



Ancestral Nature based
Solutions for water
management in Sierra Nevada.

Soluciones ancestrales
basadas en la Naturaleza para
la gestión del agua en Sierra
Nevada.



Sergio Martos Rosillo
s.martos@igme.es

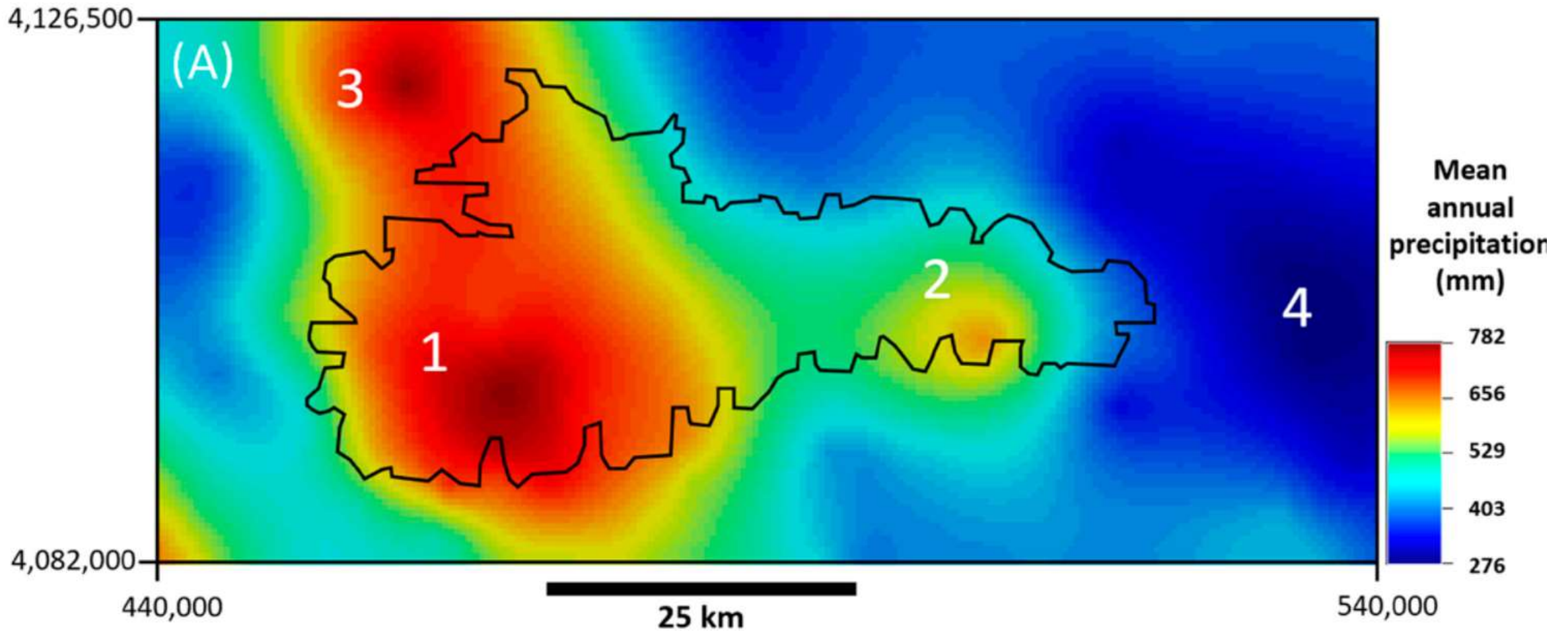
An aerial photograph showing a large, dark blue reservoir or lake in a semi-arid, brownish landscape. The reservoir is irregularly shaped and occupies a significant portion of the lower right and center of the frame. The surrounding land is dry and textured, with some lighter patches that could be snow or sand. The horizon of the Earth is visible at the top of the image, showing a thin blue line against the black sky.

**Sierra Nevada una montaña semiárida donde sus habitantes
tuvieron que agudizar el ingenio para disponer de agua durante el
verano y durante las sequias**

<http://sierranevadensis.blogspot.com.es>

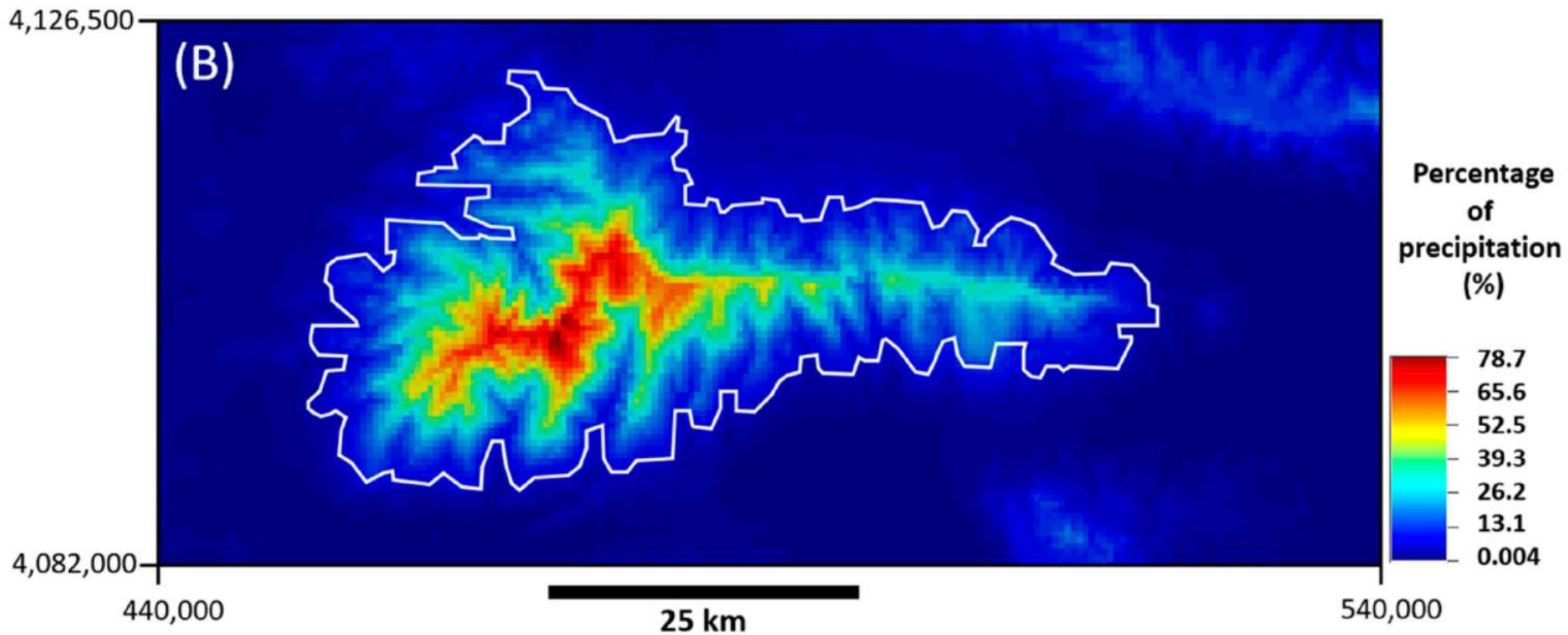
8 de septiembre de 2009/

Sierra Nevada una montaña semiárida

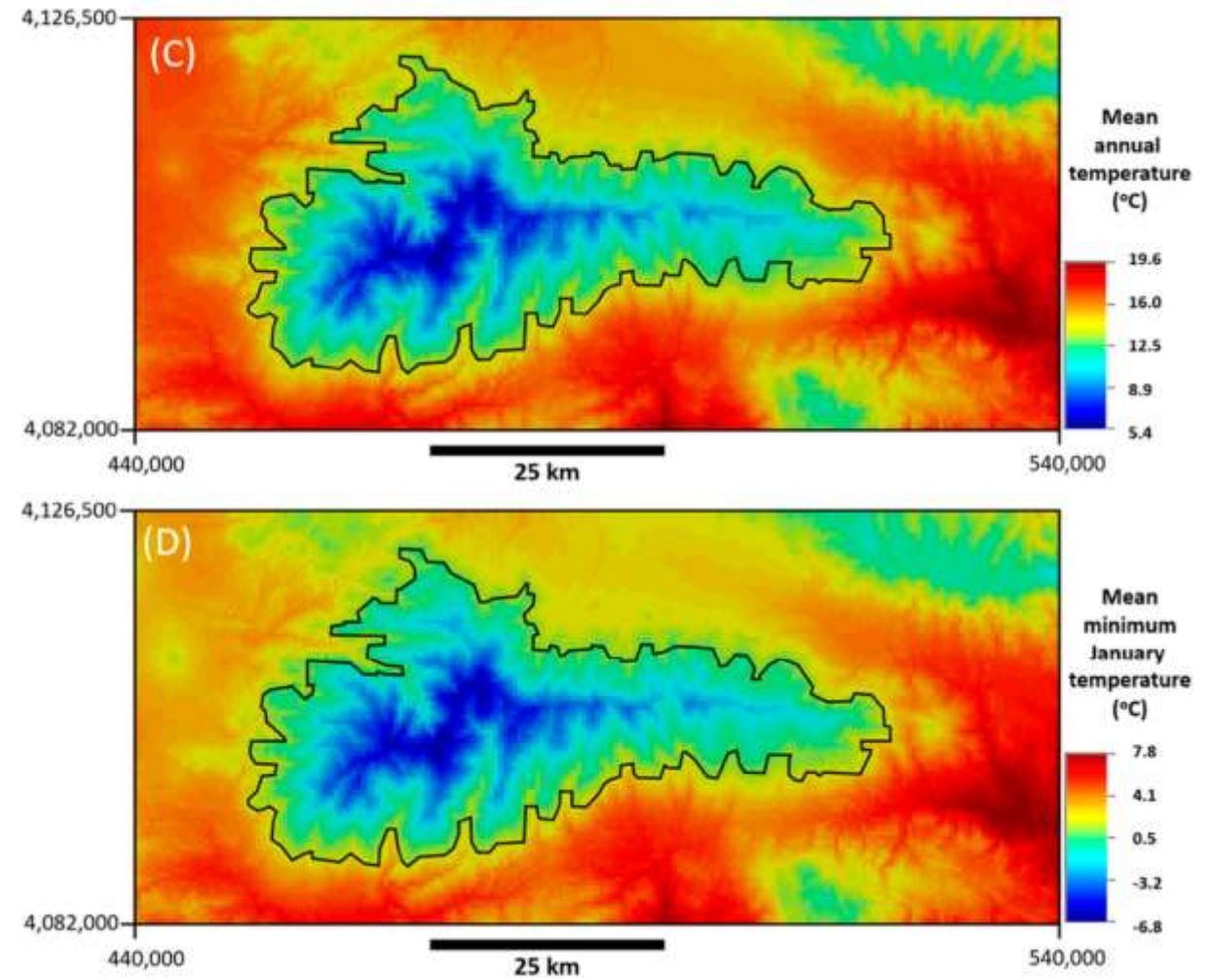
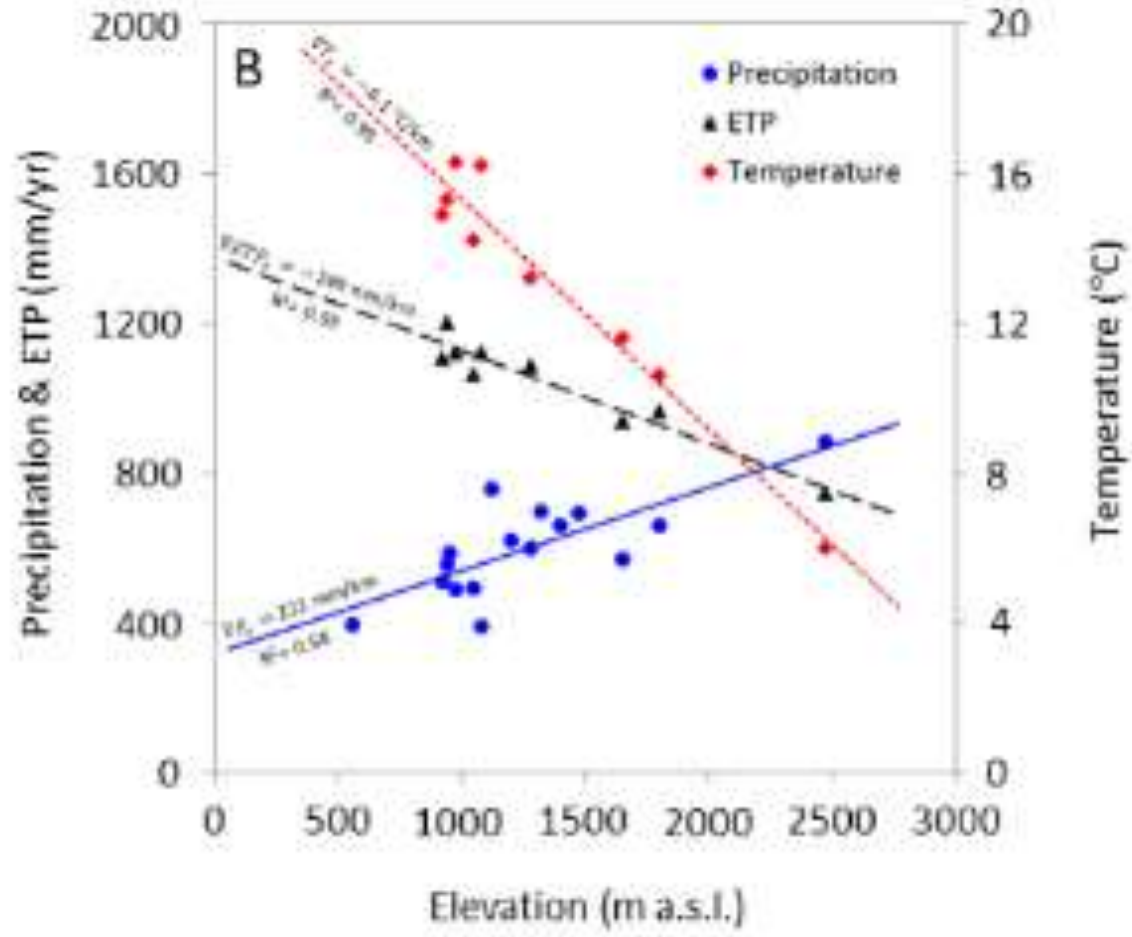


