽¹⁾, Javier de Pedraza ⁽²⁾, Miguel A. Sanz ⁽²⁾, David Domínguez-Villar ⁽³⁾ y Jane Willenbring ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ingeniería Geológica y Minera, Facultad de CC del Medio Ambiente, Universidad de Castilla-La Mancha, Avda Carlos III, s/n. 45071 Toledo, España. Rosa.Carrasco@uclm.es

⁽²⁾ Departamento de Geodinámica, Facultad de Geología, C/ José Antonio Novais, 2, 28040 Madrid, España. javierp@geo.ucm.es; massinfo@geo.ucm.es

⁽³⁾ Departamento de Geología, Universidad de Alcalá de Henares, Ctra. N-II, km 36,600, Alcalá de Henares, 28871 Madrid, España.

⁽⁴⁾ d.dominguezvillar@bham.ac.uk

⁽⁴⁾ Department of Earth & Environmental Science, University of Pennsylvania, 240 S. 33rd Street - Hayden Hall Room 266, Philadelphia, PA 19104-6316, USA. jane.willenbring@sas.upenn.edu

ABSTRACT

During the period of deglaciation of the last glacial cycle, a rock avalanche took place in the cliffs of Los Hermanitos (Cuerpo de Hombre Valley, Sierra de Béjar). The material displaced during the avalanche falls over the ice, was transported towards the glacier front and later on deposited as a supraglacial melt-out till. The origin of the avalanche is the result of a decompression in the slopes of the valley after they have been liberated of the glacier ice (paraglacial stress relaxation). Based on geomorphological data and the implementation of a GIS, the reconstruction of ice masses during the main glacier stages have been carried out in order to quantify the stress relaxation that produced the collapse.

Key words: Glacial debuitting, rock avalanche, supraglacial melt-out till, deglaciation, Sierra de Béjar.

Geogaceta, 49 (2010), 39-42
ISSN: 2173-6545

Fecha de recepción: 15 de julio de 2010
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2010
Fecha de aceptación: 26 de noviembre de 2010

Área de trabajo y objetivos

La Sierra de Béjar o Candelario tiene una dirección general NE-SW y es la divisoria entre los valles tectónicos del Jerte (falla de Odemira-Plasencia) y del Alagón-Ambroz (falla del Ambroz). Sus cimas presentan cotas medias superiores a los 2000 metros (culmina en la Ceja con 2428 m) y una fisonomía de altiplanicie o meseta, es decir, la característica de la penillanura que le dio origen durante la reactivación del relieve en la Orogenia Alpina.

Ese rasgo morfológico de las cimas, fue uno de los factores condicionantes del tipo de glaciario que se desarrolló en esas áreas durante el Pleistoceno Superior. Se trató de monteras de hielo catalogables como glaciares de meseta (*ice cap*) (Carrasco y Pedraza, 1995; Carrasco, 1997-1999), de fisonomía cupuliforme y flujo no confinado de tipo centrífugo. En las zonas marginales y coincidiendo con la ruptura de pendiente, el hielo generó

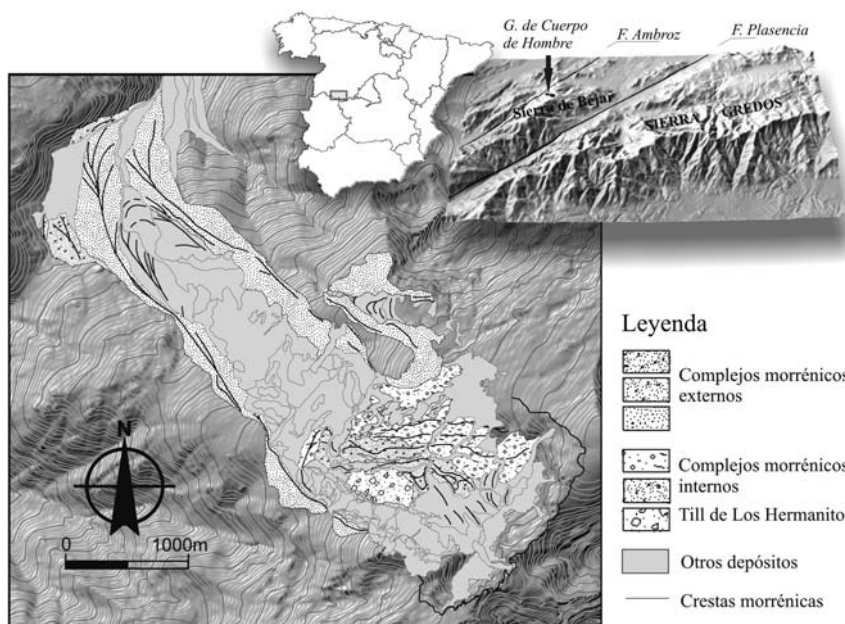


Fig. 1.- Morfología glaciar de la garganta de Cuerpo de Hombre. Se destacan los elementos glaciares utilizados en la reconstrucción de los procesos asociados al till de Los Hermanitos.

