

La huella hidrológica de la agricultura española

R. Rodríguez Casado

A. Garrido

M. R. Llamas

C. Varela-Ortega

Número 2

Los *Papeles de Agua Virtual* conforman una serie de documentos de trabajo creados al amparo del proyecto de investigación *Análisis de la Huella Hidrológica y del Comercio de Agua Virtual en España*, financiado por la Fundación Marcelino Botín dentro del convenio entre la Universidad Politécnica de Madrid y esta fundación, en el que participa también como co-director científico externo el Profesor y Académico Ramón Llamas Madurga.

La creciente utilización de los conceptos de agua virtual y de huella hidrológica ha propiciado la realización de un estudio en profundidad aplicado a España. Con la finalidad de evaluar la aplicación de ambos conceptos a la gestión de los recursos hídricos y someterlos a debate, los *Papeles de Agua Virtual* (PAV) recogen parte de los resultados obtenidos durante la investigación. Esta nueva colección de documentos, que sucede a la de *Papeles de Aguas Subterráneas* (PAS) también auspiciada por la Fundación Marcelino Botín entre 1999 y 2004, recoge los desarrollos metodológicos y los resultados obtenidos del estudio sobre el comercio de agua virtual y la huella hidrológica. Los PAV siguen así la estela de los PAS, que tanta influencia y repercusión tuvieron en España. Además de contribuir al debate científico sobre la política del agua, los PAV tienen como objetivo más importante orientar los resultados del estudio hacia aspectos prácticos que sean de aplicación para hacer más eficiente el uso de los recursos hídricos, teniendo en cuenta los procesos de cambio global y las relaciones comerciales de España con la UE y el resto del mundo. En esta serie se incluye también un PAV sobre la huella hidrológica de la cuenca del Guadiana que corresponde a un estudio realizado conjuntamente entre este proyecto y el caso de estudio de la cuenca del Guadiana que dirige el profesor M. Ramón Llamas dentro del proyecto de la Unión Europea llamado NeWater.


Los PAV se pueden descargar gratuitamente de las páginas web del Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales, centro de I+D de la Universidad Politécnica de Madrid (www.ceigram.upm.es), y también desde la web de la Fundación Marcelino Botín (www.fundacionmbotin.org).

PAPELES DE AGUA VIRTUAL

Número 2

**LA HUELLA HIDROLÓGICA
DE LA AGRICULTURA ESPAÑOLA**

**Roberto Rodríguez Casado,
Alberto Garrido Colmenero,
Manuel Ramón Llamas Madurga y
Consuelo Varela Ortega**

 **Fundación
Marcelino Botín**

<http://www.fundacionmbotin.org>

CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. La importancia de los recursos hídricos en la agricultura española	7
1.2. Un nuevo indicador sobre el uso del agua: la huella hidrológica.....	9
2. ANTECEDENTES.....	11
3. OBJETIVOS	12
4. METODOLOGÍA.....	13
4.1. Cálculo de la huella hidrológica de la agricultura.....	13
4.2. Cálculo del uso de agua azul y agua verde en la agricultura.....	14
4.3. Cálculo del ‘flujo’ de agua virtual en la agricultura.....	17
4.3.1. Agua virtual contenida en los cultivos .	17
4.3.2. ‘Flujo’ de agua virtual en la agricultura .	19
4.4. Huella hidrológica de España y ratio de dependencia de recursos hídricos	21
5. RESULTADOS.....	21
5.1. La huella hidrológica de España	21
5.2. Comparación de resultados con Chapagain y Hoekstra (2004).....	22
5.3. La huella hidrológica de la agricultura	24

Papeles de Agua Virtual
Edita: Fundación Marcelino Botín. Pedrueca, 1 (Santander)
www.fundacionmbotin.org

ISBN: 978-84-96655-23-2 (obra completa)

ISBN: 978-84-96655-25-6 (Número 2)

Depósito legal: M. 46345-2008

Impreso en REALIGRAF, S.A. Madrid, octubre de 2008

5.4. El consumo de agua en la agricultura por Comunidad Autónoma.....	29
6. CONCLUSIONES	31
7. LISTA DE SÍMBOLOS	33
8. REFERENCIAS.....	34

LA HUELLA HIDROLÓGICA DE LA AGRICULTURA ESPAÑOLA

**Roberto Rodríguez Casado^a, Alberto Garrido Colmenero^a,
Manuel Ramón Llamas Madurga^b, Consuelo Varela Ortega^a**

^a Departamento de Economía y Ciencias Sociales Agrarias,
E.T.S. Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid.
Email: roberto.rodriguez@upm.es

^a Departamento de Economía y Ciencias Sociales Agrarias,
E.T.S. Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid.
Email: alberto.garrido@upm.es

^b Departamento de Geodinámica. Universidad Complutense de Madrid.
Email: mllamas@geo.ucm.es

^a Departamento de Economía y Ciencias Sociales Agrarias,
E.T.S. Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid.
Email: consuelo.varela@upm.es

RESUMEN

La huella hidrológica de una persona, colectivo o país se define como el total de agua usada para producir los bienes y servicios consumidos por esa persona, colectivo o país. El principal objetivo de este estudio es realizar una estimación de la huella hidrológica de la agricultura en España. El trabajo distingue entre el consumo de agua azul y de agua verde con el fin de obtener unas cifras que reflejen la importancia de cada uso en la producción agrícola. Los resultados muestran que la huella hidrológica de España se sitúa en unos 1.150 m³ de agua per cápita y año, siendo el volumen anual total cercano

a los 48.000 hm³. Más de la mitad de los recursos hídricos usados para satisfacer la demanda de los bienes y servicios consumidos en España procede de otros países. La agricultura es responsable de algo más del 80% de la huella hidrológica, siendo los cereales y los cultivos industriales los grupos de cultivos con mayor peso. El aumento de la huella hidrológica de la agricultura en los años analizados se debe en buena parte a la expansión del sector ganadero español. A pesar de que en España el 80% de la superficie agraria útil está en régimen de secano, el consumo de agua azul en la agricultura es mayor que el de agua verde.

Palabras clave: huella hidrológica, agua virtual, agua azul y verde, uso del agua en agricultura.

ABSTRACT

The water footprint of a person, a collective or a nation is defined as the total volume of freshwater that is used to produce the goods and services consumed by the person, the collective or the inhabitants of the nation. The main objective of this study is to assess the water footprint of the Spanish agriculture. The study distinguishes between blue water consumption and green water consumption in order to reflect the relative importance of each water use for agricultural production. The results show that the Spanish water footprint is approximately 1150 m³/cap/yr, which means 48,000 hm³/yr. More than a half of all the volume of water used to meet the demand for goods and services consumed in Spain comes from other countries. Agriculture accounts for more than 80% of the total water footprint, being cereals and industrial crops the commodities with the highest weight. The water footprint of Spanish agriculture has mainly increased due to the expansion of the livestock sector. Even though 80% of total

agricultural land in Spain is rainfed, blue water consumption is greater than green water consumption.

Keywords: water footprint, virtual water, green and blue water, agricultural water use.

