

SERVICIO	Regulación del ciclo hidrológico por la vegetación	TIPOLOGÍA	Regulación	ÁMBITO	Ecosistemas forestales
-----------------	--	------------------	------------	---------------	------------------------

CLASIFICACIÓN CICES:	Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua (2.2.1.3)
-----------------------------	---

DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO: La vegetación de los ecosistemas influye en los elementos del ciclo hidrológico. Es conocido que la cubierta vegetal influye en la cantidad e intensidad de la precipitación, régimen de vientos, en la humedad del aire y el suelo (capacidad de infiltración y almacenamiento) y en el régimen de temperaturas, lo que se traduce en modificaciones en los diferentes procesos del ciclo hidrológico. En este servicio se valora la influencia de la cubierta vegetal sobre el flujo de evapotranspiración y los flujos de agua superficial y subterráneo que se encuentran relacionados con los servicios de regulación de aguaceros causantes de avenidas e inundaciones y regulación climática, así como de servicios de abastecimiento de agua.

- 1. OBJETIVO**
- Obtener una valoración del servicio correspondiente a regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua en unidades biofísicas para los ecosistemas andaluces.
 - Obtener una valoración del servicio correspondiente a regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua en unidades monetarias para los ecosistemas andaluces.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN: Para la valoración de este servicio se ha utilizado una metodología de aproximación biofísica y monetaria, más concretamente una metodología fundamentada en el uso de datos de flujos de agua del ciclo hidrológico (mediciones indirectas) y una metodología basada en el intercambio de precios de mercado. Los flujos de agua considerados son: el flujo de agua verde (flujo de evapotranspiración), que podría relacionarse con servicios de regulación como el control de avenidas en tanto que se trata de agua que se detrae del flujo superficial y la regulación climática (enfriamiento por evaporación a escala local), y el flujo de agua azul (flujos subterráneo y superficial), que se vinculan más directamente con servicios de abastecimiento.

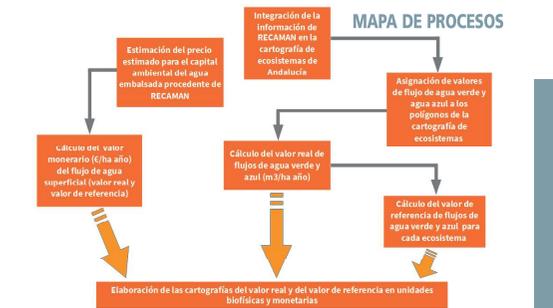
- 2.2 FUENTES DE INFORMACIÓN:** Las fuentes de información utilizadas han sido las siguientes:
- Información procedente del proyecto RECAMAN para los datos de flujos de agua correspondientes a evapotranspiración (agua verde) y flujos subterráneo y superficial (agua azul) y cartografía por teselas del MFE50
 - Datos de precio del agua procedentes del proyecto RECAMAN (precio capital ambiental agua embalsada en el año 2010)
 - Cartografía de ecosistemas de Andalucía disponible en REDIAM. Año 2019

- 2.3 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN:**
- 1 | Se realizó un proceso de integración de la variable relacionada con el flujo de evapotranspiración (agua verde) y con el flujo del agua superficial y subterránea (agua azul) de RECAMAN (teselas del mapa forestal de España (MFE50, 1:50.000)) en la cartografía de base de ecosistemas en Andalucía (apoyada en SIPNA 1:10.000). Dicho proceso consistió en realizar una intersección de las teselas de RECAMAN con los polígonos de la cartografía de ecosistemas (polígonos con presencia de vegetación forestal confirmada en SIPNA). A continuación se calculó, para cada polígono de SIPNA (ecosistemas), un valor único del flujo de agua (agua verde y azul), procedente de la media ponderada, en función de la superficie, de los valores de flujo de agua de las diferentes teselas de RECAMAN que intersectaban con dicho polígono. Posteriormente se identificaron los polígonos de la cartografía de ecosistemas que tenían confirmada presencia de especies forestales pero que, no obstante, no coincidían espacialmente con teselas que tuvieran valor de flujo de agua en RECAMAN y, por tanto, no tenían valor de flujo asignado. A dichas superficies se les asignó el valor medio del flujo de agua (verde y azul) por cada tipo de ecosistema.
 - 2 | Con el objeto de validar el proceso de integración de la información de RECAMAN se comparó el valor de flujo procedente de RECAMAN con el valor de flujo que se obtenía de la integración de la información de RECAMAN en la cartografía de ecosistemas. La desviación del valor de flujo entre ambas informaciones mostró una variabilidad próxima al 0,28% para el agua verde y al 0,45% para el agua azul, por lo que el error se considera insignificante.
 - 3 | Para cada uno de los tipos de ecosistemas forestales se calculó un valor promedio de cada flujo de agua (m³/ha año). El valor promedio se calculó de forma ponderada en función del valor de cada flujo en cada uno de los polígonos (unidades geométricas) pertenecientes a un ecosistema específico mediante el uso de un ratio calculado en función de la superficie ocupada por cada polígono respecto de la superficie total del ecosistema forestal (específico) en cuestión.
 - 4 | Se obtuvo el precio estimado para el capital ambiental del agua embalsada procedente del proyecto RECAMAN al año 2010 (4,04 €/m³). El valor del capital ambiental del agua económica embalsada se estimó a partir del diferencial de precios de la tierra de secano y regadío que se deriva de la aplicación del método de precios hedónicos (Berbel y Mesa, 2007). Posteriormente, dicho precio procedente del proyecto RECAMAN y referido al año 2010, se actualizó por el índice general de precios al consumo en el periodo marzo 2010 a marzo 2020 (tasa de variación: 11,6%). El valor resultante fue de 4,51 €/m³ y, lógicamente, dicho valor sólo es de aplicación al flujo de agua superficial. Para el resto de flujos de agua no se dispone de información relativa al valor del capital ambiental del agua por lo que no se procederá a la estimación del valor monetario del servicio correspondiente a dichos flujos.
 - 5 | Finalmente, los valores promedio por tipo de ecosistema de los diferentes flujos de agua se asignaron a las correspondientes unidades geométricas (polígonos) del mapa de ecosistemas de Andalucía añadiendo dicho valor en la tabla de atributos. En el caso del valor económico, el precio del capital ambiental del agua obtenido se aplicó exclusivamente al valor del flujo de agua superficial correspondiente al agua azul.
 - 6 | El valor de referencia se calculó para cada tipo de ecosistema de Andalucía dividiendo el valor real total de flujo correspondiente a ese tipo de ecosistema en el conjunto de polígonos (unidades geométricas) de Andalucía entre la superficie de ese tipo de ecosistema en el total de Andalucía.

