

**MONOGRÁFICO:** Ecología del despoblamiento rural

**MONOGRAPHIC:** Ecology of rural depopulation

**ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH ARTICLE**

> Recibido / Received: 02/06/2025 – Aceptado / Accepted: 22/09/2025

# Acequias tradicionales de Sierra Nevada (España): una infraestructura socio-ecológica para la conservación de paisajes multifuncionales

Javier Cabello<sup>1,2,\*</sup>, J. Jesús Casas<sup>1,2</sup>, Montserrat Escudero-Clares<sup>1,2</sup>, José María Martín-Civantos<sup>3</sup>, Sergio Martos-Rosillo<sup>4</sup>, Manuel Pacheco-Romero<sup>1,2,5</sup>, María Jacoba Salinas-Bonillo<sup>1,2</sup>

- (1) Centro Andaluz para el Cambio Global (ENGLOBA), Ctra. de Sacramento s/n, La Cañada de San Urbano, 04120, Almería (España).  
(2) Dpto. de Biología y Geología, Universidad de Almería, Ctra. de Sacramento s/n, La Cañada de San Urbano, 04120, Almería (España).  
(3) Laboratorio de Arqueología Biocultural (MEMOLab), Universidad de Granada, Granada (España), Edificio Josefina Castro Vizoso, Avda Madrid 19, 18071, Granada (España).  
(4) IGME-CSIC, Instituto Geológico y Minero de España - Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo y 1°C, 18006 Granada (España).  
(5) Social-Ecological Systems Institute, School of Sustainability, Leuphana University Lüneburg, Universitätsallee 1, 21334, Lüneburg (Alemania).

\* Autor para correspondencia / Corresponding author: J. Cabello [jcabello@ual.es]

*Este artículo ha sido aceptado para su publicación en ECOSISTEMAS. Ha sido sometido a una completa revisión por pares, pero no ha pasado por el proceso de corrección de textos, adaptación de estilo, maquetación y corrección de pruebas, lo que puede dar lugar a diferencias entre esta versión y la versión definitiva. / This article has been accepted for publication in ECOSISTEMAS. It has undergone a thorough peer review process, but it has not yet been through the text editing, styling, layout, and proofreading process, which may result in differences between this version and the final version.*

**Cómo citar / How to cite:** Cabello, J., Casas, J. J., Escudero-Clares, M., Martín-Civantos, J. M., Martos-Rosillo, S., Pacheco-Romero, M., & Salinas-Bonillo, M. J. 2026. Acequias tradicionales de Sierra Nevada (España): una infraestructura socio-ecológica para la conservación de paisajes multifuncionales. *Ecosistemas*, 3042. <https://doi.org/10.7818/ECOS.3042>

## Acequias tradicionales de Sierra Nevada (España): una infraestructura socio-ecológica para la conservación de paisajes multifuncionales

**Resumen:** Las montañas representan un gran reto para la conservación, ya que suelen concentrar altos valores de biodiversidad y paisajes culturales de enorme interés ligados a prácticas tradicionales y comunitarias. En este contexto, el sistema de acequias de la Reserva de la Biosfera de Sierra Nevada (España) constituye un ejemplo paradigmático de infraestructura hidráulica que articula funciones ecológicas, productivas y culturales a escala de paisaje. El objetivo de este trabajo es analizar cómo cinco escenarios socio-ecológicos derivados del abandono rural y los cambios socioeconómicos actuales condicionan la multifuncionalidad de los paisajes asociados a dichas acequias. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica y un análisis cualitativo de los efectos que los escenarios *Intensificación agrícola, Agrosistemas basados en conocimiento tradicional, Conservación estricta, Ecoturismo y Turismo deportivo* tendrían sobre los servicios ecosistémicos asociados al sistema de acequias, si dichos escenarios llegaran a operar de forma dominante en el territorio. Los resultados sugieren que las acequias son un eje central del sistema socio-ecológico, al sostener servicios como la regulación hídrica, la fertilidad del suelo, la producción de alimentos, la conservación de hábitats y el sentido de pertenencia al territorio. El escenario de *Agrosistemas basados en conocimiento tradicional* es el que mejor preserva la multifuncionalidad del paisaje, aunque podría necesitar combinarse con actividades de ecoturismo responsable para garantizar un medio de vida a las personas. En contraste, la *Intensificación agrícola, la Conservación estricta y el Turismo deportivo*, con escasa o nula contribución al mantenimiento de las acequias, comprometen seriamente esta multifuncionalidad. Este análisis subraya la importancia de desarrollar enfoques de conservación que consideren la complejidad de los sistemas socio-ecológicos, lo que es clave para integrar biodiversidad, bienestar humano y justicia social. Instrumentos innovadores, como los pagos por servicios ambientales, pueden apoyar este proceso al visibilizar las asimetrías entre los que mantienen los paisajes y quienes se benefician de ellos.

**Palabras clave:** acequias tradicionales; conservación socioecológica; co-producción de servicios ecosistémicos; paisajes multifuncionales; pago por servicios ambientales

**Traditional ditches of Sierra Nevada (Spain): a socio-ecological infrastructure for the conservation of multifunctional landscapes**

**Abstract:** Mountains represent a major challenge for conservation, as they tend to concentrate high levels of biodiversity and cultural landscapes of huge interest linked to traditional and community practices. In this context, the traditional system of ditches of Sierra Nevada Biosphere Reserve (Spain) is a paradigmatic example of a hydraulic infrastructure that articulates ecological, productive, and cultural functions at the landscape scale. The objective of this study is to analyze how five socio-ecological scenarios resulting from rural abandonment and current socioeconomic changes condition the multifunctionality of the landscapes associated with these irrigation channels. To this end, we conducted a literature review and

qualitative analysis of the effects that the scenarios of *Agricultural intensification*, *Agrosystems based on traditional knowledge*, *Strict conservation*, *Ecotourism*, and *Sports tourism* would have on the ecosystem services associated with the irrigation ditch system if these scenarios were to operate dominantly in the region. The results suggest that the ditches system is a central axis of the socio-ecological system, sustaining services such as water regulation, soil fertility, food production, habitat conservation, and a sense of belonging to the territory. The scenario of *Agrosystems based on traditional knowledge* best preserves the multifunctionality of the landscape. However, it may need to be combined with responsible *Ecotourism* activities to guarantee livelihoods for local people. In contrast, *Agricultural intensification*, *Strict conservation*, and *Sports tourism*, with little or no contribution to the maintenance of ditches, seriously compromise this multifunctionality. This analysis underscores the importance of developing conservation approaches that consider the complexity of socio-ecological systems, which is key to integrating biodiversity, human well-being, and social justice. Innovative instruments, such as payments for environmental services, can support this process by highlighting the asymmetries between those who maintain the landscapes and those who benefit from them.

**Keywords:** traditional ditches; social-ecological conservation; co-production of ecosystem services; multifunctional landscapes; payment for ecosystem services

## Introducción

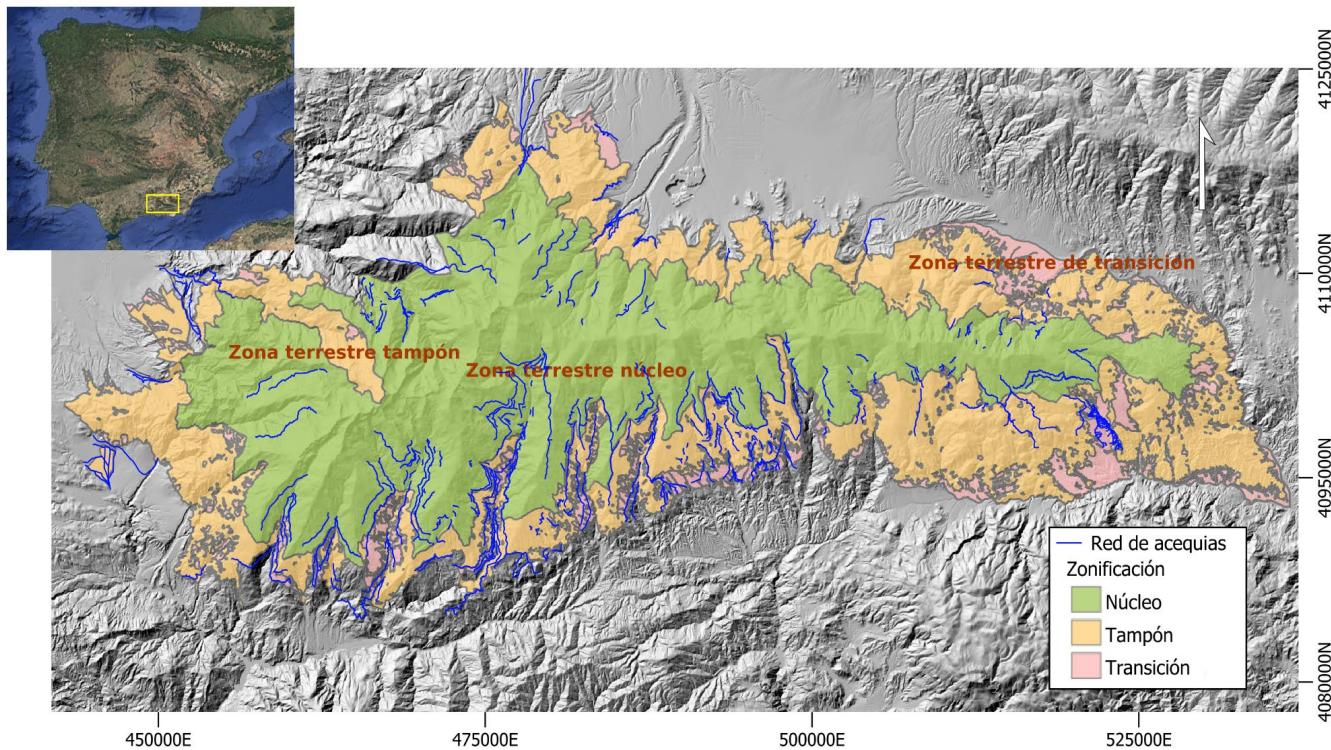
Durante décadas, la conservación de la biodiversidad se ha basado en enfoques excluyentes que separaban a las personas de los ecosistemas (Mace, 2014). Dichos enfoques han demostrado eficacia en la conservación de especies, comunidades y ecosistemas en muchos casos, pero también serias limitaciones cuando se aplican sin considerar a los actores locales y sus complejas interacciones con la naturaleza (Palomo et al., 2014; Araujo, 2025). En respuesta a estas limitaciones han emergido propuestas que contemplan la relación entre personas y naturaleza desde una perspectiva integrada y coevolutiva. Así, nuevos enfoques como la conservación relacional (Reyers y Bennett, 2025), la conservación biocultural (Gavin et al., 2015), la conservación convivencial (Büscher y Fletcher, 2019) o la conservación transformadora (Fougères et al., 2022) buscan avanzar hacia modelos más inclusivos, equitativos y contextualizados, que reconozcan la diversidad de valores, conocimientos y vínculos que las comunidades locales mantienen con su entorno. Todas estas aproximaciones, fundamentadas en el pensamiento socio-ecológico sistémico, coinciden en la necesidad de superar el dualismo entre lo social y lo ecológico y de integrar explícitamente las dimensiones sociales y culturales en las acciones de conservación para hacerlas más eficaces, sostenibles y socialmente justas (Ban et al., 2013; Palomo et al., 2014). Para consolidar este cambio de paradigma es necesario avanzar en la construcción de marcos analíticos y evidencias empíricas que permitan comprender mejor la complejidad de los sistemas socio-ecológicos y qué tipos de estrategias pueden reforzar su resiliencia y capacidad de sostener tanto la biodiversidad como el bienestar humano.

Muchas montañas han sido declaradas espacios naturales protegidos por haber quedado al margen de los cambios de uso del suelo más intensos. Sin embargo, su importancia ambiental va mucho más allá del aislamiento, ya que los altos valores de diversidad biológica (Noroozi et al., 2018) y cultural (Tengberg et al., 2012) que albergan son el fruto de una larga y compleja interacción entre las comunidades locales y los ecosistemas (McNeill, 1992; Levis et al., 2024). Desde esta perspectiva, el cambio de modelo socioeconómico que experimentan muchas poblaciones de montaña no sólo constituye un desafío social por sus implicaciones en el abandono rural, sino también un reto para la conservación. Dicho cambio conlleva la desaparición de prácticas tradicionales que históricamente han contribuido al mantenimiento de la diversidad y resiliencia de estos paisajes frente a las perturbaciones (Santoro, 2024). Un caso paradigmático en este sentido es el de las montañas mediterráneas del sur de Europa (McNeill, 1992; Kuemmerle et al., 2016). La progresiva desaparición de las prácticas agro-silvo-pastorales tradicionales en esta región, ha transformado la estructura del paisaje (Palacio, 2021; Lloret et al., 2024), favoreciendo la homogeneización del mosaico territorial (Otero et al., 2015) y alterando, en consecuencia, el balance de servicios ecosistémicos (Vidal-Legaz et al., 2013; Moreno-Llorca et al., 2022; Quintas-Soriano et al., 2022). Conocer en profundidad los efectos sobre el paisaje de estas dinámicas socio-ecológicas resulta crucial para diseñar estrategias de conservación capaces de proteger la biodiversidad y responder a los retos sociales y territoriales que plantea el abandono rural (Lloret et al., 2024).