Fig. 1.- Glacial morphology of Cuerpo de Hombre valley. Glacial features considered for calculations in this paper.



Fig. 2.- Panorámica de la zona de acumulación del antiguo glaciar de Cuerpo de Hombre. En el centro de la imagen aparece el till supraglacial de ablación de Los Hermanitos; a la derecha el escarpe de Los Hermanitos y los conos de derrubios postglaciares.

Fig. 2.- Panoramic view of a sector of the Cuerpo de Hombre former glacier with Los Hermanitos supraglacial-till in the middle of the image. To the right of the picture the lower section of the cliff of Los Hermanitos is shown.

desbordamientos tipo *outlet* y sobrealimentaciones en los glaciares de valle. A esta segunda categoría pertenecía el antiguo glaciar de Cuerpo de Hombre, que es el objeto de estudio de este trabajo (Fig. 1).

La morfología glaciar del valle de Cuerpo de Hombre, una de las más completas de la Sierra de Gredos, presenta una formación singular hasta el momento no identificada en ningún otro glaciar del Sistema Central. Se trata de un *till* supraglacial de ablación, cuyo origen primario lo asociamos a una avalancha de rocas. El objetivo de este trabajo es analizar la evolución morfológica de la masa de hielo durante la deglaciación y establecer la relación entre la generación de la avalancha y la descompresión en las laderas debida a la pérdida de masa de hielo confinante (*debuttressing*).

Morfología y cronología glaciar de la garganta de Cuerpo de Hombre

El glaciar de Cuerpo de Hombre ha sido citado por numerosos autores (ver Pedraza y Carrasco, 2005), aunque su análisis y cartografía detallada se deben a los trabajos de Carrasco (1997-1999) y Carrasco *et al.* (2008).

Como se ha indicado, este fue un glaciar autónomo de valle aunque sobrealimentado por la montera de hielo. A partir de la topografía del antiguo lecho, se puede deducir que la conexión entre el glaciar de Cuerpo de Hombre y la montera de hielo fue irregular: mientras en la margen derecha el enlace era progresivo, en la izquierda aparecían rupturas en la masa de hielo (barreras de seracs) al tener que salvar un desnivel de casi 300 m y acomodarse a los escalonamientos del lecho basal. Esta dinámica heterogénea, fue la responsable de la sobreexcavación en la cabecera del glaciar, originando una cuenca bien definida y autónoma respecto a la montera de hielo.

La zona de descarga correspondía a una lengua confinada entre *vallums* morrénicos continuos, no adosados a las

vertientes y con numerosas crestas. Estos *vallums* están formados fundamentalmente por los *tills* correspondientes a la etapa de Máxima Estabilización Glaciar (MEG) o *vallum* principal. Los resultados preliminares de las dataciones absolutas por el método ¹⁰Be realizados sobre esta morrena, apuntan una edad mínima de 18,8±2,1 ka (Carrasco *et al.*, in prep.), pues a esta cronología no se le han aplicado todavía correcciones de las tasas de erosión locales.

También han contribuido a generar la morfología del valle, los *tills* correspondientes a la etapa evolutiva de retroceso que dieron lugar al complejo de morrenas internas adosadas al *vallum* principal.

Confinados en la zona de cabecera, aparecen una serie de tills que muestran morfologías irregulares y poco nítidas: acumulaciones masivas de bloques, bloques dispersos y a veces barras o arcos. Corresponden a las etapas finales del glaciario en estas zonas (tardi o finiglaciario?).

En estas etapas y para este glaciar, no se han establecido aún dataciones absolutas. Sin embargo y teniendo en cuenta que en la garganta de Gredos se ha obtenido para la primera etapa de deglaciación una edad entre 21,0 ±0,5 y 16,2 ±1,5 ka y para la desaparición de los hielos 15,7 ±0,7 ka (Palacios *et al.*, 2010), la edad de los complejos morrénicos internos y de los residuales, estaría comprendida entre esos límites.