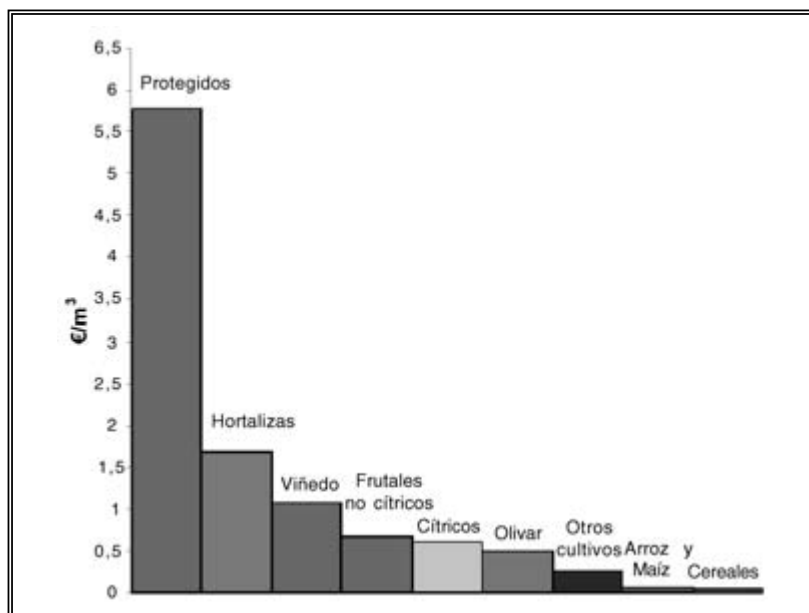
1. INTRODUCCIÓN

1.1. La importancia de los recursos hídricos en la agricultura española

La gestión de los recursos hídricos es proclive a conflictos en los países áridos o semiáridos, como España, por lo que garantizar un uso sostenible es una tarea que presenta serias dificultades. La mayoría de expertos admiten que estos conflictos hídricos no se deben normalmente a la escasez física del agua (Llamas, 2005) y que es necesario realizar inversiones a nivel institucional y a nivel de conocimiento y capacidad humana para lograr una mejor gestión del agua (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, 2007). Por ello resulta conveniente analizar los usos y las demandas de agua para intentar establecer políticas que, de acuerdo con la Directiva Marco del Agua, promuevan la protección y el uso sostenible de los recursos hídricos.

España es el país europeo más árido y que más recursos hídricos dedica a la irrigación. Según datos del Ministerio de Medio Ambiente (2007) el sector agrario usa cerca del 70% del total de agua captada en España. Esto, en parte, se debe a que la agricultura española goza de importantes ventajas comparativas como resultado de su localización respecto a grandes mercados, la disponibilidad de suelo, las horas de sol y sus infraestructuras. Estas ventajas se ven disminuidas por una gran desventaja: la agricultura española debe hacer frente a una disponibilidad limitada de agua con

FIGURA 1. Valor añadido bruto por unidad de agua de riego según grupos de cultivo



Fuente: Elaboración propia a partir del MMA (2007) para los años 2001/2002.

un régimen irregular de precipitaciones (estiaje, desacoplamiento del régimen anual con los calendarios de riego, fenómenos torrenciales, etc.) y sequías recurrentes. En esas condiciones, disponer de cantidades suficientes de agua se convierte en un elemento estratégico que garantiza la viabilidad de muchas explotaciones agrícolas (MMA, 2007).

Si estudiamos la productividad del agua por tipo de cultivo (Figura 1), se puede apreciar que los cultivos de invernadero (hortícola, flores y plantas ornamentales) son los que aportan mayor valor añadido por unidad de agua regada con 5,79 €/m³ de media en España. A gran distancia, con productividades intermedias están el viñedo y los frutales de

clima templado (1,08 y 0,68 €/m³, respectivamente). Por su parte, los cereales para grano alcanzan una productividad media en torno a 0,06 €/m³ y al ser estos los cultivos más extendidos en todo el territorio nacional hacen que la productividad media del agua en España descienda hasta los 41 céntimos (MMA, 2007).

1.2. Un nuevo indicador sobre el uso del agua: la huella hidrológica

La tendencia actual encaminada a lograr un desarrollo sostenible pasa por la necesidad de desarrollar indicadores precisos de sostenibilidad, capaces de medir el estado de los sistemas naturales y sus posibles respuestas a las presiones ejercidas sobre los recursos que generan (Roth *et al.*, 2001). Entre los indicadores de sostenibilidad con mayor difusión figura la huella ecológica, que fue propuesta en los años noventa para poner de relieve el impacto que la especie humana estaba teniendo sobre el planeta (Wackernagel y Rees, 1996, Wackernagel *et al.*, 1997). La huella ecológica de una población se puede representar como el área de tierra productiva y de ecosistemas acuáticos requeridos para generar los recursos consumidos y asimilar los residuos producidos por dicha población (Wackernagel y Rees, 1996).

De forma paralela a la idea de huella ecológica surge la huella hidrológica (water footprint). Este concepto fue desarrollado por Hoekstra y Hung en el año 2002 con el objetivo de conseguir un indicador que relacionara el uso del agua con el consumo humano (Hoekstra y Hung, 2002). Los datos referentes al consumo de agua siempre se han presentado como una suma de los consumos de agua en los diferentes sectores de la economía (agricultura, industria y doméstico). Aunque estos datos son útiles para cuantificar el nivel de explotación de los recursos hídricos locales, no pro-

porcionan demasiada información sobre el modelo de consumo de los habitantes del país y acerca de la necesidad de recursos hídricos adicionales. La estimación de la huella hidrológica surge así como un indicador complementario en el cálculo de la sostenibilidad del uso de los recursos naturales por parte del hombre (Hoekstra, 2007).

La huella hidrológica de un individuo, de un grupo de personas o de un país se define como el total de agua usada para producir los bienes y servicios consumidos por el individuo, por ese grupo de personas o por el país (Chapagain y Hoekstra, 2004). Se suele expresar en volumen de agua usado por año. Dado que no todos los bienes consumidos en un país son producidos en su territorio, la huella hidrológica se compone de dos partes: huella hidrológica interna, que se refiere al volumen de agua del país usada para producir los bienes y servicios consumidos por sus residentes; y la huella hidrológica externa, que equivale al volumen de agua usada en otros países para producir los bienes y servicios importados y consumidos por los residentes en el país de referencia (*ibid.*).

Los factores más determinantes en la huella hidrológica de un país son: el volumen de bienes y servicios consumidos, las costumbres en la alimentación y la dieta, el clima y las prácticas agrícolas (Chapagain y Hoekstra, 2004).

Uno de los aspectos más relevantes de la huella hidrológica es que permite diferenciar el agua consumida según su procedencia, distinguiendo entre huella hidrológica azul y huella hidrológica verde. Se denomina agua azul al agua procedente de ríos, lagos y acuíferos y agua verde a la procedente de las precipitaciones que queda retenida en el suelo (Falkenmark, 2003). Esta distinción es importante ya que poseen diferentes características en cuanto a coste de oportunidad e impacto hidrológico y medioambiental, como tam-

bién son diferentes las políticas que administran y gestionan cada una de ellas.

La idea de huella hidrológica surge a partir del concepto de agua virtual. El agua virtual se define como el volumen de agua requerido para producir un bien o un servicio (Allan, 1998). Fue introducido por Allan en 1993 cuando estaba investigando la opción de 'importar' agua virtual, en lugar de agua real, a través de la importación de productos en los países del Medio Oriente. En los últimos años varios estudios han destacado la importancia de este mecanismo a la hora de conseguir la seguridad hídrica y alimentaria en regiones áridas y semiáridas (Allan, 2003; Hoekstra y Hung, 2002; Yang y Zehnder, 2002).

2. ANTECEDENTES

Los datos referentes a la huella hidrológica de los países han ido variando conforme se han ido desarrollando las metodologías de cálculo. Los primeros estudios estimaron el 'flujo' de agua virtual azul de cada país, relacionado con el comercio de productos agrícolas y de los productos ganaderos (Chapagain y Hoekstra, 2003 y Hoekstra y Hung, 2002).

