

IMPRONTAS GLACIARES DEL ÚLTIMO MÁXIMO GLACIAR EN LA PARTE OCCIDENTAL DEL MACIZO CENTRAL DE LA SIERRA DE GREDOS (PENÍNSULA IBÉRICA)

GLACIAL IMPRINTS OF THE LAST GLACIAL MAXIMUM IN THE WESTERN PART OF THE CENTRAL MASSIF OF GREDOS RANGE (IBERIAN PENINSULA)

Néstor CAMPOS

Laboratório de Teledetección Ambiental, Departamento de Ciencias Geográficas, Facultad de Ciencias Naturales e Exactas.
Universidad de Playa Ancha, Valparaíso, Chile. E-mail: nestorca@ucm.es

Introducción
Área de estudio
Metodología y resultados
La Vega
La Nava
Taheña-Honda
La Sierra
San Martín
Jaranda
Las Covachas
Los Caballeros
Horco de Arriba
La Lanchuela
Discusión
Conclusiones
Referencias

RESUMO - Este trabalho apresenta uma análise morfológica de uma área da Serra de Gredos no Sistema Central Ibérico. Para a análise, foi realizada uma fotointerpretação com um estereoscópio, para o qual foram utilizadas imagens de satélite e fotografias aéreas. Imagens 3D e camadas de contorno da área de estudo também foram usadas. Tudo isso foi combinado em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e posteriormente validado em trabalho de campo. Os resultados obtidos com a análise realizada permitiram deduzir a extensão das geleiras durante o LGM, com base principalmente nos blocos e morenas que presumivelmente definem a posição alcançada pelo gelo durante esse período. Em algumas áreas, o LGM foi delimitado com a ajuda de linhas de acabamento e outras características morfológicas dos vales. Os paleoglaciares na área de estudo alcançaram comprimentos entre 935 m e 6.750 m. Esta análise da extensão glacial durante o LGM constitui um ponto de partida para basear futuras pesquisas sobre paleoglacialismo na área de estudo.

Palavras-chave: Último Máximo Glacial. LGM. Paleoglaciares. Gredos. Geomorfologia.

ABSTRACT - This work presents a morphological analysis of an area of the Sierra de Gredos in the Central Iberian System. For the analysis, a photointerpretation with a stereoscope was carried out, for which satellite images and aerial photographs were used. Also, 3D images and contour level shapes of the study area have been used. All this has been combined in a Geographic Information System (GIS) and validated later during field works. The obtained results from the analysis have allowed to deduce the extent of the glaciers during the LGM, based mainly on the blocks and the morainic cords that presumably define the extent reached by the ice during that period. In some areas the LGM has been delimited with the aid of trimlines and other morphological characteristics of the valleys. The paleoglaciers of the study area reached lengths between 935 m and 6,750 m. This analysis of the glacial extent during the LGM is a starting point on which to base future research on paleoglaciology in the study area.

Keywords: Last Glacial Maximum. LGM. Paleoglaciers. Gredos. Geomorphology.

INTRODUCCIÓN

El Último Máximo Glaciar (por sus siglas en inglés: LGM) se define convencionalmente a partir de los registros de nivel del mar como el intervalo más reciente de la historia de la Tierra en el que los mantos de hielo globales alcanzaron su volumen máximo (Mix et al., 2001; Clark et al. 2009). Este periodo fue definido por Clark et al. (2009) entre 26.5 y 19 ka antes del presente. La evolución glacial durante el Pleistoceno de las montañas mediterráneas está considerada como un factor clave en la comprensión global del

cambio climático (Hughes et al., 2006a; Hughes & Woodward, 2008; Palacios et al., 2011). La respuesta potencialmente rápida de los glaciares de montaña al aumento de aridez en el sur de Europa durante la época del LGM global podría explicar las evidencias de un máximo glacial temprano en estas montañas (Hughes & Woodward, 2008). De acuerdo con Campos et al. (2019), la Sierra de Gredos, situada en el Sistema Central Ibérico, es una sierra representativa de las montañas mediterráneas. Existen numerosos

estudios glaciológicos de la Sierra de Gredos. En la primera mitad del siglo XX, varios autores documentaron el glaciario cuaternario de la Sierra de Gredos (e.g. Villar, 1915, 1917; Obermaier & Carandell, 1916; Hernández-Pacheco, 1933; Vidal-Box, 1934). No fue hasta casi 50 años después que no aparecieron nuevas investigaciones, cuando Martínez de Pisón & Muñoz (1972) estudiaron el glaciario cuaternario del Alto Gredos. Por su parte, Sanz Donaire (1977, 1981), Pedraza & López (1980) y Martínez de Pisón & López (1986) continuaron con la investigación glaciológica de Gredos. Más tarde Marcos & Palacios (1995) y Martínez de Pisón & Palacios (1997) analizaron el relieve glaciar y la evolución morfológica en la sierra. Ya en este siglo han aparecido trabajos que estudian tanto el Último Máximo Glaciar como el máximo avance en la Sierra de Gredos (e.g. Palacios et al., 2011, 2012a), además, varios autores han investigado las fases glaciares y la cronología de diversas zonas de la sierra (e.g. Pedraza et al., 2013; Dominguez-Villar et al., 2013; Carrasco et al., 2016). Recientemente Campos et al. (2019) realizaron una reconstrucción paleoglaciar durante el LGM en el macizo central obteniendo los volúmenes y espesores de los glaciares durante esa fase.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra situado en la parte occidental del macizo Central de la Sierra de Gredos, en el Sistema Central Ibérico (Figura 1). Este sector Central comprende la extensión situada entre el puerto de Tornavacas y el puerto del Pico, y tiene como máxima altitud el pico de La Covacha (40° 13' 4'' N, 5° 35' 51'' O; 2.392 m). El área de estudio está formada por 10 paleoglaciares, cuyos circos tienen distintas orientaciones: La Vega, Taheña-Honda, La Nava, La Sierra, San Martín, Jaranda, Las Covachas, Los Caballeros, Horco de Arriba y La Lanchuela.

La Sierra de Gredos está constituida fundamentalmente por materiales graníticos. En conjunto dibuja un pop-up de 80 km de anchura, el cual está subdividido a su vez en cuatro pop-ups secundarios (San Vicente, Gredos, La Paramera y Mediana) de entre 10 y 20 kilómetros que limitan tres pop-downs (Tietar, Alto Alberche y Amblés) más estrechos. Estas alineaciones de relieves y de altiplanicies se disponen en sentido E-O, excepto en el borde Sur de la Sierra de San Vicente, que

A pesar de todos estos estudios, quedan todavía características glaciológicas que se desconocen y sigue existiendo la necesidad de ampliar el conocimiento en relación al LGM en la Sierra de Gredos. De acuerdo con algunos autores (Palacios et al., 2011; Pedraza et al., 2013), las morrenas bien definidas que se diferencian por su gran entidad (se definirán en este estudio como grandes morrenas las que tienen bloques de varios metros de altitud) y conservación, permitirían reconstruir la extensión de las lenguas glaciares durante, presumiblemente el LGM. En la parte externa de estas grandes morrenas, es posible encontrar otras morrenas menores formadas por una mezcla de bloques heterométricos, los cuales se acumularon durante una fase de avance o estancamiento del frente glaciar, lo cual atestigua la máxima extensión del hielo (Palacios et al., 2011; Campos et al., 2018). Por todo ello, el objetivo de este estudio es la identificación y descripción de las características morfológicas de la zona de estudio a partir de las cuales se deduce la extensión de los glaciares durante el LGM, principalmente los grandes bloques (de varios metros de altitud) y cordones morrénicos que definen la posición alcanzada por el hielo durante esa época.

presenta una dirección NE-SO (De Vicente, 2004). Esta disposición tectónica provoca una gran disimetría entre las pendientes.

