

La Siembra y Cosecha del Agua un sistema ancestral de gestión del agua que utiliza Soluciones Basadas en la Naturaleza



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL
DE GEÓLOG@S

1978-2018
40 AÑOS DEFENDIENDO LA PROFESIÓN



MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Instituto Geológico
y Minero de España

Índice

**Soluciones Basadas en la Naturaleza
aplicadas a la Gestión del Agua**

¿Qué es la Siembra y Cosecha del Agua?

Sistemas de SyCA en Iberoamérica

Conocimiento ancestral vs Ciencia

SyCA en Perú

SyCA y Desarrollo sostenible

Conclusiones

01

**Soluciones Basadas
en la Naturaleza
aplicadas a la
Gestión del Agua**



La seguridad hídrica que nos ofrecían las fuentes de agua dulce de nuestro planeta está mermando a pasos agigantados



Las SbN son procesos diseñados para solucionar los desafíos de la sociedad, que están inspirados en la naturaleza, que proporcionan beneficios sociales, ambientales y económicos y que ayudan a aumentar la resiliencia



Las SbN aplicadas a la Gestión del Agua consisten en una serie de **procesos naturales, o que imitan a la naturaleza, que se pueden utilizar para mejorar la disponibilidad y calidad del agua, reducir los riesgos de los desastres asociados al agua (sequías, inundaciones...) y mejorar la adaptación al cambio climático**

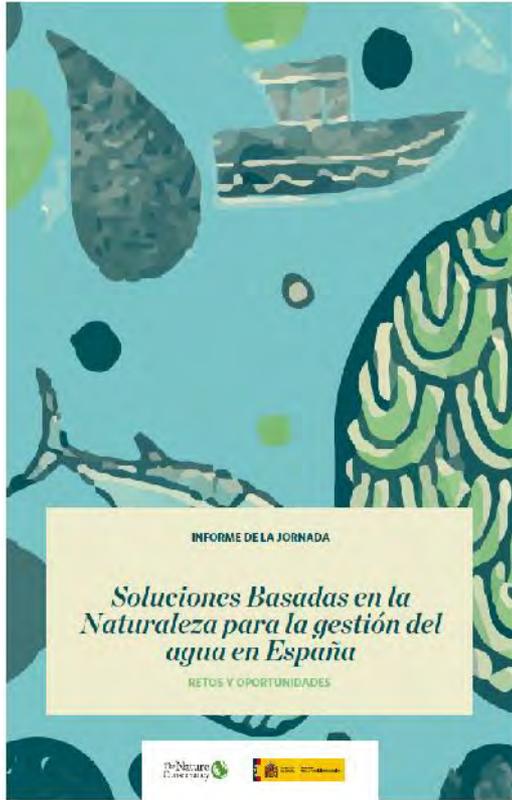
UN WATER Informe

Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018



SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA GESTIÓN DEL AGUA

Resumen ejecutivo

INFORME DE LA JORNADA

Soluciones Basadas en la Naturaleza para la gestión del agua en España

RETOS Y OPORTUNIDADES



UN WATER Informe

Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018

SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA GESTIÓN DEL AGUA




Se requieren nuevas soluciones, nuevos enfoques **que dejen de luchar contra la naturaleza para pasar a trabajar con ella.**

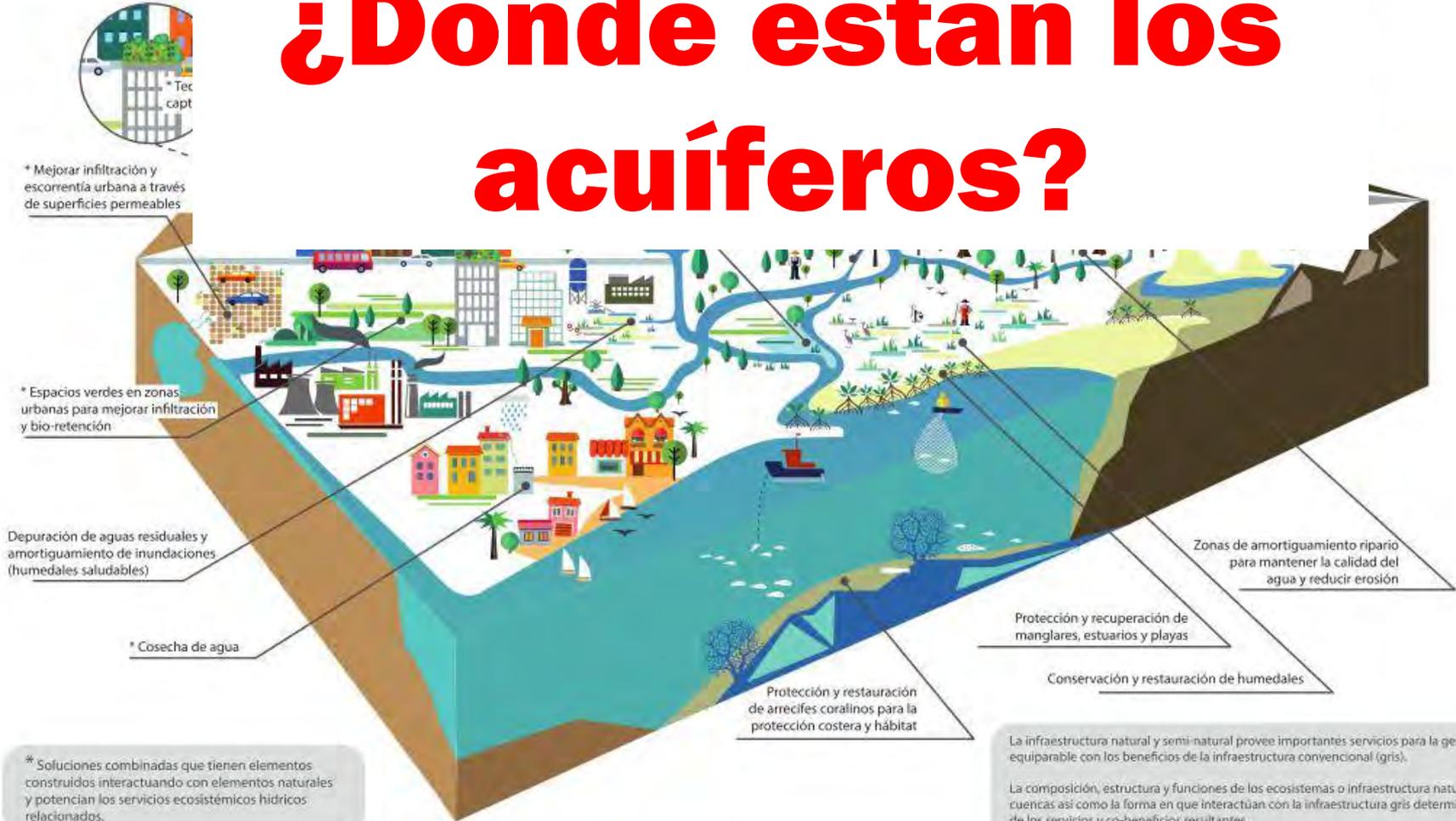


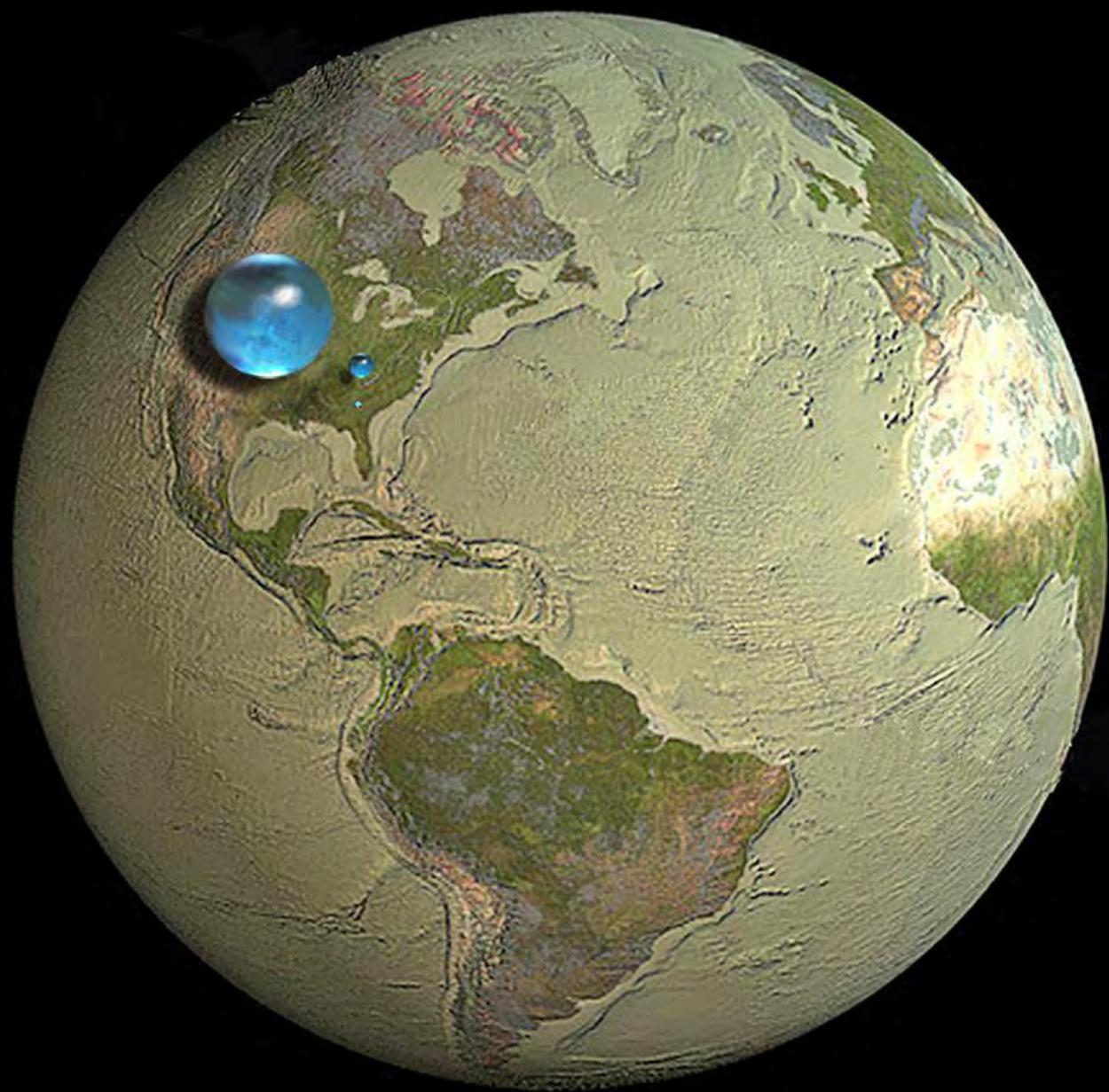
Infraestructura Natural para la Gestión del Agua

Invirtiendo en e

Conservación y protección de fuentes hídricas
y ecosistemas reguladores (i.e. Áreas Protegidas)

¿Dónde están los acuíferos?





Atmosphere
12,000 km³

Vegetation
1,000 km³

Surface water
100,000 km³

Soil water
16,000 km³



Modern groundwater
347,180 km³

Groundwater

25

50

75

100

Years old or younger

0.19

0.35

0.49

0.63

Million km³



Older groundwater storage
21.97 million km³

Es necesario empezar a aumentar la **recarga de los acuíferos** mediante el manejo adecuado de suelos agrícolas, pastos, bosques y humedales , pero, especialmente mediante **una mayor aplicación de MAR y la SyCA.**

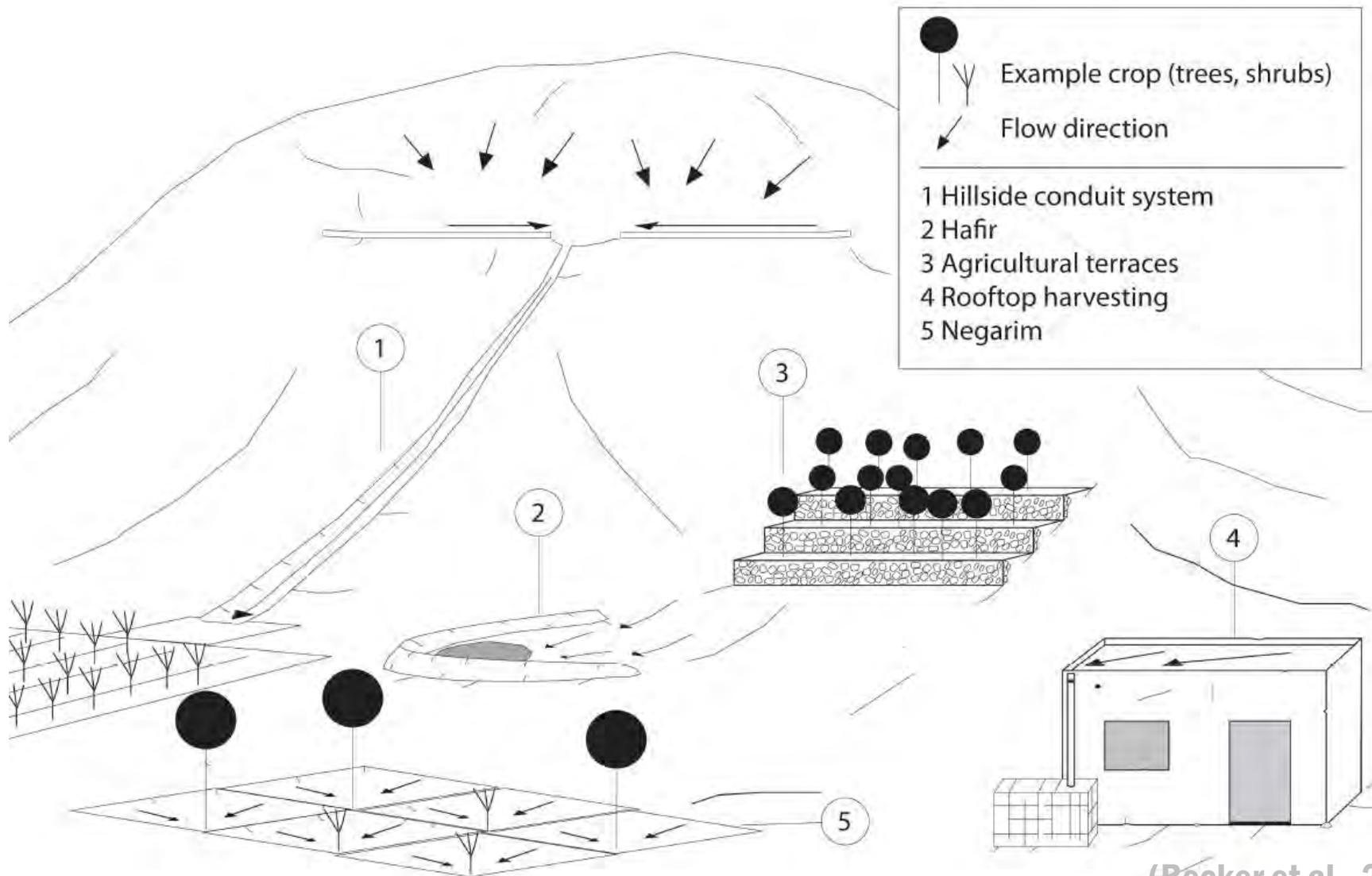
02

**¿Qué es la Siembra
y Cosecha del
Agua?**

Cosecha del Agua

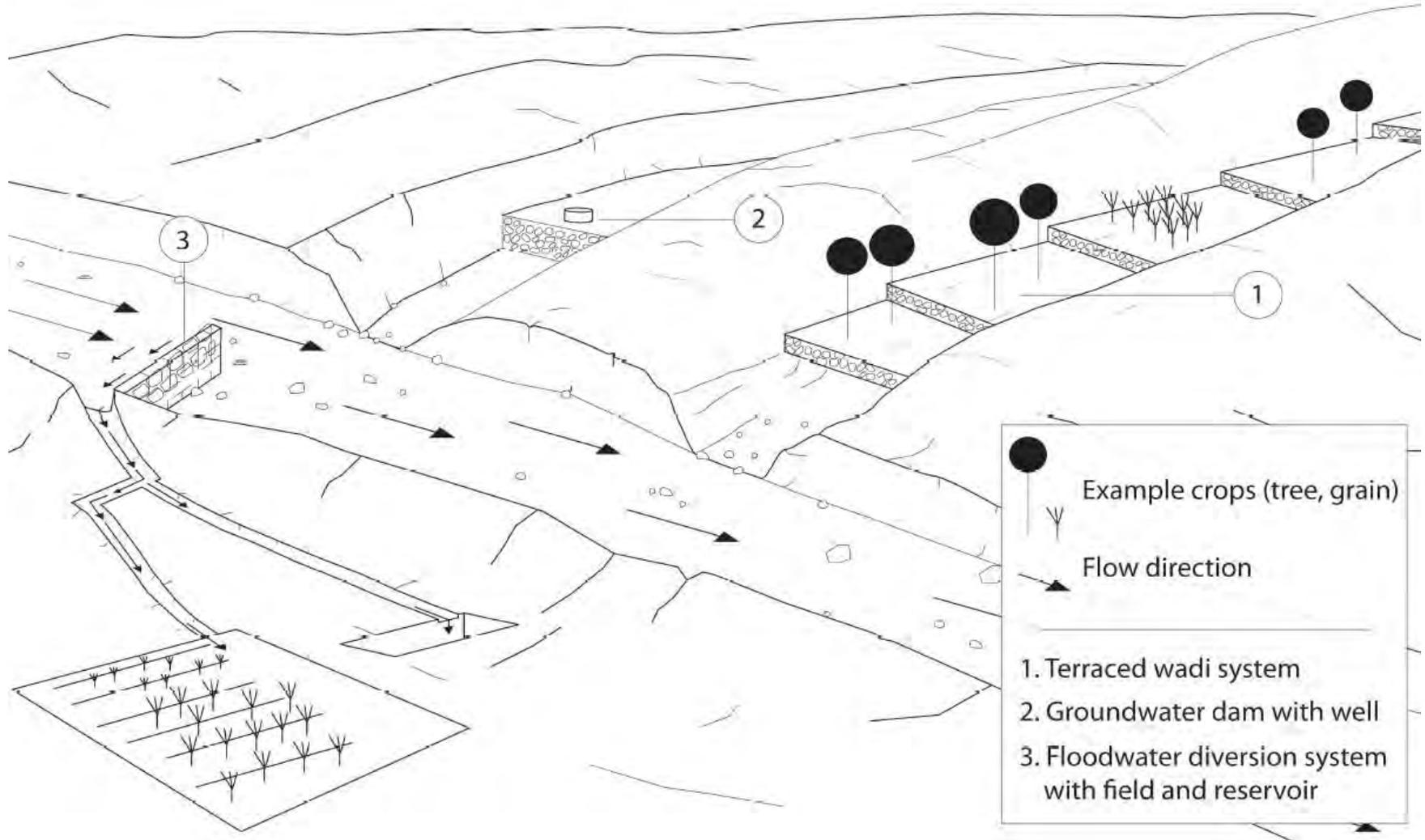
Proceso por el que el ser humano recoge el agua de lluvia o de escorrentía episódica en zonas áridas y/o semiáridas para su posterior uso (Becker et al., 2013).

Runoff harvesting



(Becker et al., 2013)

Floodwater harvesting



Hillside conduit system



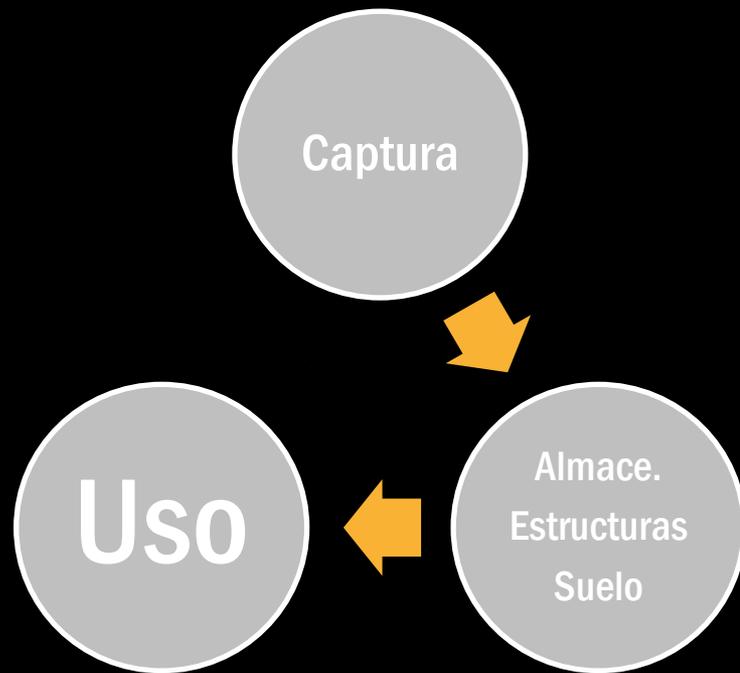
Socos ≈ Negarin



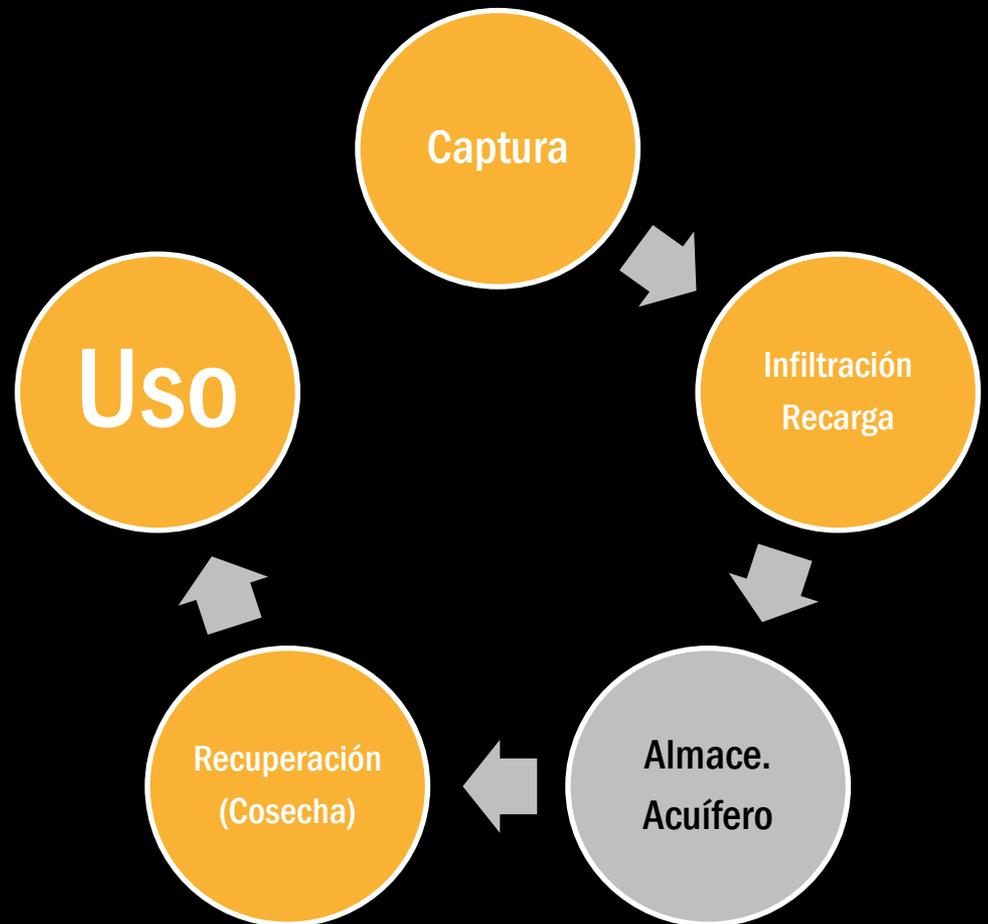
Siembra y Cosecha del Agua

Proceso por el que el ser humano recolecta e infiltra (**siembra**) el agua de lluvia o de escorrentía (subterránea, superficial o hipodérmica) para recuperarla (**cosecha**) un cierto tiempo después.

