

Geomorfología del macizo de Eriste: cálculo de paleoelas y consideraciones paleoambientales

I. Vidaller¹, Á. Belmonte² y J. Guerrero¹

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Aragón

² Sobrarbe-Pirineos UNESCO Global Geopark, Boltaña, Huesca, Aragón

GEOMORFOLOGY OF THE ERISTE MASSIF: PALEOELAS CALCULATIONS AND PALEOENVIRONMENTAL CONSIDERATIONS: Eriste Massif is located in the Pyrenees; between Posets (3.369 m) and Cotiella (2.912 m) peaks. This massif landscape is conditioned by the lithology and periglacial climatic conditions. During LIA, Eriste Massif had three glaciers with N orientation, six with S orientation, three with W orientation and four with E orientation. The major cluster of LIA moraines is in the Bagüña cirque. Two glacial phases have been detected, associated with the maximum glacier expansion of LIA (1600-1750) and a posterior phase between 1905 and 1920. PaleoELAs results (obtained from an altitudinal temperature gradient of $-0,6^{\circ}/100\text{m}$ and ELA of 3.100 m) are an average of 2.685 m and suggested a $2,48^{\circ}\text{C}$ increase of temperature from the LIA. The present study makes a paleoambiental reconstruction from LIA to present according to paleoELAs.

Palabras clave: Macizo de Eriste, Pirineos, morrena, paleoELAs, Pequeña Edad de Hielo (PEH).

Key words: Eriste Massif, Pyrenees, moraine, PaleoELAs, Little Ice Age (LIA).

Introducción

El macizo de Eriste se localiza en el Zona Axial del Pirineo, dentro del Parque Natural Posets-Maladeta, cuyo último registro glaciar es el de la Pequeña Edad de Hielo (PEH). Este fue un periodo frío entre los siglos XIII y XX, caracterizado por bajas temperaturas en verano e importantes precipitaciones en invierno (Matthews y Briffa, 2005). En el Pirineo, estos glaciares eran de pequeñas dimensiones y estaban limitados a las paredes de los circos (Gellantly, 1992). Los objetivos seguidos en este trabajo consisten en el cálculo de paleoELAs por distintos métodos y la comparación de los resultados con otros puntos del Pirineo.

Metodología

Para llevar a cabo dicho estudio, se realizó una cartografía geomorfológica detallada a partir de fotografías aéreas y trabajo de campo. Posteriormente se realizó la reconstrucción de los glaciares de la PEH basándose en el registro glaciar y la topografía.

Existen numerosos métodos para el cálculo de paleoELAs. A continuación se exponen los métodos usados en este trabajo. La obtención de datos a partir de ArcGIS es el método más laborioso, consiste en dividir cada

reconstrucción en polígonos equidistantes en altura y sumar sus áreas desde la cota más baja hasta alcanzar el 35% del área total (Porter, 2001). El método THAR (Termonious Headwall Altitude Ratio) asume que la ELA se sitúa a una altura media entre la altura máxima y mínima del glaciar. Se obtiene mediante la fórmula: $ELA = H_{\min} + THAR * (H_{\max} - H_{\min})$, siendo THAR 0,5 según Porter (2001) y 0,4 según Meierding (1982). El método AAR (Acumulation-Area Ratio) se basa en los trabajos de Brückner, 1986 y Ritcher, 1985, recopilados por Porter (2001), considerando la relación entre el área de acumulación y el área total de 0.65 ± 0.05 . Este método tiene en cuenta que la hipsometría y la forma del glaciar varían en función del balance de masas, por lo que se consideran situaciones de equilibrio (Porter, 2001; Serrano y González, 2004).

Este método se puede aplicar extrayendo los datos necesarios de ArcGIS o mediante la herramienta "ELA Calculation Tool" desarrollada por Pellitero et al., 2015 (que también permite calcular las ELAs mediante los métodos AA, AABR y MGE). El método AA (Area x Atitude) fue desarrollado por Kurowski en 1981 y Osmatson (2005) desarrolló la siguiente fórmula:

$$ELA = \frac{H_{media} * \text{área de cada polígono equidistante}}{\text{área total del glaciar}}$$

Este mismo autor desarrolló un método muy complejo, pero a la vez muy fiable, el AABR (Area x Altitude Balance Ratio), basado en el cálculo del Balance Ratio mediante la fórmula

$$BR = \frac{Z_{ac} \cdot A_{ac}}{Z_{ab} \cdot A_{ab}}$$

(Z_{ac} : altitud media del área de acumulación, Z_{ab} : altitud media del área de ablación, A_{ac} : área de acumulación, A_{ab} : área de ablación. El método MGE (Median Glacier Elevation) es el mismo que el AA (cambia la denominación únicamente).

