



## HUELLA HÍDRICA Y SOSTENIBILIDAD DEL USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.

### Aplicación al Poniente Almeriense. Estudios previos y medidas de eficiencia.

**Alfredo Tolón Becerra**

Área de Proyectos de Ingeniería. Universidad de Almería.  
[atolon@ual.es](mailto:atolon@ual.es)

**Xavier Bolívar Lastra Bravo<sup>1</sup>**

Área de Proyectos de Ingeniería. Universidad de Almería.  
[xlastra@ual.es](mailto:xlastra@ual.es)

**Víctor José Fernández Membrive<sup>2</sup>**

Área de Proyectos de Ingeniería. Universidad de Almería.

Recibido: 23 de marzo de 2013

Enviado a evaluar: 28 de marzo de 2013

Aceptado: 13 de mayo de 2013

## RESUMEN

El índice "Huella Hídrica" es una herramienta de evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos, utilizado para cuantificar el volumen total de agua utilizada por los habitantes de una determinada región. Este índice es útil para cuantificar los flujos de agua virtual, de las importaciones y de las exportaciones, y su estudio a niveles geográficos inferiores y específicos permite conocer exactamente cuánta agua, y en qué condiciones, se utiliza de los sistemas de agua locales, y cuánta agua sería necesaria para contrarrestar las corrientes contaminadas. La principal metodología aplicada en la actualidad es la desarrollada por Chapagain y Hoekstra, que ha sido adaptada para estimar la Huella Hídrica de la comarca del Poniente Almeriense, región que es el mayor exponente europeo, y probablemente mundial, de la agricultura intensiva bajo plástico. Para estimarla, se utilizaron los datos de la campaña agrícola 2009/2010 para los cultivos de: pimiento, tomate, pepino, calabacín, sandía, melón, berenjena, y judía verde. Como resultado, se concluyó que, a pesar de que el consumo de agua es muy intensivo, existe un alto valor de Agua Virtual exportada, por lo que la huella hídrica es muy pequeña. Este hecho, junto a la alta eficiencia hídrica y el alto rendimiento monetario, justifican el uso intensivo del agua y los aportes externos necesarios.

**Palabras clave:** Recursos hídricos, agua virtual, uso eficiente de recursos, horticultura, balance hídrico, Almería, España

<sup>1</sup> Becario Posdoctoral de la Junta de Andalucía.

<sup>2</sup> Doctorando.

## WATER FOOTPRINT AND SUSTAINABILITY OF WATER RESOURCES USE. Water footprint of Poniente Almeriense. Previous studies and efficiency measures.

### ABSTRACT

"Water Footprint" index is a tool for assessing the sustainability of water resources. It quantifies the total amount of water needed by the inhabitants in a region. This index is useful for quantifying virtual water flows of imports and exports. At lower geographic levels it allows knowing exactly how much water, and under what conditions, it is used from local water systems. Also, it serves to estimate how much water would be needed to neutralize the waste stream. The Chapagain and Hoekstra's methodology is the main method used today, and it has been adapted to estimate the water footprint of Poniente Almeriense. This region is the best example in Europe, and probably worldwide, of intensive agriculture under plastic. We used data from 2009/2010 cropping seasons of pepper, tomato, cucumber, zucchini, watermelon, melon, eggplant, and green beans. As conclusion, although the intensive water consumption, a high amount of virtual water exported is present, so the water footprint is smaller. High water-use efficiency and economic performance also justify the intensive water use and the external inputs required.

**Keywords:** Water resources, virtual water, resource use efficiency, horticulture, water balance, Almeria, Spain

## L'EMPREINTE DE L'EAU ET L'UTILISATION DURABLE DE L'EAU. Application à l'ouest d'Almeria. Des études antérieures et des mesures d'efficacité énergétique.

### RÉSUMÉ

L'indice "empreinte de l'eau" est un outil pour évaluer la durabilité de l'utilisation durable de l'eau, utilisée pour quantifier le volume total de l'eau utilisée par les habitants d'une région donnée. Cet indice est utile pour quantifier les flux d'eau virtuelle des importations et des exportations, pour son étude à certains niveaux géographiques inférieurs, et permet de savoir exactement combien d'eau, et dans quelles conditions, l'utilisation de systèmes d'eau locale et la quantité d'eau qui serait nécessaire pour le flux des déchets. La principale méthode utilisée aujourd'hui a été développée par Chapagain et Hoekstra, qui a été adaptée pour estimer l'empreinte de l'eau à l'ouest d'Almeria, une région qui est le meilleur exemple en Europe, et probablement dans le monde, l'agriculture intensive sous serre. Pour estimer cela, nous avons utilisé les données de la campagne agricole 2009/2010 pour les cultures: poivre, tomate, concombre, courgette, melon d'eau, cantaloup, aubergines et haricots verts. En conséquence, on conclut que, bien que la consommation d'eau est très haute, une valeur élevée de l'eau virtuelle est exportée, de sorte que l'empreinte de l'eau est très faible. Ce fait, ainsi que l'efficacité hydrique et économique, justifie l'utilisation intensive de l'eau et les apports extérieurs nécessaires.

**Mots-clés:** sources d'eau, de eau virtuelle, utilisation efficace de l'eau, horticulture, bilan hydrique, Almeria, Espagne.

## 1. INTRODUCCIÓN: AGUA VIRTUAL Y HUELLA HÍDRICA

El agua virtual (AV) se define como el volumen de agua requerido para producir un bien o un servicio (Allan, 1998). Este concepto fue introducido por Allan (1993, 1994) cuando analizaba la "importación" de AV, en lugar de agua real, en los productos de los países del Medio Oriente. Allan consideró que exportar un producto que tiene altos requerimientos hídricos (AV) es equivalente a exportar agua. De manera, que el país importador no necesita utilizar agua nacional para obtener un determinado producto y, por tanto, puede dedicarla a otros ámbitos.

Velásquez (2009) considera que la potencialidad del concepto de AV, más allá de la aplicación agrícola de requerimiento hídrico del cultivo, se basa en dos factores. Primero, en la información proporcionada de los requerimientos de agua de todos los bienes y servicios, permitiendo cuantificar la cantidad de agua necesaria para producir una cantidad de un determinado producto. Segundo, en que puede ser relacionada con el comercio (alcanzando todo su potencial), permitiendo analizar la información de los flujos de AV entre regiones. Hanasaki et al. (2010) consideran que el concepto "AV" es un complemento útil para el análisis de los recursos hídricos, de su disponibilidad y de su uso en una región determinada.

En función de los flujos comerciales del AV, y del agua contenida en los productos comercializados, se puede diferenciar entre el AV exportada y el AV importada (Velásquez, 2009). Además, de acuerdo con la región productora de un determinado producto, se puede diferenciar entre el AV real y el AV teórica (Hoekstra, 2003). Siendo, el AV real el volumen de agua realmente utilizado en la producción de un bien o servicio en la región de producción del mismo, y el AV teórica el agua que se utilizaría en la región de destino si se produciría en ella el producto importado. Gracias a los flujos de AV, el acceso a los recursos hídricos ya no se limita únicamente a un sistema hídrico o región donde viven un grupo de personas (Siebert y Döll, 2010). Esto ayuda a relajar la escasez de agua en muchas regiones áridas, pero manifiesta al mismo tiempo la dependencia de recursos hídricos externos.

Para evaluar la demanda de agua en una región, se debe añadir la extracción de agua por parte de los diferentes sectores de la economía (Hoekstra y Chapagain, 2007). Pero las bases de datos sobre el uso del agua, generalmente, sólo presentan información en los sectores doméstico, agrícola e industrial (Gleick, 1993; Shiklomanov, 2000; FAO - AQUASTAT. 2003). Esta información es útil pero no suficiente para analizar en profundidad la situación de los recursos hídricos necesarios por los habitantes de una región en relación con sus patrones de consumo (Hoekstra y Chapagain, 2007). Se requiere incluir el agua utilizada en la producción de los bienes consumidos por los habitantes de una determinada región, que se han producido en otras regiones, siendo la demanda real de agua superior a la extracción de los recursos hídricos de la región. Además, se debe incluir el caso contrario, el agua utilizada en la producción de bienes que se exportan.

En este sentido, para medir el volumen total de agua utilizada por los habitantes de una determinada región, se desarrolló el índice "Huella Hídrica" (HH). Éste se define como el "volumen total de agua utilizada para producir los bienes y servicios consumidos por un individuo, por un grupo de personas o por un país, respectivamente" (Chapagain y Hoekstra, 2004, Hoekstra, 2003). Chapagain y Orr (2009) consideran que la HH es la expresión del contenido de AV, y que permite evaluar dónde se origina el agua. Además, sirve para poner de manifiesto la idoneidad de una región productora para exportar agua.

La HH también es útil para cuantificar y evaluar los flujos de AV, de las importaciones y de las exportaciones (Hoekstra y Chapagain, 2007). Por tanto, la HH está compuesta de dos partes: la HH interna cuando se considera el agua procedente de los recursos hídricos

endógenos de una región, y la HH externa cuando se toma en cuenta la cantidad de agua necesaria para desarrollar los productos o servicios consumidos en una región, cuando éstos han sido producidos en el exterior (HISPAGUA, 2006). Además, en varios estudios realizados (Allan, 2003; Hoekstra y Hung, 2002; Yang y Zehnder, 2002) se destaca la importancia de este índice para alcanzar la seguridad hídrica y alimentaria de las regiones áridas y semiáridas (Rodríguez-Casado et al., 2009).

Los primeros estudios realizados de la HH fueron llevados a cabo por Hoekstra y Hung (2002) y Chapagain y Hoekstra (2003, 2004). Inicialmente se estimó el flujo de AV del agua azul (ríos, lagos y acuíferos) de cada país en relación con el comercio de los productos agrícolas y de los productos ganaderos. Posteriormente, se han ido desarrollando nuevas metodologías de cálculo de la HH, incluyendo nuevos parámetros y formas de consumo de agua.

El estudio de la HH a niveles geográficos inferiores y específicos permite conocer exactamente cuánta agua, y en qué condiciones, se utiliza de los sistemas de agua locales, y cuánta agua sería necesaria para contrarrestar las corrientes contaminadas (Chapagain y Orr, 2009). Más importante aún, podemos ver de donde procede el agua en el ciclo hidrológico, a la vez que se relacionan los productos comercializados con las zonas de producción. La principal metodología aplicada en la actualidad es la desarrollada por Chapagain y Hoekstra (2004), y actualizada en Hoekstra et al. (2009).

## **2. ESTUDIOS DE LA HUELLA HÍDRICA A DIFERENTES ESCALAS GEOGRÁFICAS**

### **2.1. Huella hídrica de las Naciones / Water Footprint of Nations**

Chapagain y Hoekstra (2004) publicaron en noviembre de 2004 el informe "Water footprints of nations", donde se realizó la primera estimación de la HH de 146 países para el periodo 1997-2001. La disponibilidad de los datos redujo el número final de países para los cuales fue posible determinar la HH. Se calculó para 210 países el contenido de AV de los cultivos primarios, y para 146 países los flujos comerciales de AV (HH externa), aunque inicialmente se consideraron 243 países. Además, se seleccionaron 175 cultivos y 123 productos ganaderos.

Siebert y Döll (2010) consideran que los cálculos realizados por Chapagain y Hoekstra tiene como principales inconvenientes el uso de la media de las variables climáticas (especialmente en países de gran superficie y con distintas regiones climáticas), la sobreestimación del agua consumida en los productos agrícolas (no hay diferencias entre tipos de producción), no se distingue entre el uso de agua azul y agua verde y por tanto no se pueden analizar los costes de oportunidad de sus usos (Rodríguez-Casado et al., 2008; Siebert y Döll, 2010).

Como resultado, para el periodo 1997-2001 se estimó que el valor absoluto de la HH mundial es de  $7.450 \text{ km}^3 \text{ año}^{-1}$ . Por tanto, se estima que cada habitante del planeta consume de media  $1.240 \text{ m}^3 \text{ cápita}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , de los cuales  $57 \text{ m}^3 \text{ cápita}^{-1} \text{ año}^{-1}$  corresponden al consumo doméstico de agua (HH interna),  $907 \text{ m}^3 \text{ cápita}^{-1} \text{ año}^{-1}$  a la HH interna y externa del consumo de bienes agrarios, respectivamente, y  $79 \text{ m}^3 \text{ cápita}^{-1} \text{ año}^{-1}$  a la HH interna y externa del consumo de bienes industriales, respectivamente.

Entre los países se observaron diferencias significativas, con valores de HH per cápita que varían en un rango de 619 (Yemen) a  $2.483 \text{ m}^3 \text{ cápita}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Estados Unidos). Destaca

que cuatro de los cinco países más poblados del mundo tengan una HH similar o inferior a la media mundial: China ( $702 \text{ m}^3 \text{ cápita}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), India (980), Indonesia (1.317), Brasil (1.381).

Los cinco países que menor HH tuvieron en el periodo analizado son Yemen, Bostwana, Afganistán, Somalia y Etiopía, países con altos niveles de pobreza y problemas sociales, económicos, políticos y ambientales.

Los autores del estudio consideraron que existen cuatro factores que explican los altos valores de la HH:

1. El volumen total de consumo que generalmente está relacionado con el PIB, entendiéndose que un mayor PIB per cápita produce un incremento en el consumo general de la población.
2. Los patrones de consumo y tipo de alimentación. En los países con un alto consumo de carne se observó un incremento significativo de la HH, en especial en países como Estados Unidos, Canadá, Francia, España, Portugal, Italia o Grecia. En los países más industrializados también se observó un efecto directo del consumo de productos industriales sobre la HH.
3. El clima. En zonas donde la evaporación es elevada, los requerimientos hídricos por unidad de producto son mayores. Este factor explica que las huellas hídricas de países pobres como Malí, Chad y Sudán, por ejemplo, sean altas.
4. La baja eficiencia en el uso del agua en la agricultura. Los sistemas de cultivo tradicionales generalmente requieren de una gran cantidad de agua, pero sólo se aprovecha una pequeña parte. Por tanto, existe una baja productividad por  $\text{m}^3$  de agua. Tailandia, Camboya, Turkmenistán, Sudán, Malí y Nigeria son ejemplo del efecto de este factor.