Por último, la secuencia evolutiva de este glaciar se completa con los complejos de *tills* más externos, identificados recientemente en la vertiente izquierda de su tramo final (Carrasco *et al.*, 2008), y que representan la máxima extensión de los hielos, es decir, el Máximo Glaciar (MG). Los análisis de ¹⁰Be que se están realizando sobre las morrenas de la máxima extensión en dos valles de éste mismo macizo, El Duque y El Endrinal, han arrojado edades de hasta 24,6±0,7 ka y 26,2 ±0,8 ka respectivamente. Esta cronología preliminar ha de entenderse como una edad

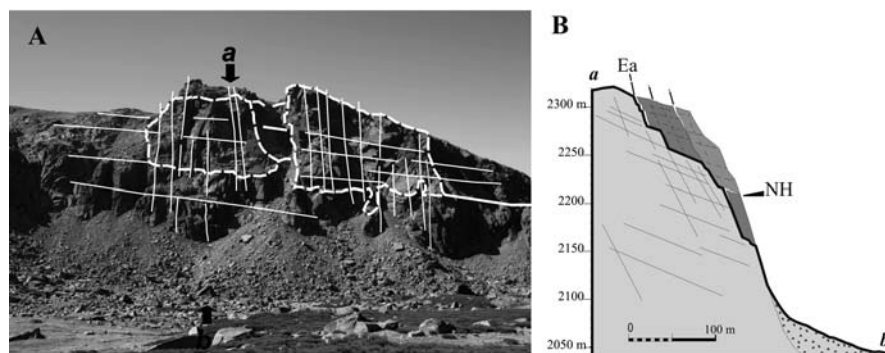


Fig. 3.- Esquemas de la zona de avalancha-till de Los Hermanitos. A. Frente del escarpe de Los Hermanitos. Leyenda: Cicatriz de la avalancha (línea discontinua), redes principales de fracturas (línea continua). B. Perfil topográfico del escarpe de Los Hermanitos. Se realiza una interpretación de la geometría original previa a la avalancha. Leyenda. Ea. Escarpe actual. NH. Nivel de los hielos durante la generación de la avalancha (EB2). Las líneas representan las principales fractura.

Fig. 3.- Sketch showing the area of avalanche and till of Los Hermanitos . A. View of Los Hermanitos cliff. Legend: Avalanche scar (discontinue line), main network of fractures (continuous line). B. Topographic cross-section of the steep slopes of Los Hermanitos. An interpretation of the original geometry previous to the rock avalanche is shown. Legend: Ea. Present cliff. NH. Level of the ice-mass during the generation of the rock avalanche. The continuous lines represent the main fractures network.

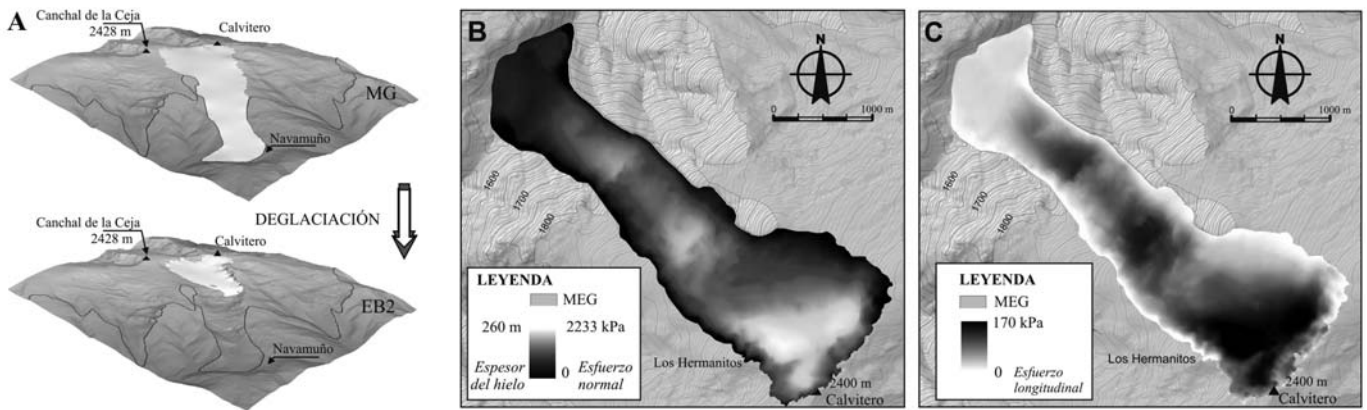


Fig. 4.- Reconstrucción de las masas de hielo del glaciar de Cuerpo de Hombre. A. Modelos 3D de la superficie cubierta por los hielos durante el Máximo Glaciar (MG) y en la etapa de generación de la avalancha (EB2). B y C. Cuantificación del esfuerzo normal y longitudinal, respectivamente, debido a la masa de hielo durante el máximo glaciar (MG).