$P = 575 \text{ mm/año (1950-2016)}$

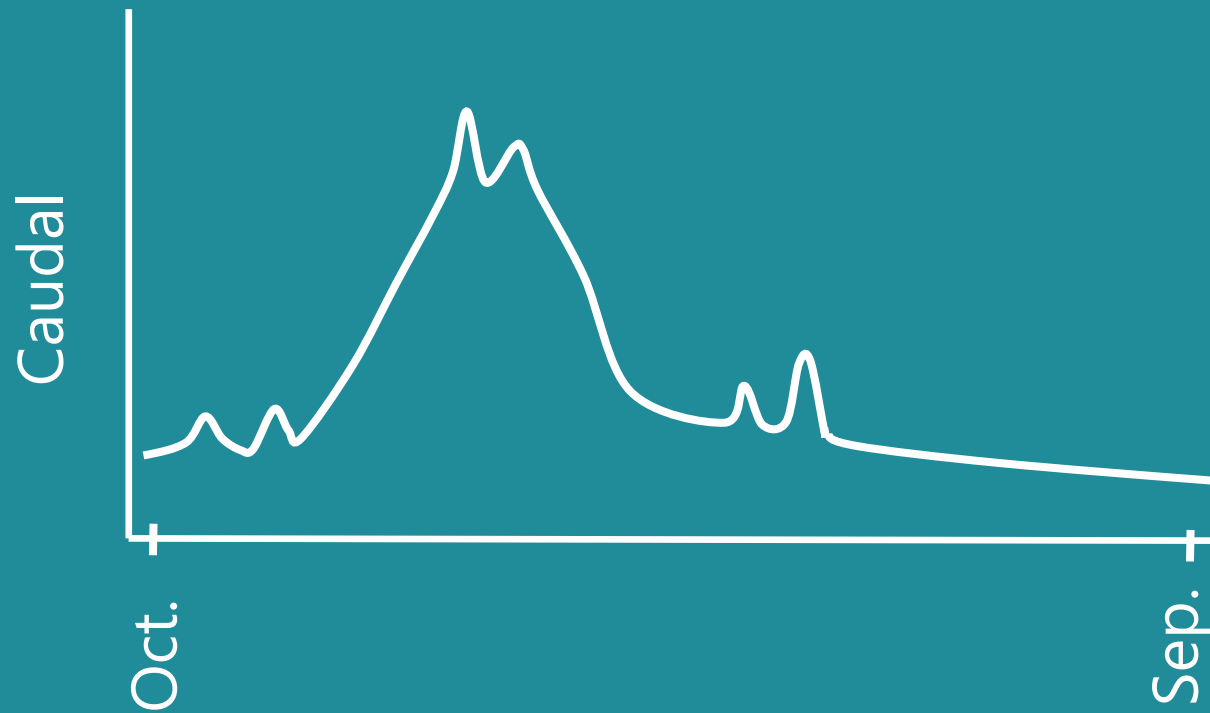
Nieve



Temperatura



Soluciones ancestrales basadas en la Naturaleza para la gestión del agua en Sierra Nevada



Los ríos de Sierra Nevada tienen un régimen nival, con un pico de caudal en el deshielo y una bajada brusca de caudal en el verano.

Había que buscar una solución para retener el agua en la montaña y esta solución se encontró, hace unos 1200 años.

Siembra y Cosecha del Agua

Procesos ancestrales basados en el conocimiento ecológico local mediante los que el ser humano recolecta e infiltra (siembra) el agua de lluvia o de escorrentía en un acuífero para recuperarla (cosecha) un cierto tiempo después.



La SyCA permitió disponer de agua para irrigar las laderas de SN, dando lugar a un paisaje cultural que es una de las señas de identidad de este Espacio Natural



Fotografía: Antonio González



Fotografía: Thomas Zakaluk

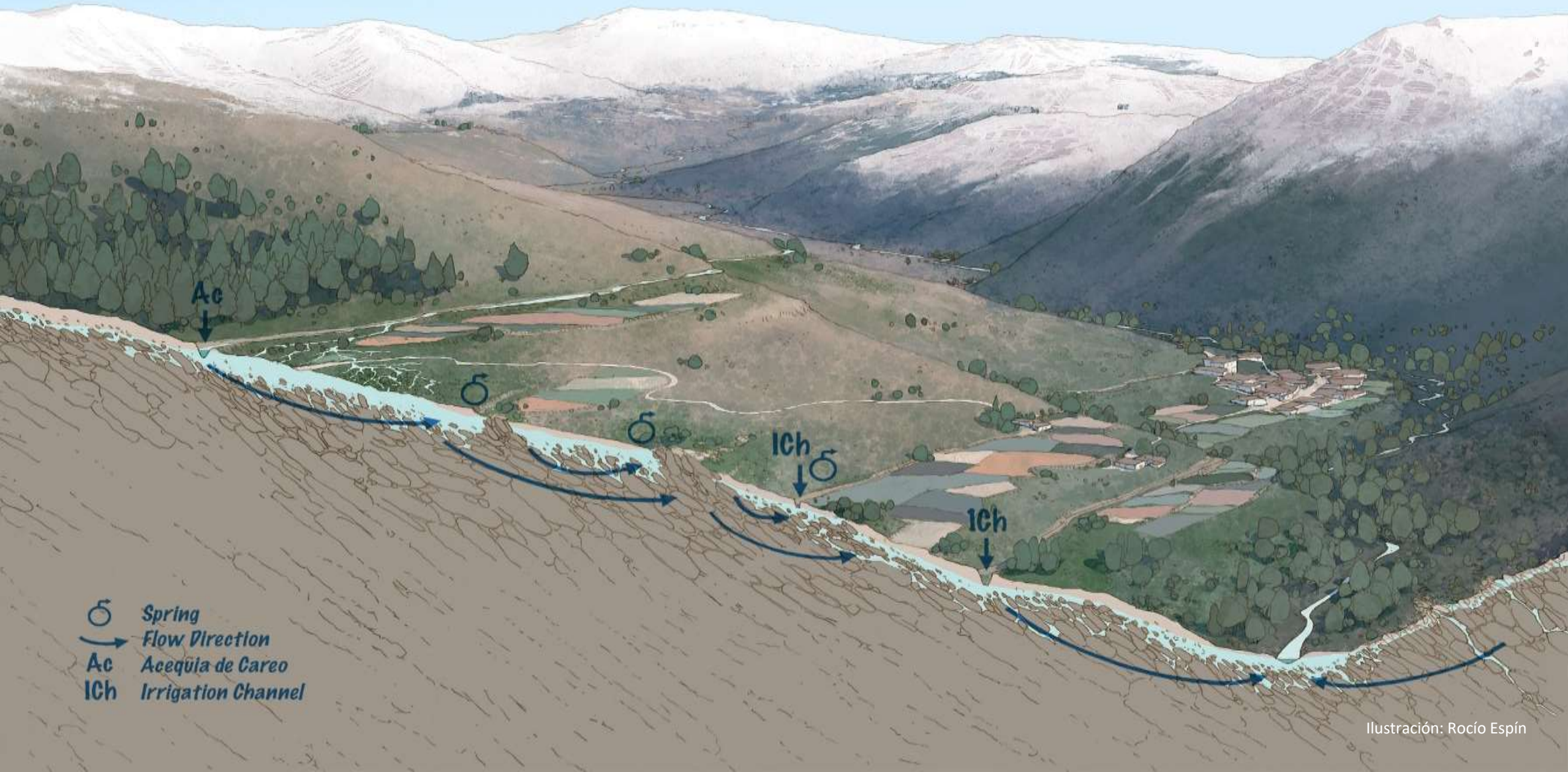


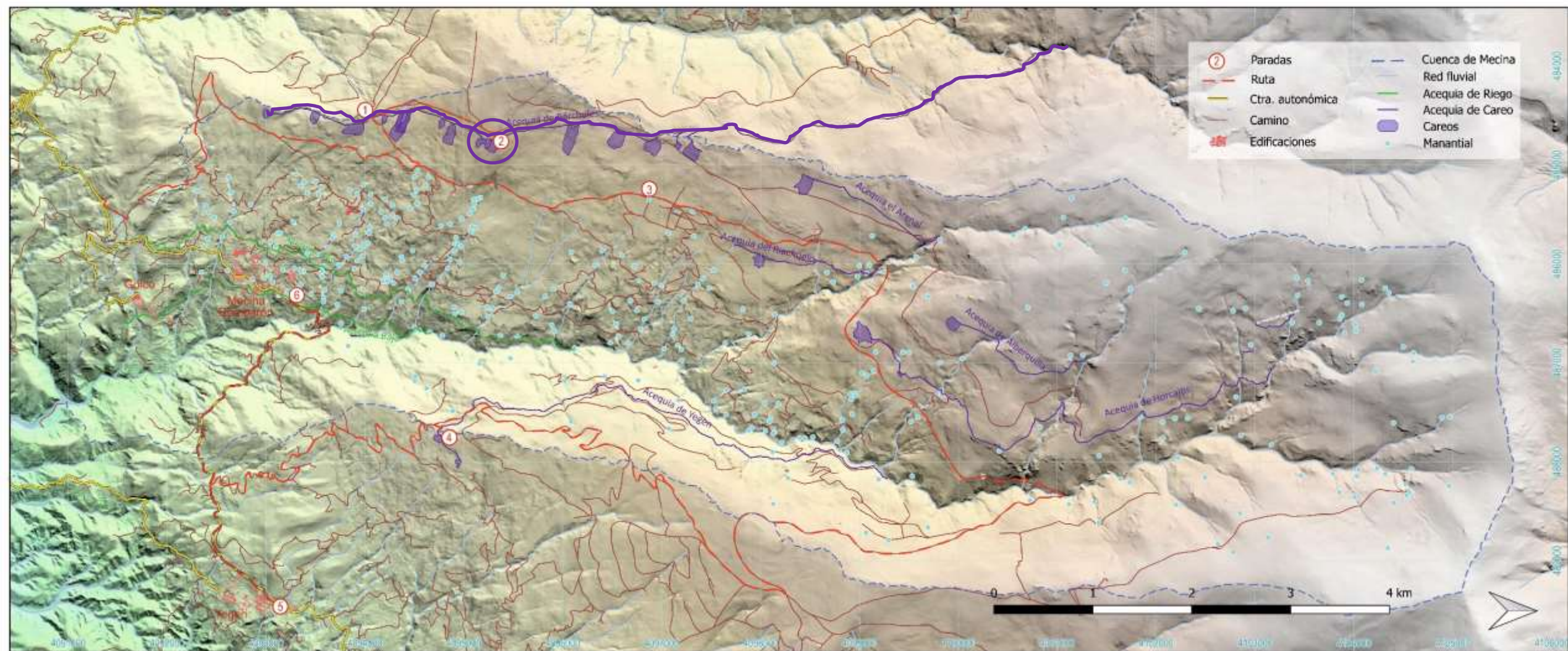
Fotografía: Antonio González

¿Cómo se siembra y cosecha agua en Sierra Nevada?