Como resultado, para reducir la HH de una región o de un país los autores del estudio sugieren trabajar en los siguientes aspectos:

- Romper la relación directa entre el crecimiento económico y el consumo de agua (disociación), mediante la adopción de técnicas de producción más eficientes en el uso del recurso hídrico. En el caso de la agricultura, se puede mejorar la productividad mediante la adopción de técnicas avanzadas de recolección de las precipitaciones y en los sistemas de riego.
- Cambiar los patrones de consumo reduciendo el consumo de productos con altos requerimientos hídricos, en especial de la carne.
- Trasladar la producción a las zonas con alta productividad hídrica, aunque consideran que este aspecto no está ampliamente reconocido, de manera que se incremente la eficiencia global del uso del agua.

En relación con el comercio internacional de productos, se obtuvo que un 16% del agua consumida a nivel mundial se utilizó en la fabricación de productos de exportación. Este porcentaje podría incrementarse con la cada vez mayor liberación del comercio mundial. Por tanto, es importante que se considere la dependencia hídrica internacional en la planificación regional y en la formulación de políticas.

## **2.2. Estudios realizados en España**

En diversos estudios se ha contabilizado el consumo de recursos hídricos en España, y conforme se han ido mejorando las metodologías de cálculo, se han obtenido valores más precisos, especialmente en el consumo de agua en la agricultura.

En el Libro Blanco del Agua se estimó que el agua azul para usos agrícolas es de unos 25 km<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> (MMA, 2000; Llamas, 2005). Hoekstra y Hung (2002) estimaron el consumo de agua azul en la agricultura en 31 km<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>. Chapagain y Hoekstra (2004) incluyeron el agua verde en el consumo hídrico en la agricultura, estimando en 50.57 km<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> el consumo de agua azul y agua verde, y de ellos, se exportan 17.44 km<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> de agua. Rodríguez-Casado et al. (2008) consideran que en estos estudios se estiman en 94 km<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> las necesidades hídricas totales de España, correspondiendo el 80% a los productos agrícolas, el 15% al consumo de bienes industriales y el 5% al uso doméstico.

### **2.2.1. Huella hídrica y comercio de agua virtual**

En el estudio realizado por Aldaya et al. (2010), se analiza el agua virtual (azul y verde), la HH y el valor económico de los distintos sectores socioeconómicos del comercio en España, desde una perspectiva hidrológica y socioeconómica. Si bien en este estudio se realizó un análisis general, se centra en el sector agrario, que es el principal consumidor de agua. También, se analizaron las implicaciones políticas del comercio de AV.

Los autores del estudio consideran que este análisis puede proporcionar un marco transparente y multidisciplinario para la información y la optimización de las decisiones políticas en relación con el tema del agua. Contribuyendo también a la aplicación de la Directiva marco del agua (Unión Europea, 2000), mas aún cuando España es el primer país que ha incluido el análisis de la HH en la formulación de políticas en el contexto de esta Directiva (BOE, 2008).

Aldaya et al. (2010) destacan que España es uno de los países que más agua per cápita consume (2 300 m<sup>3</sup> cápita<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, según Chapagain y Hoekstra, 2004), a pesar de ser el más árido de Europa. La suma de los requerimientos hídricos de los diferentes sectores económicos de España, tanto de agua azul como de agua verde, es de alrededor de 100 km<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>. El abastecimiento urbano de agua representa el 4.5% de la HH de España, valor inferior al de Italia y Estados Unidos, y ligeramente superior al de India. El 14.7% del consumo total de agua corresponde al sector industrial, pero el 47% se debe al AV procedente de las importaciones. El porcentaje restante (81.7%) corresponde a la producción de alimentos, del cual, las dos terceras partes se producen con recursos hídricos propios.

Económicamente, el agua para abastecimiento urbano tiene un valor de 4.2 billones de euros, y el agua del sector industrial 123 billones de euros (es el 15% del PIB y el 16% de la población económicamente activa). El sector agrario, a pesar de que consume cerca del 80% del agua en España, tan sólo representa el 3% del PIB, es decir 26 millones de euros y da empleo al 5% de la población económicamente activa.

En el análisis del consumo de agua en el sector agrícola, en el que se centra el estudio, los autores resaltan que la escasez de agua por sí sola no explica por qué España exporta AV a través de los productos pecuarios, siendo esta exportación consecuencia de la menor aplicación de la legislación ambiental relacionada con la producción ganadera, la presencia de territorios vacíos y una mayor integración económica, especialmente a nivel de la UE. Además, destacan que las importaciones de cereales y de materias primas para el

sector pecuario han permitido que este sector crezca como lo ha hecho en los últimos 10 años.

Por otro lado, la presencia de factores actuales como la globalización, la disponibilidad de medios de transporte baratos y rápidos, el uso del riego con aguas subterráneas contra la variabilidad del clima y la regulación ambiental, han permitido que los agricultores españoles pasen rápidamente de una política de "más cultivos y empleo por gota" a una de "más dinero y naturaleza por gota". La consecución de este nuevo paradigma significa una solución del conflicto entre los agricultores y los conservacionistas, que permitiría preservar el ambiente sin afectar a la economía del sector agrícola.

Los autores recomiendan el análisis de la HH, desde un punto de vista hidrológico, económico y ambiental, a nivel de cuenca de río, para obtener información más completa y valiosa, que facilite una asignación eficiente de los recursos hídricos a las diferentes demandas económicas y ambientales. Especialmente, porque el territorio español se caracteriza por la presencia de importantes diferencias regionales en la disponibilidad de los recursos hídricos, tanto de agua verde como de agua azul. Además, es necesario analizarla en el tiempo, el espacio, y desde el punto de vista sectorial. En este sentido, el estudio del AV, teniendo en cuenta no sólo el agua verde y azul (subterránea y superficial), sino también las políticas comerciales, pueden contribuir a una mejor gestión integral de los recursos hídricos.

Finalmente, concluyen que la idea actual de escasez de agua en España se debe a la mala gestión del recurso en el sector agrícola. Principalmente, por la persistencia de la idea antigua de la autosuficiencia alimentaria, la aún imperfecta Organización Mundial del Comercio (OMC), la ausencia de instrumentos económicos adecuados para la gestión del agua y de políticas nacionales que promuevan la agricultura de regadío para contribuir a la estabilidad regional y a los precios de los productos agrícolas.

### **2.2.2. Huella hídrica de la agricultura española.**

En el trabajo realizado por Rodríguez-Casado et al. (2008) se aplicó una metodología que distingue entre el consumo de agua azul y de agua verde, y solventando una de las deficiencias de la metodología desarrollada por Chapagain y Hoekstra (2004). Se calculó que la HH de la agricultura en España, para el año 2003, fue de 49.179 hm<sup>3</sup>, con una HH per cápita de 1.151 m<sup>3</sup>.

El 80% de la HH corresponde a la agricultura y la ganadería, y el 20% restante al consumo de agua por parte del sector urbano e industrial. En base a los resultados obtenidos, concluyeron que España es un país importador neto de AV contenida en productos agrícolas. En el 2003, el aumento de la importación de materias primas para la alimentación del ganado provocó el incremento del consumo de AV agrícola proveniente de las importaciones, en comparación con el año 1998, considerado año seco. Además, debido a este incremento, la HH de la agricultura española representa casi el 90%. En este trabajo, se obtuvieron grandes diferencias respecto al realizado por Chapagain y Hoekstra (2004). Principalmente, porque separaron la producción en régimen de secano de la de regadío.

El AV exportada por España, principalmente de frutas y hortalizas, corresponde al AV azul, mientras que en las importaciones, principalmente trigo (Francia y Reino Unido) y maíz (Francia y Argentina), predomina el AV verde. El tipo de AV contenida en los productos exportados e importados, pone de manifiesto que España exporta en su mayoría agua procedente de sus recursos hídricos, mientras que importa en su mayoría agua procedente de lluvia. Aldaya (2007) destaca la mayor eficiencia en el uso del agua (principalmente verde) en la producción de maíz en Argentina, en relación con España.

Los cereales, que ocupan el 45% de la superficie agraria útil (SAU), representan el 39% de la HH de la agricultura española. Destacando que la cantidad consumida de agua azul y de agua verde es similar en los cultivos de secano y de regadío, a pesar de ser esta última 6 veces menor. Cultivos como el arroz y el maíz con altos requerimientos hídricos, y el trigo y la cebada en regadío, con superficies significativas, aumentan el consumo de agua azul. La HH de los cultivos industriales representa el 29% del total, gracias a las importaciones de AV (soja y torta de soja). Gran parte del AV exportada de los cultivos industriales corresponde a AV re-exportada. El olivar es el tercer grupo de cultivos por porcentaje de HH, a pesar de tener una superficie superior a la de los cultivos industriales. Su menor HH se debe a que España es el principal país exportador de aceite de oliva, y por tanto una cantidad considerable de AV es exportada en este producto y en menor medida como aceituna aderezada.

Por CC.AA., Andalucía es la que más agua consume en la producción agrícola (6.967 hm<sup>3</sup>), tanto en términos de agua verde como de agua azul, seguida por Castilla y León (4.331 hm<sup>3</sup>) y Castilla-La Mancha (3.910 hm<sup>3</sup>). Estas tres CC.AA., 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 CC.AA. 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 CC.AA. 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 Miño o los manzanos en Asturias, la agricultura pasa a un segundo plano.

### **2.2.3. Metabolismo hídrico del sector hortofrutícola de Andalucía.**

En el trabajo realizado por Madrid (2007), se estimó para el año 2004 el valor de la HH total de Andalucía en 401 Hm<sup>3</sup>. El consumo total de agua en el sector agrícola (de 31 productos de frutas y hortalizas) fue de 526 Hm<sup>3</sup>, que representaban el 12% de los recursos hídricos totales (4 566.5 Hm<sup>3</sup>) de la comunidad andaluza. La HH per cápita del consumo de las frutas y las hortalizas, incluidas en el estudio, en Andalucía fue de 52 m<sup>3</sup>. Valor que es menor a la mitad del consumo de agua en la agricultura de la región metropolitana de Sevilla (105.6 Hm<sup>3</sup>), y a su consumo per cápita (113 m<sup>3</sup>).

La HH interna de la comunidad fue de 381 Hm<sup>3</sup>, que representan un 8% de los recursos hídricos totales. Las importaciones de AV coincidieron con la HH externa, y ascendieron a un valor total de 20 Hm<sup>3</sup>, siendo Córdoba y Sevilla las provincias que más agua importan. 166 Hm<sup>3</sup> del consumo total de agua en la agricultura fueron exportados de manera virtual, asociado con los flujos de exportación de los cultivos, y que en su mayoría



procedieron de la provincia de Almería. Para esta provincia se obtuvieron los mayores requerimientos hídricos de casi todos los cultivos, principalmente por la existencia de una mayor ETo (por la mayor tasa de insolación) y por los requerimientos hídricos por ha superiores en el cultivo bajo plástico o en invernadero (por la intensidad con que se produce).

El tomate, el pepino y el pimiento son los cultivos de mayor producción y al mismo tiempo los más exportados, situación que es coherente con los flujos comerciales y la producción hortofrutícola de la comunidad. El tomate es el producto que más se produce y se exporta (principalmente en Almería), y por tanto es normal que sus necesidades hídricas representen un porcentaje elevado, a pesar de que su rentabilidad monetaria e hídrica se vea superada por otros cultivos con un menor peso relativo en la producción de la Comunidad Autónoma. Prácticamente la totalidad de las exportaciones se realizan a países europeos.

Madrid (2007) concluye que en Andalucía existe un balance hídrico global deficitario al comparar los recursos hídricos con los usos del agua. Situación que agravaría aún más la situación de aridez de la comunidad, que presenta uno de los mayores índices de aridez de Europa. Además, la comunidad andaluza es la mayor productora agrícola de España (principalmente frutas y hortalizas), y esta actividad representa cerca del 80% de su consumo de agua.

La actividad agrícola se encuentra concentrada en las zonas más áridas de la comunidad, como son Almería y Granada, y por su situación hídrica es necesario que se utilice una gran cantidad de recursos hídricos subterráneos, que provocan graves problemas de salinización (por intrusión) y un mayor agotamiento de los acuíferos.

Como aspecto positivo, en este estudio se observó un buen aprovechamiento del agua en términos relativos, tanto en los indicadores de uso de agua por productos y provincias, especialmente en las provincias donde la producción agrícola es más intensiva. Sin embargo, los flujos hídricos absolutos pusieron de manifiesto un uso irresponsable del agua. Almería y Jaén son las dos provincias que mejor ejemplifican esta situación, debido a que en Almería se hace un uso más intensivo de la menor agua disponible (principalmente subterráneas), y en Jaén, donde se localizan la mayor parte de las zonas de regadío para olivo, que poseen riego por goteo de aguas superficiales.

Los sistemas de riego tienen una media de edad elevada, y en su mayoría son aún de riego por gravedad, pero la ineficiencia en el consumo de agua no sólo se observa en las provincias donde predomina este sistema de cultivo, sino que también se observa en Granada y Almería, donde se utiliza el riego por goteo. Madrid (2007) considera importante recordar que los sistemas de riego están condicionados, no solo por los avances de la técnica, sino también, por el marco institucional.