La Reserva de la Biosfera de Sierra Nevada (RBSN) (España) (**Fig. 1**) constituye un ejemplo claro de la interdependencia entre naturaleza y cultura en los paisajes de montaña. Este espacio protegido combina una alta diversidad biológica (Arroyo et al., 2022) con un rico patrimonio cultural (Martín-Civantos et al., 2022), pero se ve afectado por procesos de transformación socioeconómica que amenazan la continuidad de sus paisajes multifuncionales. En la base de dicha multifuncionalidad se encuentra el sistema tradicional de acequias, una infraestructura hidráulica de origen medieval basada en el aprovechamiento del agua del deshielo para la extensión de las zonas de regadío (Pulido-Bosch y Ben Sbih 1995; Martos-Rosillo et al., 2019b; Martín-Civantos et al., 2023). Además de distribuir agua de riego, estas acequias recargan acuíferos (Martos-Rosillo et al., 2019b; Jódar et al., 2022b; Zakaluk et al., 2024), mantienen humedales (Lorite, 2010; Plaza y Guzmán, 2010) y son un elemento esencial de la resiliencia socio-ecológica del territorio (Martos-Rosillo et al., 2019a; 2019b; Jódar et al., 2022a). A pesar de todos estos beneficios, este sistema de acequias encara múltiples amenazas, entre las que se encuentran el abandono rural (Fernández-Escalante et al., 2006; Martín-Civantos et al., 2022), las modernas prácticas agronómicas que se apoyan en sistemas de riego cuya eficiencia se mide únicamente a través de la producción agrícola (Mateos et al., 2007; Mateos, 2008; Oyonarte et al., 2022), la falta de relevo generacional (Vargas et al., 2025), la carencia de apoyo institucional (Calastrava-Requena y Sayadi, 2001) y políticas ambientales que, aunque reconocen su papel en el mantenimiento del paisaje, no se traducen en un apoyo efectivo (Martín-Civantos et al., 2022; Oyonarte et al., 2022). Dado que las acequias tradicionales representan un elemento central de los paisajes bioculturales de la RBSN (Martos-Rosillo et al., 2019a; 2019b; Martín-Civantos et al., 2022) su abandono o modernización tecnológica tiene graves consecuencias sociales y ecológicas.

Este artículo se enmarca en el paradigma emergente que trata de superar el dualismo entre la conservación de la biodiversidad y el progreso y bienestar social, con el objetivo de avanzar hacia enfoques más inclusivos, integrados y contextualizados ecológica, social y culturalmente. Buscamos contribuir a lo que nos aventuramos a denominar *conservación socio-ecológica*, una perspectiva que reconoce la interdependencia entre biodiversidad, servicios ecosistémicos y valores

culturales en sistemas modelados por la interacción humanos-naturaleza. Para ello, analizamos el caso del sistema de acequias de la RBSN, partiendo de la hipótesis de que su capacidad de proveer servicios ecosistémicos depende del trabajo y la organización comunitaria, las prácticas tradicionales y el conocimiento agroecológico local. El objetivo es analizar, a través de un enfoque cualitativo y deductivo, cómo diferentes escenarios socio-ecológicos que surgen en respuesta al abandono rural y a los cambios socioeconómicos, pueden condicionar el carácter multifuncional del paisaje de Sierra Nevada ligado a dicho sistema. Nuestro estudio busca, a partir de una revisión bibliográfica y de nuestra propia experiencia en el territorio, generar narrativas que permitan anticipar trayectorias socio-ecológicas posibles y debatir sobre el desempeño ambiental y social de los paisajes que generarían.



**Figura 1.** Reserva de la Biosfera de Sierra Nevada (España) y principales acequias tradicionales documentadas.

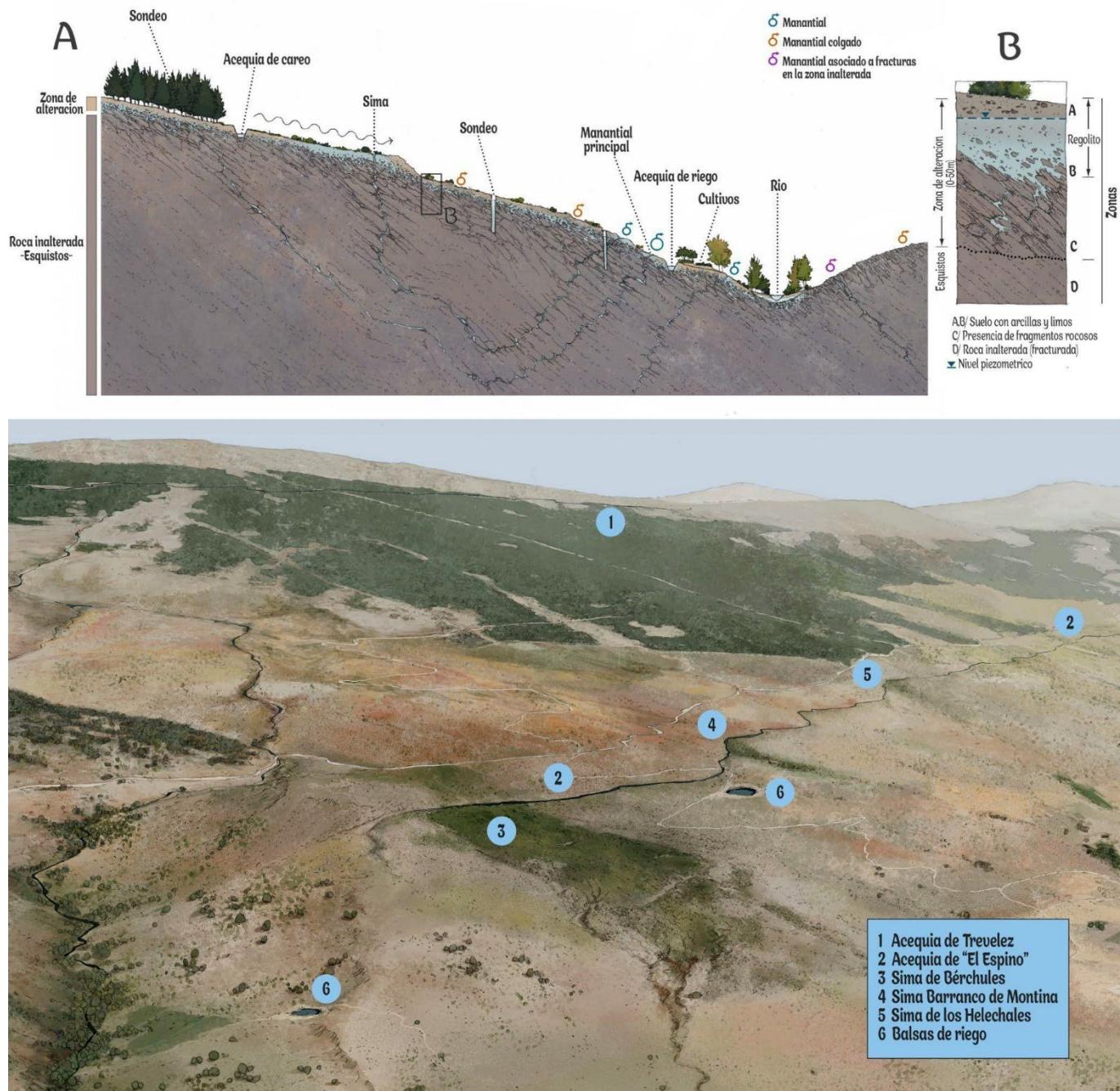
**Figure 1.** Sierra Nevada Biosphere Reserve (Spain) and main documented traditional ditches.

## Material y métodos

### Área de estudio: la Reserva de la Biosfera de Sierra Nevada (RBSN) y su sistema de acequias tradicionales

La Reserva de la Biosfera Sierra Nevada (RBSN), reconocida por la UNESCO en 1986, es un área protegida que destaca por su biodiversidad e importancia para la conservación de ecosistemas de alta montaña mediterránea. Abarca una superficie de 172.238 ha y se extiende por las provincias de Granada y Almería (Andalucía, Sur de la Península Ibérica) (Fig. 2). Su zonificación coincide con dos figuras de protección: el Parque Nacional de Sierra Nevada, que ocupa las altas cumbres (>2000 m s. n. m.) y constituye la zona núcleo de la reserva y está sujeto a un régimen de protección muy estricto que limita de forma notable los usos y actividades permitidas; y el Parque Natural de Sierra Nevada, situado en la montaña media y baja y que comprende la mayor parte de las zonas tampón y de transición, donde la gestión combina la conservación de los valores naturales con el aprovechamiento sostenible de recursos, actividades tradicionales y usos recreativos compatibles.

La RBSN alberga, junto a sus valores naturales (biodiversidad y geodiversidad), uno de los ejemplos más representativos de paisajes singulares de alto valor biocultural en zonas áridas (Martín-Civantos et al., 2022). Se trata de paisajes estructurados históricamente en torno a la gestión del agua (Fig. 2), que tienen su origen en el sistema de siembra y cosecha del agua desarrollado durante la Edad Media por las comunidades andaluzas (Martos-Rosillo et al., 2019b; Martín-Civantos et al., 2023). Este sistema está conformado por una extensa red de acequias que se extiende a lo largo de unos 3000 km. Su diseño da respuesta a una lógica ecohidrológica destinada a infiltrar el agua del deshielo en las zonas altas de la montaña, favoreciendo así la recarga de acuíferos de ladera que alimentan manantiales y ríos (Martos-Rosillo et al., 2019a; 2020; Martín-Civantos et al., 2023). Tradicionalmente ha sido gestionado por comunidades de regantes, pastores y autoridades locales, y se compone de tres tipos principales de acequias (Zakaluk et al., 2024): 1) acequias de pasto, situadas entre los 2000 y 2500 m s. n. m., que captan agua de manantiales y barrancos para el riego de pastizales durante la época sin nieve; 2) acequias de careo, localizadas entre los 1200 y 2300 m s. n. m., que se emplean para la recarga de acuíferos en los meses de invierno y primavera; y 3) acequias de riego, algunas impermeabilizadas en algunos tramos mediante entubamiento o revestimiento del lecho con materiales artificiales, que abastecen cultivos situados a menores altitudes (<800–2000 m s. n. m.), principalmente en verano. En muchos casos, estas acequias combinan funciones de riego y recarga, según las condiciones estacionales y las necesidades comunitarias.



La persistencia del sistema de acequias durante más de un milenio es testimonio de su notable resistencia frente a cambios climáticos, políticos y socioeconómicos (Martos-Rosillo et al., 2019b; Martín-Civantos et al., 2023). La evidencia científica subraya el valor de la recarga artificial mediante acequias como una estrategia eficaz de adaptación a la escasez hídrica en entornos de montaña (Jódar et al., 2022a), función que, con toda probabilidad, ya desempeñaron durante los períodos de sequía en la expansión islámica (Camuera et al., 2023). Una de las principales características del sistema es que aumenta significativamente

el tiempo de residencia del agua en la montaña, gracias a la lentitud de los flujos subterráneos (Pulido-Bosch y Ben-Sbih, 1995; Barberá et al., 2018; Martos-Rosillo et al., 2019b; Jódar et al., 2022a). Además, constituye una sólida infraestructura socio-ecológica en la que interaccionan prácticas humanas y procesos ecológicos, y cuya preservación es crucial para la disponibilidad de agua para los ecosistemas y la biodiversidad frente al cambio climático. Actualmente, el sistema corre el riesgo de perder su carácter tradicional, al ser reemplazado por infraestructuras grises (hormigón o tuberías), o bien de ser abandonado como consecuencia de los cambios demográficos y socioeconómicos que operan en el territorio (Martín-Civantos et al., 2023).