La fuerte pendiente en la parte orientada al sur tiene un gradiente promedio del 15%, el cual contrasta con la parte orientada al norte, con una pendiente más suave que promedia un 8% (medido 15 km al sur y al norte de la divisoria) (Palacios et al., 2011).

El clima en la Sierra de Gredos está influenciado por el efecto continental (la distancia al océano Atlántico), se encuentra entre el incremento que se produce desde el Oeste (mayor humedad y veranos templados) hacia el Este (menor humedad y veranos calurosos) del Sistema Central Ibérico (Pedraza et al., 2013). En las cumbres de Gredos la temperatura media anual es de aproximadamente 3°C y la precipitación anual en la ladera norte es de 554 mm a ~1000 m s.n.m., 1704 mm a ~1200 m s.n.m. y 2000 mm a ~2000 metros de altitud, de los cuales el 77% cae en forma de nieve (Palacios et al., 2010).

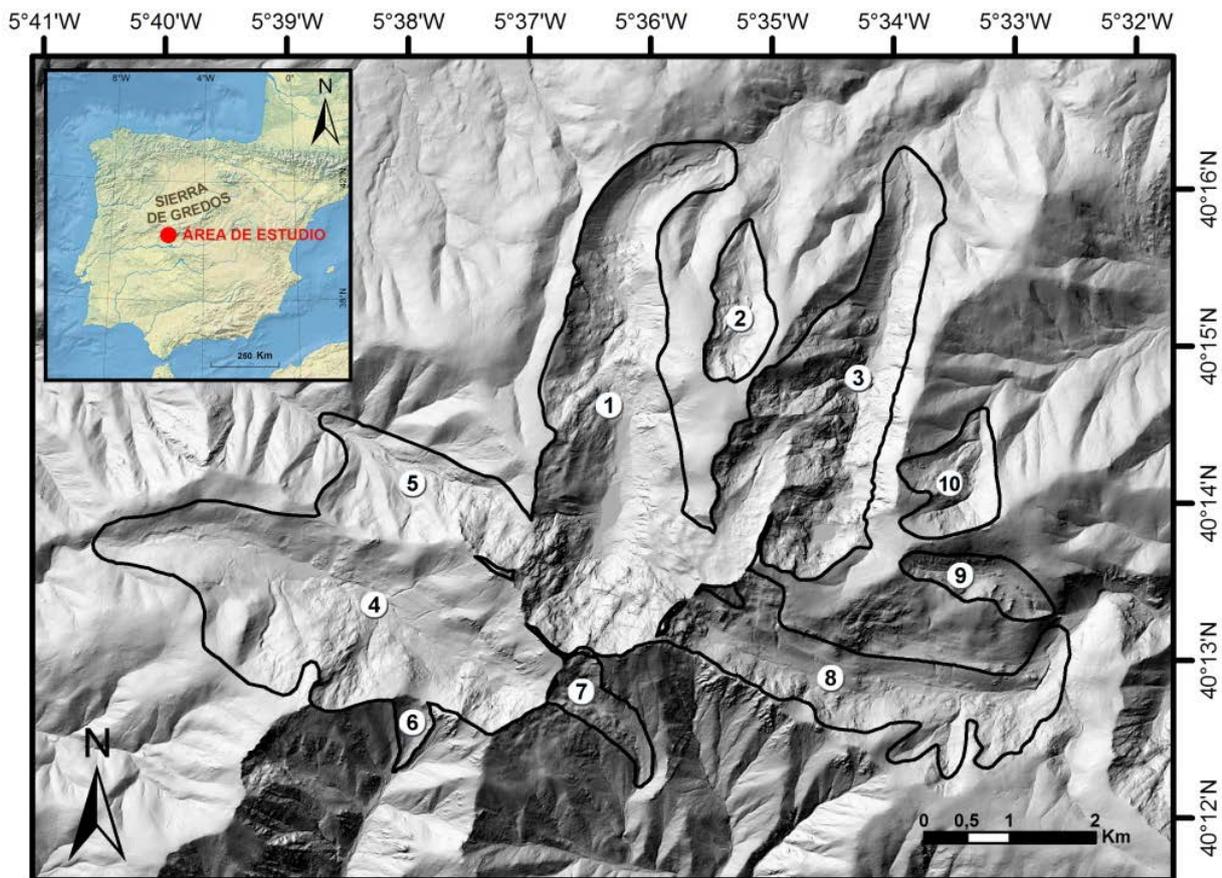


Figura 1 - Mapa de localización del área de estudio, con los paleoglaciares numerados: 1, La Vega; 2, Taheña-Honda; 3, La Nava; 4, La Sierra; 5, San Martín; 6, Jaranda; 7, Las Covachas; 8, Los Caballeros; 9, Horco de Arriba; 10, La Lanchuela.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Para la realización de un análisis morfológico detallado se utilizó un estereoscopio con fotografías aéreas para identificar las formas del relieve. Estas fotografías tienen una resolución de 25 cm y pertenecen al Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL).

También se han utilizado imágenes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) de 25 cm de resolución, imágenes de satélite del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y curvas de nivel 1:10.000 del ITACYL. Se ha utilizado también el visor cartográfico online Iberpix. En algunas áreas donde no se visualizaban las formas del relieve con suficiente claridad se utilizaron imágenes en 3 dimensiones, combinando el visor cartográfico 3D del Iberpix y el software ArcGIS 10.1 en su entorno ArcScene. Para complementar y validar los datos obtenidos con las fotointerpretaciones se realizaron numerosos trabajos de campo, durante los cuales se realizaron mediciones y comprobaciones relativas a la posición y distribución de las morrenas y a la localización de los trimlines.

Los paleoglaciares que se encontraban en el área de estudio ocupaban una extensión de ~35 km² durante el LGM. A continuación, se exponen los resultados obtenidos como consecuencia del análisis morfológico realizado. La morfología de cada uno de los valles estudiados es la siguiente:

La Vega

El valle, orientado al Norte, tuvo una lengua glacial que modeló un valle en U, característico de las glaciaciones de montaña, alcanzó una longitud de 6.750 metros (Tabla 1). En este valle se puede comprobar la extensión del hielo durante el LGM por las grandes morrenas laterales a ambos lados del valle que se encuentran a una altitud de aproximadamente 1.800 metros, presumiblemente pertenecientes al LGM debido a su gran entidad y gran expresión morfológica, similar a otras de valles cercanos datadas como del LGM (Palacios et al., 2011; Carrasco et al., 2015). Estas morrenas discurren hasta por debajo de los 1.400 metros y han sido utilizadas para delimitar el LGM en esta parte del valle. En la parte baja del valle se pueden encontrar unas grandes morrenas frontales, cuya

gran entidad y buena conservación ha permitido deducir y delimitar el frente del glaciar durante el LGM.