Chapagain y Hoekstra (2004) publicaron un informe detallado en el que calculaban la huella hidrológica de todos los países del mundo. En este informe ya se contabiliza tanto el agua azul como el agua verde, aunque sin llegar a distinguirlas. Estos autores estiman que la huella hidrológica global es de 7.450 km³/año, equivalente a 1.240 m³/per cápita y año. La mayor parte se debe a los alimentos y otros productos agrícolas. Del total de agua consumida por los países, el 16% se destina al comercio internacional. Los productos que más contribuyen a la huella hidrológica externa son: carne bovina, soja, trigo, cacao, arroz, algodón y maíz.

En los últimos años se han publicado diferentes trabajos relacionados con la huella hidrológica de países (Hoekstra y Chapagain, 2007) y de productos específicos (Chapagain y Hoekstra, 2007, Chapagain y Orr, en prensa). En Chapagain *et al.* (2006) se calcula la huella hidrológica mundial del algodón. Estos autores estiman que los consumidores europeos, mediante su consumo de fibra de algodón, contribuyeron de forma indirecta en un 20% a la desecación del Mar de Aral. Este dato refleja el grado de importancia que puede llegar a adquirir la huella hidrológica externa.

En cuanto al consumo de recursos hídricos en España, Hoekstra y Hung (2002) ofrecen una cifra cercana a 31 km³/año de agua azul consumida por los productos agrícolas; en el Libro Blanco del Agua se estima que el agua azul para usos agrícolas es de unos 25 km³/año (Llamas, 2005); en Chapagain y Hoekstra (2004) se calculan unos 51 km³/año de agua azul y agua verde destinados a la producción agrícola nacional, de los cuales 17 km³/año se destinan a la exportación. Estos autores estiman las necesidades totales de agua en España en 94 km³ anuales. De esta cantidad el 80% corresponde a productos agrícolas, el 15% al consumo de bienes industriales y el 5% con el abastecimiento urbano.

3. OBJETIVOS

El principal objetivo de este estudio es estimar la huella hidrológica de la agricultura en España, adaptando la metodología aplicada en el trabajo realizado por Chapagain y Hoekstra (2004) a las características de la agricultura española.

Para conseguir esta adaptación, una aportación esencial del estudio surge a partir de la distinción entre agua azul y agua verde. El objetivo es obtener una evaluación que pueda reflejar la importancia de cada tipo de agua en la agri-

cultura. Esta distinción se considera de gran relevancia debido a las distintas características según la procedencia del agua y apenas ha sido tratado en los estudios realizados sobre el agua y la agricultura en España.

A partir de los datos obtenidos se va a determinar la huella hidrológica total de España y se van a comparar los resultados con los calculados por Chapagain y Hoekstra (2004). Por tanto, un objetivo subsidiario del trabajo es reevaluar los cálculos efectuados por estos autores, determinando su fiabilidad y sugiriendo aspectos que puedan mejorarlos.

Por último, al objeto de evaluar si la huella hidrológica es dependiente de las variaciones del clima, el período de estudio trata de abarcar años secos, normales y húmedos. Las consecuencias económicas de las sequías son especialmente graves en las regiones sujetas a regímenes irregulares de precipitaciones, como es el caso de España. Además, las necesidades hídricas de un cultivo no son todos los años las mismas y las dosis de riego suelen adaptarse a las precipitaciones que se producen.

4. METODOLOGÍA

4.1. Cálculo de la huella hidrológica de la agricultura

Este estudio va a tomar como base metodológica la desarrollada por Chapagain y Hoekstra (2004), incorporando una serie de aportaciones con el fin de adaptarla de la mejor manera posible al modelo de agricultura española y lograr una mejor precisión en los resultados.

Los años elegidos para el estudio han sido 1998, 2001 y 2003. Según datos de precipitaciones del INE (2007a) de la última década, estos años han tenido en España una media

de 494 mm, 535 mm y 618 mm respectivamente, por lo que se han considerado como año seco (1998), año normal (2001) y año húmedo (2003). Sin embargo hay que puntualizar que debido a la irregularidad en la distribución de las precipitaciones a lo largo del año, la denominación de año seco o húmedo no es válida para todos los cultivos ni para todas las Comunidades Autónomas, ya que los períodos de siembra y recolección son distintos.

La huella hidrológica de la agricultura (WF_{Agr}) equivale al uso de los recursos hídricos españoles en la agricultura (UA_{Agr}), más las 'importaciones' de agua virtual contenida en los productos agrícolas y ganaderos ($VW_{I,Agr}$), menos el agua virtual 'exportada' en estos productos ($VW_{E,Agr}$).

$$WF_{Agr} (m^3) = UA_{Agr} + VW_{I,Agr} - VW_{E,Agr} \quad (1)$$

4.2. Cálculo del uso de agua azul y agua verde en la agricultura

El uso de agua en la agricultura (UA_{Agr}) se corresponde con la suma de las demandas evaporativas de los cultivos producidos e incluye tanto el agua azul como el agua verde. Las pérdidas de agua que puedan producirse en el riego no se contabilizan, asumiendo que en un porcentaje alto pueden ser reutilizadas.

Los cultivos analizados en este trabajo son todos aquellos contemplados en los Anuarios de Estadística Agroalimentaria que publica el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (95 cultivos). Debido a la heterogeneidad de la agricultura española y con el fin de mejorar la precisión, se han realizado todos los cálculos para cada una de las 17 Comunidades Autónomas de España, agregando posteriormente estos datos para obtener los resultados finales a nivel nacional.

La demanda evaporativa de un cultivo, suma de la evaporación directa del agua al suelo y de la transpiración de las plantas, es equivalente a sus necesidades hídricas. En este trabajo se ha estimado la evapotranspiración mensual de cada cultivo (ETc , mm/mes) según la ecuación de Penman-Monteith. Para su cálculo se multiplica la evapotranspiración de referencia (ETo) por el coeficiente del cultivo (Kc).

$$ETc (mm/mes) = ETo \times Kc \quad (2)$$

Los datos mensuales de evapotranspiración de referencia han sido facilitados por el INM (2007) y el coeficiente Kc se ha obtenido de Allen *et al.* (1998). Si aplicamos el factor de corrección 10 se obtienen las necesidades hídricas mensuales en m^3/ha (CWR_i , m^3/ha , mes).

$$CWR_i (m^3/ha,mes) = 10 \times ETc \quad (3)$$

Se han calculado por separado la evapotranspiración mensual de agua verde (ETg_i , m^3/ha , mes) y la evapotranspiración mensual de agua azul (ETb_i , m^3/ha , mes).

$$CWR_i (m^3/ha,mes) = ETg_i + ETb_i \quad (4)$$

La evapotranspiración mensual de agua verde coincide con la precipitación efectiva (P_{eff} , m^3/ha , mes) en el caso de que esta cantidad no supera las necesidades hídricas del cultivo.

$$ETg_i (m^3/ha,mes) = \min(CWR_i; P_{eff}) \quad (5)$$

Para obtener la precipitación efectiva, que es el agua procedente de la lluvia que realmente puede ser aprovechada por la planta, se han seguido las fórmulas propuestas por

Brouwer y Heibloem (1986), en función de la precipitación mensual (p , mm/mes).

$$p_{eff} \left(\frac{mm}{mes} \right) = 0,8 \times p - 25, \text{ si } p > 75 \text{ mm/mes} \quad (6)$$

$$p_{eff} \left(\frac{mm}{mes} \right) = 0,6 \times p - 10, \text{ si } p < 75 \text{ mm/mes} \quad (7)$$

$$P_{eff} \left(\frac{m^3}{ha,mes} \right) = \max(0; 10 \times p_{eff}) \quad (8)$$

Para el régimen de producción en regadío se ha supuesto que todos los cultivos ven cubiertas sus necesidades hídricas. De esta manera, la evapotranspiración de agua azul se corresponde con el riego realizado y compensa la diferencia, si existiera, entre sus necesidades hídricas y la precipitación efectiva.

$$ETb_i \left(\frac{m^3}{ha,mes} \right) = \max(0, CWR_i - P_{eff}) \quad (9)$$

Las fechas de siembra y recolección de cada cultivo se han considerado idénticas para todas las CCAA y se han obtenido del calendario de siembra, recolección y comercialización para los años 1996-1998 (MAPA, 2001).