### Análisis del flujo de servicios ecosistémicos asociados al sistema de acequias tradicionales

Para el análisis del flujo de servicios ecosistémicos derivados de la red de acequias de la RBSN, realizamos una revisión bibliográfica, siguiendo el marco de las Contribuciones de la Naturaleza a las Personas (CNP) de la *Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas* (IPBES) (Díaz et al., 2015) (**Tabla 1**). Escogimos este marco por su carácter más sintético en comparación con la *Clasificación Internacional Común de Servicios de los Ecosistemas* (CICES) (Haines-Young, 2023) o la *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio* (MEA, 2005), y porque permite reflejar de manera clara la multifuncionalidad de las acequias, al integrar simultáneamente contribuciones materiales, de regulación y culturales. La revisión incluyó literatura científica, técnica y académica (trabajos de fin de grado y de máster) y se apoyó en un procedimiento de *snowballing*, mediante el cual se identificaron progresivamente nuevas referencias a partir de la bibliografía citada en los trabajos que íbamos encontrando. En la mayoría de los casos, la identificación de los servicios ecosistémicos asociados a las acequias fue directa, dado que la obra consultada mencionaba explícitamente o presentaba resultados concretos al respecto. En otros casos, aunque no existía tal referencia expresa, fue posible inferirlos a partir de la interpretación de los resultados desde una perspectiva ecosistémica.

**Tabla 1.** Servicios ecosistémicos del sistema de acequias tradicionales de Sierra Nevada, de acuerdo con la clasificación de Contribuciones de la Naturaleza a las Personas (CNP) del Panel Intergubernamental de Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (Díaz et al. 2018).

**Table 1.** Ecosystem services provided by the traditional ditches system in Sierra Nevada, according to the Classification of Nature's Contributions to People (NCP) by the Intergovernmental Panel on Biodiversity and Ecosystem Services (Díaz et al. 2018).

Nº CNP	Rol de las acequias tradicionales	Referencias*
1 Creación y mantenimiento de hábitats	Crean microhabitats húmedos asociados a manantiales que derivan de la infiltración y la recarga de acuíferos mediante el careo. Estos hábitats sostienen especies higrófilas vulnerables y refuerzan la conectividad y la resiliencia ecológica frente al cambio climático. El incremento de la recarga en las laderas contribuye a la existencia de bosques de ribera tanto en cauces principales como en secundarios.	Blanca-López et al., 2001; Paz y Guzmán, 2010; Lorite, 2010; Espín-Piñar et al., 2010; Gálvez-García, 2015; Vivas et al., 2016; Giraldo-Quintero, 2022; Oyonarte et al., 2022; Martín-Civantos et al., 2022, 2023; Soriano, 2023; Camarero et al., 2024; Zakaluk et al. 2024; Aparicio-Ibáñez et al., 2025.
4 Regulación del clima	Regulan el microclima al mantener la humedad y la vegetación activa en verano, gracias a la infiltración y a la recarga de acuíferos. Esto atenúa los extremos térmicos, genera refugios térmicos y favorece el secuestro de carbono y la resiliencia climática.	Iniesta-Arandia et al., 2014; Giraldo-Quintero, 2022; Oyonarte et al., 2022; Martín-Civantos et al., 2022, 2023; Redrado-Tambo, 2023; Camarero et al., 2024; Zakaluk et al., 2024; Aparicio-Ibáñez et al., 2025; Vargas et al., 2025.
6 Regulación de la cantidad, localización y temporalidad del agua dulce	Regulan la disponibilidad hídrica al infiltrar agua de deshielo en zonas altas, favoreciendo la recarga de acuíferos y la liberación progresiva del caudal de los manantiales en verano. Así aseguran agua para riego, abastecimiento y ecosistemas, reforzando la resiliencia frente a la estacionalidad y la escasez en zonas de montaña semiárida.	Pulido-Bosch y Ben Sbih, 1995; Fernández-Escalante et al., 2006; Castillo, 2010; Espín-Piñar et al., 2010; Cabello y Castro, 2012; Iniesta-Arandia et al., 2014; Gálvez-García, 2015; García-Llorente et al., 2015; Vila-Traver, 2015; Vivas et al., 2016; Martos-Rosillo et al., 2019a, 2019b, 2021; Jódar et al., 2018, 2022a, 2022b, Oyonarte et al., 2022; Martín-Civantos et al., 2022, 2023; Redrado-Tambo, 2023; Camarero et al., 2024; Zakaluk et al., 2024; Aparicio-Ibáñez et al., 2025; Vargas et al., 2025.
7 Regulación de la calidad del agua dulce	Los tramos no cementados de las acequias actúan como filtros naturales que depuran el agua mediante percolación y retención de sedimentos y nutrientes. Este proceso, reforzado por la vegetación y los macroinvertebrados, mantiene un buen estado ecológico y es clave para la sostenibilidad agrícola y el abastecimiento rural en zonas de montaña semiáridas.	Pulido-Bosch y Ben Sbih, 1995; Iniesta-Arandia et al., 2014; García-Llorente et al., 2015; Barberá et al., 2018; Zakaluk et al., 2024.
8 Formación, protección y descontaminación de suelos y sedimentos	Protegen los suelos de montaña frente a la erosión al reducir la escorrentía, favorecer la infiltración y estabilizar laderas. Integradas con terrazas agrícolas, conservan suelos fértilles y mantienen la funcionalidad del paisaje en zonas semiáridas de alta montaña.	Fernández-Escalante et al., 2006; Espín-Piñar et al., 2010; Cabello y Castro, 2012; Iniesta-Arandia et al., 2014; García-Llorente et al., 2015; Vila-Traver, 2015; Martín-Civantos et al., 2022, 2023; Redrado-Tambo, 2023.

9	Regulación de peligros y eventos extremos	Reducen las crecidas de los ríos al infiltrar el agua de deshielo y estabilizar laderas, modulando los picos de caudal. También limitan incendios y refuerzan la resiliencia frente a eventos extremos como la sequía, aumentando la seguridad ecológica e hídrica en paisajes de montaña semiáridos.	Fernández-Escalante et al., 2006; Vila-Traver 2015; Gálvez-García 2015; Oyonarte et al., 2022; Redrado-Tambo 2023; Vargas et al., 2025.
12	Alimentos y alimentación	Sustentan agroecosistemas de montaña al crear condiciones que permiten pastos y cultivos de verano, esenciales para la ganadería y agricultura local. Su gestión comunitaria y ancestral refuerza la soberanía alimentaria y la resiliencia rural frente al cambio climático y el despoblamiento.	Calatrava-Requena y Sayadi, 2001; Castillo, 2010; Espín-Piñar et al., 2010; Cabello y Castro, 2012; Iniesta-Arandia et al., 2014; García-Llorente et al., 2015; Vila-Traver, 2015; Oyonarte et al., 2022; Martín-Civantos et al., 2022, 2023; Redrado-Tambo, 2023; Romero-Molina et al., 2024; Vargas et al., 2025.
13	Materiales, compañía y trabajo	Fomentan una economía circular local, al usar materiales del entorno y mantener técnicas tradicionales, generando empleo y fortaleciendo la identidad cultural. Además, abren oportunidades para productos sostenibles y diferenciados en territorios afectados por el despoblamiento rural.	Fernández-Escalante et al., 2006; Plaza y Guzmán, 2010; Redrado-Tambo, 2023; Vargas et al., 2025.
14	Recursos medicinales, bioquímicos y genéticos	Conservan microhábitats para especies que representan un valioso patrimonio genético y favorecen variedades agrícolas locales que refuerzan la resiliencia agroecológica y la soberanía alimentaria frente al cambio climático.	Lorite, 2010; Cabello y Castro, 2012; Vila-Traver, 2015.
15	Aprendizaje e inspiración	Son espacios de aprendizaje donde se transmite conocimiento ecológico local sobre agua, agroecología y gestión comunitaria, fortaleciendo el vínculo con el territorio. Este saber ancestral inspira estrategias de adaptación climática y es clave para la identidad y resiliencia rural.	Fernández-Escalante et al., 2006; Espín-Piñar et al., 2010; Cabello y Castro, 2012; Iniesta-Arandia et al., 2014; Vivas et al., 2016; Martín-Civantos et al., 2022, 2023; Redrado-Tambo, 2023.
16	Experiencias físicas y psicológicas	Configuran paisajes culturales que ofrecen experiencias estéticas y emocionales, reforzando el sentido de lugar y el bienestar. Favorecen un turismo rural sostenible vinculado a la identidad local y visibilizan prácticas tradicionales beneficiosas para la salud y el entorno.	Calatrava-Requena y Sayadi, 2001; Fernández-Escalante et al., 2006; Plaza y Guzmán, 2010; Cabello y Castro, 2012; Iniesta-Arandia et al., 2014; García-Llorente et al., 2015; Vila-Traver, 2015; Oyonarte et al., 2022; Redrado-Tambo, 2023; Vargas et al., 2025.
17	Apoyo a las identidades	Configuran paisajes culturales que sostienen la identidad y organización colectiva de las comunidades rurales, expresando un fuerte vínculo entre sociedad y naturaleza. Su continuidad refuerza el sentido de pertenencia y la resiliencia frente al despoblamiento, mientras que su pérdida implicaría una ruptura cultural y territorial profunda.	Fernández-Escalante et al., 2006; Castillo, 2010; Espín-Piñar et al., 2010; Cabello y Castro, 2012; Iniesta-Arandia et al., 2014; Gálvez-García, 2015; Vila-Traver, 2015; Oyonarte et al., 2022; Redrado-Tambo, 2023; Martín-Civantos et al., 2022, 2023; Zakaluk et al., 2024; Vargas et al., 2025.
18	Mantenimiento de opciones	Los valores de existencia, altruismo y legado reflejan un compromiso emocional y ético con las acequias, que motiva su conservación más allá del beneficio directo. Este vínculo intergeneracional impulsa el cuidado del paisaje y la cultura, incluso entre quienes ya no cultivan o residen en la zona.	Redrado-Tambo, 2023.

### Definición de escenarios socio-ecológicos para el análisis prospectivo

Con el fin de explorar cómo las transformaciones sociales, económicas y normativas pueden condicionar la continuidad o el abandono del sistema de acequias de la RBSN, así como de las prácticas tradicionales y paisajes culturales asociados, empleamos un enfoque cualitativo y deductivo basado en la construcción de escenarios socio-ecológicos contrastados. Para la definición de estos escenarios se tomaron como punto de partida una serie de impulsores de cambio que actualmente operan en distintas partes del territorio de la reserva, asumiendo que en cada escenario uno o varios de estos impulsores se vuelven dominantes. Estos impulsores, como la intensificación agrícola, la despoblación, la expansión del turismo, la conservación estricta o la revitalización de prácticas tradicionales, permiten imaginar qué efectos tendría su predominio sobre la multifuncionalidad del paisaje asociado al sistema de acequias. Este enfoque, habitual en los estudios de prospectiva ambiental (p. ej., los *Shared Socioeconomic Pathways* del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, IPCC), plantea configuraciones deliberadamente extremas diseñadas para visibilizar tanto riesgos como oportunidades, que en la práctica no resultan mutuamente excluyentes.

La definición de los escenarios se basó en la experiencia acumulada por el equipo investigador en los ámbitos ecológico y social, el trabajo directo con actores locales a través de proyectos como Memola (<https://memolaproject.eu/es>) y en los más de 15 años de pertenencia al Consejo de Participación del Espacio Natural de Sierra Nevada. Además, su definición tuvo en cuenta patrones de transiciones socio-ecológicas regionales descritas en la literatura científica (Pacheco-Romero et al., 2021) y datos relacionados con los usos del suelo, demografía y políticas de conservación y desarrollo rural. Una vez definidos los escenarios, se analizaron las tendencias, sinergias y tensiones que estos podrían generar sobre el flujo de servicios ecosistémicos asociados al sistema de acequias. Reconocemos las limitaciones de este enfoque prospectivo, ya que asume la dominancia de un escenario

sobre los demás. La realidad es mucho más compleja, y el hecho de que ciertos impulsores de cambio predominen en el territorio no implica la desaparición de otros.

#### Intensificación de la agricultura (E1)

De manera genérica, este escenario refleja la expansión de un modelo de agricultura intensiva orientado a mercados externos, caracterizado por el uso intensivo de insumos, la concentración parcelaria y la sustitución de agroecosistemas diversificados por monocultivos tecnificados (Pacheco-Romero et al., 2021). En distintos lugares del sureste ibérico, la expansión de este modelo en zonas costeras ha incrementado el riesgo de colapso ecológico por la sobreexplotación hídrica (Castro et al., 2019). Una de las características de este escenario en la RBSN es la sustitución de los sistemas tradicionales de riego por sistemas presurizados, la incorporación de balsas y de riego por goteo, junto con el uso de mallas de sombreo e invernaderos. Este cambio orienta la demanda hacia un uso más dirigido del agua y conlleva la pérdida de acequias históricas con capacidad de infiltración, consideradas poco eficientes. También transforma significativamente la fisonomía del paisaje agrario. Aunque la superficie afectada sería relativamente reducida, los impactos serían intensos y localizados en algunas cuencas y con tendencia a extenderse hacia cuencas cercanas si económicamente son rentables. De hecho, ya se han instalado cultivos hortícolas intensivos, frutos rojos u olivar tecnificado en la Alpujarra, el valle del río Nacimiento y el Marquesado del Zenete (zonas correspondientes a las cotas más bajas de la RBSN y su entorno), ocupando vegas bajas y antiguas parcelas de sierra recuperadas tras décadas de abandono que ya mostraban señales de revegetación. Favorecidos por el incremento de las temperaturas y el alargamiento de la estación de cultivo asociadas al cambio climático, estos cultivos tienden a expandirse hacia cotas más altas, aunque su extensión sigue limitada por las restricciones normativas del espacio protegido (Plan de Ordenación de los Recursos Naturales -PORN- y Plan Rector de Uso y Gestión -PRUG- del Espacio Natural de Sierra Nevada), la compleja geomorfología, la falta de comunicaciones y la disminución en las precipitaciones de nieve.