El valle de La Vega está encabezado por un amplio circo glaciar, con un desarrollo de unos 2 km de longitud, flanqueado por paredes escarpadas y que se eleva hasta los 2.392 metros, coronado por el Pico de la Covacha ($40^{\circ} 13' 4''$ N, $5^{\circ} 35' 51''$ O). En la base del circo se originó una gran cubeta de sobreexcavación glaciar en la que hoy se encuentra la laguna de El Barco (1.788 m). En algunas partes altas del circo se pueden observar zonas pulidas que indican que existieron confluencias con otros valles, principalmente al Oeste con el valle de San Martín, al Este con el valle de La Nava y al Sureste con el valle de Los Caballeros. En las laderas que circundan la laguna de El Barco

pueden apreciarse numerosos debris flows, los cuales forman conos de deyección a la salida del canal. En su tramo alto, el valle fue modelado sobre afloramientos rocosos graníticos pulidos y estriados, destacando además la presencia de marcados umbrales rocosos de fuerte pendiente. A lo largo del tramo inferior del valle se pueden distinguir una sucesión de morrenas fronto-laterales (Figura 2a) que fueron depositadas en fases de estabilización que tuvieron lugar durante el proceso de deglaciación. Estas morrenas se distribuyen en forma de arcos hasta llegar a las morrenas frontales. En la parte exterior de estas morrenas se encuentran otras de mucho menor tamaño, cuya formación es probable que pertenezca a la fase de máximo avance glaciar. Este valle fue ocupado por uno de los complejos glaciar de mayor entidad del área de estudio.

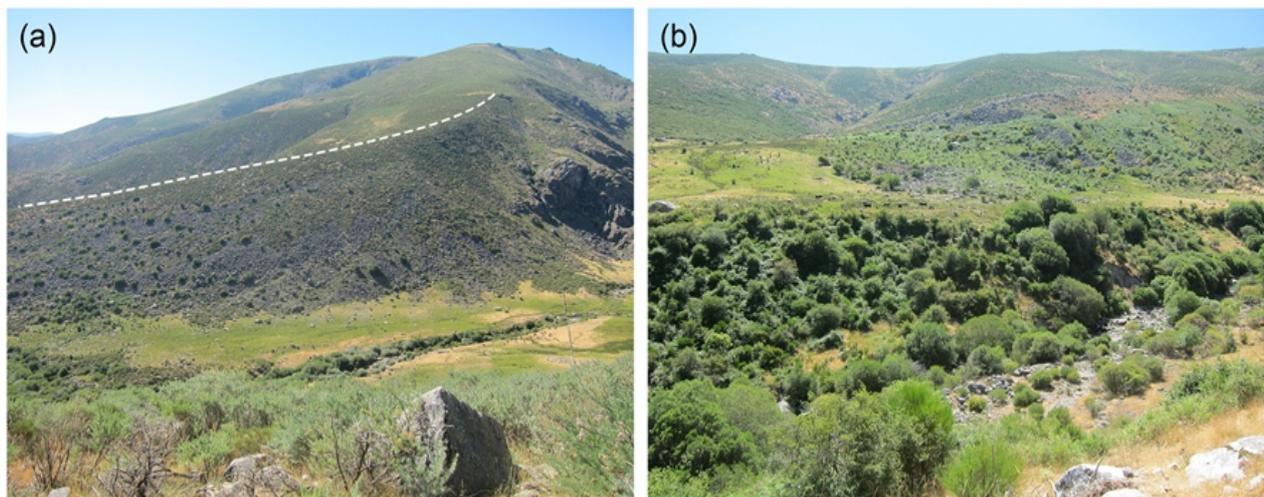


Figura 2 - Características morfológicas de los valles. a) Morrenas laterales en el valle de La Vega, morrena del LGM marcada con la línea discontinua. b) Terracitas aluviales en el valle de La Nava.

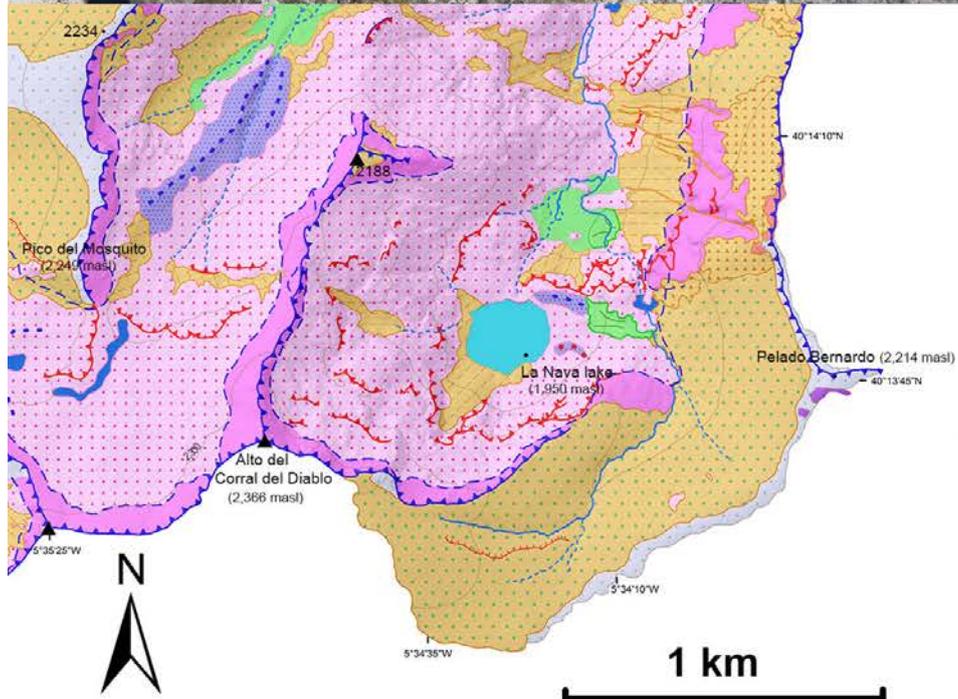
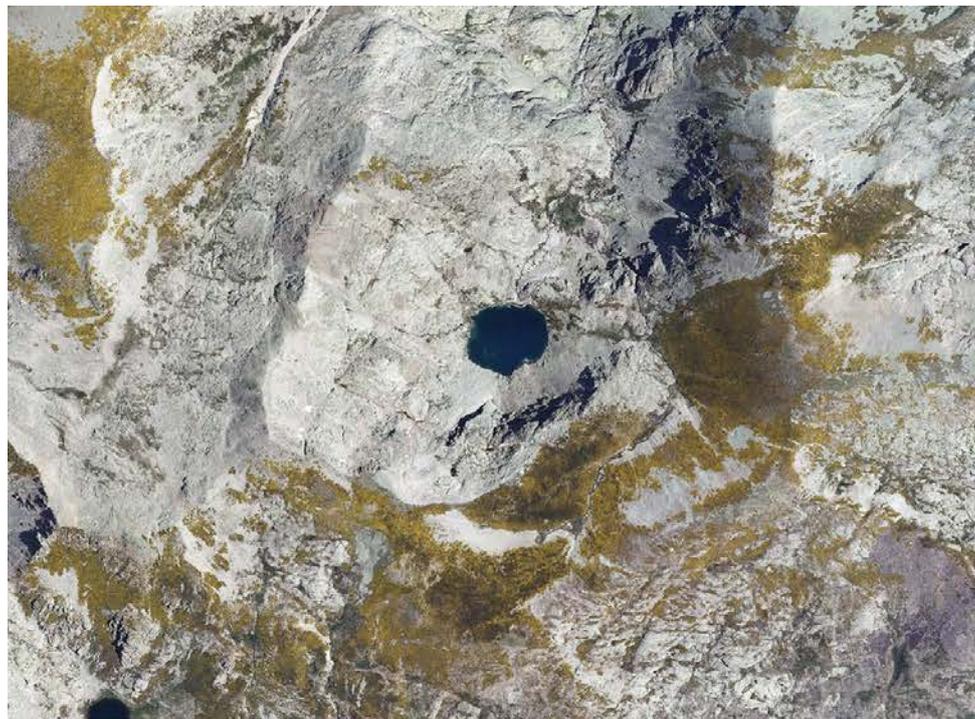
La Nava