Cosecha del Agua



Siembra y Cosecha del Agua



**¿Por qué Siembra y Cosecha del
Agua (SyCA) y no Recarga de
Acuíferos (MAR)?**





Fotografía: R. Sánchez Arana

03

**Sistemas de
Siembra y Cosecha
del Agua en
Iberoamérica**

Sistemas de SyCA

SyCA Runoff

Agricultura tradicional en terrazas

Qochas inf./Albarradas

Cuchacuchas/Zanjas de infiltración

Amunas/mamanteos/acequias de careo

Borreguiles/Bofedales

SyCA Floodwater

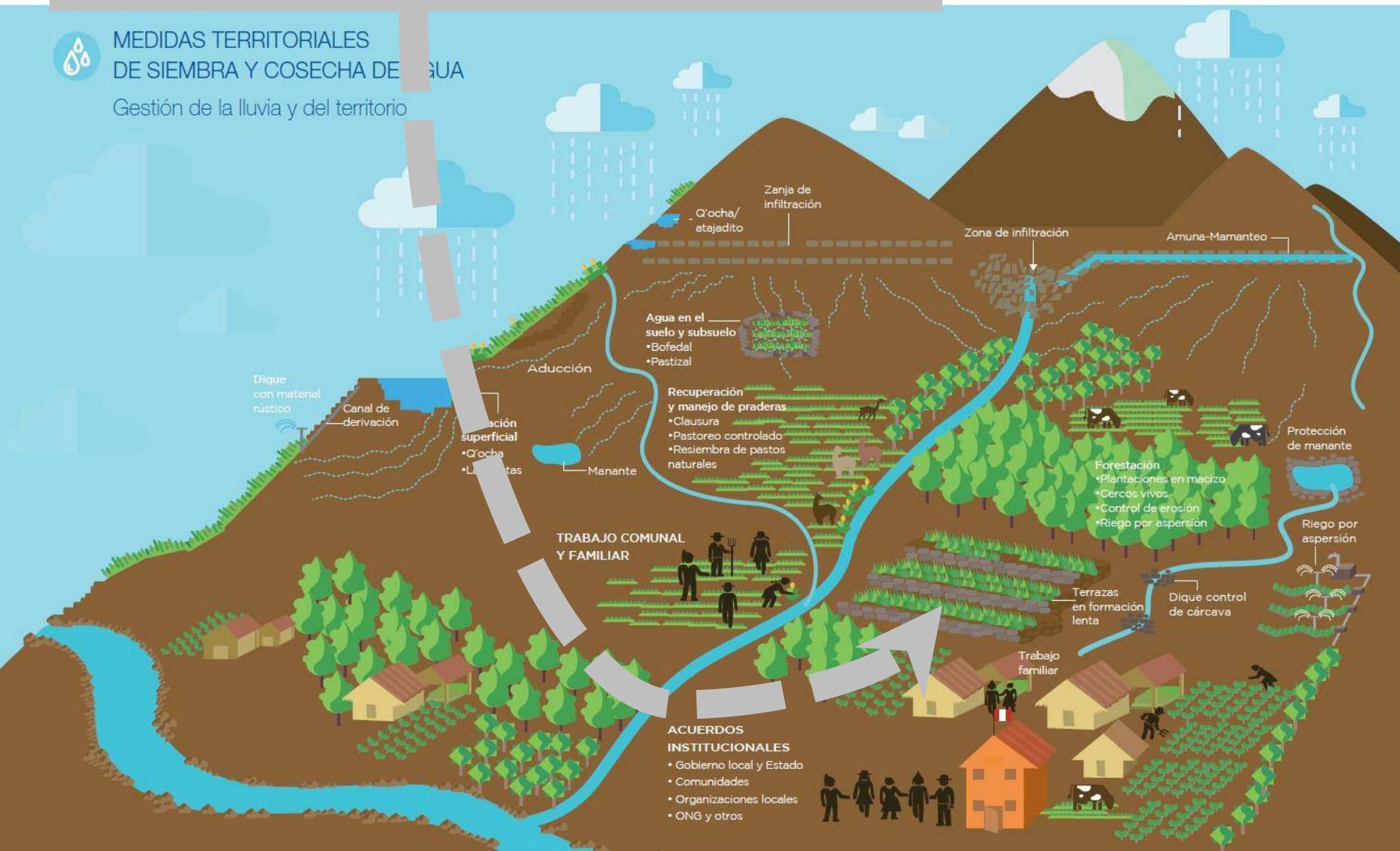
Tapes/Diques/Presas de arena

Andenes/terrazas



MEDIDAS TERRITORIALES DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA

Gestión de la lluvia y del territorio



Dique con material rústico

Canal de derivación

Recuperación superficial
• Q'ocha
• Llanitas

Aducción

Agua en el suelo y subsuelo
• Bofedal
• Pastizal

Recuperación y manejo de praderas
• Clausura
• Pastoreo controlado
• Resiembra de pastos naturales

TRABAJO COMUNAL Y FAMILIAR

ACUERDOS INSTITUCIONALES
• Gobierno local y Estado
• Comunidades
• Organizaciones locales
• ONG y otros

Zanja de infiltración

Zona de infiltración

Amuna-Mamanteo

Manante

Protección de manante

Forestación
• Plantaciones en macizo
• Cercos vivos
• Control de erosión
• Riego por aspersión

Riego por aspersión

Terrazas en formación lenta

Dique control de cárcava

Trabajo familiar



Fotografía: Juan Diego Bardales (Río Cañete, Yaucas, Lima,, Perú)

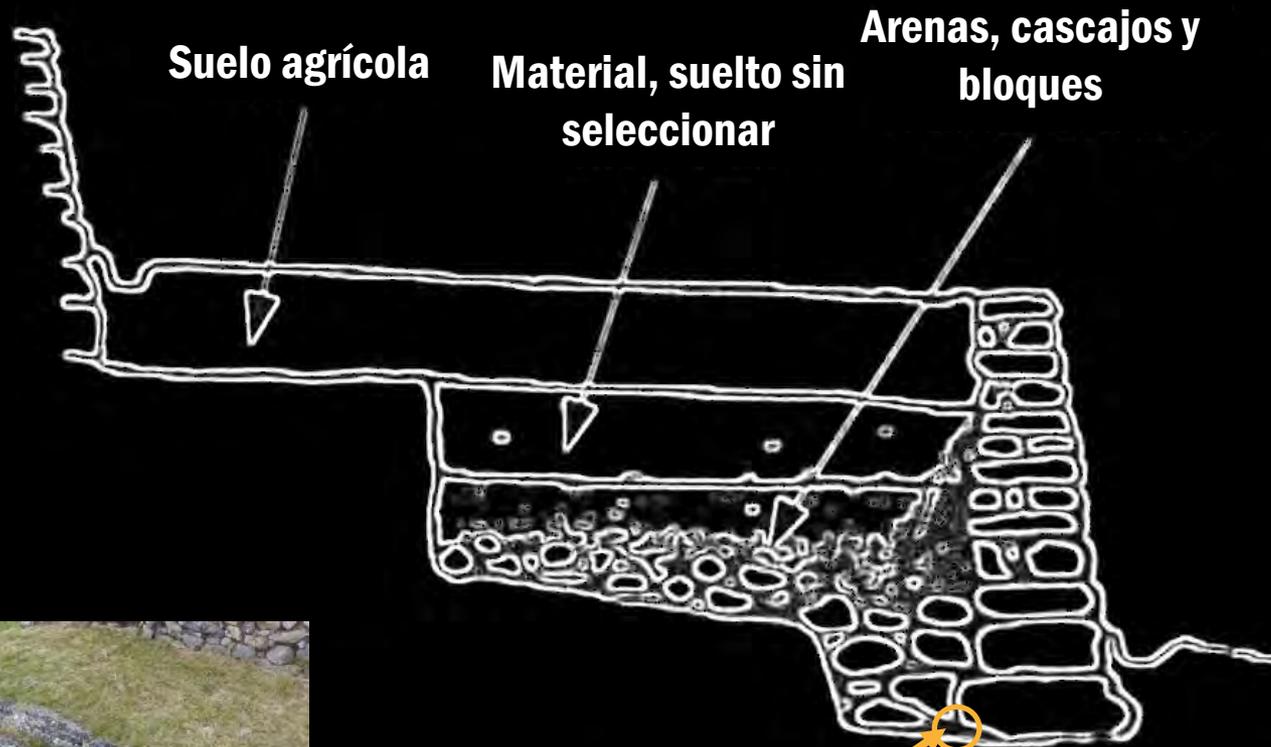






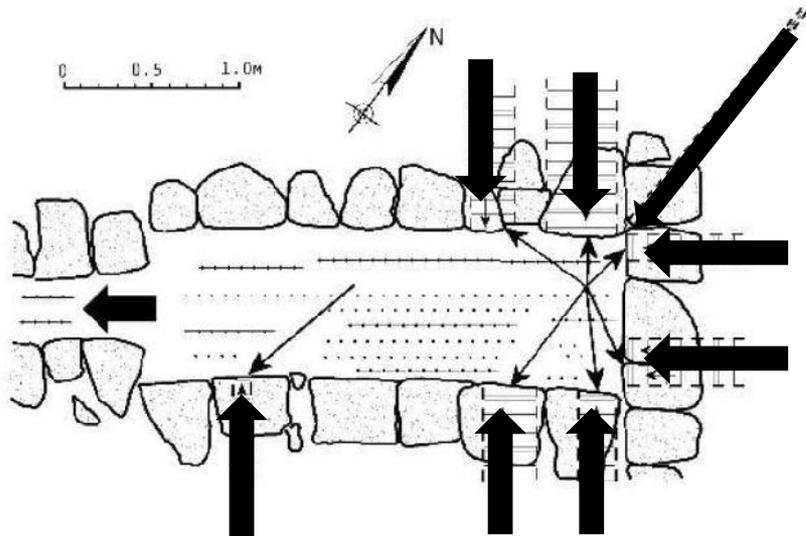


ANDEN DE TIPO CUSQUEÑO



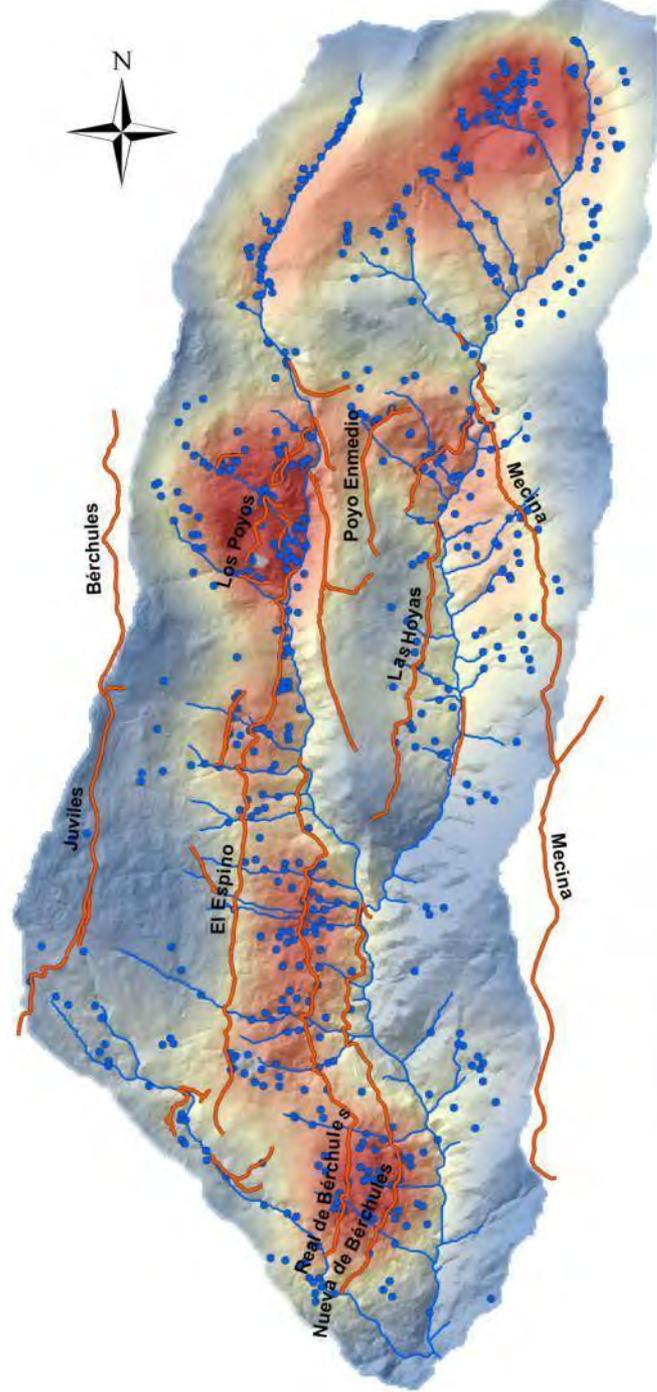
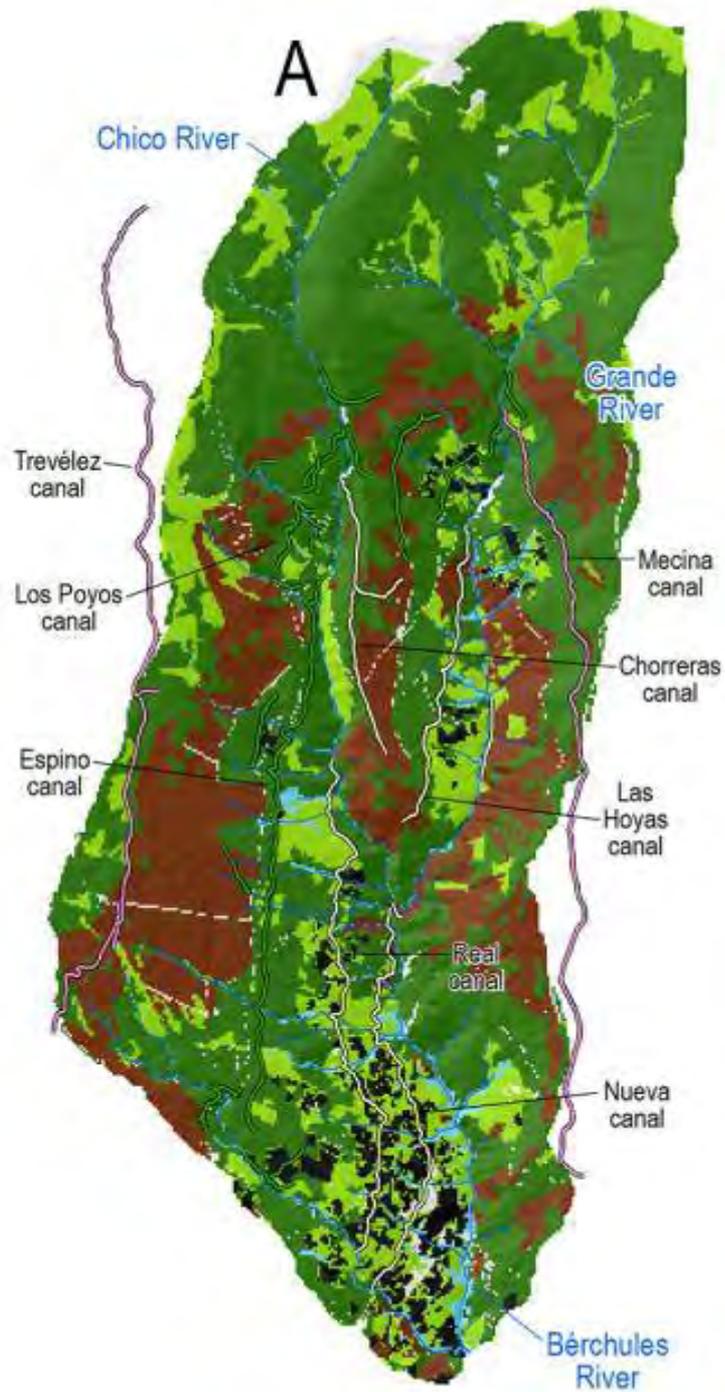
Kendall y Rodríguez, 2015







Fotografía: Pablo Galdo. Terrazas de Ohanes, Almería, España

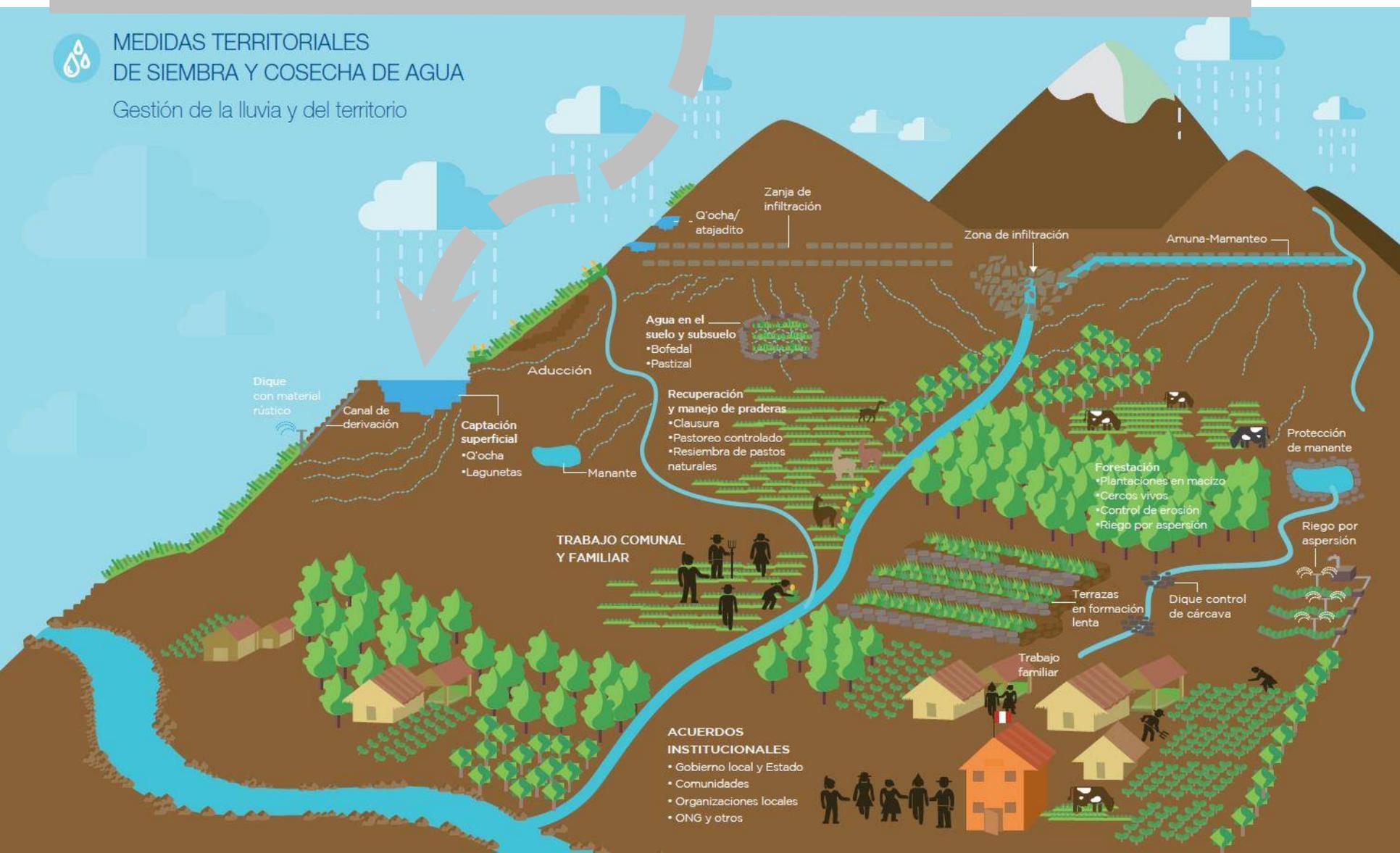


Qochas inf./Albarradas



MEDIDAS TERRITORIALES DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA

Gestión de la lluvia y del territorio



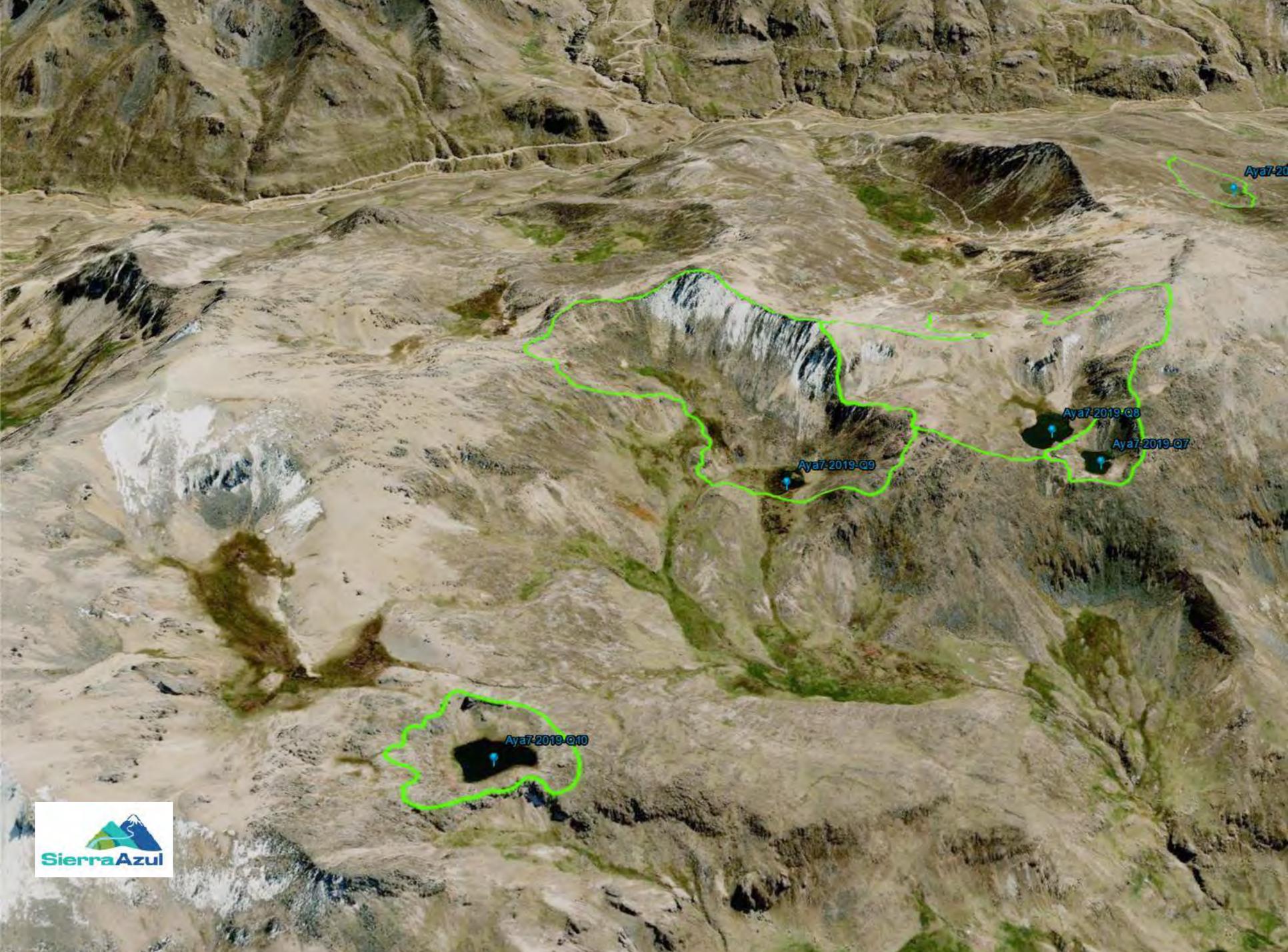
Agua en el suelo y subsuelo
•Bofedal
•Pastizal

Recuperación y manejo de praderas
•Clausura
•Pastoreo controlado
•Resiembra de pastos naturales

Forestación
•Plantaciones en macizo
•Cercos vivos
•Control de erosión
•Riego por aspersión

ACUERDOS INSTITUCIONALES
• Gobierno local y Estado
• Comunidades
• Organizaciones locales
• ONG y otros





Aya7-2019-Q6

Aya7-2019-Q8

Aya7-2019-Q7

Aya7-2019-Q9

Aya7-2019-Q10





Spondylus



Collares de Spondylus (Cultura Chimú)



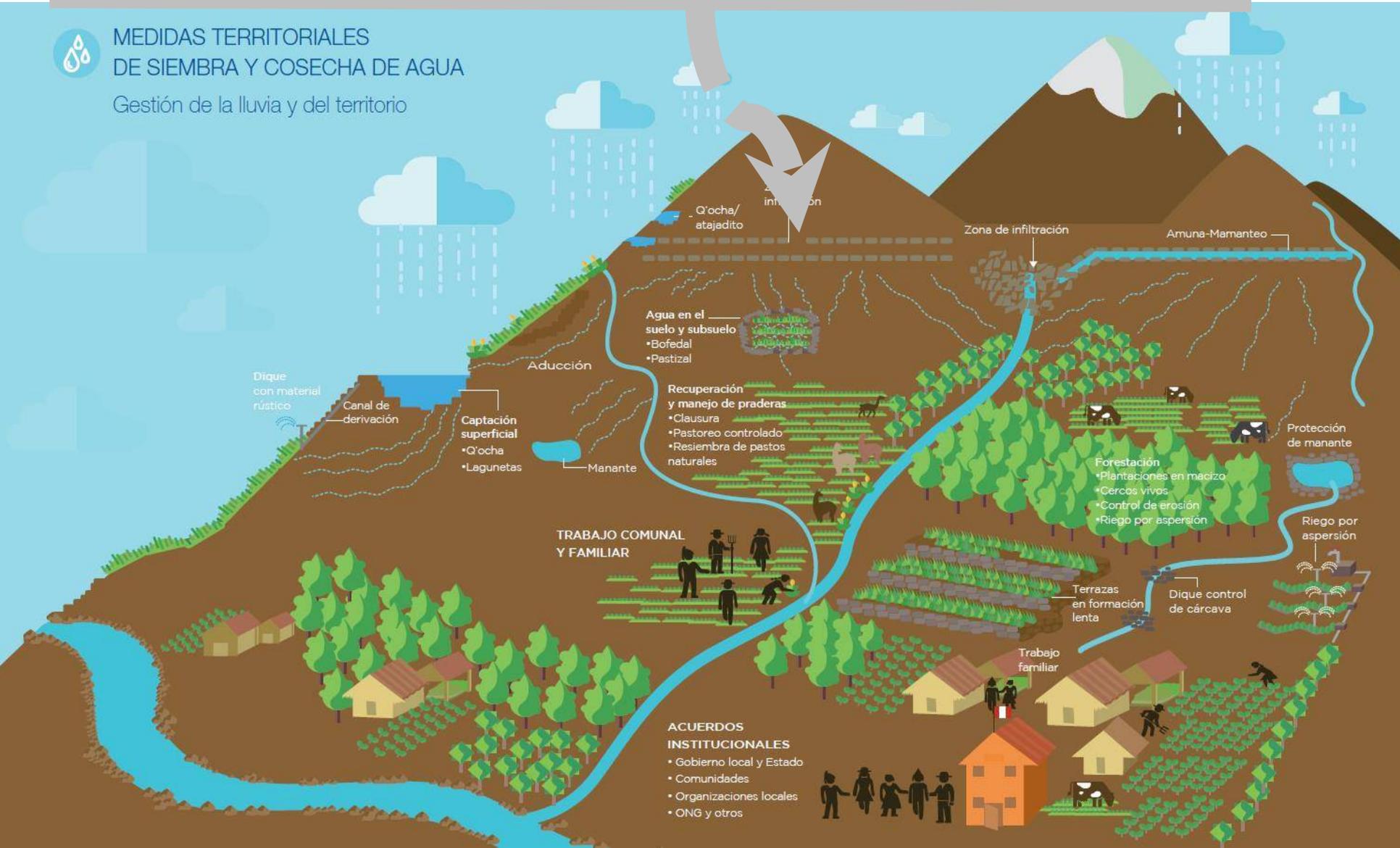
Fuente: Milka Castro

Cuchacuhas/Zanjas inf.



