

# LA EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS SUMINISTRADOS POR LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DEL SURESTE SEMIÁRIDO ANDALUZ.

Berta Martín-López<sup>1</sup>, Marina García-Llorente<sup>1</sup>, Irene Iniesta Arandia<sup>1</sup>, Antonio J. Castro<sup>2</sup>, Bárbara Willaarts<sup>3</sup>, Pedro A. Aguilera<sup>4</sup>, Carlos Montes<sup>1</sup>.

1. Laboratorio de Socioecosistemas, Departamento de Ecología, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.

2. Oklahoma Biological Survey, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, 73019, USA .

3. Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM), Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

4. Departamento de Biología y Geología. Ctra. Sacramento s/n, La Cañada de San Urbano. Universidad de Almería. 04120 Almería, España.

E-mail: berta.martin@uam.es, marina.garcia@uam.es, irene.iniesta@uam.es, acastro@ual.es, barbara.willaarts@upm.es, aguilera@ual.es, carlos.montes@uam.es.

## Introducción.

El agua es un elemento esencial en el funcionamiento de cualquier ecosistema y como tal, ha sido denominada la "circulación" o bloodstream de la biosfera (Ripl 2003). En cambio, la gestión del agua, a menudo no ha tenido en cuenta las múltiples funciones que tiene en los ecosistemas y se ha centrado, solamente, en gestionar su uso directo. Frecuentemente, la atención tiende a centrarse en los ecosistemas acuáticos, obviando las interrelaciones existentes con los ecosistemas terrestres (Falkenmark 2003). Una gestión integrada del agua debería, por tanto, reconocer los estrechos vínculos entre el agua, los ecosistemas y la sociedad, en otras palabras, considerar los ecosistemas acuáticos y terrestres, que albergan las cuencas hidrográficas, como suministradores de servicios de los ecosistemas a la sociedad, es decir, de las contribuciones directas e indirectas de los ecosistemas al bienestar humano (EME 2011).

La aproximación de los ecosistemas como proveedores de servicios, ha sido la piedra angular del Programa Científico Internacional de Naciones Unidas de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio que tuvo lugar en 2005 a escala global (MA 2005), y que recientemente se ha llevado a cabo en España (EME 2011). Desde este punto de vista los servicios que un ecosistema provee se clasifican en tres tipos: abastecimiento (contribuciones obtenidas directamente de la estructura de los ecosistemas), regulación (contribuciones obtenidas de manera indirecta del funcionamiento de los ecosistemas) y culturales (contribuciones intangibles o no materiales que la gente obtiene a través de las experiencias con la naturaleza). Recientemente se ha puesto de manifiesto que tanto los flujos de agua (agua verde y agua azul), como la diversidad funcional, la riqueza de especies y las comunidades vegetales juegan un papel clave en el suministro de servicios (Quijas et al. 2012).

El sureste semiárido de la Península Ibérica es una de las zonas donde el agua ha tenido una importancia histórica a la hora de entender las inter-

acciones naturaleza-sociedad (Sánchez-Picón 2011). Los ecosistemas semi-áridos generan una gran diversidad de servicios a la sociedad (Castro et al. 2011; García-Llorente et al. 2012a), pero también se encuentran entre los más vulnerables al efecto de los impulsores de cambio (EME 2011). El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación de los servicios que proveen dos cuencas semi-áridas conceptualizándolas como socio-ecosistemas, es decir como sistemas integrados de humanos en la naturaleza (Ostrom 2009). Para cumplir dicho objetivo, el presente estudio (1) caracteriza los flujos de agua verde y azul, (2) analiza la demanda social de servicios asociados con dichos flujos, y (3) explora el grado de acoplamiento (o desacoplamiento) entre el suministro de servicios de los ecosistemas, medido a través de los flujos de agua y la demanda social de los mismos. La investigación se enmarca dentro de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España (EME; <http://www.ecomilenio.es>), como un caso de estudio local.