Orientado al NNE, este valle de 5.850 metros de longitud y con altitudes máximas entorno a los 2,368 msnm, presenta una pendiente media de ~26%, alcanzando un máximo de ~79% en sus partes más escarpadas, el mayor valor de los valles del área de estudio (tabla 1). Los criterios que han permitido definir la extensión del hielo durante el LGM han sido los principalmente los trimlines (este término en inglés se refiere a una marca erosional a lo largo de las laderas de un valle que indica la altura del hielo en un periodo determinado de erosión), sobre todo en la ladera Este.

También las grandes morrenas laterales, las cuales llegan a encontrarse a más de 1.700 metros de altitud en la ladera Oeste y las morrenas frontales de gran entidad, las cuales han

permitido deducir y delimitar la extensión del glaciar durante el LGM. El valle presenta una cabecera compleja, que se podría considerar compuesta por dos circos, el circo principal, de mayores dimensiones y situado en la parte oriental y otro circo situado en la parte occidental (Figura 3).

El circo oriental se caracteriza por sus paredes escarpadas y su superficie está formada principalmente por rocas aborregadas, entre las que se intercalan algunas pequeñas áreas de laderas de derrubios y protalus ramparts. Destaca la presencia de depósitos morrénicos situados junto a la cubeta de sobreexcavación del lago de La Nava (1.950 m snm). En cuanto al circo occidental, tiene forma alargada y está separado del oriental por una hombrera, que culmina entre los 2.366 m hasta 2.188 m.).



Formas Estructurales

- escarpe rocoso
- pequeño escarpe

Formas Fluviales

- depósitos fluviales
- abanico aluvial

Formas Lacustres

- depósitos lacustres

Formas Nivales

- morrena de nevé

Formas Glaciares

- circo glaciar
- trimline
- rocas aborregadas
- cresta morrénica
- depósitos morrénicos
- horn

Formas Alteración

- manto de alteración
- alteración esférica

Formas Gravitacionales

- canal de derrubios
- depósitos rocosos
- talus slope cubierto de vegetación
- talus slope

Formas Periglaciares

- área de crestas

Hidrografía

- curso de agua
- curso intermitente
- lago

Figura 3 - Detalle de los dos circos del valle de La Nava. Superior: imagen de satélite (PNOA). Inferior: Parte del mapa geomorfológico de la zona, extraído de Campos et al. (2018).

La presencia de rocas aborregadas indica que el hielo se desbordó en dirección NNO, hasta confluir con el valle de La Vega. Por encima de los 2200 metros de altitud, entre los circos de La Vega y La Nava, se pueden encontrar rocas acastilladas como consecuencia de procesos periglaciares (Figura 4).

En la parte inferior del circo occidental se conservan varias morrenas, las cuales indican que probablemente el circo fue ocupado por un glaciar aislado del resto del aparato glaciar del valle de La Nava. Al igual que sucede en los valles de La Vega y Taheña-Honda, se observa que el hielo se localizó principalmente en el sector occidental. Este valle tiene una pendiente media más alta en las laderas orientales, sobre

todo en la parte media del valle.

Por último, en el sector inferior del valle, destaca la presencia de morrenas laterales adosadas a las laderas del valle, entre unas altitudes de 1.700 y 1.320 m.

También, a poco más de 1700 metros de altitud, pueden encontrarse unas depresiones alargadas que se encuentran entre la parte externa de la morrena y la ladera del valle conocidas como barquillos (Hernández Pacheco & Vidal Box, 1934; Díez, 2003) (Figura 5).

En esta parte más inferior se reconocen, además, secuencias de cordones morrénicos en zonas donde existen numerosos depósitos morrénicos y llanuras glacio-fluviales (Figura 2b)



Figura 4 - Área de rocas acastilladas en el valle de La Nava, con depósitos periglaciares por encima de la línea de puntos, la cual indica el nivel alcanzado por el hielo.

Taheña-Honda

Esta pequeña garganta, orientada al Norte y situada entre los valles de La Nava y La Vega, tiene una superficie de 1 km² aproximadamente y se encuentra entre 1.550 y 2.160 metros de altitud. Se ha podido delimitar la extensión del hielo gracias a los trimlines en la parte alta del valle y a las grandes morrenas laterales que se

elevan hasta ~1,800 msnm.

En la parte baja del valle se distinguen claramente grandes morrenas que marcan la extensión de la lengua glaciar durante el LGM. Con una pendiente media del ~26% (tabla 1), cuenta con un pequeño circo glaciar situado a unos 1.950 metros, en el que se encuentran grandes áreas de rocas aborregadas y de laderas

de derrubios cubiertas de vegetación, en cuya base se existe una cubeta glaciar que acoge una laguna temporal.

En la parte baja del valle se encuentra un área de acumulación morrénica con una sucesión de morrenas de avance y estancamiento que llegan hasta una altitud mínima de 1.552 metros, donde se encuentran las morrenas principales pertenecientes presumiblemente al LGM.

La Sierra

Este valle, con orientación ONO, se caracteriza por su gran anchura y escaso desnivel en relación con su longitud (tabla 1). La fase glaciar del LGM se puede deducir debido a la difluencia en la ladera Norte con el valle de San Martín y las grandes morrenas laterales que se elevan hasta los 1,800 metros en esta ladera y las morrenas bien conservadas que marcan la posición del frente del glaciar.

La cabecera del circo muestra paredes más escarpadas en su sector más septentrional que en el meridional. El conjunto del valle tiene una pendiente media del 25,5% con máximos que superan el 70% en las zonas escarpadas del circo.

Destaca por la gran presencia de rocas aborregadas en la parte media y superior del valle, indicativo de la gran capacidad de erosión que tuvo el glaciar.