Fig. 4.- Reconstruction of ice masses of Cuerpo de Hombre glacier. A. 3D models of the surface covered by ice during the Glacial Maximum (MG) and generation stage of rock avalanches (EB2). B and C show the quantification of the normal (B) and longitudinal stress (C), due to the ice mass during the glacial maximum (MG).

mínima para estos depósitos, ya que como se ha descrito anteriormente, los análisis requieren la corrección de las tasas de erosión locales que está aún en curso (Carrasco *et al.*, in prep.).

El till supraglaciar de Los Hermanitos

Con un volumen de $623\text{--}10^3\text{ m}^3$, este depósito cubre una amplia superficie localizada al pie del escarpe de Los Hermanitos (Fig. 2). Se trata de una acumulación caótica de grandes bloques heterométricos (de 1 m^3 a 100 m^3 ; y algunos hasta 1000 m^3), muy angulosos y con una matriz gruesa (tamaño canto).

La geometría en planta del depósito es irregular, aunque tendente a ovoidea, y su eje mayor es paralelo al escarpe, es decir elongado en dirección NW coincidiendo con la línea principal del flujo del antiguo glaciar.

Esa geometría y su relación morfológica con las crestas morrénicas del retroceso glaciar, ponen de manifiesto que se trata de un material que fue movilizad pero no asimilado por la masa de hielo, es decir, supraglaciar.

Por otra parte, tanto la morfología actual del depósito, como su relación con el escarpe de Los Hermanitos y la presencia en este de una gran cicatriz de desprendimiento, indican que el origen primario de este depósito corresponde a una avalancha de roca.

El escarpe de Los Hermanitos presenta una pendiente media de 55° (rangos entre 40 y 70°) y está dividido en dos tramos (Fig. 3A): uno superior muy regular, pues muestra una notable continuidad lateral y vertical, y otro inferior compartimentado

por numerosos corredores y sus correspondientes conos de derrubios. Separando ambos escarpes, hay una hombrera que marca el antiguo nivel del hielo glaciar (NH) sobre el que cayó la masa de rocas movilizadas por la avalancha.

Litológicamente la ladera es homogénea y está compuesta por granodioritas porfídicas de grano medio-grueso (Apalategui *et al.*, 1995). La red de fracturas es muy densa, caracterizada por orientaciones paralelas ($N\text{--}120^\circ$) o perpendiculares ($N\text{--}30^\circ$) a la dirección del flujo del antiguo glaciar (Figs. 3A y 3B).

La relajación de las tensiones internas tras la desaparición del hielo glaciar y su propagación a favor de las redes de fractura, ha sido señalada como uno de los procesos más importantes en la desestabilización de las laderas deglaciadas (Crossart *et al.*, 2008).

En el Valle del Jerte han sido descritos fenómenos gravitacionales que pueden estar desencadenados por la actividad sísmica (primera generación) o las precipitaciones copiosas (segunda generación) (Carrasco *et al.*, 2003). En cuanto a su cronología la avalancha de Los Hermanitos puede correlacionarse con esa segunda generación de movimientos, pero en un contexto morfogenético distinto. En este caso se trata de un valle que fue ocupado por el hielo, y las redes principales de fracturas presentes en el escarpe son paralelas al lecho glaciar. Por ello, la génesis de esta avalancha puede explicarse como un proceso de «relajamiento paraglaciar» (Ballantyne, 2002), es decir, asociado a la descompresión subsiguiente a la pérdida de la masa de hielo (*debuitressing*).

Reconstrucción de la masa de hielo del glaciar de Cuerpo de Hombre

Como ya viene siendo habitual en este tipo de trabajos, la antigua extensión de la masa de hielo se ha establecido mediante la cartografía de las formas y depósitos glaciares. Esta reconstrucción se refiere a dos etapas fundamentales en la evolución del glaciar (Fig. 4A): máxima extensión (MG), y una de las estabilizaciones de retroceso (EB2).

La topografía de la masa de hielo se ha obtenido mediante una superficie de tendencia, calculada a partir de la cartografía de las morfologías glaciares (morrenas, hombreras, niveles de pulidos, etc.) y el Modelo Digital de Elevación correspondiente a la topografía actual con una resolución de 5 m (IGN). La intersección entre ambos modelos digitales del terreno, ha permitido obtener una serie de puntos de cota de la antigua superficie de hielo para las diferentes etapas de retroceso del glaciar. Partiendo de estos puntos y mediante interpolación, se ha reconstruido la antigua superficie del hielo.