MEDIDAS TERRITORIALES DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA

Gestión de la lluvia y del territorio



Agua en el suelo y subsuelo

- Bofedal
- Pastizal

Recuperación y manejo de praderas

- Clausura
- Pastoreo controlado
- Resiembra de pastos naturales

Forestación

- Plantaciones en macizo
- Cercos vivos
- Control de erosión
- Riego por aspersión

TRABAJO COMUNAL Y FAMILIAR

ACUERDOS INSTITUCIONALES

- Gobierno local y Estado
- Comunidades
- Organizaciones locales
- ONG y otros



Fuente: Adripino Jayo



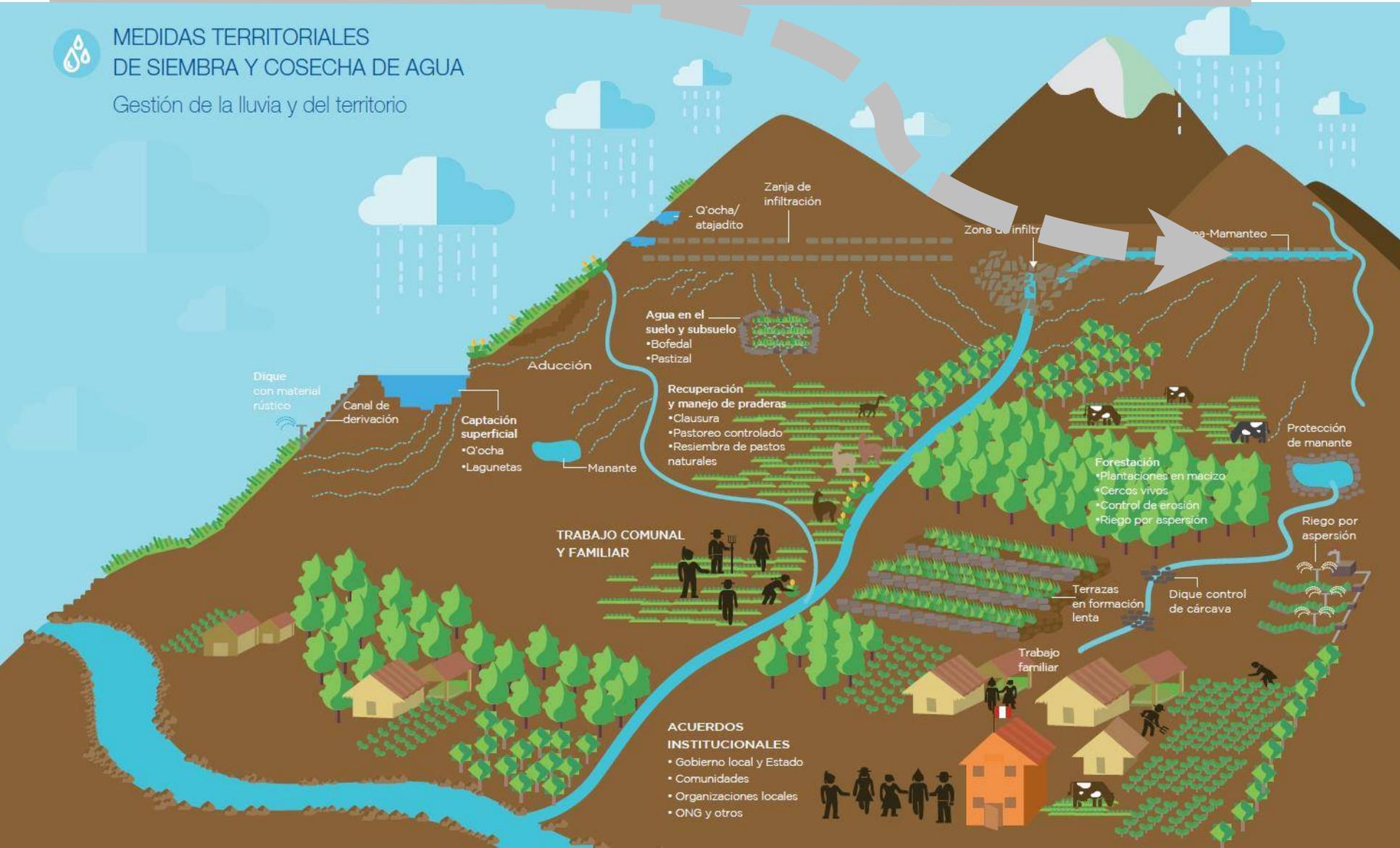


Amunas/careos



MEDIDAS TERRITORIALES DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA

Gestión de la lluvia y del territorio



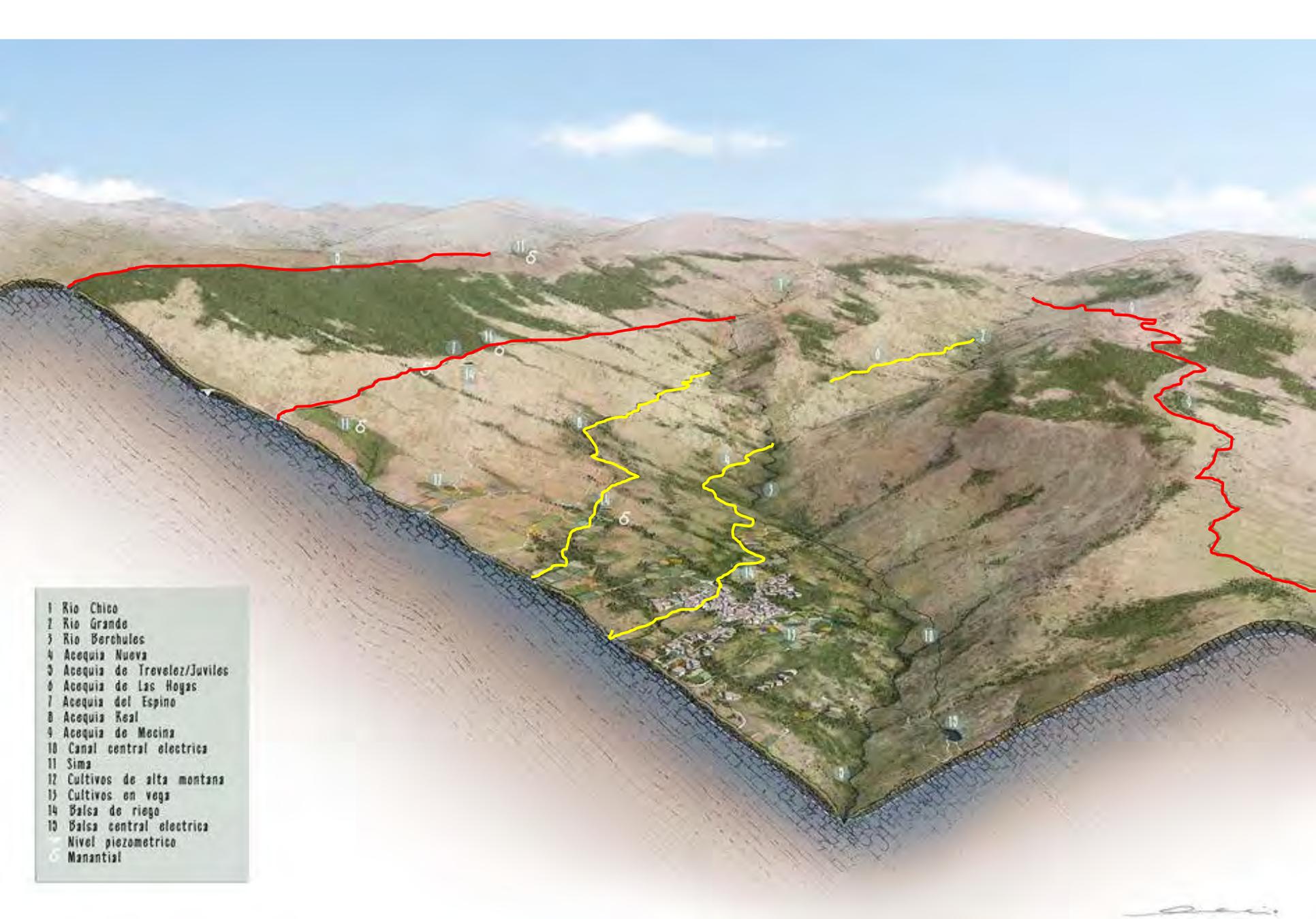
Acequias de careo



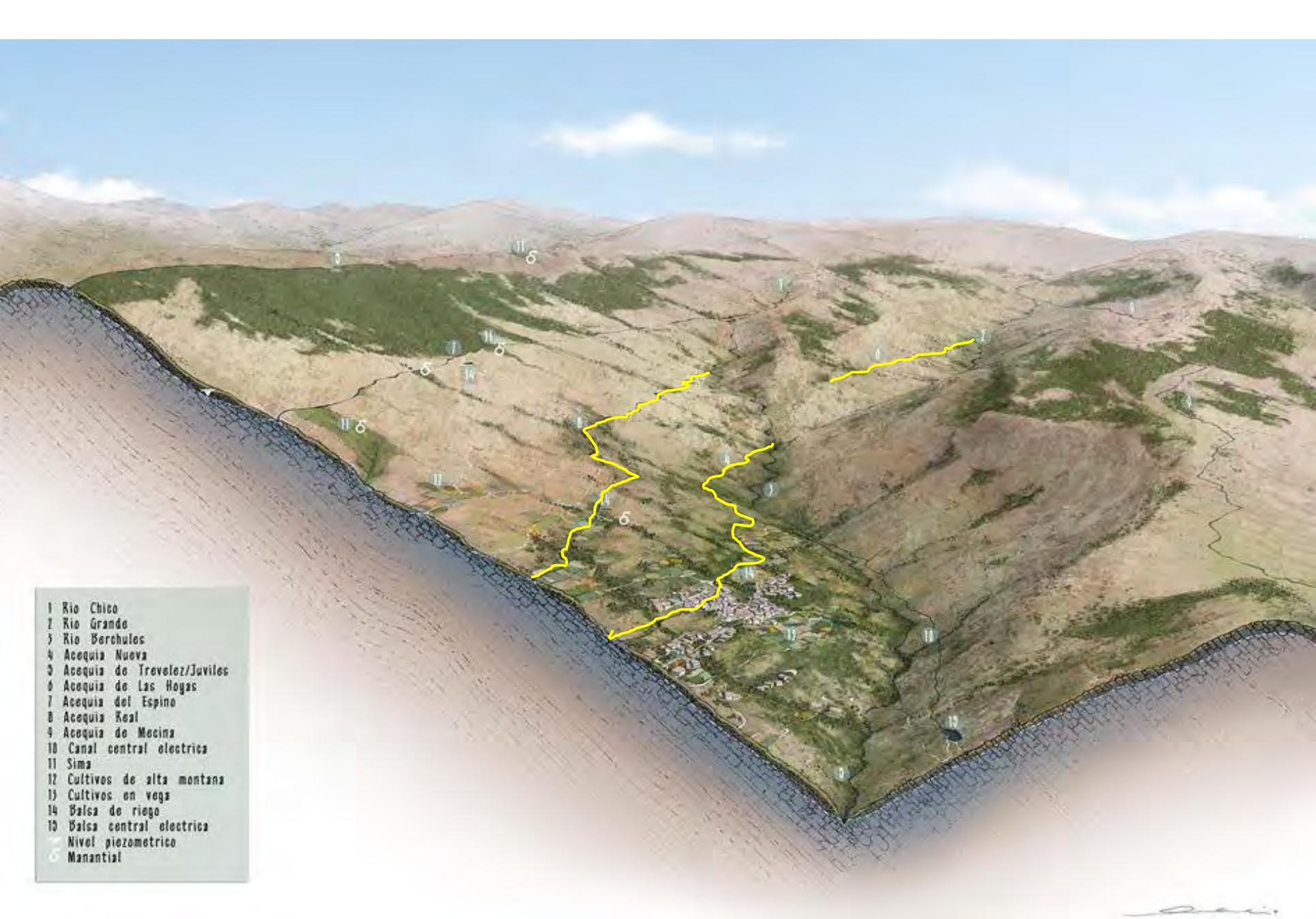






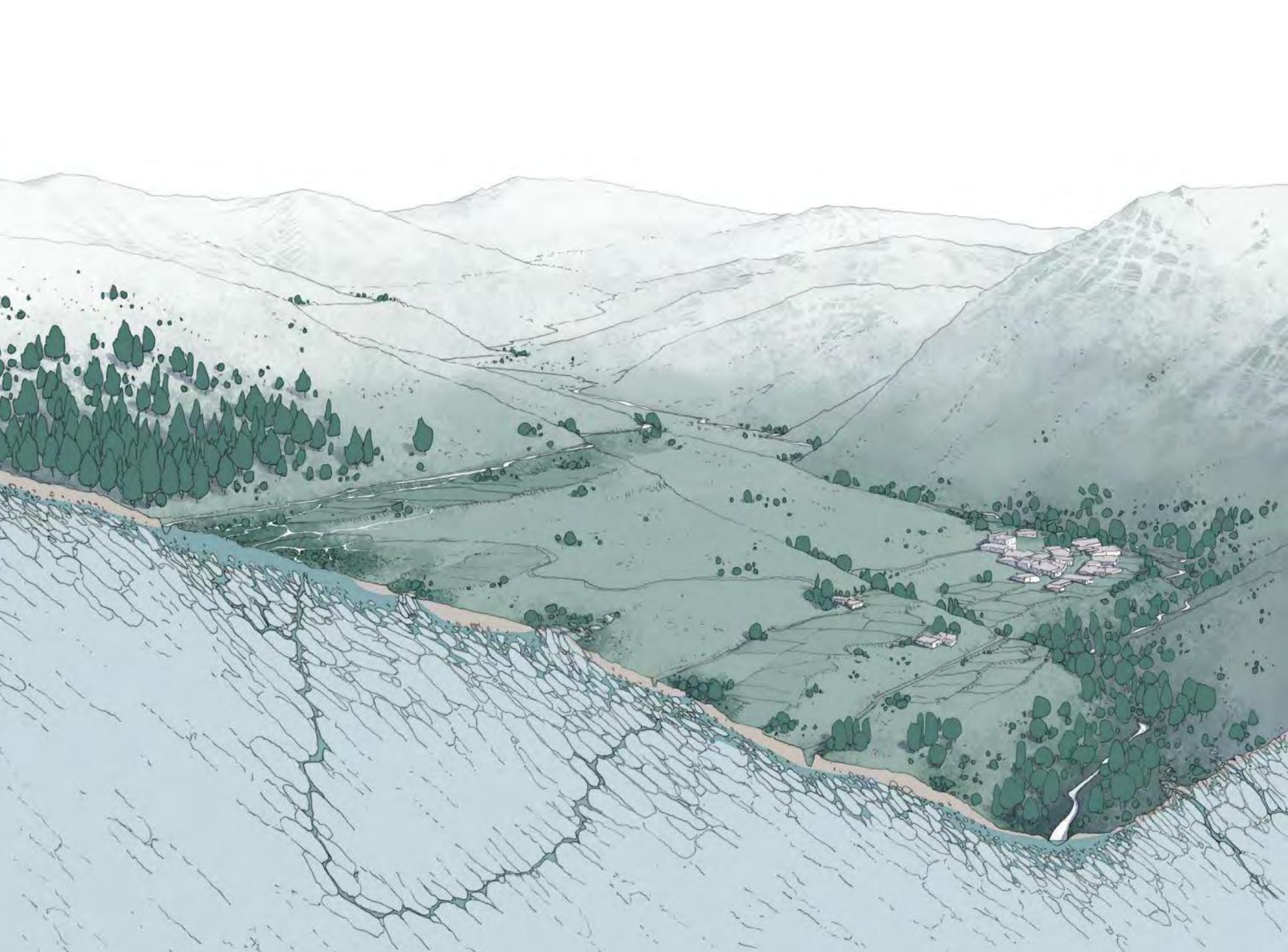


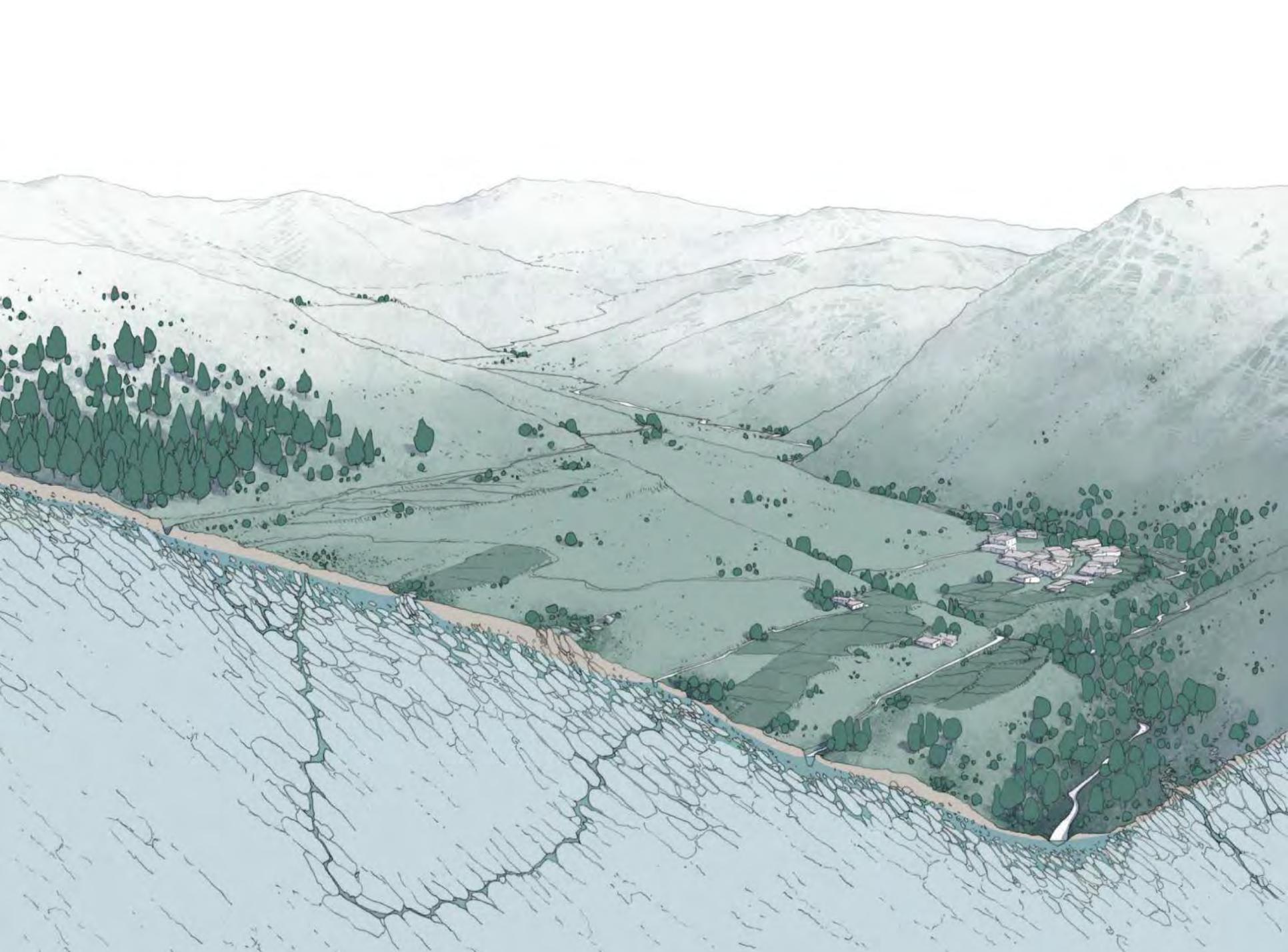
- 1 Rio Chico
- 2 Rio Grande
- 3 Rio Berchules
- 4 Acequia Nueva
- 5 Acequia de Trevelez/Juviles
- 6 Acequia de Las Hogas
- 7 Acequia del Espino
- 8 Acequia Real
- 9 Acequia de Mecina
- 10 Canal central electrica
- 11 Sima
- 12 Cultivos de alta montana
- 13 Cultivos en vega
- 14 Balca de riego
- 10 Balca central electrica
- Nivel piezometrico
- ⊙ Manantial