Las evidencias geomorfológicas de ocupación del glaciar descienden en una sucesión de varios cordones morrénicos hasta los 1.515 metros (tabla 1), lo que indica un desnivel de 818 metros desde su punto más alto situado en la cabecera (2.333 m).

San Martín

El valle de San Martín está orientado al ONO y tiene una longitud de 2,866 metros (Tabla 1). El hielo glaciar del amplio circo de La Vega,

acogido en su parte occidental, entró en contacto, en una clara difluencia, con el circo del valle de San Martín. Asimismo, este valle tiene una gran difluencia con el valle de La Sierra a lo largo de casi toda su ladera Sur.

Estas difluencias, junto con la divisoria de valles del norte y las marcadas morrenas frontales, han ayudado a delimitar la extensión del glaciar durante el LGM.

Este valle presenta un circo poco desarrollado, cuya cabecera muestra una superficie compuesta por rocas aborregadas.

Al igual que con el glaciar que había en el valle de La Sierra, la mayor superficie del hielo en el de San Martín se encontraba en la parte meridional de la garganta, y probablemente provenía del aporte de hielo del vecino valle de La Vega.

A partir de los restos morrénicos se deduce que el glaciar descendió hasta los 1.442 metros, con una estrecha lengua en su parte final de aproximadamente 170 metros de amplitud.

Jaranda

Este valle albergó el glaciar más pequeño del área de estudio, tanto por superficie como por longitud (Tabla 1). Está orientado al Sur y su origen se relaciona con un proceso de desbordamiento del hielo proveniente del paleoglaciar mayor de La Sierra en el sector meridional.

Las morrenas bien definidas, laterales y frontales, han permitido delimitar la extensión del glaciar durante el LGM.

El glaciar descendió desde los 2.123 a los 1.632 metros de altitud (Tabla 1), y el valle actual tiene una pendiente media del ~29%, que es la más alta del conjunto de los valles del área de estudio.

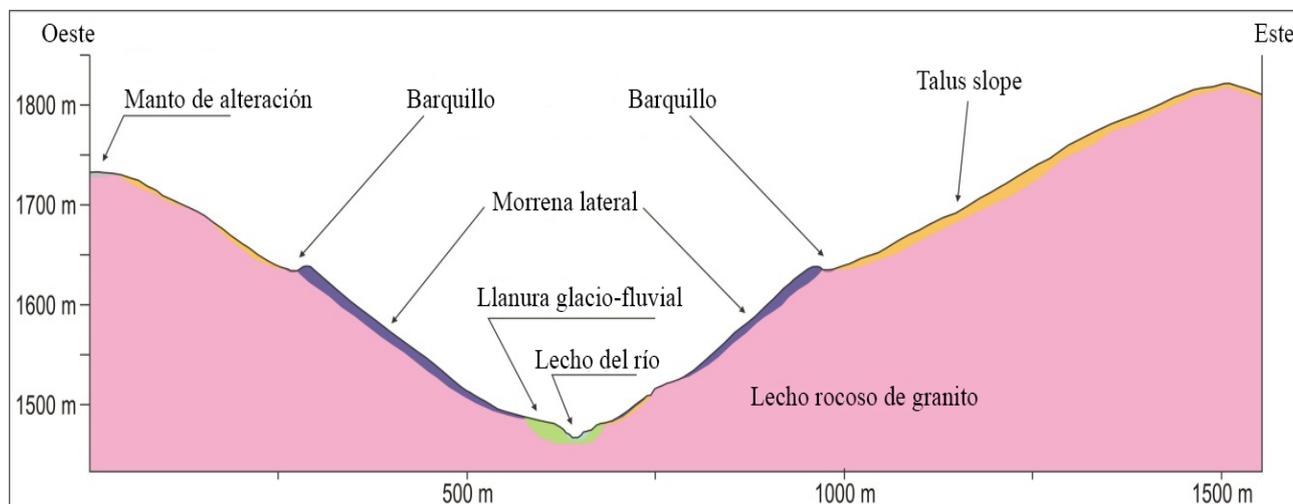


Figura 5 - Perfil transversal con localización de los barquillos en el valle de La Vega (Fuente Luis M. Tanarro)

Tabla 1 - Características morfométricas de los paleoglaciares y los valles del área de estudio.

| Nombre | Orientación General | Longitud (m) | Altitud Máxima | Altitud Mínima | Área (km ²) | Área (%) | Anchura (m) | Profundidad (m) | Perímetro (m) | Gradiente (m) | Amplitud Circo | Pendiente Máxima (%) | Pendiente Media (%) |
|-----------------|---------------------|--------------|----------------|----------------|-------------------------|----------|-------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|----------------------|---------------------|
| La Vega | N | 6.750 | 2.392 | 1.384 | 8,71 | 25,04 | 1.517 | 368 | 15.976 | 1.008 | 2.000 | 76,93 | 25,1 |
| Taheña-Honda | N | 1.970 | 2.162 | 1.566 | 1,05 | 3,02 | 715 | 120 | 4.595 | 596 | 710 | 74,47 | 26,29 |
| La Nava | NNE | 5.850 | 2.368 | 1.315 | 6,43 | 18,48 | 1.865 | 450 | 15.350 | 1.053 | 1.800 | 78,74 | 26,25 |
| La Sierra | ONO | 5.773 | 2.333 | 1.515 | 8,42 | 24,2 | 1.600 | 380 | 14.472 | 818 | 1.710 | 71,78 | 25,54 |
| San Martín | ONO | 2.866 | 2.308 | 1.442 | 2,5 | 7,19 | 1.090 | 475 | 7.941 | 866 | 910 | 71,78 | 21,66 |
| Jaranda | S | 935 | 2.123 | 1.632 | 0,27 | 0,77 | 385 | 80 | 2.356 | 491 | 420 | 62,37 | 29,27 |
| Las Covachas | SE | 1.800 | 2.322 | 1.594 | 1 | 2,88 | 450 | 50 | 4.452 | 728 | 610 | 69,66 | 27,59 |
| Los Caballeros | ESE | 5.130 | 2.368 | 1.534 | 4,46 | 12,82 | 905 | 280 | 15.589 | 834 | 1.160 | 74,69 | 21,98 |
| Horco de Arriba | E | 1.950 | 2.183 | 1.613 | 0,8 | 2,29 | 500 | 200 | 4.394 | 570 | 325 | 68,72 | 27,16 |
| La Lanchuela | NE | 1.976 | 2.195 | 1.607 | 1,15 | 3,32 | 1.050 | 100 | 5.013 | 588 | 415 | 72,56 | 29,02 |

Las Covachas

Este valle glaciar está formado por un pequeño circo, orientado al Sureste, el cual tiene una longitud de apenas 700 metros. Se ha delimitado la extensión del glaciar que ocupó el valle durante el LGM gracias a las marcadas morrenas laterales y frontales. Su cabecera limita con los circos de La Vega y La Sierra y la pared principal se encuentra pulida en parte por la abrasión glaciar y está formada mayoritariamente por rocas aborregadas. Se distingue una sucesión de arcos morrénicos recesionales en la parte interna del valle a mayor altitud que las morrenas frontales del LGM. Con una longitud de 1.800 metros (Tabla 1), su punto más alto se situaba en 2.322 metros, llegando a descender el hielo durante el LGM hasta los 1.594 metros de altitud. Este valle tiene una pendiente media de 28%, con máximos que alcanzan casi el 70% en algunos puntos que se corresponden con umbrales rocosos.