#### Agrosistemas basados en el conocimiento tradicional (E2)

En general, este escenario se caracteriza por la coexistencia de actividades agropecuarias de baja intensidad, el mantenimiento de mosaicos agroforestales heterogéneos y una elevada conexión entre la población local y su entorno (Pacheco-Romero et al., 2021). Son sistemas asociados a una lógica de cohabitación con el medio y en los que en algunos casos se combinan la tecnología y el conocimiento actual con los saberes tradicionales para el desarrollo de prácticas agrícolas y ganaderas regenerativas. La actividad agroganadera predominante es de tipo extensivo o familiar, con un uso moderado de insumos, mantenimiento de variedades locales y gestión adaptada a las condiciones ecológicas del territorio. En la RBSN, este escenario se expresa en la conservación de terrazas y mosaicos agroforestales, en la ganadería extensiva con razas autóctonas como la vaca pajuna en las zonas de altura (pastos estivales), y en la recuperación de variedades locales hortícolas. Otras actividades como la apicultura, la recolección de productos forestales, los huertos familiares y otras prácticas de uso múltiple contribuyen a la existencia del mosaico multifuncional que caracteriza los paisajes actualmente en regresión de la Alpujarra. La agricultura y la ganadería tradicionales son reconocidas en el PORN y el PRUG del Espacio Natural de Sierra Nevada como prácticas clave para conservar paisajes culturales y procesos ecológicos, además de aportar beneficios como la prevención de incendios y la preservación de variedades locales. Este escenario presupone el mantenimiento del sistema tradicional de acequias. Aunque estos agrosistemas ocupan superficies reducidas, generan "nodos de resiliencia biocultural" que sostienen la biodiversidad y refuerzan los servicios ecosistémicos. Sin embargo, enfrentan el reto de generar recursos económicos y valor añadido para la población, lo que exige innovar en la comercialización de productos locales, en la articulación con mercados de proximidad y en la puesta en marcha de esquemas de apoyo institucional.

#### Conservación estricta (E3)

La conservación estricta plantea que la reducción o el cese de actividades humanas favorece la recuperación de los ecosistemas y la biodiversidad. En general se asocia principalmente a espacios de baja densidad de población, a la desaparición progresiva de actividades agroganaderas y forestales y al predominio de superficies naturales (Pacheco-Romero et al., 2021). En este contexto, los vínculos sociales se debilitan debido a la pérdida de usos tradicionales y al envejecimiento poblacional. La gestión del paisaje se centra en acciones de conservación activa, como la restauración de hábitats, el control de especies invasoras o el seguimiento ecológico, mientras que la participación humana queda en un segundo plano (Schou et al., 2021). Este escenario representa una polarización respecto a las políticas de conservación actuales, que, de hecho, en nuestros paisajes culturales milenarios tienden a valorar la continuidad de la población y de las actividades agroganaderas. En la RBSN coincide en gran medida con los objetivos del Parque Nacional articulados en su PORN y PRUG, que, no obstante, permiten algunas prácticas tradicionales como el pastoreo y otras más recientes como el turismo deportivo y el ecoturismo. Su extensión al conjunto de la RBSN supondría una reducción drástica de la agricultura y de la ganadería actualmente existentes, acompañada del abandono de acequias, terrazas de cultivo, pastos y mosaicos agrarios.

#### Ecoturismo (E4)

Según Naciones Unidas (<https://www.unwto.org>), el ecoturismo implica la observación del entorno natural y cultural, la minimización de impactos negativos y la generación de beneficios económicos para las comunidades y autoridades gestoras. Bajo este escenario se busca ofrecer experiencias de calidad que ayuden a conservar el patrimonio natural y cultural, al tiempo que diversifican los medios de vida en zonas rurales con riesgo de despoblamiento. Bajo este enfoque se incluyen actividades como el senderismo interpretativo, el agroturismo, la educación ambiental o las visitas guiadas, especialmente cuando se articulan a través de estrategias participativas como la de la Carta Europea de Turismo Sostenible (CETS, Red EUROPARC). Esta última promueve la creación de redes locales de colaboración, la certificación de buenas prácticas y el compromiso de

actores públicos y privados con la conservación, reforzando el reconocimiento internacional de los destinos adheridos. Aun así, existen dudas sobre sus beneficios reales para las comunidades rurales, ya que en ocasiones no generan empleo estable ni suficiente valor añadido local (Mondino y Beery, 2019). Para ser efectivo, este escenario exige fortalecer la educación ambiental, consolidar redes de colaboración, evitar la folclorización del medio rural y reconocer el papel activo de las comunidades en la conservación. En la RBSN, este escenario se refleja actualmente en numerosas iniciativas de turismo rural y cultural que suelen incluir rutas guiadas por expertos en interpretación. Están particularmente concentradas en el valle de los ríos Poqueira y Trevélez, pero se extienden ya por la mayor parte del territorio. La primacía de este escenario podría requerir el mantenimiento del sistema de acequias como un bien patrimonial necesario para la conservación del paisaje y del patrimonio rural, incluso estando desligado de las actividades tradicionales que lo mantenían, y con el consiguiente riesgo de desaparición progresiva cuando declinen las comunidades de regantes o se careciera de la oportuna inversión pública para su mantenimiento.

#### Turismo deportivo (E5)

El turismo deportivo de montaña ha evolucionado como un sistema socioeconómico complejo, con redes empresariales, infraestructuras, políticas públicas y dinámicas culturales vinculadas a la sociedad del ocio (Bouhaouala 2022). En regiones como los Alpes, los Pirineos o Sierra Nevada, este modelo genera inversión y oportunidades de diversificación económica, pero también plantea riesgos socio-ecológicos. La organización de eventos al aire libre con alta participación, como las carreras de montaña, pruebas ciclistas o actividades de esquí, requiere planificación estratégica y sistemas de gobernanza capaces de equilibrar los beneficios económicos con los impactos sociales y ambientales (Chersulich et al., 2020). Aunque la CETs ofrece marcos para ordenar esta actividad, sin una adecuada integración de principios de sostenibilidad, educación ambiental, transporte responsable y redistribución equitativa de beneficios (Lebrun et al., 2021), este modelo tiende a generar desequilibrios entre ganancias económicas a corto plazo y costes ecológicos y sociales a largo plazo. En la RBSN, este escenario se ejemplifica en la estación de esquí y la urbanización de Pradollano asociada, y en el incremento de pruebas de *running* y ciclismo de montaña, a lo que se suman aquellos usuarios que individualmente ejercitan o entran en la RBSN. Estas actividades contribuyen a procesos de masificación en la alta montaña, generando impactos visibles sobre ecosistemas frágiles. Tras la pandemia de la COVID-19, su práctica se ha intensificado, lo que ha acentuado aún más la presión turística y la masificación en estos entornos. En este escenario se abandona la red de acequias y sus instrumentos de gestión.

## Resultados

### Flujo de servicios ecosistémicos asociados al sistema de acequias tradicionales

El sistema de acequias de la RBSN sostiene una amplia gama de servicios ecosistémicos (**Tabla 1**). Entre ellos destaca la contribución que realizan a múltiples funciones reguladoras de los ecosistemas. Las acequias crean hábitats húmedos (CNP 1) gracias a la infiltración en tramos no cementados, recargando acuíferos y manteniendo manantiales, lo que incrementa el caudal base de los ríos y favorece a especies vegetales higrófilas amenazadas como *Aconitum burnatii* Gáyer, *Ranunculus granatensis* Boiss. o *Tephroseris balbisiana* (DC.) Holub subsp. *elodes* (DC.) P. Vargas & Luceños (Blanca-López et al., 2001; Lorite, 2010; Plaza y Guzmán, 2010). Además de reforzar la conectividad ecológica (Plaza y Guzmán, 2010), contribuyen a regular el microclima local (CNP 4), manteniendo la humedad necesaria para que la vegetación siga activa en verano, lo que atenúa extremos térmicos y favorece las ganancias de carbono por parte de la vegetación (Oyonarte et al., 2022; Giraldo-Quintero, 2022; Camarero et al., 2024; Aparicio-Ibáñez et al., 2025). Regulan la cantidad, localización y temporalidad del agua dulce (CNP 6), liberando agua de deshielo a través de manantiales durante el verano (García-Llorente et al., 2015; Martos-Rosillo et al., 2019a; 2019b; Jódar et al., 2018; 2022a; 2022b; Martín-Civantos et al., 2023; Vargas et al., 2025). Además, los tramos no cementados actúan como filtros naturales (CNP 7), mejorando la calidad del agua mediante percolación y retención de sedimentos y nutrientes (Pulido-Bosch y Ben Sbih, 1995; Iniesta-Arandia et al., 2014; Barberá et al., 2018; Zakaluk et al., 2024). Contribuyen a la protección del suelo (CNP 8) al reducir la escorrentía, estabilizar laderas y conservar suelos fértiles en terrazas agrícolas (Mateos et al., 2007; Espín-Piñar et al., 2010; Redrado-Tambo, 2023). Mediante la recarga del acuífero y la regulación de crecidas (Gálvez-García, 2015; Vila-Traver, 2015; Jódar et al., 2022a; Vargas et al., 2025), modulan peligros y eventos extremos (CNP 9). Cabe añadir que, junto con estos beneficios, las acequias pueden generar efectos negativos sobre los ecosistemas fluviales de los que detraen el agua. Su magnitud parece limitada en los cursos fluviales que hemos monitoreado en la cuenca sur de Sierra Nevada y podría diluirse a escala de cuenca; en cualquier caso, es un aspecto que requiere mayor investigación.

La función principal del sistema de acequias es la de mantener sistemas productivos con un fuerte arraigo territorial, fundamentales para la subsistencia y continuidad de las comunidades rurales de montaña. De esta forma, contribuyen a la producción de alimentos (CNP 12), al generar condiciones hídricas y microclimáticas favorables para cultivos de altura y pastos de verano, esenciales para la ganadería extensiva y la soberanía alimentaria en estos entornos (Calatrava-Requena y Sayadi, 2001; Castillo, 2010; Martín-Civantos, 2023). En lo que respecta a la provisión de materiales y trabajo (CNP 13), fomentan una economía circular local al construirse con piedra, barro y madera del entorno y al conservar técnicas tradicionales basadas en el conocimiento campesino (Espín-Piñar et al., 2010; Redrado-Tambo, 2023). Asimismo, favorecen la conservación de un valioso patrimonio genético (CNP 14), ya que sostienen el cultivo de variedades agrícolas locales seleccionadas a lo largo de generaciones, claves para la resiliencia agroecológica y la adaptación al cambio climático (Cabello y Castro, 2012; Romero-Molina et al., 2024).

Como espacios de aprendizaje e inspiración (CNP 15), las acequias permiten la transmisión intergeneracional de conocimientos ecológicos locales asociados al manejo del agua y el ciclo hidrológico, la agroecología y la gobernanza comunitaria, constituyendo una fuente viva de saberes que inspiran modelos contemporáneos de sostenibilidad y adaptación

climática (Iniesta-Arandia et al., 2014; Gálvez-García, 2015; Martín-Civantos et al., 2023). En el ámbito experiencial, proporcionan experiencias físicas y psicológicas altamente valoradas (CNP 16), al configurar paisajes culturales singulares donde el agua, el verde y el frescor generan bienestar, refuerzan el sentido de lugar y promueven un turismo rural sostenible vinculado a la identidad local (García-Llorente et al., 2015; Oyonarte et al., 2022). Además, sostienen identidades culturales profundamente arraigadas (CNP 17), al estructurar el territorio y la vida comunitaria en torno al agua, integrando la memoria colectiva, las normas consuetudinarias y los vínculos afectivos con el paisaje (Espin-Piñar et al., 2010; Zakaluk et al., 2024). Finalmente, muchas personas mantienen un compromiso ético con su conservación basado en valores de existencia, altruismo y legado (CNP 18), incluso cuando ya no cultivan o residen en el territorio, reconociendo en las acequias un bien común con valor simbólico e intergeneracional (Redrado-Tambo, 2023).

