

INTENSIFICACIÓN DE LA ARIDEZ EN LA ALTA MONTAÑA SEMIÁRIDA DEL SUR PENINSULAR DESDE EL HOLOCENO MEDIO

Marc OLIVA^{1,2} y Jordi NOFRE³

¹ *Centro de Estudios Geográficos, Universidad de Lisboa*

² *Paisaje y Reconstrucción Paleoambiental de la Montaña Mediterránea, Universidad de Barcelona*

³ *Centro de Estudios de Sociología, Universidad Nova de Lisboa*

oliva_marc@yahoo.com

RESUMEN

Los lóbulos de soliflucción y los sedimentos de los lagos de Sierra Nevada son registros sedimentarios que permiten aproximarnos a la variabilidad climática holocena del extremo sur peninsular en una zona de la alta montaña semiárida ibérica. El decrecimiento de la proporción orgánica en los *cores* extraídos en lagos de la vertiente sur del macizo es indicativo de unas condiciones climáticas progresivamente menos favorables para el desarrollo vegetal desde el Holoceno Medio, probablemente condicionadas por una disminución de los índices de humedad en el macizo. La misma distribución de los lóbulos de soliflucción responde a este incremento de la aridez, con un gradual confinamiento de su actividad hacia cotas más elevadas a lo largo del tiempo. Esta pauta climática no es un fenómeno de alcance local, sino que es paralela a aquélla descrita para el sureste peninsular y el norte de África.

Palabras clave: Sierra Nevada, Registros sedimentarios, Lóbulos de soliflucción, Sedimentos lacustres, Holoceno, Tendencia árida.

ABSTRACT

Solifluction lobes and lakes sediments in Sierra Nevada are sedimentary archives that provide an estimated timing for Holocene climate variability in this high semiarid environment located in the southern fringe of the Iberian Peninsula. The decrease of the organic matter content in the sediments extracted from glacial lakes in the southern slope of this massif suggests a decrease in humidity since the Mid Holocene that has not been favourable for vegetation growth in this area. Moreover, the distribution of solifluction lobes is also indicative of more arid conditions as these landforms have progressively remained only active at increasing elevations. This climate trend constitutes a regional pattern since it has also been detected in other sedimentary records from the southeastern corner of the Iberian Peninsula and northern Africa.

Key words: Sierra Nevada, Sedimentary records, Solifluction lobes, Lake sediments, Holocene, Arid trend.

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del Mediterráneo, enclavada entre la circulación zonal de medias latitudes y el cinturón subtropical de altas presiones, constituye una de las regiones del planeta más susceptibles de verse afectada por la tendencia climática actual según el último informe del IPCC (2007). En el margen occidental de esta cuenca se emplaza la Península Ibérica, a caballo del océano Atlántico y el mar Mediterráneo, de Europa y África, del mundo subtropical y el de medias latitudes (figura 1). Para finales de siglo XXI los modelos climáticos estiman que, a excepción del extremo norte peninsular, el marco ibérico sufrirá una disminución significativa de la precipitación y un incremento de la temperatura por encima del promedio global. Para el contexto regional de nuestra área de estudio, el macizo de Sierra Nevada, las proyecciones son especialmente alarmantes: la reducción de la precipitación puede alcanzar un 20-30% y el aumento de la temperatura media anual oscilar en un rango de 2 a 6°C respecto de los valores actuales (IPCC, 2007; EL CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA. ESTADO DE SITUACIÓN, 2007).

Las series de datos instrumentales se alargan apenas dos centurias que, a escala climática, no son suficientes para encuadrar la dinámica actual del clima en su variabilidad natural y poder así contextualizar con mayor precisión el mediático cambio climático. En este sentido, los registros sedimentarios permiten una aproximación a la variabilidad climática pasada a partir del estudio de la impronta dejada por los agentes modeladores de la corteza terrestre durante los últimos milenios. A pesar de ello, la disponibilidad de datos *proxy* es aún limitada, con escasos registros largos, de alta resolución y con una cobertura espacial muy heterogénea (BRIFFA y OSBORN, 1999). En esta línea, en el presente artículo presentamos datos de dos registros sedimentarios localizados en el ambiente periglacial presente del macizo de Sierra Nevada: los lóbulos de solifluxión y los sedimentos de los lagos de alta montaña.