Para obtener el volumen de agua consumido por la agricultura en cada Comunidad Autónoma (k) (UA_{Agr_k} , m^3), se multiplican la evapotranspiración de agua azul (ETb , m^3/ha) por la superficie en regadío (S_{reg} , ha) y la evapotranspiración de agua verde (ETg , m^3/ha) por la superficie total (S_{total} , ha), para cada uno de los cultivos (j) producidos en la Comunidad Autónoma (k).

$$UA_{Agr_k} (m^3) = \sum_{j=1}^{95} ETb_j \times S_{reg_j} + ETg_j \times S_{total_j} \quad (10)$$

Sumando los resultados de cada Comunidad Autónoma (k) se obtiene el volumen total del agua usada en la agricultura española.

$$UA_{Agr} (m^3) = \sum_{k=1}^{17} UA_{Agr_k} \quad (11)$$

4.3. Cálculo del 'flujo' de agua virtual en la agricultura

El siguiente paso para determinar la huella hidrológica de la agricultura es calcular los 'flujos' de agua virtual que entran y salen a través de las importaciones y exportaciones de productos agrícolas ($VW_{I,Agr}$ y $VW_{E,Agr}$, m^3). Para ello es necesario conocer el contenido en agua virtual de cada producto que exportamos e importamos. Dado que los datos de comercio internacional están a nivel de estado, hay que calcular un valor medio de contenido en agua virtual de cada producto para España, agregando los datos obtenidos en cada Comunidad Autónoma.

4.3.1. Agua virtual contenida en los cultivos

De manera general, el contenido en agua virtual de cada cultivo (V , m^3/kg) resulta de dividir sus necesidades hídricas (CWR , m^3/ha) entre el rendimiento del cultivo (Y , kg/ha).

$$V \left(\frac{m^3}{kg} \right) = \frac{CWR}{Y} \quad (12)$$

Una de las contribuciones más importantes de este trabajo resulta de la distinción en los cálculos entre los diferentes sistemas de producción.

Para el régimen de secano se han utilizado únicamente datos correspondientes al agua verde, obteniendo el contenido de agua virtual verde (Vg_{sec} , m^3/kg) al dividir la evapotranspiración de agua verde entre el rendimiento en secano (Y_{sec} , kg/ha).

$$Vg_{sec} (m^3/kg) = \frac{ETg}{Y_{sec}} \quad (13)$$

Los cultivos en regadío consumen agua azul y agua verde. El contenido de agua virtual azul (Vb_{reg} , m^3/kg) resulta de dividir la evapotranspiración de agua azul del cultivo entre su rendimiento en regadío (Y_{reg} , kg/ha), mientras que el contenido de agua virtual verde (Vg_{reg} , m^3/kg) se obtiene al dividir la evapotranspiración de agua verde entre el rendimiento en regadío.

$$Vb_{reg} (m^3/kg) = \frac{ETb}{Y_{reg}} \quad (14)$$

$$Vg_{reg} (m^3/kg) = \frac{ETg}{Y_{reg}} \quad (15)$$

En el caso de los cultivos protegidos, que no aprovechan agua verde, el contenido en agua virtual azul (Vb_{prot} , m^3/kg) se ha calculado dividiendo la evapotranspiración de agua azul entre el rendimiento en régimen protegido (Y_{prot} , kg/ha).

$$Vb_{prot} (m^3/kg) = \frac{ETb}{Y_{prot}} \quad (16)$$

Una vez calculados los contenidos en agua virtual de cada cultivo, distinguiendo entre azul y verde, y para cada Comunidad Autónoma, se han agregado los datos para obte-

ner los resultados a nivel nacional. Para hallar este valor medio de contenido en agua virtual de cada producto en España (V_j , m^3/kg) se han ponderado las producciones de cada Comunidad Autónoma y de cada régimen de producción.

4.3.2. 'Flujo' de agua virtual en la agricultura

A partir de los contenidos en agua virtual de todos los cultivos analizados y utilizando los datos de toneladas importadas y exportadas (MAPA, 2005) se procede al cálculo del 'flujo' de agua virtual de la agricultura.

El volumen de agua virtual exportada en la agricultura ($VW_{E,Agr}$, m^3) se obtiene multiplicando la cantidad de producto exportado (X_j , ton) por su contenido en agua virtual (V_j , m^3/ton).

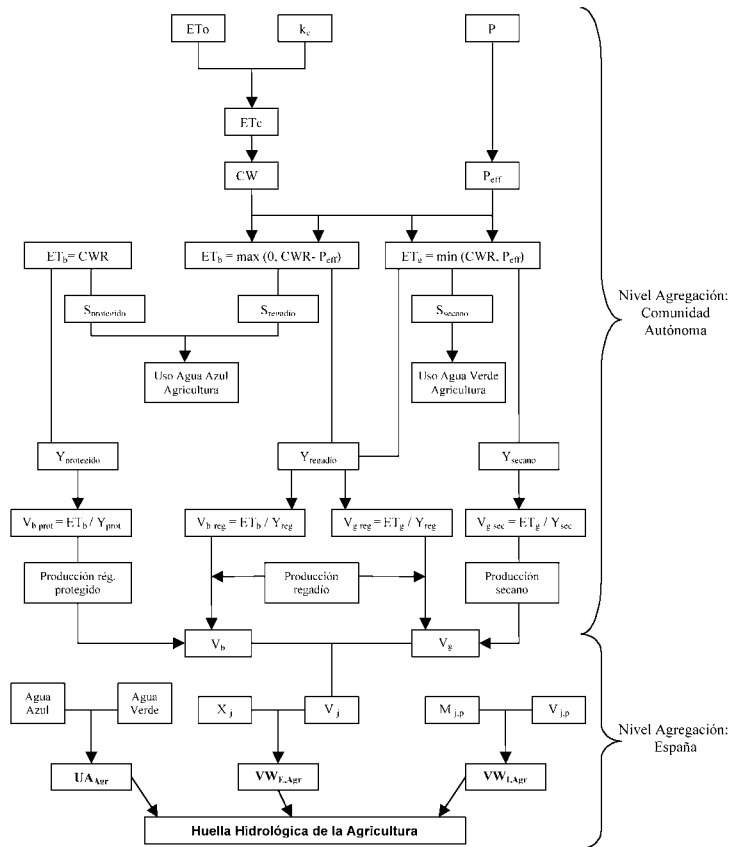
$$VW_{E,Agr} (m^3) = \sum_{j=producto} X_j \times V_j \quad (17)$$

A su vez, el volumen de agua virtual importada en la agricultura ($VW_{I,Agr}$, m^3) se obtiene multiplicando la cantidad de producto importada ($M_{j,p}$, ton) por el contenido en agua virtual en el país de origen ($V_{j,p}$, m^3/ton), obtenido de Chapagain y Hoekstra (2004).

$$VW_{I,Agr} (m^3) = \sum_{\substack{j=producto \\ p=País}} M_{j,p} \times V_{j,p} \quad (18)$$

En este trabajo se han calculado los contenidos en agua virtual de 95 cultivos primarios. Para completar el análisis del 'flujo' de agua virtual en la agricultura se han incluido un total de 21 productos agrícolas y ganaderos con una importancia significativa dentro del comercio español. Los datos referentes al agua virtual contenida en los productos ganaderos se han obtenido de Chapagain y Hoekstra (2004).