También, se observó una dependencia hídrica nula del comercio exterior de agua (en relación a los productos agrícolas), a pesar de que la "hidratación" de los flujos comerciales en términos relativos muestra que la comunidad importa más AV por tonelada que la que exporta. Esta situación está acorde con la situación hídrica de la comunidad y los criterios de Allan.

La producción monetaria del agua consumida en la agricultura representa únicamente el 2.5% del de la Comunidad Autónoma. Para Madrid (2007) este bajo porcentaje no parece justificar el alto consumo de agua de los recursos totales de la región (12%). Además, la rentabilidad monetaria de la exportación de AV es mucho mayor que la de la importación.

#### **2.2.4. Huella hídrica de la producción de tomate.**

Chapagain y Orr (2009) realizaron un estudio detallado de la HH de la producción de tomate en España. Para su cálculo consideraron que no existe un déficit en el requerimiento de agua debido al riego complementario, por tanto, el agua total utilizada es siempre igual a las necesidades hídricas del cultivo.

En el cálculo del volumen total de agua utilizada (evaporada, contaminada o perdida) en las CC.AA. con mayor producción, determinaron que el volumen de agua necesaria para diluir el agua contaminada, y alcanzar los límites permisibles para el rendimiento por hectárea, es de  $8 \text{ m}^3\text{t}^{-1}$  para los sistemas de producción a campo abierto y de  $4 \text{ m}^3\text{t}^{-1}$  para los sistemas protegidos, siendo la media nacional de  $7.2 \text{ m}^3\text{t}^{-1}$ . La CC.AA. que más agua consume es Extremadura, siendo su producción utilizada principalmente a nivel industrial, seguida de Andalucía que en su mayoría exporta el tomate en fresco. La exportación del 96% del tomate fresco representa un gran impacto para los recursos hídricos (agua azul) de las regiones productoras.

La media nacional del contenido de agua azul por tonelada de producto es de  $60.5 \text{ m}^3\text{t}^{-1}$ , y de agua verde de  $13.6 \text{ m}^3\text{t}^{-1}$ . Para un tomate de 100g, estimaron que se evaporan 1.4 l de agua verde y 6.1 l de agua azul, y si se añade el volumen de agua contaminada dentro de los límites permitidos (0.7 l), en total se consumen 8.2 l de agua. Éstos resultados obtenidos difieren significativamente de los obtenidos por Antón et al. (2005) y Chapagain y Hoekstra (2004).

Los principales destinos de consumo del tomate español son Alemania (25%), Reino Unido (19%), Francia (17%) y Holanda (16%), y por tanto importadores de un importante volumen de agua verde y azul. Considerando que en la producción de tomates frescos se evapora una cantidad de  $71 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$  de agua y que se requieren más de  $7 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$  de agua azul para diluir los nitratos lixiviados. Además, se encontró que en la producción de tomate en España se evaporan  $54.4 \text{ Mm}^3$  al año de agua verde (HH verde del consumo mundial de tomate español),  $242.7 \text{ Mm}^3$  al año de agua azul (HH azul del consumo mundial de tomate español) y contamina  $28.7 \text{ Mm}^3$  al año de agua azul (HH de agua no evaporada del consumo mundial de tomate español).

Con la eficiencia existente del riego en la producción de tomate en España, las pérdidas de riego ( $55.1 \text{ Mm}^3$  al año) son casi el doble que el agua de dilución total requerido ( $28.7 \text{ Mm}^3$  al año). Por tanto, se puede reducir el uso de agua local en la producción de tomate a través del aumento de la eficiencia en el riego, para que las pérdidas no sean mayores a las necesidades hídricas requeridas para diluir las corrientes contaminadas. Para reducir las pérdidas de agua no evaporada, se debe ir más allá, combinando el incremento de la eficiencia de riego con la reducción de los contaminantes en los flujos hídricos.

#### **2.2.5. Flujos de agua de los cereales españoles.**

En el estudio realizado por Novo et al. (2008), se evaluó la relación existente entre el comercio de cereales en España y la relativa escasez de agua. Se estimó para el período 1997-2005, el volumen y el valor económico del flujo de AV presente en el comercio internacional de cereales. Dentro de este periodo se seleccionaron tres años de acuerdo con el volumen de precipitaciones: año húmedo (1997), medio (1999) y seco (2005).

Para los años 1997, 1999 y 2005, se obtuvo un volumen neto de agua procedente de las importaciones de 3.420, 4.383 y  $8.415 \text{ Mm}^3$ , respectivamente. El valor económico de las exportaciones de agua azul varía en un rango de 0,7 y 34,2 millones de euros en un año

húmedo (1997) y seco (2005), respectivamente. Estos resultados ponen de manifiesto que España es un importador neto de AV contenida en los cereales, principalmente por el comercio internacional de trigo y maíz.

Se observó que las importaciones de granos se incrementaron en los años secos, siendo coherentes con la escasez de recursos hídricos. Pero la evolución de las exportaciones de granos, expresada como una variación de la cantidad y el volumen, no coincide con las variaciones en la escasez de los recursos hídricos. El análisis desglosado de los cultivos puso de manifiesto la presencia de otros factores que inciden en el comercio internacional de cereales y que no están relacionados con el concepto de AV, entre ellos, la calidad del producto, la producción especializada de un determinado producto o la demanda de un producto estandarizado.

A pesar de que estos factores pueden crear distorsiones potenciales en la aplicación del concepto de AV cuando se analizan los patrones comerciales específicos, desde el punto de vista de los recursos hídricos, el AV puede aportar importantes ideas para mejorar la gestión de los recursos hídricos en cada país, gestionar los recursos transfronterizos y fomentar estrategias de adaptación al cambio climático.

### **3. ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL PONIENTE ALMERIENSE. METODOLOGÍA**

Para el cálculo del consumo de agua en la agricultura intensiva en el Poniente Almeriense, se ha adaptado la metodología de Chapagain y Hoekstra (2004) y de Rodríguez-Casado (2008), para la campaña agrícola 2009/2010. Se calculó el consumo de agua de los 8 cultivos bajo invernadero del Poniente Almeriense: Pimiento, Tomate, Pepino, Calabacín, Sandía, Melón, Berenjena, y Judía verde.

Los datos de superficie y producción de cada uno de los cultivos fueron obtenidos del Departamento de Estadísticas de la Delegación de la Provincia de Almería, de la Junta de Andalucía. Los valores de evapotranspiración se obtuvieron de la estación agrometeorológica de la Estación Experimental de la Fundación Cajamar "Las Palmerillas" (Fundación Cajamar, 2011), ubicada en el término municipal de El Ejido. Los datos de evapotranspiración fueron tomados en tanque clase-A, con tornillo de precisión.

#### **3.1. Huella hídrica de la agricultura ( $HH_{Agr}$ )**

Rodríguez-Casado et al. (2008) incorporaron una serie de aportaciones a la metodología desarrollada por Chapagain y Hoekstra (2004), para adaptarla de la mejor manera posible al modelo de agricultura española. Primero, se consideró que la  $HH_{Agr}$  es la suma de los recursos hídricos utilizados en la agricultura ( $UA_{Agr}$ ) y de las importaciones de AV contenida en los productos agrícolas y ganaderos ( $HH_{I,Agr}$ ), menos el AV exportada en estos productos ( $AV_{E,Agr}$ )

$UA_{Agr}$  es la suma de las demandas evaporativas de los cultivos producidos, sin contabilizar las pérdidas de agua que puedan producirse en el riego, asumiendo que en un porcentaje alto pueden ser reutilizadas.  $UA_{Agr}$  incluye tanto el agua azul como el agua verde. La demanda evaporativa de un cultivo es la suma de la evaporación directa del agua del suelo y de la transpiración de las plantas, considerando que es equivalente a sus necesidades hídricas.

$$UA_{Agr} = \sum_{j=1}^n (ETb_j * S_{reg\_j}) + (ETg_j * S_{total\_j}) \quad (1)$$

Donde, ETb = evapotranspiración de agua azul ( $m^3 ha^{-1}$ ),  $S_{reg}$  = superficie en regadío (ha), ETg = evapotranspiración de agua verde ( $m^3 ha^{-1}$ ),  $S_{total}$  = superficie total (ha) Y n = número de cultivos (j).

Las necesidades hídricas mensuales ( $CWR_j$ ) son la suma de la evapotranspiración mensual de agua verde ( $ETg_j$ ) y la evapotranspiración mensual de agua azul ( $ETb_j$ ).  $CWR_j$  en  $m^3 ha^{-1}$ , se obtiene al aplicar el factor de corrección 10 a la evapotranspiración mensual de cada cultivo ( $ETc$ ):  $CWR_j = ETg_j + ETb_j = 10 * ETc$ . Donde,  $ETc$  se mide en  $mm mes^{-1}$ , y se obtiene al multiplicar el coeficiente del cultivo ( $Kc$ ) por la evapotranspiración de referencia ( $ETo$ ):  $ETg_j$  es igual a la precipitación efectiva ( $P_{eff}$ ), en el caso de que esta cantidad no supere las necesidades hídricas del cultivo ( $CWR$ ). La  $P_{eff}$  es el agua procedente de la lluvia que realmente puede ser aprovechada por la planta y se expresa en  $m^3 ha^{-1} mes^{-1}$ :  $ETg_j = min(CWR_k, P_{eff})$ . Para el régimen de producción en regadío se supuso 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 existiese, entre sus necesidades hídricas y la precipitación efectiva:  $ETb_j = max(0, CWR_k - P_{eff})$ .

El contenido de AV ( $m^3 t^{-1}$ ) de cada cultivo se calcula en función del tipo de agricultura, dividiendo sus necesidades hídricas ( $CWR$ ) por el rendimiento del cultivo ( $R$ ;  $t ha^{-1}$ ):

- En régimen de secano se considera que AV es igual al valor del contenido de AV verde ( $AVg_{sec}$ ), que se obtiene al dividir la evapotranspiración de agua verde ( $ETb$ ) por el rendimiento en secano ( $R_{sec}$ ).
- En régimen de regadío se considera tanto al agua azul como al agua verde. El contenido de AV azul ( $AVb_{reg}$ ) se obtiene al dividir la evapotranspiración de agua azul del cultivo ( $ETg$ ) entre su rendimiento en regadío ( $R_{reg}$ ).
- Para los cultivos protegidos se considera AV igual al valor del contenido de AV azul ( $AVb_{prot}$ ).

En función del contenido de AV de los cultivos, se calcula el volumen de AV exportada en la agricultura ( $AV_{E,Agr}$ ) al multiplicar la cantidad de producto exportado ( $X_j$ ; t) por su contenido en AV ( $AV_j$ ;  $m^3 t^{-1}$ ). El volumen de AV importada en la agricultura ( $AV_{I,Agr}$ ) se obtiene multiplicando la cantidad de producto importada ( $M_{j,pi}$ ; t) por el contenido en AV en el país de origen ( $V_{j,pi}$ ;  $m^3 T^{-1}$ ).

Los autores aplicaron un nivel de agregación regional (CC.AA.) hasta el cálculo del contenido de AV (azul y verde) de los cultivos. El contenido de AV en las exportaciones e importaciones se realizó a un nivel de agregación nacional (España).

Como parte del análisis de la relación entre flujos físicos y monetarios, Madrid (2007) estimó la rentabilidad monetaria del agua, tanto en la producción como en el comercio. La rentabilidad monetaria del agua en producción ( $RMP_{ij}$ ), en  $\text{€ } m^{-3}$ , como:  $RMP_{ij} = PM_{ij} / UA_{Agr\ ij}$ . Donde,  $PM$  es la producción monetaria y  $UA_{Agr}$  el uso del agua en la agricultura, del cultivo  $i$  en el área geográfica  $j$ .

La rentabilidad monetaria del agua en el comercio (flujos de agua),  $\text{€ } m^{-3}$ , se calcula con las siguientes fórmulas:  $RME_{ij} = YX_{ij} / VWE_{ij}$ , y  $RME_{ij} = YI_{ij} / VWI_{ij}$ . Donde,  $RME$  es la rentabilidad de la exportación,  $RMI$  de la importación ( $\text{€ } m^{-3}$ ),  $YX$  el flujo monetario de la

exportación e  $Y_i$  el de la importación expresadas en €corrientes, del cultivo  $i$  en el área geográfica  $j$ .

### 3.2. Características de los cultivos del Poniente Almeriense.

La producción agrícola de la comarca está basada en ocho cultivos, que por orden de importancia son: Tomate, Pimiento, Pepino, Calabacín, Sandía, Melón, Berenjena, y Judía verde. Una de las principales características de este sector productivo es su altísima producción hortofrutícola en pequeñas superficies, que ha supuesto que hoy encabece las exportaciones de estos productos. Actualmente, la superficie cultivada de la Comarca es del orden de 20.000 ha, con un volumen de extracciones hídricas de aproximadamente 137 hm<sup>3</sup>, de los cuales 102 hm<sup>3</sup> se utilizan para riego y 35 hm<sup>3</sup> se destinan a abastecimiento urbano (Pulido-Bosch et al., 2002). Estas 20.000 ha cultivadas producen aproximadamente 2 millones de Tm (productividad media de 100 Tm ha<sup>-1</sup>), y unos ingresos de unos 1000 millones € anuales (50.000 € ha<sup>-1</sup>) (Novotecnía, 2009).

El principal medio de cultivo en el Poniente Almeriense es el enarenado, que consiste en colocar una capa de arena de unos 10-12 cm de espesor sobre un terreno labrado y estercolado, consiguiendo la eliminación de la salinidad y alcalinidad. Además, se consigue la elevación de la temperatura del suelo de hasta 10°C, adelantar la maduración del fruto unos 15 días, el aumento del desarrollo radicular, la disminución del consumo de agua y la condensación de la humedad atmosférica, entre otros efectos.