El objetivo del presente artículo se concreta en:

- (a) Presentar los cambios ambientales detectados en estos dos archivos sedimentarios e interpretar la variabilidad climática asociada
- (b) Inferir pautas climáticas de larga escala (centenaria-milenaria) a partir de la respuesta geomorfológica observada en estos registros de Sierra Nevada durante los últimos milenios
- (c) Determinar si se trata de un comportamiento de escala local o, si por el contrario, responde a un patrón regional
- (d) Enmarcar las proyecciones de menor precipitación en esta área para finales de siglo XXI con la variabilidad climática natural que detectan los archivos sedimentarios

2. MARCO GEOGRÁFICO

Enmarcado en el extremo sur peninsular emerge el macizo de Sierra Nevada, que cuenta con las alturas más prominentes del sur de Europa. Los picos del Mulhacén (3.478 m) y Veleta (3.398 m) son las culminaciones del Sistema Bético y están localizados en el margen occidental del macizo. La investigación que se presenta en este artículo está encuadrada justamente en el área de cumbres, al pie de las crestas cimeras, en alturas que oscilan entre los 2.500 y 3.000 m.

En nuestra área de estudio las condiciones climáticas son características de la alta montaña mediterránea semiárida, con valores de temperatura propios del ambiente periglacial de montañas de latitudes medias. La única estación que ofrece datos de altura es el Albergue Universitario de Sierra Nevada, localizado a 2.507 m y que entre 1965-1992 arrojó una temperatura media anual de 4,4°C y una precipitación anual de 702 mm. La estacionalidad de la precipitación es un elemento con una incidencia geomorfológica muy importante en la Sierra, con una clara concentración en el semestre frío del año: entre octubre y abril se recoge el 80% de la precipitación, que es en forma de nieve en el 95% del total por encima de los 2.500 m (PÉREZ RAYA *et al.*, 1990).

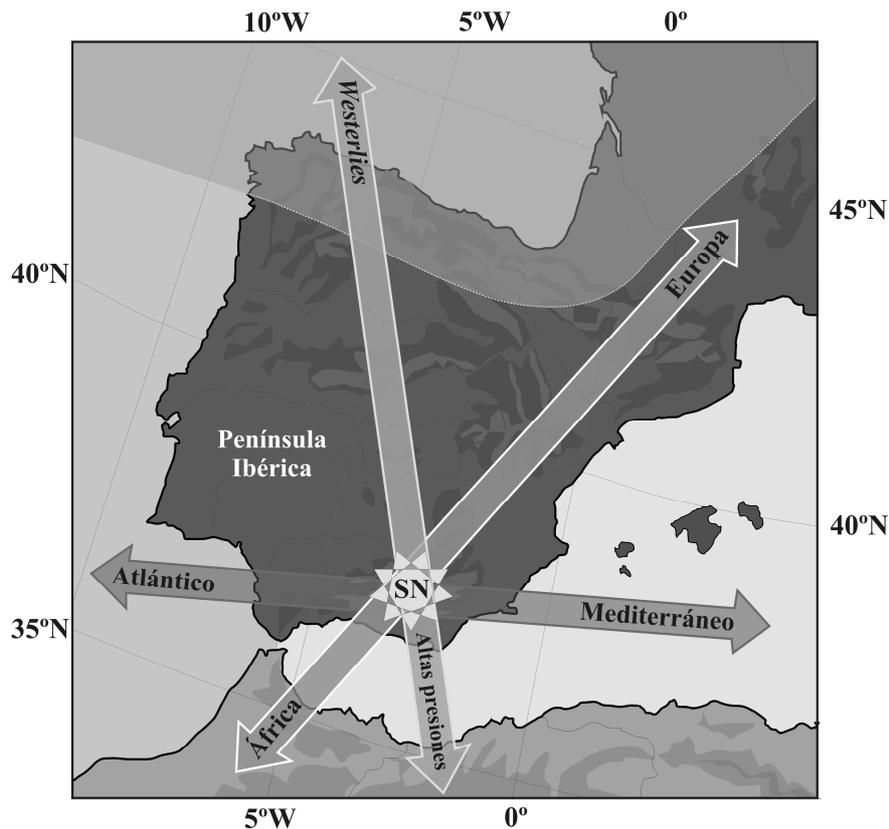


Fig. 1: Localización de Sierra Nevada en una encrucijada de influencias: entre Europa y África, entre el Atlántico y el Mediterráneo y entre el cinturón subtropical de altas presiones y el flujo del oeste de medias latitudes.