Periodo de Deshielo







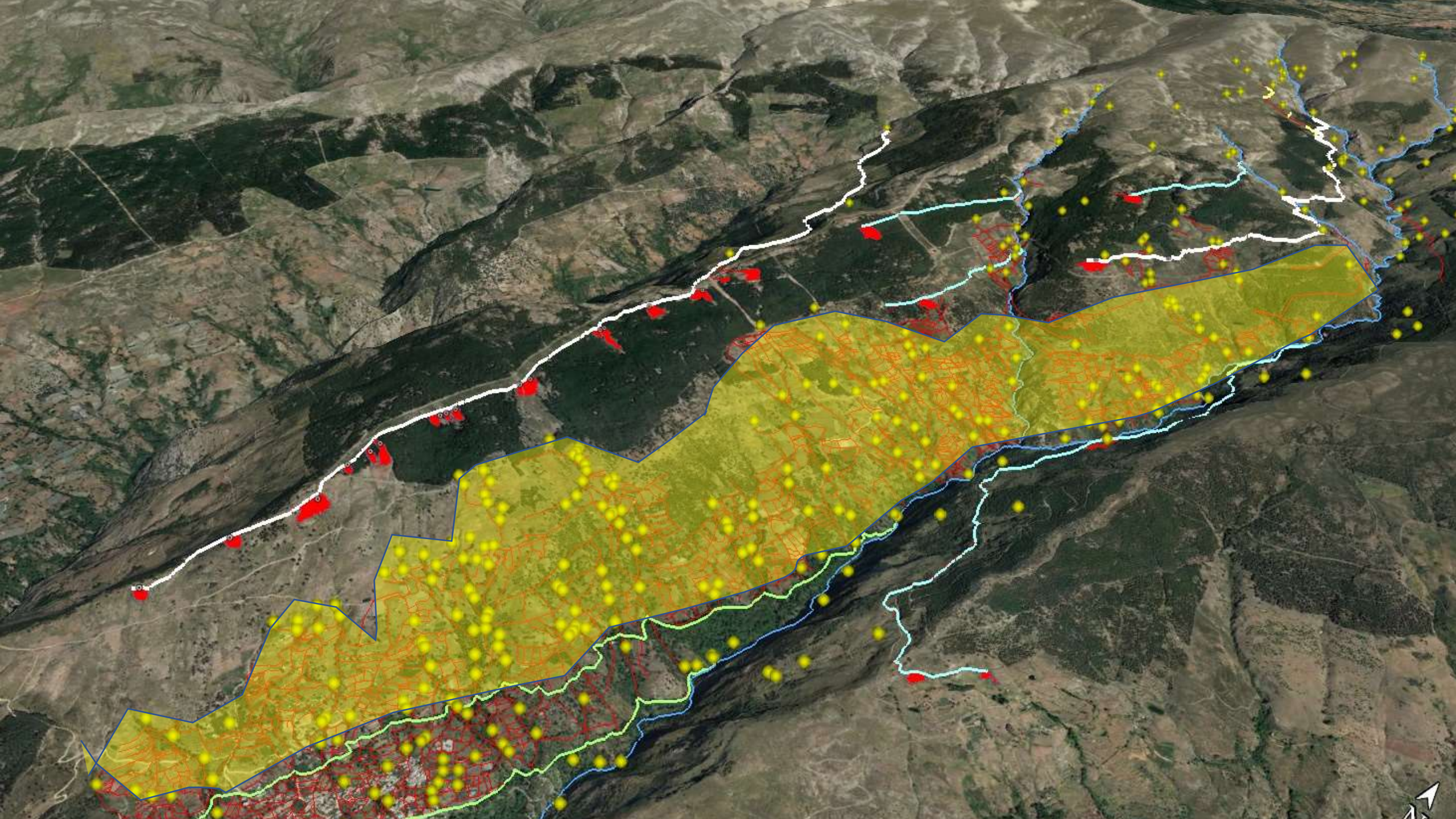


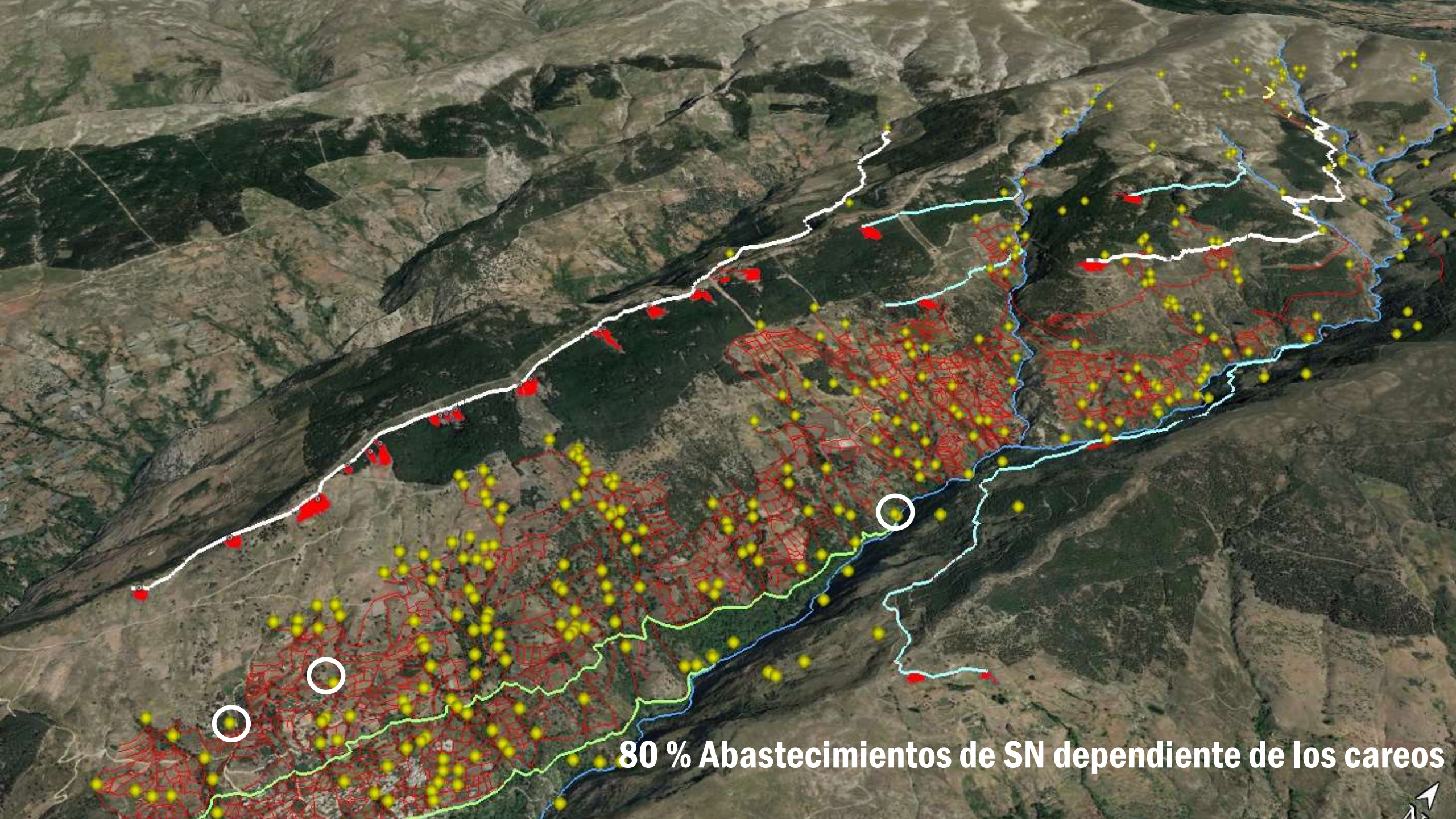
Fotografía: Jorge Rodríguez



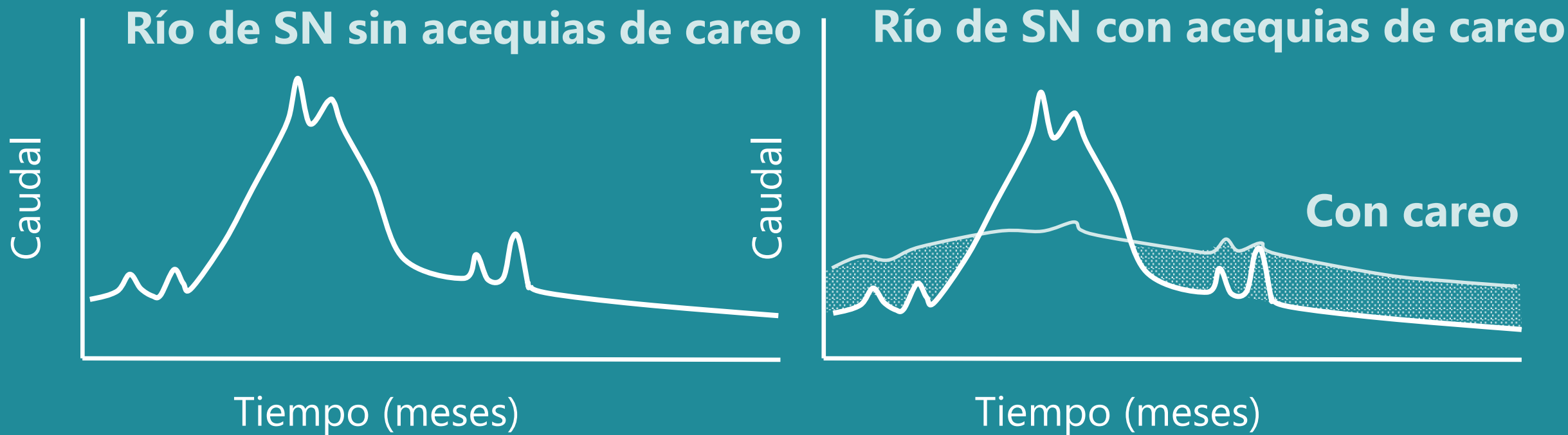
Fotografía: Jorge Rodríguez







80 % Abastecimientos de SN dependiente de los careos

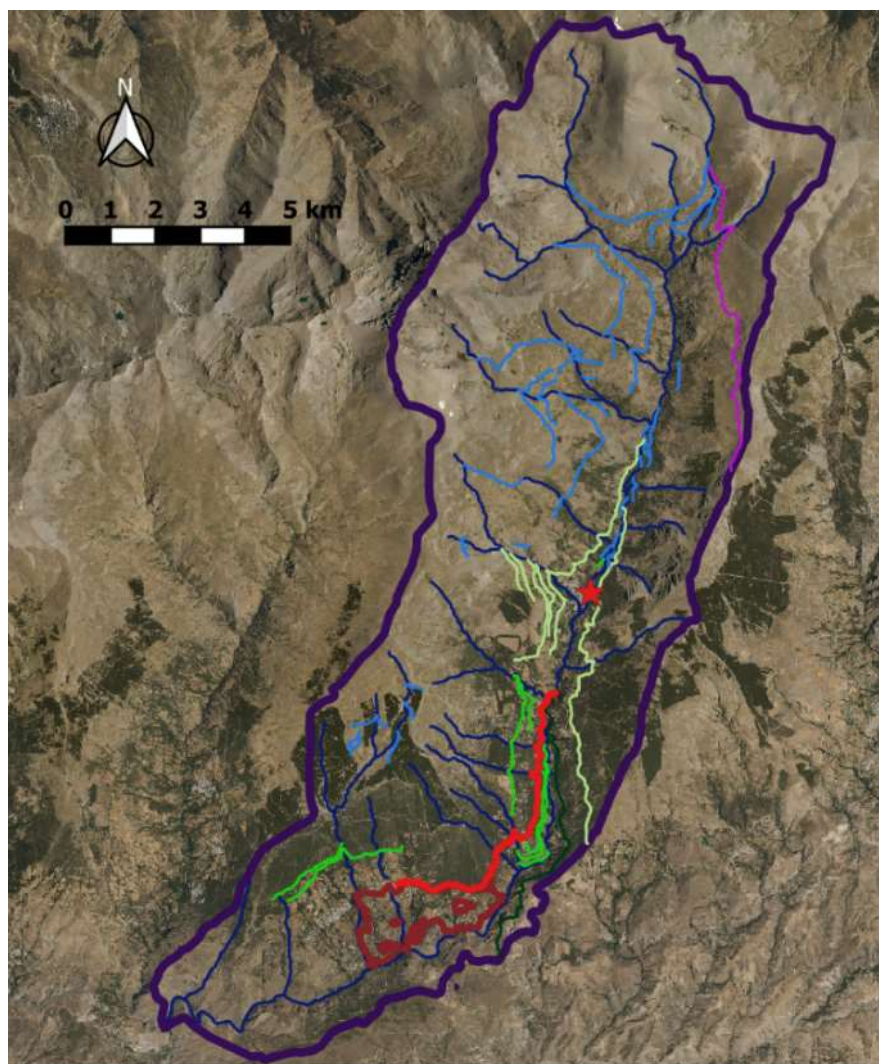


En las cuencas hidrológicas investigadas las acequias de careo
permiten **duplicar** el caudal de los ríos en verano

Periodo de Estiaje







- ▮ Trevélez river watershed
- ▮ Busquistar 'Acequia'
- ▮ Busquistar Irrigation Scheme
- ▮ Main water stream
- ★ Hydrological gauging
- ▮ 'Acequia' - Function
- ▮ Recharge (R)
- ▮ (R) and grass irrigation
- ▮ (R) and grass and crop irrigation
- ▮ (R) and crop irrigation - no grass
- ▮ Crop irrigation - no grass

Abierta agrícola
Árboles (la mayoría cultivados), grupo de chopos y arbustos aislados junto a la acequia.
NDVI=0,45

Abierta forestal
Árboles y arbustos aislados junto a la acequia.
NDVI=0,41

Fronza spp
Fronza continua de árboles y arbustos junto a la acequia
NDVI=0,57

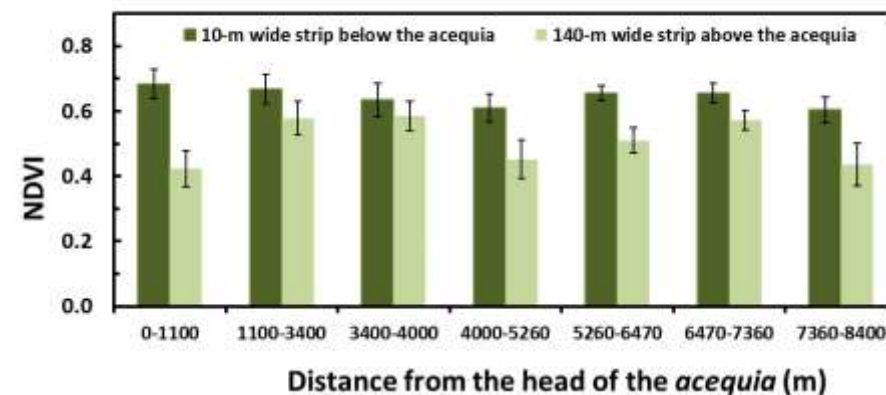
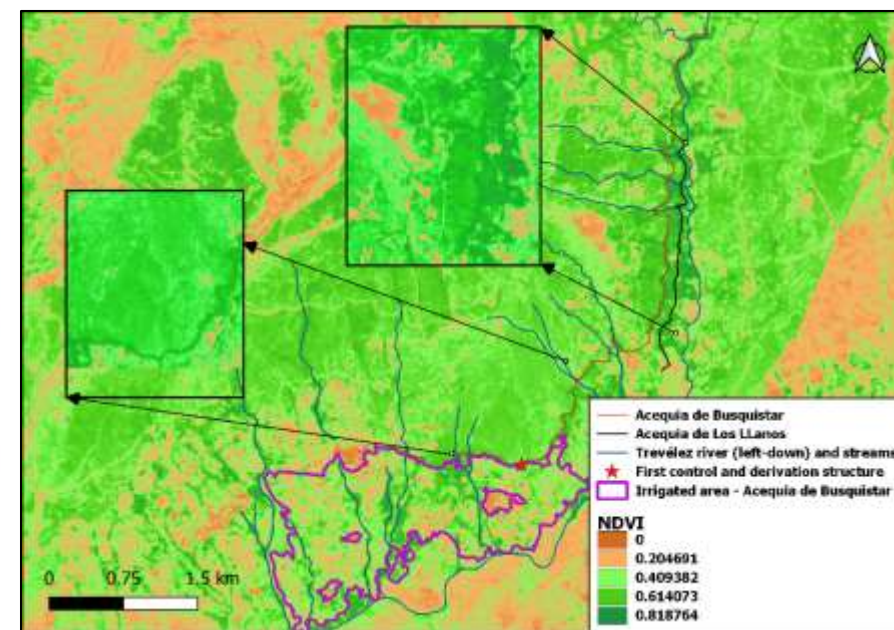
Seto de mimbre
Seto de mimbre de altura media dominante, junto a otras especies
NDVI=0,59

Mimbre & otros
Dominan mimbres adultos; otros árboles de gran porte y arbustos junto a la acequia.
NDVI=0,61

Galería de robles
Robles de gran porte y escasos árboles de otras especies junto a la acequia, a modo de bosque de galería.
NDVI=0,63

Galería de castaños
Castaños de gran porte y algún ejemplar de mimbre junto a la acequia, a modo de bosque de galería