#### 3.2.1. Superficies y Rendimientos de los cultivos del Poniente Almeriense.

Los datos de superficies y rendimientos (Tabla 1) de los ocho cultivos bajo invernadero del Poniente Almeriense corresponden a las Estadísticas proporcionadas por el Servicio de Agricultura de la Delegación Provincial de Almería de la Junta de Andalucía, para la campaña 2009/2010. En los términos municipales de Enix y Felix no existe superficie bajo invernaderos.

**Tabla 1.-** Superficies (ha) y rendimientos medios (kg ha<sup>-1</sup>) de los cultivos bajo invernadero del Poniente Almeriense, campaña 2009/2010.

| Municipio       | Tomate | Pimiento | Pepino | Calabacín | Sandía | Melón  | Berenjena | Judía verde |
|-----------------|--------|----------|--------|-----------|--------|--------|-----------|-------------|
| Adra            | 126    | 376      | 160    | 127       | 445    | 362    | 230       | 39          |
| Berja           | 219    | 553      | 146    | 160       | 390    | 187    | 56        | 31          |
| Dalías          | 18     | 373      | 22     | 53        | 90     | 19     | 12        | 4           |
| El Ejido        | 1 848  | 4 217    | 2 566  | 2 496     | 1 551  | 2 187  | 602       | 454         |
| La Mojonera     | 191    | 365      | 314    | 500       | 347    | 326    | 176       | 8           |
| Roquetas de Mar | 479    | 670      | 350    | 298       | 180    | 268    | 136       | 9           |
| Vícar           | 369    | 436      | 432    | 384       | 125    | 143    | 516       | 25          |
| Sup. total      | 3 250  | 6 990    | 3 990  | 4 018     | 3 128  | 3 492  | 1 728     | 570         |
| Rendimiento*    | 88 000 | 59 000   | 84 500 | 56 000    | 65 000 | 35 000 | 77 000    | 14 000      |

\* Los datos de rendimiento medio corresponden a la Oficina Comarcal Agraria de La Mojonera.

Los principales sistemas de cultivo utilizados en el Poniente Almeriense son el cultivo en suelo y el cultivo en sustrato (hidropónico). En aproximadamente el 88.96% de la superficie bajo invernadero de la comarca se utiliza el cultivo en suelo. La superficie bajo cada uno de ellos varía en función del cultivo. El Pepino es el cultivo con mayor superficie en sustrato (24.3%). En los dos principales cultivos aproximadamente el 90% de la superficie cultivada en invernadero utiliza el sistema de cultivo en suelo. Por términos municipales, la superficie bajo invernadero por sistema de cultivos se recoge en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Superficie por sistema de cultivo en los municipios del Poniente Almeriense (ha).

| Municipio   | Sistema de cultivo | Adra   | Berja  | Dalías | El Ejido | La Mojонера | Roquetas | Vícar  |
|-------------|--------------------|--------|--------|--------|----------|-------------|----------|--------|
| Tomate      | En suelo           | 111.26 | 193.38 | 15.89  | 1 631.78 | 168.65      | 422.96   | 325.83 |
|             | En sustrato        | 14.74  | 25.62  | 2.11   | 216.22   | 22.35       | 56.04    | 43.17  |
| Pimiento    | En suelo           | 342.54 | 503.78 | 339.80 | 3 841.69 | 332.52      | 610.37   | 397.20 |
|             | En sustrato        | 33.46  | 49.22  | 33.20  | 375.31   | 32.49       | 59.63    | 38.80  |
| Pepino      | En suelo           | 121.12 | 110.52 | 16.65  | 1 942.46 | 237.70      | 264.95   | 327.02 |
|             | En sustrato        | 38.88  | 35.48  | 5.35   | 623.54   | 76.30       | 85.05    | 104.98 |
| Calabacín   | En suelo           | 118.62 | 149.44 | 49.50  | 2 331.26 | 467.00      | 278.33   | 358.66 |
|             | En sustrato        | 8.38   | 10.56  | 3.50   | 164.74   | 33.00       | 19.67    | 25.34  |
| Sandía      | En suelo           | 390.71 | 342.42 | 79.02  | 1 361.78 | 304.67      | 158.04   | 109.75 |
|             | En sustrato        | 54.29  | 47.58  | 10.98  | 189.22   | 42.33       | 21.96    | 15.25  |
| Melón       | En suelo           | 347.52 | 179.52 | 18.24  | 2 099.52 | 312.96      | 257.28   | 137.28 |
|             | En sustrato        | 14.48  | 7.48   | 0.76   | 87.48    | 13.04       | 10.72    | 5.72   |
| Berenjena   | En suelo           | 206.77 | 50.34  | 10.79  | 541.20   | 158.22      | 122.26   | 463.88 |
|             | En sustrato        | 23.23  | 5.66   | 1.21   | 60.80    | 17.78       | 13.74    | 52.12  |
| Judía verde | En suelo           | 34.48  | 27.40  | 3.54   | 401.34   | 7.07        | 7.96     | 22.10  |
|             | En sustrato        | 4.52   | 3.60   | 0.46   | 52.66    | 0.93        | 1.04     | 2.90   |

En relación con los calendarios de siembra y plantación de los principales cultivos hortícolas producidos en invernadero, en junio se siembra el pimiento tipo California (la mayor parte en Berja y Dalías); en julio el pimiento tipo California, algunos pepinos tipo Almería y berenjenas; en agosto el pimiento tipo California tardíos, tipo largo o lamuyo y dulce Italiano, tomate, calabacín y berenjena; en septiembre, pepinos de todo tipo, pimiento tipo largo o lamuyo, tomate, judías, calabacín y berenjena; en octubre, pepinos tardíos, judías verdes y berenjena; en noviembre, judías verdes y calabacín; en diciembre, judías verdes, los primeros melones tipo Galia y pepinos corto; en enero, melones, sandías, calabacines, judías verdes y tomates de primavera; en febrero, la mayor parte de melones y sandías, algo de calabacín, judías y tomates; y en marzo, melones, sandías tardías, judías y pepinos de primavera (OCA de la Mojонера).

### 3.2.2. Materias primas empleadas durante la producción.

La Fundación Cajamar ha elaborado una metodología para el cálculo de la evolución de la estructura de costes de producción en una empresa agraria (Cabrera et al., 2010). Los parámetros considerados fueron: explotación media, con invernaderos modernos de tipo "raspa y amagado" y una capacidad productiva media-alta. Los tipos de cultivos incluidos fueron: tomate en ciclo único, pimiento-melón, pepino-sandía, calabacín-calabacín, y judía verde-judía verde. Los valores que obtuvieron son genéricos y en el caso de estructuras antiguas, los costes y el mantenimiento será menor, y en explotaciones de mayor tamaño, la economía de escala también permitirá reducir los costes. De Pablo et al. (2003) realizó un estudio similar para el cultivo de tomate en enarenado en la provincia de Almería, pero expresados los costes por metro cuadrado. En este trabajo, el apartado varios y otros gastos comprendió las rafias y trampas adhesivas, blanqueos, reparaciones, colmenas, contenedores de residuos, telefonía móvil, portes, etc., que en el caso del estudio de Cabrera et al. (2010) están desglosados en otros apartados.

Los valores calculados en los dos estudios son similares, observándose que las materias primas que representan un porcentaje importante de los costes de producción anuales, y para cuya elaboración se requiere un consumo significativo de agua, son: agua de riego, fertilizantes, fitosanitarios y plásticos de la cubierta. A continuación se analizan las tres últimas materias primas.

### 3.2.2.1. Plásticos de cubiertas

El tipo de plástico a utilizar en los cultivos bajo invernadero condicionará el tipo de estructura al considerar el peso que debe soportar, el espacio entre pilares, las barras de soporte, las correas, la distancia entre canal y cumbrera y la forma del techo. El tipo de plástico utilizado en los invernaderos del Poniente Almeriense, por lo general es ignífugo, de color blanco, con un peso de 2 400-2 700 kg ha<sup>-2</sup>, de 800 galgas (200 μ) de espesor, y con una duración aproximada de 36 meses; y de 2 000 kg ha<sup>-2</sup>, de 720 galgas, con una duración aproximada de 18 meses (Grupo TPM, 2011; Solplast, 2011).

### 3.2.2.2. Fertilizantes

En la bibliografía existe diversidad de criterios al momento de fijar los niveles de extracción de los elementos nutritivos por cada uno de los cultivos. Más aún, cuando estos valores dependen de aspectos como la variedad, la densidad de plantación, el tipo de producción, la duración del cultivo, las condiciones climáticas, etc. Cadenas et al. (2003) estiman para el tomate en invernadero entre 2.1 y 3.8 toneladas de N por cosecha, 0.3-0.7 t P, 4.4-7.0 t K, 1.2-3.2 t Ca y 0.3-1.1 t Mg. Por su parte, Cadahía (1995) considera que para una cosecha de 120.000 kg ha<sup>-1</sup>, las necesidades nutritivas son de 400 kg N ha<sup>-1</sup>, 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> y 850 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>.

Los requerimientos nutritivos medios de cada cultivo, utilizados en este estudio, son los establecidos por el Ministerio de Agricultura (MARM, 2010b). A partir de las extracciones que los cultivos hacen de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, y de la composición de los fertilizantes comerciales se obtiene la cantidad de necesaria por hectárea de cada uno de ellos. Los principales fertilizantes comerciales utilizados en el Poniente son el Nitrato potásico (K<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>), el Nitrato de calcio (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) y el ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) en disolución al 75%. Se consideró que las necesidades de K<sub>2</sub>O se obtienen en su totalidad del K<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>. Los kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante comercial que se requieren para cada uno de los ocho cultivos del Poniente Almeriense son: 4 557.72 para tomate, 3 418.47 para pimiento, 2 726.88 para pepino, 3 978.52 para calabacín, 2 211.17 para sandía, 2 525.23 para melón, 1 044.65 para berenjena, y 552.27 para judía.

### 3.2.2.3. Fitosanitarios

Según la experiencia de la zona, después de consultarlo con distintos técnicos, el gasto de caldo consumido es de aproximadamente de 700 l ha<sup>-1</sup> por producto fitosanitario. En todo el ciclo de cultivo, se realizan en promedio cuatro tratamientos fitosanitarios, con una alternancia de productos. Considerando la diversidad de tratamientos fitosanitarios que reciben los cultivos almerienses, Cara-Rodríguez y Rivera- Menéndez (1998) señalan que el número de envases que se consumen anualmente es de 68 envases por hectárea.

## 4. ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL PONIENTE ALMERIENSE. RESULTADOS

### 4.1. Balance hídrico de la producción agrícola del Poniente Almeriense

Los resultados obtenidos son una aproximación a la "HH" de la agricultura intensiva del Poniente Almeriense. Los resultados obtenidos en este apartado se han obtenido sobre la base de algunos supuestos, debido a la ausencia de datos a nivel municipal, principalmente relacionados con la importación y la exportación de los productos hortícolas, el consumo per cápita de estos productos y el consumo de fitosanitarios.

Para mejorar la calidad de los resultados de la HH de la agricultura intensiva del Poniente Almeriense, es necesario que se generen nuevos y más datos precisos, en especial datos de exportación e importación de productos agrarios a nivel municipal. Los resultados de este estudio pretenden dar una visión general, y a la vez específica por municipio, de la realidad hídrica del Poniente Almeriense, y que las conclusiones que de él se puedan obtener ayuden a la toma de decisiones.

#### 4.1.1. Requerimientos hídricos de los cultivos.

Los datos de consumo medio de agua por cultivo, según las dosis recomendadas de riego por cultivo, expresados en  $\text{l m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ , se tomaron de la Estación Experimental de Cajamar "las Palmerillas". Además, esta estación experimental ha desarrollado el programa PrHo - Programa de riegos para cultivos hortícolas bajo invernadero. Versión 1.0. (Fundación Cajamar, 2008), que permite obtener los datos diarios de evapotranspiración, el coeficiente de cultivo por etapa de cultivo, el tiempo y el volumen de riego que requiere cada uno de los ocho cultivos presentes en el Poniente Almeriense. Para la obtención de las recomendaciones se han utilizado datos climáticos medios de la estación agroclimática de la misma estación. Las dotaciones de riego promedio se deberán reducir en caso de disminución de la radiación en el interior del invernadero (días nublados) o incrementarse cuando ocurran fenómenos climáticos que aumenten la transpiración (ej: días ventosos).

Para la obtención de los datos para cada uno de los cultivos, a través del programa PrHo, se especificaron los datos de fecha de siembra o transplante, fecha de fin de cultivo, densidad de plantación, superficie plantada, encalado, conductividad eléctrica del agua de riego, coeficiente de uniformidad de riego, y las características de la instalación de riego. Tras los cálculos realizados con el programa, se obtuvo el consumo hídrico total de los ocho cultivos intensivos (en suelo  $778.39 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  y en sustrato  $895.15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). Se consideró que el gasto del agua de los cultivos hidropónicos con respecto a los cultivos en suelo es un 15% superior (Céspedes et al., 2009).

El volumen de los  $UA_{Agr}$  totales utilizados por los ocho cultivos del Poniente Almeriense se obtuvo mediante la suma de los recursos hídricos por cultivo, que a su vez fueron obtenidos multiplicando los consumos hídricos de cada cultivo por hectárea, por sus superficies correspondientes. En la Tabla 3 se recogen los resultados obtenidos.