El glaciario cuaternario en Sierra Nevada, a diferencia de Alpes y en menor medida de Pirineos, permaneció circunscrito a los valles del macizo, sin penetración en las llanuras adyacentes; en consecuencia, los circos y cabeceras de barrancos presentan un modelado glacial muy evidente (GÓMEZ ORTIZ *et al.*, 1999). Actualmente, la isoterma de 0°C yace en torno a 3.300 m: la combinación de temperatura y humedad presentes explican la inexistencia del hecho glacial hoy en día en la Sierra. El periglaciario es, hoy y durante los últimos milenios, el motor de los cambios ambientales que se han sucedido en las cumbres del macizo durante el Holoceno. El estudio de los registros sedimentarios emplazados en el cinturón periglacial actual permite una aproximación a la dinámica paleoecológica imperante en Sierra Nevada durante el presente periodo interglacial, el Holoceno, y, en extensión, a la variabilidad climática que ha inducido estos cambios ambientales en una zona localizada en una encrucijada geográfica (figura 1).

3. MÉTODOS

La metodología utilizada para la caracterización de la estructura sedimentaria de los registros analizados ha sido descrita en anteriores trabajos y sintetizada en la tesis de OLIVA (2009). Para los lóbulos de soliflucción se han analizado las propiedades geoquímicas y granulométricas de cada unidad litoestratigráfica y se han datado los niveles orgánicos emplazados en el seno de estas geoformas con el objetivo de establecer una cronología de la inestabilidad de vertientes en Sierra Nevada (OLIVA *et al.*, 2008, 2009a, 2009b). En este artículo sólo se discuten las dataciones de los horizontes orgánicos más profundos que se desarrollaron sobre depósitos de soliflucción.

Para los sedimentos de los lagos de Sierra Nevada se ha combinado el análisis granulométrico y geoquímico de los sedimentos extraídos de los cuerpos lacustres de la vertiente sur del macizo (lagos de Río Seco, Aguas Verdes y Laguna de Río Seco) con dataciones radiométricas para enmarcar cronológicamente los cambios ambientales que evidencian los *cores* (OLIVA *et al.*, 2010). En este artículo se discuten los datos referentes a la proporción orgánica existente en los sedimentos, concretamente al contenido de carbono orgánico (C_{org}), determinado individualmente para cada muestra con un Analizador Elemental Macro en el Instituto de Geografía de la Universidad de Berna (Suiza).

Todas las dataciones han sido procesadas por espectrometría de masas con aceleradores (AMS) en el *Angstrom Laboratory* de la Universidad de Uppsala (Suecia). Las edades que se presentan se corresponden con las edades calibradas con el programa CALIB 5.0.2 (REIMER *et al.*, 2004).



Fig. 2: Objetivos del presente estudio: lagos de alta montaña (izquierda) y lóbulos de soliflucción (derecha).

4. RESULTADOS

El estudio de los sedimentos de los lagos de altura y de los lóbulos de soliflucción de Sierra Nevada ha permitido reconstruir la dinámica de laderas en las cumbres de este macizo durante los últimos 6-7 ka BP, con un evidente control del régimen climático imperante en cada momento (OLIVA, 2009). El análisis detallado de estos archivos naturales también muestra interesantes pautas espacio-temporales que cabe discutir separadamente.

4.1. Sedimentos lacustres

Las cabeceras de los barrancos más occidentales orientados a mediodía presentan actualmente un recubrimiento vegetal muy pobre, inferior al 5% de la extensión total, con una vegetación herbácea muy concentrada en las proximidades de los lagos y en los escasos enclaves donde la topografía lo permite. Las condiciones climáticas presentes son propicias para un desarrollo edáfico espacialmente limitado; en consecuencia, la vegetación se distribuye justamente en estos sectores donde el soporte edáfico permite el arraigo vegetal. La vegetación es un freno para la movilización mineral en laderas del cinturón periglacial, donde la actividad geomórfica es más o menos intensa en función de la cobertura herbácea existente en cada momento, que, a su vez, responde a las condiciones climáticas imperantes.