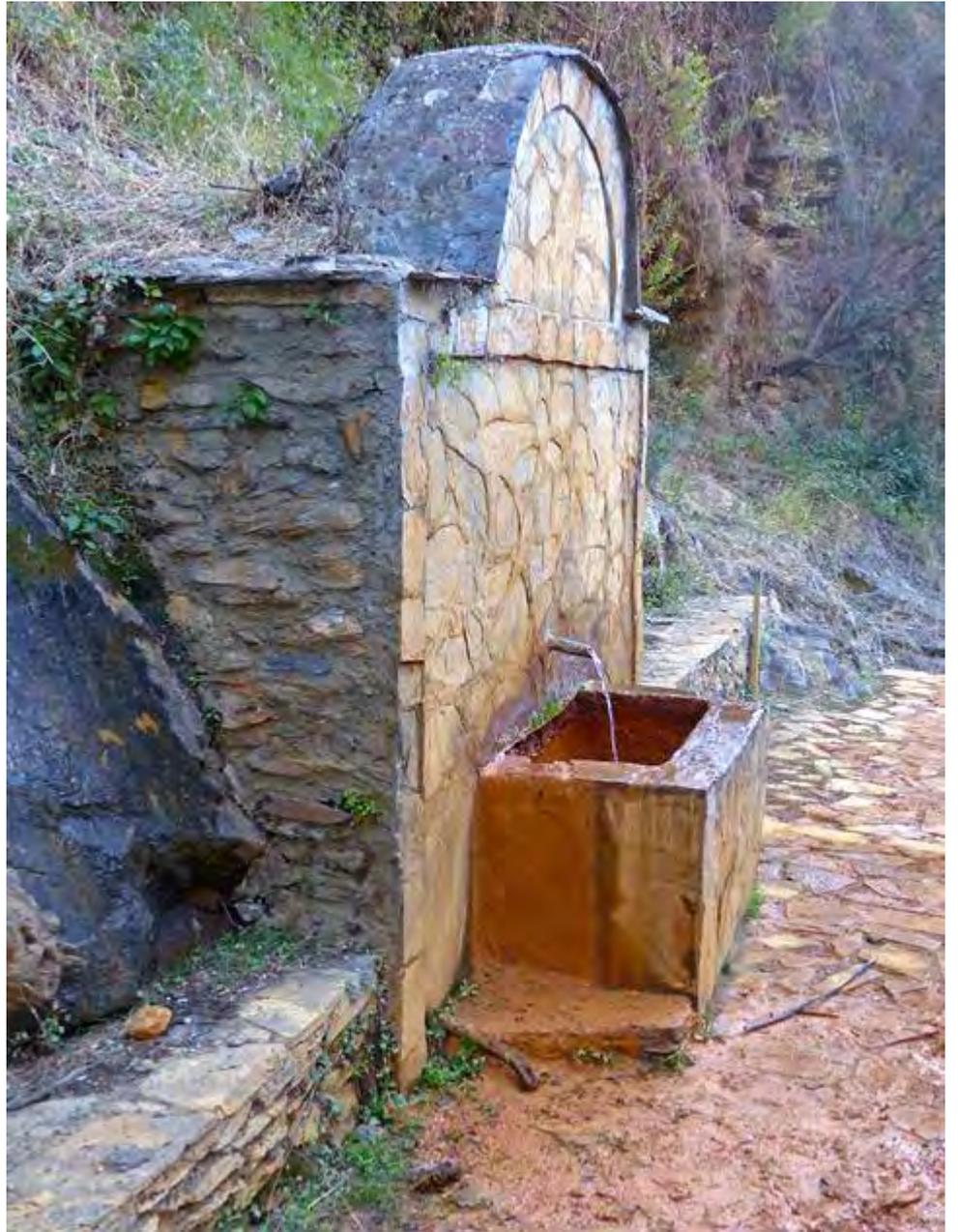
- 1 Rio Chico
- 2 Rio Grande
- 3 Rio Berchules
- 4 Acequia Nueva
- 5 Acequia de Trevelez/Juviles
- 6 Acequia de Las Hogas
- 7 Acequia del Espino
- 8 Acequia Real
- 9 Acequia de Mecina
- 10 Canal central electrica
- 11 Sima
- 12 Cultivos de alta montana
- 13 Cultivos en vega
- 14 Balca de riego
- 10 Balca central electrica
- Nivel piezometrico
- ⊙ Manantial

[Handwritten signature]





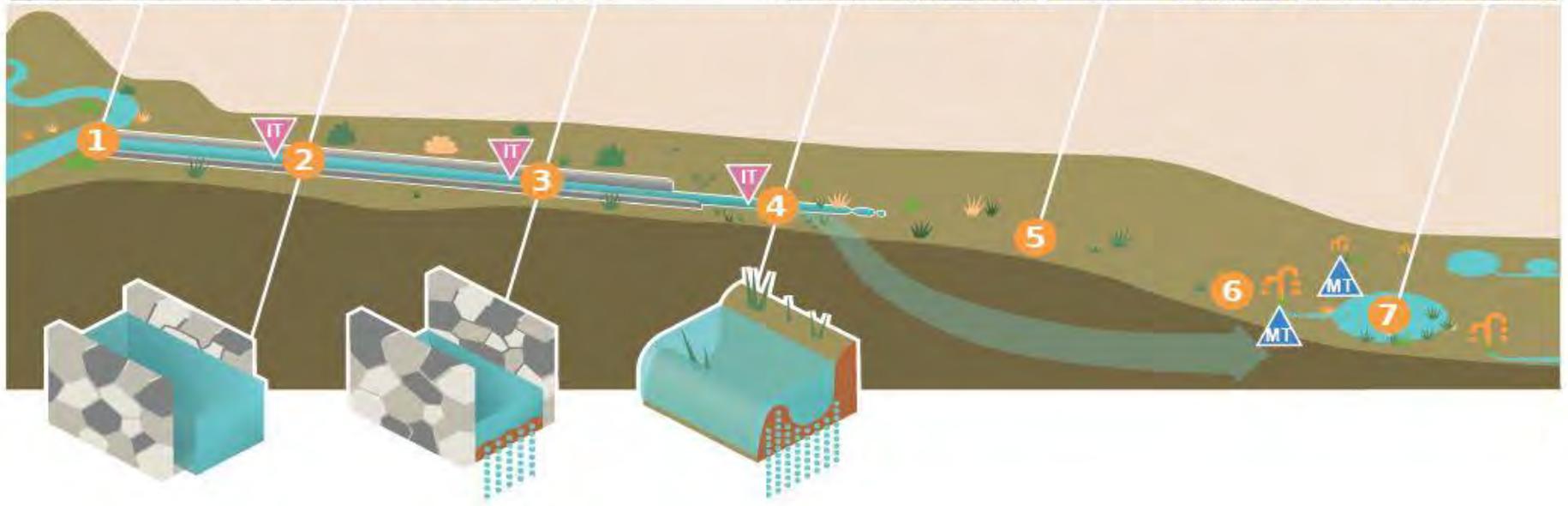




Amunas/Mamanteos



Amunas/Mamanteos



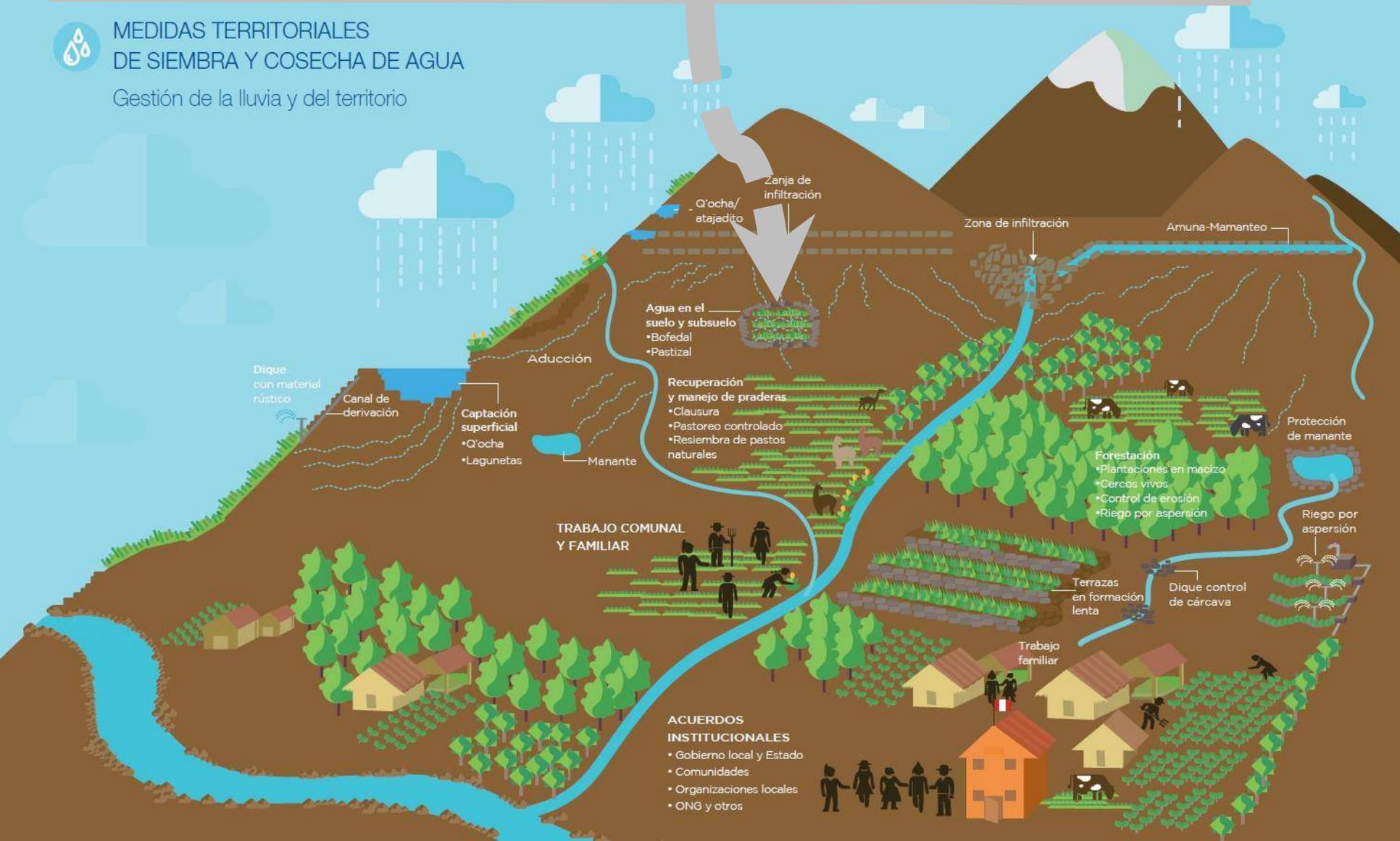


Borreguiles/Bofedales



MEDIDAS TERRITORIALES DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA

Gestión de la lluvia y del territorio



Agua en el suelo y subsuelo

- Bofedal
- Pastizal

Recuperación y manejo de praderas

- Clausura
- Pastoreo controlado
- Resiembra de pastos naturales

TRABAJO COMUNAL Y FAMILIAR

ACUERDOS INSTITUCIONALES

- Gobierno local y Estado
- Comunidades
- Organizaciones locales
- ONG y otros

Dique con material rústico

Canal de derivación

Captación superficial

- Q'ocha
- Lagunetas

Aducción

Manante

Zanja de infiltración

Zona de infiltración

Amuna-Mamanteo

Protección de manante

Forestación

- Plantaciones en macizo
- Cercos vivos
- Control de erosión
- Riego por aspersión

Terrazas en formación lenta

Dique control de cárcava

Trabajo familiar

Riego por aspersión



Caquena

Bofedal de Caquena (Chile)



Fotografía: Luciano Mateos



Fotografía: Antonio Castillo

Borreguiles de Sierra Nevada



Fotografía: Antonio Castillo

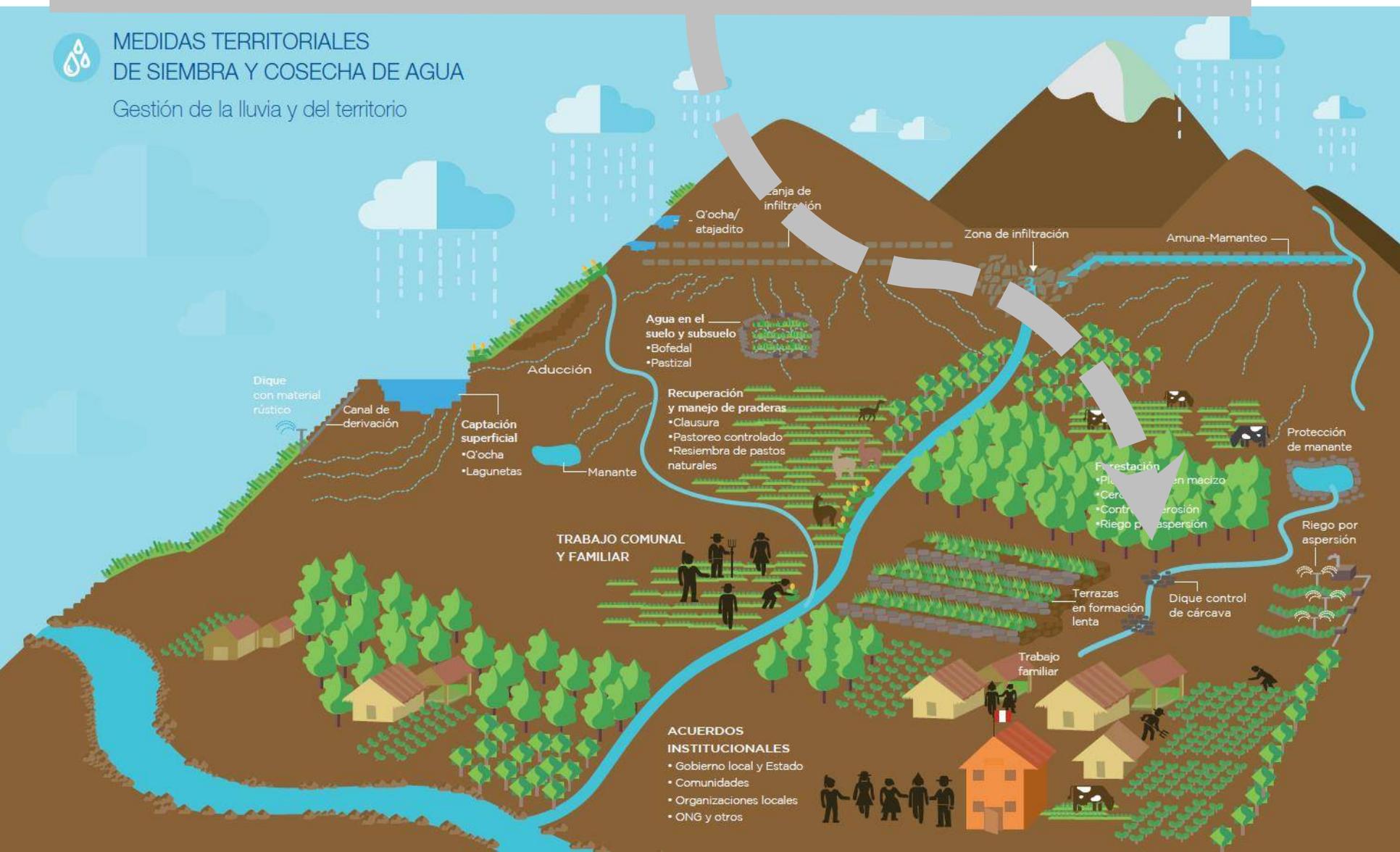
Borreguiles de Sierra Nevada

Tapes



MEDIDAS TERRITORIALES DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA

Gestión de la lluvia y del territorio



Agua en el suelo y subsuelo

- Bofedal
- Pastizal

Recuperación y manejo de praderas

- Clausura
- Pastoreo controlado
- Resiembra de pastos naturales

TRABAJO COMUNAL Y FAMILIAR

ACUERDOS INSTITUCIONALES

- Gobierno local y Estado
- Comunidades
- Organizaciones locales
- ONG y otros

Dique con material rústico

Canal de derivación

Captación superficial

- Q'ocha
- Lagunetas

Aducción

Manante

Canja de infiltración

Q'ocha/atajadito

Zona de infiltración

Amuna-Mamanteo

Forestación

- Planta en macizo
- Control de erosión
- Riego por aspersión

Terrazas en formación lenta

Trabajo familiar

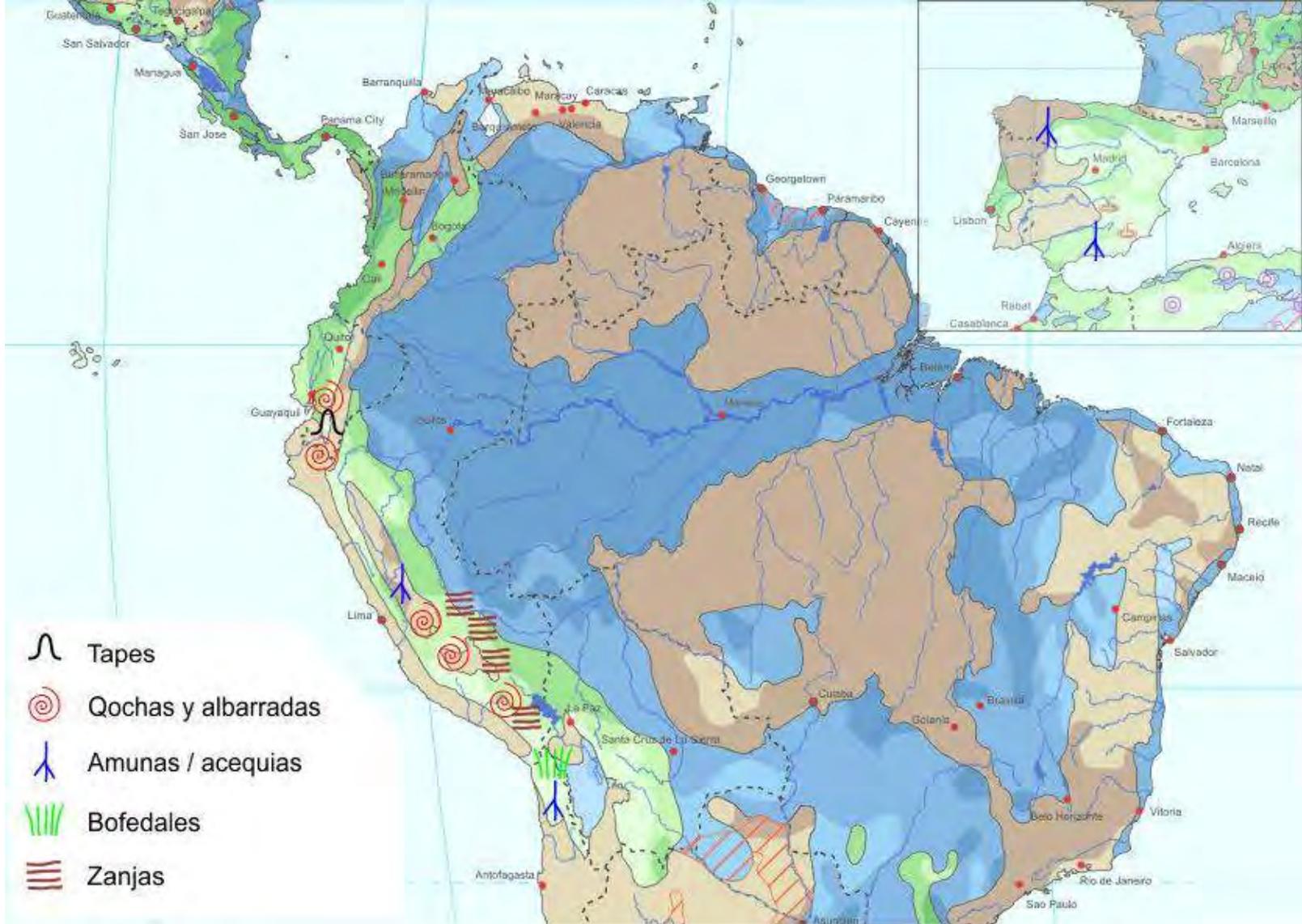
Protección de manante

Riego por aspersión

Dique control de cárcava



**Distribución de sistemas
ancestrales de Siembra y Cosecha
del Agua en Iberoamérica**



 Tapes

 Qochas y albarradas

 Amunas / acequias

 Bofedales

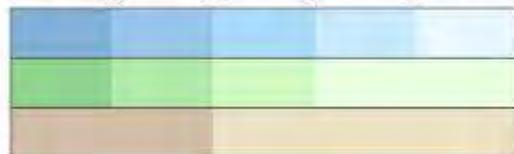
 Zanjas

Groundwater resources

in major groundwater basins
 in areas with complex hydrogeological structure
 in areas with local and shallow aquifers

groundwater recharge (mm/a)

very high 300 high 100 medium 20 low 2 very low 0



Special groundwater features

-  area of saline groundwater (> 5 g/l total dissolved solids)
-  natural groundwater discharge area in arid regions
-  area of heavy groundwater abstraction with over-exploit.
-  area of groundwater mining

04

**Siembra y Cosecha
del Agua en Perú**

Antecedentes

*** Programa Nacional de Manejo de Cuencas y Suelos (comienza 1981)**

*** Programa de Recuperación de Andenes y Terrazas**

*** ONGD (años 90) y otras org. (CONDESAN..)**

*** Agrorural (2008) y Sierra Azul (2017)**





Antecedentes

- * **Propuesta del Plan Nacional de Siembra y Cosecha del Agua**
- * **Ley de Retribución de Costes de Servicios Ecosistémicos para abastecimiento y saneamiento (SUNASS)**



Fotos: ONG Guaman Poma d de Ayala







Agrorural

SIEMBRA DE AGUA

1. QOCHAS.



2. ZANJAS DE INFILTRACIÓN.



3. REFORESTACIÓN PARA SERVICIOS HIDROLOGICOS CON ESPECIES NATIVAS



4. CONSERVACIÓN / RECUPERACION PRADERAS ALTOANDINAS



5. CONSERV. / RECUP. BOFEDALES



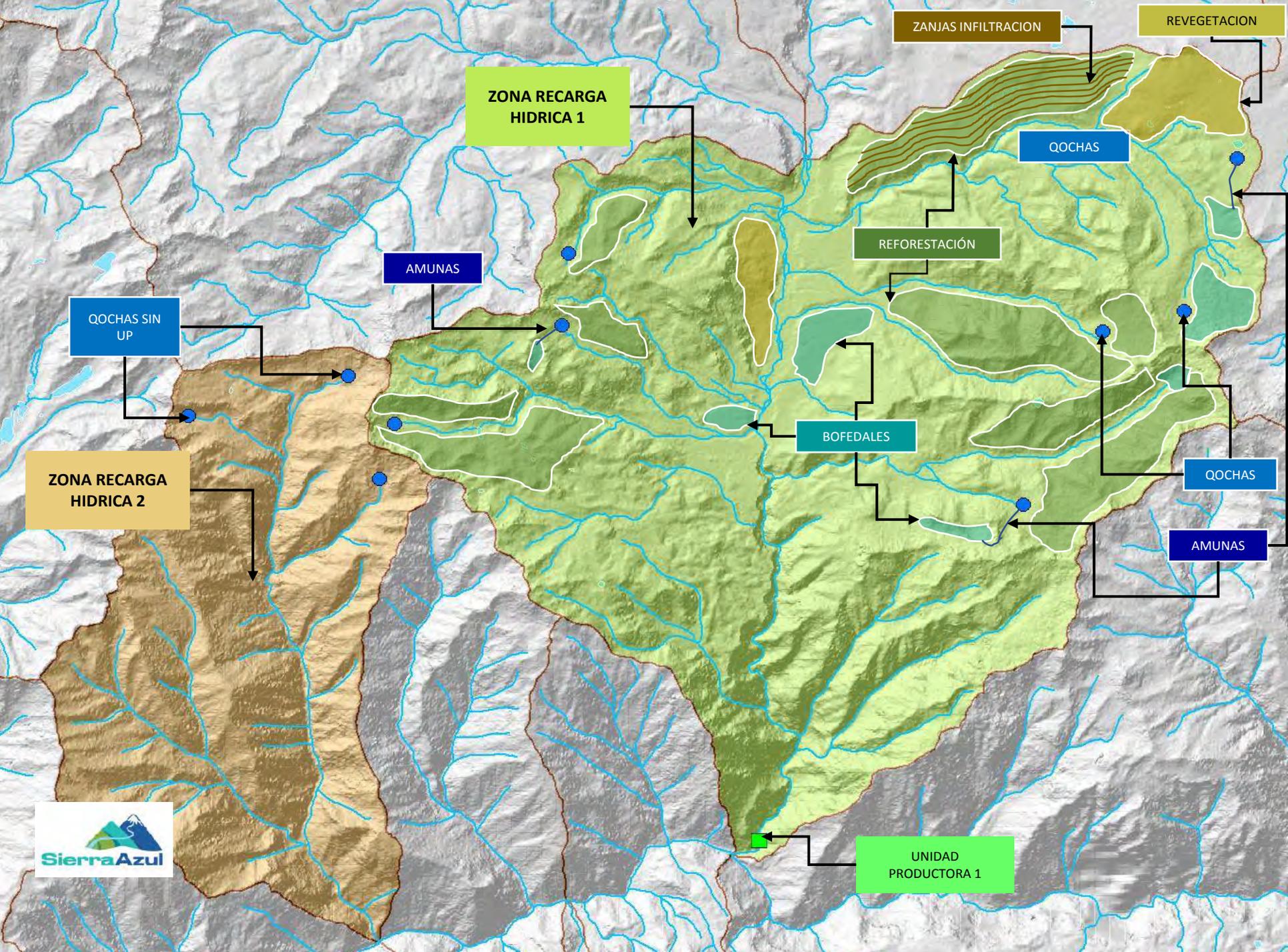
6. AMUNAS



UNIDAD EJECUTORA SIERRA AZUL

La UEFSA es una unidad ejecutora del MINAGRI que formula, ejecuta y supervisa proyectos de siembra y cosecha de agua a nivel nacional.