## Los sistemas socio-ecológicos de las cuencas hidrográficas del Río Adra y el Río Nacimiento.

Las cuencas del Adra y Nacimiento se encuentran situadas en las provincias de Almería y Granada, en el sureste semiárido andaluz (Figura 1). La cuenca del Adra tiene una extensión de 742 km<sup>2</sup> y una población de 54.000 habitantes, distribuida en 14 municipios mientras que la cuenca de Nacimiento comprende un área de 598 km<sup>2</sup>, 10 municipios con un total de 12.400 habitantes.

Ambas cuencas se caracterizan por presentar una gran variedad de condiciones ecológicas dado el amplio rango de altitud, temperatura, humedad, insolación y sustratos presentes en el área (PORN Sierra Nevada 2006). Las cabeceras de ambas cuencas están situadas en Sierra Nevada, situándose la cuenca del Adra en la solana, que corresponde con la región de la Alpujarra oriental, y la de Nacimiento en la umbría. La cuenca del Adra además está delimitada por la Sierra de la Contraviesa por el oeste y la Sierra de Gádor por el este. La Cuenca del Nacimiento

está delimitada la Sierra de Baza-Filabres. Las partes bajas de ambas cuencas se localizan en la región Mediterránea semiárida. Desde el punto de vista socioeconómico ambos socio-ecosistemas representan áreas rurales con un carácter marcadamente agrario. En las zonas más altas, históricamente la agricultura de subsistencia, actualmente dedicada al cultivo en terrazas de olivo y almendro, ha sido una de las actividades económicas principales. Actualmente esta actividad ha disminuido de manera drástica debido a una escasa capacidad competitiva en el mercado, lo que ha provocado un proceso de despoblación y un deterioro del paisaje (Douglas et al. 1994, 1996; García-Llorente et al. 2012a, b). Por el contrario, en las zonas más bajas, principalmente del Río Adra, se ha venido desarrollado desde los años 80 una horticultura bajo plástico altamente competitiva en el mercado (Downward y Taylor 2007). Este desarrollo económico ha derivado diferentes consecuencias sociales y ecológicas (Downward y Taylor 2007; Para-

cuellos 2008). En lo referente a la gestión del agua, la cuenca del Río Nacimiento y las partes altas de la cuenca del Adra hacen uso del agua superficial que proviene del deshielo a través de un complejo sistema de acequias, mientras que la parte baja de la cuenca del Adra presenta sistemas de irrigación por goteo que se alimentan principalmente de agua procedente del río y del acuífero. Ambas cuencas presentan problemas de sobreexplotación de acuíferos (Junta de Andalucía 2011). Finalmente, ambas cuencas se encuentran protegidas en sus partes altas ya que Sierra Nevada fue declarada Parque Natural en 1989 y Parque Nacional en 1999. El Río Adra está incluido en la Red Natura 2000 (Directiva Hábitat 92/ 43 EEC) y las Albuferas del Adra, tres humedales costeros situados en el delta del río, son Reserva Natural por la Junta de Andalucía y están incluidas en la Convención Ramsar (Casas et al. 2010).