Los Caballeros

Con una orientación ESE y una longitud de 5.130 metros, es el valle que albergó el mayor glaciar entre los que no están orientados total o parcialmente al Este (Tabla 1). La extensión del glaciar durante el LGM se distingue gracias a sus grandes cordones morrénicos laterales y las grandes morrenas del frente glaciar, situadas a una altitud de 1.534 metros (Tabla 1), y cuya lengua estuvo a punto de entrar en contacto con la del paleoglaciar de Horco de Arriba. La cabecera, que culmina en cotas superiores a los 2.300 m consiste en un circo bien desarrollado, en cuya base la acción del glaciar excavó una cubeta que acoge actualmente la laguna de Los Caballeros, situada a una altitud de 2.023 metros. Las mayores pendientes ocurren en los fuertes escarpes que se encuentran en la cabecera del circo, llegando a alcanzar valores próximos al

75%. El aparato glaciar, que en algunos collados entró en contacto con el valle de La Vega, albergó una lengua muy desarrollada que se extendió valle abajo. Dos pequeñas cuencas tributarias con orientación Sur y Suroeste de unos 150 metros de longitud se sumaron a la lengua de hielo principal a una altitud comprendida entre 1.800 y 1.865 metros.

Horco de Arriba

Este valle glaciar, cuya cabecera se orienta al Este, alojó uno de los glaciares más cortos del área de estudio, alcanzando solamente un desarrollo de unos 1.950 metros. La delimitación del LGM ha sido posible gracias a las grandes morrenas frontales y a las marcas dejadas por el hielo en las laderas del valle (trimlines). Las paredes de la cabecera adquieren un aspecto simétrico, con una pendiente media en torno al 27% (tabla 1). La lengua glaciar descendió hasta los 1.613 metros de altitud llegando casi a comunicar con la del paleoglaciar de Los Caballeros, y modeló un valle en forma de U, con una amplitud regular a lo largo del mismo que aumenta a medida que se desciende hacia su frente.

La Lanchuela

Este valle está orientado al Noreste y el glaciar que albergó se caracterizó por tener dos cabeceras que confluyeron formando una amplia lengua que descendió hasta los 1.607 metros de altitud. Se ha delimitado el LGM gracias a las marcas dejadas por el hielo (trimlines), el cual llegó en la ladera sur hasta la divisoria con el valle de Horco de Arriba y gracias también a las morrenas frontales. La pendiente media es una de las más altas de los valles del área de estudio con un desnivel medio del 29%, llegando en los puntos más escarpados a superar el 72% (Tabla 1). Tiene una alta relación anchura/profundidad, midiendo 1.050 metros de anchura a mitad del

valle con tan sólo 100 metros de profundidad (Tabla 1). El hielo descendió valle abajo hasta los 1.607 metros sobre el nivel del mar, hecho que queda atestiguado por unas morrenas frontales bien definidas, existen también varios cordones morrénicos en forma de arco localizados a mayores altitudes.

Este análisis morfológico detallado de cada

uno de los valles ha permitido realizar una delimitación de los paleoglaciares que se encontraban en el área de estudio durante el LGM (Figura 6), permitiendo, a partir de estos resultados, realizar otro tipo de cálculos, como pueden ser volumétricos o de mediciones de la altitud de las líneas de equilibrio (Campos et al., 2019).

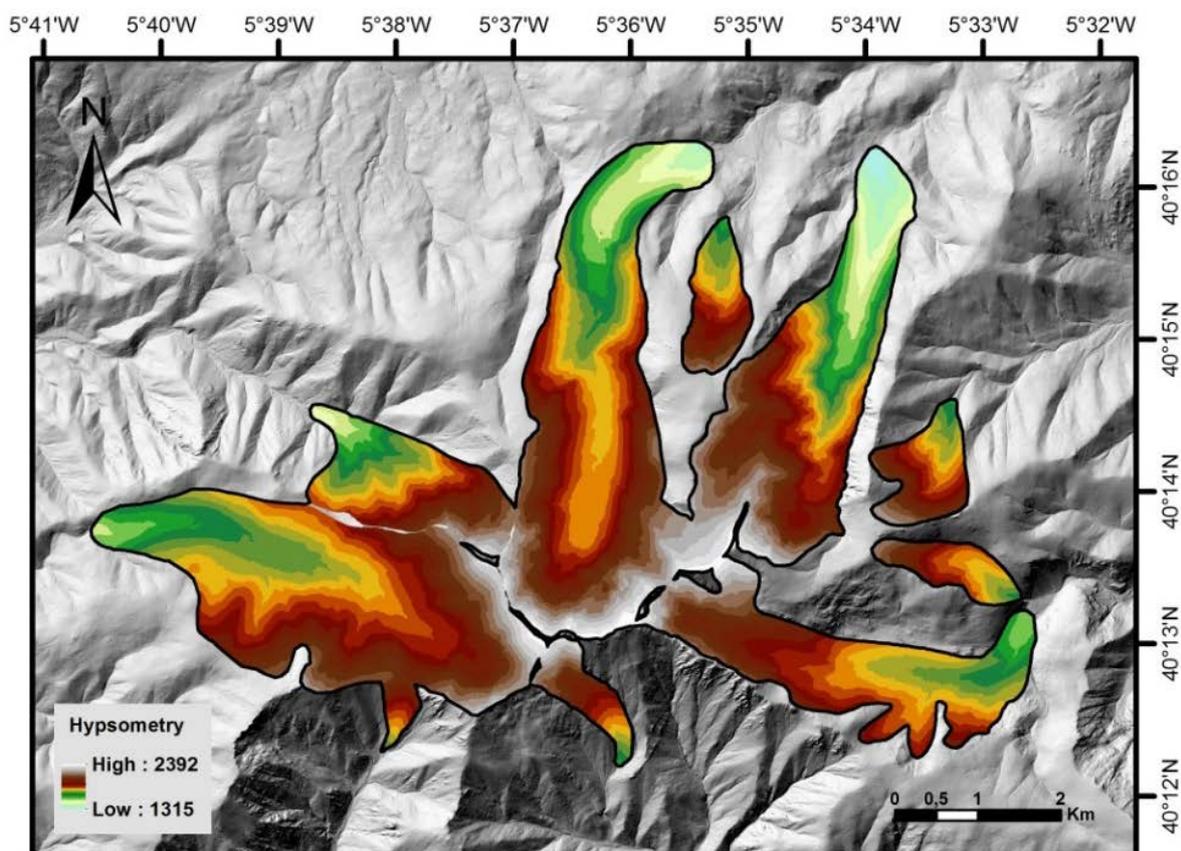


Figura 6 - Mapa de hipsometría de los paleoglaciares que ocupaban el área de estudio durante el LGM. Base del mapa: Modelo Digital de Elevaciones obtenido del IGN con resolución de 5m.