VALOR DEL SERVICIO



CICLO HIDROLÓGICO Y FLUJOS



- 2.4 INDICADORES OBTENIDOS:**
- **Unidades biofísicas:** Flujo de agua (verde y azul) del ecosistema por hectárea (m³/ha año)
 - **Unidades monetarias:** Precio del capital ambiental del agua correspondiente al flujo superficial (agua azul) por hectárea (€/ha año)

3. VALORACIÓN Y MEJORAS METODOLÓGICAS

- Se dispone de información cartográfica de ecosistemas que se irá actualizando con periodicidad mínima anual.
- El proceso de integración de la información de base de RECAMAN en la cartografía de ecosistemas genera algunas incoherencias locales debidas al ajuste geométrico y de escala.
- Los valores de flujo de agua del proyecto RECAMAN derivan de la aplicación del modelo hidrológico SWAT, cuyos inputs asociados a los usos y coberturas del suelo son limitados. La disponibilidad de datos de flujos de agua de mayor grado de detalle para los diferentes ecosistemas contemplados en la cartografía de ecosistemas de Andalucía permitirá mejorar las estimaciones.
- El precio del capital ambiental del agua disponible es de aplicación exclusiva al flujo de agua superficial de los diferentes ecosistemas y corresponde al año 2010. La disponibilidad de información actualizada sobre precios del capital ambiental para éste y el resto de flujos permitirá mejorar las estimaciones del valor monetario realizadas hasta el momento.

4. RESULTADOS

4.1 Análisis y resultados

En relación con el valor del servicio en términos biofísicos, los bosques de coníferas densas fueron los ecosistemas que mostraron un mayor flujo de evapotranspiración, con un valor de 4.978 m³/ha, seguido de los matorrales y bosques caducifolios, con valores próximos a 4.750 m³/ha. En el lado opuesto se encontraron los ecosistemas de mosaico agrícola y las zonas húmedas, que no superaron 3.150 m³/ha. Por su parte, ecosistemas como los bosques esclerófilos dispersos y las formaciones adehesadas, ampliamente representadas en Andalucía, mostraban valores intermedios de 4.500 y 4.077 m³/ha, respectivamente.

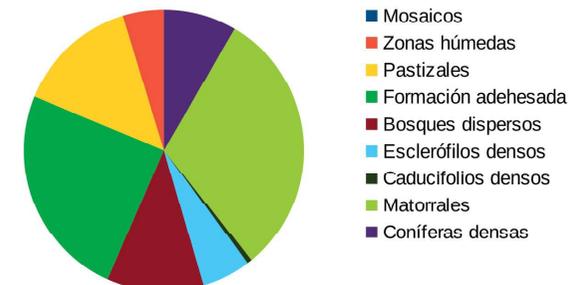
Los resultados expresados en términos absolutos de flujo de evapotranspiración (m³) del ecosistema en Andalucía difieren de los expresados en unidades por hectárea. En este caso, los ecosistemas que mayor cantidad de agua evapotranspiraron en Andalucía serían los matorrales, con valores próximos a los 6.800 Mm³, seguidos de las formaciones adehesadas que alcanzarían un flujo total de 4.660 Mm³ y los pastizales con 2.545 Mm³. Por su parte, los mosaicos agrícolas serían los ecosistemas con un menor volumen de evapotranspiración total del conjunto de ecosistemas considerados en Andalucía (aprox. 1 Mm³).

En lo que respecta al valor del servicio en relación con el agua azul (flujos superficial y subterráneo), los ecosistemas que mostraron el mayor flujo de agua fueron los bosques caducifolios densos con un valor de 4.098 m³/ha, seguido de las formaciones adehesadas también con un valor superior a los 4.000 m³/ha. Nuevamente, los ecosistemas de zonas húmedas y mosaico agrícola con valores inferiores a 3.000 m³/ha mostraban los flujos de agua más limitados desde el punto de vista cuantitativo. Otros ecosistemas como los matorrales, de gran importancia en Andalucía, ocuparon posiciones intermedias con valores de 3.200 m³/ha.

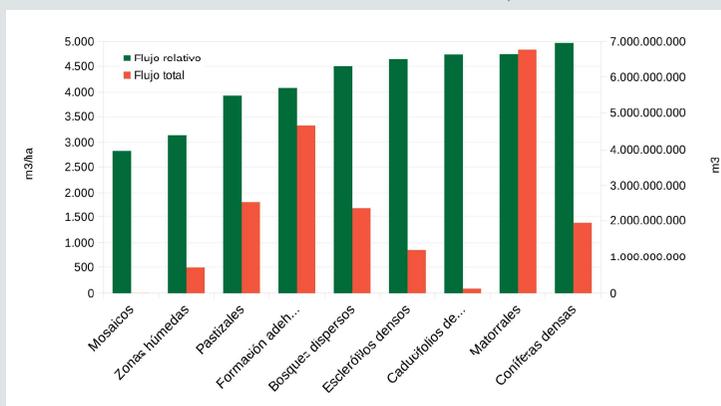
Desde el punto de vista del flujo de agua azul expresado en unidades absolutas (total, m³), los resultados obtenidos marcan nuevamente una pauta diferencial respecto a los valores relativos y, los ecosistemas que mostraron mayor flujo de agua superficial y subterráneo fueron las formaciones adehesadas y los matorrales. En este caso, a diferencia de los resultados de flujo de evapotranspiración (agua verde), ambos ecosistemas mostraron magnitudes muy similares entre sí (valores cercanos a los 4.580 Mm³). En el extremo opuesto, nuevamente los mosaicos agrícolas serían los ecosistemas andaluces que obtendrían un menor flujo de agua azul con valores próximos a 1,1 Mm³, en clara correspondencia con la magnitud observada para el flujo de agua verde.