Los registros lacustres de los lagos más elevados del sur de Europa ponen de manifiesto hasta 8 periodos de inestabilidad de vertientes desde el Holoceno Medio hasta la actualidad, con incrementos en la aportación de material clástico hacia los lagos entre ~6.2-6, 5.8-5.6, 5.2-4.6, 3.7-3.2, 2.5-2.2, 1.8-1.6, 1.2-0.9 ka BP y 600-250 años BP (OLIVA, 2009). El hecho de que los registros cubran este rango temporal también indica la inexistencia de glaciares en la vertiente sur de la Sierra y el dominio de los procesos periglaciales en su modelado durante estos milenios.

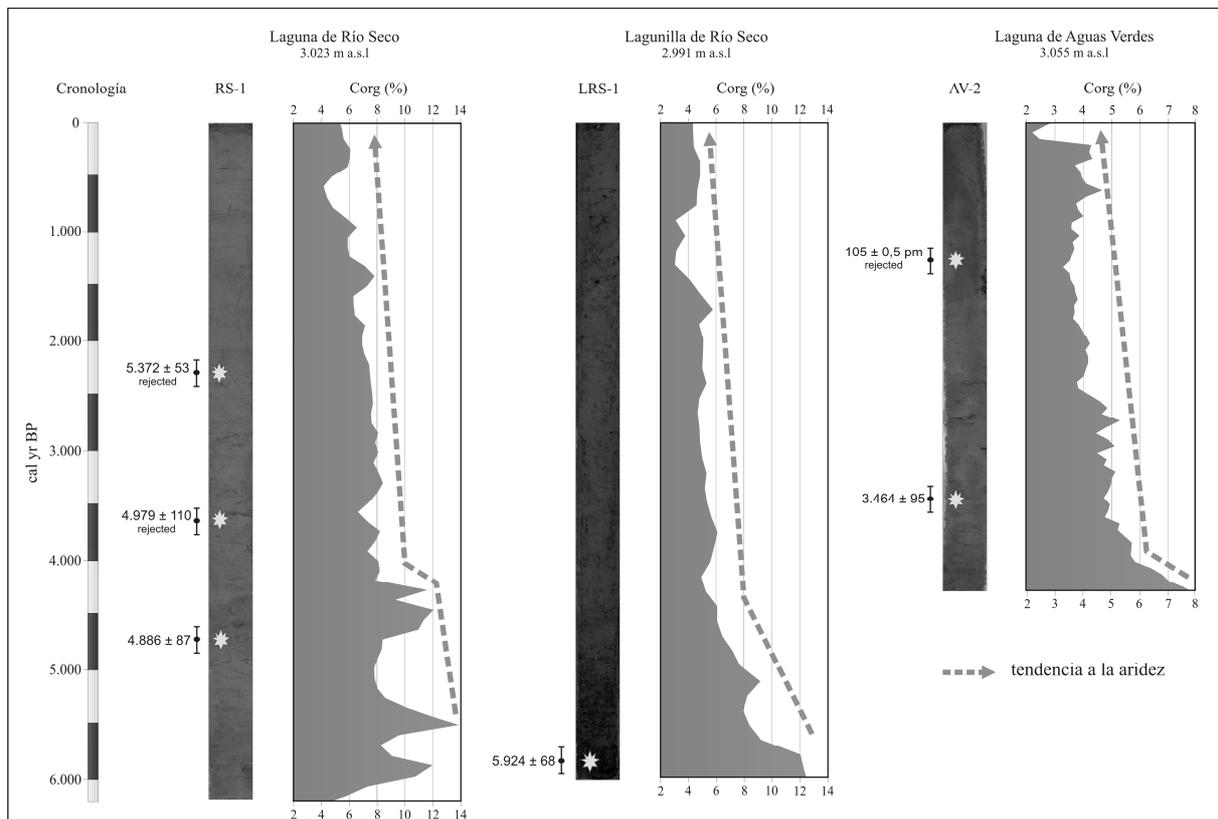


Fig. 3: Cores extraídos de las lagunas de Río Seco, Lagunilla de Río Seco y Aguas Verdes y contenido orgánico de sus sedimentos.