PERÚ

Ministerio
de Agricultura



SIG CORPORATIVO DE SEGUIMIENTO Y SISTEMATIZACIÓN DE INTERVENCIONES EN SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA



Mapa base

- OpenStreet Map
- Bing Maps
- Bingerial
- copgrace
- National Geographic
- Imágenes
- Uolanda
- Lona gris oscuro
- Lona gris claro
- Interactiva
- Calac
- Google Maps
- Google Satellite

Busqueda espacial - Sierra Azul

Propiedades:

Código inversión:

Código obra:

Acción:

Estado:

Buscar

Busqueda espacial

Departamento:

Provincia:

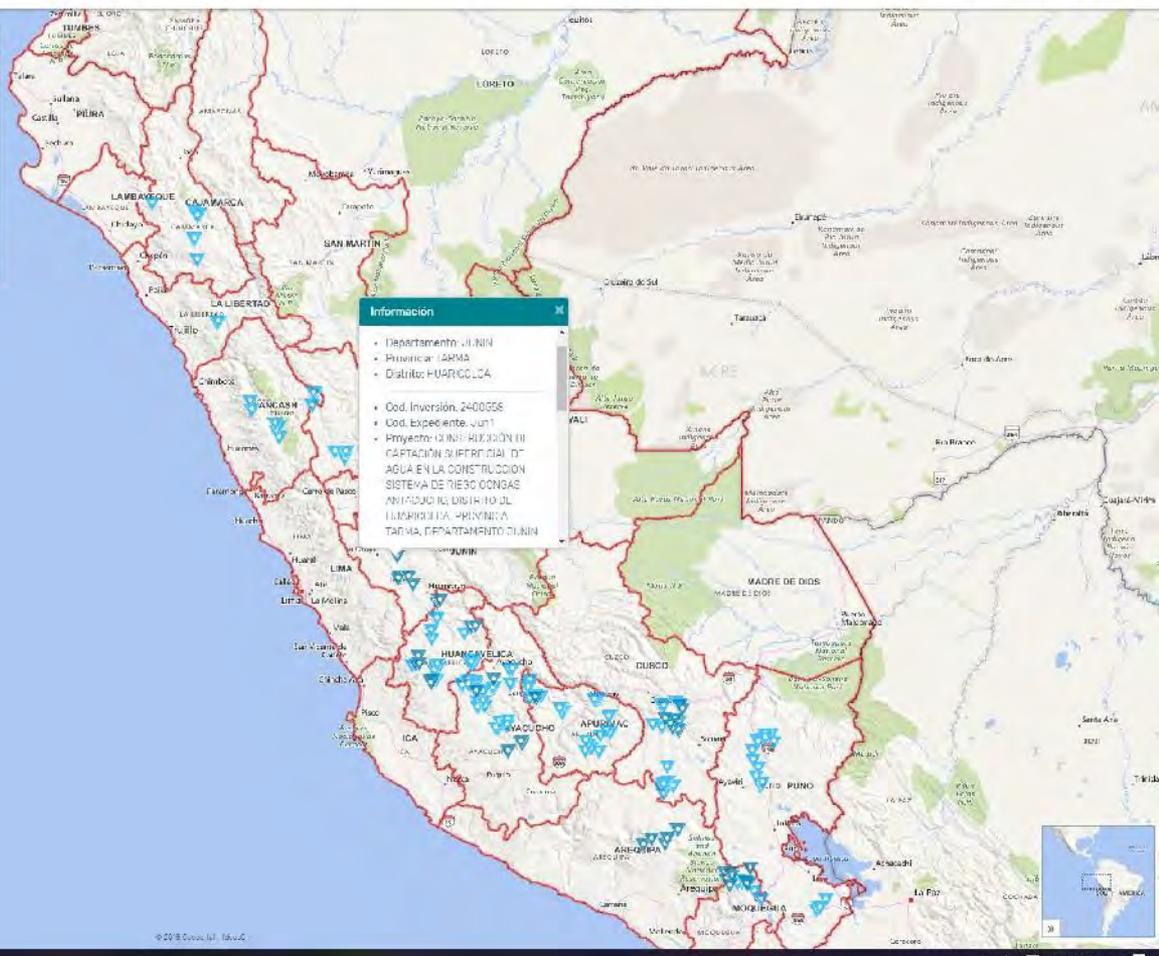
Distrito:

Capas

INTERVENCIONES UERSA

PROYECTOS UERSA - Fondo Sierra Azul

BASE



INVERSIONES EN SIEMBRA DE AGUA – AÑO 2019 UNIDAD EJECUTORA FONDO SIERRA AZUL

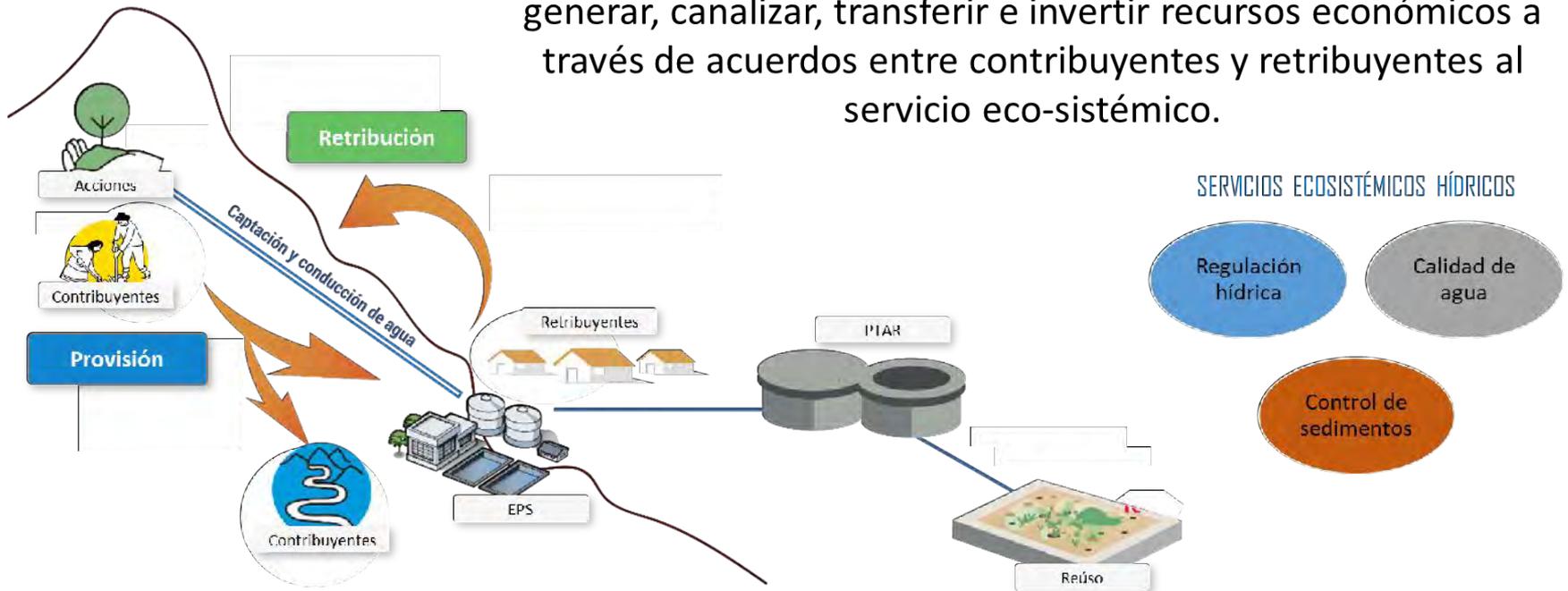
INVERSIONES DE SIEMBRA DE AGUA EJECUCION 2019

DEPARTAMENTO	N° INVERSIONES	PRESUPUESTO (S/.)	MONTO EJECUTADO AÑO 2019	MONTO PROGRAMADO AÑO 2020	VOLUMEN DE RECARGA (M3)	QOCHAS EJECUTADAS	ZANJAS DE INFILTRACION (METROS)	REFORESTACION (HA)	REV. VEGETACION CON ESPECIES NATIVAS (HA)
ANCASH	4	1,692,699	1,692,698		359,773	19	0	0	0
APURIMAC	14	8,519,484	8,519,487		1,783,193	68	175,500	125	0
AYACUCHO	13	5,407,495	5,407,494		1,782,401	59	0	0	0
CAJAMARCA	2	1,648,380	1,648,380		371,805	18	0	0	0
CUSCO	8	3,142,372	3,142,371		923,698	33	0	0	0
HUANCAVELICA	10	3,686,530	3,223,589	462,941	811,602	28	11,700	10	58
HUANUCO	2	1,003,447	1,003,447		528,717	10	0	0	0
JUNIN	1	901,593	167,451	734,141	143,740		0	0	20
LA LIBERTAD	1	909,677	909,677		53,642	11	0	0	0
LIMA	2	1,665,739	231,432	1,434,307	170,545		15,000	10	0
MOQUEGUA	3	1,361,396	1,361,396		230,155	13	0	11	0
PASCO	1	796,101	83,958	712,144	136,952		0	0	12
PUNO	4	2,354,110	2,354,111		1,678,455	25	0	0	0
Total general	65	33,089,023	29,745,491	3,343,533	8,974,678	284	202,200	156	90



Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos "MERESE"

Esquemas, herramientas, instrumentos e incentivos para generar, canalizar, transferir e invertir recursos económicos a través de acuerdos entre contribuyentes y retribuyentes al servicio eco-sistémico.



Ley 30215 - Ley MRSE: promueve, regula y supervisa los MRSE que se derivan de acuerdos voluntarios que establecen acciones de conservación, recuperación y uso sostenible.

D.S.009-2016-MINAM Reglamento Ley MRSE:

- Las EPS pueden ser retribuyentes por los servicios Ecosistémicos que provea la cuenca hidrográfica de su ámbito u otros ecosistemas de los que se benefician, permitiéndoles brindar el servicio de agua potable.
- Las EPS recaudan, a través de sus tarifas, recursos por concepto de MRSE.
- Las EPS están facultadas para formular, evaluar, aprobar y ejecutar proyectos de inversión pública en los ecosistemas que les provean servicios Ecosistémicos.

DL N° 1280 - Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento:

- Las empresas prestadoras deben promover acuerdos para implementar MRSE.
- La Sunass debe incluir en la tarifa el monto de MRSE que le corresponde abonar a cada uno de los usuarios.
- Mediante resolución tarifaria aprobada por la Sunass, se establecen las condiciones para la administración y ejecución de los recursos por concepto de MRSE.

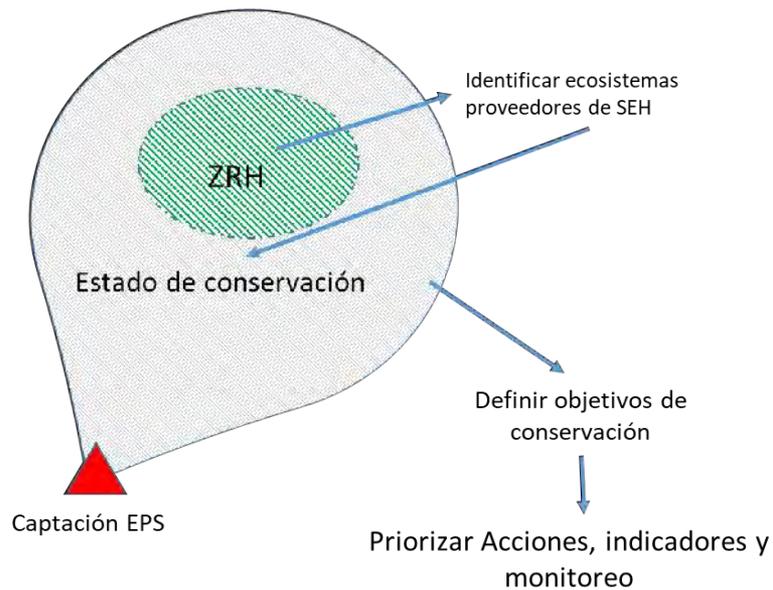
DS N° 019-2017-VIVIENDA Reglamento de la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento

- Modalidades de ejecución de los MRSE

Directiva MRSE: **045-2017-SUNASS-CD**

DISEÑO DE LOS MERESE

Delimitación de la Cuenca de Aporte y los SEH que priorice la EPS (DHR)



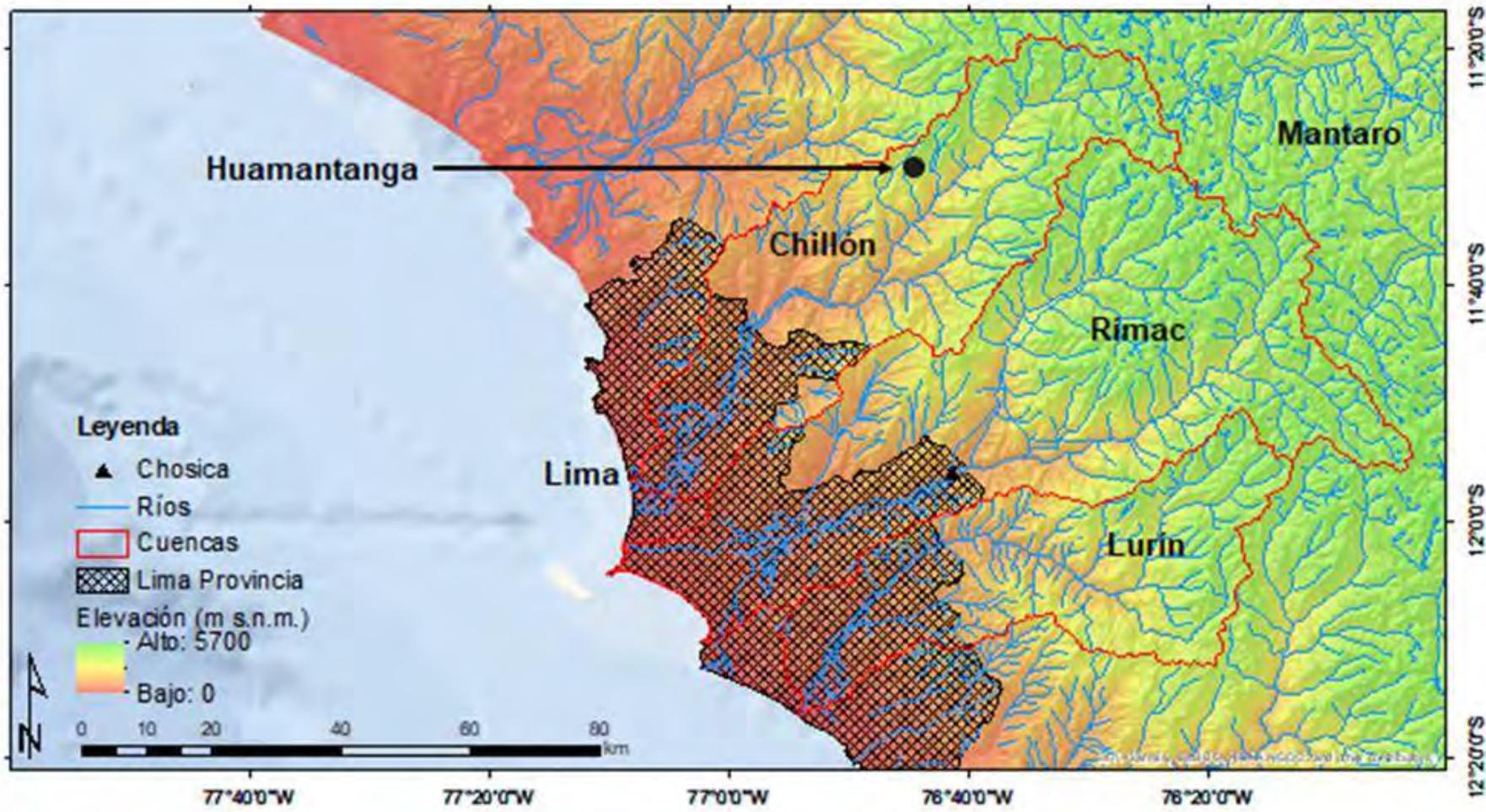
05

**¿Qué puede aportar
la ciencia a la
Siembra y Cosecha
del Agua?**

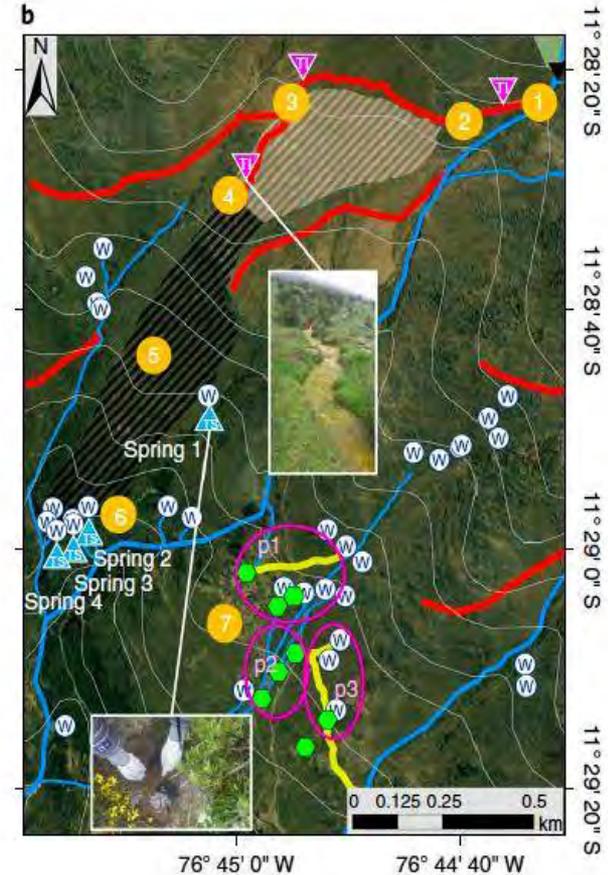
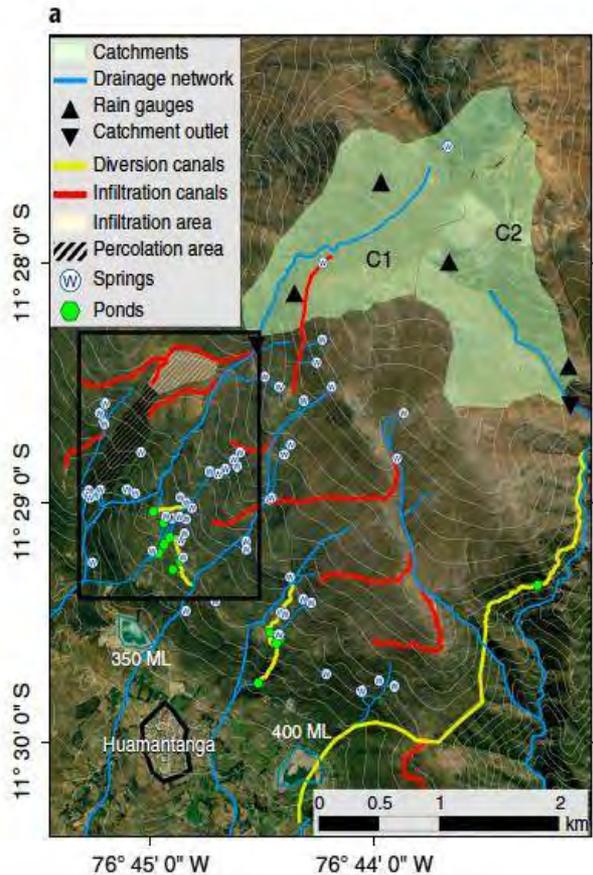
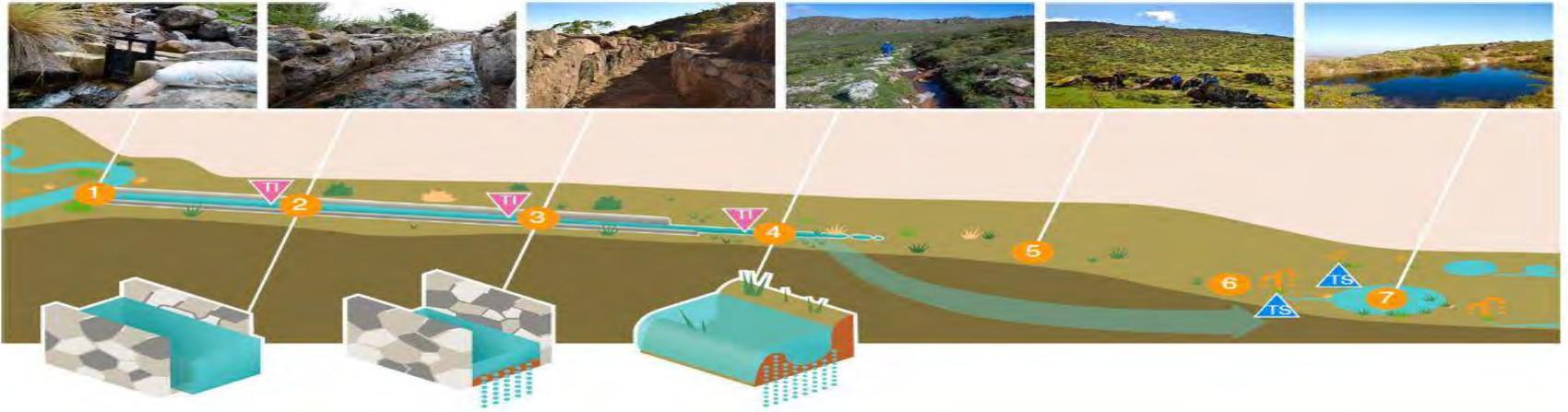
Evidencia

Potential contributions of pre-Inca infiltration infrastructure to Andean water security