### **Impacto de los escenarios socio-ecológicos sobre la multifuncionalidad del paisaje asociado al sistema de acequias tradicionales**

El análisis de los cinco escenarios socio-ecológicos sugiere previsibles diferencias en el flujo de servicios ecosistémicos derivado del impacto que cada uno de ellos tiene sobre el sistema de acequias (**Tabla 2, Fig. 3**). Un efecto central del escenario *Intensificación de la agricultura* (E1) sería la progresiva desaparición de las acequias tradicionales y el abandono de muchos usos tradicionales (**Tabla 2**). Las acequias de riego serían sustituidas por canalizaciones entubadas, lo que implicaría la pérdida de los sistemas comunitarios de gestión y de la funcionalidad de estas infraestructuras. Las acequias de careo, fundamentales para la recarga de acuíferos, quedarían marginadas por no encajar en la lógica de eficiencia hídrica que guía la intensificación, reduciendo así la capacidad de mantener manantiales y caudales estivales. Incluso las acequias de pasto podrían verse abandonadas, debilitando la conexión entre agricultura y ganadería y reduciendo la provisión de pastos de altura. En conjunto, este proceso erosionaría no sólo las funciones hidrológicas del sistema, sino también su dimensión cultural y comunitaria, un pilar esencial del sistema socio-ecológico de la RBSN. La pérdida de funcionalidad de las acequias en este escenario repercute directamente en la provisión de servicios ecosistémicos. Se verían comprometidos la regulación hídrica y de procesos ecológicos (CNP 4–9), el mantenimiento de hábitats higrófilos (CNP 1), la producción agrícola y ganadera (CNP 12), así como los materiales, saberes y prácticas culturales (CNP 13, 14). A ello se suma la reducción de experiencias físicas y espirituales ligadas al paisaje agroganadero (CNP 15–17) y la pérdida de opciones futuras (CNP 18).

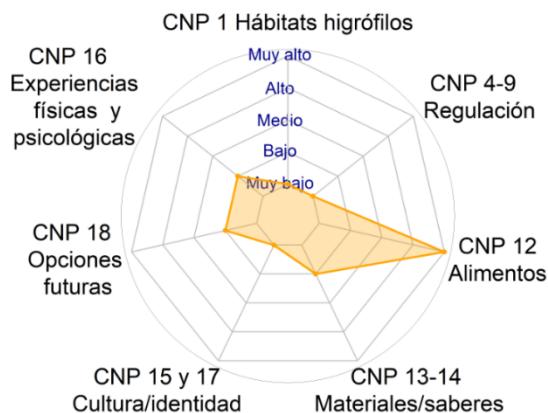
En el escenario *Agroecosistemas basados en el conocimiento tradicional* (E2), el mantenimiento comunitario de la red de acequias constituye un elemento central. La agricultura tradicional, el pastoreo regenerativo y otras prácticas sostenibles requieren y a la vez refuerzan la gestión colectiva del agua, asegurando el riego agrícola, la recarga de acuíferos y la conservación de pastos de altura. Esta dinámica favorecería tanto la continuidad de los saberes locales como la gobernanza comunitaria en torno al territorio. La preservación activa de las acequias bajo este escenario se traduciría en altos niveles de provisión de servicios ecosistémicos. Destacan el mantenimiento de hábitat para la biodiversidad higrófila (CNP 1), la regulación de procesos ecológicos clave (CNP 4–9), la producción de alimentos (CNP 12), los materiales y saberes tradicionales (CNP 13, 14), las experiencias físicas y espirituales (CNP 15–17) y las opciones futuras (CNP 18). En conjunto, este escenario no solo permitiría sostener múltiples servicios ecosistémicos, sino que también se perfila como una de las opciones más eficaces para frenar e incluso revertir el abandono rural (**Tabla 2**), siempre que fuera acompañado de políticas públicas de apoyo, inversiones en servicios y comunicaciones, y un reconocimiento del valor ambiental, cultural y productivo de estos paisajes y de quienes los mantienen.

Bajo el escenario de *Conservación estricta* (E3) las acequias tenderían a perder funcionalidad debido al retroceso de las prácticas agroganaderas que históricamente las sostenían. Las acequias de pasto quedarían inactivas por la desaparición de la ganadería de altura, lo que conduciría al deterioro de los pastizales y a la pérdida de su vínculo con la ganadería extensiva. Las acequias de careo podrían mantenerse parcialmente mediante actuaciones de conservación activa, pero, al carecer de comunidades de regantes, perderían su sistema de gobernanza y autogestión, reduciendo su capacidad de recarga de acuíferos y la persistencia de manantiales estivales. Finalmente, las acequias de riego quedarían progresivamente fuera de uso, lo que supondría la desaparición de los regadíos tradicionales y de la biodiversidad asociada a su mosaico agroecológico. La pérdida de funcionalidad de las acequias bajo este escenario tendría efectos directos sobre la provisión de servicios ecosistémicos. Aunque se verían favorecidos ciertos procesos de conservación de especies y funciones ecológicas (CNP 1 y CNP 4–9), se reducirían drásticamente las contribuciones vinculadas a la producción de alimentos (CNP 12), los materiales y saberes tradicionales (CNP 13–14) y las experiencias culturales y espirituales ligadas al paisaje agroganadero (CNP 15–17). En conjunto, este escenario favorecería la preservación ecológica, pero limitaría la retención de población (**Tabla 2**), la transmisión de conocimientos y la capacidad adaptativa de las comunidades, con una consecuente pérdida de identidad cultural y de opciones futuras (CNP 18).

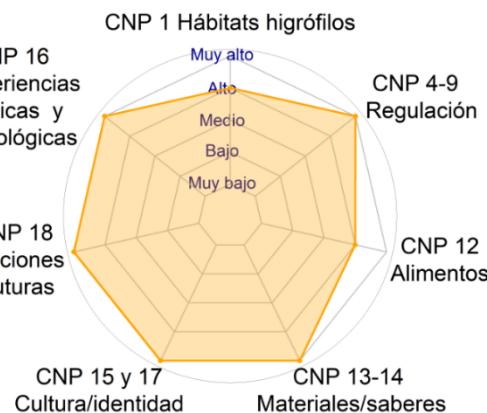
El escenario de *Ecoturismo* (E4) puede ofrecer efectos positivos siempre que se vincule a la implicación activa de la población residente (**Tabla 2**), como ya ocurre en algunos municipios de la RBSN. El desarrollo de actividades ecoturísticas podría contribuir al mantenimiento de las acequias como patrimonio biocultural y generar empleo ligado al territorio. Sin embargo, al desvincularse de las prácticas agroganaderas que históricamente las sostenían, existe el riesgo de que las acequias se transformen en recursos patrimoniales “escenificados” más que en infraestructuras vivas, debilitando la continuidad de las comunidades de regantes y los sistemas de gobernanza del agua tradicionales. En este contexto, las acequias de pasto tenderían a conservarse como elementos paisajísticos y culturales asociados a rutas de senderismo, aunque con escasa funcionalidad productiva; las acequias de careo adquirirían valor como recurso interpretativo para explicar la gestión histórica del agua y los procesos de recarga de acuíferos, pero su mantenimiento dependería más de proyectos de conservación que de usos comunitarios; y las acequias de riego serían las más susceptibles de integrarse en circuitos de ecoturismo, contribuyendo a su preservación como patrimonio, aunque con un alto riesgo de desvinculación respecto a los regadíos tradicionales. Las consecuencias sobre la provisión de servicios ecosistémicos reflejan este doble carácter del ecoturismo. Por un lado, puede favorecer el mantenimiento parcial de la

biodiversidad asociada a las acequias (CNP 1), la regulación de ciertos procesos ecológicos (CNP 4-9) y, de manera destacada, las contribuciones culturales ligadas al patrimonio, la educación ambiental y las experiencias recreativas (CNP 13-17). Por otro lado, la pérdida de funcionalidad agrícola y ganadera limitaría la provisión de alimentos (CNP 12), debilitaría la transmisión de saberes tradicionales (CNP 13-14) y plantearía dudas sobre la sostenibilidad a largo plazo del sistema, reduciendo las opciones futuras (CNP 18). En suma, este escenario reforzaría la dimensión patrimonial y educativa de las acequias y del territorio, pero sólo puede sostenerse en el tiempo si se acompaña de estrategias de diversificación económica y una participación activa de las comunidades locales.

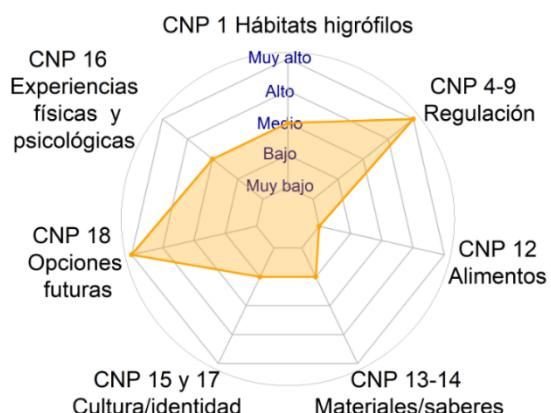
#### E1: Intensificación de la agricultura



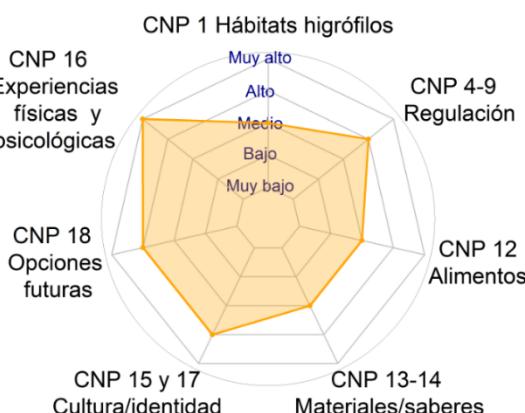
#### E2: Agrosistemas basados en el conocimiento tradicional



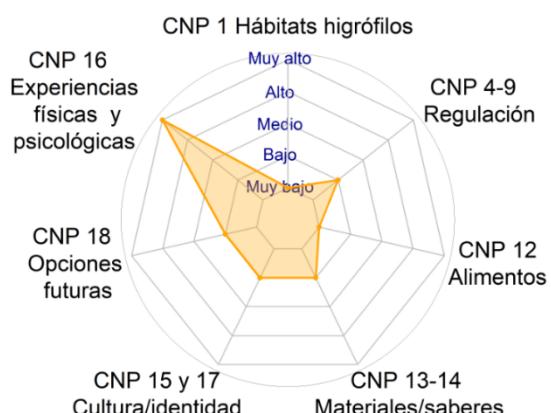
#### E3: Conservación estricta



#### E4: Ecoturismo



#### E5: Turismo deportivo



**Figura 3.** Flujo de servicios ecosistémicos (CNP) asociados a la funcionalidad de las acequias en cinco escenarios socio-ecológicos para la Reserva de la Biosfera de Sierra Nevada.

**Figure 3.** The flow of ecosystem sevices (NCP) associated with the functionality of irrigation ditches in five socio-ecological scenarios for the Sierra Nevada Biosphere Reserve.

**Tabla 2.** Análisis comparado del flujo de servicios ecosistémicos (CNP) ante cinco escenarios socio-ecológicos en respuesta al abandono rural y el cambio de modelo socioeconómico.

**Table 2.** Comparative analysis of the flow of ecosystem services (CNP) under five socio-ecological scenarios in response to land abandonment and the change of socioeconomic model.