En lo que se refiere al valor monetario del servicio, los resultados obtenidos se limitaron al flujo de agua superficial (incluido en el flujo de agua azul) como consecuencia de la no disponibilidad de información correspondiente al valor del capital ambiental para el resto de flujos de agua analizados. De esta manera, los ecosistemas que mayor valor del capital ambiental correspondiente al flujo de agua superficial obtuvieron fueron las formaciones adehesadas y los bosques caducifolios densos con valores de 11.630 y 11.080 €/ha, respectivamente. En contraposición, los que mostraron un menor valor relativo (€/ha) fueron las zonas húmedas con 6.180 €/ha. En términos de valor total (absoluto), destacaron significativamente los resultados obtenidos en las formaciones adehesadas y los ecosistemas de matorral, con valores de 13.285 M€ y 11.556 M€, respectivamente. Por su parte, los mosaicos agrícolas no superaron los 3,3 M€ en cuanto a su valor total.

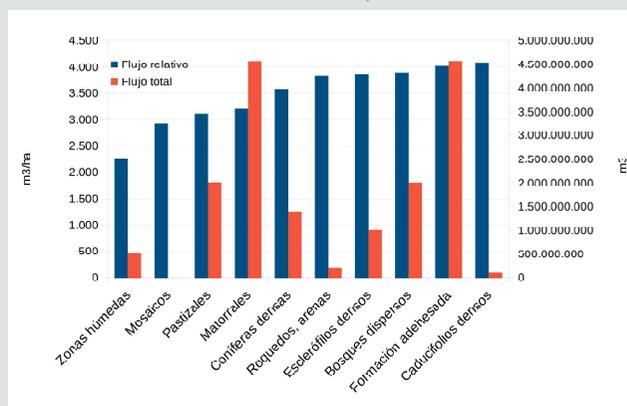
Distribución de superficies por ecosistema



AGUA VERDE (FLUJO EVAPOTRANSPIRACIÓN)



AGUA AZUL (FLUJO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO)



4. RESULTADOS

4.2 Discusión de resultados - Diagnóstico del servicio

Los resultados obtenidos en el agua verde podría justificarse, con carácter general, en términos de densidad de cubierta vegetal de cada ecosistema y en base a la capacidad de controlar las pérdidas de agua por transpiración de las diferentes especies vegetales que constituyen cada ecosistema. En este sentido y con carácter general, serían esperables resultados más elevados de evapotranspiración en los ecosistemas de mayor densidad de cubierta y en ecosistemas con menor capacidad de control de la pérdida de agua, como por ejemplo coníferas frente a quercíneas. De esta manera, los mayores volúmenes de agua evapotranspirada por hectárea de los bosques de coníferas densos, matorrales y bosques caducifolios densos frente a bosques esclerófilos densos y formaciones adhesionadas parecen ajustarse adecuadamente a esta pauta.

Los resultados de volumen total evapotranspirado por cada ecosistema (m³) deben conjugar para su interpretación el valor de pérdidas de agua por hectárea y la superficie ocupada por el ecosistema en Andalucía. En este sentido, los mayores resultados obtenidos para los matorrales y formaciones adhesionadas deben interpretarse fundamentalmente vinculados a la gran superficie que ocupan en Andalucía en comparación con el resto de ecosistemas (matorrales: 30% superficie considerada en el análisis; formaciones adhesionadas: 24% superficie considerada).

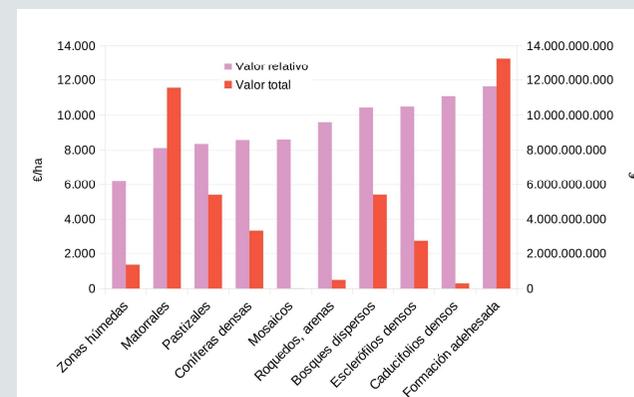
En cuanto a los resultados obtenidos para el flujo relativo de agua azul, la justificación de resultados apoyada en factores ecológicos y de origen antrópico se torna más compleja dada la amplia diversidad de factores existentes en Andalucía y la dinámica de las interacciones ecológicas y de gestión (edafológicas, climáticas, geológicas, de cubierta vegetal, tipo de manejo, etc.) que intervienen en la generación y cuantificación de los flujos hidrológicos superficial y subterráneo. Por este motivo, y sin abordar un análisis integrado y de mayor profundidad, que escaparía del objetivo de este trabajo, se considera que los resultados obtenidos se encuentran dentro de lo previsible en función de las condiciones parciales consideradas. Por ejemplo, que los bosques caducifolios densos muestren el mayor flujo de agua azul del conjunto de ecosistemas de Andalucía podría estar relacionado, al menos parcialmente, con una menor interceptación del agua de precipitación en estos ecosistemas, especialmente durante la etapa en la que los árboles se desprenden de las hojas, lo que podría incrementar los flujos de escorrentía superficial y los flujos de recarga subterránea.

Sin embargo, desde el punto de vista del flujo de agua azul expresado en unidades absolutas (total, m³), los resultados obtenidos reflejan de manera inequívoca la influencia de la distribución y la extensión superficial de cada ecosistema en Andalucía. Por tanto, que las formaciones adhesionadas y los matorrales sean los ecosistemas que mostraron mayor flujo de agua superficial y subterránea resulta, cuanto menos previsible, dado que ocupan, tal y como se ha expresado con anterioridad, el 24% y 30% de la superficie de ecosistemas considerados en éste análisis.

En lo que se refiere al valor monetario del servicio, obtenido exclusivamente para el flujo de agua superficial (correspondiente al agua azul) por carecer de información suficiente para abordar una estimación del resto de flujos de agua, resulta evidente que los resultados económicos estén en total consonancia con los resultados del valor biofísico correspondientes al citado flujo superficial. Dichos valores económicos se han obtenido multiplicando el valor del flujo de agua superficial de cada ecosistema por el valor del capital ambiental del agua embalsada procedente del proyecto RECAMAN para el año 2010 y actualizado por el IPC al año 2020.