**Tabla 3.** Recursos hídricos utilizados en la agricultura del Poniente Almeriense, mediante el primer método de cálculo ( $10^3$  m<sup>3</sup>).

| Cultivo     | Sistema de cultivo | Adra     | Berja    | Dalías   | El Ejido  | La Mojonera | Roquetas  | Vícar    | Total Pon. Alm. |
|-------------|--------------------|----------|----------|----------|-----------|-------------|-----------|----------|-----------------|
| Tomate      | suelo              | 552.45   | 960.20   | 78.92    | 8 102.54  | 837.44      | 2 100.17  | 1 617.88 | 14 249.60       |
|             | sustrato           | 84.18    | 146.31   | 12.03    | 1 234.65  | 127.61      | 320.02    | 246.53   | 2 171.33        |
| Pimiento    | suelo              | 1 844.25 | 2 712.42 | 1 829.53 | 20 684.03 | 1 790.29    | 3 286.29  | 2 138.54 | 34 285.36       |
|             | sustrato           | 207.20   | 304.74   | 205.55   | 2 323.83  | 201.14      | 369.21    | 240.26   | 3 851.93        |
| Pepino      | suelo              | 331.71   | 302.69   | 45.61    | 5 319.88  | 650.99      | 725.63    | 895.63   | 8 272.14        |
|             | sustrato           | 122.45   | 111.74   | 16.84    | 1 963.86  | 240.32      | 267.87    | 330.63   | 3 053.70        |
| Calabacín   | suelo              | 358.37   | 451.49   | 149.56   | 7 043.24  | 1 410.91    | 840.90    | 1 083.58 | 11 338.03       |
|             | sustrato           | 29.12    | 36.69    | 12.15    | 572.36    | 114.65      | 68.33     | 88.05    | 921.37          |
| Sandía      | suelo              | 1 579.48 | 1 384.26 | 319.44   | 5 505.10  | 1 231.64    | 638.89    | 443.67   | 11 102.48       |
|             | sustrato           | 252.39   | 221.20   | 51.05    | 879.69    | 196.81      | 102.09    | 70.90    | 1 774.12        |
| Melón       | suelo              | 1 366.87 | 706.09   | 71.74    | 8 257.87  | 1 230.94    | 1 011.94  | 539.95   | 13 185.41       |
|             | sustrato           | 65.50    | 33.83    | 3.44     | 395.69    | 58.98       | 48.49     | 25.87    | 631.80          |
| Berenjena   | suelo              | 816.12   | 198.71   | 42.58    | 2 136.10  | 624.51      | 482.57    | 1 830.95 | 6 131.54        |
|             | sustrato           | 105.44   | 25.67    | 5.50     | 275.98    | 80.69       | 62.35     | 236.56   | 792.19          |
| Judía verde | suelo              | 45.67    | 36.30    | 4.68     | 531.69    | 9.37        | 10.54     | 29.28    | 667.54          |
|             | sustrato           | 6.89     | 5.48     | 0.71     | 80.23     | 1.41        | 1.59      | 4.42     | 100.73          |
| Total       |                    | 7 768.10 | 7 637.83 | 2 849.33 | 65 306.74 | 8 807.69    | 10 336.89 | 9 822.69 | 112 529.26      |

Los  $UA_{Agr}$  mediante el primer método, fueron de 112 529 262.68 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>. Siendo el pimiento el cultivo que mayor agua consume en el Poniente Almeriense (33.89%), seguido del tomate (14.59%) y el melón (12.28%). Por términos municipales, el 58.04% de los  $UA_{Agr}$  se consumen en El Ejido.

**Tabla 4.** Recursos hídricos utilizados en la agricultura del Poniente Almeriense, mediante el segundo método de cálculo ( $10^3$  m<sup>3</sup>).

| Municipio   | Tomate    | Pimiento  | Pepino    | Calabacín | Sandía    | Melón     | Berenjena | Judía verde | Total      |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|
| Adra        | 885.65    | 2 349.25  | 874.72    | 644.72    | 2 259.04  | 1 837.69  | 1 257.41  | 243.67      | 10 352.16  |
| Berja       | 1 539.35  | 3 455.14  | 798.18    | 812.24    | 1 979.84  | 949.31    | 306.15    | 193.69      | 10 033.90  |
| Dalías      | 126.52    | 2 330.50  | 120.27    | 269.05    | 456.89    | 96.45     | 65.60     | 24.99       | 3 490.29   |
| El Ejido    | 12 989.59 | 26 347.82 | 14 028.32 | 12 670.94 | 7 873.65  | 11 102.31 | 3 291.13  | 2 836.59    | 91 140.36  |
| La Mojonera | 1 342.54  | 2 280.52  | 1 716.64  | 2 538.25  | 1 761.55  | 1 654.94  | 962.19    | 49.98       | 12 306.61  |
| Roquetas    | 3 366.89  | 4 186.16  | 1 913.45  | 1 512.80  | 913.77    | 1 360.50  | 743.51    | 56.23       | 14 053.31  |
| Vícar       | 2 593.70  | 2 724.13  | 2 361.74  | 1 949.38  | 634.56    | 725.94    | 2 820.97  | 156.20      | 13 966.62  |
| Poniente    | 22 844.25 | 43 673.52 | 21 813.33 | 20 397.38 | 15 879.29 | 17 727.14 | 9 446.98  | 3 561.36    | 155 343.24 |

Mediante las demandas evaporativas por cultivo, se calculó que los  $UA_{Agr}$  fueron de 155 343 243.00 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> (Tabla 4). Las diferencias con el resultado del método anterior obedecen principalmente a los valores medios de Kc utilizados para su cálculo. Al igual que con el procedimiento anterior, el pimiento es el cultivo que mayor agua consume (28.11%), seguido del tomate y del pepino. Por términos municipales, El Ejido consume el 58.67% del agua, seguido de Roquetas de Mar (9.05%) y Vícar (8.99%).

#### 4.1.2. Agua virtual de los productos del Poniente Almeriense.

El contenido en AV de cada cultivo, por los dos procedimientos de cálculo, se recogen en la Tabla 5. Los resultados obtenidos en función de los dos métodos, y dentro del primer método en función del sistema de cultivo, presentan variaciones significativas en algunos de los cultivos (pepino, calabacín y judía verde). La mayor diferencia se observó en la judía verde, donde el valor de AV en función del segundo método es aproximadamente cuatro veces superior a los obtenidos en función del primer método.

Tabla 5. Agua virtual (AV) de los cultivos del Poniente Almeriense.

| Cultivo     | 1º método - en suelo                   |                                      | 1º método - en sustrato                |                                      | 2º método                              |                                      |
|-------------|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
|             | CWR<br>m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> | AV<br>m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup> | CWR<br>m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> | AV<br>m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup> | CWR<br>m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> | AV<br>m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup> |
| Tomate      | 4 965.45                               | 56.43                                | 5 710.27                               | 64.89                                | 7 029.00                               | 79.88                                |
| Pimiento    | 5 384.10                               | 91.26                                | 6 191.72                               | 104.94                               | 6 248.00                               | 105.90                               |
| Pepino      | 2 738.73                               | 32.41                                | 3 149.54                               | 37.27                                | 5 467.00                               | 64.70                                |
| Calabacín   | 3 021.21                               | 53.95                                | 3 474.39                               | 62.04                                | 5 076.50                               | 90.65                                |
| Sandía      | 4 042.58                               | 62.19                                | 4 648.97                               | 71.52                                | 5 076.50                               | 78.10                                |
| Melón       | 3 933.22                               | 112.38                               | 4 523.20                               | 129.23                               | 5 076.50                               | 145.04                               |
| Berenjena   | 3 946.99                               | 51.26                                | 4 539.04                               | 58.95                                | 5 467.00                               | 71.00                                |
| Judía verde | 1 324.79                               | 94.63                                | 1 523.51                               | 108.82                               | 6 248.00                               | 446.29                               |

Los valores en función del 1º método en sustrato y del 2º método presentan mayores similitudes entre sí. Las diferencias en los resultados obedecen a las consideraciones metodológicas de cada procedimiento de cálculo. Si bien los datos son dispares, y aunque el 1º método parece ser más preciso, las diferencias significativas respecto al 2º método hacen dudar de la bondad de esta metodología.

#### 4.2. Consumo hídrico en la fabricación de plásticos de cubierta.

Para el cálculo del AV presente en el plástico de cubierta de los invernaderos, se debe tomar en cuenta la duración del cultivo y la duración del filme. En los cálculos realizados se estimó que para cada hectárea de cultivo se requieren 10 100 m<sup>2</sup> de filme, considerando un filme de 2 700 kg ha<sup>-2</sup>, se obtiene un total 2 727 kg ha<sup>-1</sup> de filme por invernadero. Dado que cada cultivo tiene una duración distinta, y que el plástico considerado en el estudio tiene una duración de 36 meses, se calculó la parte proporcional de uso de este plástico de cubierta mediante el coeficiente de duración (meses de cultivo / duración del plástico).

Una vez calculada la cantidad de plástico utilizado por campaña, se calculó su AV, considerando que para la producción de plástico de cubierta de invernaderos se requieren aproximadamente 13.7 l kg<sup>-1</sup> de plástico. De manera que el AV contenida en los plásticos de cubierta utilizados en el Poniente Almeriense en la campaña 2009/2010 fue de 202 445 m<sup>3</sup>. En los dos principales cultivos, tomate y pimiento, se consume el 45.58% del AV procedente de los plásticos de invernadero. Por el contrario, en el cultivo de judía verde solo se consume el 1.31% del AV de los plásticos.

#### 4.3. Consumo hídrico en la fabricación de fertilizantes

Se ha considerado que el consumo de agua por t de fertilizante comercial es de 180 l. A partir de los datos de consumo de fertilizantes, y con el dato de consumo de agua en la fabricación de fertilizantes, se procedió al cálculo del AV contenida en los fertilizantes, que resultó en 15 017.09 m<sup>3</sup>.

#### 4.4. Consumo hídrico en la fabricación de envases de fitosanitarios

La HH de los envases de productos fitosanitarios varía enormemente en función del material con el que está fabricado. En el caso de la fabricación de las botellas de plástico PET de 0.5 l se consume entre 1 y 2 l de agua, mientras que en el caso de los envases de cartón Tetra Pak de 0.5 l, el consumo llega hasta los 0,2 l de agua (Kave, 2011). Borealis (2009) determinaron que el agua utilizada directamente en la fabricación de plásticos está entre 1.2 y 6.5 l kg<sup>-1</sup> de producto terminado. Para una industria de poliolefina se determinó una HH de 13.7 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> de producto, de la cual, el 20.4% (2.78 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> de producto) es utilizada por la energía eléctrica. Li y Ugochukwu (2010) consideran que la HH es solo de 6 l kg<sup>-1</sup> de

polietileno de baja densidad, ya que se debe excluir el agua utilizada en el enfriamiento y en la producción de energía hidráulica, la cual es reutilizada.

La mayoría de los productos fitosanitarios se expenden en envases plásticos, asumiéndose en este trabajo que en su totalidad se venden en envases de 1 l, con un contenido de AV de 3 l. Por lo tanto, para calcular el consumo total de agua consumida en la fabricación de todos los envases de fitosanitarios usados en los cultivos hortícolas, se asumió un consumo de 68 envases por ha, con un total de AV de 5 541 864 m<sup>3</sup>.

#### 4.5. Consumo de la población

El consumo per cápita de la población se ha tomado considerando los datos de los Boletines finales de seguimiento de la Campaña 2009/10 - Sector hortícolas protegidos, de la Junta de Andalucía para los ocho cultivos (Junta de Andalucía, 2010a, 2010b, 2010c, 2010d, 2010e, 2010f); y los datos de Consumo Alimentario en el Hogar del MARM para los cultivos de melón y sandía (MARM, 2010a). Los datos para cada cultivo se recogen en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Consumo per cápita de los productos hortícolas (kg hab<sup>-1</sup>).

|                  | Tomate |           | Pimiento |           | Pepino |           | Sandía* |
|------------------|--------|-----------|----------|-----------|--------|-----------|---------|
|                  | España | Andalucía | España   | Andalucía | España | Andalucía |         |
| sep-09           | 1.473  | 1.604     | 0.606    | 0.535     | 0.257  | 0.178     |         |
| oct-09           | 1.452  | 1.483     | 0.592    | 0.455     | 0.212  | 0.161     |         |
| nov-09           | 0.982  | 1.035     | 0.378    | 0.364     | 0.125  | 0.134     |         |
| dic-09           | 1.028  | 0.973     | 0.372    | 0.319     | 0.122  | 0.13      |         |
| ene-10           | 1.002  | 1.075     | 0.416    | 0.366     | 0.111  | 0.105     |         |
| feb-10           | 0.856  | 0.864     | 0.343    | 0.303     | 0.097  | 0.086     |         |
| mar-10           | 0.859  | 0.895     | 0.314    | 0.282     | 0.101  | 0.095     |         |
| abr-10           | 1.072  | 1.149     | 0.270    | 0.263     | 0.143  | 0.135     |         |
| may-10           | 1.083  | 1.160     | 0.308    | 0.319     | 0.212  | 0.206     |         |
| jun-10           | 1.214  | 1.387     |          |           |        |           |         |
| Promedio mensual | 1.102  | 1.163     | 0.400    | 0.356     | 0.153  | 0.137     |         |
| Consumo anual    | 13.225 | 13.950    | 4.799    | 4.275     | 1.840  | 1.640     | 7.33    |

|                  | Calabacín |           | Berenjena |           | Judía verde |           | Melón* |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|--------|
|                  | España    | Andalucía | España    | Andalucía | España      | Andalucía |        |
| sep-09           | 0.358     | 0.211     | 0.203     | 0.238     | 0.213       | 0.108     |        |
| oct-09           | 0.42      | 0.294     | 0.221     | 0.254     | 0.296       | 0.217     |        |
| nov-09           | 0.259     | 0.249     | 0.152     | 0.195     | 0.180       | 0.148     |        |
| dic-09           | 0.275     | 0.272     | 0.121     | 0.151     | 0.167       | 0.136     |        |
| ene-10           | 0.302     | 0.255     | 0.107     | 0.098     | 0.170       | 0.101     |        |
| feb-10           | 0.238     | 0.216     | 0.086     | 0.098     | 0.165       | 0.131     |        |
| mar-10           | 0.238     | 0.226     | 0.105     | 0.111     | 0.145       | 0.106     |        |
| abr-10           | 0.338     | 0.275     | 0.140     | 0.153     | 0.212       | 0.177     |        |
| may-10           | 0.287     | 0.252     | 0.127     | 0.166     | 0.198       | 0.151     |        |
| Promedio mensual | 0.302     | 0.250     | 0.140     | 0.163     | 0.194       | 0.142     |        |
| Consumo anual    | 3.620     | 3.000     | 1.683     | 1.952     | 2.328       | 1.70      | 8.51   |

\* El valor de consumo anual es el Total anual móvil.