Paralelamente, también se constata una caída de la proporción orgánica en todos los *cores* analizados de la cara sur del macizo (figura 3). En ellos, la caída de C_{org} es paralela a la evolución decreciente de la ratio C/N (OLIVA *et al.*, 2010), sugiriendo que la materia orgánica presente en los sedimentos analizados tiene fundamentalmente un origen terrestre

(MEYERS y TERANES, 2001). De esta manera, el C_{org} es un *proxy* indicativo de la evolución de la cubierta vegetal en las cuencas de los lagos, y, en extensión, en la zona de cumbres.

En los dos cuerpos lacustres del circo de Río Seco, desde el Holoceno Medio (5-6 ka BP) el porcentaje de C_{org} disminuye de valores del orden del 12-14% hasta el 3-4% durante las últimas centurias. En el caso de Aguas Verdes, el declive es menor debido al propio alcance temporal de los sedimentos extraídos, que apenas sobrepasan los últimos 4 ka BP según la datación existente, disminuyendo de valores próximos al 8% hasta porcentajes del 2%. El decrecimiento de la proporción orgánica no es gradual, sino que muestra diferentes fases de mayor caída y otras de cierta recuperación, aunque la falta de un número mayor de dataciones imposibilita establecer una cronología más precisa para estos periodos. No obstante, el hecho de que todos los *cores* evidencien una caída substancial del C_{org} durante los últimos milenios denota una menor productividad biológica en las cabeceras de los circos meridionales de la Sierra desde el Holoceno Medio.

4.2. Lóbulos de solifluxión

Los lóbulos de solifluxión son geoformas características del ambiente periglacial que han sido usadas con finalidades paleoclimáticas durante las últimas tres décadas (GAMPER, 1983; VEIT, 1988; MATTHEWS *et al.*, 2005; OLIVA *et al.*, 2008; OLIVA, 2009). En Sierra Nevada, a partir de los lóbulos, se han constatado ocho fases de mayor inestabilidad de vertientes entre < 7.1, 5-4, 3.6-3.4, 3-2.8, 2.5-2.3, 1.8-1.6 ka BP, 850-700 y 400-150 años BP (OLIVA, 2009). Hoy en día, su monitorización ha constatado un dinamismo muy limitado en la Sierra, con mayores desplazamientos en aquellas unidades de la vertiente septentrional del macizo que disponen de mayor suministro de agua en el suelo (OLIVA *et al.*, 2009a).