Finalmente, los valores reales del servicio se caracterizan por su heterogeneidad espacial, lo que dificulta el establecimiento de patrones y/o pautas globales de comportamiento. Dicho esto, parece apreciarse cierta tendencia general a un mayor flujo de evapotranspiración en la zona oriental de Andalucía, lo que iría acompañado de un menor valor de los flujos correspondientes al agua azul en estas áreas. Sin embargo, se trata de un patrón muy global que tendría diversas excepciones como corresponde a los resultados de Sierra Nevada, Sierras de Cazorla, Segura y las Villas y Filabres, principalmente.

VALOR DEL CAPITAL AMBIENTAL DEL FLUJO SUPERFICIAL (AGUA AZUL)

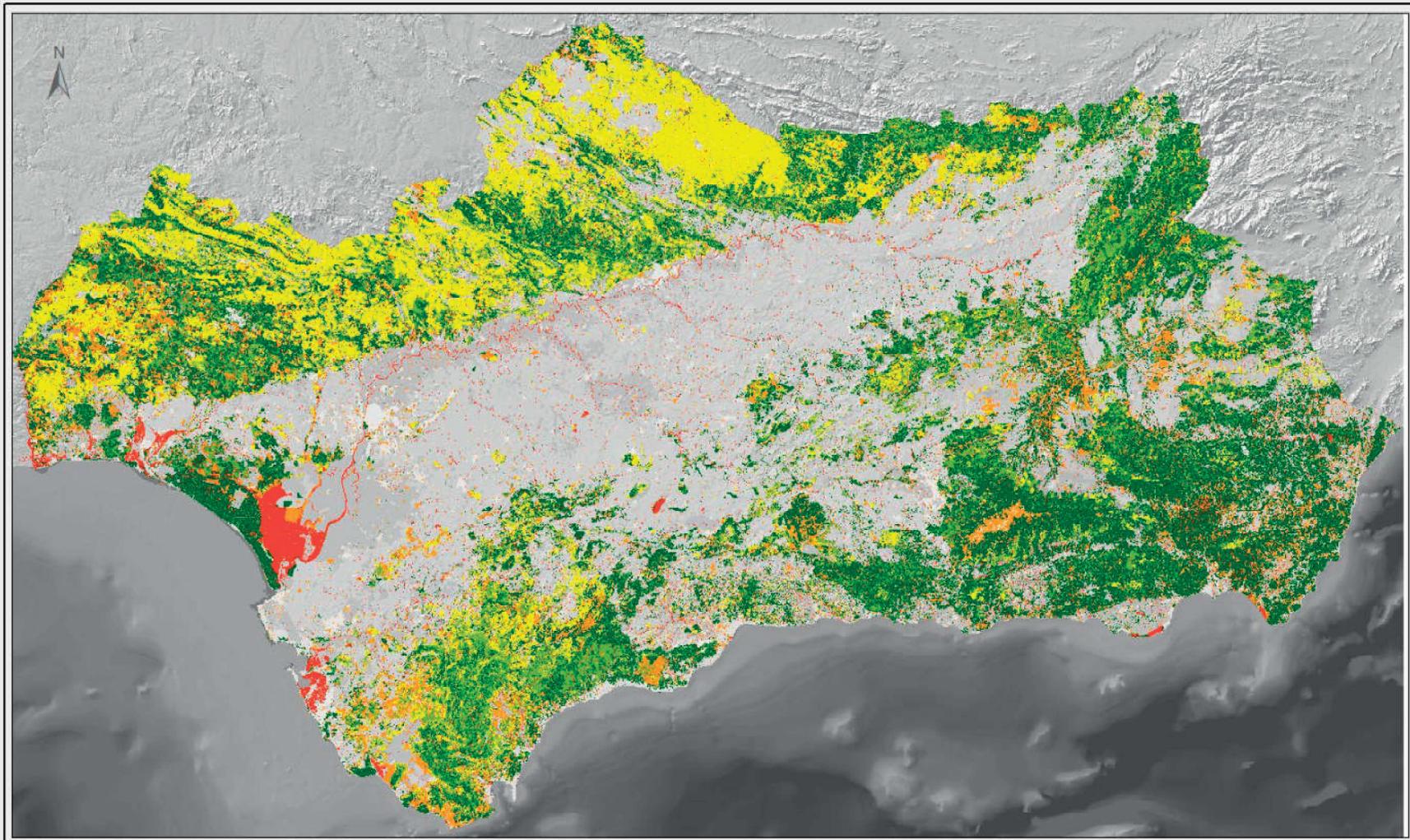


5. CONCLUSIONES

- Los bosques de coníferas densas fueron los ecosistemas que proporcionan el valor más elevado del servicio de control del ciclo hidrológico en términos de flujo de evapotranspiración por hectárea del conjunto de ecosistemas considerados, con un valor de flujo de 4.978 m³/ha. Valores del mismo orden de magnitud del servicio se obtuvieron para los matorrales y bosques caducifolios densos, con valores biofísicos de flujo de agua verde en torno a 4.750 m³/ha, mientras los mosaicos agrícolas y las zonas húmedas no superaron 3.150 m³/ha.
- Desde el punto de vista del flujo de agua verde total, los ecosistemas que mayor cantidad de agua evapotranspiraron en Andalucía serían los matorrales con valores próximos a los 6.800 Mm³, seguidos de las formaciones adhesionadas que alcanzarían un flujo total de 4.660 Mm³. Estos resultados mostraron una clara correspondencia con la amplia distribución superficial de estos ecosistemas en Andalucía. Por su parte, los mosaicos agrícolas mostraron un volumen de evapotranspiración total de aproximadamente 1 Mm³.
- Los bosques caducifolios densos fueron los ecosistemas que proporcionan el valor más elevado del servicio de control del ciclo hidrológico en términos de flujo relativo de agua azul (superficial + subterránea) del conjunto de ecosistemas considerados, con un valor de flujo de 4.093 m³/ha. Valores equivalentes del servicio se obtuvieron para las formaciones adhesionadas (>4.000 m³/ha), mientras los mosaicos agrícolas y las zonas húmedas no superaron los 3.000 m³/ha.
- En términos absolutos, los ecosistemas con mayor valor del flujo de agua azul (superficial + subterránea) del conjunto de ecosistemas andaluces fueron nuevamente las formaciones adhesionadas y los matorrales, con magnitudes muy similares entre sí (aprox. 4.580 Mm³), y nuevamente con una clara influencia sobre el resultado de la distribución y la extensión superficial de cada uno de estos ecosistemas en Andalucía. En el extremo opuesto, los mosaicos agrícolas mostraban flujos de agua azul próximos a 1,1 Mm³.