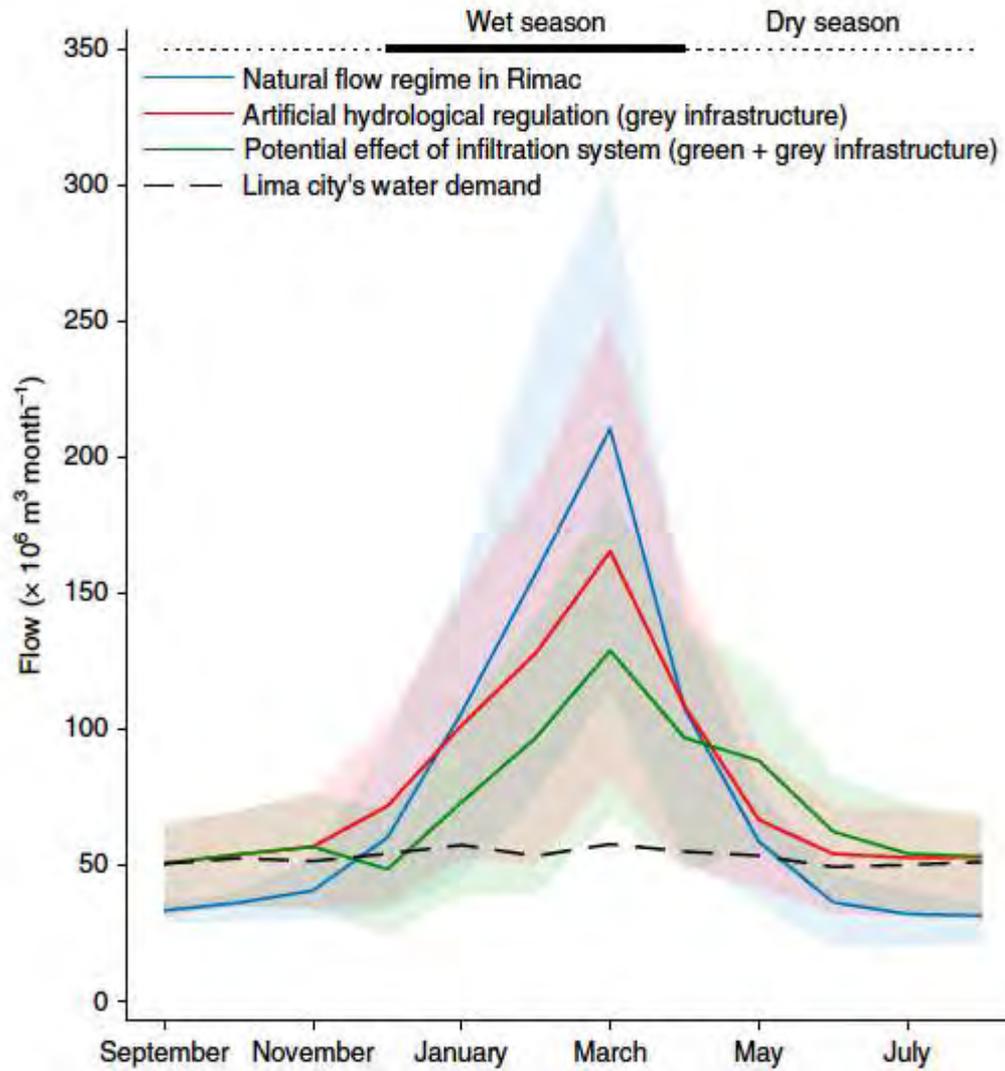
Boris F. Ochoa-Tocachi ^{1,2,3*}, Juan D. Bardales^{2,4}, Javier Antiporta^{2,5}, Katya Pérez^{2,5}, Luis Acosta^{2,4}, Feng Mao⁶, Zed Zulkafli⁷, Junior Gil-Ríos^{2,4}, Oscar Angulo^{2,4,8}, Sam Grainger⁹, Gena Gammie¹⁰, Bert De Bièvre^{2,11} and Wouter Buytaert ^{1,2}



(Ochoa-Tocachi et al., 2019)



(Ochoa-Tocachi et al., 2019)



(Ochoa-Tocachi et al., 2019)

Contribuciones potenciales

de la infraestructura preincaica de infiltración de agua para la seguridad hídrica en los Andes

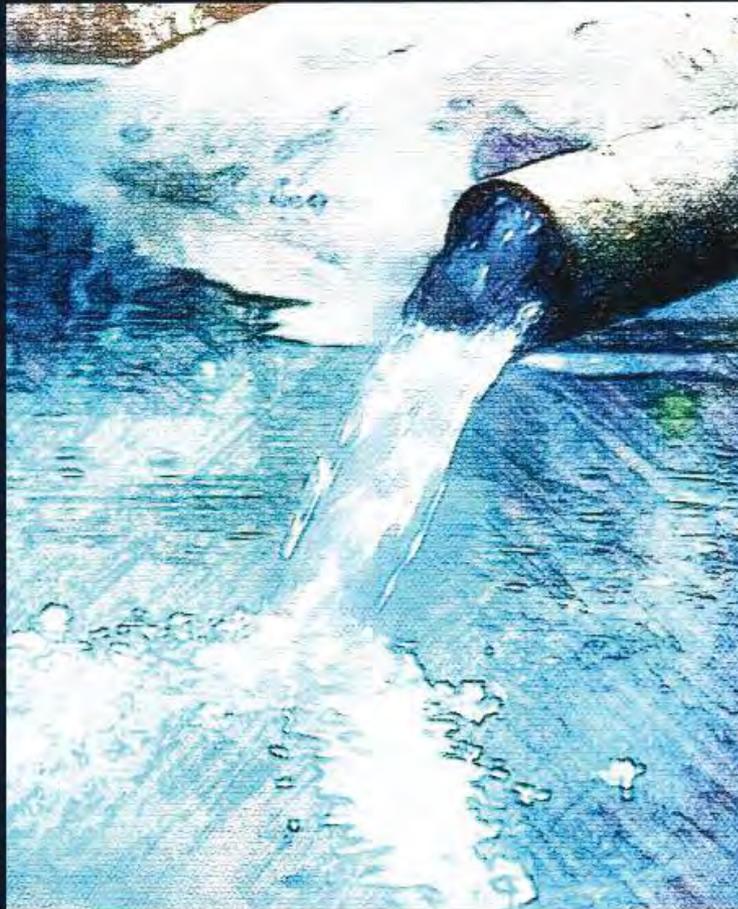
Boris F. Ochoa-Tocachi^{1, 2, 3*}, Juan D. Bardales^{2,4}, Javier Antiporta^{2,5}, Katya Pérez^{2,5}, Luis Acosta^{1,4}, Feng Mao⁶, Zed Zulkafli⁷, Junior Gil-Ríos^{2,4}, Oscar Angulo^{2,4,8}, Sam Grainger⁹, Gena Gammie¹⁰, Bert De Bièvre^{2,11} y Wouter Buytaert^{1,2}



Manejo de la recarga de acuíferos: un enfoque hacia Latinoamérica



Editores: Oscar Escolero Fuentes • Carlos Gutiérrez Ojeda • Edgar Yuri Mendoza Cázares



16

LAS ACEQUIAS DE CAREO DE SIERRA NEVADA (SUR DE ESPAÑA), UN SISTEMA DE RECARGA ANCESTRAL EN ACUÍFEROS DE ALTA MONTAÑA

S. Martos-Rosillo¹, A. González-Ramón¹, C. Marín-Lechado¹, J.A. Cabrera²,
C. Guardiola-Albert¹, J. Jodar³, E. Navarrete⁴, A. Ruiz-Constán¹, F. Moral⁵, A.
Pedrera¹, R. Navas⁶, M. López⁶ y J.J. Durán¹

¹ Instituto Geológico y Minero de España;

² Profesional libre; España

³ Universidad Politécnica de Cataluña; Cataluña, España

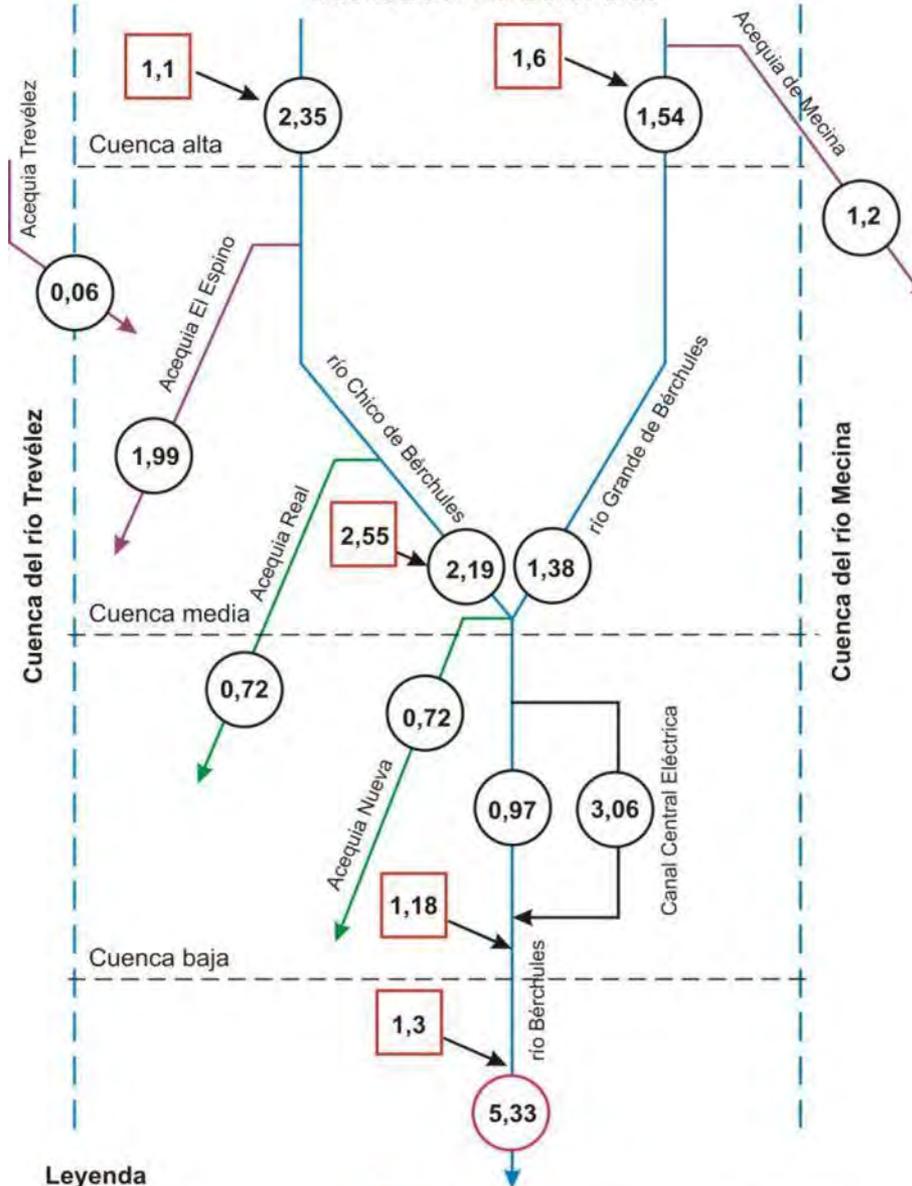
⁴ Agencia de Medio Ambiente y Agua de la Junta de Andalucía; Andalucía, España

⁵ Universidad Pablo de Olavide de Sevilla; Sevilla, España

⁶ Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, Andalucía,
España



Cuenca del río Bérchules



Leyenda

-  Río
-  Acequia de careo
-  Acequia de riego
-  Canal
-  Aportaciones subterráneas (hm³/año)
-  Sección de control (hm³/año)
-  Estación de aforo (hm³/año)



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

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



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)



J. Jódar ^{a,*}, E. Carpintero ^b, S. Martos-Rosillo ^{c,d}, A. Ruiz-Constán ^{c,d}, C. Marín-Lechado ^{c,d}, J.A. Cabrera-Arrabal ^{c,d}, E. Navarrete-Mazariegos ^e, A. González-Ramón ^{c,d}, L.J. Lambán ^{c,d}, C. Herrera ^f, M.P. González-Dugo ^b

^a Groundwater Hydrology Group, Dept. Civil and Environmental Eng., Technical University of Catalonia (UPC), Hydromodel Host S.L. and Aquegeo Proyectos S.L., Spain

^b Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica de Andalucía (IFAPA), Córdoba, Spain

^c Geological Survey of Spain (IGME), Granada, Spain

^d Geological Survey of Spain (IGME), Zaragoza, Spain

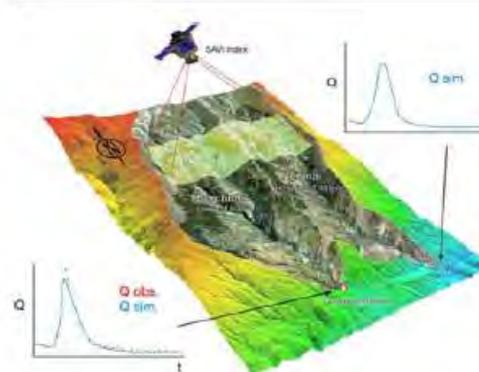
^e Agencia de Medio Ambiente y Agua de la Junta de Andalucía, Sevilla, Spain

^f Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte (UCN), Antofagasta, Chile

HIGHLIGHTS

- VI-ETo model used to estimate annual discharge of ungauged high-mountain basins.
- The HBV model is used to validate the VI-ETo model results.
- Groundwater discharge controls the Bérchules watershed hydrological dynamics.
- Deglaciation modifies the response of High Mountain the rivers in low latitude basins.
- Reforested trees evapotranspire the same water as crop irrigation in Sierra Nevada.

GRAPHICAL ABSTRACT



Groundwater discharge in high-mountain watersheds: A valuable resource for downstream semi-arid zones. The case of the Bérchules River in Sierra Nevada (Southern Spain)



Jorge Jódar ^{a,*}, José Antonio Cabrera ^b, Sergio Martos-Rosillo ^b, Ana Ruiz-Constán ^b, Antonio González-Ramón ^b, Luis Javier Lambán ^b, Christian Herrera ^c, Emilio Custodio ^d

^a Groundwater Hydrology Group, Dept. Civil and Environmental Eng., Technical University of Catalonia (UPC), Hydromodel Host S.L. and Aquageo Proyectos S.L., Spain

^b Geological and Mining Institute of Spain (IGME), Spain

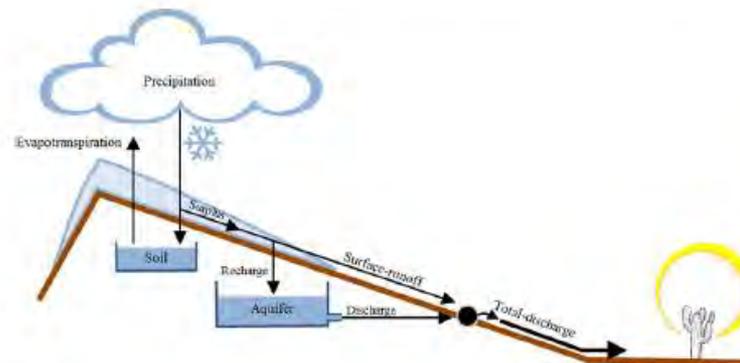
^c Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile

^d Groundwater Hydrology Group, Dept. Civil and Environmental Eng., Technical University of Catalonia (UPC) and Royal Academy of Sciences of Spain, Spain

HIGHLIGHTS

- Snow melting in high-mountain watersheds controls the system hydrologic response.
- Groundwater plays a major role in the Bérchules watershed hydrological dynamics.
- Aquifer recharge equals 23% of precipitation in the Bérchules watershed
- In the spring months recharge from snow melting accounts for 56% of total recharge.

GRAPHICAL ABSTRACT



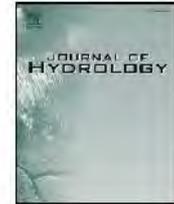


ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Hydrology

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

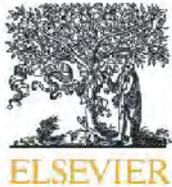


Research papers

The oldest managed aquifer recharge system in Europe: New insights from the Espino recharge channel (Sierra Nevada, southern Spain)

S. Martos-Rosillo^a, A. Ruiz-Constán^{a,*}, A. González-Ramón^a, R. Mediavilla^b,
J.M. Martín-Civantos^c, F.J. Martínez-Moreno^d, J. Jódar^e, C. Marín-Lechado^a, A. Medialdea^f,
J. Galindo-Zaldívar^{g,h}, A. Pedreraⁱ, J.J. Durán^b





Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

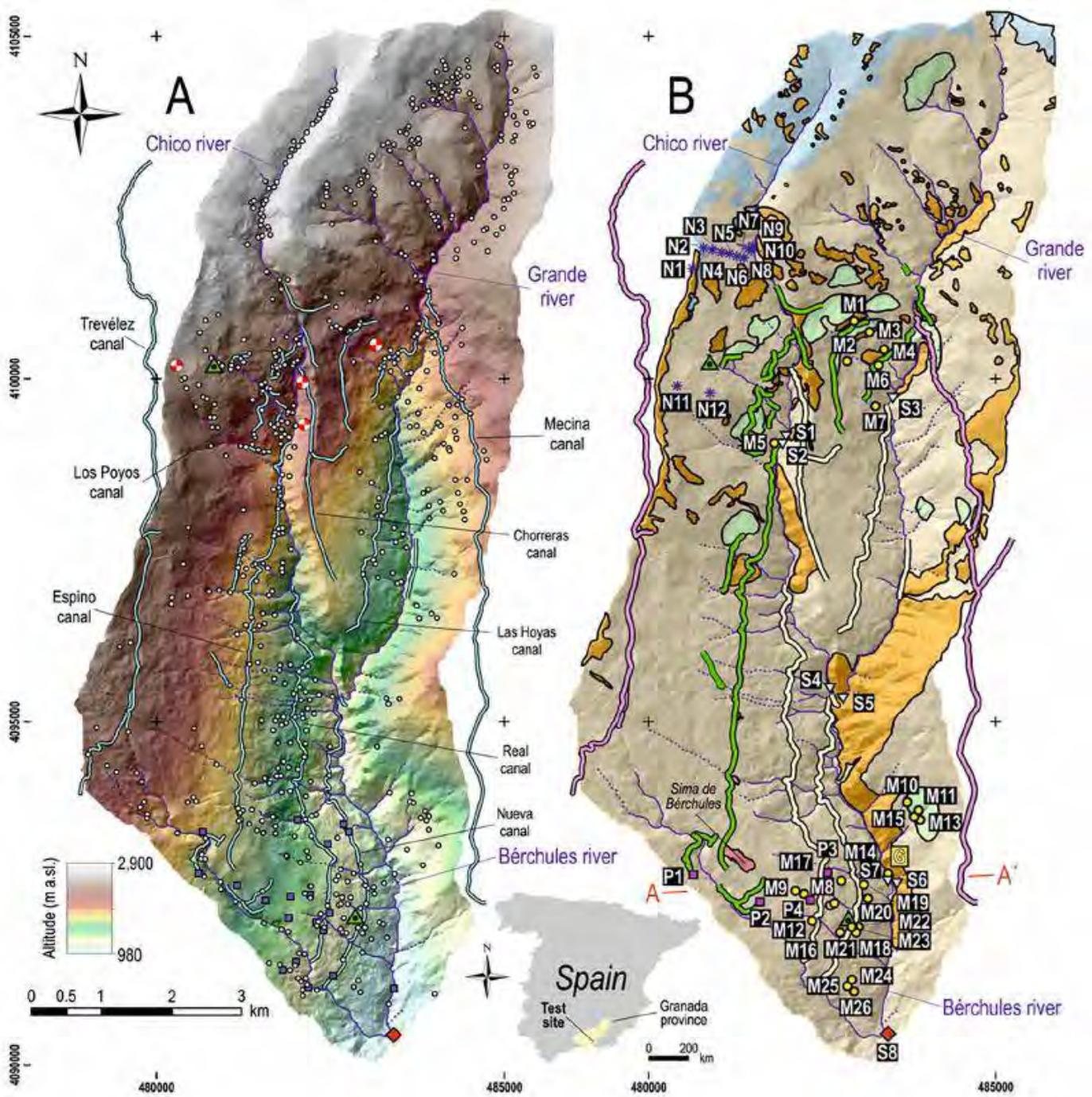
journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

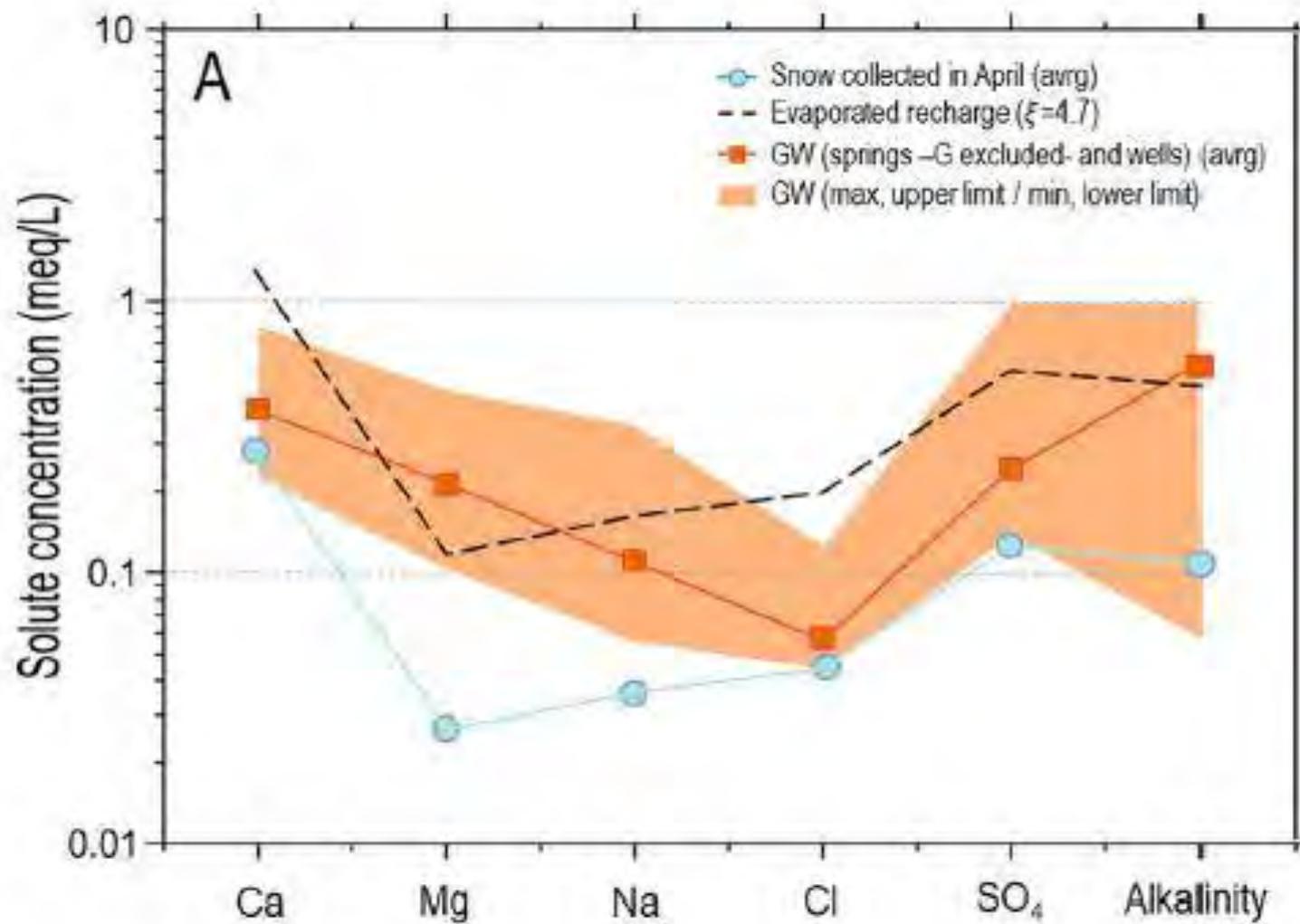


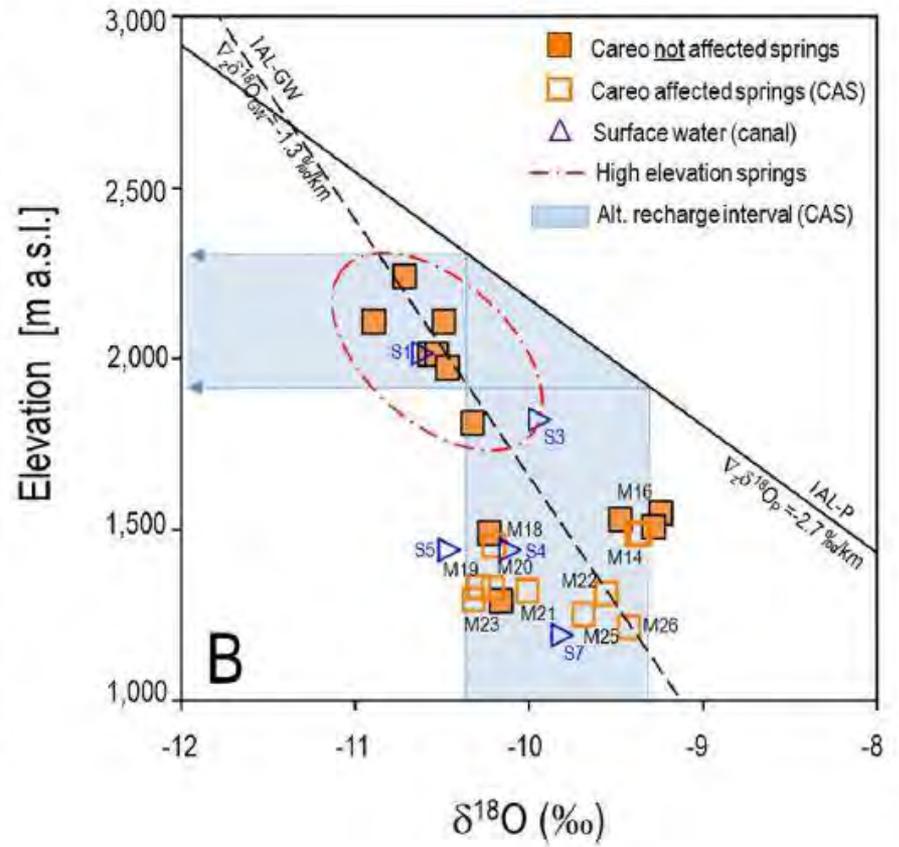
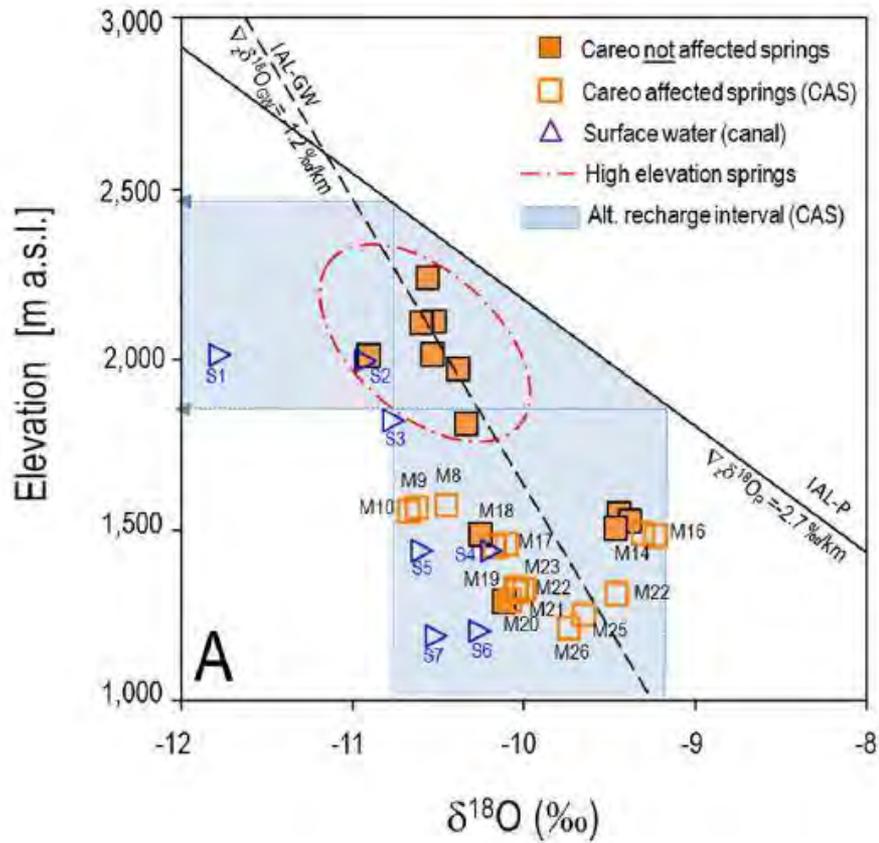
Groundwater dynamics in a hydrologically-modified alpine watershed from an ancient managed recharge system (Sierra Nevada National Park, Southern Spain): Insights from hydrogeochemical and isotopic information