La zona de estudio

Contexto geográfico

El macizo de Eriste engloba un área de 69 km², a caballo entre las comarcas de Sobrarbe y Ribagorza. La zona de estudio está limitada por el pico Llardaneta al NE, el río Zinqueta al N y W, el barranco de la Semierre y el barranco del Puerto al S, y por la Tuca Foratada, la Llantia y la Forqueta al E.

La temperatura y precipitación media del macizo es de 8,35°C y 981 mm/año (Climate-Data.org (1) y (2)) el gradiente altitudinal de la temperatura de -0.6°C/100m.

Contexto geológico

Ríos *et al.* (1982) describen de manera detallada la litología del macizo diferenciando entre un batolito granodiorítico de edad varisca; pizarras ordovícicas gris oscuro y ampelíticas silúricas; calizas y pizarras devónicas de colores beige a gris oscuro; y calizas y areniscas rojas con estratificación cruzada.

La estructura de la zona está marcada por las orogenias Hercínica (en mascarada por la intrusión del batolito) y Alpina.

Contexto geomorfológico

El modelado está condicionado por la litología, los granitoides dan relieves escarpados en las zonas más altas, mientras que las demás litologías generan relieves más tendidos y en las calizas se desarrollan procesos kársticos.

Por otro lado, existen depósitos de las etapas glaciares del Cuaternario que sugieren que el

Máximo Glaciar de estos valles tuvo lugar en torno a 65ka, durante el MIS4 (Sancho *et al.*, 2008; Lewis *et al.*, 2009). Durante la deglaciación, los glaciares retrocedieron hasta las cabeceras de los circos, según Palacios *et al.* (2017) de forma constantemente salvo avances hace 20 ka (LGM) y entre los 14-18 Ka (Oldest Dryas). Hoy en día, el proceso dominante es el periglacial, desarrollándose canchales y conos de derrubios que derivan en glaciares rocosos, derrubios afectados por flujo y debris flows.

Paleoelas de la PEH

Caracterización de los glaciares

Se han reconocido evidencias geomorfológicas de la PEH en 10 de los 37 circos encontrados en el Macizo de Eriste, diferenciándose dos fases glaciares dentro de este mismo periodo. Se ha considerado que la fase 1 se corresponde con el máximo glaciar de la PEH, datado entre 1600-1750, mientras que la segunda fase se asocia a un avance menor entre 1905 y 1920 (Serrano y González, 2002).

En la Tabla 1 se describen los principales rasgos de los glaciares de la PEH reconstruida

Glaciar	Fase	Área (m ²)	Cota máx. (m)	Cota mín. (m)	Orientación
Bagüena1a	1	21068	2842	2762	NE
Bagüena1b	2	6288	2834	2774	NE
Bagüena2	1	25314	2730	2617	N
Bagüena3	1	33751	2790	2688	SE
Barbarisa	1	39522	2870	2794	S
Eriste a	1	38474	2971	2861	SE
Eriste b	2	23366	2971	2861	SE
Forqueta a	1	129121	2814	2715	SW
Forqueta b1	2	27625	2813	2743	S
Forqueta b2	2	11457	2810	2735	SW
Llantia1	1	86314	2734	2637	SSW
Llantia2	1	138722	2702	2546	SW
Sen1	1	5036	2584	2540	SSW
Sen2	1	4982	2583	2527	SSW
Solana1	1	7148	2612	2562	N
Solana2	1	10374	2690	2622	NNW

Tabla 1. Características de los glaciares de la PEH.

Tabla 1. LIA glaciers characteristics

Tanto los glaciares Bagüña 1a, 1b y 2 como Eriste a y b se caracterizan por situarse en un circo muy abierto que no los protegía, por lo que no alcanzaron grandes dimensiones. Todo lo contrario que Bagüña 3, enmarcado en un circo alargado muy protegido bajo el collado de Millares (2.826 m). El glaciar de Barbarisa se desarrolló en unas condiciones menos protegidas. Forqueta a, b1 y b2 son el sistema glaciar más complejo del macizo y el que ocupa mayor extensión, pese a su mala orientación. Por otra parte Llantia 1 y 2 se dan en circos cerrados, que justifican su extensión, aún con orientación desfavorable. Los glaciares Sen 1 y 2 se localizan en un circo protegido y adosados a la pared W. Por último Solana 1 y 2, parten de una buena orientación pero se dan en pequeños circos que no permitieron su desarrollo.