Escenarios socio-ecológicos	Intensificación de la Agricultura (E1)	Agrosistemas basados en el conocimiento tradicional (E2)	Conservación estricta (E3)	Ecoturismo (E4)	Turismo deportivo (E5)
<b>Efecto sobre el abandono rural</b>	Lo modifica hacia prácticas más tecnificadas e intensivas	Lo frena	Contribuye a su incremento	Puede revertirlo parcialmente	Lo enmascara o agrava
	<i>Fomenta desarraigo y pérdida de valores culturales</i>	<i>Requiere trabajo y organización comunitaria</i>	<i>No fomenta residencia</i>	<i>Si hay implicación local</i>	<i>Uso estacional, sin arraigo</i>
<b>Mantenimiento de acequias funcionales (con infiltración)</b>	No	Sí	Parcial o no	Parcial	No
	<i>Sustituidas por riego tecnificado</i>	<i>Uso activo y mantenimiento colectivo</i>	<i>Si no se gestiona activamente</i>	<i>Si se reconoce el valor funcional y patrimonial</i>	<i>Abandono, fragmentación o destrucción por infraestructuras</i>
<b>Flujo de CNP</b>					
<b>Hábitats higrófilos (CNP 1)</b>	Muy bajo	Alto	Medio	Medio	Muy bajo
	<i>Desaparición por incremento de usos humanos que consumen agua</i>	<i>Mantenimiento en manantiales y riberas asociadas a las acequias</i>	<i>Preservados en manantiales y riberas no asociados a las acequias</i>	<i>Si se conservan las acequias como patrimonio ecocultural</i>	<i>Fragmentación y erosión por infraestructuras y pérdida por abandono de acequias</i>
<b>Regulación (CNP 4, 5, 6, 7, 8, 9)</b>	Muy bajo	Muy alto	Muy alto	Alto	Bajo
	<i>Pérdida de productividad primaria en ecosistemas dependientes de aguas subterráneas</i>	<i>Regulación térmica, hídrica y edáfica activa</i>	<i>Los ecosistemas naturales mantienen las funciones de regulación</i>	<i>Si se mantienen acequias funcionales</i>	<i>Abandono de acequias y desarrollo de infraestructuras deportivas</i>
<b>Alimentos (CNP 12)</b>	Muy alto	Alto	Muy bajo	Medio	Muy bajo
	<i>Máxima productividad agrícola</i>	<i>Producción agroganadera local, sostenible y diversa</i>	<i>Sin producción agroganadera</i>	<i>Si se integra en la producción local</i>	<i>Sin producción agroganadera</i>
<b>Materiales/saberes (CNP 13,14)</b>	Bajo	Muy alto	Bajo	Medio	Bajo
	<i>Pérdida por desuso y desvinculación con el conocimiento ecológico tradicional</i>	<i>Se mantienen usos tradicionales y etnoconocimiento</i>	<i>Pérdida por desuso</i>	<i>Pueden mantenerse como atractivo turístico</i>	<i>Pérdida por desvinculación con el conocimiento ecológico tradicional</i>
<b>Experiencias físicas y psicológicas (CNP 16)</b>	Bajo	Muy alto	Medio	Muy alto	Muy alto
	<i>Paisaje tecnificado, poco accesible y sin atractivo relacional</i>	<i>Paisaje vivo y con valores emocionales y estéticos</i>	<i>Entorno natural, pero menor vínculo emocional</i>	<i>Paisaje cultural valorado y con experiencias significativas</i>	<i>Paisaje accesible para el deporte</i>
<b>Cultura/identidad (CNP 15, 17)</b>	Muy bajo	Muy alto	Bajo	Alto	Bajo
	<i>Paisaje despersonalizado y tecnificado</i>	<i>Territorio habitado y cargado de sentido</i>	<i>Conservación sin personas ni relato local</i>	<i>Potencial educativo e identitario alto</i>	<i>Uso sin identidad local ni conexión cultural</i>
<b>Opciones futuras (CNP 18)</b>	Bajo	Muy alto	Muy alto	Alto	Bajo
	<i>Modelo rígido y poco resiliente dependiente de los mercados</i>	<i>Mantiene diversidad de usos y adaptabilidad</i>	<i>Mantiene la integridad ecológica y la biodiversidad, esenciales para la resiliencia y beneficios futuros</i>	<i>Preserva naturaleza, valores y saberes socioculturales</i>	<i>Pérdida de biodiversidad, saberes y opciones de manejo</i>

Finalmente, la consolidación de un modelo socioeconómico centrado en el *Turismo deportivo* (E5) desplazaría progresivamente las actividades agropecuarias y de gestión del agua que tradicionalmente sostenían las acequias. En este contexto, las acequias de pasto tenderían al abandono junto con la reducción de la ganadería de altura; las de careo perderían funcionalidad por la desaparición de las comunidades de regantes; y las de riego quedarían relegadas a usos marginales al estar fuera del nuevo modelo económico, lo que conllevaría la pérdida de regadíos tradicionales y de la biodiversidad asociada (**Tabla 2**). En conjunto, este escenario ilustra cómo, aunque el turismo deportivo pueda dinamizar la economía local, acelera el abandono y la degradación de las acequias. Esta degradación implicaría una notable disminución en la provisión de servicios ecosistémicos. Se verían reducidas las funciones de regulación ecológica e hidrológica (CNP 4–9), el mantenimiento de hábitat para especies ligadas al agua y a los regadíos tradicionales (CNP 1), así como los beneficios culturales derivados del paisaje agrario (CNP 13–17). De manera particular, la pérdida de la conexión entre agricultura, ganadería y agua limitaría tanto la diversidad de experiencias recreativas y espirituales, como las opciones de desarrollo futuro basadas en un uso sostenible del territorio (CNP 18).

## Discusión

### Hacia una conservación socio-ecológica: retos y oportunidades en la Reserva de la Biosfera de Sierra Nevada

A diferencia de los enfoques tradicionales de conservación centrados exclusivamente en especies o espacios concretos, la perspectiva socio-ecológica amplía el foco al reconocer que personas y naturaleza se entrelazan para conformar sistemas complejos y adaptativos, en permanente transformación como respuesta a perturbaciones y presiones externas de tipo climático, económico, social o político (Meadows, 2008; Folke et al., 2010; Ban et al., 2013). Actualmente, el sistema de acequias de Sierra Nevada y los paisajes multifuncionales que sostiene (**Fig. 4**), están amenazados por un contexto socioeconómico que promueve el abandono rural, la intensificación agrícola y la pérdida de conocimiento agroecológico local (Mateos et al., 2007; Vivas et al., 2016; Vargas et al., 2025).

Frente a este contexto, nuestro análisis sugiere que el escenario más favorable para su mantenimiento es el de *Agrosistemas basados en conocimiento tradicional* (E2), aunque dada la baja rentabilidad que ofrece en un mercado global competitivo, requiere de estrategias de generación de ingresos y valor añadido que permitan superar sus limitaciones sociales y económicas (Calatrava-Requena y Sayadi, 2001). Complementar dicho escenario con el de *Ecoturismo* (E4) puede ayudar a fijar población y generar una producción sostenible de alto valor añadido. Por el contrario, los escenarios más desfavorables desde el punto de vista socio-ecológico como la *Intensificación agrícola* (E1) y el *Turismo deportivo* (E5) comprometen la multifuncionalidad y resiliencia de los paisajes nevadenses si no van acompañados de medidas de arraigo territorial. Finalmente, la dominancia del escenario de *Conservación estricta* (E3) proporciona resultados ambivalentes. Si bien satisface objetivos de conservación de la biodiversidad (aunque reduciría hábitats higrófilos dependientes de flujos de agua subterránea), genera desapego social y pérdida de prácticas culturales (Oldekop et al., 2016). Además, este escenario podría acarrear efectos indeseados, ya que la renaturalización pasiva derivada del abandono rural no siempre garantiza la conservación de la biodiversidad (Quintas-Soriano et al., 2022), favorece los incendios forestales (Salis et al., 2022) y puede incluso desplazar la presión humana hacia otras áreas no protegidas (Daskalova y Kamp, 2023). En conjunto, el análisis del impacto de estos escenarios sobre el sistema de acequias, muestran que los paisajes bioculturales nevadenses deben entenderse como un sistema socio-ecológico complejo y adaptativo, cuya resiliencia depende de mantener vivas las prácticas comunitarias que lo han configurado históricamente. El sistema de acequias tradicionales de la RBSN, al articular biodiversidad y diversidad cultural, constituye un elemento clave para regenerar paisajes culturales dinámicos; su integración en un escenario combinado de usos puede actuar como palanca de cambio (*leverage point*) hacia un modelo socio-ecológico sostenible que equilibre conservación y bienestar local (Meadows, 2008).

El carácter adaptativo de los sistemas socio-ecológicos se traduce en la RBSN en la necesidad de enfoques de gestión orientados a regenerar paisajes culturales capaces de equilibrar biodiversidad, bienestar humano y viabilidad socioeconómica. Estos paisajes representan un claro ejemplo de interdependencia entre diversidad biológica y cultural (Martín-Civantos et al., 2022), articulada en torno a las acequias, una infraestructura socio-ecológica cuyo funcionamiento depende tanto de la base biofísica de Sierra Nevada como de las formas de manejo local (Jódar et al., 2022a; Moreno-Llorca et al., 2022; Martín-Civantos et al., 2023; Cabello et al., 2025). Dada la configuración espacial de la RBSN, que integra Parque Nacional y Parque Natural, lo más realista es apostar por un escenario combinado que incorpore prácticas tradicionales en la gestión de la complejidad socio-ecológica del territorio. Ello implica coordinar los distintos usos del suelo (agricultura regenerativa, ecoturismo, turismo deportivo y conservación) con el objetivo de reforzar su multifuncionalidad. La recuperación y adaptación innovadora de prácticas y estructuras tradicionales, como el sistema de acequias, favorece la conexión entre población y territorio, genera sinergias entre conservación, desarrollo socioeconómico y cultural (Malmborg et al., 2025) y, en el caso de la RBSNa, convierte al mantenimiento de esta infraestructura en una auténtica “palanca de cambio” para avanzar hacia un modelo integrador de conservación socio-ecológica (Meadows, 2008).



**Figura 4.** Ejemplos de servicios ecosistémicos (CNP) co-producidos por el sistema de acequias tradicionales de la Reserva de la Biosfera de Sierra Nevada. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: pastos bajo acequia para ganadería, hábitat para la biodiversidad; *Tephroseris balbisiana* (DC.) Holub subsp. *elodes* (DC.) P. Vargas & Luceños Holub es una especie endémica de los herbazales de megaforbios húmedos de Sierra Nevada; secuestro de carbono y control de la erosión; conocimiento ecológico tradicional (partidor de agua) y agua dulce.

**Figure 4.** Examples of ecosystem services (CNP) co-produced by the traditional ditches system of the Sierra Nevada Biosphere Reserve. From left to right and from above to below: pastures under ditches for livestock farming, habitat for biodiversity; *Tephroseris balbisiana* (DC.) Holub subsp. *elodes* (DC.) P. Vargas & Luceños Holub is a species endemic to the humid megaforbia grasslands of Sierra Nevada; carbon sequestration and erosion control; traditional ecological knowledge (water divider) and freshwater.

#### El pago por servicios ecosistémicos como una vía para sostener los paisajes bioculturales

Las áreas protegidas son espacios clave para ensayar políticas innovadoras que integren objetivos sociales, económicos y ambientales. En la RBSN, las prácticas agroganaderas (presentes únicamente en el escenario E2) sostienen servicios culturales y recreativos (CNP 15-18) ampliamente valorados por la población (Calatrava-Requena y Sayadi, 2001). A ellos se suman los servicios de abastecimiento (CNP 12-14) y de regulación (CNP 1-9), cuyos beneficios fluyen hacia otras áreas, especialmente urbanas, generando una asimetría social poco reconocida entre quienes co-producen dichos servicios junto a los ecosistemas y aquellos que los disfrutan (Palomo et al., 2013; García-Llorente et al., 2015). Esta desigualdad compromete tanto la viabilidad de las políticas de conservación como las oportunidades de desarrollo local, lo que pone de relieve la necesidad de poner en marcha mecanismos estables de compensación que reconozcan el valor ecológico y social de las prácticas tradicionales. Entre estas políticas innovadoras, el pago por servicios ecosistémicos ofrece una vía prometedora para avanzar hacia una mayor justicia ambiental y sostener la multifuncionalidad del territorio.

Dado que en su desempeño ambiental el sistema de acequias integra inseparablemente las dimensiones ecológica y social del territorio, constituye un ejemplo paradigmático de co-producción de servicios ecosistémicos (Palomo et al., 2016). Nuestros resultados muestran que sólo los escenarios que mantienen vivas las prácticas comunitarias como los Agrosistemas basados en conocimiento tradicional (E2) y, en menor medida, el Ecoturismo (E4), son capaces de sostener este papel fundamental. En el marco de la conservación socio-ecológica, resulta necesario impulsar estrategias que reconozcan la contribución de la población local al mantenimiento y generación conjunta de estos beneficios ambientales. Entre ellas, los pagos por servicios ecosistémicos (PSE) emergen como una alternativa pragmática para reforzar estos escenarios favorables. Más que simples mecanismos de mercado, los PSE deben concebirse como instrumentos de redistribución y reconocimiento social (Bremer et al., 2023; Neyret et

al., 2023), orientados a: (i) fortalecer estructuras comunitarias, (ii) corregir la asimetría entre costes rurales y beneficios urbanos, y (iii) ejercer como palancas de cambio que alineen conservación, bienestar humano y sostenibilidad. Su diseño debe priorizar la equidad, la participación local y la corresponsabilidad rural-urbana, evitando modelos estandarizados que desplazan las formas tradicionales de gestión y asegurando su integración en escenarios compartidos que generen oportunidades reales para la población. Aunque los PSE han sido cuestionados por el riesgo que suponen de mercantilización de funciones ecológicas y culturales (Redford y Adams, 2009), en contextos como el de la RBSN representan una vía realista para fortalecer a las comunidades locales y avanzar hacia un modelo de conservación socio-ecológica.