Es importante considerar que la reconstrucción de la masa de hielo, se ha realizado teniendo en cuenta las características del lecho subglaciar. Por ello, allí donde la potencia de sedimentos de origen supraglaciar y postglaciar es mayor de 5 m (resolución del MDE), se ha procedido a la reconstrucción del lecho sustrayendo del modelo digital actual los derrubios tanto del fondo como laterales.

En la zona terminal del glaciar, el problema es complejo dado que las morrenas laterales correspondientes a la máxima estabilización (*vallum* principal, MEG)

se superponen al lecho glaciar anterior (máxima extensión, MG). Por ello, se ha procedido a la sustracción de la morrena lateral izquierda y a la interpolación de la superficie topográfica basal. Este procedimiento lleva implícita la reconstrucción de la morrena lateral derecha que quedó fosilizada por el *vallum* principal.

A partir de las reconstrucciones de la masa de hielo para los dos estadios principales (Fig. 4A) y siguiendo la metodología descrita en Crossart et al. (2008), se ha calculado el esfuerzo normal y longitudinal generado por el glaciar en el lecho, que es el esfuerzo potencial liberado (Figs. 4B y 4C, respectivamente):

$$\sigma = \rho gh$$

$$\tau = (\rho gh \sin \alpha) f$$

donde σ es la tensión normal, τ la tensión longitudinal (kPa), ρ es la densidad del hielo, g es la aceleración de la gravedad, h es el espesor del hielo antiguo (m), α es la pendiente del antigua superficie glaciar ($^{\circ}$) y f es una constante empírica (en glaciares confinados alpinos se aplica un valor de 0,5; Kerschner et al., 2000).

Conclusiones

El till supraglaciar de ablación de Los Hermanitos, tiene su origen primario en una masa de rocas acumulada en la superficie del glaciar por una avalancha. Esta se generó en la vertiente izquierda del glaciar de Cuerpo de Hombre tras una primera etapa de retroceso y como consecuencia de la liberación de estrés en las paredes por la

pérdida de la masa de hielo confinante (*debuttracing*). El material caído sobre el hielo glaciar, fue desplazado 540 m hacia el NE y 760 m hacia el NW, siendo finalmente depositado como consecuencia de la ablación rápida del hielo. La generación de la avalancha puede situarse con posterioridad a los $18,8 \pm 2,1$ ka (edad de la etapa de estabilización principal) y previa a los 15 ka. (edad de la etapa postglaciar); la consolidación del depósito como un till supraglaciar se corresponde con esa última edad.

Agradecimientos

A las autoridades del Parque Regional de la Sierra de Gredos de la JCyL y al Ayuntamiento de Candelario por permitirnos el trabajo de campo. Este trabajo constituye una contribución a los proyectos CGL2008-03396/BTE y PII1109-0138-6113, financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Consejería de Educación y Ciencia de la JCCM, respectivamente.

Los autores quieren agradecer a los revisores Dr. Jerónimo López Martínez de la Universidad Autónoma y Dra. Montserrat Jiménez Sánchez de la Universidad de Oviedo, su contribución a la mejora de este trabajo.

Referencias

Apalategui, O.; Contreras, F.; Sánchez, R.; Eguiguren, E. y Rubio, J.C. (1995).

Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 576 (Cabezueta del Valle). IGME.

- Ballantyne, C.K. (2002). *Quaternary Science Reviews*, 21, 1935–2017
- Carrasco, R.M. (1997-1999). *Geomorfología del Valle del Jerte. Las líneas maestras del paisaje*. Universidad de Extremadura, 246 p.
- Carrasco, R.M. y Pedraza, J. (1995). En: *Reconstrucción de paleoambientes y cambios climáticos durante el Cuaternario* (T. Aleixandre y A. Pérez-González, Eds.). Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC), 227-238.
- Carrasco, R.M.; Pedraza, J. de, Domínguez-Villar, D. y Muñoz-Rojas, J. (2008). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 102 (1-4), 35-45.
- Carrasco, R.M., Pedraza, J., Martín-Duque, J.F., Mattera, M., Sanz, M.A. y Bodoque, J.M. (2003). *Natural Hazards*, 30, 361-381.
- Crossart, E.; Brauch, R.; Fort, M.; Bourlès, D.L. y Carcaillet, J. (2008). *Geomorphology*, 95, 3-26.
- Kerschner, H., Kaser, G., Sailer, R. (2000). *Annals of Glaciology* 31, 80–84.
- Palacios, D.; Marcos, J. de y Lorenzo Vázquez-Selem, L. (2010). *Quaternary International*. doi: 10.1016/j.quaint.2010.04.029
- Pedraza, J. y Carrasco, R.M. (2005). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 13(3), 278-288.