FIGURA 2. Esquema del procedimiento de cálculo de la huella hidrológica de la agricultura



Fuente: Elaboración propia a partir de Novo (2008)

ETo : evapotranspiración de referencia; k_c : constante del cultivo; ET_c : evapotranspiración del cultivo; CWR : requerimientos de agua del cultivo; P : precipitación; P_{ef} : precipitación efectiva; ET_b : evapotranspiración de agua azul; ET_g : evapotranspiración de agua verde; S : superficie; Y : rendimiento; V_b : contenido en agua virtual azul; V_g : contenido en agua virtual verde; X_j : exportaciones del producto j ; V_j : contenido en agua virtual del producto j ; $M_{j,p}$: importaciones del producto j del país p ; $V_{j,p}$: contenido en agua virtual del producto j en el país p ; UA_{Agr} : uso agua en la agricultura; $VW_{E,Agr}$: agua virtual 'exportada' en productos agrícolas; $VW_{L,Agr}$: agua virtual 'importada' en productos agrícolas

En la Figura 2 se recogen de manera esquemática los pasos seguidos para calcular la huella hidrológica de la agricultura, así como el nivel de agregación.

4.4. Huella hidrológica de España y ratio de dependencia de recursos hídricos

Para calcular la huella hidrológica total de España (WF , m^3) hay que añadir el consumo de agua en el sector urbano (UA_{Urb} , m^3) y en la industria (UA_{Ind} , m^3) (INE, 2003), así como el comercio de productos industriales (VW_{Ind} , m^3) (Chapagain y Hoekstra, 2004).

$$WF(m^3) = WF_{Agr} + UA_{Urb} + UA_{Ind} + VW_{I,Ind} - VW_{E,Ind} \quad (19)$$

Por último, se han calculado el ratio de dependencia de las 'importaciones' de agua virtual de España (WD , %), definido como la huella hidrológica externa entre la huella hidrológica total.

$$WD(\%) = \frac{WF_E}{WF} \times 100 \quad (20)$$

5. RESULTADOS

5.1. La huella hidrológica de España

La huella hidrológica española evaluada en este trabajo asciende a unos 48.000 hm^3 anuales, equivalente a 1.150 m^3 de agua per cápita y año (Tabla 1). En el año húmedo (2003) se consumen 4.500 hm^3 más que en el año seco (1998). En este año 2003 se produjo un aumento tanto de las 'importaciones' como de las 'exportaciones' de agua virtual con respecto a los otros años. Esto supone un incremento de la huella hidrológica externa y una disminución de la huella hidrológica interna.

En los tres años estudiados la huella hidrológica externa es mayor que la interna, lo que indica una alta dependen-

cia de los recursos hídricos extranjeros. En el año 2003 el ratio de dependencia de las ‘importaciones’ de agua virtual ascendió hasta el 63,2%. Esto es, más de la mitad de los recursos hídricos usados para la producción de los bienes y servicios consumidos en España procedieron de otros países.

TABLA 1. *Huella hidrológica de España para los años 1998, 2001 y 2003*

	HUELLA HIDROLÓGICA DE ESPAÑA				
	<i>Interna (hm³)</i>	<i>Externa (hm³)</i>	<i>Total (hm³)</i>	<i>Población¹ (10⁶)</i>	<i>Per cápita (m³/año)</i>
1998 Seco	19.386	25.271	44.588	39,85	1118
2001 Normal	19.954	27.794	47.679	41,12	1159
2003 Húmedo	18.182	31.066	49.179	42,72	1151

Fuente: ¹ INE (2007b) y elaboración propia

La huella hidrológica de la ganadería y de la agricultura conjunta representa cerca del 80% del total. El 20% restante se debe al consumo de agua por parte del sector urbano y de la industria. España es ‘importadora neta’ de agua virtual contenida productos agrícolas, mientras que ‘exporta’ agua virtual a través de productos ganaderos, aunque a un menor nivel.

5.2. Comparación de resultados con Chapagain y Hoekstra (2004)

Al comparar los datos obtenidos en este trabajo con los calculados por Chapagain y Hoekstra (2004) (Tabla 2), lo primero que llama la atención son las grandes diferencias en los datos referentes a la agricultura, el ámbito donde se ha centrado este trabajo. Tanto el volumen de agua consumido por la agricultura como la cantidad de agua virtual ‘exportada’ estimados por Chapagain y Hoekstra son prácticamente el doble que en los datos obtenidos en este trabajo.

TABLA 2. *Comparación del uso de agua y del ‘flujo’ de agua virtual en España con los datos obtenidos por Chapagain y Hoekstra*

	Uso de recursos hídricos españoles (hm ³ /año)		‘Flujo’ de Agua Virtual España ⁵ (hm ³ /año)				
	Consumo Urbano	Consumo Agricultura		Productos agrícolas		Productos ganaderos	
		Producción	Exportación	Exportación	Importación	Exportación	Importación
Año 2001	4.804 ¹	27.032 ²	8.175 ²		20.705 ³	6.882 ³	4.438 ³
Chapagain y Hoekstra ⁴	4.240	50.570	17.440		27.110	8.541	5.971

Fuente: ¹ INE (2003), para el año 2001

² Elaboración propia.

³ A partir del MAPA (2005) y de Chapagain y Hoekstra (2004).

⁴ Chapagain y Hoekstra (2004), media del período 1997-2001.

⁵ El ‘flujo’ de agua virtual de los productos industriales no se ha calculado en este trabajo.

Estas diferencias tan notorias se pueden explicar por el diferente enfoque metodológico seguido en este estudio con respecto al de Chapagain y Hoekstra (2004). La separación de la producción en secano de la de regadío en los cálculos ha proporcionado unos valores de contenido en agua virtual distintos para algunos cultivos (Tabla 3). Mientras que en cultivos de regadío, como maíz, naranja o tomate, los resultados son de un orden de magnitud similar, en los cultivos típicos de secano, como el trigo y el olivar aparecen grandes diferencias (hasta seis veces mayor en Chapagain y Hoekstra, 2004).

Chapagain y Hoekstra (2004) suponen que todos los cultivos ven satisfechas sus necesidades hídricas, supuesto que se ha utilizado en este trabajo solo para el régimen de regadío. En el régimen de secano el cultivo aprovecha únicamente agua procedente de la lluvia y las precipitaciones en España no siempre cubren todos sus requerimientos hídricos. Teniendo en cuenta que la superficie de secano en España ocupa algo más del 80% de la superficie agraria útil, es entendible que los resultados de este trabajo para el consu-

mo de agua en la agricultura sean menores. Las diferencias obtenidas en el volumen de agua virtual ‘exportado’ a través de productos agrícolas, se deben a que España exporta una gran cantidad de toneladas de aceite de oliva y de trigo.

TABLA 3. *Contenido en agua virtual de algunos cultivos para España y la media mundial en m³/tonelada*

	España				Media mundial ²
	1998 ¹	2001 ¹	2003 ¹	Ch & H ²	
Trigo	404	481	449	1227	1334
Cebada	352	582	444	1070	1388
Maíz	659	727	763	646	909
Naranja	365	326	302	362	457
Tomate	95	93	97	53	184
Aceituna de Almazara	494	496	466	3295	4393

Fuente: ¹ Elaboración propia.