Desde 2022, el laboratorio MEMOLab de la Universidad de Granada ha impulsado experiencias piloto de PSE en municipios como Cáñar, Dílar y Jérez del Marquesado, con resultados positivos en los planos social, administrativo, ambiental y económico. Estas iniciativas no sólo refuerzan la resiliencia local, sino que también han dado pie a implicar a administraciones supramunicipales (como la Diputación de Granada) en su consecución, lo que amplía su impacto tanto en la escala espacial como en la institucional. En la práctica, los PSE están impulsando un nuevo paradigma de gestión del territorio. Este cambio resulta crucial, ya que cuando desaparecen las formas de gestión basadas en el conocimiento ecológico tradicional no sólo se pierden funciones ecológicas clave, sino también las instituciones sociales que las sostenían (Herzon y Helenius, 2008). En este sentido, los PSE no sólo compensan costes y apoyan prácticas tradicionales, sino que también contribuyen a fortalecer los marcos comunitarios de toma de decisiones.

## Conclusiones

Este estudio muestra que la conservación de la biodiversidad en paisajes de montaña como los de la Reserva de la Biosfera de Sierra Nevada está estrechamente vinculada a la continuidad y prosperidad social y económica de las comunidades rurales con las que ha coevolucionado. A través del análisis cualitativo de escenarios socio-ecológicos definidos por procesos observables en el territorio, evidenciamos que la provisión de múltiples servicios ecosistémicos vitales para el bienestar humano depende no sólo de factores biofísicos, sino también del mantenimiento de prácticas culturales, conocimientos ecológicos y formas de gobernanza comunitaria. Las acequias tradicionales emergen como infraestructuras socio-ecológicas esenciales para la resiliencia frente al cambio climático y para frenar el abandono rural en Sierra Nevada, aunque su continuidad se ve amenazada por la falta de relevo generacional, las políticas agrícolas centradas en la eficiencia productiva y la masificación turística. El análisis muestra que el escenario de *Agrosistemas basados en conocimiento tradicional* es el que mejor preserva la multifuncionalidad del paisaje, aunque requiere complementarse con otros, en particular el *Ecoturismo*, para diversificar las fuentes de ingresos de la población sin comprometer los valores del territorio. En contraste, la *Intensificación agrícola*, el *Turismo deportivo* o la *Conservación estricta*, por sí solos, tienden a desvincular a las comunidades de su entorno y a poner en riesgo la viabilidad del socio-ecosistema. En este marco, desarrollar enfoques de conservación que integren la complejidad espacial y temporal de los sistemas socio-ecológicos resulta clave para conjugar biodiversidad, bienestar humano y justicia social. Instrumentos innovadores, como los pagos por servicios ambientales, pueden apoyar este proceso al dignificar el esfuerzo de las personas que mantienen estos paisajes.

## Contribución de los autores

**Javier Cabello:** Conceptualization, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Writing - Review and editing. **Jesús J. Casas:** Conceptualization, Investigation, Methodology, Writing and Review. **Montserrat Escudero-Clares:** Investigation, Review and Editing. **José María Martín-Civantos:** Conceptualization, Investigation, Methodology, Writing and Review. **Sergio Martos-Rosillo:** Conceptualization, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Writing - Review and editing. **Manuel Pacheco-Romero:** Conceptualization, Methodology, Writing and Review. **María Jacoba Salinas-Bonillo:** Conceptualization, Investigation, Methodology, Writing - Review and editing.

## Disponibilidad de datos y código

Este artículo no utiliza conjuntos de datos

## Financiación, permisos requeridos, potenciales conflictos de interés y agradecimientos

Este estudio se ha desarrollado en el marco del proyecto «Soluciones basadas en la naturaleza para una gestión resiliente del ciclo hidrológico en zonas de montaña: los sistemas tradicionales de gestión del agua de Sierra Nevada (NBS4Water)» (2768/2021), financiado por el OAPN (Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico). Se ha contado con el apoyo del «Plan Complementario de I+D+i en Biodiversidad (PCBIO)» a través del Plan de Recuperación - NextGenerationEU, el Ministerio de Ciencia (PID2022-140092OB-I00, MCIN/AEI/FEDER, UE) y la Junta de Andalucía. MPR agradece la financiación de su contrato postdoctoral a la Junta de Andalucía y al Fondo Social Europeo Plus (Programa FSE+ de Andalucía 2021-2027). JJC agradece la financiación del proyecto FRESHTRESS (MCIU-Proyectos de Investigación no orientada 2022).

Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecemos a Curro Bonet y José Ramón Guzmán sus valiosos comentarios durante el proceso de revisión, que resultaron fundamentales para concretar y afinar muchos de los argumentos de este trabajo.

## Referencias

- Aparicio-Ibáñez, J., Pimentel, R., Bonet-García, F. J., & Polo, M. J. (2025). Using NDVI-derived vegetation vigour as a proxy for soil water content in Mediterranean-mountain traditional water management systems: Seasonal variability and restoration impacts. *Ecological Indicators*, 174, 113468. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113468>
- Araújo, M. B. (2025). Conflicting rationalities limit the uptake of spatial conservation prioritizations. *Nature Reviews Biodiversity*, 1(5). <https://doi.org/10.1038/s44358-025-00042-z>
- Arroyo, J., Abellán, P., Arista, M., Ariza, M. J., de Castro, A., Escudero, M., ... Viruel, J. (2022). Sierra Nevada, a Mediterranean biodiversity super-hotspot. En: Zamora, R., Oliva, M. (Eds.), *The Landscape of the Sierra Nevada: A Unique Laboratory of Global Processes in Spain*, pp. 11–30. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-94219-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94219-9_2)
- Ban, N. C., Mills, M., Tam, J., Hicks, C. C., Klain, S., Stoeckl, N., ... Chan, K. M. A. (2013). A social–ecological approach to conservation planning: embedding social considerations. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(4), 194–202. <https://doi.org/10.1890/110205>
- Barberá, J. A., Jódar, J., Custodio, E., González-Ramón, A., Jiménez-Gavilán, P., Vadillo, I., ... Martos-Rosillo, S. (2018). Groundwater dynamics in a hydrologically-modified alpine watershed from an ancient managed recharge system (Sierra Nevada National Park, Southern Spain): Insights from hydrogeochemical and isotopic information. *Science of the Total Environment*, 640–641, 874–893. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.305>
- Blanca-López, G., López-Onieva, M. R., Martínez Lirola, M. J., Molero Mesa, J., Quintas, S., Ruíz Girela, M., ... Vidal, S. (2001). *Flora amenazada y endémica en Sierra Nevada*. Universidad de Granada – Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Granada, Spain.
- Bouhaouala, M. (2022). Mountain sports tourism as an ecosystem market. *Journal of Sport & Tourism*, 26(2), 185–200. <https://doi.org/10.1080/14775085.2022.2066013>
- Bremer, L. L., Nelson, S., Jackson, S., Izquierdo-Tort, S., Lansing, D., Shapiro-Garza, E., ... Pascual, U. (2023). Embedding local values in Payments for Ecosystem Services for transformative change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 64, 101354. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101354>
- Büscher, B., & Fletcher, R. (2019). Towards convivial conservation. *Conservation & Society*, 17(3), 283–296. [https://doi.org/10.4103/cs.cs\\_19\\_75](https://doi.org/10.4103/cs.cs_19_75)
- Cabello, J., & Castro, A. J. (2012). Estado y tendencia de los servicios de los ecosistemas de zonas áridas de Andalucía. En: Junta de Andalucía (Ed.), *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en Andalucía*, pp. 1–64. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía.
- Cabello, J., Escudero-Clares, M., Martos-Rosillo, S., Casas, J. Jesús, Cintas, J., Zakaluk, T., & Salinas-Bonillo, M. J. (2025). A dataset on potentially groundwater-dependent vegetation in the Sierra Nevada Protected Area (Southern Spain) and its underlying NDVI-derived ecohydrological attributes. *Data in Brief*, 61, 111760. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2025.111760>
- Calatrava-Requena, J., & Sayadi, S. (2001). *Análisis funcional de los sistemas agrarios para el desarrollo rural sostenible: Las funciones productiva, creativa y estética de la agricultura en la Alta Alpujarra*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, Madrid, Spain.
- Camarero, J. J., Salinas-Bonillo, M. J., Valeriano, C., Rubio-Cuadrado, Á., Fernández-Cortés, Á., Tamudo, E., ... Cabello, J. (2024). Watering the trees for the forest: Drought alleviation in oaks and pines by ancestral ditches. *Science of the Total Environment*, 950, 175353. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175353>
- Camuera, J., Jiménez-Espejo, F. J., Soto-Chica, J., Jiménez-Moreno, G., García-Alix, A., Ramos-Román, M. J., ... Castro-Priego, M. (2023). Drought as a possible contributor to the Visigothic Kingdom crisis and Islamic expansion in the Iberian Peninsula. *Nature Communications*, 14, 5733. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41367-7>
- Castillo, A. (2010). El papel de las surgencias en los regadíos de Sierra Nevada. En: Guzmán Álvarez, J.R., Navarro Cerrillo R.M. (Eds.), *El agua domesticada. El paisaje de los regadíos de montaña en Andalucía*, pp. 80–84. Junta de Andalucía, Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, Spain.
- Castro, A.J., López-Rodríguez, M.D., Giagnocavo, C., Giménez, M., Céspedes, L., La Calle, A., ... Valera, D.L. (2019). Six collective challenges for sustainability of Almería greenhouse horticulture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(21), 4097. <https://doi.org/10.3390/ijerph16214097>
- Chersulich, A., Perić, M., & Wise, N. (2020). Assessing and Considering the Wider Impacts of Sport-Tourism Events: A Research Agenda Review of Sustainability and Strategic Planning Elements. *Sustainability*, 12(11), 4473. <https://doi.org/10.3390/su12114473>
- Daskalova, G. N., & Kamp, J. (2023). Abandoning land transforms biodiversity. *Science* 380(6645), 581–583. <https://doi.org/10.1126/science.adf1099>
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R.T., Molnár, Z. ... Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270–272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Espín-Piñar, R., Ortiz-Moreno, E., & Guzmán-Álvarez, J. R. (2010). *Manual del Acequero*. Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, Spain.
- Fernández-Escalante, A. E., García Rodríguez, M., & Villarroya Gil, F. (2006). Las acequias de careo, un dispositivo pionero de recarga artificial de acuíferos en Sierra Nevada, España. Caracterización e inventario. *Revista Tecnologí@ y Desarrollo*, Volumen IV.
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 15(4), 20. <https://www.jstor.org/stable/26268226>
- Fougères, D., Jones, M., McElwee, P.D., Andrade, A., & Edwards, S.R. (2022). Transformative conservation of ecosystems. *Global Sustainability*, 5, e5. <https://doi.org/10.1017/sus.2022.4>
- Gálvez-García, C. (2015). *Saberes locales en el mundo global. Huertas, agua y conocimiento agroecológico en la Alpujarra Alta Occidental*. Doctoral Thesis, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, Spain.
- García-Llorente, M., Iniesta-Arandia, I., Willaarts, B. A., Harrison, P. A., Berry, P., Bayo, M. M., ... Martín-López, B. (2015). Biophysical and sociocultural factors underlying spatial trade-offs of ecosystem services in semiarid watersheds. *Ecology and Society*, 20(3), 39. <https://doi.org/10.5751/ES-07785-200339>
- Gavin, M.C., McCarter, J., Mead, A., Berkes, F., Stepp, J.R., Peterson, D., & Tang, R. (2015). Defining biocultural approaches to conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(3), 140–145. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.12.005>
- Giraldo-Quintero, J.P. (2022). *Evaluación de la influencia de las acequias de careo sobre el funcionamiento de los robledales de Sierra Nevada (España)*. Master's Thesis, Universidad de Almería, Almería, Spain.
- Haines-Young, R. (2023). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.2 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. Fabis Consulting.