NDVI=0,66

Galería de alisos
Aliseda junto a la acequia, a modo de bosque de galería. Algún ejemplar de otras especies
NDVI=0,72



El riego por inundación en terrazas (Agri-MAR) es eficiente a escala de cuenca hidrológica si se tiene en cuenta sus servicios ecosistémicos

Agricultural Systems 203 (2022) 103513



Contents lists available at ScienceDirect

Agricultural Systems

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agry



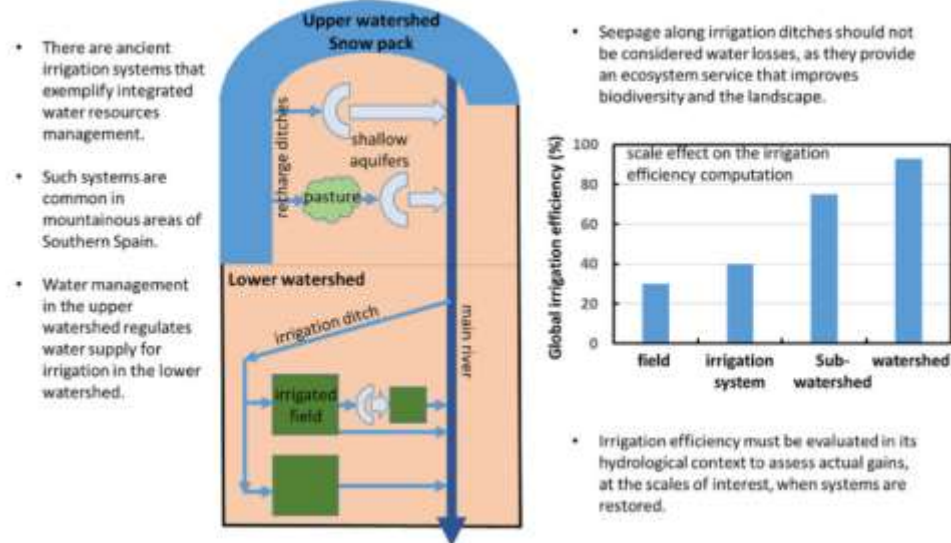
Revisiting irrigation efficiency before restoring ancient irrigation canals in multi-functional, nature-based water systems

Nicolás A. Oyonarte^a, Helena Gómez-Macpherson^b, Sergio Martos-Rosillo^c, Antonio González-Ramón^c, Luciano Mateos^{b,*}

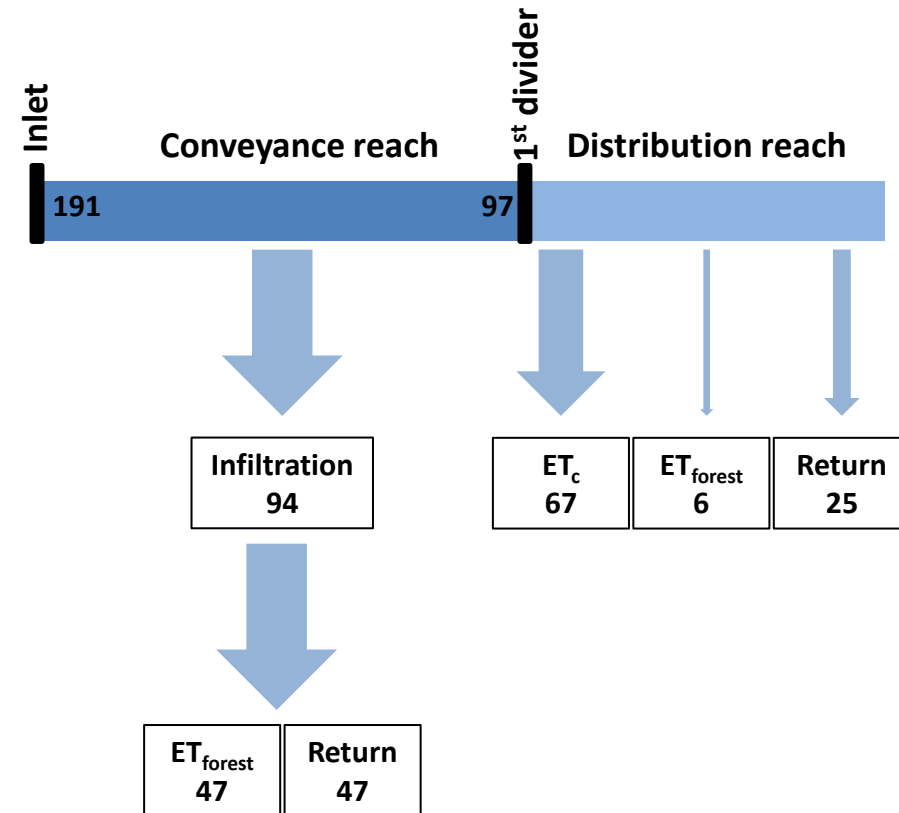
^a Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía, c/ Hermanos Machado 4, 04004 Almería, Spain

^b Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Alameda del Obispo, 14004 Córdoba, Spain

^c Instituto Geológico y Minero de España, CSIC, Urb. Alcazar del Genil 4, Edificio Zulema Bajo, 18006 Granada, Spain



June 23, 2017



(Oyonarte et al., 2022)

Las acequias de careo y los sistemas de regadío tradicional (incluidos los pastos) aumentan notoriamente la recarga de agua subterránea en zonas de montaña, aumentan el caudal de base de los ríos, reducen la temperatura media del agua superficial, ayudan a la flora y a la fauna a superar las sequías, mejoran la biodiversidad y proveen numerosos servicios ecosistémicos

¿Cómo hemos demostrado esto?