- El valor monetario del servicio, expresado exclusivamente en función del valor del capital ambiental correspondiente al flujo de agua superficial (incluido en el flujo de agua azul), mostró que las formaciones adhesionadas y los bosques caducifolios densos eran los ecosistemas con mayor valor económico relativo, y que dicho valor se podía cuantificar en 11.630 y 11.080 €/ha, respectivamente. Las zonas húmedas con 6.180 €/ha eran los ecosistemas que registraban un menor valor monetario en términos relativos para este servicio.
- En términos absolutos (totales) y en clara correspondencia con los valores biofísicos, los ecosistemas con mayor valor monetario del servicio en términos de flujo de agua estrictamente superficial fueron las formaciones adhesionadas y los ecosistemas de matorral, con valores de 13.285 M€ y 11.556 M€, respectivamente. Por su parte, los mosaicos agrícolas no superaron los 3,3 M€ en valor absoluto.
- En su conjunto, los ecosistemas forestales andaluces proporcionan un valor del servicio de regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua de 20.278 Mm³ para el flujo de agua verde y 16.401 Mm³ para el flujo de agua azul. El valor monetario estimado, expresado exclusivamente en función del valor del capital ambiental correspondiente al flujo de agua superficial (incluido en el flujo de agua azul), sería de aproximadamente 43.852 M€. Un valor medio del servicio de regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua de 4379,47 m³/ha año para el flujo de agua verde y 3504,03 m³/ha año para el flujo de agua azul.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Campos, P., Díaz-Balteiro, L., Díaz, M., Martínez-Jauregui, M., Ovando, P. y Caparrós, A. (2015). RECAMAN. Economía y silvicultura de los montes de Andalucía. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). E-ISBN 978-84-00-10041-4
- Burkhard, B., Maes J (Eds.) (2017) Mapping Ecosystem Services. Pensoft Publishers, Sofía, 374 pp.
- EU FP7 OpenNESS Project (2017). Deliverable 33-44, Barton, D.N. and P.A. Harrison (Eds.). Integrated valuation of ecosystem services. Guidelines and experiences. European Commission FP7.
- REDIAM (2019). Cartografía de Ecosistemas de Andalucía. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.



Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua. Agua verde. Valores de referencia.

Leyenda
Consumo de agua por la vegetación/ Evapotranspiración (m3/ha año)

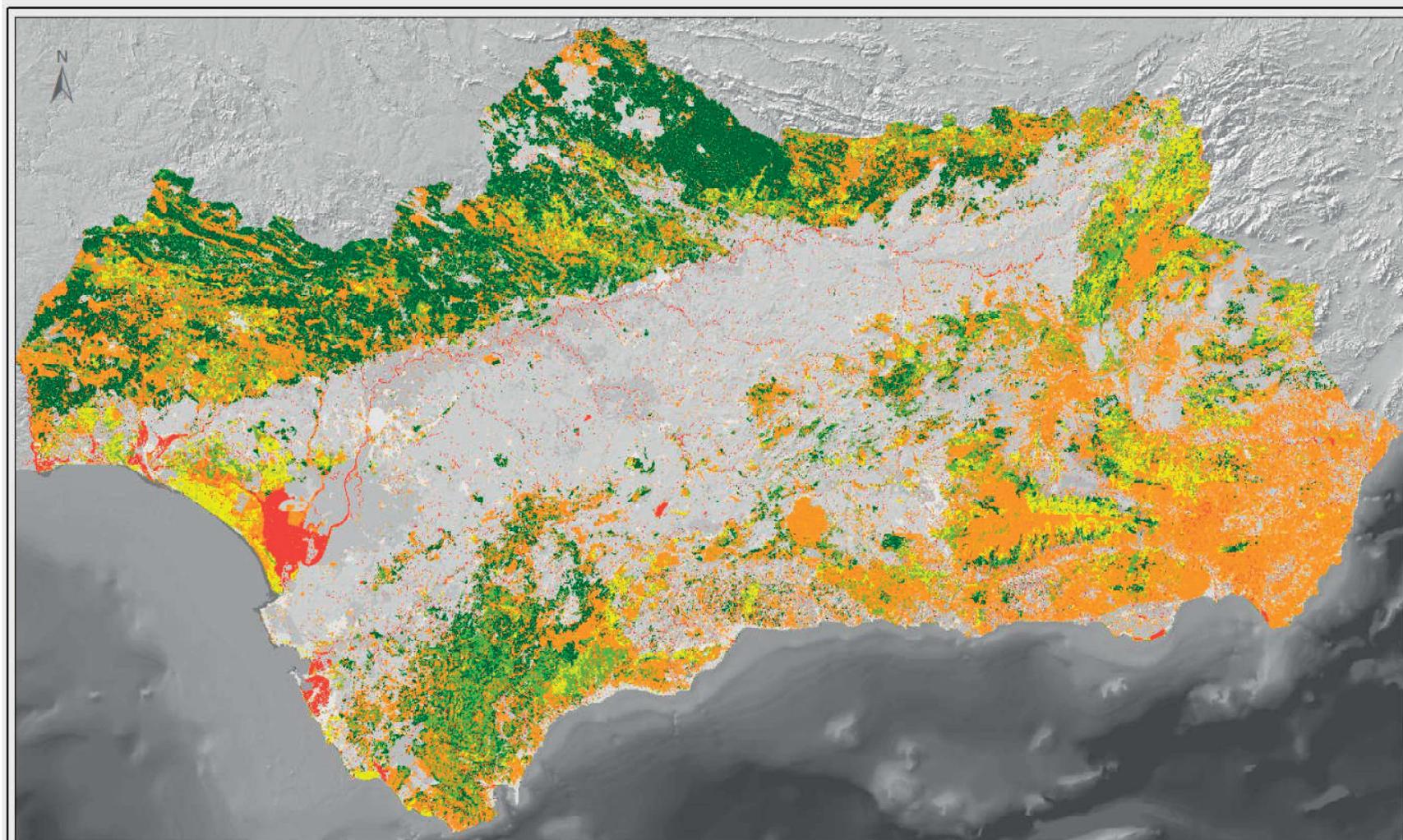
	4.701 - 5.000		4.501 - 4.700		4.001 - 4.500		3.501 - 4.000		2.800 - 3.500
--	---------------	--	---------------	--	---------------	--	---------------	--	---------------

Base cartográfica: Modelo Digital del Terreno ETRS89(Huso 30).