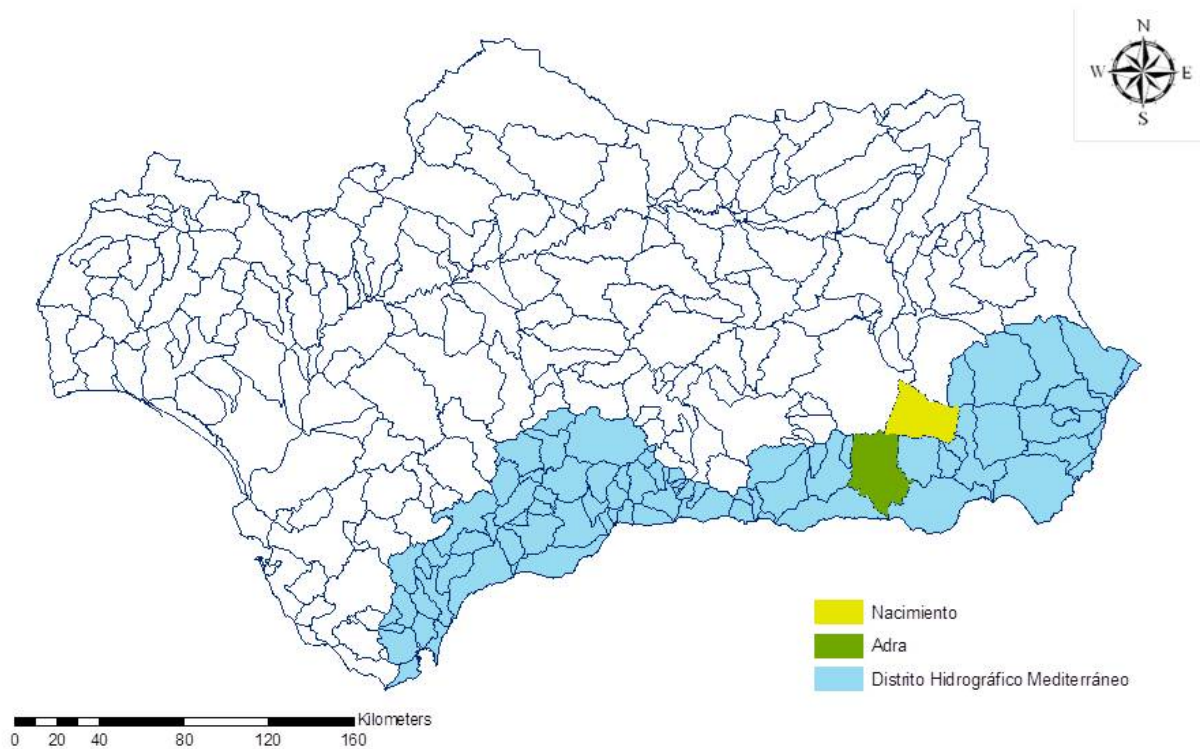


Figura 1. Localización de la zona de estudio (cuencas de Adra y Nacimiento) en el Distrito Hidrográfico Mediterráneo, Andalucía.

**La capacidad de las cuencas hidrográficas de suministrar servicios en función de los procesos asociados con la regulación del ciclo del agua.**

La capacidad de las cuencas hidrográficas de suministrar servicios a la sociedad está relacionada principalmente con los procesos asociados con el ciclo del agua (Quijas et al. 2012). El agua que llega al territorio, a través de la precipitación, se reparte en dos flujos: agua azul y agua verde (Falkenmark y Rockström 2004). Por un lado, está el agua azul que

constituye el flujo de agua líquida que se desplaza por gravedad desde la parte alta de las cuencas hacia la desembocadura de los ríos y al mar. Se desplaza como agua superficial por escorrentía o por los cauces de los ríos o como agua subterránea en los acuíferos. Por otro lado, el agua verde constituye la componente invisible del ciclo del agua y se refiere al flujo de vapor de agua a la atmósfera desde el agua almacenada en el suelo (evaporación) o desde la transpiración de la vegetación natural (bosques, matorrales, praderas) o desde los cultivos de secano.

A pesar de que dos tercios de las precipitaciones sobre los continentes se almacenan en forma de humedad del suelo (agua verde), y que por tanto, los flujos de agua verde son los responsables de la mayor parte de la producción de los alimentos del mundo y de otros muchos servicios obtenidos de los ecosistemas terrestres, la política convencional del agua se

ha enfocado en la gestión del flujo azul. Por otro lado, el flujo de agua verde es responsable del suministro de un flujo diverso y variado de servicios, mientras que el agua azul está ligada principalmente al suministro de algunos servicios de abastecimiento (Tabla 1).