2014

2016

Evaluación de tiempos de tránsito y de la cota de recarga con trazadores ambientales (Jódar et al., 2016 a y b)

Hidrogramas planos y alta comp. subterránea (Jódar et al., 2017)

ETR elevada en montes de repoblación (Jódar et al., 2018a)

Recarga total anómala por las acequias (Jódar et al., 2018b)

Conexión acequia-acuífero-río (Barberá et al., 2019)

MAR más antiguo de Europa (Martos-Rosillo et al., 2019)

Ejemplo de resiliencia y de herra. adaptación al CC.
(Martos-Rosillo et al., 2018)

2021

SyCA vs Eco-NbS (Catacocha) (Albarracín et al., 2021)

2022

La recarga con careos puede igualar a la recarga natural (Jódar et al., 2022a)

Sistema eficiente que proporciona variados servicios ecosistémicos y aumenta la biodiversidad (Oyonarte et al., 2022)

SyCA como herramienta para la Transición Ecológica (Jódar et al., 2022b)

SyCA vs. Arqueología Hidráulica (Civantos et al., 2023)

2024

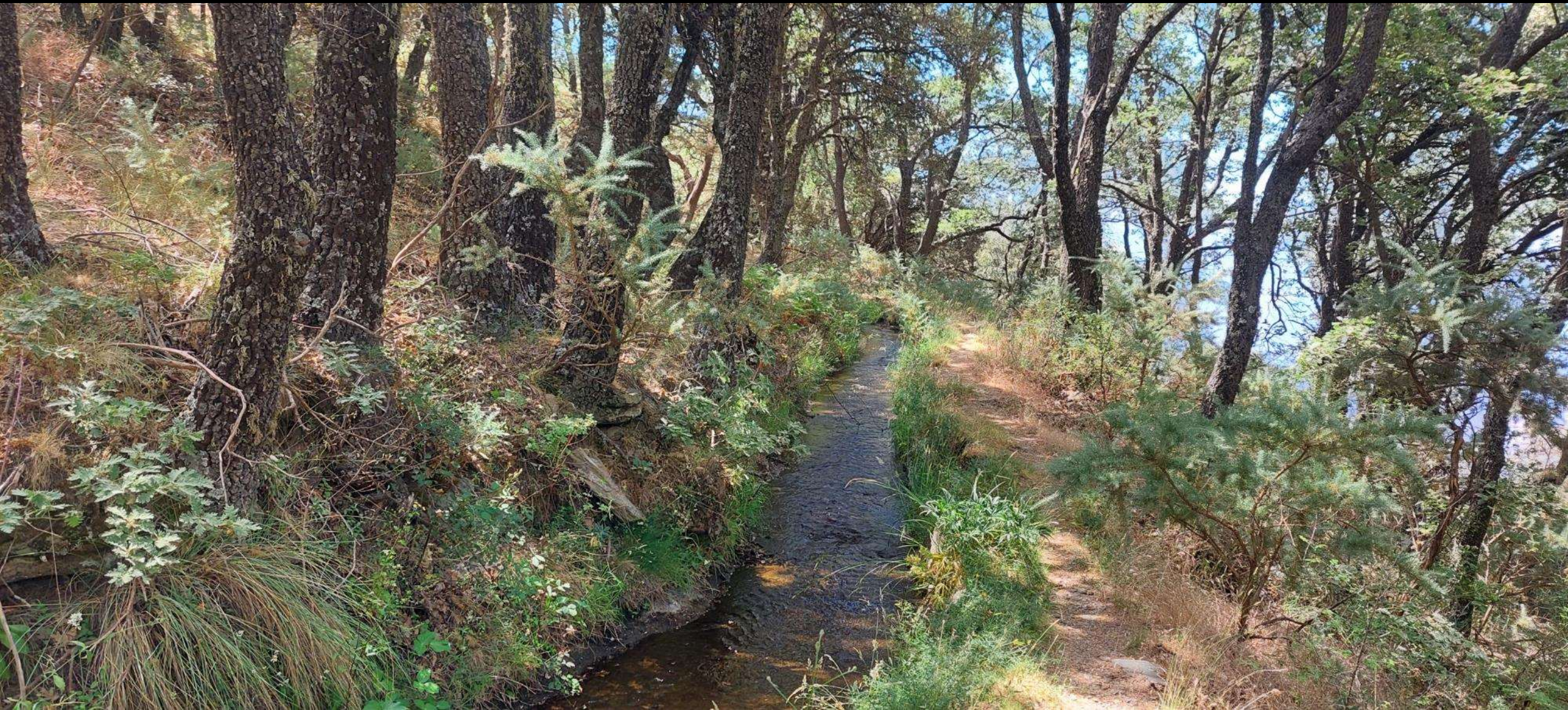
Impacto SyCA en reg. func. río (Zakaluk et al., 2024)

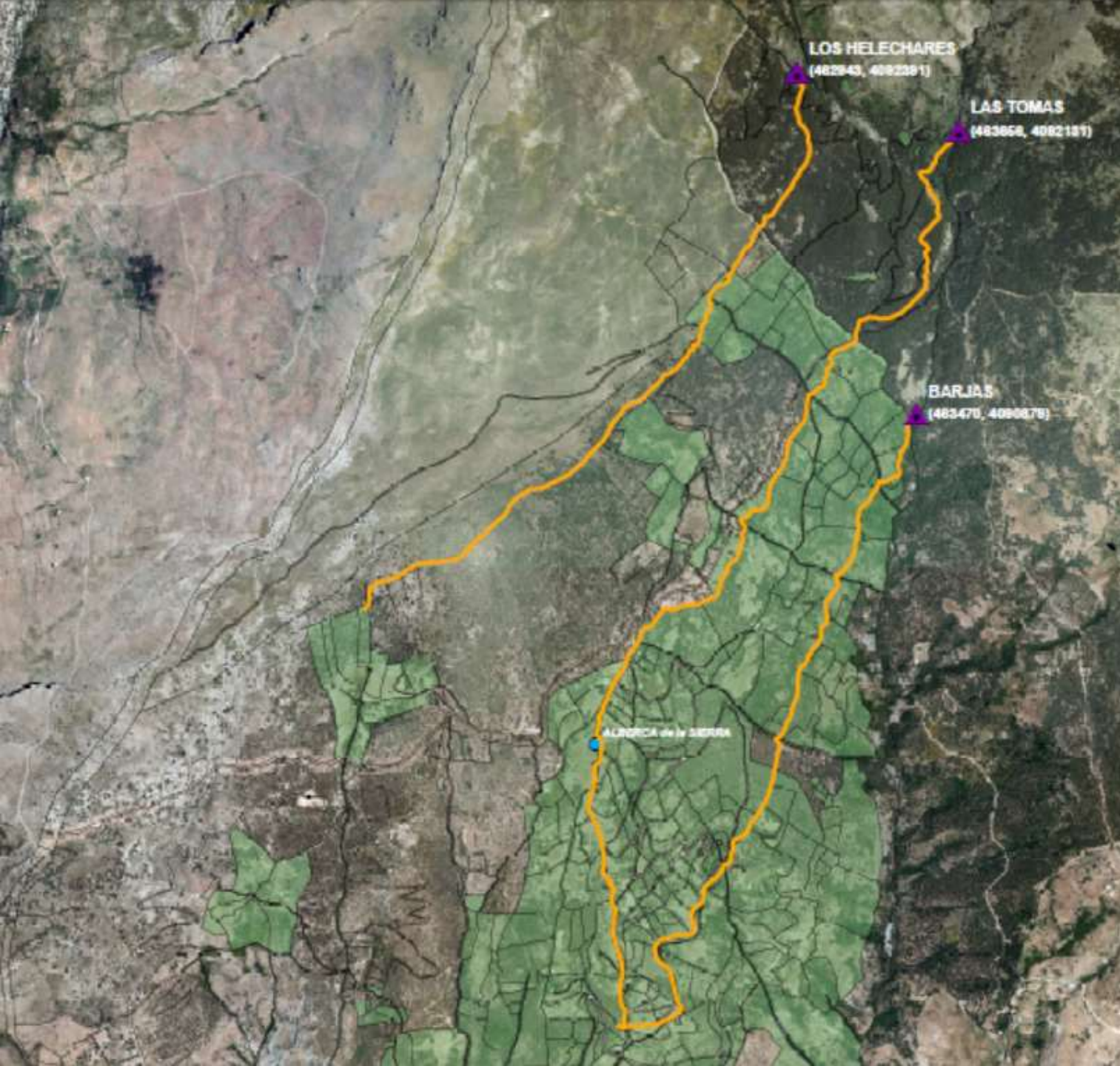
SyCA Ecuador (Albarracín et al., 2024)

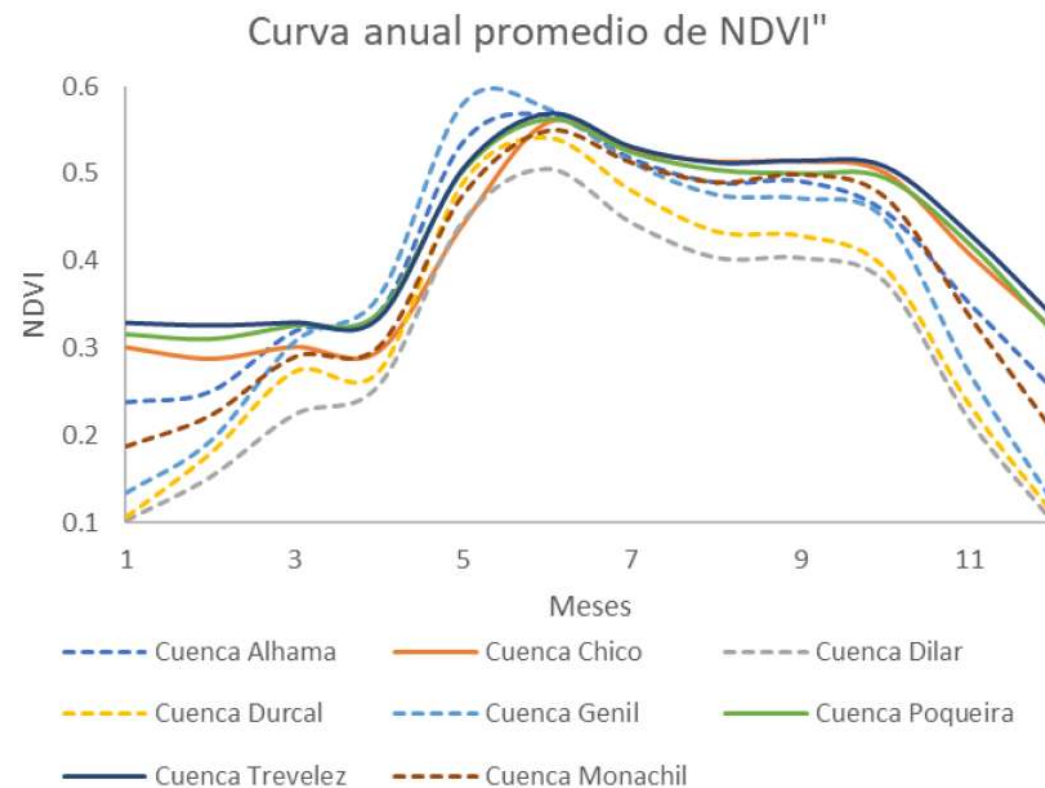
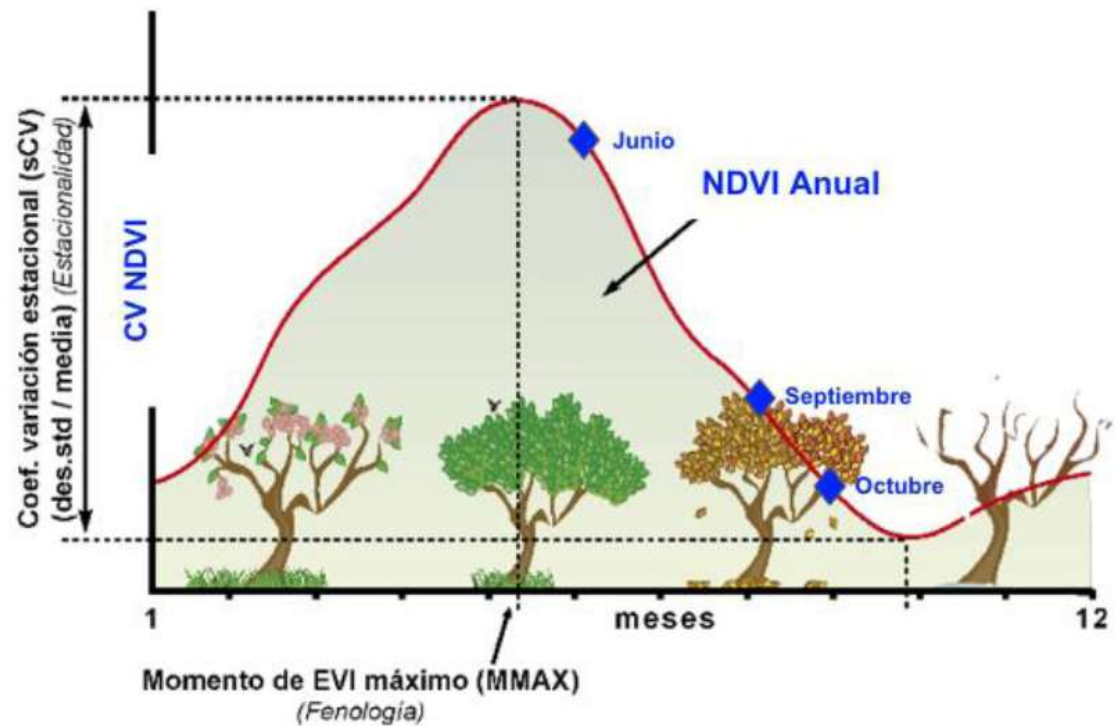
15 artículos SCI, 12 del 1^{er} cuartil