² Chapagain y Hoekstra (2004, appendix XII), media del período 1997-2001.

5.3. La huella hidrológica de la agricultura

La huella hidrológica de la agricultura representa más del 80% de la huella hidrológica total de España (Tabla 4). En el año 2001 el volumen de agua estimado fue de 39.564 hm³. Si se añaden las pérdidas de agua en las redes de distribución derivadas del riego en la agricultura, la huella hidrológica anual aumentaría en unos 4.500 hm³ (INE, 2001). La variación entre el año seco y el año húmedo fue de casi 8.000 hm³, debido principalmente al aumento en las importaciones de productos agrícolas.

TABLA 4. *Huella hidrológica de la agricultura española para los años 1998, 2001 y 2003*

	HUELLA HIDROLÓGICA DE LA AGRICULTURA ESPAÑOLA				
	Consumo Agua (hm ³)	Importaciones Netas VW (hm ³)	WF Agricultura (hm ³)	WF Agricultura / WF Total (%)	VW _E / Consumo Agua (%)
1998 Seco	25.890,5	9.806,8	35.454,3	79,4%	25,5
2001 Normal	27.031,7	12.530,4	39.564,0	82,7%	20,7
2003 Húmedo	27.899,0	15.357,1	43.253,7	87,8%	19,1

Fuente: Elaboración propia

VW: agua virtual; WF: huella hidrológica; VWE: agua virtual ‘exportada’

Era de esperar que en el año supuesto como seco (1998) hubiera un incremento notorio en las importaciones, para compensar la pérdida de producción provocada por la escasez de agua. Sin embargo, es en el año húmedo (2003) donde el volumen de importaciones es mayor. La principal causa puede tener relación con el crecimiento del sector ganadero dentro de la economía española. El aumento de las importaciones de productos agrícolas en el año 2003 (4,5 millones de toneladas más que en el año 1998) se debió fundamentalmente a los cereales y a la torta de soja. Estos productos constituyen la base alimenticia en la ganadería, lo cual explica que en el año 2003 se exportaran casi el doble de toneladas de carne que en el año 1998 (MAPA, 2005). Esta circunstancia provoca que en el año 2003 la agricultura llegue a suponer casi el 90% de la huella hidrológica de España. El porcentaje disminuye hasta el 80% si se considera de manera conjunta la huella hidrológica de la agricultura y de la ganadería.

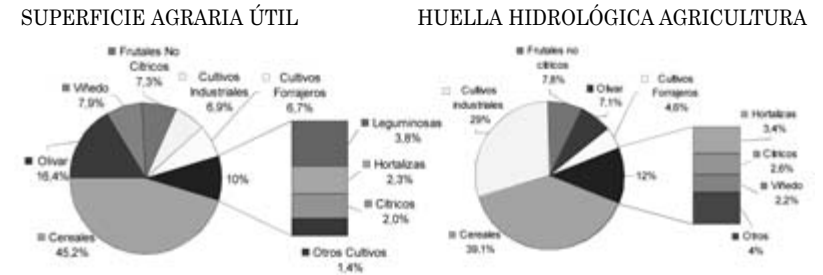
Como se puede apreciar en los resultados, España es ‘importadora neta’ de agua virtual en la agricultura. De media se ‘importan’ más de 20.000 hm³ en forma de productos agrícolas procedentes de recursos hídricos extran-

jeros, mientras que se ‘exportan’ unos 8.000 hm³ (un 20% del total de agua consumida por la agricultura).

Además de analizar los volúmenes intercambiados, es conveniente estudiar las características del agua virtual ‘intercambiada’. En los productos españoles exportados, ya sean hortalizas o frutas, se ‘exporta’ principalmente agua virtual azul. Sin embargo, al importar trigo procedente de Francia o Reino Unido, es el agua verde la predominante en su producción. Lo mismo pasa con el maíz procedente de Argentina o Francia. En este caso, según un estudio realizado por Aldaya (2007), cerca del 90% del agua consumida en la producción de maíz en Argentina es agua verde y se estima su contenido en agua virtual en 595 m³/ton. El resultado obtenido en este trabajo para el maíz producido en España es de 727 m³/ton en el año 2001, siendo prácticamente el 90% del agua consumida azul. Estas cifras reflejan una mayor eficiencia en el uso del agua para producir maíz en Argentina, además de consumir principalmente agua verde.

Al analizar la distribución de la huella hidrológica de la agricultura en España por grupos de cultivos puede resultar lógico encontrar que los cereales acaparan la mayor parte (39%), ya que ocupan el 45% de la superficie agraria útil (Figura 3). Este grupo es el mayor consumidor de agua (cerca de 10.000 hm³ anuales). A pesar de ser la superficie de secano seis veces mayor que la de regadío, el volumen consumido de agua azul y de agua verde es de un orden similar (Tabla 5). Los altos requerimientos hídricos del arroz y del maíz, sumado a las hectáreas de trigo y cebada en regadío, hacen que se equiparen ambos consumos. El maíz es el cultivo que más agua azul consume en la agricultura española. A este consumo de recursos hídricos españoles hay que sumarle las ‘importaciones’ de agua virtual, que suponen casi el 40% de la huella hidrológica de los cereales. Sólo el trigo y el maíz

FIG. 3. Superficie agraria útil y huella hidrológica según grupos de cultivo



Fuente: MAPA (2005), año 2003

Fuente: Elaboración propia, año medio 1998-2001-2003

acumulan un volumen de 5.100 hm³ de agua virtual ‘importada’ frente a una huella hidrológica de 15.853 hm³.

Los cultivos industriales son, después de los cereales, el grupo de cultivos con mayor huella hidrológica en la agricultura española (11.507 hm³), a pesar de que la superficie que ocupan no alcanza el 7%. Este valor tan alto se debe a las ‘importaciones’ de agua virtual, ya que representan casi el 70% de su huella hidrológica. En este grupo se incluyen los productos derivados como aceites vegetales y las tortas oleaginosas, con una gran importancia dentro del comercio exterior español. Las ‘importaciones’ de agua virtual de soja y torta de soja suponen más de la mitad de la huella hidrológica de los cultivos industriales.

Tras los cereales, el olivar y el viñedo son los cultivos con mayor superficie agraria útil (17% y 8% del total, respectivamente), pero sus huellas hidrológicas representan el 7,1% y el 2,2% del total, respectivamente. Son cultivos con reducidas necesidades hídricas y principalmente consumen agua verde, aunque actualmente existe una tendencia a convertirlos a regadío. Además, en el caso del olivar, el hecho de

que España sea el principal país exportador de aceite de oliva hace que disminuya su huella hidrológica.

Las hortalizas y los cítricos son los grandes consumidores de agua azul dentro de la agricultura española. Por lo general, los cultivos pertenecientes a estos grupos tienen unas altas necesidades hídricas, lo cual queda reflejado en el agua destinada a su producción. Entre ambos, con apenas 600 mil hectáreas, consumen cerca de 4.000 hm³. En el caso de las hortalizas, a pesar del gran volumen de exportaciones (en toneladas), su bajo contenido en agua virtual hace que el agua virtual ‘exportada’ sea menor de lo esperado. En cítricos, con valores mayores de contenido en agua virtual, algo más del 50% del agua consumida se ‘exporta’ en forma de agua virtual.