0 20 40 60 Km

Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua

Junta de Andalucía
Servicios Ecosistémicos en Andalucía



Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua. Agua azul. Valores de referencia.

Leyenda

Flujo de agua superficial y subterráneo (m³/ha año)

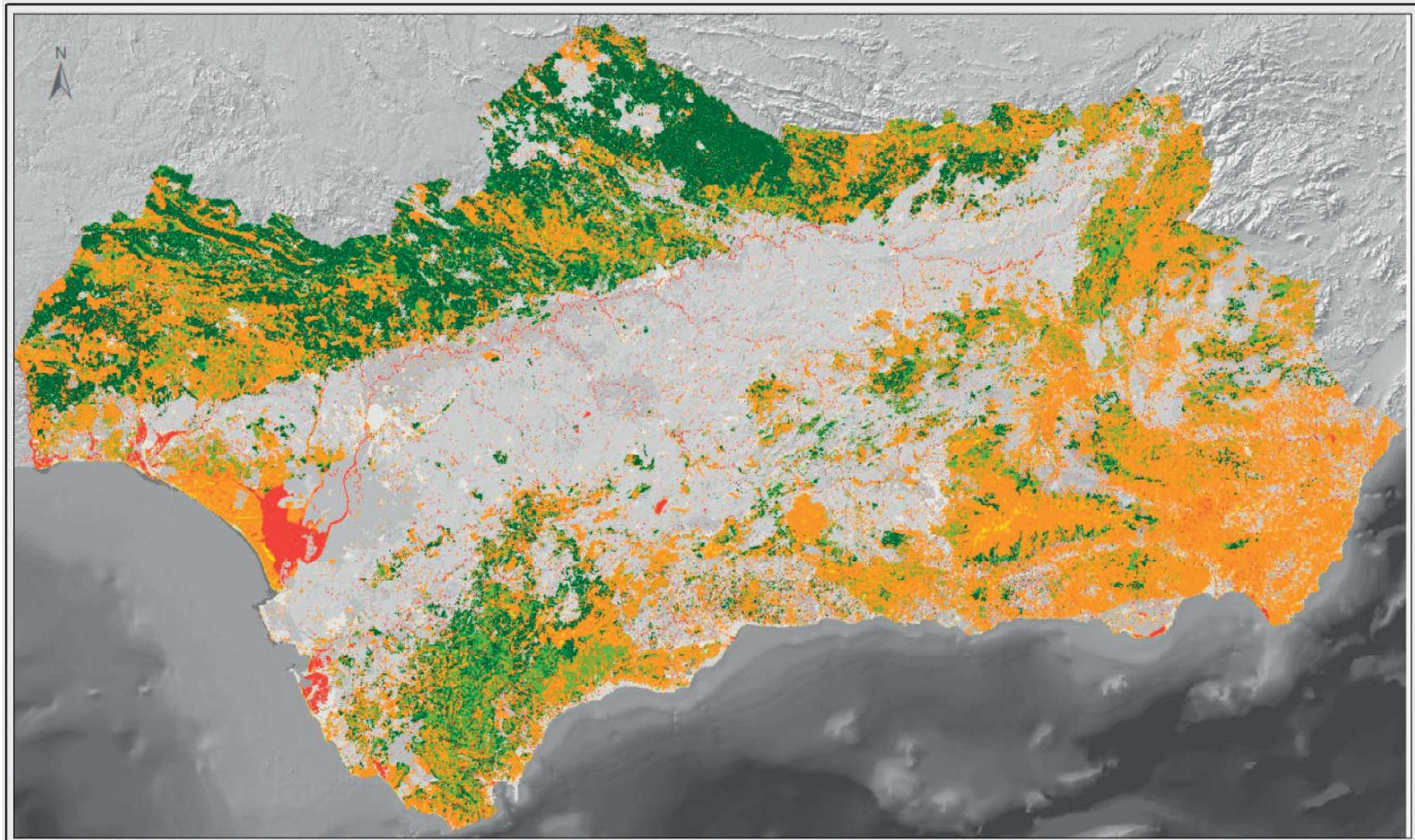


Base cartográfica: Modelo Digital del Terreno ETRS89(Huso 30).



Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua





Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua. Valores económicos de referencia.