Categoría de servicio	Sub-categoría	Ejemplo/explicación en las cuencas del Adra y Nacimiento	Servicios ligados al agua azul	Servicios ligados al agua verde
<b>Abastecimiento</b>	Agricultura extensiva	Olivo, almendro, vid, cereales, frutales	✓	✓
	Agricultura intensiva	Cultivos bajo plástico	✓	
	Ganadería/pastoreo	Oveja, cabra, vaca	✓	✓
	Agua para riego y consumo	Riego de campos de cultivo en la vega, abastecimiento humano	✓	
	Energía	Molinos de viento para energía eólica, hidroeléctrica	✓	✓
	Aprovechamiento forestal	Madera de encina, olivo, pino		✓
	Fibras vegetales	Esparto, seda, material para cestería, artesanía		✓
<b>Regulación</b>	Regulación del clima	Papel de la vegetación en el secuestro de CO <sub>2</sub> y en los procesos de lluvia		✓
	Provisión de hábitat para especies de importancia	Albuferas del Adra (malvasía ( <i>Oxyura leucocephala</i> ))	✓	✓
	Calidad del aire	Aire limpio		✓
	Regulación hídrica	Incluye el sistema de acequias	✓	✓
	Depuración del agua	Incluye la capacidad e la vegetación acuática para oxigenar el agua	✓	✓
	Control de la erosión	Incluye el sistema de terrazas		✓
<b>Culturales</b>	Fertilidad de los suelos			✓
	Valor de existencia	Satisfacción al conocer que determinadas especies existen	✓	✓
	Tranquilidad y relajación	Paisajes con agua, nieve y montaña	✓	✓
	Conocimiento local del sistema (LEK)	Manejo tradicional del agua, museo etnográfico, bancales, cestería, balates	✓	✓
	Educación ambiental	Educación ambiental, libros sobre tradiciones alpujarreñas	✓	✓
	Ecoturismo/ turismo de naturaleza	Senderismo, equitación, actividades de alta montaña	✓	✓
	Caza recreativa	Caza menor (conejo, perdiz), caza mayor (jabalí, cabra)	✓	✓
	Turismo rural	Asociado a cortijadas, gastronomía, agroturismo	✓	✓
Valores estéticos	Paisajes bonitos como la sierra nevada	✓	✓	
Identidad local/sentido de lugar	Sentimiento alpujarreño, de la comarca	✓	✓	

Tabla 1. Servicios identificados en las cuencas hidrográficas del sureste semiárido andaluz y su relación con los flujos de agua azul y agua verde.

Por tanto, la gestión de las cuencas hidrográficas debería estar basada en ambos flujos de agua (agua azul y verde) con el fin de asegurar el suministro de un flujo variado y diverso de servicios a la sociedad. De esta manera, resulta muy interesante conocer cuál es la capacidad de los ecosistemas relacionados con las cuencas hidrográficas de suministrar servicios en función del flujo de agua que se fomenta. Para poder cuantificar los flujos de agua verde y agua azul se empleó el modelo BalanceMED, el cual está especialmente indicado para describir y cuantificar el comportamiento hidrológico de cuencas mediterráneas con existencia limitada de información biofísica (Willaarts et al. 2012).

Los flujos de agua en las cuencas hidrográficas de Adra y Nacimiento La mayor parte de las precipitaciones anuales que recibe la cuenca del Río Adra se destinan a generar agua verde. En general, el consumo de agua verde guarda una estrecha relación con la productividad de los distintos sistemas forestales y agrícolas presentes en la cuenca (Figura 2A). Los flujos de agua azul superficial más importantes se generan también en la parte septentrional de la Cuenca del Adra, en las partes altas de Sierra Nevada y en la Sierra de la Contraviesa. Respecto a los flujos de agua azul subterránea, la mayor capacidad de generación se encuentra en los tramos medio alto de la Sierra Nevada y en la Sierra de Gádor debido a su naturaleza caliza y elevada permeabilidad (Figura 2a).