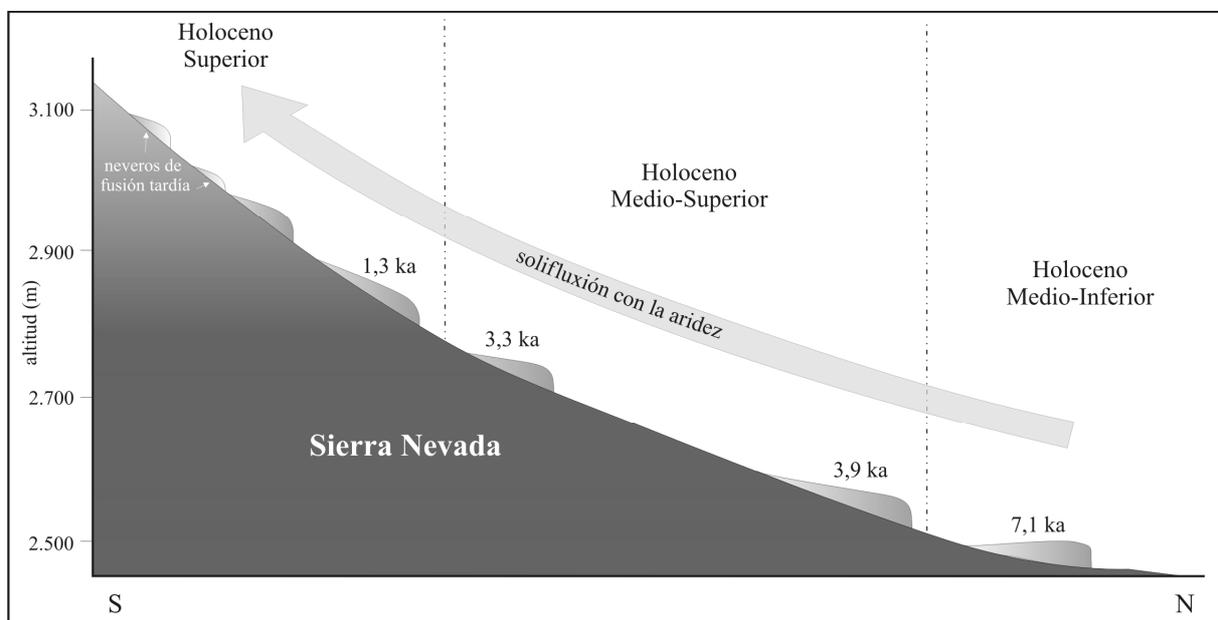


Fig. 4: Lóbulos de solifluxión y dataciones realizadas sobre los horizontes orgánicos existentes en su seno emplazados a mayor profundidad y que se han desarrollado sobre depósitos de solifluxión.

En el valle de San Juan se han cartografiado más de 150 lóbulos de soliflucción que se distribuyen entre los 2.474 m y 2.911 m. Las dataciones que se han realizado de muestras de los niveles orgánicos más profundos presentes en la estructura sedimentaria de los lóbulos y que se disponen sobre depósitos solifluidales muestran edades más recientes conforme aumenta la altura. En el sector localizado a menor altura en este valle, en torno a 2.500 m, un horizonte orgánico que yace sobre un potente depósito solifluidal ha sido datado en 7,1 ka BP. Aumentando de altura, el depósito de vertiente más antiguo dejado por los procesos solifluidales remonta a una edad notablemente más moderna, en torno a 3,9 ka BP. Por encima de los 2.700 m la soliflucción constituye un proceso más reciente, las dataciones indican que se inició con anterioridad a 3,3 ka BP. Finalmente, en la parte superior del valle la datación existente sugiere que la soliflucción se activó durante el Holoceno Superior, concretamente con anterioridad a 1,3 ka BP.

5. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN EN CLAVE PALEOCLIMÁTICA

La alternancia sedimentológica que muestran ambos registros sugiere importantes cambios ambientales en las culminaciones de la Sierra durante los últimos milenios que han sido consecuencia de la variabilidad climática holocena en el sur peninsular (OLIVA, 2009). Pequeños desplazamientos de los centros de acción de la Circulación General de la Atmósfera en el Atlántico Norte han condicionado la actividad de los procesos geomorfológicos que acontecían en las cumbres de Sierra Nevada. Las fases más frías y húmedas han promovido la inestabilidad de vertientes, incentivando la soliflucción y la deposición de material arenoso en el fondo de los lagos; en cambio, los dos registros indican que los periodos más cálidos tienden a ser más favorables a la estabilidad de vertientes, con formación de suelos más o menos desarrollados en función de los índices de humedad reinantes y menor aportación clástica hacia los lagos (OLIVA y SCHULTE, *reviewed*).

El decrecimiento del contenido orgánico en los sedimentos de los lagos de la Sierra es indicativo de una menor productividad biológica en su cuenca que cabe relacionar con una disminución de la cobertura vegetal en estos circos meridionales. Estas condiciones menos favorables para el desarrollo vegetal evidencian una gradual tendencia árida en Sierra Nevada desde el Holoceno Medio que se ha ido intensificando desde los últimos 4,2 ka BP. Esta tendencia climática de escala centenaria-milenaria también se percibe en otros *proxies* del norte de África (CHEDDADI *et al.*, 1998; GASSE, 2000) y del sur peninsular (PANTALEÓN-CANO *et al.*, 2003; CARRIÓN *et al.*, 2007), que confirman que se trata de un patrón regional y no de un fenómeno de alcance local. La creciente aridez en este contexto geográfico viene probablemente condicionada por una mayor plasmación y reforzamiento del margen septentrional del cinturón subtropical de altas presiones sobre el norte de África y sur de la Península Ibérica.