Tomando en cuenta que la población del Poniente Almeriense es de 248 079 habitantes, y el consumo medio anual de Andalucía, se procedió a calcular la cantidad de cada uno de los productos del Poniente Almeriense que consume su población y la cantidad de AV contenida en esos productos, según los dos procedimientos de cálculo. Como resultado, se obtuvo que en el Poniente Almeriense se consumen 760 453.69 m<sup>3</sup> de agua procedente de los ocho productos que se cultivan en la comarca, según el primer método de cálculo, y 1 153 334.67 m<sup>3</sup> de acuerdo con la segunda metodología.

#### 4.6. Exportación e Importación de los productos del Poniente Almeriense.

Cabrera et al. (2010) señalan que las exportaciones de los productos hortícolas de la provincia de Almería se incrementaron durante la campaña 2009/2010, tanto en cantidad como en valor. En volumen, se observó un incremento del 2.3% en el número de toneladas exportadas en relación con la campaña anterior, y en valor el incremento fue de un 1.4%. Durante esta campaña, las exportaciones de productos hortícolas hacia el exterior representaron aproximadamente el 60.8% del total producido. De los ocho cultivos presentes en el Poniente Almeriense, solo la judía verde (-2.9%) y el tomate (-3.5%) presentaron una tendencia negativa, a pesar de que el tomate es el producto más exportado (el 24.8% del total de las frutas y hortalizas de la provincia). El 72.3% de las toneladas exportadas fueron de tomate, pimiento, pepino y el calabacín.

A efectos del estudio realizado, se consideró que toda la producción que no ha sido consumida en la comarca fue exportada, bien a otros municipios de la provincia, otras provincias españolas o al extranjero. El volumen exportado por producto se recoge en la Tabla 7.

Tabla 7. Agua virtual exportada en la comarca del Poniente Almeriense.

|              | Producción<br>t  | Consumo<br>t  | Volumen<br>exportado<br>t | AV exportada                   |                                |
|--------------|------------------|---------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|              |                  |               |                           | 1º método                      | 2º método                      |
|              |                  |               |                           | 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> | 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> |
| Tomate       | 286 000          | 3 461         | 282 539                   | 15 942                         | 22 568                         |
| Pimiento     | 412 410          | 1 060         | 411 350                   | 37 538                         | 43 561                         |
| Pepino       | 133 056          | 407           | 132 649                   | 4 299                          | 8 582                          |
| Calabacín    | 225 008          | 744           | 224 264                   | 12 099                         | 20 330                         |
| Sandía       | 337 155          | 1 818         | 335 337                   | 20 856                         | 26 190                         |
| Melón        | 122 220          | 2 111         | 120 109                   | 13 498                         | 17 421                         |
| Berenjena    | 203 320          | 484           | 202 836                   | 10 397                         | 14 401                         |
| Judía verde  | 7 980            | 422           | 7 558                     | 715                            | 3 373                          |
| <b>Total</b> | <b>1 727 149</b> | <b>10 508</b> | <b>1 716 641</b>          | <b>115 345</b>                 | <b>156 426</b>                 |

En relación con las importaciones almerienses, el volumen se ha reducido en un 2.8% en relación con la campaña anterior (Cabrera et al., 2010). El principal producto importado fue la judía verde, manteniendo el volumen de la campaña anterior, seguido del tomate, el calabacín y el pimiento. Las importaciones de productos en la Provincia de Almería han representado un 2.76% del total exportado, que en el caso de la judía es del 168.3%. Las importaciones que se realizan en la provincia obedecen a dos fenómenos muy diferentes, por un lado es una forma de complementar la oferta, y por otro lado, es un indicativo de la sustitución de la producción de producto local por productos foráneos. Según el comportamiento de la campaña anterior (2008/2009), las importaciones responden a la necesidad de cumplir acuerdos comerciales previos y complementar los pedidos desde origen. En el caso de la judía verde, se observa un comportamiento atípico, ya que existe un desplazamiento de la producción local por extranjera.

En este estudio se consideró que toda la producción hortícola importada es poco significativa y se reexporta, con excepción de la judía. Por tanto, el volumen de AV contenida en los productos importados correspondió únicamente a las importaciones de judía verde, considerando que no existe un consumo adicional de agua en el proceso de reexportación de los otros productos. Para calcular el volumen de AV importada en la judía verde, se consideró la relación importación/exportación de la Provincia de Almería, dando un total de 1 330 314 m<sup>3</sup> AV importada por la comarca, según el contenido de AV obtenido en la primera metodología, y de 6 274 052 m<sup>3</sup>, de acuerdo con la segunda metodología.

#### 4.7. Huella hídrica

El consumo de agua en los cultivos invernados del Poniente se ha reflejado anteriormente, con un total de aproximadamente 112 Hm<sup>3</sup>, según el consumo medio de agua de cada cultivo, o de 155 Hm<sup>3</sup>, según el método de las demandas evaporativas. Este consumo junto con el AV contenida en los productos importados y exportados, en los plásticos de invernadero, y en los fertilizantes y fitosanitarios utilizados, permiten calcular la HH de la agricultura intensiva del Poniente Almeriense (Tabla 8).

**Tabla 8.** Huella Hídrica de la Agricultura del Poniente Almeriense en la campaña 2009/2010 (10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>).

|           | $UA_{Agr}$ | $VW_{I,Agr}$ | $VW_{mp}$                |               |                | $VW_{E,Agr}$ | $WF_{Pon.int}$ |
|-----------|------------|--------------|--------------------------|---------------|----------------|--------------|----------------|
|           |            |              | Plásticos de invernadero | Fertilizantes | Fitosanitarios |              |                |
| 1º método | 112.53     | 1.33         | 0.20                     | 0.02          | 5.54           | 115.34       | 4.27           |
| 2º método | 155.34     | 6.27         | 0.20                     | 0.02          | 5.54           | 156.43       | 10.95          |

#### 4.8. Eficiencia monetaria

La Eficiencia Monetaria (*EM*) de la agricultura del Poniente pone de manifiesto la relación entre los flujos monetarios y los flujos hídricos (Tabla 9). Los valores monetarios asignados a la producción dependen de los precios comerciales, por ello, la rentabilidad monetaria del agua varía de unos flujos a otros al variar los precios en los diferentes mercados.

**Tabla 9.** Eficiencia monetaria de la Agricultura del Poniente Almeriense en la campaña 2009/2010.

| Cultivo     | Ingresos<br>103 € | Consumo de agua                |                                | <i>EM</i>        |                  |
|-------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
|             |                   | 1º método                      | 2º método                      | 1º método        | 2º método        |
|             |                   | 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> | 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> | €m <sup>-3</sup> | €m <sup>-3</sup> |
| Tomate      | 185 900           | 16 421                         | 22 844                         | 11.32            | 8.14             |
| Pimiento    | 284 563           | 38 137                         | 43 674                         | 7.46             | 6.52             |
| Pepino      | 155 091           | 11 326                         | 21 813                         | 13.69            | 7.11             |
| Calabacín   | 128 255           | 12 259                         | 20 397                         | 10.46            | 6.29             |
| Sandía      | 54 896            | 12 877                         | 15 879                         | 4.26             | 3.46             |
| Melón       | 46 444            | 13 817                         | 17 727                         | 3.36             | 2.62             |
| Berenjena   | 65 197            | 6 924                          | 9 447                          | 9.42             | 6.90             |
| Judía verde | 9 656             | 768                            | 3 561                          | 12.57            | 2.71             |

#### 4.9. Consumo por parte de la Población

Se expresan a continuación, para cada cultivo, el número de personas que consumen los productos exportados del Poniente Almeriense, tomando como consumo per cápita el valor medio de España (Tabla 10).

**Tabla 10.** Población que consume los productos del Poniente Almeriense fuera de la comarca.

| Cultivo      | Producción       | Producción exportada fuera de la comarca | Exportación con respecto a la producción | Población consumidora fuera de la comarca |
|--------------|------------------|--|--|---|
|              | t                | t  | %  | 10 <sup>3</sup> hab                       |
| Tomate       | 286.000          | 282.539                                  | 98.79                                    | 21.63                                     |
| Pimiento     | 412.410          | 411.350                                  | 99.74                                    | 85.94                                     |
| Pepino       | 133.056          | 132.649                                  | 99.69                                    | 72.31                                     |
| Calabacín    | 225.008          | 224.264                                  | 99.67                                    | 62.16                                     |
| Sandía       | 337.155          | 335.337                                  | 99.46                                    | 46.00                                     |
| Melón        | 122.220          | 120.109                                  | 98.27                                    | 14.36                                     |
| Berenjena    | 203.320          | 202.836                                  | 99.76                                    | 120.83                                    |
| Judía verde  | 7.980            | 7.558                                    | 94.72                                    | 3.43                                      |
| <b>Total</b> | <b>1 727.149</b> | <b>1 716.641</b>                         | <b>99.39</b>                             | <b>53.33*</b>                             |

\* Promedio de la población consumidora fuera de la comarca

#### 4.10. Consideraciones finales

Los valores obtenidos justifican el uso intensivo del agua en el Poniente Almeriense, ya que prácticamente toda el agua se exporta en forma de AV, siendo su HH muy pequeña, en el caso de los valores obtenidos en función del primer método de cálculo. A esto hay que añadir que la producción hortícola del Poniente Almeriense se caracteriza por su alta productividad y rentabilidad monetaria.

Además, la producción del Poniente Almeriense sirve para alimentar a un promedio de 53 millones de personas, y al compararlo con la población de la comarca (248 079 hab), se pone de manifiesto la importancia de la producción de esta comarca, tanto a nivel nacional como internacional, a donde se exporta un alto porcentaje.

Pero resulta necesario seguir optimizando la eficiencia hídrica de los sistemas de producción del Poniente Almeriense, debido a la limitación de los recursos hídricos que existe en zonas como el sudeste español. Un mayor control de los riegos permitirá mejorar la eficiencia hídrica y minimizar los lixiviados o drenajes, reduciendo por tanto el impacto medioambiental de los mismos. En España, la eficiencia hídrica en los cultivos en sustrato varía entre 31 y 40 l kg<sup>-1</sup> de producto (Salas-Sanjuán y Urrestarazu-Gavilán, 2001), superior a los 15 l kg<sup>-1</sup> de producto de Holanda.

### 5. ESTRATEGIAS PARA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA.-

A partir de la década de los sesenta se empezaron a introducir prácticas eficientes en el uso del agua con el objetivo de garantizar el recurso hídrico en el sector urbano (Arreguín-Cortés, 1991; Sánchez y Sánchez, 2004). Aplicándose posteriormente de manera progresiva estas estrategias en el sector agrario y en el sector servicios (Sánchez y Sánchez, 2004). Inicialmente, estas estrategias se implementaron como respuesta a emergencias locales, pero su eficiencia y la escasez actual de agua las han convertido en programas clave de mediano y largo plazos (Gordón, 1990; Van Dyke y Pettit, 1990; Sánchez y Sánchez, 2004).

Por otra parte, en casi todos los países áridos o semiáridos la adecuada gestión de los recursos hídricos es un tema tan importante como conflictivo (Aldaya y Llamas, 2008)). La situación actual en España es un ejemplo más entre los muchos casos que existen en la actualidad. Esta situación conflictiva obedece a distintas causas y tiene variadas soluciones de acuerdo no sólo con las características climáticas, sino también con factores económicos, políticos y culturales (Llamas, 2005).

La mayor parte de los expertos en estos temas suele admitir hoy que los conflictos hídricos no se deben normalmente a la escasez física de agua sino a la mala, a veces pésima,

gestión que realizan los poderes públicos de este recurso (Llamas, 2005). Llamas et al. (2008) considera que la escasez de agua en España se debe principalmente a la asignación ineficiente de los recursos hídricos y a la mala gestión de ella en el sector agrícola.

Los avances científico-técnicos de los últimos años permiten resolver una gran parte de los conflictos hídricos existentes. Llamas (2005) menciona como avances de gran interés: la desalación de las aguas marinas o salobres, el abaratamiento y la rapidez del transporte de mercancías, la facilidad para extraer aguas subterráneas a bajo coste, las técnicas para depurar las aguas urbanas e industriales, la biotecnología, entre otras.

En el caso de España, la presencia de un régimen de precipitaciones muy variado, la concentración de la aportación anual de los ríos (70%) en pocos meses y las inundaciones que se producen como consecuencia, y la sobreexplotación de los recursos hídricos, han producido un delicado y precario balance hídrico (Ministerio de la Presidencia, 2007). En el mismo sentido, Chapagain y Orr (2009) señalan que en la región del Mediterráneo existen presiones ambientales y sociales importantes que afectan el suministro de agua, como la sequía, la calidad del agua, el aumento de la población, el turismo y la actividad agrícola intensiva.