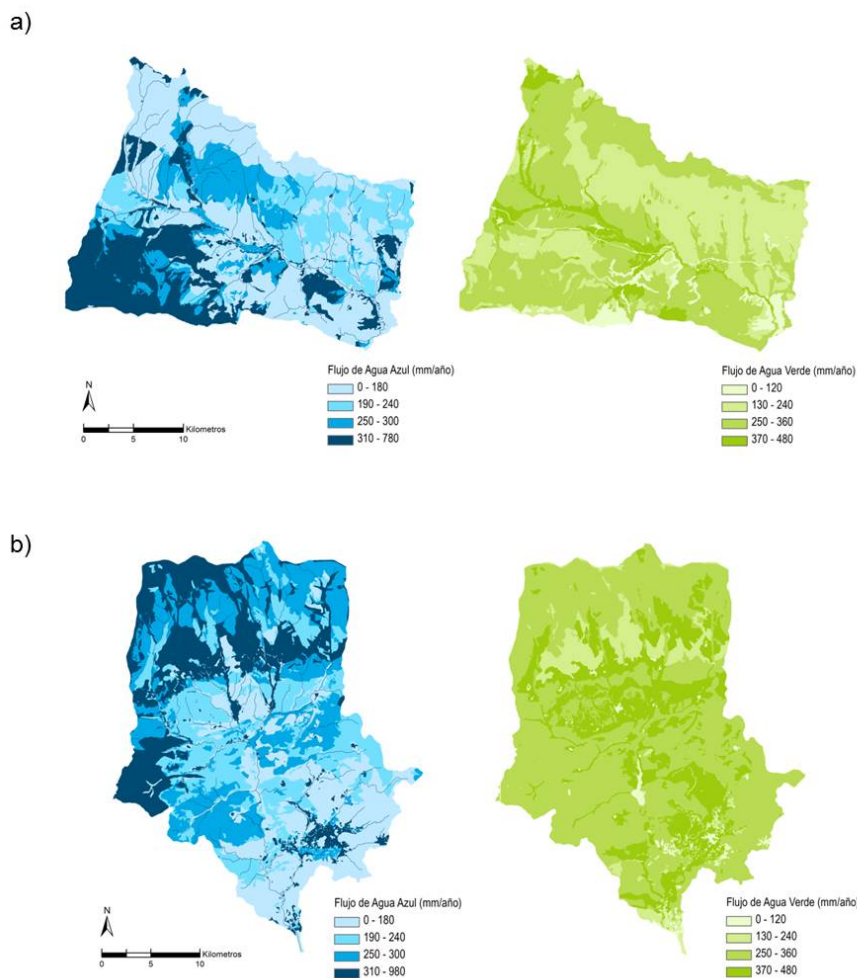


Figura 2. Mapas de los flujos de agua azul y verde existentes en las cuencas del río Nacimiento (a) y del río Adra (b).

El volumen medio anual de flujos de agua que recibe la cuenca de Nacimiento es considerablemente inferior que el que se genera en la cuenca del Adra. Esta circunstancia se debe al 'efecto sombra' que ejerce el macizo de Sierra Nevada, donde las elevadas altitudes de las sierras favorecen la descarga de la mayor parte de las precipitaciones en su cara sur,

dirección por donde entran la mayor parte de las borrascas. La heterogeneidad biofísica de la cuenca determina un patrón de generación de flujos espacialmente muy diverso, donde los flujos de agua verde más importantes se generan en los extremos meridionales y septentrionales de la cuenca, en las cotas más altas de las vertientes de Sierra Nevada y Filabres,



así como en el valle del Río Nacimiento (Figura 2b). En general, el flujo de agua azul es menos representativo que el de agua verde, como ocurre en el Río Adra. Los escasos flujos de agua azul que se generan, se producen sobre todo en el extremo meridional de la cuenca, coincidiendo con la vertiente Norte de Sierra Nevada (Figura 2b).

### Percepción social de la importancia de los ecosistemas asociados a las cuencas hidrográficas como suministradores de servicios.