Paralelamente, la propia distribución de los lóbulos de soliflucción confirma la misma pauta climática. Los niveles orgánicos que yacen sobre los depósitos solifluidales más profundos muestran edades más recientes a mayores alturas: la soliflucción ha tendido a migrar paulatinamente hacia posiciones más elevadas conforme las condiciones climáticas se tornaban más áridas. La actividad solifluidal permanecía activa a cotas cada vez más elevadas, cerca de los neveros de fusión tardía, que tienen un papel clave en su dinamismo, tal y como se ha constatado en ambientes periglaciales de otros sectores de montaña como en los Alpes (JAESCHE *et al.*, 2003) o en Escandinavia (MATTHEWS *et al.*, 2005). Conforme aumentaba la aridez, el manto de nieve era menor y su fusión más rápida, quedando las

últimas manchas de nieve de temporada paulatinamente a cotas más elevadas. Estos neveros subministraban agua a los lóbulos, elemento indispensable para mantener activos los procesos solifluidales en un ambiente semiárido como Sierra Nevada (OLIVA *et al.*, 2009).

6. CONCLUSIONES

En todos los escenarios proyectados por el IPCC (2007) para las próximas décadas, los modelos climáticos ponen de manifiesto el elevado riesgo del tercio sur peninsular de registrar cambios significativos de distintos parámetros climáticos en una zona de extrema vulnerabilidad ecológica. El incremento de temperaturas estimado para 2100 en esta zona se ve agravado por una reducción drástica de los índices de precipitación en una de las zonas de menor precipitación del continente europeo.

En este artículo se han estudiado dos registros sedimentarios ubicados en las proximidades del techo ibérico, en el extremo sur de la Península Ibérica: los lóbulos de soliflucción y los sedimentos que contienen los lagos localizados a más altura del sur de Europa. Ambos archivos naturales sugieren una tendencia hacia la aridez desde el Óptimo Climático Holoceno, que la investigación ha definido como más cálido y húmedo que el actual (CARRIÓN *et al.*, 2007). Esta intensificación de la aridez en el macizo de Sierra Nevada, acrecentado con especial vehemencia desde 4,2 ka BP, se ha reflejado en un progresivo declive del grado de vegetalización de las cabeceras de torrentes y fondos de valle. A escala milenaria, la dinámica de vertientes vinculada a procesos periglaciales tiende a ser menos eficaz en la Sierra, con una progresiva migración de la soliflucción hacia cotas más elevadas conforme se ha acentuado la aridez en el macizo.

Cabe enmarcar, pues, la posible disminución de la precipitación que marcan los modelos (IPCC, 2007) para la próxima centuria con la dinámica natural del clima peninsular, que ya apunta unos índices de humedad decrecientes durante los últimos milenios en el extremo sureste ibérico. Anteriores estudios ya han evidenciado la irregularidad natural de la precipitación en Andalucía desde una perspectiva histórica, con fases más húmedas y secas que el periodo actual (RODRIGO *et al.*, 1999). La investigación futura debe esclarecer el grado de implicación antrópica en la tendencia árida del sureste peninsular y acoplar el papel de la variabilidad natural del clima en esta región de precipitación muy irregular.

7. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo del Parque Nacional de Sierra Nevada y el amparo del proyecto 017/2007 de Parques Nacionales (MMA). A su vez, conviene mencionar que este trabajo ha sido escrito durante el disfrute de una beca postdoctoral financiada por la *Fundação para a Ciência e a Tecnologia* de Portugal para cada autor.

7. REFERENCIAS

- BRIFFA, K.R., y OSBORN, T.J. (1999). Climate warming: seeing the wood from the trees. *Science*, 284, pp. 926-927.
- CARRIÓN, J.; FUENTES, N.; GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P.; SÁNCHEZ QUIRANTE, L.; FINLAYSSON, C.; FERNÁNDEZ, S. y ANDRADE, A. (2007). Holocene environmental