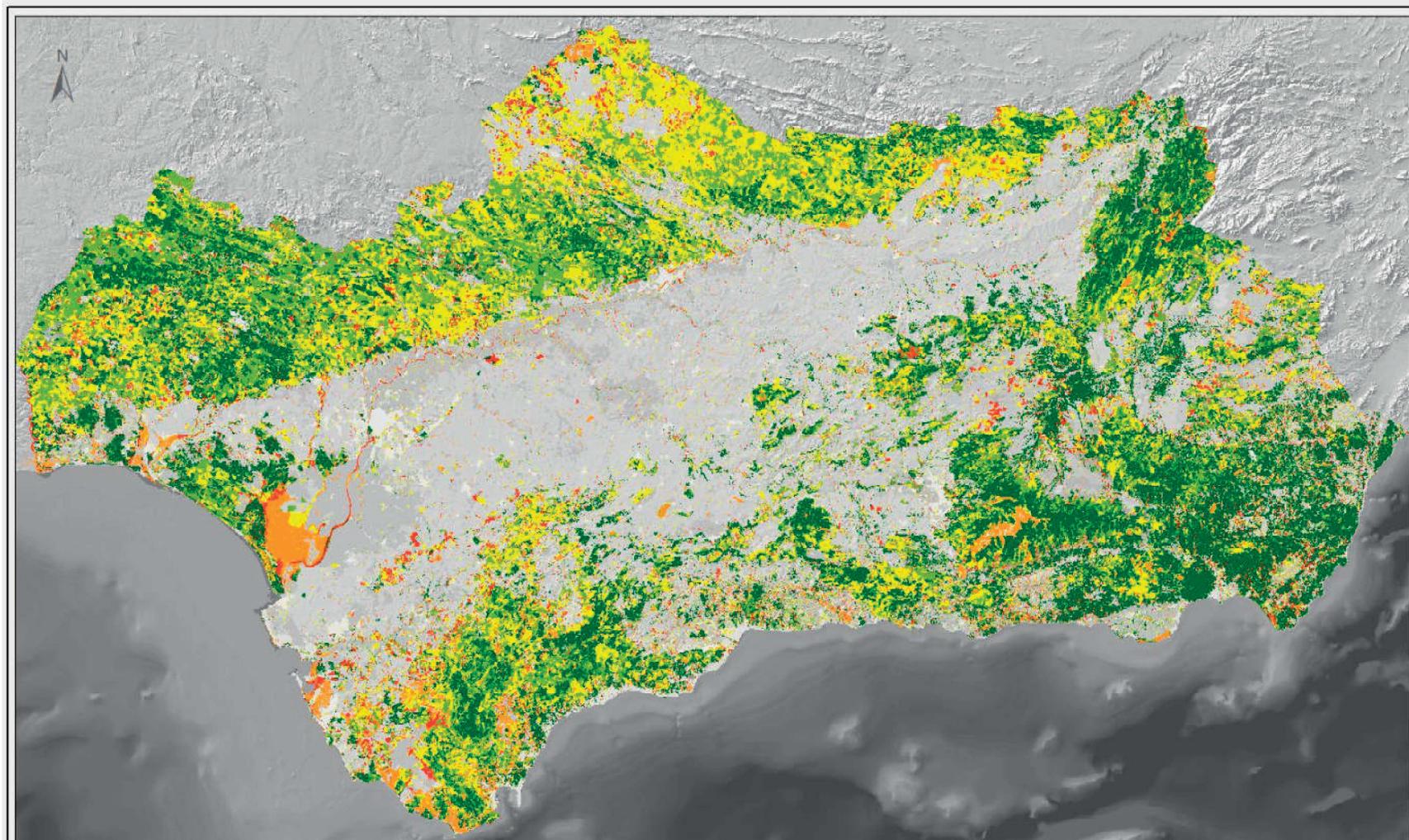
Leyenda
 Precio del capital ambiental del agua correspondiente al flujo superficial (€/ha año)

	10.501 - 12.000		10.001 - 10.500		9.001 - 10.000		7.501 - 9.000		6.000 - 7.500
--	-----------------	--	-----------------	--	----------------	--	---------------	--	---------------

Base cartográfica: Modelo Digital del Terreno ETRS89(Huso 30).

0 20 40 60 Km

Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua



Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua. Agua verde. Valores reales.

Leyenda
Consumo de agua por la vegetación/ Evapotranspiración (m3/ha año)

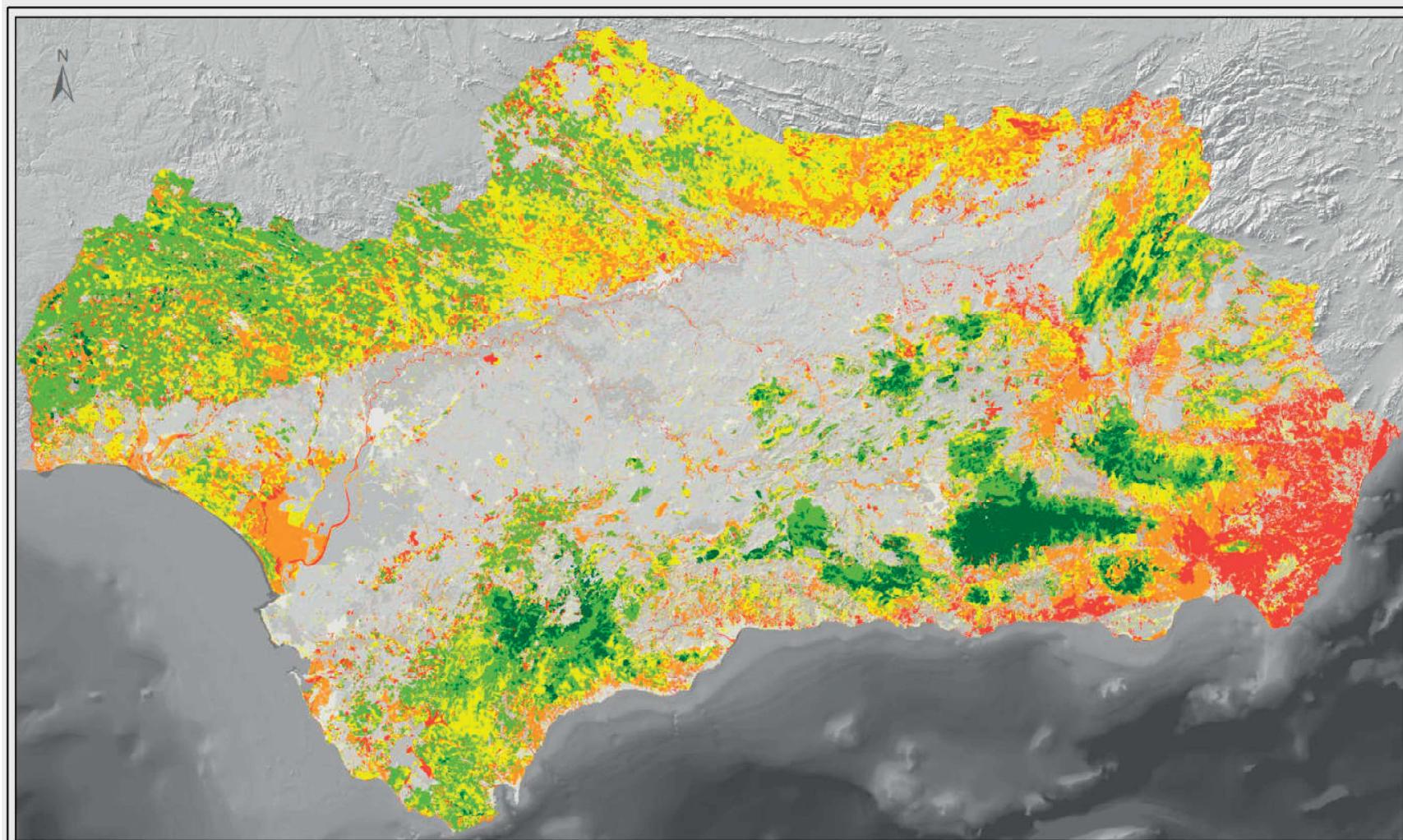
	5.001 - 6.900		4.301 - 5.000		3.501 - 4.300		1.901 - 3.500		0,01 - 1.900
--	---------------	--	---------------	--	---------------	--	---------------	--	--------------