La percepción social de la importancia de los ecosistemas asociados a las cuencas hidrográficas como suministradores de servicios fue analizada a partir de tres etapas: entrevistas semi-estructuradas a actores sociales clave, diseño y realización de encuestas, e identificación de los servicios percibidos por la población. El objetivo de las entrevistas era alcanzar un conocimiento más profundo de la zona de estudio para poder realizar el diseño del cuestionario. Posteriormente, se encuestó a 381 personas a lo largo de 44 puntos de muestreo (200 en Adra y 181 en Nacimiento), incluyendo tanto a la población local como a los visitantes. Se les preguntó por la importancia de los servicios en una pregunta abierta (sin haber ofrecido

información previa sobre cada servicio en particular), y posteriormente en dos preguntas cerradas (donde se utilizó el apoyo de unos paneles explicativos para facilitar su identificación) se identificaron los servicios más demandados por la población, así como aquellos considerados como los más vulnerables. Cada uno de los servicios de los ecosistemas se encuentran asociados con un flujo de agua, bien el flujo azul, el verde, o ambos (Tabla 1). Por ejemplo, mientras que el agua para consumo es un servicio fuertemente relacionado con el flujo de agua azul, los servicios de aprovechamiento forestal o purificación del aire se encuentran asociados principalmente con el de agua verde.

La mayoría de la población encuestada identifica, demanda y considera como vulnerables los servicios de los ecosistemas ligados a ambos flujos de agua (Figura 3). Los servicios ligados al agua azul (y los ligados al agua verde en menor medida) ganaron importancia en la pregunta tras entregar información al encuestado (Figura 3b). En concreto, los servicios asociados con el agua verde fueron aquellos que se percibían como más vulnerables por parte de la población (Figura 3c).



Figura 3. Porcentaje (%) de servicios de agua verde, agua azul, y agua verde y azul percibidos como: importantes por su demanda, uso y disfrute en la cuenca en la pregunta abierta (a) y cerrada (b); y aquellos percibidos como vulnerables (c) según los resultados del muestreo social para ambas cuencas.

### Desacoplamiento entre el suministro de servicios y el uso de los mismos por la población.

El consumo de agua por parte de la población en la cuenca alta y media del Río Adra es mucho menor que el suministro de la misma procedente tanto por el flujo de agua azul como de agua verde. Sin embargo, el consumo de agua en la cuenca baja (que corresponde con los municipios de Adra, Berja y Dalías) excede el flujo de agua verde y azul en esa región (Figura 4a). De hecho, la parte baja es la zona que consume más agua en toda la cuenca del Río Adra, y es precisamente donde se da menor flujo tanto de agua azul como de agua verde, existiendo por tanto un desacoplamiento entre el suministro del servicio agua para consumo humano y su demanda por parte de la sociedad. Por

otro lado, en la cuenca del Río Nacimiento (Figura 4b) se observa que salvo en el municipio de Abla, el consumo de agua para uso humano y riego es menor que el suministro procedente del flujo azul y del flujo verde. De hecho, la parte baja de la cuenca es la zona que menor flujo de agua verde y azul tiene y que menos uso de agua realiza.

Asimismo, los indicadores de vulnerabilidad de servicios de los ecosistemas muestran que la parte baja de la cuenca del Río Nacimiento percibe que el servicio de agua para consumo es muy vulnerable en la zona, frente al resto de la cuenca que no lo consideran tan vulnerable (Figura 5).