- change in a montane region of southern Europe with a long history of human settlement. *Quaternary Science Reviews*, 26, pp. 1455-1475.
- CHEDDADI, R.; LAMB, H.F.; GUIOT, J. y VAN DER KAARS, S. (1998). Holocene climatic change in Morocco: a quantitative reconstruction from pollen data. *Climate Dynamics*, 14, pp. 883-890.
- EL CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA. ESTADO DE SITUACIÓN (2007). *Informe de expertos de la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático*.
- GAMPER, M.V. (1983). Controls and rates of movement of solifluction lobes in the eastern Swiss Alps. *Proceedings of the Fourth International Conference on Permafrost*, Fairbanks, Alaska (United States). National Academy of Science, pp. 328-333.
- GASSE, F. (2000). Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 19, pp. 189-211.
- GÓMEZ ORTIZ, A.; SCHULTE, L.; SALVADOR, F.; PALACIOS, D.; SANZ DE GALDEANO, C.; SANJOSÉ, J.; TANARRO, L.M. y ATKINSON, A. (2005). Field trip to Sierra Nevada massif glacial geomorphology and present cold processes. *Sixth International Conference on Gemorphology*. Field Trip Guides, pp. 309-326.
- IPCC (2007). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. World Meteorological Organization.
- JAESCHE, P.; VEIT, H. y HUWE, B. (2003). Snow cover and soil moisture controls on solifluction in an area of seasonal frost, Eastern Alps. *Permafrost and Periglacial Processes*, 14, pp. 399-410.
- MATTHEWS, J.A.; SEPPÄLÄ, M. y DRESSER, P.Q. (2005). Holocene solifluction, climate variation and fire in a subarctic landscape Al Pippokangas, Finnish Lapland based on radiocarbon-dated buried charcoal. *Journal of Quaternary Science*, 20, pp. 533-548.
- MEYERS, P.A y TERANES, J.L. (2001). Sediment organic matter. En: LAST, W.M. y SMOL, J.P. (Eds.). *Tracking Environmental Changes Using Lake Sediments*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Volumen, 2, pp. 239-270.
- OLIVA M. (2009). *Reconstrucció paleoambiental holocena de Sierra Nevada a partir de registres sedimentaris*. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona.
- OLIVA, M. y SCHULTE (reviewed). Coupling Mid-Late Holocene slope activity inferred from lake sediments and solifluction landforms in the Sierra Nevada (Southern Spain). *Earth Surface Processes and Landforms*.
- OLIVA, M.; SCHULTE, L. y GÓMEZ ORTIZ, A. (2008). Solifluction lobes in Sierra Nevada (Southern Spain): morphometry, process monitoring and palaeoenvironmental changes. *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost (NICOP)*. Fairbanks, Alaska (United States). Volumen, 2, pp. 1321-1326.
- OLIVA, M.; SCHULTE, L. y GÓMEZ ORTIZ, A. (2009a). Morphometry and Late Holocene activity of solifluction landforms in the Sierra Nevada (Southern Spain). *Permafrost and Periglacial Processes*, 20 (4), pp. 369-382.
- OLIVA, M.; SCHULTE, L. y GÓMEZ ORTIZ, A. (2009b). Aportación al conocimiento de los lóbulos de soliflución y cambios ambientales holocenos en Sierra Nevada. *Finisterra*, 87, pp. 13-23.
- OLIVA, M.; GÓMEZ ORTIZ, A. y SCHULTE, L. (2010). Tendencia a la aridez en Sierra Nevada desde el Holoceno Medio inferida a partir de sedimentos lacustres. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 52, pp. 27-42.
- PANTALEÓN-CANO, J.; YLL, E.I.; PÉREZ-OBIOL, R. y ROURE, J.N. (2003). Palynological evidence for vegetational history in semi-arid areas of the Western Mediterranean (Almería, Spain). *The Holocene*, 13 (1), pp. 109-119.
- PÉREZ RAYA, F.; LÓPEZ NIETO, J.; MOLERO, MESA, J. y VALLE, F. (1990). *Vegetación de Sierra Nevada*. Ayuntamiento de Granada, Granada.

REIMER, R.W.; REMMELE, S.; SOUTHERN, J.R.; STUIVER, M.; TALAMO, S.; TAYLOR, F.W.; VAN DER PLICHT, J. y WEYHENMEYER, C.E. (2004). *Radiocarbon*, 46, pp. 1029-1058.

RODRIGO, F.S.; ESTEBAN-PARRA, M.J.; POZO-VÁZQUEZ, D. y CASTRO-DÍAZ, Y. (1999). A 500-year precipitation record in Southern Spain. *International Journal of Climatology*, 19, pp. 1233-1253.

VEIT, H. (1988). Fluviale und solifluidale Morphodynamik des Spät- und Postglazials in einem zentralalpiner Flusseinzugsgebiet (südliche Hohe Tauern, Osttirol). *Bayreuther Geowissenschaftliche Arbeiten*, 13, pp. 1-167.