Cálculo de paleoELAs

A partir de la reconstrucción de los glaciares se ha llevado a cabo el cálculo de paleoELAs. Aunque de todos los métodos se obtienen resultados muy semejantes, la bibliografía determina que el más preciso es el AABR (Pellitero et al., 2015; Tabla 2).

Analizando los valores obtenidos se observa que los glaciares con orientación N presen-

tan una paleoELA más alta de la esperada. Los glaciares Sen 1 y 2 y Solana 1 y 2 son los que las presentan más bajas. Los dos últimos se dan en unas condiciones muy protegidas, mientras que los dos primeros presentan una insolación reducida al estar resguardados por E y W. Los valores más altos se localizan en Eriste a y b, su registro morrénico muy completo hace pensar que se hayan podido sobreestimar los datos de algunos de los otros glaciares, dado que estos tampoco tienen una orientación muy favorable.

Reconstrucción paleoclimática

Con los datos de las paleoELAs, ELA (3.100 m; Serrano y González, 2004) y gradiente térmico altitudinal de macizo se ha calculado la variación de temperatura entre las dos fases y entre el máximo y la actualidad (Tabla 3).

De estos resultados se infiere un aumento de temperatura de 0,093°C entre las dos fases y de 2,48°C desde el máximo de la PEH.

Discusión

Hay numerosos estudios recientes basados en esta temática en otros puntos del Pirineo que obtienen resultados muy semejantes. Serrano y Martín Moreno (2018) estiman pa-

Glaciar	AABR $\pm 0,55m$
Bagüña 1a	2787,50
Bagüña 1b	2792,50
Bagüña 2	2655,50
Bagüña 3	2733,50
Barbarisa	2810,50
Eriste a	2894,50
Eriste b	2919,50
Forqueta a	2749,50
Forqueta b1	2762,50
Forqueta b2	2768,50
Llantia 1	2668,50
Llantia 2	2594,50
Sen 1	2558,50
Sen 2	2547,50
Solana 1	2579,50
Solana 2	2651,50

Tabla 2. PaleoELAs según el método AABR.
Tabla 2. PaleoELAs according to AABR method.

Glaciar	Fase	PaleoELA	Diferencia cota (m)	ΔT (°C)
Bagüña 1b	2	2792,5	5,00	0,03
Eriste b	2	2919,5	25,00	0,15
Forqueta b1	2	2762,5	13,00	0,08
Forqueta b2	2	2768,5	19,00	0,11
Bagüña 1a	1	2787,5	312,50	1,87
Bagüña 2	1	2655,5	444,50	2,67
Bagüña 3	1	2733,5	366,50	2,20
Barbarisa	1	2810,5	289,50	1,74
Eriste a	1	2894,5	205,50	1,23
Forqueta a	1	2749,5	350,50	2,10
Llantia 1	1	2668,5	431,50	2,59
Llantia 2	1	2594,5	505,50	3,03
Sen 1	1	2558,5	541,50	3,25
Sen 2	1	2547,50	552,50	3,31
Solana 1	1	2579,50	520,50	3,12
Solana 2	1	2651,50	448,50	2,69

Tabla 3. Variaciones de temperatura estimadas.
Tabla 3. Estimated temperature variations

leoELAs de la PEH en el Pirineo entre 2.620 y 2.945, siendo los macizos más occidentales los que arrojan valores más bajos al estar influenciados por climas más oceánicos. Serrano y González (2002) analizan los depósitos glaciares del Macizo de Posets (al NE del Macizo de Eriste), donde obtienen una paleoELA de 2.900 m para glaciares con orientación N preferentemente. La diferencia de estos valores con los obtenidos para el macizo de Eriste puede a una mayor altura de los circos de Posets. López-Moreno (2000) determina en el Alto Valle del Gállego una paleoELA a 2.400 m para la PEH y un aumento de 2°C, datos muy semejantes a los del macizo de Eriste, validando los resultados obtenidos en este trabajo. El Alto Valle del Gállego se sitúa al W del macizo de Eriste, por lo que las precipitaciones nivales son mayores favoreciendo el desarrollo de masas glaciares (y por lo tanto paleoELAs en cotas más bajas).