DISCUSIÓN

En los valles analizados de la Sierra de Gredos, los glaciares tuvieron un avance muy importante durante el LGM, casi el de su máxima extensión, para posteriormente estabilizarse durante esta fase. Esta estabilización ha sido demostrada con la existencia de una generación de morrenas que se caracterizan por sus grandes dimensiones, la continuidad de su extensión y el grado similar de conservación.

Se ha confirmado en algunos valles cercanos al área de estudio, mediante dataciones absolutas, que morrenas de similares características se formaron durante el LGM. En la Sierra de Guadarrama Palacios et al. (2012b) definieron un LGM Local para la zona manteniéndose estable entre 25 y 19 ka y obtuvieron edades de 20.7±0.8 y 20.5±0.7. En la Sierra de Béjar, Carrasco

et al. (2015) obtuvieron en un bloque de una morrena de grandes dimensiones una edad de 20.6 ka ±2.5 ka. Ya en la Sierra de Gredos, Palacios et al. (2011) establecieron correspondencia con una fase de estabilización y retroceso del LGM entre los 26 y los 21 ka en la Garganta de Gredos. Por último, también en la Sierra de Gredos, en el valle del Pinar, Palacios et al. (2012a) obtuvieron fechas de 22.3±1.6 ka y 23.2±1.3 ka.

En posiciones exteriores a las morrenas del LGM, de acuerdo con Pedraza et al. (2013), se pueden encontrar en algunos valles otras morrenas de menor entidad, las cuales marcan la máxima extensión del hielo, durante fases glaciares anteriores al LGM. En la Sierra de Béjar, datando estos bloques exteriores a las

morrenas del LGM, Carrasco et al. (2013) calcularon una edad estimada de 27 ka para la máxima extensión del hielo.

También existen otras morrenas de menor entidad situadas en posiciones internas a las pertenecientes al LGM. Estas morrenas menores podrían corresponder a fases de retroceso y estabilización. Estas morrenas corresponderían al reavance de los glaciares durante el Oldest Dryas, entre 17.5 y 14.5 ka, en el cual se depositaron morrenas cerca de las depositadas durante el LGM (Palacios et al., 2011). En la Sierra de Béjar, Carrasco et al. (2015), reportó fechas de 15.5 \pm 1.0 y 17.5 \pm 0.9 ka para este tipo de depósitos, apuntando que son claramente regresivos y pertenecientes a morrenas de recesión. En la Sierra de Gredos, Palacios et al. (2012a) dató en el valle del Pinar bloques de similar morfometría obteniendo fechas de 16.7 \pm 0.7 y 16.8 \pm 0.9 ka.

En el área de estudio, en el valle de La Vega, existen diversas generaciones de morrenas similares a las comentadas anteriormente en otros valles del Sistema Central, también presumiblemente correspondientes al LGM. También existen pequeños cordones morrénicos situados en el exterior de las morrenas del LGM, que indican la extensión máxima alcanzada por los hielos durante el cuaternario. Igualmente, coincidiendo con la opinión de los autores citados anteriormente, en posiciones más retrasadas se encuentran otras morrenas de menor entidad que atestiguan fases de reavance posteriores al LGM. Estas morrenas corresponden probablemente al Older Dryas.

Recientemente se han publicado diferentes estudios en relación a la cronología de la Sierra de Gredos y de áreas cercanas. Palacios et al. (2011) sugirieron un avance máximo del hielo en la Sierra de Gredos entre 26 y 24 ka antes del

presente y una estabilización del frente glaciar durante \sim 3 ka con pequeñas fluctuaciones. A continuación, ocurrió un retroceso glaciar después de 21 ka, acelerándose bruscamente este retroceso hace \sim 16 ka.

En el valle del Pinar Palacios et al. (2012a) obtuvieron unas edades entre 24,5 y 21 ka antes del presente para el avance máximo del hielo, seguido de una lenta recesión ocurrida entre \sim 20,5 y 17 ka antes del presente, y un retroceso glaciar que empezó después de \sim 17 ka. Domínguez-Villar et al. (2013) sugirieron una cronología para la extensión máxima del área glaciar en el centro de España en 26.1 \pm 1.3 ka antes del presente. En la Sierra de Béjar, Carrasco et al. (2013) reconstruyeron la máxima extensión del glaciar de meseta y obtuvieron una edad de \sim 27ka para esa fase.

Por su parte Pedraza et al. (2013) presentaron un modelo de la secuencia evolutiva glaciar de la Sierra de Gredos durante el Pleistoceno tardío. Finalmente, Carrasco et al. (2015) estudiaron la secuencia y la cronología del paleoglaciar Cuerpo de Hombre, en la Sierra de Béjar, durante el último ciclo glaciar, datando su máxima extensión en \sim 25 ka antes del presente (concurrente con el LGM) y señalaron que el glaciar retrocedió (hace \sim 20.6 ka) y volvió a avanzar y a estabilizarse hasta el inicio de la fase de deglaciación (hace \sim 17.8 ka).

Teniendo en cuenta estos estudios, la generación de morrenas elegida para delimitar la extensión de los glaciares en este trabajo se puede confirmar que pertenece al LGM, por su similitud con la secuencia geomorfológica de morrenas en otros valles próximos, datadas con edades absolutas dentro de este periodo. Además, trabajos en elaboración confirman la edad del LGM para estas morrenas (Alcalá- Reygosa et al., 2019).

CONCLUSIONES

En este estudio se ha realizado un análisis morfológico de las huellas que dejaron los glaciares existentes durante el Último Máximo Glaciar en una zona localizada en la parte occidental del macizo central de la Sierra de Gredos. Para ello se ha utilizado principalmente una generación de morrenas caracterizadas por sus grandes dimensiones, la continuidad de los cordones morrénicos y un estado de conservación similar a los encontrados en otros

valles de la sierra. Se puede confirmar que estas morrenas pertenecen al LGM debido a que en otras morrenas de valles cercanos con características morfométricas similares se han realizado dataciones y se han obtenido edades correspondientes a esta fase glaciar. Este análisis de las huellas glaciares durante el LGM supone una base para la realización de investigaciones glaciológicas futuras de este periodo en el área de estudio o zonas cercanas a ella.