TABLA 5. Superficie, consumo de agua y huella hidrológica por grupos de cultivo en el año 2001

	Superficie (ha)		UA _{Agr} (hm ³)		VW _i (hm ³)	VWE (hm ³)	WF (hm ³)
	Secano	Regadío	Agua Verde	Agua Azul			
Cereales	5.341.501	1.086.016	5.462	4.980	6.343	1.381	15.406
C. Industriales	742.358	380.957	530	2.557	10.957	2.537*	11.507
Hortalizas	28.897	307.595	273	1.699	58	676	1.354
Cítricos	4.773	295.187	318	1.861	115	1.259	1.035
Olivar	1.981.826	309.560	2.263	1.154	773	1.375**	2.816
Frut. Fruto Fresco	82.626	203.069	1.163	126	294	315	1.268
Frut. Fruto Seco	781.965	59.451	350	477	1.456	477	1.806
Vinedo	1.002.863	132.029	489	441	32	88	873
C. Forrajeros	767.461	272.812	776	1.045	—	—	1.821
Patata	30.168	84.958	523	63	75	49	611
Otros cultivos	542.610	77.908	1.224	869	601	16	1.066

Fuente: Superficies del MAPA (2005) y elaboración propia

* Un alto porcentaje corresponde a agua virtual ‘re-exportada’

** Las exportaciones corresponden al aceite de oliva y a la aceituna aderezada

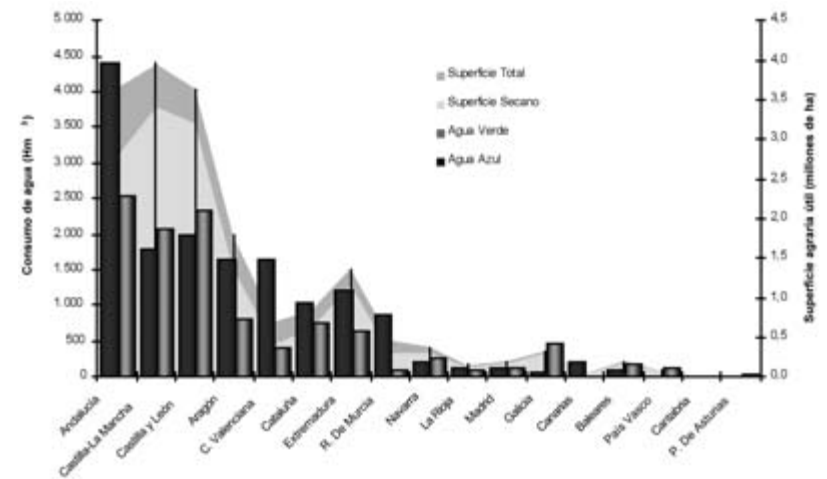
UA_A: consumo de agua en la agricultura; VW_i: agua virtual importada;

VW_E: agua virtual exportada; WF: huella hidrológica

5.4. El consumo de agua en la agricultura por Comunidad Autónoma

En España, según datos del MAPA (2005), existen cerca de 17,5 millones de hectáreas de superficie agraria útil, de las cuales solo 3,3 millones se dedican al regadío. Sin embargo el consumo de agua azul es mayor que el de agua verde, parte debido a que los cultivos en regadío suelen ser muy exigentes en agua y parte debido al irregular régimen de precipitaciones en cuanto a distribución y a cantidad. En las regiones españolas donde se dan las condiciones para producir cultivos con altas necesidades hídricas, la lluvia suele ser escasa y se tiene que recurrir al riego. En la Figura 4 aparecen representados los consumos de agua de la agricultura en cada Comunidad Autónoma, en relación con la superficie agraria útil.

FIGURA 4. Consumo de agua azul y agua verde por Comunidad Autónoma, en año medio 1998-2001-2003



Fuente: MAPA (2005) y elaboración propia.

Andalucía es la Comunidad Autónoma que más agua consume en la producción agrícola (6.967 hm³), tanto en términos de agua verde como de agua azul, seguida por Castilla y León (4.331 hm³) y Castilla-La Mancha (3.910 hm³). Estas tres Comunidades Autónomas, que son las que más superficie dedican a la agricultura, acumulan casi el 60% del uso total del agua. Sin embargo, en las dos Castillas el consumo de agua verde es mayor debido a que la superficie cultivada está dedicada en su mayor parte a cereales y a forrajes. Por su parte en Andalucía, la cantidad de agua azul usada es casi el doble que la de agua verde, debido a una agricultura más orientada al regadío, con cultivos con altas exigencias hídricas, como los hortícolas y los cultivos industriales (algodón y arroz) y con un incremento en la superficie de olivar en regadío.

La Comunidad Valenciana, la Región de Murcia y Extremadura destacan como importantes consumidoras de agua azul en comparación con el consumo de agua verde. Las dos primeras son las Comunidades con mayor porcentaje de superficie dedicada al regadío, con los frutales y hortalizas como cultivos predominantes. En Extremadura es el riego del maíz, arroz y tomate el que hace que la cantidad consumida de agua azul sea el doble que la de agua verde.

En las Comunidades Autónomas de Aragón y Cataluña son los frutales, el maíz y la alfalfa, los cultivos que provocan los altos consumos de agua azul. En la cornisa cantábrica la agricultura deja paso a los pastos y a la ganadería debido, principalmente, a las dificultades orográficas. A pesar del cultivo de cereales, como el trigo o el maíz de secano en Galicia, las extensiones son más bien pequeñas, y salvo excepciones, como el viñedo en el entorno del Miño o los manzanos en Asturias, la agricultura pasa a un segundo plano (MAPA, 2003).

6. CONCLUSIONES

Este estudio tiene como antecedente el trabajo realizado por Chapagain y Hoekstra (2004) y su finalidad es obtener una nueva evaluación de la huella hidrológica de la agricultura en España. La principal aportación metodológica del trabajo ha sido separar las producciones de secano y regadío a la hora de realizar los cálculos de agua virtual contenida en los cultivos. El hecho de que en el secano español casi nunca se vean cubiertas las necesidades hídricas de los cultivos repercute de manera importante a la hora de obtener distintos resultados.

La distinción entre agua azul y agua verde ha permitido obtener unas primeras estimaciones de consumo por parte de cada cultivo en cada Comunidad Autónoma. En el año 2003 la superficie en regadío en España apenas suponía el 20% de la superficie agraria útil, sin embargo el consumo de agua azul fue mayor que el de agua verde. Además, los productos españoles exportados tienen un principal contenido en agua virtual azul, mientras que los productos importados son producidos, en general, con un porcentaje predominante de agua verde.

La huella hidrológica de España se ha estimado en torno a los 48.000 hm³ anuales, equivalente a 1150 m³ per cápita y año. El ratio de dependencia de las 'importaciones' de agua virtual oscila entre el 55 y el 65%. Esto es, más de la mitad de los recursos hídricos necesarios para producir los bienes y servicios consumidos en España proceden de otros países. La agricultura es responsable de algo más del 80% de la huella hidrológica de España. Los grupos de cultivos más importantes son los cereales y los cultivos industriales. El sec-

tor ganadero es muy dependiente de las ‘importaciones’ de agua virtual contenida en cultivos como soja y maíz, que sirven de base para la alimentación de los animales. Esta relación ha influido en el análisis temporal de la huella hidrológica según el régimen de precipitaciones.

La huella hidrológica puede ser considerada como un indicador sobre la sostenibilidad del crecimiento de los países desarrollados, en línea con la huella ecológica. Está expresado en unidades físicas, es fácilmente comprensible por parte de cualquier ciudadano, permite realizar comparaciones entre países y analizar la evolución de sus necesidades hídricas. En sí mismo la huella hidrológica no ofrece una conexión directa entre políticas, mercados y usos del agua. Esto es debido a que en su cálculo no se incluyen variables socioeconómicas que puedan ser objetivo de políticas ni de los propios agricultores. Sin embargo aporta una perspectiva a tener en cuenta, valorando las consecuencias en otras regiones del modelo de consumo y producción de un país. Utilizar esta información de una manera adecuada puede ayudar a concienciar a las personas acerca de un uso más sostenible del agua. Asimismo, la huella hidrológica puede contribuir a ilustrar el análisis de políticas agrarias, de agua y de comercio nacional e internacional.