- Herzon, I., & Helenius, J. (2008). Agricultural drainage ditches, their biological importance and functioning. *Biological Conservation*, 141(5), 1171–1183. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.03.005>
- Iniesta-Aranda, I., García-Llorente, M., Aguilera, P.A., Montes, C., & Martín-López, B. (2014). Socio-cultural valuation of ecosystem services: Uncovering the links between values, drivers of change, and human well-being. *Ecological Economics*, 108, 36–48. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.09.028>
- Jódar, J., Carpintero, E., Martos-Rosillo, S., Ruiz-Constán, A., Marín-Lechado, C., Cabrera-Arrabal, J. A., ... González-Dugo, M. P. (2018). Combination of lumped hydrological and remote-sensing models to evaluate water resources in a semi-arid high altitude ungauged watershed of Sierra Nevada (Southern Spain). *Science of the Total Environment*, 625, 285–300. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.300>
- Jódar, J., Martos-Rosillo, S., Custodio, E., Mateos, L., Cabello, J., Casas, J., ... Lambán, L. J. (2022a). The recharge channels of the Sierra Nevada Range (Spain) and the Peruvian Andes as ancient Nature-Based Solutions for the ecological transition. *Water*, 14, 3130. <https://doi.org/10.3390/w14193130>
- Jódar, J., Zakaluk, T., González-Ramón, A., Ruiz-Constán, A., Lechado, C. M., Martín-Civantos, J. M., ... Martos-Rosillo, S. (2022b). Artificial recharge by means of careo channels versus natural aquifer recharge in a semi-arid, high-mountain watershed (Sierra Nevada, Spain). *Science of the Total Environment*, 825, 153937. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153937>
- Kuemmerle, T., Levers, C., Erb, K., Estel, S., Jepsen, M. R., Müller, D., ... Reenberg, A. (2016). Hotspots of land use change in Europe. *Environmental Research Letters*, 11, 064020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/6/064020>
- Lebrun, A.M., Su, C. J., & Bouchet, P. (2021). A more sustainable management of domestic tourists in protected natural parks: A new trend in sport tourism after the Covid-19 pandemic? *Sustainability*, 13(14), 7750. <https://doi.org/10.3390/su13147750>
- Levis, C., Flores, B. M., Campos-Silva, J. V., Peroni, N., Staal, A., Padgurschi, M. C. G. ... Clement, C. R. (2024). Contributions of human cultures to biodiversity and ecosystem conservation. *Nature Ecology & Evolution*, 8, 866–879. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02356-1>
- Lorite, J. (2010). Flora amenazada de las acequias de Sierra Nevada. En: Guzmán Álvarez, J.R., Navarro Cerrillo R.M. (Eds.), *El agua domesticada. El paisaje de los regadíos de montaña en Andalucía*, pp. 256–265. Junta de Andalucía, Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, Spain.
- Lloret, F., Escudero, A., Lloret, J., & Valladares, F. (2024). An ecological perspective for analysing rural depopulation and abandonment. *People and Nature*, 6(2), 490–506. <https://doi.org/10.1002/pan3.10606>
- Mace, G.M. (2024). Whose conservation? *Conservation Biology*, 38(1), e13901. <https://doi.org/10.1126/science.1254704>
- Malmborg, K., Hamilton, J., & Seiferth, C. (2025). Leveraging place-based identities and senses of belonging to mobilize for action-oriented research in UNESCO sites. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 74, 101536. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2025.101536>
- Martín-Civantos, J. M., Rouco-Collazo, J., Abellán-Santisteban, J., Ramos-Rodríguez, B., Sánchez-García, A., Martos-Rosillo, S., & González-Ramón, A. (2022). Singular Cultural Landscapes of the Sierra Nevada. En: Zamora, R., Oliva, M. (Eds.), *The Landscape of the Sierra Nevada: A Unique Laboratory of Global Processes in Spain*, pp. 31–46. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-94219-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94219-9_3)
- Martín-Civantos, J. M., Ramos-Rodríguez, B., Zakaluk, T., González-Ramón, A., & Martos-Rosillo, S. (2023). Ancestral integrated water management systems as adaptation tools for climate change: The “Aequias De Careo” and historical water management of the Mecina River in Sierra Nevada (Granada, Spain). *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 25(1–3), 7–29. <https://doi.org/10.1080/13505033.2023.2293345>
- Martos-Rosillo, S., González-Ramón, A., Ruiz-Constán, A., Marín-Lechado, C., Guardiola-Albert, C., Moral, F., ... Pedrera, A. (2019a). El manejo del agua en las cuencas de alta montaña del Parque Nacional de Sierra Nevada (Sur de España). Un ejemplo ancestral de Gestión Integral del Agua. *Boletín Geológico y Minero*, 130 (4), 729–742.
- Martos-Rosillo, S., Ruiz-Constán, A., González-Ramón, A., Mediavilla, R., Martín-Civantos, J. M., Martínez-Moreno, F. J., ... Galindo-Zaldívar, J. (2019b). The oldest managed aquifer recharge system in Europe: new insights from the Espino recharge channel (Sierra Nevada, southern Spain). *Journal of Hydrology*, 578, 124047. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124047>
- Mateos, L. (2008). Identifying a new paradigm for irrigation system performance. *Irrigation Science*, 27, 25–34. <https://doi.org/10.1007/s00271-008-0118-z>
- Mateos, L., Vivas, G., Giráldez, J. V., & González-Dugo, M. P. (2007). Origin, tradition and decline of the ancestral irrigation systems in the High Alpujarra, Spain. *Proceedings of the ICID 22nd European Regional Conference, 2–6 September 2007, Pavia, Italy* (CD-ROM Version).
- McNeill, J. R. (1992). *The mountains of the Mediterranean world: An environmental history*. Cambridge University Press.
- Meadows, D.H. (2008). Thinking in Systems: A Primer. Earthscan, London, UK.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington DC, USA.
- Mondino, E., & Beery, T. (2019). Ecotourism as a learning tool for sustainable development: The case of Monviso Transboundary Biosphere Reserve, Italy. *Journal of Ecotourism*, 18(2), 107–121. <https://doi.org/10.1080/14724049.2018.1462371>
- Moreno-Llorca, R., Vaz, A.S., Herrero, J., Millares, A., Bonet-García, F.J., & Alcaraz-Segura, D. (2022). Multi-scale evolution of ecosystem services' supply in Sierra Nevada (Spain): An assessment over the last half-century. *Ecosystem Services*, 46, 101204. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101204>
- Neyret, M., Peter, S., Le Provost, G., Boch, S., Boesing, A. L., Bullock, J. M., ... Manning, P. (2023). Landscape management strategies for multifunctionality and social equity. *Nature Sustainability*, 6(4), 391–403. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-01045-w>
- Norooshi, J., Talebi, A., Doostmohammadi, M., Rumpf, S. B., Linder, H. P., & Schneeweiss, G. M. (2018). Hotspots within a global biodiversity hotspot - areas of endemism are associated with high mountain ranges. *Scientific Reports*, 8, 10345 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28504-9>
- Oldekop, J. A., Holmes, G., Harris, W. E., & Evans, K. L. (2016). A global assessment of the social and conservation outcomes of protected areas. *Conservation Biology* 30(1), 133–141. <https://doi.org/10.1111/cobi.12568>
- Otero, I., Marull, J., Tello, E., Diana, G. L., Pons, M., Coll, F., & Boada, M. (2015). Land abandonment, landscape, and biodiversity: questioning the restorative character of the forest transition in the Mediterranean. *Ecology and Society*, 20(2), 7. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07378-200207>
- Oyonarte, N. A., Gómez-Macpherson, H., Martos-Rosillo, S., González-Ramón, A., & Mateos, L. (2022). Revisiting irrigation efficiency before restoring ancient irrigation canals in multi-functional, nature-based water systems. *Agricultural Systems*, 203, 103513. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103513>
- Pacheco-Romero, M., Kuemmerle, T., Levers, C., Alcaraz-Segura, D., & Cabello, J. (2021). Integrating inductive and deductive analysis to identify and characterize archetypical social-ecological systems and their changes. *Landscape and Urban Planning*, 215, 104199. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104199>
- Palacio, S. (2021). De la despoblación a la repoblación rural de las montañas. *Ecosistemas*, 30(1), 2164. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2164>

- Palomo, I., Martín-López, B., Potschin, M., Haines-Young, R., & Montes, C. (2013). National Parks, buffer zones and surrounding lands: Mapping ecosystem service flows. *Ecosystem Services*, 4, 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.09.001>
- Palomo, I., Martín-López, B., Alcorlo, P., & Montes, C. (2014). Limitations of protected areas zoning in Mediterranean cultural landscapes under the ecosystem services approach. *Ecosystems*, 17(7), 1202–1215. <https://doi.org/10.1007/s10021-014-9788-y>
- Palomo, I., Felipe-Lucia, M. R., Bennett, E. M., Martín-López, B., & Pascual, U. (2016). Disentangling the pathways and effects of ecosystem service co-production. En: Woodward, G., Bohan, D. A. (Eds.), *Advances in Ecological Research*, Vol. 54, pp. 245–283. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2015.09.003>
- Plaza, P., & Guzmán, J. R. (2010). La vegetación y las acequias de Sierra Nevada. En: Guzmán Álvarez, J.R., Navarro Cerrillo R.M. (Eds.), *El agua domesticada. El paisaje de los regadíos de montaña en Andalucía*, pp. 258–265. Junta de Andalucía, Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, Spain.
- Pulido-Bosch, A., & Ben Sbih, Y. (1995). Centuries of artificial recharge on the southern edge of Sierra Nevada (Granada, Spain). *Environmental Geology*, 26, 57–63. <https://doi.org/10.1007/BF00776033>
- Quintas-Soriano, C., Buerkert, A., & Plieninger, T. (2022). Effects of land abandonment on nature contributions to people and good quality of life components in the Mediterranean region: A review. *Land Use Policy*, 116, 106053. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106053>
- Red EUROPARC. (s.f.). *Carta Europea de Turismo Sostenible*. Available at: <https://redeuroparc.org/carta-europea-turismo-sostenible/>
- Redford, K. H., & Adams, W. M. (2009). Payment for ecosystem services and the challenge of saving nature. *Conservation Biology*, 23(4), 785–787. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01271.x>
- Redrado-Tambo, C. (2023). *Cost-Benefit analysis of careo channels and the traditional irrigation system of Sierra Nevada, Granada and Almería (Spain)*. Master's Thesis, University of Copenhagen, Denmark.
- Reyers, B., & Bennett, E. M. (2025). Whose conservation, revisited: How a focus on people–nature relationships spotlights new directions for conservation science. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 380(1917), 20230320. <https://doi.org/10.1098/rstb.2023.0320>
- Rodríguez-Rodríguez, D., Larrubia, R., & Sinoga, J. D. (2021). Are protected areas good for the human species? Effects of protected areas on rural depopulation in Spain. *Science of the Total Environment*, 763, 144399. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144399>
- Romero-Molina, J. M., Benítez-Cruz, G., Molero-Mesa, J., Jiménez-Olivencia, Y., & González-Tejero García, M. R. (2024). Variedades locales hortícolas de la Alpujarra granadina: Agrodiversidad para la sostenibilidad rural. Editorial Universidad de Granada, Granada, Spain.
- Salis, M., Del Giudice, L., Jahdi, R., Alcasena-Urdiroz, F., Scarpa, C., Pellizzaro, G., ... Arca, B. (2022). Spatial patterns and intensity of land abandonment drive wildfire hazard and likelihood in Mediterranean agropastoral areas. *Land*, 11(11), 1942. <https://doi.org/10.3390/land11111942>
- Santoro, A. (2024). Why traditional rural landscapes are still important to our future. *Landscape Ecology*, 39, 135. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01940-x>
- Schou, J. S., Upton, V., & Thorsen, B. J. (2021). Economic assessment of rewilding versus agri-environmental nature management. *Ambio*, 50(5), 1047–1057. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01423-88>
- Tengberg, A., Fredholm, S., Eliasson, I., Knez, I., Saltzman, K., & Wetterberg, O. (2012). Cultural ecosystem services provided by landscapes: Assessment of heritage values and identity. *Ecosystem Services*, 2, 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.006>
- Vargas, W., Berbel, J., del Águila, S., & Díaz-Cano, E. (2025). Economic valuation of ancestral artificial aquifer recharge systems in high mountain environments of Sierra Nevada, Spain. *Water*, 17(10), 1413. <https://doi.org/10.3390/w17101413>
- Vidal-Legaz, B., Martínez-Fernández, J., Sánchez Picón, A., & Pugnaire, F.I. (2013). Trade-offs between maintenance of ecosystem services and socio-economic development in rural mountainous communities in southern Spain: A dynamic simulation approach. *Journal of Environmental Management*, 131, 280–297. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.09.036>
- Vila-Traver, J. (2015). *Servicios ecosistémicos de las acequias de Cáñar (Granada): una aproximación desde la agroecología*. Master's Thesis, Universidad Internacional de Andalucía, Spain.
- Vivas, G., Giráldez, J. V., & Mateos, L. (2016). Water management in an ancestral irrigation system in southern Spain: A simulation analysis. *Irrigation Science*, 34(4), 343–360. <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0507-7>
- Zakaluk, T., Jódar, J., González-Ramón, A., Martín Civantos, J. M., Lambán, L. J., & Martos-Rosillo, S. (2024). Ancestral managed aquifer recharge systems and their impacts on the flow regime of a semi-arid alpine basin (Sierra Nevada, Spain). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 54, 101870. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101870>