REFERENCIAS

- ALCALÁ-REYGOSA, J.; PALACIOS, D.; ANDRÉS, N.; SCHIMMELPFENNIG, I.; LEANNI, L.; SANJURJO, J.; ASTER TEAM. The rapid deglaciation of the La Vega gorge (Sierra de Gredos, Spain) following the Last Glacial Maximum. *Inqua*, v. 2, p. 2443, 2019.
- CAMPOS, N.; PALACIOS, D.; TANARRO, L. Glacier reconstruction of La Covacha Massif in Sierra de Gredos (central Spain) during the Last Glacial Maximum. *Journal of Mountain Science*, v. 16, p. 1336–1352, 2019.
- CAMPOS, N.; TANARRO, L.; PALACIOS, D. Geomorphology of glaciated gorges in a granitic massif (Gredos range, Central Spain). *Journal of Maps*, v. 14, n. 2, p. 321–329, 2018.
- CARRASCO, R.M.; PEDRAZA, J.; DOMÍNGUEZ-VILLAR, D.; VILLA, J.; WILLENBRING, J.K. The plateau glacier in the Sierra de Béjar (Iberian Central System) during its maximum extent. Reconstruction and chronology. *Geomorphology*, v. 196, p. 83–93, 2013.
- CARRASCO, R.M.; PEDRAZA, J.; DOMINGUEZ-VILLAR, D.; WILLENBRING J.K.; VILLA J. Sequence and chronology of the Cuerpo de Hombre paleoglacier (Iberian Central System) during the last glacial cycle. *Quat. Sci. Rev.* v. 129, p. 163–177, 2015.
- CARRASCO, R.M.; PEDRAZA, J.; WILLENBRING J.K.; KARAMPAGLIDIS, T.; SOTERES, R.L.; MARTIN DUQUE, J.F. Morfología glaciaria del Macizo de Los Pelados-El Nevero (Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama). Nueva interpretación y cronología. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geología*, v. 110, p. 49–66, 2016.
- CLARK, P.U.; DYKE, A.S.; SHAKUN, J.D.; CARLSON, A.E.; CLARK, J.; WOHLFARTH, B.; MITROVICA, J.X.; HOSTETLER, S.W.; MCCABE, A.M. The Last Glacial Maximum. *Science*, v. 80, n. 325, p. 710–714, 2009.
- DE VICENTE, G. *Estructura alpina del Antepaís Ibérico. Geol España Sociedad Geológica de España*; Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, P. 587–634, 2004.
- DÍEZ HERRERO, A. *Geomorfología e hidrología fluvial del río Alberche: Modelos y S.I.G. para la gestión de riberas*. Instituto Geológico y Minero de España, 626 pp. 2003.
- DOMÍNGUEZ-VILLAR, D.; CARRASCO, R.M.; PEDRAZA, J.; CHENG, H.; EDWARDS, R.L.; WILLENBRING, J.K. Early maximum extent of paleoglaciers from Mediterranean mountains during the last glaciation. *Scientific Reports*, v. 3, p. 2034, 2013.
- HERNANDEZ-PACHECO, F. & VIDAL-BOX, C. *El glaciario cuaternario de la Serrota (Avila)*. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Num. 1, 59 p., 1934.
- HERNANDEZ-PACHECO, F. El glaciario cuaternario de la Serrota. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, n. 33, p. 417–420, 1933.
- HUGHES, D.P. & WOODWARD, J.C. Timing of glaciation in the Mediterranean mountains during the last cold stage. *Journal of Quaternary Science*, v. 23, p.575–588, 2008.
- HUGHES, D.P.; WOODWARD, J.C.; GIBBARD, P.L. Quaternary glacial history of the Mediterranean mountains. *Progress in Physical Geography*, v. 30, p. 334–364, 2006.
- MARCOS, J. & PALACIOS, D. (1995). El glaciario de la vertiente sur de Gredos: cabecera de la Gargata Blanca (Gredos). In: ALEIXANDRE CAMPOS, T. & PÉREZ GONZÁLEZ, A. (eds.) *Reconstrucción de paleoambientes y cambios climáticos durante el Cuaternario*, Madrid: CSIC, p. 215–230, 1995.
- MARTÍNEZ DE PISÓN, E. & LÓPEZ, J. *Las fluctuaciones glaciares pleistocenas en Guadarrama y Gredos*. Libro-guía de la excursión del Simposio sobre fluctuaciones climáticas durante el Cuaternario en las regiones del Mediterráneo Occidental. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 127 pp. 1986.
- MARTÍNEZ DE PISÓN, E. & MUÑOZ, J. Observaciones sobre la morfología del Alto Gredos. *Estudios Geográficos*, v. 129, p. 3–103, 1972.
- MARTÍNEZ DE PISÓN, E. & PALACIOS, D. Significado del episodio glaciario en la evolución morfológica y en el paisaje de la Sierra de Gredos, Sistema Central. In: GÓMEZ ORTIZ, A. & PÉREZ ALBERTÍ, A. (eds.) *Las huellas glaciares de las montañas españolas*. Santiago de Compostela, p. 163–207, 1997.
- MIX, A.C.; BARD, E.; SCHNEIDER, R. Environmental processes of the ice age: land, oceans, glaciers (EPILOG). *Quaternary Science Reviews*, v. 20, p. 627, 2001.
- OBERMAIER, H.; CARANDELL, J. Contribución al estudio del glaciario cuaternario de la Sierra de Gredos. *Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Ser Geológica*, v. 14, p. 54, 1916.
- PALACIOS, D.; ANDRÉS, N.; MARCOS, J.; VÁZQUEZ-SELEM, L. (2012a). Maximum glacial advance and deglaciation of the Pinar Valley (Sierra de Gredos, Central Spain) and its significance in the Mediterranean context. *Geomorphology*, v. 177–178, p. 51–61, 2012a.
- PALACIOS, D.; ANDRÉS, N.; MARCOS, J.; VÁZQUEZ-SELEM, L. (2012b). Glacial landforms and their paleoclimatic significance in the Sierra de Guadarrama, Central Iberian Peninsula. *Geomorphology*, v. 139, p. 67–78, 2012b.
- PALACIOS, D.; MARCOS, J.; VÁZQUEZ-SELEM, L. Last Glacial Maximum and Deglaciation of Sierra de Gredos, Central Iberian Peninsula. *Quaternary International*, v. 233, p. 16–26, 2010.
- PALACIOS, D.; MARCOS, J.; VÁZQUEZ-SELEM, L. Last Glacial Maximum and deglaciation of Sierra de Gredos, central Iberian Peninsula. *Quaternary International*, v. 233, p. 16–26, 2011.
- PEDRAZA, J. & CARRASCO, R.M.; DOMÍNGUEZ-VILLAR, D.; VILLA, J. Late Pleistocene glacial evolutionary stages in the Gredos Mountains (Iberian Central System). *Quaternary International*, v. 302, p. 88–100, 2013.
- PEDRAZA, J. & LÓPEZ, J. *Gredos: geología y glaciario*. Obra Social de la Caja de Ahorros de Ávila. Ávila. 31 p. 1980.
- SANZ DONAIRE, J.J. El glaciario en la cara sur del macizo del El Barco de Avila. En: COLOQUIO DE GEOGRAFÍA, GRANADA V, 1977. Granada. *Anales...Granada*: 1977, p. 41–47.
- SANZ DONAIRE, J.J. El macizo glaciario de El Barco de Avila (Provincias de Avila-Caceres). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, v.1, p. 184–205, 1981.
- VIDAL-BOX, C. Los glaciares cuaternarios de la Sierra del Bohoyo (Avila). *Boletín de la Real Sociedad de Historia Natural*. Tomo 34, Madrid. 1934.
- VILLAR, H. Los glaciares de Gredos. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, p. 15, p. 379–390, 1915.
- VILLAR, H. Nueva contribución a la glaciología de Gredos, las Hoyuelas del Hornillo. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, v. 17, p. 558–567, 1917.

Submetido em 4 de julho de 2020

Aceito para publicação em 30 de março de 2021