Base cartográfica: Modelo Digital del Terreno ETRS89(Huso 30).

0 20 40 60 Km

Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua

Junta de Andalucía
Servicios Ecosistémicos en Andalucía



Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua. Agua azul. Valores reales.

Leyenda
Flujo de agua superficial y subterráneo (m3/ha año)

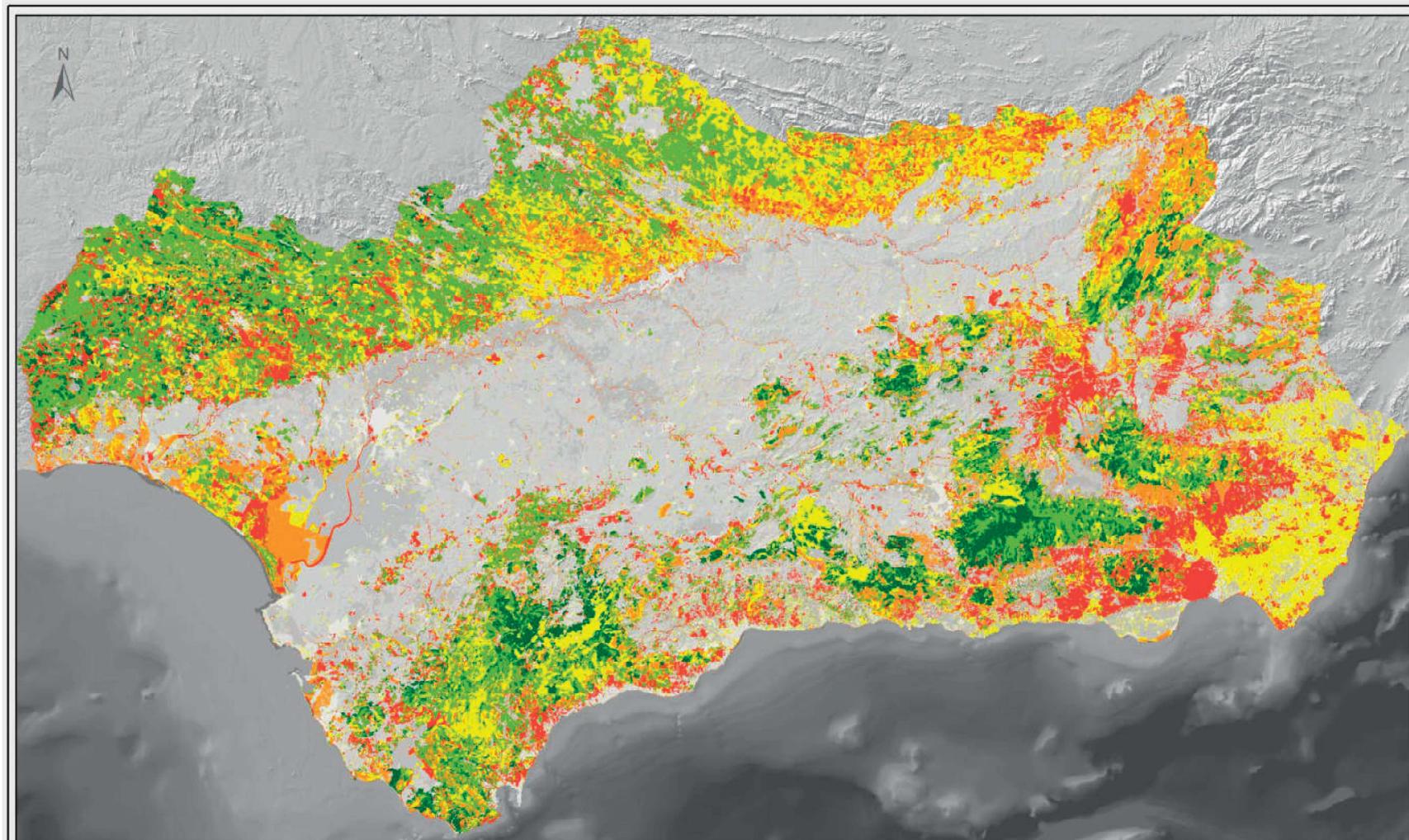
	5.601 - 11.900		4.101 - 5.600		2.901 - 4.100		1.501 - 2.900		0,01 - 1.500
--	----------------	--	---------------	--	---------------	--	---------------	--	--------------

Base cartográfica: Modelo Digital del Terreno ETRS89(Huso 30).

0 20 40 60 Km

Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua

Junta de Andalucía
Comunidad de Regaduría de Andalucía
Plan de Desarrollo Rural de Andalucía



Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua. Valores económicos.

Leyenda
 Precio del capital ambiental del agua correspondiente al flujo superficial (€/ha año)

	16.001 - 39.000		11.001 - 16.000		7.401 - 11.000		3.701 - 7.400		0,01 - 3.700
--	-----------------	--	-----------------	--	----------------	--	---------------	--	--------------

Base cartográfica: Modelo Digital del Terreno ETRS89(Huso 30).

0 20 40 60 Km

Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua

Junta de Andalucía
 Consejería de Agricultura, Ganadería,
 Pesca y Desarrollo Rural
www.juntadeandalucia.es