Las acequias de careo y los sistemas de regadío tradicional (incluidos los pastos) aumentan notoriamente la recarga de agua subterránea en zonas de montaña, aumentan el caudal de base de los ríos, reducen la temperatura media del agua superficial, ayudan a la flora y a la fauna a superar las sequías, mejoran la biodiversidad y proveen numerosos servicios ecosistémicos









(Giraldo-Quintero et al., 2023)



Las acequias de careo ayudan a los árboles a superar los periodos de sequia

Science of the Total Environment 960 (2024) 175363

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scotenv

Watering the trees for the forest: Drought alleviation in oaks and pines by ancestral ditches

J. Julio Camarero^{a,*}, María J. Salinas-Bonillo^{b,c}, Cristina Valeriano^{a,d}, Álvaro Rubio-Cuadrado^{a,e}, Ángel Fernández-Cortés^{b,e}, Elisa Tamudo^a, Fernando Montes^f, Javier Cabello^{b,e}

^a Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC), Avda. Montañana 1005, 50182 Zaragoza, Spain
^b Departamento de Biología y Geología, Universidad de Almería, 04120 Almería, Spain
^c Centro Andaluz para el Cambio Global, Hemisférico Centro (HNCOLBA), Universidad de Almería, Almería, Spain
^d Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1215 E. Lowell Street, Building no. 45, Tucson, AZ 85721, USA
^e Departamento de Sistemas y Recursos Naturales, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, Spain
^f Departamento de Dinámica y Gestión Forestal, Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR-IOIA), CSIC, Ctra. La Coruña km 7.5, 28040 Madrid, Spain

HIGHLIGHTS

- Traditional ditches (“acequias”) infiltrate water in Sierra Nevada, SE Spain.
- Oaks grew more and responded less to drought near ditches, whereas pines only grew more in a dry year.
- Climate-growth relationships indicate pines show longer growing season near ditches.
- Ditches alleviate drought stress in oak and pines under arid conditions.

GRAPHICAL ABSTRACT



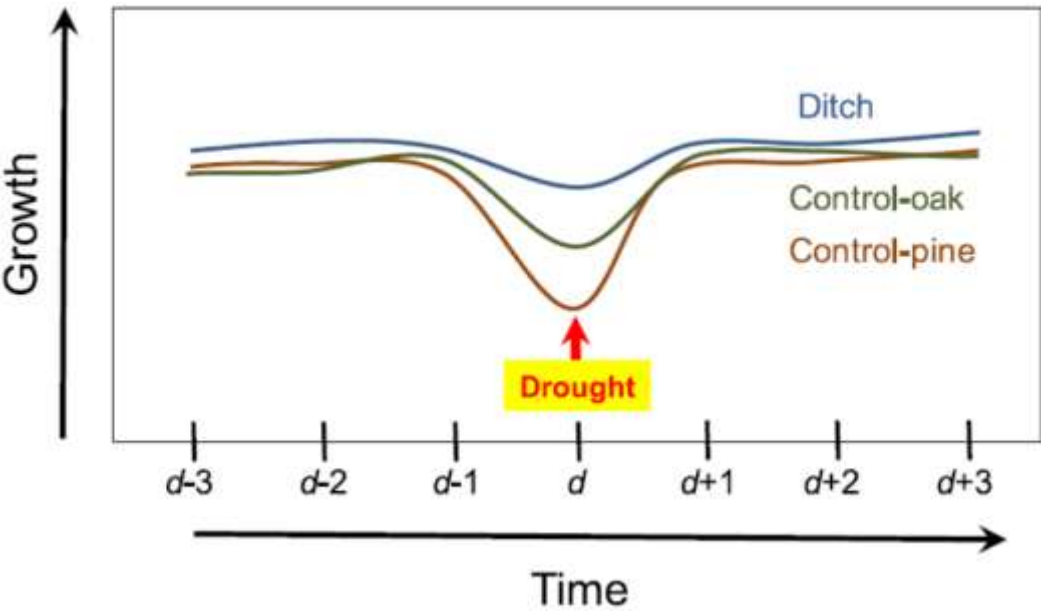
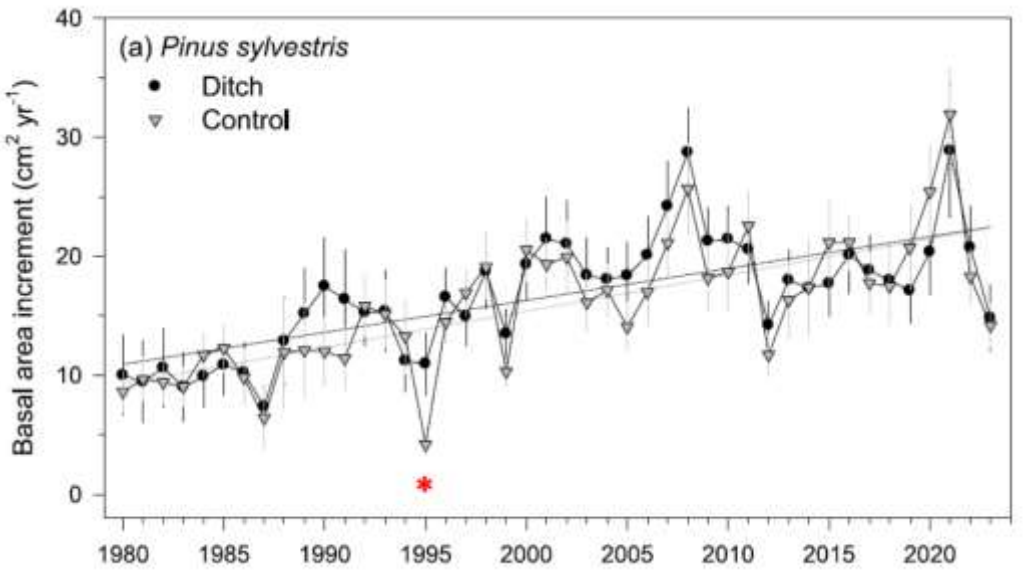
ARTICLE INFO

Editor: Manuel Enriquez Lucero-Sorja

Keywords:
Nature-based solution
Pinus sylvestris
Quercus pyrenaica
Radial growth
Resilience indices
Sierra Nevada (Spain)

ABSTRACT

Traditional ditches (“acequias” in Spanish) derive meltwater and infiltrate groundwater providing ecological services downstream in the semi-arid Sierra Nevada range (SE Spain). Therefore, they may act as a nature-based solution by alleviating drought stress in trees growing near ditches by enhancing growth and reducing their intrinsic water-use efficiency (IWUE). Such a mitigation role of acequias is critical given that some oak (*Quercus pyrenaica*) and pine (*Pinus sylvestris*) stands reach their seral distribution limits in Europe. We compared tree-ring width data and wood $\delta^{13}C$, a proxy of IWUE, in oak and pine stands located near or far (control) from ditches with different infiltration capacity in two watersheds. We assessed how trees responded to climate data, drought stress, and vegetation greenness through correlations and resilience indices. Oak trees located near ditches grew more and responded less to precipitation, soil moisture, a drought index, and greenness than control trees. In







Fotografía: Blas Ramos



Fotografía: Blas Ramos

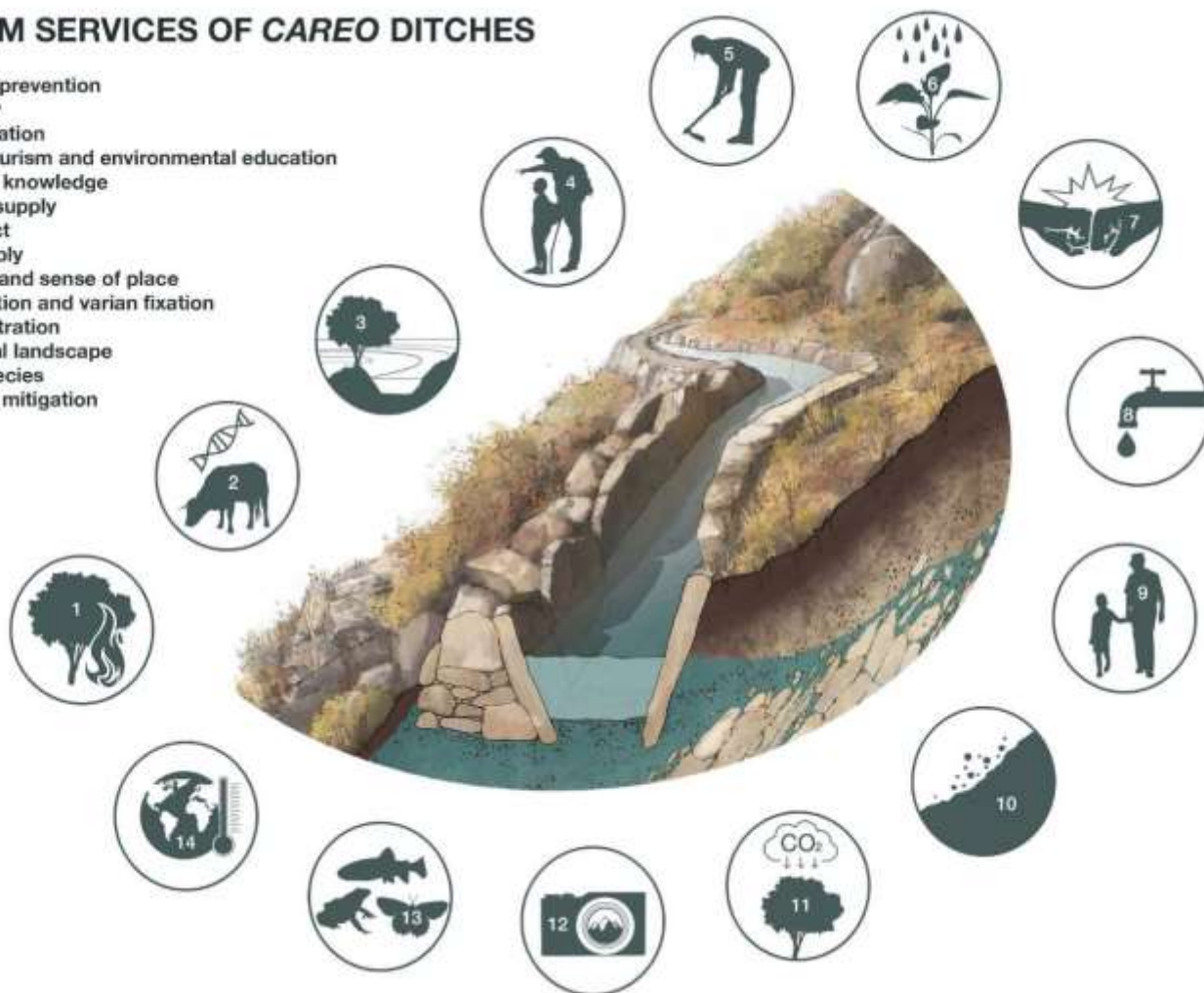


Fotografía: Blas Ramos



ECOSYSTEM SERVICES OF CAREO DITCHES

- 1 Natural disaster prevention
- 2 Genetic diversity
- 3 Water flow regulation
- 4 Recreation, ecotourism and environmental education
- 5 Local ecological knowledge
- 6 Irrigation water supply
- 7 Source of conflict
- 8 Fresh water supply
- 9 Cultural identity and sense of place
- 10 Erosion prevention and varian fixation
- 11 Carbon sequestration
- 12 Shaping cultural landscape
- 13 Habitats for species
- 14 Climate change mitigation