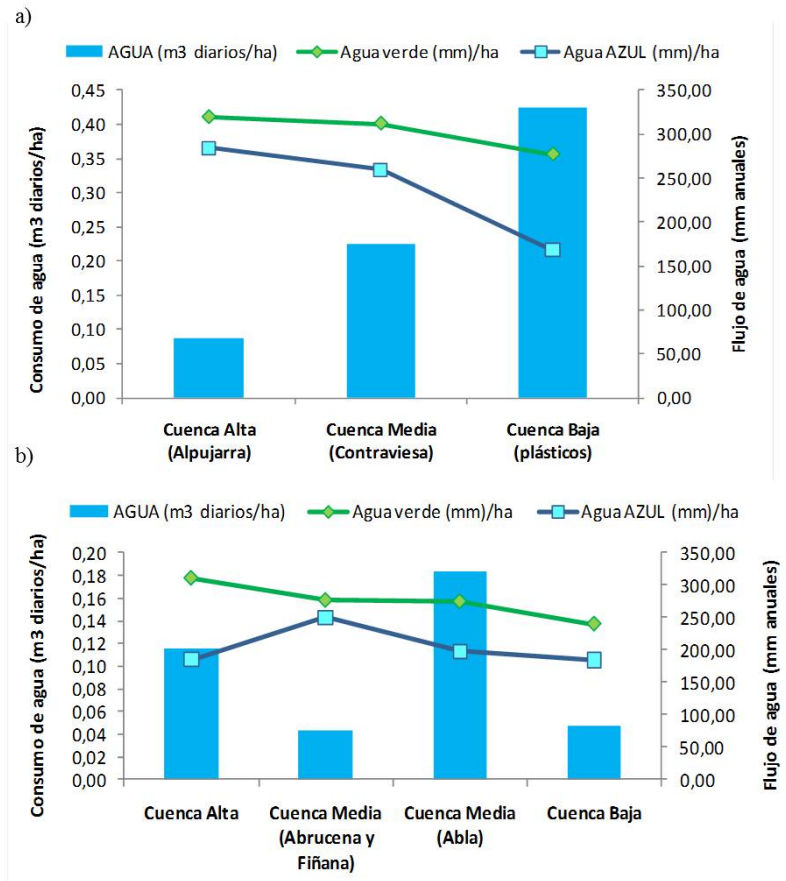


Figura 4. Consumo de agua (m<sup>3</sup> diarios/ha) y flujos de agua (agua azul y agua verde) existentes por zona en las cuencas del (a) río Adra y (b) Nacimiento.

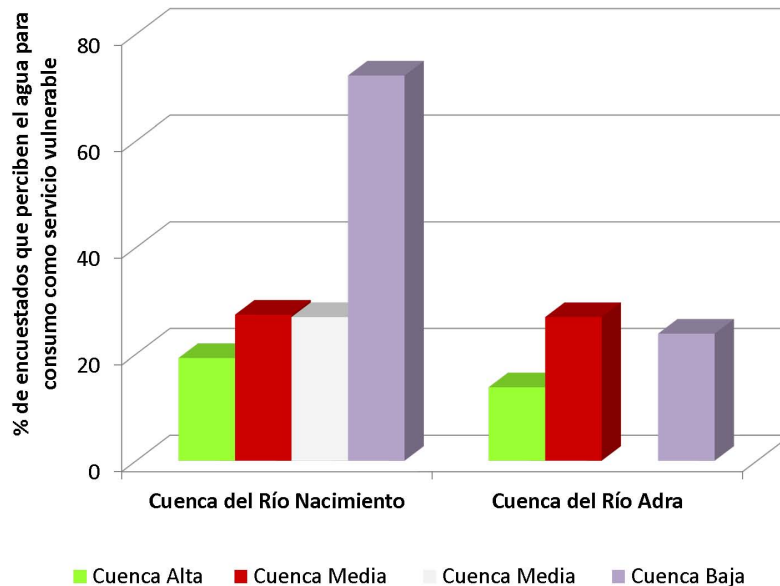


Figura 5. Percepción social de la vulnerabilidad del servicio agua para consumo humano según el curso del río en ambas cuencas.

De esta manera, parece que la cuenca del Río Nacimiento y la cuenca alta y media del Río Adra realizan un uso del agua más acoplado a los flujos de agua verde y de agua azul que la cuenca baja del

Río Adra. Es interesante notar que precisamente la cuenca del Río Adra está altamente modificada por infraestructuras hídricas como el embalse de Benínar, focalizando la gestión en el flujo de agua azul con el

fin de suministrar agua para abastecimiento humano y agricultura y polarizando los distintos usos que se dan en el territorio, que priorizan determinados servicios de los ecosistemas en detrimento de otros.