Barberá J.A.^a, Jódar J.^{b,c,*}, Custodio E.^{b,f}, González-Ramón A.^e, Jiménez-Gavilán P.^d, Vadillo I.^a, Pedrera A.^e, Martos-Rosillo S.^e

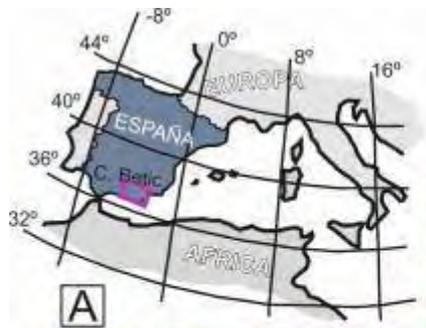




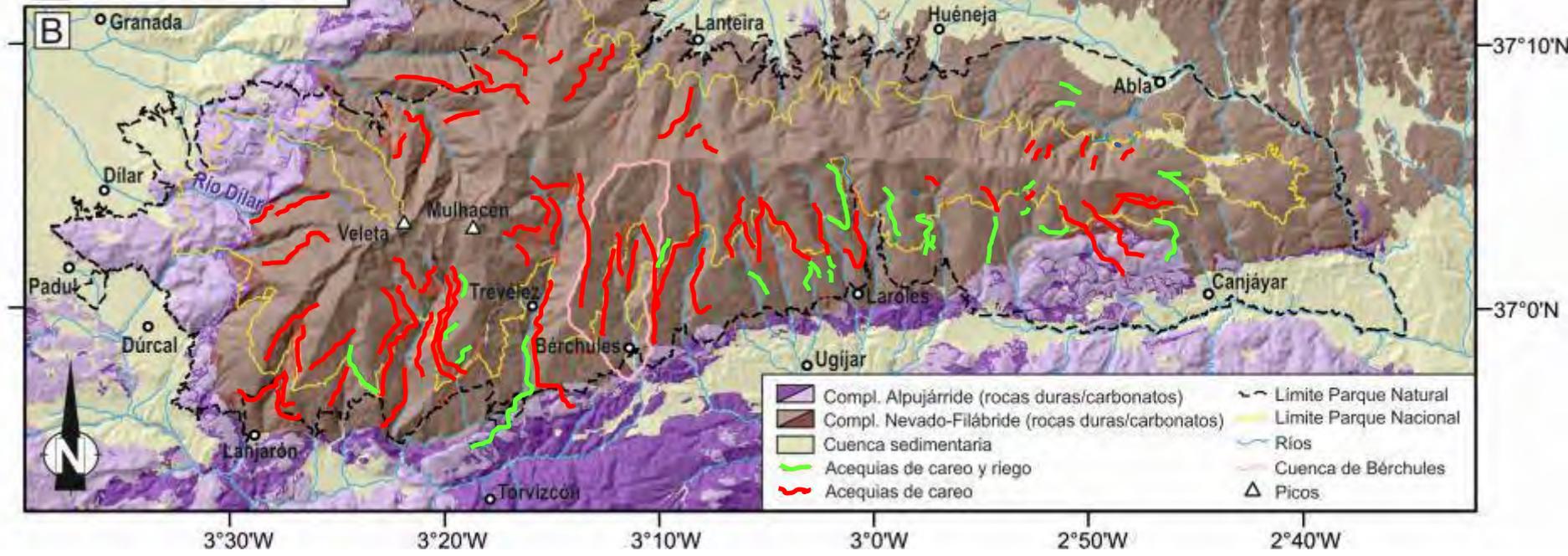




Evaluación de la capacidad de regulación

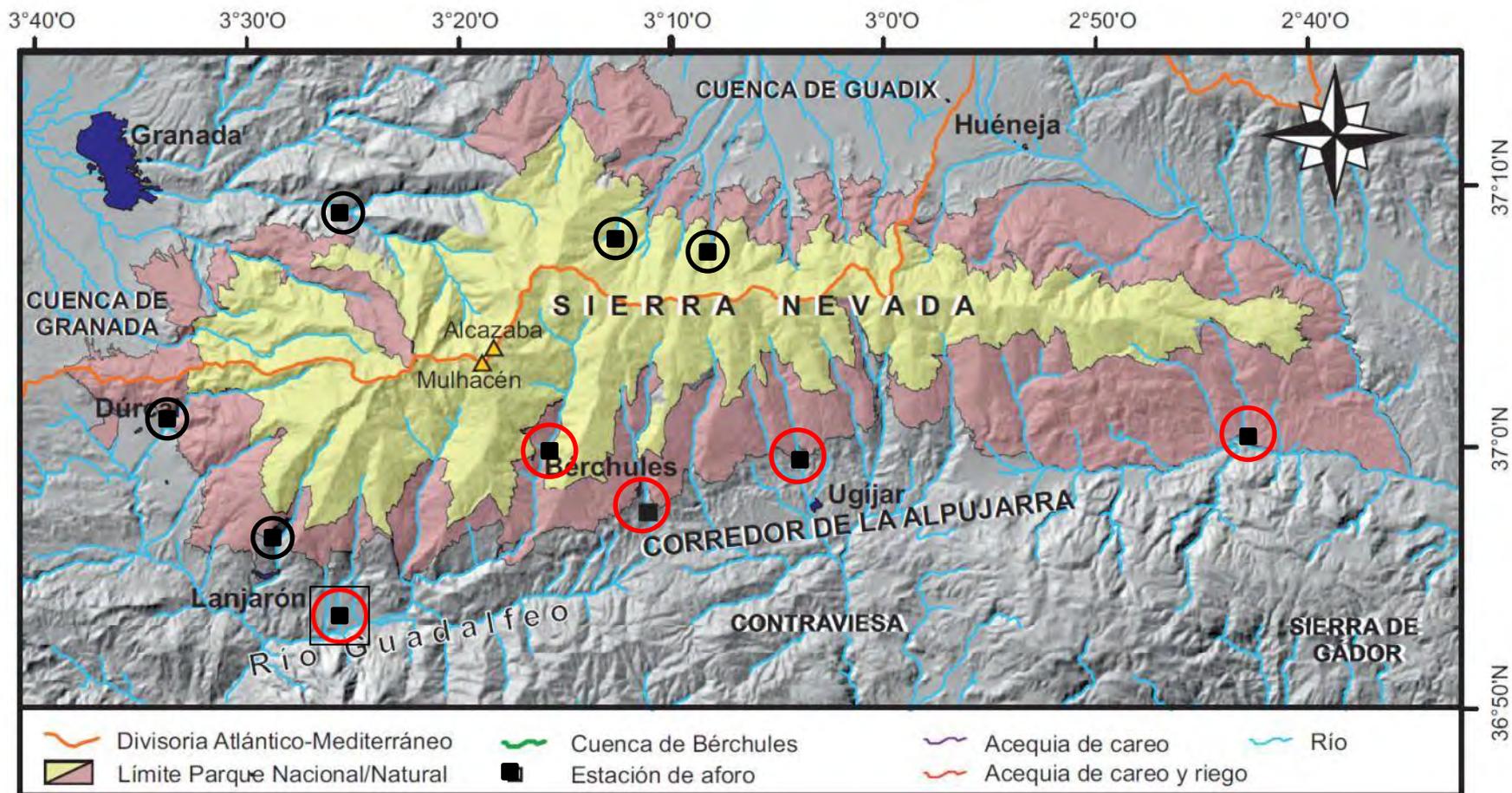


A

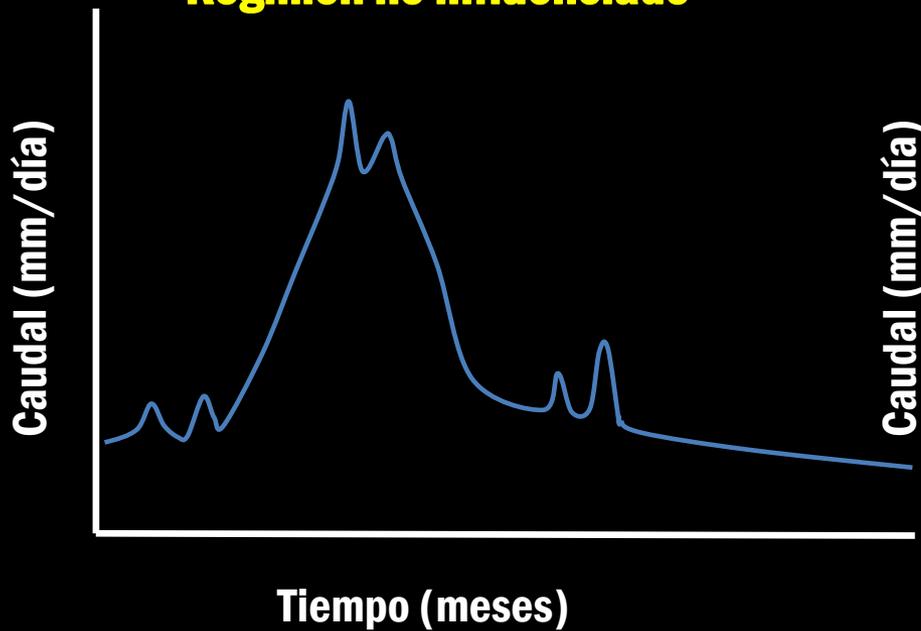


B

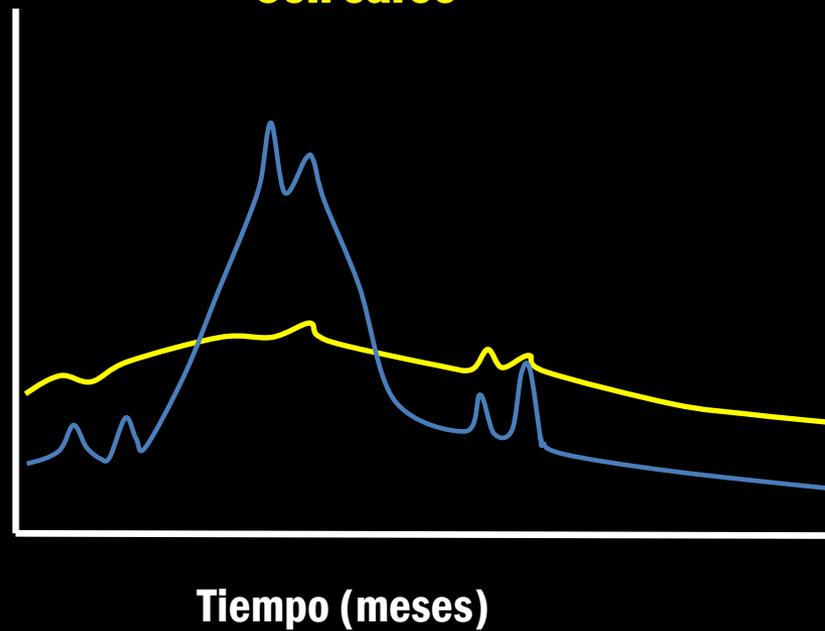
- | | | | |
|--|--|---|------------------------|
|  | Compl. Alpujárride (rocas duras/carbonatos) |  | Limite Parque Natural |
|  | Compl. Nevado-Filábride (rocas duras/carbonatos) |  | Limite Parque Nacional |
|  | Cuenca sedimentaria |  | Ríos |
|  | Acequias de careo y riego |  | Cuenca de Bérchules |
|  | Acequias de careo |  | Picos |



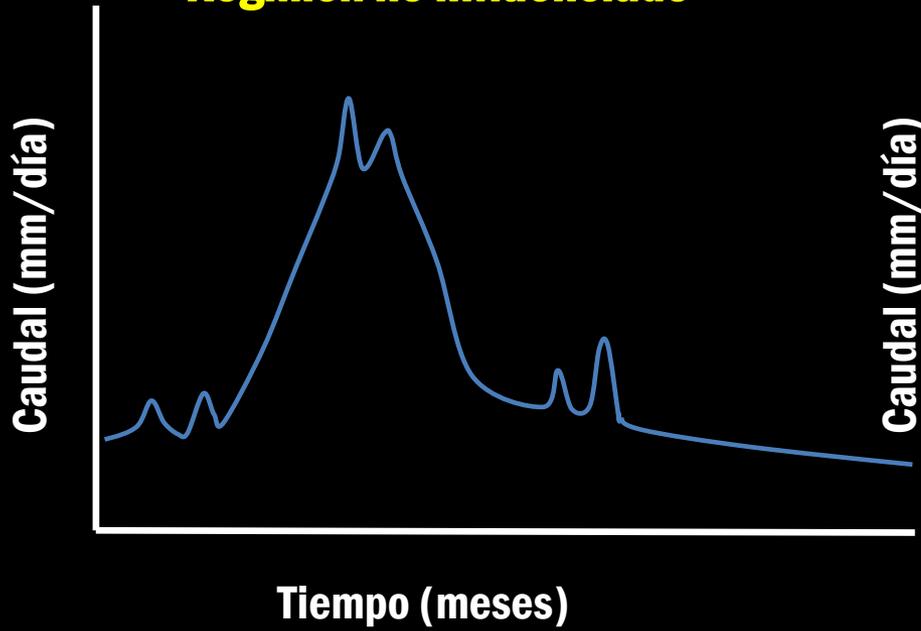
Régimen no influenciado



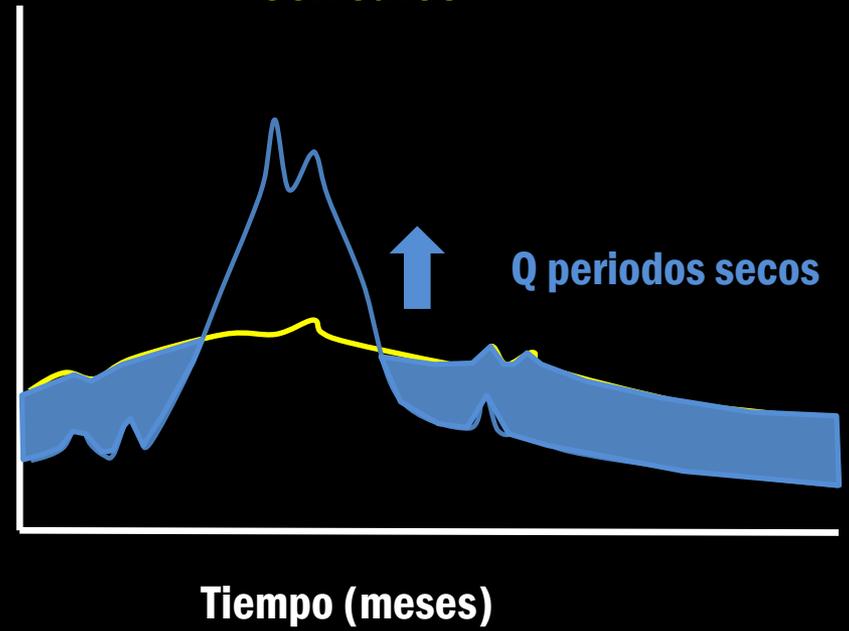
Con careo



Régimen no influenciado



Con careo



Optimización en el diseño de nuevos sistemas SyCA

Received: 22 August 2017 | Accepted: 7 December 2017

DOI: 10.1002/hyp.11423

SPECIAL ISSUE CANADIAN GEOPHYSICAL UNION 2018

WILEY

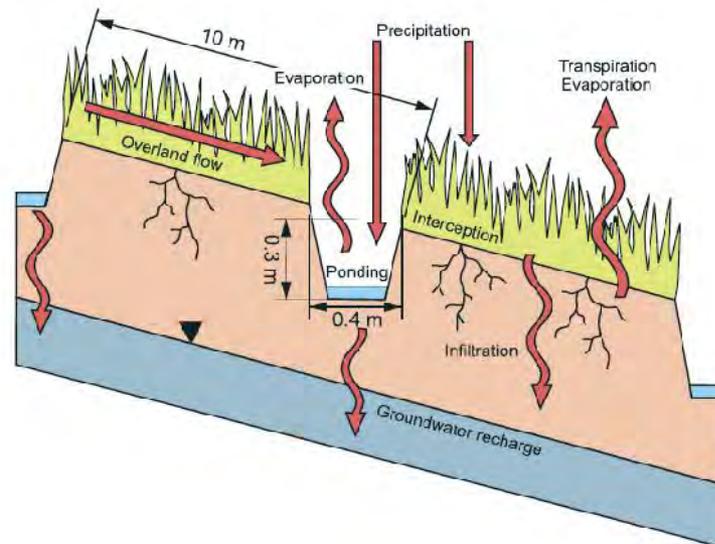
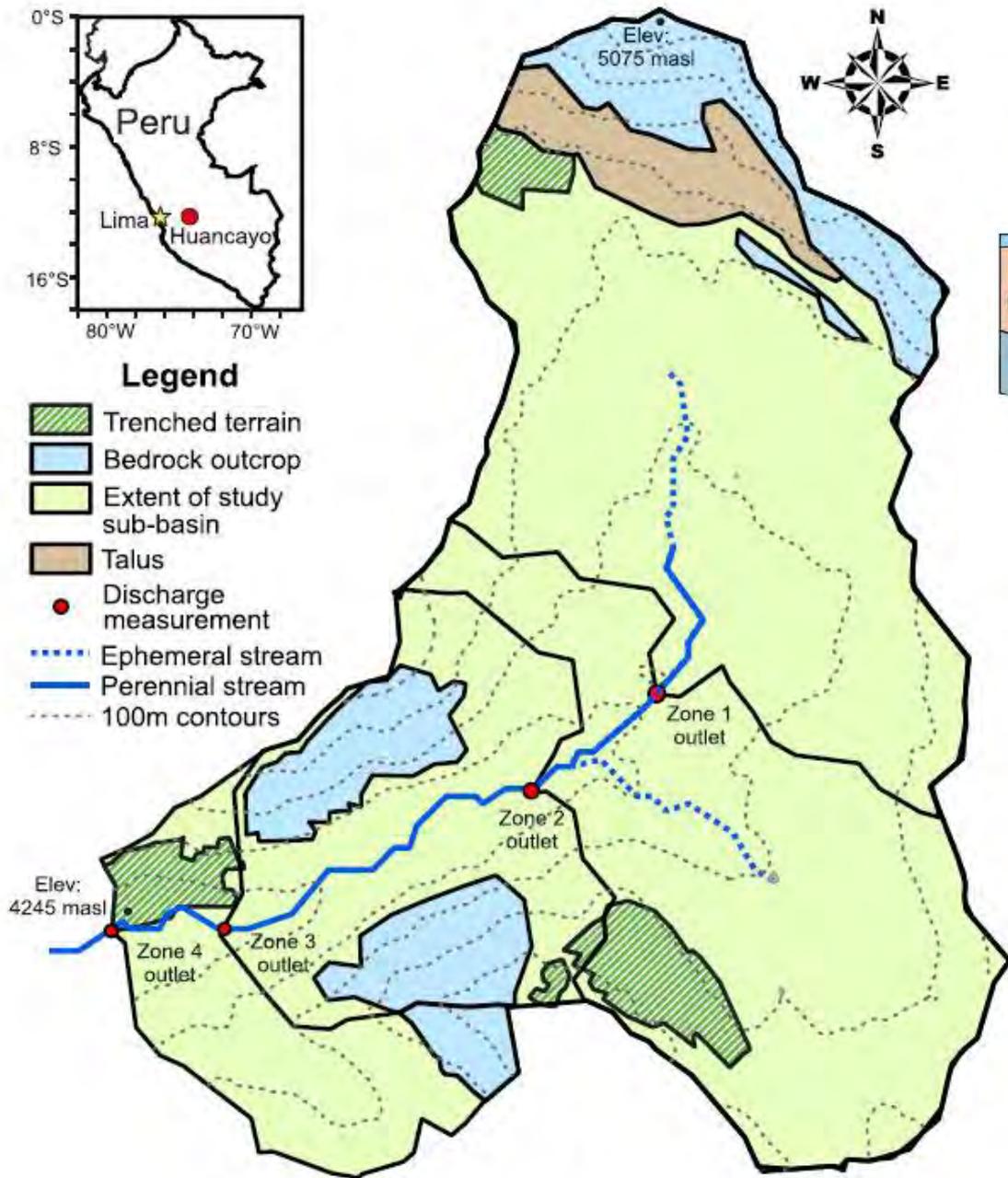
Does hillslope trenching enhance groundwater recharge and baseflow in the Peruvian Andes?