COST-BENEFIT ANALYSIS OF CAREO CHANNELS AND THE TRADITIONAL IRRIGATION SYSTEM OF SIERRA NEVADA, GRANADA AND ALMERÍA (SPAIN)

Environmental and Natural Resource Economics

Msc Thesis



Embalse de Rules

Capacidad de embalse: 114 hm^3 Coste
de ejecución: 228 millones de € (2004)

Costes de mantenimiento: 630.000 €/año

Vida útil: 50 años

Coste regulación embalse: $0,04 \text{ €/m}^3$

Coste regulación acequias: $0,04 \text{ €/m}^3$



Article

Economic Valuation of Ancestral Artificial Aquifer Recharge Systems in High Mountain Environments of Sierra Nevada, Spain

Wilber Vargas ^{1,2,*}, Julio Berbel ³, Sandra del Aguila ⁴ and Esther Díaz-Cano ³

¹ Escuela de Posgrado, Doctorado en Ingeniería y Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Agraria La Molina (Perú), Av. La Molina s/n, La Molina-Lima 15024, Peru

² Instituto de Estudios de Posgrado, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, 14014 Córdoba, Spain

³ WEARE Research Group, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, 14014 Córdoba, Spain; estbevej@uco.es (J.B.); edcano@uco.es (E.D.-C.)

⁴ Department of Agronomy and Zootechnics, School of Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, National University of San Cristobal de Huamanga (Perú), Ayacucho 05000, Peru; sandra.delaguila@unsh.edu.pe

* Correspondence: wilbervargashuanca@gmail.com

Abstract: The study applies a cost-benefit analysis approach to assess the ecosystem services provided by ancestral systems of artificial recharge of high mountain aquifers, the “acequias de careo” (careo channels), in the Bérchules River basin, located in the Sierra Nevada, Spain. The methodology is structured in three main phases: (i) the definition of scenarios and system boundaries; (ii) the selection of ecological, social, and economic indicators; and (iii) the monetary valuation of benefits in comparison with operation and maintenance costs. The findings indicate that the studied system generates social, environmental, and economic benefits exceeding €22.2 million per year, while its operation requires only €43,352 annually. This gives a benefit/cost (B/C) ratio of 512, demonstrating its extremely high social profitability. These results highlight the potential of such infrastructures as nature-based solutions that can enhance water availability both temporally and spatially, mitigate the impacts of extreme events (such as droughts and floods), and strengthen local resilience to climate change. Moreover, they contribute to cultural heritage preservation and promote community cohesion.

Los resultados indican que el coste de mantenimiento y operación de las acequias de careo de la cuenca del río Bérchules es de 0,009 €/m³ y que este sistema de SyCA genera beneficios sociales, medioambientales y económicos superiores a 22,2 millones de euros al año, mientras que su funcionamiento requiere sólo 43.352 € anuales. Esto da una relación beneficio/coste (B/C) de 512, lo que demuestra su altísima rentabilidad social.

¿Es la Siembra de Agua una Solución basada en la Naturaleza para la Gestión del Agua?

Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) aplicadas a la Gestión del Agua (SbNGA)

Las SbNGA consisten en una serie de procesos naturales, o que imitan a la naturaleza, con los que se persigue mejorar la disponibilidad y calidad del agua, para reducir los riesgos de los desastres asociados al agua (sequías, inundaciones...) y para aumentar los servicios ecosistémicos, la resiliencia y la biodiversidad.

5ª Resolución - Asamblea ONU, Nairobi 2021



UICN, 2016

Estándar global de SbN de la Unión Internacional de la Naturaleza (UICN)

8 Criterios y 28 indicadores.

Criterio 1: Las SbN responden eficazmente a los desafíos sociales

Criterio 2: El diseño de las SbN se adapta a la dimensión

Criterio 3: Las SbN deben generar una ganancia neta en términos de biodiversidad e integridad de los ecosistemas

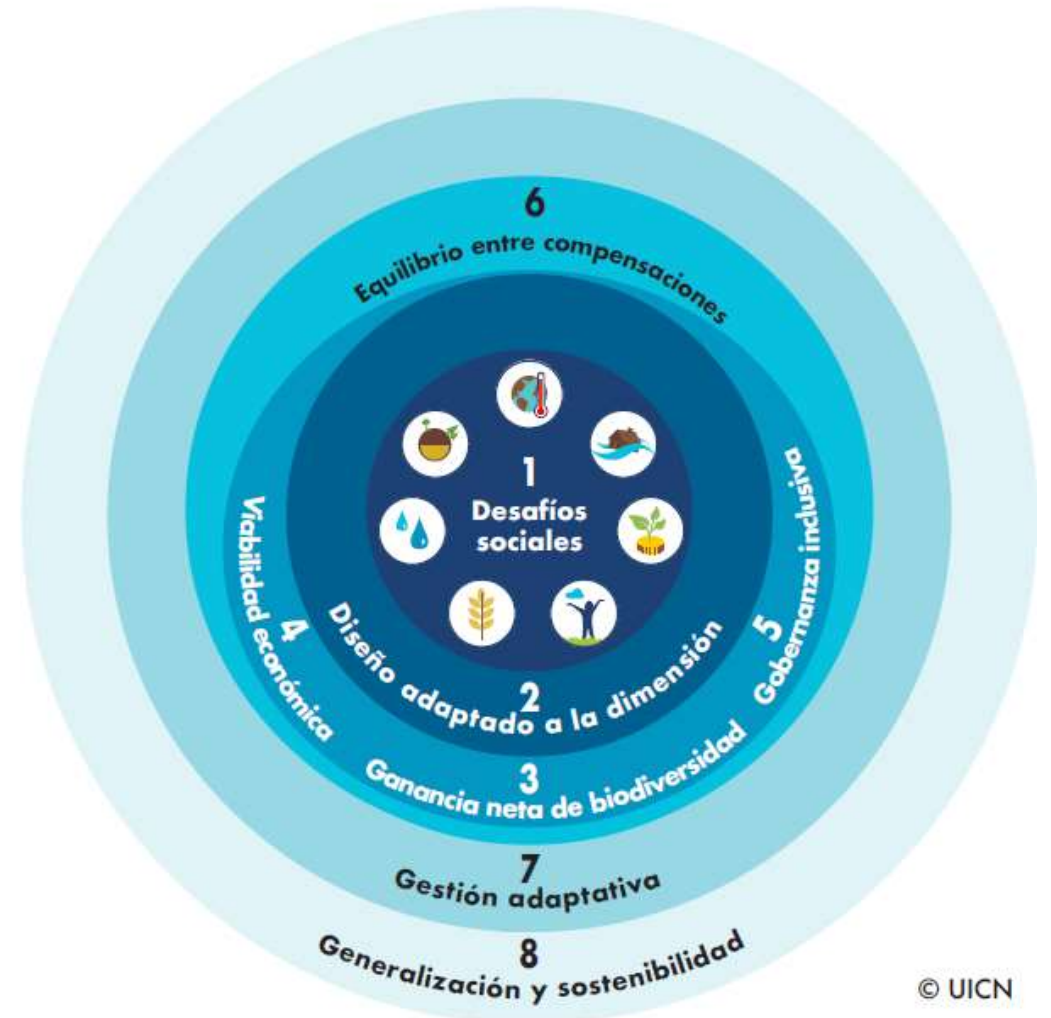
Criterio 4: Las SbN son económicamente viables

Criterio 5: Las SbN se basan en procesos de gobernanza inclusivos, transparentes y empoderadores

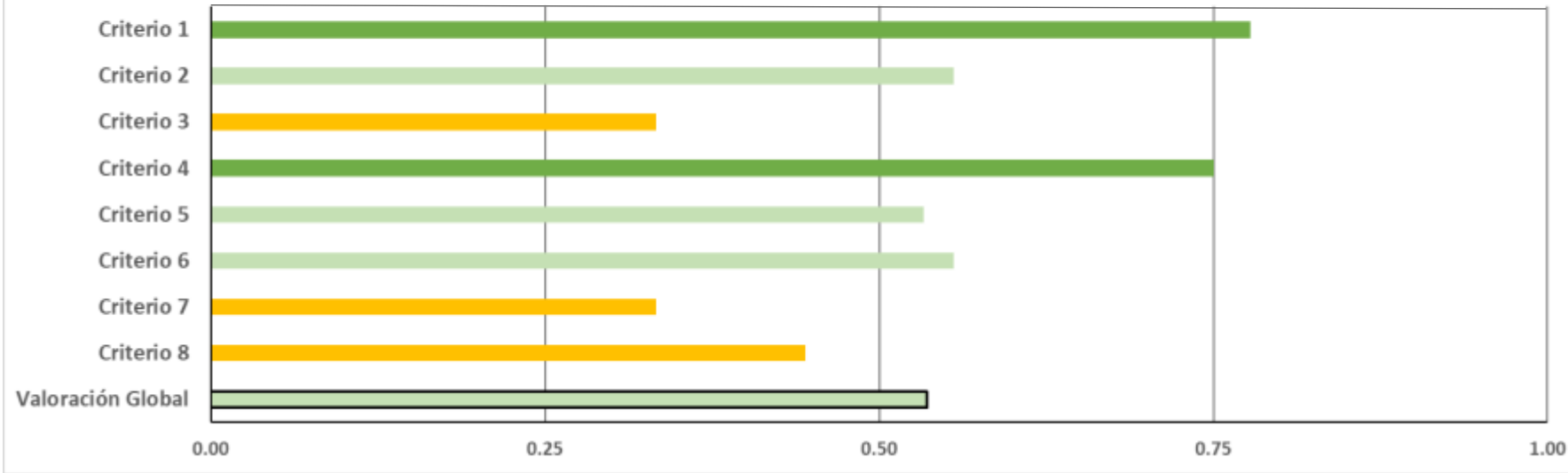
Criterio 6: Las SbN ofrecen un equilibrio equitativo entre el logro de sus objetivos principales y la provisión constante de múltiples beneficios