Conclusiones

De forma atípica y extraordinaria en los Pirineos, se dan grandes masas glaciares en circos cuya orientación no es la idónea, aunque las características de los circos que los albergan faciliten la situación. No solo en estos puntos se dan las grandes extensiones glaciares, si no que las paleoELAs calculadas para estos son relativamente bajas comparadas con las de otros glaciares con distinta orientación en este y otros macizos del Pirineo.

No todos los glaciares presentan dos fases, lo que no quiere decir que en la segunda fase estos glaciares ya no existieran, simplemente no se conserva el registro.

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a Ánchel y a Jesús su colaboración en este trabajo. Además mencionar Alodia y Rafa por su compañía y ayuda en el trabajo de campo, a Carles Pons, José Úbeda y Joshua Iparraguirre su ayuda con el cálculo de paleoELAs y a Iván y Domingo con el ArcGIS. Agradecer también a todas las personas que me han apoyado durante este tiempo.

Bibliografía

- Climate-Data.org (1) (en línea): Clima: Benasque. Fecha de consulta: 29/03/2018. Disponible en: <<https://es.climate-data.org/location/729631/>>
- Climate-Data.org (2) (en línea): Clima: San Juan de Plan. Fecha de consulta: 29/03/2018. Disponible en: <<https://es.climate-data.org/location/224852/>>
- Gellatly, A. F., Grove, J. M., y Switsur, V. R. (1992), Mid- Holocene glacier activity in the Pyrenees. *The Holocene*, 2: 266-70.
- Matthews, J.A. y Briffa, K.R. (2005): The 'Little Ice Age': reevaluation of an evolving concept. *Geogr. Ann.*, 87 A (1): 17-36.
- Lewis C.J., McDonald E.V., Sancho C., Peña J.L., Rhodes E.J. (2009): Climatic implications of correlated Upper Pleistocene glacial and fluvial deposits on the Cinca and Gállego Rivers (NE Spain) based on OSL dating and soil stratigraphy. *Global and Planetary Change*, 67:141-152.
- López Moreno, J. I. (2000): Los glaciares del alto Valle del Gállego (Pirineo Central) desde la Pequeña Edad de Hielo: Implicaciones en la evolución de la temperatura. Proyecto de Fin de Carrera, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza. Geoforrma Ediciones, 77pp.
- Meierding, T.C. (1982). Late Pleistocene equilibrium-line altitudes in the Colorado Front Range: a comparison of methods. *Quaternary Research* 18: 289-310.
- Osmaston, H. (2005): Estimates of glacier equilibrium line altitudes by the Area x Altitude, the Area x Altitude Balance Ratio and the Area x Altitude Balance Index methods and their validation. *Quaternary International*, 138-139: 22-31.
- Palacios D., García-Ruiz J.M., Andrés N., Schimmelpfennig I., Campos N., Léanni L., ASTER Team (2017): Deglaciation in the central Pyrenees during the Pleistocene-Holocene transition: Timing and geomorphological significance. *Quaternary Science Reviews*, 162:11-127.
- Pellitero, R., Rea, B. R., Bakke, J., Hughes, P., Ivy-Ochs, S., Lukas, S. y Ribolini, A. (2015): A GIS tool for automatic calculation of glacier equilibrium-line altitudes. *Computers & Geosciences*, 82: 55-62.
- Porter, S.C. (2001): Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation. *Quaternary Science Reviews*, 20:1067-1091.
- Ríos Aragüés, L. M., Lanaja del Busto, J. M., Ríos Mitchell, J. M. y Marín Blanco, F. J. (1982): Mapa geológico de España 1:50.000, hoja nº179 (Bielsa) y memoria. IGME, Madrid. 48pp.
- Sancho C, Peña JL, Lewis C, McDonald E, Rhodes E (2008): Actividad glaciaria y desarrollo de terrazas durante el Pleistoceno Superior en pirineos, Cuenca del Ebro. *Geo-Temas* 10:763-766.
- Serrano Cañadas, E. y González Trueba, J. J. (2002): La deglaciación de la alta montaña. Morfología, evolución y fases morfogénicas glaciares en el macizo del Posets (Pirineo Aragonés). *Revista Cuaternario y Geomorfología*, 16: 111-26.
- Serrano Cañadas, E. y González Trueba, J. J. (2004): El método AAR para la determinación de paleo-ELAs: análisis metodológico y aplicación en el macizo de Valdecebollas (Cordillera Cantábrica). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 30: 7-34.
- Serrano, E y Martín-Moreno, R. (2018): Surge glaciers during the little ice age in the pyrenees. *Cuadernos de Investigación Geográfica: Geographical Research Letters*, 44 (1): 213-244.