Lauren D. Somers¹  | Jeffrey M. McKenzie¹  | Samuel C. Zipper^{1,2}  | Bryan G. Mark³  |
Pablo Lagos⁴ | Michel Baraer⁵ 

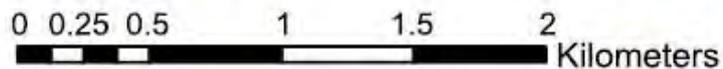


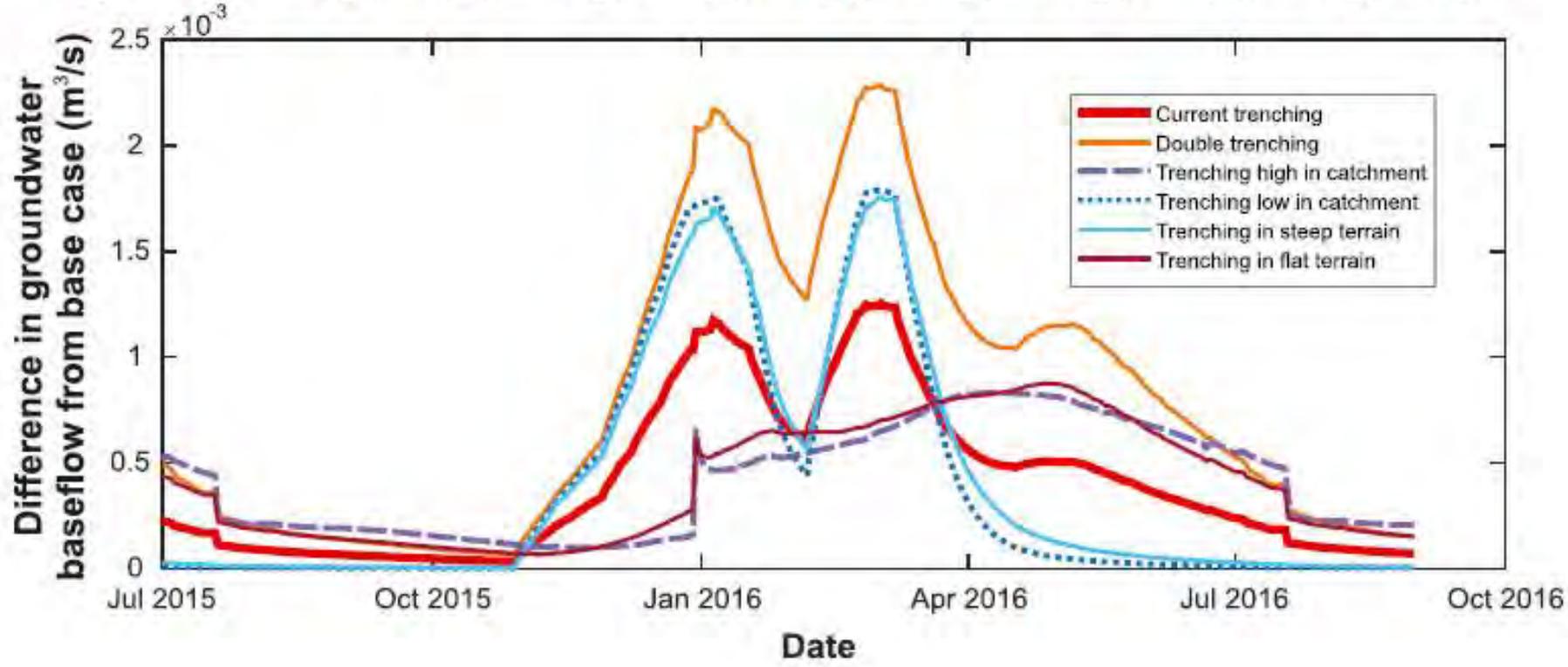
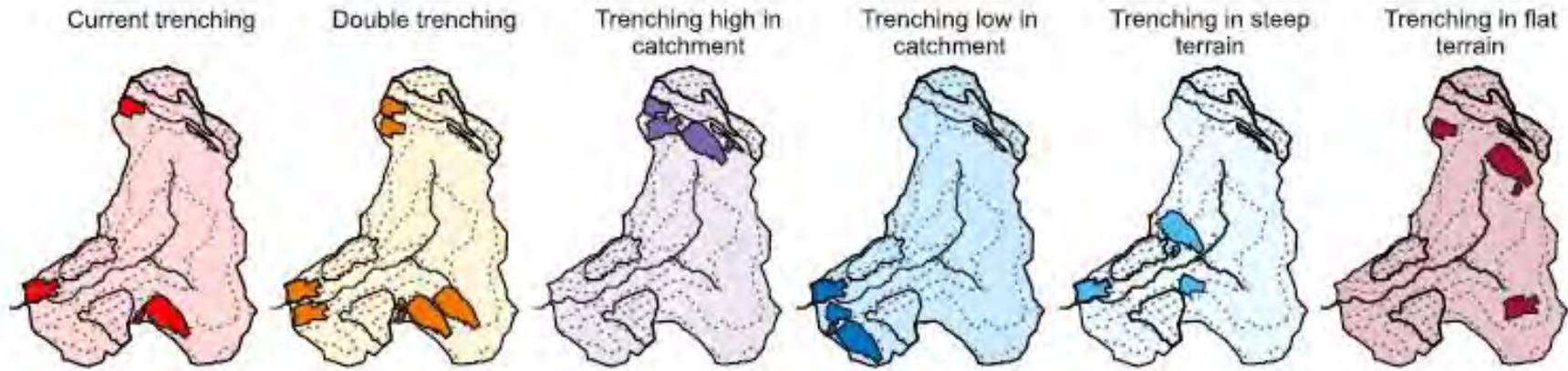
Legend

- Trenched terrain
- Bedrock outcrop
- Extent of study sub-basin
- Talus
- Discharge measurement
- Ephemeral stream
- Perennial stream
- 100m contours



Zone	Zone area (km ²)	Trenched area (km ²)	Outcrop area (km ²)	Stream discharge change (total Aug 2016 (L/s))
1	4.39	0.09 (2%)	0.59 (13%)	14 (14)
2	2.85	0.23 (8%)	0 (0%)	0 (14)
3	2.02	0.03 (1.5%)	0.66 (33%)	4 (18)
4	1.14	0.14 (12%)	0.12 (10%)	5 (23)
Total	10.40	0.49 (5%)	1.37 (13%)	23





- 1 Acequias de Careo
- 2 Pogos
- 3 Manantiales asociados al careo



05

**Siembra y Cosecha
del Agua y Desarrollo
sostenible**









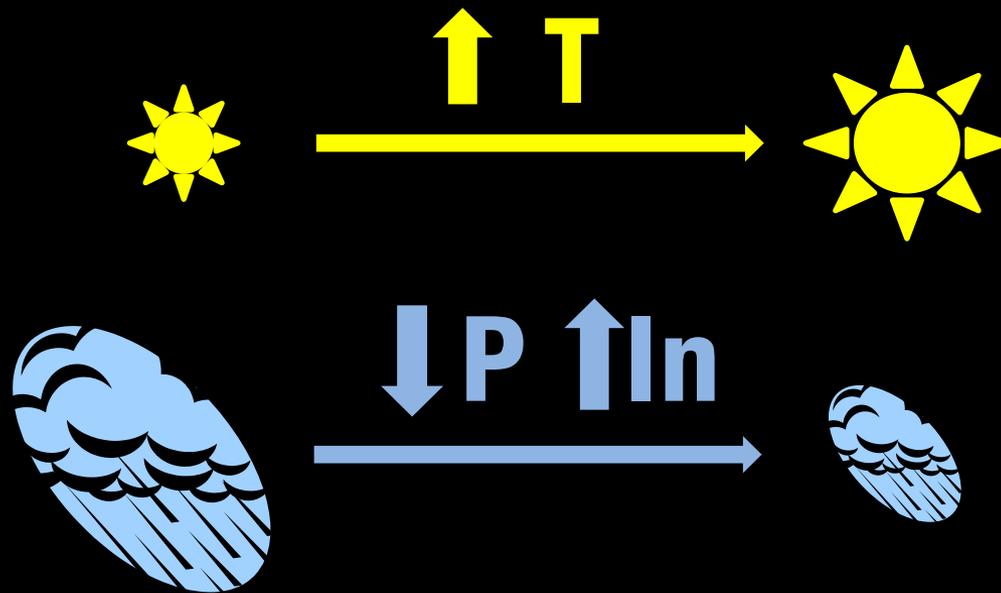


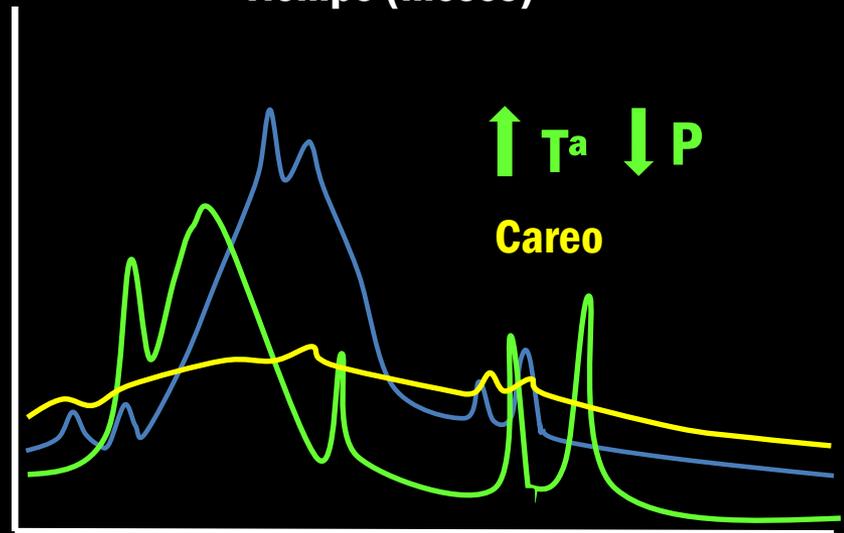
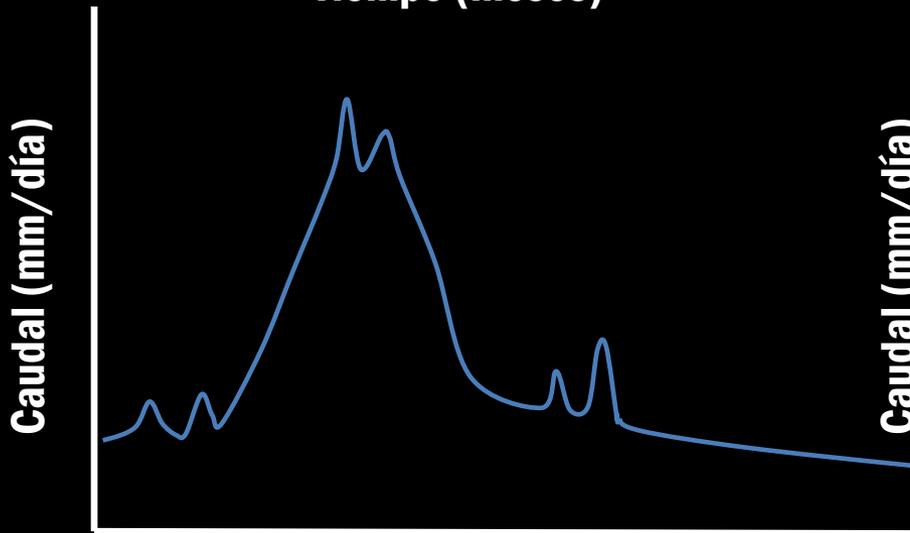
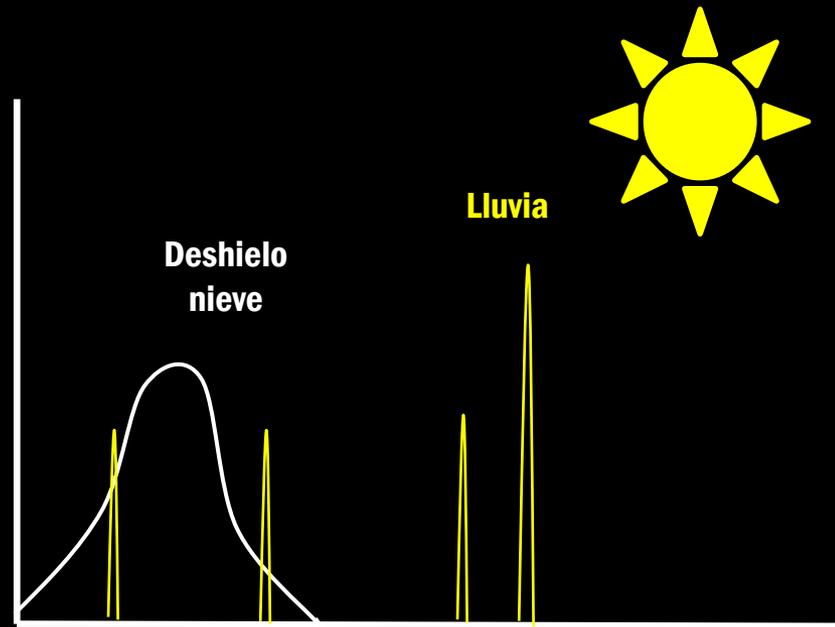
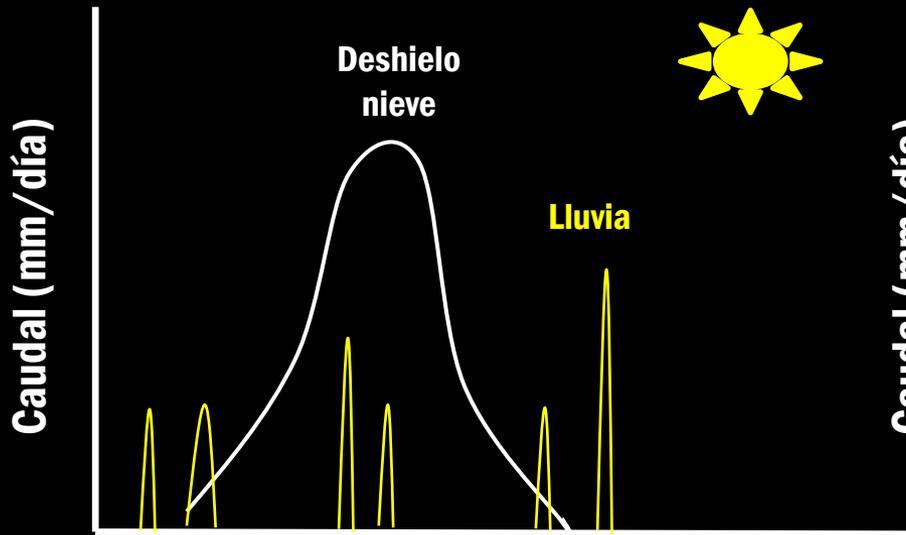






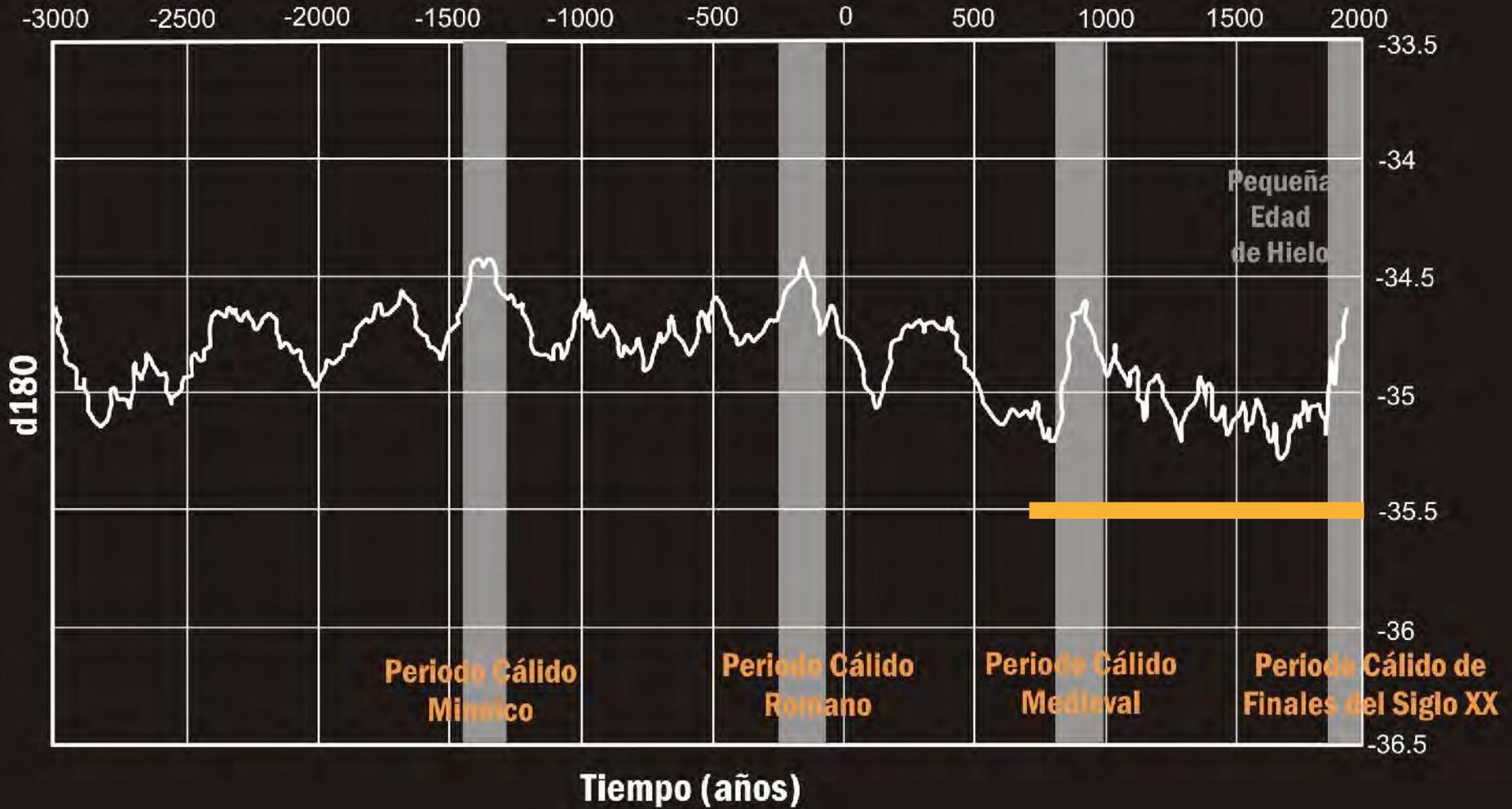
La SyCA mediante acequias de careo es una herramienta de adaptación al cambio climático





Tiempo (meses)

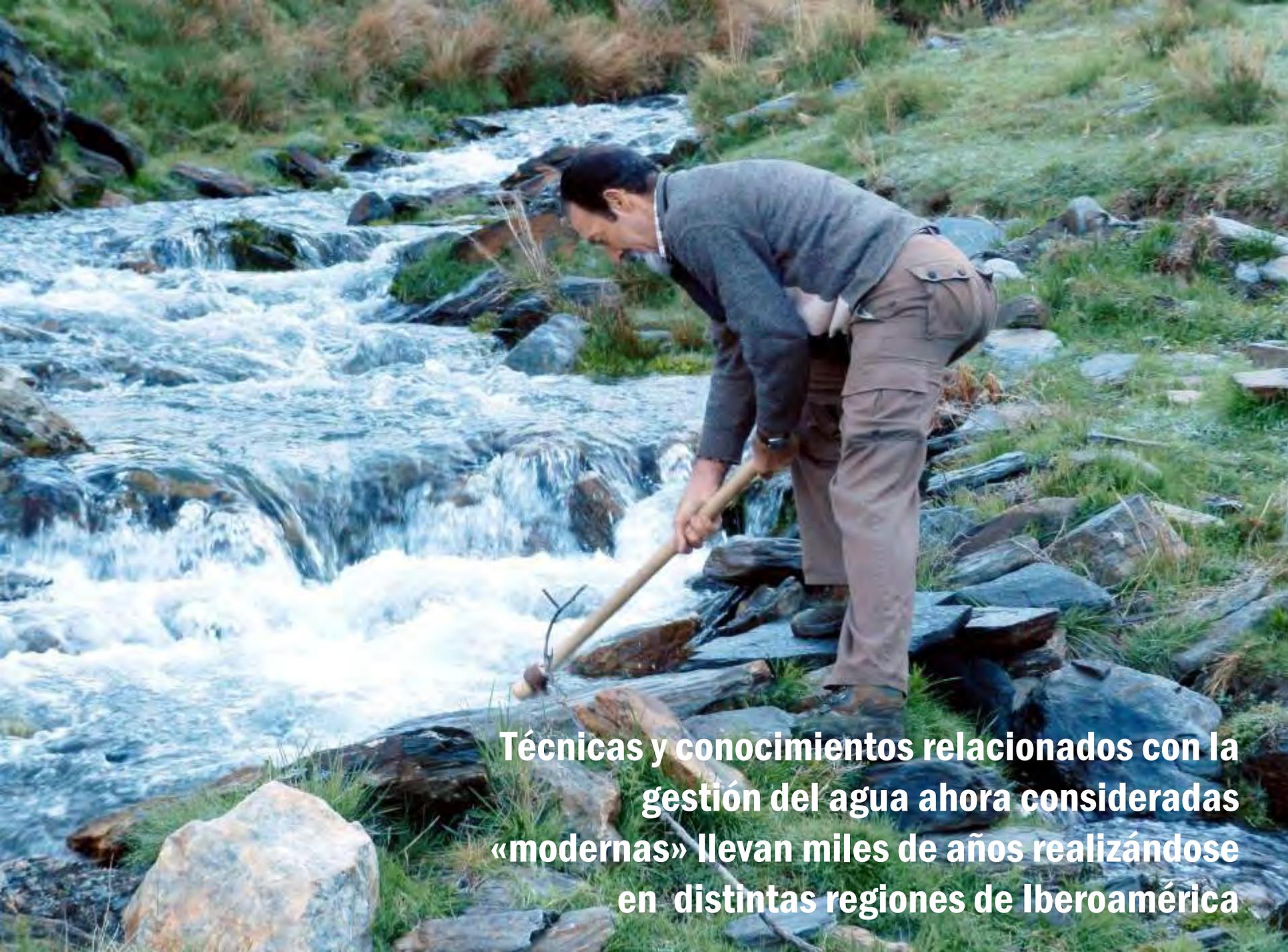
Tiempo (meses)



06 Conclusiones

Al igual que otras ciencias, como la Agronomía y la Farmacología, la Hidrología también pueden avanzar incorporando conocimientos ancestrales.





Técnicas y conocimientos relacionados con la gestión del agua ahora consideradas «modernas» llevan miles de años realizándose en distintas regiones de Iberoamérica



Esta forma de manejo del agua ha permitido superar importantes crisis climáticas y sociales, es un ejemplo de resiliencia y ha demostrado su validez como herramienta de adaptación al cambio climático.

Muchos de los problemas que nos afectan hoy ya fueron resueltos por nuestros antepasados. Es nuestra labor, como científicos, recuperar ese conocimiento.



GRACIAS

Sergio Martos Rosillo

s.martos@igme.es

Referencias

Barberá, J. A., Jódar, J., Custodio, E., González-Ramón, A., Jiménez-Gavilán, P., Vadillo, I., Pedrera, A and 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, 874-893.

Beckers, B., Berking, J., & Schütt, B. (2013). Ancient water harvesting methods in the drylands of the Mediterranean and Western Asia. *eTopoi. Journal for Ancient Studies*.

Gleeson, T., Befus, K. M., Jasechko, S., Luijendijk, E., & Cardenas, M. B. (2016). The global volume and distribution of modern groundwater. *Nature Geoscience*, 9(2), 161-167.

Jódar, J., Cabrera, J.A., Martos-Rosillo, S., Ruiz-Constán, A. González-Ramón, A., Lambán, L.J. y Custodio, E. (2017). Groundwater discharge in Mediterranean high-mountain watersheds: a valuable resource. The case of the Bérchules river in Sierra Nevada (Southern Spain). *Science of the Total Environmental*. 593-594, 760-772.

Jódar, J., Carpintero, E., Martos-Rosillo, S., Ruiz-Constán, A., Marín-Lechado, C., Cabrera-Arrabal, J. A., and 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.

Martos-Rosillo, S., Ruiz-Constán, A., González-Ramón, A., Mediavilla, R., Martín-Civantos, J. M., Martínez-Moreno, F. J., Jódar, J., Marín-Lechado, C., Medialdea, A., Galindo-Zaldivar, J., Pedrera, A. and Durán, J.J. (2019). The oldest managed aquifer recharge system in Europe: New insights from the Espino recharge channel (Sierra Nevada, southern Spain). *Journal of Hydrology*, 578, 124047.

Ochoa-Tocachi, B.F., Bardales, J.D., Antiporta, J., Pérez, K., Acosta, L., Mao, F., Zulkafli, Z., Gil-Ríos, R., Angulo, O., Grainger, S., Gammie, G., De Bièvre, B., Buytaert, W., 2019. Potential contributions of pre-Inca infiltration infrastructure to Andean water security. *Nat. Sustainability* 10.