## **5.1. Sostenibilidad y Huella Hídrica**

La sostenibilidad de los recursos hídricos consumidos en un proceso, un producto, o por un consumidor o productor, depende de sus propias características, como son el tamaño de la huella hídrica, duración, ubicación, color, entre otras; y de las condiciones del área geográfica (Hoekstra et al., 2009). La sostenibilidad se puede analizar desde una perspectiva ambiental, social o económica, y a diferentes escalas, nivel micro (local – zona de captación), meso (cuenca hidrográfica) y macro (global, superior a la cuenca fluvial).

### **5.1.1. Perspectiva ambiental**

Los impactos locales pueden ocurrir por la sobreexplotación o la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, o debido a una reasignación del flujo de agua verde evaporada desde la vegetación natural a los cultivos (Hoekstra et al., 2009). Los impactos ambientales en una cuenta hidrográfica pueden ocurrir cuando existen pequeñas extracciones de agua o flujos de residuos que se acumulan y causan impactos posteriores río abajo en ecosistemas acuáticos o terrestres adyacentes al río. A nivel global, todas las HH que se van sumando crean una situación en la cual la escasez de agua dulce conduce a su sobreexplotación. Siendo importante analizar si esta situación se puede reducir o evitar.

Cuando las captaciones son bastante pequeñas (menos de 100 km<sup>2</sup>), se realiza una evaluación ambiental a nivel micro. En este caso, se incluyen los impactos que se producen dentro de la zona donde se evalúa la HH, pero los impactos aguas abajo no se incluirían en el estudio. Se pueden identificar los puntos conflictivos o calientes de la HH de un producto, de un consumidor o de un productor en función de los componentes que se localizan en la cuenca donde se consume o se contamina. En este nivel, el impacto de la HH de un producto, un consumidor o un productor, siempre dependerá de la suma de las HH de todas las actividades en relación con los recursos disponibles de agua y su capacidad de asimilación.

A partir de la evaluación ambiental, surgen tres impactos importantes: la escasez de agua verde, la escasez de agua azul y el nivel de contaminación del agua.

### **5.1.2. Perspectiva social**

Desde una perspectiva social, la sostenibilidad se relaciona con temas como el reparto equitativo, los efectos externos, los oportunistas, el empleo y la salud humana (Hoekstra et al., 2009). El reparto equitativo se analiza por ejemplo, cuando en la zona hay un gran consumidor de agua que obtiene grandes beneficios por la producción de productos de exportación, mientras las comunidades de alrededor no obtienen beneficio alguno y además sufren la contaminación ocasionada por este usuario. En una escala global, la equidad toma mayor relevancia, porque algunos consumidores tienen una HH cinco veces superior que otros, y los recursos de agua dulce a nivel mundial son limitados.

Los efectos externos son muy frecuentes en el empleo de los recursos hídricos: los costes del consumo y de la contaminación por la población ubicada aguas arriba de una cuenca hidrográfica no compensan a los consumidores aguas abajo. Los oportunistas son aquellos que extraen agua de los acuíferos o de los ríos en mayor cantidad que otros.

En relación con el empleo, ocurre en muchas regiones que la producción de cultivos en una cuenca lleva a la sobreexplotación de los recursos hídricos disponibles, que se pone de manifiesto por ejemplo, en la disminución de la capa freática. Este tipo de HH debe reducirse, pero puede ocurrir que sea a costa del empleo regional, efecto no deseado. La HH suele ser especialmente alta por el consumo de agua en la agricultura, que en muchos países es un sector importante de empleo. Por último, la HH gris puede afectar a la salud humana, tanto en el punto de eliminación de residuos como aguas abajo.

### **5.1.3. Perspectiva económica**

Una determinada HH siempre puede estar asociada con la creación de un determinado valor económico. Idealmente, el agua dulce se utiliza de manera que cree el más alto nivel de bienestar, entendiendo el bienestar en un sentido amplio e incluyendo cualquier valor que la sociedad considere pertinente (Hoekstra et al., 2009). Sin embargo, sólo pocas de las condiciones requeridas para el uso eficiente del agua se cumplen.

Generalmente, el abastecimiento de agua está altamente subsidiado, y en ocasiones no es asignada a los fines que crean el mayor beneficio posible a la sociedad y, la escasez de agua, la contaminación y los costes externos del abastecimiento de agua generalmente no se traducen en un coste real para el consumidor. Como consecuencia, los patrones de consumo están, en general, muy lejos del óptimo económico. El bienestar perdido de esta manera es lo que se puede considerar como el impacto económico (negativo) de la HH.

Entre las razones por las cuales las condiciones para el uso eficiente del agua no se cumplen, destacan el carácter público del agua y la ausencia física de la propiedad privada, de manera que no existe un mercado que establezca un precio de agua que se base en la oferta y la demanda, y que refleje su escasez. Y, en parte como resultado de la anterior, los usuarios suelen pagar un precio por el agua dulce que está muy por debajo de su valor económico real.

La mayoría de los gobiernos subsidian el suministro de agua a gran escala mediante la inversión en infraestructura. Estos costes generalmente no se cobran a los consumidores, y como resultado, existe un insuficiente interés comercial por parte de los consumidores para ahorrar agua. Además, la escasez de agua por lo general no se traduce como un componente adicional del precio de los bienes y servicios que se producen con el agua, como sucede de forma natural en el caso de los bienes privados.



Finalmente, los consumidores, por lo general, no pagan por los impactos negativos que causan en las personas o en los ecosistemas aguas abajo. Por tanto, las entradas de agua no forman un componente importante del precio total, e inclusive de los productos que más consumen agua. En definitiva, la producción de bienes no es, o no está suficientemente, regulado por la escasez de agua.

El impacto económico de la HH está relacionado de alguna manera con la ineficiencia en el uso del agua. Se pueden distinguir tres niveles en los que se puede considerar la eficiencia del uso del agua: local, cuenca hidrográfica y global (Hoekstra y Hung, 2002, 2005).

## **5.2. Gobernanza y gestión sostenible del agua**

Para alcanzar la gobernanza global del agua, el consumo sostenible del agua a nivel mundial incluye la equidad social, la sostenibilidad ambiental y la eficiencia económica. Además, todos los seres humanos deben tener los mismos derechos para acceder a los recursos hídricos, los ecosistemas deben ser preservados, y el agua se debe utilizar lo más eficientemente posible (Verkerk et al., 2008).

Hoekstra (2006) considera que los tres factores más importantes que dan a la gestión del agua una verdadera dimensión global son: el cambio climático, la liberalización del comercio y la privatización del sector hídrico. Los temas donde la coordinación a nivel global más podría contribuir para alcanzar la gobernabilidad efectiva del agua son: la promoción del uso del agua, garantizar el uso sostenible del agua y el fomento de la distribución equitativa de los recursos hídricos limitados.

Por lo general, cuando existe escasez de agua en una determinada región, es cuando se elaboran estrategias para buscar fuentes alternativas (Sánchez y Sánchez, 2004). Hoff (2009) considera que la gestión y la gobernanza del agua todavía no se han adaptado a las dependencias interescales e intersectoriales existentes y a sus dinámicas e incertidumbres.

Por otra parte, Novo et al. (2008) considera que la mayoría de la literatura sobre AV se ha centrado en la cuantificación de los flujos de AV y en su aplicación dentro de la seguridad alimentaria y el abastecimiento de agua. Sin embargo, en el análisis de las ganancias potenciales del comercio internacional, al menos desde una perspectiva de los recursos hídricos, es necesario tener en cuenta tanto las variaciones espaciales y temporales de agua azul (agua subterránea y superficial) y agua verde (humedad del suelo), así como las condiciones socioeconómicas y políticas.

El análisis de la política de agua española puede aportar experiencias interesantes para otros países de similares condiciones climáticas (áridos o semi-áridos) o económicas (economías emergentes) (Llamas et al. 2008). El aumento de la exportación de productos procedentes de cultivos intensivos depende en gran medida de tierras que no son tradicionalmente agrícolas y de la presencia de aguas subterráneas (Chapagain y Orr, 2009).

Verkerk et al. (2008) consideran que los acuerdos institucionales, factibles y realizables, para la gobernanza global del agua son: un protocolo de control de los precios del agua, acuerdos empresariales en informes de Sostenibilidad y permisos de HH. Además, consideran que estos acuerdos promueven la equidad social, la sostenibilidad ambiental y la eficiencia económica. Los tres acuerdos propuestos no son excluyentes entre sí, sino complementarios y se refuerzan mutuamente, de tal manera que el agua se utiliza de forma sostenible a nivel global.

### **5.3. Optimización del agua en la agricultura y ganadería**

El riego y la ganadería son las actividades agrarias que más agua consumen, siendo el riego la actividad económica que requiere mayor cantidad de agua (casi el 70% de la demanda total) (Sánchez y Sánchez, 2004). Llamas et al. (2008) señalan que en España el 90% del agua verde y azul se utiliza en el sector agrario, y por tanto las actuaciones para reducir la HH deben ser prioritarias en este sector. Además, una gestión eficiente del agua destinada al riego es esencial para lograr la eficiencia global del aprovechamiento del recurso (Sánchez y Sánchez, 2004).

Llamas et al. (2008) recomiendan corregir el mal aprovechamiento de una gran cantidad de agua azul en cultivos con altas exigencias de agua y de escaso valor económico. Es importante considerar que la eficiencia del riego se ha estimado en algo menos del 30% (GWP, 2000; Sánchez y Sánchez, 2004), y que con aproximadamente el 10% del agua azul empleada en el regadío se produce el 90% del valor económico de los cultivos de regadío (Llamas et al., 2008).

En el área del regadío con aguas subterráneas o mixtas, Llamas et al. (2008) considera que éstas ofrecen un mayor dinamismo en comparación con el riego con aguas superficiales. Principalmente, porque favorecen la resiliencia a las sequías, el estímulo emprendedor en la zona de influencia, el bajo coste de inversión, entre otras.

Como medidas para corregir la ineficiencia en el uso del agua de regadío es necesario que (Sánchez et al., 2003; Sánchez y Sánchez, 2004; Llamas et al., 2008):

- se reasignen los recursos de agua azul hacia cultivos con mayor valor económico y menor consumo de agua, en las futuras políticas agrarias y de manejo del agua.
- se replantee la continuidad de los cultivos de regadío tradicionales de escaso valor económico, o reconvertirlos al cultivo de secano, incrementando los pagos por servicios ambientales.
- se enfoque la producción hacia productos de calidad y/o ecológica.
- se mejore la operación de los sistemas de riego y el monitoreo de las condiciones del suelo y del clima.
- se establezca el papel de las aguas subterráneas en la política del agua española, y su correcta gestión.
- se desarrollen programas de control de pérdidas de agua, considerando el desarrollo y empleo de estructuras de aforo o medición, y la corrección de fugas en las redes de distribución.

La posible reasignación de recursos de agua azul de regadío gracias a la globalización del mercado de alimentos no significa necesariamente un impacto negativo en la seguridad alimentaria de España. Por lo contrario, es una oportunidad que de hecho puede contribuir a solucionar uno de los temas mas problemáticos cara a la directiva Marco Europea, como es disminuir sensiblemente la contaminación difusa de la agricultura intensiva, que es posiblemente el principal problema medio ambiental tanto en España como en casi todos los países industrializados (Llamas et al., 2008).

#### 5.4. Responsabilidad empresarial e innovación tecnológica

Para Llamas et al. (2008), España puede ser un país pionero en pasar de una política de "more crops and jobs per drop" (más cultivos y empleos por gota de agua) a una gestión de "more cash and care of nature per drop" (más dinero y cuidado de la naturaleza por cada gota de agua). Pero esta inevitable transición positiva requiere del fomento e incentivo de la innovación en el sector hídrico, de alimentos y de energía por parte del gobierno.

#### 5.5. Reducción del consumo doméstico de agua. Cambios en los patrones de consumo

Chapagain y Orr (2009) resaltan la dependencia por parte de los consumidores a nivel mundial de los escasos recursos locales de determinadas regiones. Siendo importante que los consumidores a nivel mundial tengan claro que es insostenible un mundo que aspire a consumir más agua de la que hay disponible. Como ejemplo de los distintos patrones de consumo, Chapagain y Hoekstra (2004) calcularon que el consumo per cápita de AV contenida en la alimentación varía según el tipo de dieta alimenticia, desde  $1 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$  para una dieta de supervivencia, hasta  $2,6 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$  para una dieta vegetariana, y de más de  $5 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$  para una dieta basada en carne, como es el caso de Estados Unidos, que tiene un consumo de  $120 \text{ kg cap}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Una opción para cambiar los patrones de consumo es que se haga más visible el carácter local del contenido de AV de un determinado producto (indicador adicional del uso de los recursos) a través de la cadena de suministro. De manera que se pueda comprender mejor las consecuencias e impactos del consumo en una determinada región sobre los recursos hídricos locales de otra. Por ejemplo, mediante programas específicos de conciencia o la implantación de un etiquetado de los productos con la cantidad de AV empleada.

Para alcanzar la sostenibilidad de los recursos hídricos mundiales, la reducción del consumo de carne roja sería un paso muy importante. Además, ayudaría a terminar con la lógica de que, a mayor consumo de agua, mayor nivel de desarrollo. También, los consumidores deben seguir los consejos por parte de los organismos internacionales, nacional, públicos y privados para reducir el gasto de agua en todas las actividades diarias.

### 6. Conclusiones

En la actualidad, el índice HH es un importante instrumento de evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos, utilizado tanto por responsables políticos como por científicos y empresarios. El conocer el consumo de AV de los distintos sectores de la económica ha puesto de manifiesto sus diferentes orígenes, y cómo han variado éstos en los periodos analizados.