En este trabajo hemos visto la importancia de mantener ambos flujos de agua tanto para la provisión de los servicios generados en las cuencas como para la demanda social, que está centrada en los servicios generados por ambos flujos. Focalizar la gestión de cuencas hidrográficas en los servicios que los flujos de agua generan, ayuda a visibilizar los componentes no visibles del ecosistema (como el flujo de agua verde) y que son esenciales para asegurar un flujo variado de servicios que satisfaga el bienestar humano de la sociedad.

## Referencias

- Casas J. J., Sánchez-Oliver J.S., Sanz A., Furné M., Trenzado C., Juan M., Paracuellos M., Suárez M. D., Fuentes F., Gallego I., Gil C., Ramos-Miras J. J., 2010. The paradox of the conservation of an endangered fish species in a Mediterranean region under agricultural intensification. *Biological Conservation* 144, 253-262.
- Castro, A.J., Martín-López, B., García-Llorente, M., Aguilera, P.A., López, E., Cabello, J., 2011. Social preferences regarding the delivery of ecosystem services in a semiarid Mediterranean region. *Journal of Arid Environments* 75, 1201-1208.
- Downard, S.R., Taylor, R., 2007. An assessment of Spain's Programa AGUA and its implications for sustainable water management in the province of Almería, southeast Spain. *Journal of Environmental Management* 82: 277-289
- Douglas, T.D., Kirkby, S.J., Critchley, R.W., Park, G.J., 1994. Agricultural terrace abandonment in the Alpujarra, Andalucía, Spain. *Land degradation and rehabilitation* 5, 281-291.
- Douglas, T., Critchley, D., Park, G., 2006. The Deintensification of Terraced Agricultural Land Near Trevelez, Sierra Nevada, Spain. *Global Ecology and Biogeography Letters* 5, 258-270.
- (EME) Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España. 2011. Ecosistemas y biodiversidad para el bienestar humano. Síntesis de los Resultados. Fundación Biodiversidad.
- Falkenmark, M., 2003. Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 358, 2037-2049.
- Falkenmark, M., Rockstrom, J., 2004. Balancing water for humans and nature. The new approach in Ecohydrology. Earthscan. London.
- García-Llorente, M., Martín-López, B., Iniesta-Arandia, I., López-Santiago, C.A., Aguilera, P.A., Montes, C., 2012a. The role of multifunctionality in social preferences toward semi-arid rural landscapes: An ecosystem service approach. *Environmental Science & Policy* 19-20, 136-146.
- García-Llorente, M., Martín-López, B., Nunes, P.A.L.D., Castro, A.J., Montes, C., 2012b. A choice experiment study for land-use scenarios in semi-arid watershed environments. *Journal of Arid Environments* 87, 219-230.
- Junta de Andalucía, 2011. Memoria del Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Consejería de Medio Ambiente.
- (MA) Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.
- Ostrom, E., 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science* 325, 419-22.
- Paracuellos, M., 2008. Effects of long-term habitat fragmentation on a wetland bird community. *Revue d'Ecologie (la Terre et la Vie)* 63, 227-228
- PORN, Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Sierra Nevada 2006. Junta de Andalucía.
- Quijas, S., Jackson, L. E., Maass, M., Schmid, B., Raffaelli, D., Balvanera, P., 2012. Plant diversity and generation of ecosystem services at the landscape scale: expert knowledge assessment. *Journal of Applied Ecology* 49, 929-940.
- Ripl, W., 2003. Water: the bloodstream of the biosphere. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 358, 1921-1934.
- Willaarts, B.A., Volk, M., Aguilera, P.A., 2012. Assessing the ecosystem services supplied by freshwater flows in Mediterranean agroecosystems. *Agricultural Water Management* 105, 21-31.