Criterio 7: Las SbN se gestionan de forma adaptativa, con base en datos

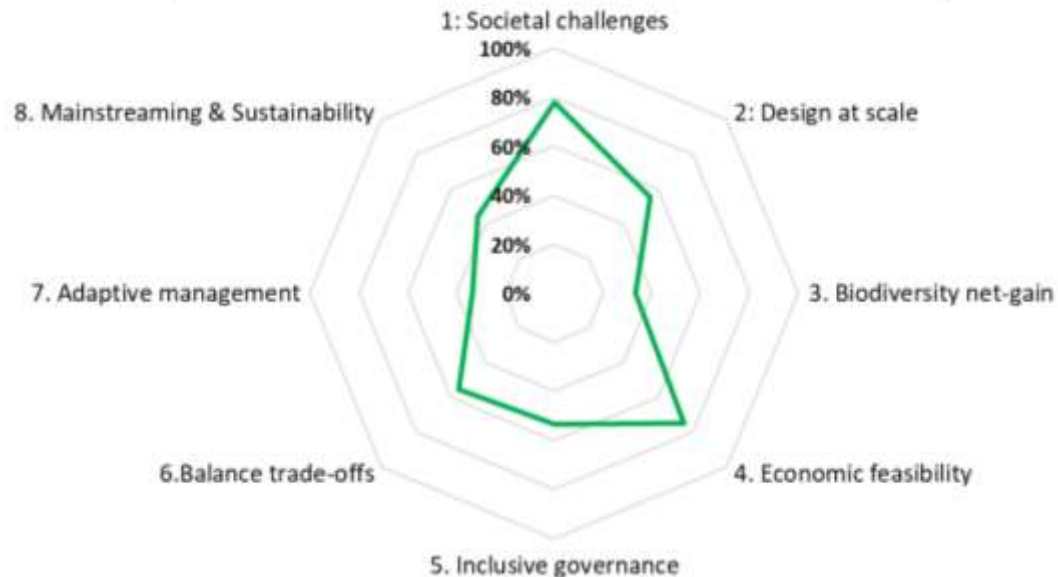
Criterio 8: Las SbN son sostenibles y se integran en un contexto jurisdiccional adecuado



Los Careos (Sierra Nevada, España) Aplicación del *Estándar Global para SbN* (IUCN)



IUCN Global Standard for NbS - Self-assessment



Aplicación del estándar IUCN

Puntuación Global (53,5 %)
Los Careos son SbN





EIP-AGRI Focus Group Nature-based Solutions for water management under climate change

FINAL REPORT – October 2022





UNESCO-IHP Ecohydrology Programme

acknowledge

*Acequías de careo in Sierra Nevada
(Southern Spain)*

to become part of the
World Network of Ecohydrology Demonstration Sites
of UNESCO's Intergovernmental Hydrological Programme (UNESCO-IHP)

21 June 2022

Maciej Zalewski
Chair,
UNESCO's Ecohydrology
Scientific Advisory Committee

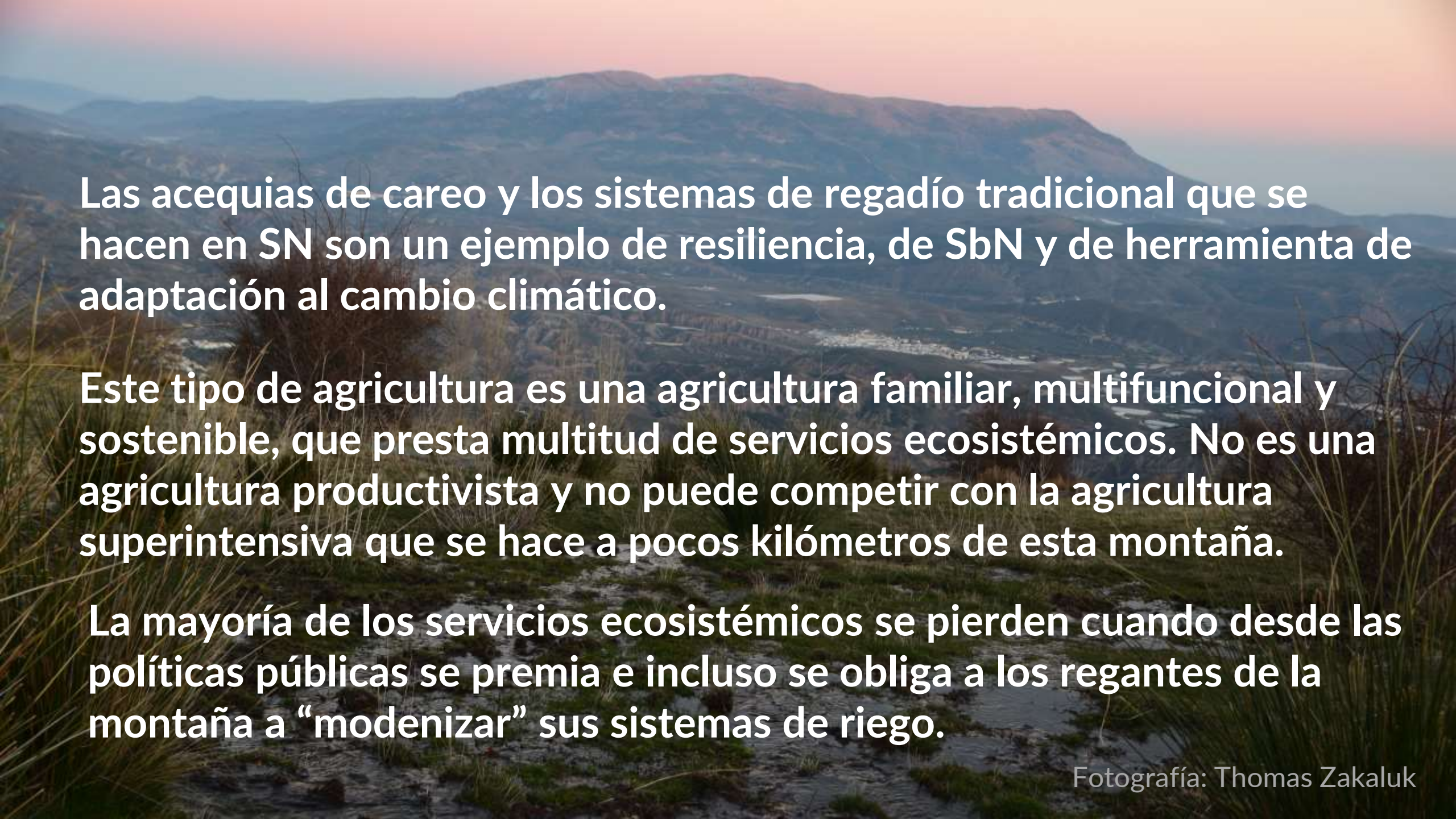
Rahmah Elfithri
Chief of Section,
Capacity Development and
Water Family Coordination
UNESCO-IHP



An aerial photograph of a landscape featuring a river flowing through a green, hilly area. The river is surrounded by dense vegetation and some rocky patches. In the background, a large body of water, likely a lake, is visible under a clear blue sky. The overall scene is bright and sunny.

Conclusiones

Fotografía: Jorge Rodríguez



Las acequias de careo y los sistemas de regadío tradicional que se hacen en SN son un ejemplo de resiliencia, de SbN y de herramienta de adaptación al cambio climático.

Este tipo de agricultura es una agricultura familiar, multifuncional y sostenible, que presta multitud de servicios ecosistémicos. No es una agricultura productivista y no puede competir con la agricultura superintensiva que se hace a pocos kilómetros de esta montaña.

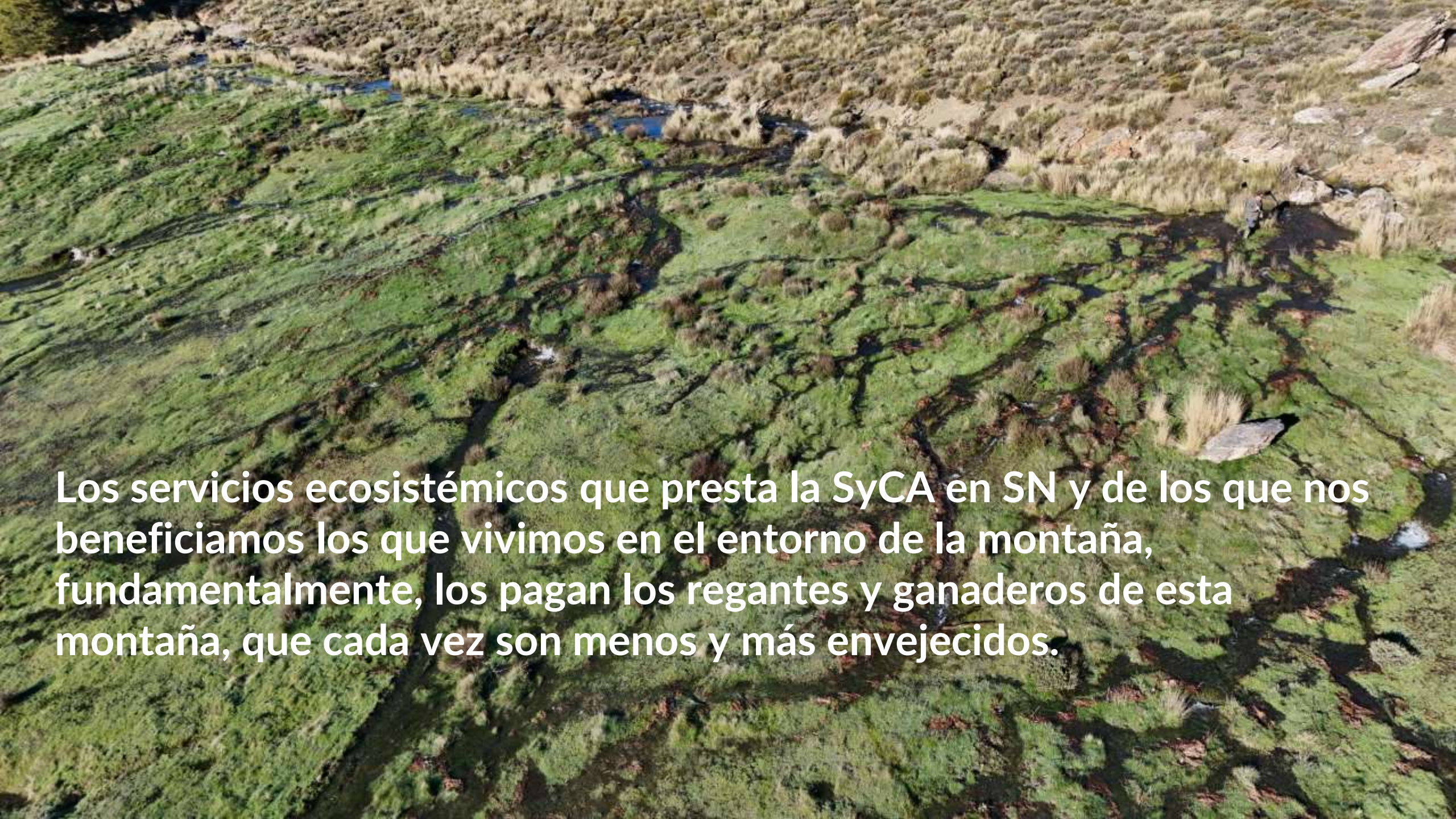
La mayoría de los servicios ecosistémicos se pierden cuando desde las políticas públicas se premia e incluso se obliga a los regantes de la montaña a “modernizar” sus sistemas de riego.

Fotografía: Thomas Zakaluk



Desde el ENSN se están coordinando dos proyectos del MITECO para la recuperación y mantenimientos de acequias (2,5 M€), con del plan PRTR (Fondos Next Generation, Unión Europea). Esta es una buena iniciativa, pero es insuficiente.

Fotografía: Thomas Zakaluk

An aerial photograph of a mountainous landscape. The terrain is covered in dense green vegetation, likely grass or low shrubs. A complex network of small, dark, winding streams or channels flows across the slope, creating a dendritic pattern. The streams are more prominent in some areas, appearing as dark lines, while in others, they are less visible, blending into the green. The overall scene suggests a high-altitude or mountain environment with significant water flow.

Los servicios ecosistémicos que presta la SyCA en SN y de los que nos beneficiamos los que vivimos en el entorno de la montaña, fundamentalmente, los pagan los regantes y ganaderos de esta montaña, que cada vez son menos y más envejecidos.



Fotografía: R. Sánchez Arana

Si queremos seguir teniendo una montaña habitada, en la que coexista el ser humano y la naturaleza, como lo ha hecho hasta hace poco, tenemos que pensar en aplicar retribuciones económicas por la prestación de servicios ecosistémicos.

Si no hacemos esto acabaremos con la gallina de los huevos de oro y tendremos otra montaña distinta a la que nos dejaron nuestros antepasados.



Gracias