Los distintos estudios realizados, principalmente en la última década, han puesto de manifiesto la heterogeneidad existente entre regiones y sectores, y han destacado aquellos que hacen un uso más eficiente de los recursos hídricos. De igual manera, se han enunciado distintas estrategias para reducir el consumo del agua, que buscan una mayor productividad y sostenibilidad de los recursos hídricos.

La metodología de Champagain y Hoekstra (2004) es la base de la estimación de la HH a distintas escalas y sectores. Esta metodología ha sido adaptada a las condiciones de la agricultura intensiva del Poniente Almeriense, obteniendo resultados científicos válidos.

Los valores obtenidos justifican el uso intensivo de los recursos hídricos en la agricultura intensiva del Poniente Almeriense, ya que prácticamente todos los recursos hídricos utilizados son exportados en forma de AV, siendo su HH muy pequeña. A esto hay que añadir que la producción hortícola del Poniente Almeriense se caracteriza por su alta productividad y rentabilidad monetaria.

A pesar de estos resultados, es necesario seguir optimizando el uso de los recursos hídricos de los sistemas de producción bajo plástico, debido a la limitación de los recursos hídricos que existe en zonas como el sudeste español. Un mayor control de los riegos permitirá mejorar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos y minimizar los lixiviados o drenajes, reduciendo por tanto el impacto ambiental de los mismos.

## 7. Bibliografía

- 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.
- ALDAYA, M.M., GARRIDO, A., LLAMAS, M.R., VARELA-ORTEGA, C., NOVO, P., RODRÍGUEZ-CASADO, R. (2010). Water footprint and virtual water trade in Spain. En: A. Garrido y M.R. Llamas (eds.). Water policy in Spain. CRC Press. Leiden, The Netherlands, pp. 49-59.
- ALDAYA, M.M., LLAMAS, M.R., (2008). Water footprint analysis for the Guadiana river basin. Papeles de agua virtual, nº 3. Fundación Marcelino Botín.
- ALLAN, J.A. (1993). Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible. En: Natural Resources Institute (ed). Priorities for water resources allocation and management. Overseas Development Administration. London. pp. 13-26.
- ALLAN, J.A. (1994). Overall perspectives on countries and regions. En: Rogers, P. and Lydon, P. (eds.). Water in the Arab World: perspectives and prognoses. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. pp. 65-100.
- ALLAN, J.A. (1998). Watersheds and problemsheds: explaining the absence of armed conflict over water in the Middle East. MERIA – Middle East Review of International Affairs, 2(1), 1-3.
- ALLAN, J.A. (2003). Virtual water eliminates water wars? A case study from the Middle East. En: A.Y. Hoekstra (ed.), Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Water Research Series, No.12. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- ANTÓN, M.A., MONTERO, J.I., MUÑOZ, P. (2005). LCA and tomato production in Mediterranean greenhouses. International Journal of Agricultural Resources Governance and Ecology 4 (2): 102-112.
- ARREGUÍN-CORTÉS, F.I. (1991). Uso eficiente del agua. Ingeniería hidráulica en México, 6(2): 9-22.
- BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO: (2008); Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.
- BOREALIS GROUP. (2009). Water Footprint. Disponible en: <http://www.borealisgroup.com/about/corporate-citizenship/global-challenges/water-and-sanitation/water-footprint/>
- CABRERA, A.M., MARZO, B., UCLÉS, D., MOLINA, J., GÁZQUEZ, J.C., GARCÍA, R. (2010). Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería - Campaña 2009/2010. Fundación Cajamar. Informes y Monografías 28.
- CADAHÍA, C. (1995). Fertilización. En: El cultivo del tomate. Ed. Mundi Prensa, Madrid.
- CADENAS TORTOSA, F., GONZÁLEZ VARGAS, J., HERNÁNDEZ JIMÉNEZ, M. (2003). El cultivo protegido del tomate. Camacho Ferre, F. (coord). Técnicas de producción en cultivos protegidos. Tomo 2. 483-539.

- CARA-RODRÍGUEZ, G, RIVERA-MENÉNDEZ, J. (1998). Residuos en la agricultura intensiva. El caso de Almería. Encuentro medioambiental almeriense.
- CÉSPEDES, A. J., GARCÍA GARCÍA, M. C., PÉREZ PARRA, J.J., CUADRADO GÓMEZ, I. M. (2009). Caracterización de la explotación hortícola protegida de Almería. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería. Huércal de Almería.
- CHAPAGAIN, A.K., HOEKSTRA, A.Y. (2003). Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. En: Value of Water Research Report Series No. 13. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- CHAPAGAIN, A.K., HOEKSTRA, A.Y. (2004). Water footprints of nations. Value of Water Research. Report Series No. 16. UNESCO-IHE. Delft, the Netherlands.
- CHAPAGAIN, A.K., ORR, S. (2009). An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes, *Journal of Environmental Management*, 90: 1219-1228.
- DE PABLO VALENCIANO, J., ESCUDERO MORENO, M.C., PÉREZ MESA, J.C. (2003). Costes de producción y utilización de la mano de obra en tomate: un estudio empírico para el cultivo bajo plástico en Almería. *Anales de economía aplicada*.
- FAO - AQUASTAT. (2003). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FUNDACIÓN CAJAMAR. (2008). PrHo - Programa de riegos para cultivos hortícolas bajo invernadero. Versión 1.0.
- FUNDACIÓN CAJAMAR. (2011). Clima - Series de datos día. Disponible en: <http://www.laspalmerillas.cajamar.es/Clima/PaginaClima2.htm>
- GLEICK, P.H. (ed). (1993). *Water in crisis: A guide to the world's fresh water resources*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP - GWP. (2000). Manejo integrado de recursos hídricos. TAC Background Papers 4.
- GORDON, L. D. (1990). Water Conservation for Oahu. In: *Proceedings of the Conserv 90*, Phoenix, Arizona, U.S.A.
- GRUPO TPM. (2011). Productos. Disponible en: <http://www.grupotpm.es/es/productos>
- HANASAKI, N., INUZUKA, T., KANAE, S., OKI, T., (2010). An estimation of global virtual water flow and sources of water withdrawal for major crops and livestock product using a global hydrological model. *Journal of Hydrology*, 384: 232-244.
- HISPAGUA - Sistema Español de Información sobre el Agua. 2006. Huella hídrica de las Naciones. Disponible en: [http://hispagua.cedex.es/documentacion/especiales/especial\\_huella\\_hidrica/introduccion.htm](http://hispagua.cedex.es/documentacion/especiales/especial_huella_hidrica/introduccion.htm)
- HOEKSTRA, A.Y. (2003). Virtual Water. An Introduction. *Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Values of Water Research Report Series nº 12*. IHE, Delft, Holanda.
- HOEKSTRA, A.Y. (2006). The global dimension of water governance: Nine reasons for global arrangements in order to cope with local water problems. *Value of Water Research Report Series Nº 20*. Delft, the Netherlands.
- HOEKSTRA, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., (2009). *Water footprint manual: State of the art 2009*. Water Footprint Network, Enschede, The Netherlands.
- HOEKSTRA, A.Y., Chapagain, A.K. (2007). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resour Manage*, 21:35-48.
- HOEKSTRA, A.Y., HUNG, P.Q. (2002). Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. In: *Value of Water Research Report Series No. 11*. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- HOEKSTRA, A.Y., HUNG, P.Q. (2005). Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change*, 15: 45-56.
- HOFF, H. (2009). Global water resources and their management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(2): 141-147.

- JUNTA DE ANDALUCÍA - Observatorio de Precios y Mercados de la Consejería de Agricultura y Pesca. (2010a). Boletín final de seguimiento de la Campaña 2009/10 - Sector hortícolas protegidos – Tomate.
- JUNTA DE ANDALUCÍA - Observatorio de Precios y Mercados de la Consejería de Agricultura y Pesca. (2010b). Boletín final de seguimiento de la Campaña 2009/10 - Sector hortícolas protegidos – Pimiento.
- JUNTA DE ANDALUCÍA - Observatorio de Precios y Mercados de la Consejería de Agricultura y Pesca. (2010c). Boletín final de seguimiento de la Campaña 2009/10 - Sector hortícolas protegidos – Pepino.
- JUNTA DE ANDALUCÍA - Observatorio de Precios y Mercados de la Consejería de Agricultura y Pesca. (2010d). Boletín final de seguimiento de la Campaña 2009/10 - Sector hortícolas protegidos – Calabacín.
- JUNTA DE ANDALUCÍA - Observatorio de Precios y Mercados de la Consejería de Agricultura y Pesca. (2010e). Boletín final de seguimiento de la Campaña 2009/10 - Sector hortícolas protegidos – Berenjena.
- JUNTA DE ANDALUCÍA - Observatorio de Precios y Mercados de la Consejería de Agricultura y Pesca. (2010f). Boletín final de seguimiento de la Campaña 2009/10 - Sector hortícolas protegidos – Judía Verde.
- KAYE, L. (2011). Tetra Pak v plastic water bottles - which is best for the environment?. Guardian Professional Network. Disponible en: <http://www.guardian.co.uk/sustainable-business/tetra-pak-versus-plastic-bottles-water>
- LI, C., UGOCHUKWU-NWOKOLI, S. (2010). Investigating the water footprint of Tetra Pak Carton Economy's beverage portfolio. Division of Water Resources Engineering, Department of Building and Environmental Technology, Lund University.
- LLAMAS, M.R., (2005). Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos. Discurso inaugural del año 2005-2006. (Water colours, virtual water and water conflict. Opening address of the 2005-06 Course). Revista de la Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid. Vol. 99 N<sup>o</sup>. 2, pp 369-389.
- LLAMAS, M.R., ALDAYA, M.M., GARRIDO, A., LÓPEZ-GUNN, E. (2008). Soluciones para la escasez del agua en España y su aplicación a otras regiones. Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (España), 102(2): 1-14.
- LLAMAS, M.R., MARTÍNEZ-SANTOS, P. (2005). Intensive Groundwater Use: Silent Revolution and Potential source of Conflicts. Journal on Water Resources Planning and Management, 131(5): 337-341.
- MADRID, C. (2007). Hidratar el Metabolismo Socioeconómico: Los Flujos de Agua Virtual y el Metabolismo Hídrico. Una aproximación al sector hortofrutícola Andaluz. Universidad Autónoma de Barcelona.
- MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. (2007). Estrategia Española de Desarrollo Sostenible 2007. Imprenta Nacional del Boletín Oficial del Estado. Madrid.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE - MMA. (2000). Libro Blanco del Agua. Centro de Publicaciones, Secretaría general Técnica, Ministerio de Medio Ambiente.
- NOVO, P., GARRIDO, A., LLAMAS, M.R., VARELA-ORTEGA, C. (2008). Are virtual water "flows" in Spanish grain trade consistent with relative water scarcity?. Papeles de agua virtual, n<sup>o</sup> 1. Fundación Marcelino Botín.
- RODRÍGUEZ-CASADO, R., GARRIDO-COLMENERO, A., LLAMAS-MADURGA, M., VARELA-ORTEGA, C., (2008). La huella hidrológica de la agricultura española. Papeles de Agua Virtual. Fundación Marcelino Botín.
- RODRÍGUEZ-CASADO, R., NOVO, P., GARRIDO, A., (2009). La huella hídrica de la ganadería española. Papeles de Agua Virtual 4 Fundación Marcelino Botín.
- SALAS-SANJUÁN, M.C., URRESTARAZU-GAVILÁN, M. (2001). Objetivos, controles y métodos de fertirrigación en cultivo sin suelo. Horticultura, 157, 38-48.
- SÁNCHEZ, L.D. PEÑA, M. SÁNCHEZ, A. (2003). Uso Eficiente del Agua: un recurso de agua en sí mismo. Nueva Industria. Producción Más Limpia y Competitividad, 9.

- SANCHEZ, L.D. SANCHEZ, A. (2004). Uso Eficiente Del Agua. IRC International Water and Sanitation Centre CINARA Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico.
- SHIKLOMANOV, I.A. (2000). Appraisal and assessment of world water resources. *Water International*, 25(1), 11-32.
- SIEBERT, S., DÖLL, P. (2010). Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*, 384: 198–217.
- SOLPLAST. S.L. (2011). Productos. Disponible en: <http://www.solplast.com/>
- SOTELO NAVALPOTRO, J.A. (2009). Las lógicas ilógicas del agua. *Tribuna Complutense*. pp.4.
- SOTELO NAVALPOTRO, J.A. et alii. (2010). La "Huella Hídrica" española en el contexto del cambio ambiental. Fundación Mapfre. Madrid. 218pp.
- SOTELO NAVALPOTRO, J.A. et alii. (2011). "Huella Hídrica", desarrollo y sostenibilidad en España. Fundación Mapfre. Madrid. 425pp.
- SOTELO NAVALPOTRO, J.A. et alii. (2011). Análisis "coste-beneficio" y "coste-eficiencia" de la "Huella Hídrica" en España. *Observatorio Medioambiental*, vol 14. Pp 225-254.
- UNIÓN EUROPEA. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- VAN DYKE, P PETTIT, P. (1990). Pennsylvania Comprehensive Drinking Water Facilities Plan: Innovative Policy For Over. 2400 Community Water Systems. En: *Proceedings of the Conserv 90*, Phoenix, Arizona, U.S.A.
- VELÁSQUEZ, E. (2009). Agua virtual, huella hídrica y el binomio agua-energía: repensando los conceptos. *Boletín Especial ECODES: Agua: Hitos y Retos 2009*. Marzo de 2009.
- VERKERK, M.P. HOEKSTRA, A.Y. GERBENS-LEENES, P.W. (2008). Global water governance: conceptual design of global institutional arrangements. *Value of water research report series N° 26*. Delft, the Netherlands.
- YANG, H., ZEHNDER, A.J.B. (2002). Water Scarcity and Food Import: A Case Study for Southern Mediterranean Countries. *World Development*, 30: 1413-1430.