Este es un primer estudio de la huella hidrológica de la agricultura. Además del margen de mejora en los cálculos, en adelante sería conveniente centrarse en regiones o en cultivos para realizar análisis más específicos, poniéndolos en relación con datos económicos, sociales y ambientales.

7. LISTA DE SÍMBOLOS

<i>Símbolo</i>	<i>Unidades</i>	<i>Descripción</i>
CWR	m ³ /ha	Necesidades hídricas del cultivo
ET_0	mm/mes	Evapotranspiración potencial
ET_c	mm/mes	Evapotranspiración del cultivo
ETg	m ³ /ha	Evapotranspiración de agua verde
ETb	m ³ /ha	Evapotranspiración de agua azul
Kc	-	Coefficiente del cultivo
$M_{j,p}$	ton	Importaciones del producto j del país p
P_{eff}	mm/mes	Precipitación efectiva
S	ha	Superficie
UA_{Agr}	hm ³	Uso del agua en la Agricultura
V	m ³ /ton	Contenido en agua virtual
V_b	m ³ /ton	Contenido en agua virtual azul
V_g	m ³ /ton	Contenido en agua virtual verde
VW_I	hm ³	Agua virtual «importada»
VW_E	hm ³	Agua virtual «exportada»
WD	%	Dependencia de las «importaciones» de agua virtual
WF	hm ³	Huella Hidrológica
WF_I	hm ³	Huella Hidrológica Interna
WF_E	hm ³	Huella Hidrológica Externa
WF_{Agr}	hm ³	Huella Hidrológica de la Agricultura
X_j	ton	Exportaciones del producto j
Y_{sec}	ton/ha	Rendimiento del cultivo en secano
Y_{reg}	ton/ha	Rendimiento del cultivo en regadío

8. REFERENCIAS

Aldaya, M.M. (2007). How strategically important is green water in international crop trade. Dissertation for MSc in Environmental Policy and Regulation. London School of Economics.

Allan, J.A. (1998). Virtual Water: A Strategic Resource Global Solutions to Regional Deficits. *Ground Water* 36, 545-546.

Allan, J.A. (2003). Virtual water eliminates water wars? A case study from the Middle East. In: A.Y. Hoekstra (Editor), *Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade of Water Research Series, No.12*. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper*, 56.FAO, Rome. 300 p.

Brouwer C., Heibloem Y. (1986). Irrigation water needs; *Irrigation Water Management. Training Manual no 3*. FAO, Rome. 62 p.

Chapagain, A.K. and Hoekstra A.Y. (2003). Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. *Value of Water Research Series No. 13*. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2004). Water footprints of nations. *Value of Water Research Series No. 16*. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2007). The water footprints of coffee and tea consumption in the Netherlands. *Ecological Economics* 64, 109-118.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G., Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics* 60, 186-203.

Chapagain, A.K. and Orr, S. (in press). An improved water footprint methodology to link global consumption to local water resources: A case study of Spanish tomato consumption.

Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture (2007). *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan. London.

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., Rockström, J. (2005). *Rain: The Neglected Resource*. Swedish Water House Policy Brief Nr. 2. SIWI, Stockholm, Sweden.

Hoekstra, A.Y. (2007). Human appropriation of natural capital: Comparing Ecological Footprint and Water Footprint analysis. *Value of Water Research Report Series No. 23*. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. (2007). The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. *Ecological Economics* 64, 143-151.

Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q. (2002). Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series No. 11. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

INE (2001). Estadística del Agua 1999. Gabinete de prensa, 8 de marzo del 2001. Instituto Nacional de Estadística.

INE (2003). Encuesta sobre el suministro y tratamiento del agua 2001. Gabinete de prensa, 1 de julio del 2003. Instituto Nacional de Estadística.

INE (2007a). Precipitación total en milímetros por región, estación, años y meses. Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.es/jaxi/tabla.do?path=/t43/a012/a1998/10/&file=t20015b.px&type=pcaxis>

INE (2007b). Encuesta de población activa. Instituto Nacional de Estadística. http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t22/e308_mnu&file=inebase&N=&L=0

INM (2007). Series mensuales de evapotranspiración potencial y precipitación para los puntos registrados de la España Peninsular. Años 1996-2007. Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente.

Llamas, M. R. (2005). Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos. Discurso Inaugural del Curso 2005/2006. Real Academia de Ciencias Exactas, Madrid, España, 30 p.

MAPA (2001). Calendario de siembra, recolección y comercialización, años 1996-1998. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España, 656 p.

MAPA (2003). Libro Blanco de la Agricultura y el Desarrollo Rural. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España. Formato electrónico en: www.libroblancoagricultura.com

MAPA (2005) Anuario de Estadística Agroalimentaria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España. Varios años (2003, 2001, 1998). <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm>

MMA (2007) El agua en la economía española: Situación y perspectivas. Informe integrado del análisis económico de los usos del agua. Artículo 5 y Anejos II y III de la Directiva Marco del Agua. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España, 290 p.

Novo Núñez, P. (2008). Análisis del 'comercio' de agua virtual en España: Aplicación al caso de los cereales. Trabajo Final de Carrera en la E.T.S. Ingenieros Agrónomos, Madrid, España.

Roth, E., Rosenthal, H. and Burbridge (2001). A discussion of the use of the sustainability index: 'ecological footprint' for aquaculture production. *Aquatic Living Resources* 13, 461–469.

Savenije, H. H. G. (2000). Water scarcity indicators: the deception of the numbers. *Physics and Chemistry of the Earth (B)* 25, 199–204.

Wackernagel, M., Onisto, L., Linares, A.C., Falfan, I.S.L., Garcia, J.M., Guerrero, I.S. and Guerrero, M.G.S. (1997). Ecological footprints of nations: How much nature do they use? - How much nature do they have? Centre for Sustainability Studies, Universidad Anahuac de Xalapa.

Wackernagel, M. and Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing human impact on the earth*. Gabriola Island, BC: New Society Publishers. ISSN-1192-1285.

Yang, H. and Zehnder, A. J. B. (2002). Water Scarcity and Food Import: A Case Study for Southern Mediterranean Countries. *World Development* 30, 1413–1430.

Yang, H., Wang, L., Abbaspour¹, K. C. and Zehnder, A. J. B. (2006). Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade. *Hydrology and Earth System Sciences* 10, 443-454.

TÍTULOS PUBLICADOS

- 1 «Are virtual water «flows» in Spanish grain trade consistent with relative water scarcity?»
P. Novo, A. Garrido, M. R. Llamas y C. Varela-Ortega
- 2 «La huella hidrológica de la agricultura española»
R. Rodríguez, A. Garrido, M. R. Llamas y C. Varela-Ortega
- 3 «Water footprint analysis (hydrologic and economic) of the Guadiana river basin within the NeWater project»
Maite M. Aldaya y M. R. Llamas

La Fundación Marcelino Botín no se hace solidaria de las opiniones de los autores; cada autor es responsable de las proposiciones y asertos que contengan los escritos del mismo que aquella publique. El contenido de la presente publicación se podrá acotar, glosar o resumir, y también reproducir total o parcialmente, con la condición de citar la fuente.

<http://www.fundacionmbotin.org>



ISBN 978-84-96655-25-6



9 788496 655256