

# Caso Práctico: Huella hídrica fibra de algodón

Huella Hídrica de Productos,  
Servicios y Organizaciones



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

Conselleria de Medi Ambient,  
Aigua, Infraestructures i Territori

## CONTENIDO

<b>DEFINICIÓN DE OBJETIVO Y ALCANCE .....</b>	<b>2</b>
Objetivo.....	2
Alcance .....	2
Mapa de procesos .....	2
Unidad funcional.....	3
Metodología utilizada.....	3
<b>CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA .....</b>	<b>4</b>
Cálculo huella hídrica azul y verde.....	4
Cálculo de la huella hídrica gris .....	7
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>9</b>
<b>ANEXO I: MÉTODO ALTERNATIVO PARA CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE UN CULTIVO .....</b>	<b>10</b>

### DEFINICIÓN DE OBJETIVO Y ALCANCE

#### Objetivo

El caso de estudio es sobre una empresa productora de algodón ubicada en Valencia, España. El **objetivo** es el de calcular el consumo y la contaminación del agua asociada a la producción de la fibra de algodón (**huella hídrica de producto**).

Con este estudio se pretende:

- Identificar aquellas fases del proceso productivo que generan un mayor consumo del recurso hídrico;
- Informar sobre las buenas prácticas que la empresa lleva a cabo para la protección del recurso;
- Poder proponer medidas que ayuden a ahorrar en el consumo.

#### Alcance

El estudio se centra en la huella hídrica de la producción de algodón, por lo que el alcance del estudio comprende los procesos del ciclo de vida de la fibra de algodón. La **cobertura temporal** es la campaña de producción de algodón correspondiente al 2021-2022.

La Huella Hídrica tendrá en cuenta los tres indicadores de Huella Hídrica: **azul, verde y gris**.

En cuanto al criterio de corte establecido, se incorporan todos los **consumos de agua directos e indirectos** que supongan más del **1%** del total de la huella hídrica.

#### Mapa de procesos

La clave para la identificación de los consumos a tener en cuenta en el estudio consiste en definir el ciclo de vida de un producto e identificar aquellos flujos de materia y energía esenciales para la producción de un producto y que además estos supongan, dentro del volumen total de consumos de la entidad, un consumo representativo según el criterio de la propia entidad.

Para ello analizaremos el **mapa de procesos** implicado en la producción de algodón bajo un enfoque de análisis de ciclo de vida, así como los límites del sistema.



Figura 1. ACV simplificado de la producción de algodón.

Según el alcance de estudio, el ciclo de vida será **de la cuna a la puerta**, incluyendo los procesos de cultivo y recolección.

### Unidad funcional

Según las consideraciones de la *Water Footprint Network*, todo el estudio irá referido a una **unidad funcional** específica. Para el caso de estudio, la unidad funcional utilizada es una tonelada de algodón producida.

Como se verá a lo largo del caso práctico, para tener referenciada la huella hídrica según la unidad funcional establecida, se utiliza un rendimiento del cultivo de **3,27 t /ha**, puesto que se disponen de datos de consumo de agua por hectárea.

Este dato servirá para, una vez tengamos todos los consumos de agua por hectárea producidos durante el periodo de estudio, podamos identificar cuánto se consume por tonelada de algodón producido; en esto consiste referenciar el estudio según su unidad funcional.

### Metodología utilizada

La metodología de cálculo empleada será la propuesta en el Manual de la *Water Footprint Network* (WFN) de evaluación y cálculo de la huella hídrica.

## CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA

Una vez se obtienen los flujos elementales de materia y energía del sistema, se procede al cálculo de la huella hídrica del producto estudiado. Se aconseja acudir a la guía de huella hídrica para recordar los conceptos de huella hídrica azul, verde y gris y uso consuntivo de agua.

Uno de los pasos fundamentales para el estudio de la huella hídrica es hacer un buen **inventario**. Para el caso de una empresa productora de algodón, el inventario podría ser el siguiente:

Entradas		Procesos	Salidas
Directas	Indirectas		
1. Agua de pozo	2. Fertilizantes 3. Consumo de combustibles fósiles (maquinaria) 4. Fitosanitarios 5. Electricidad	Plantación y recolección	6. Lixiviados 7. Envases usados y otros residuos

Tabla 1. Inventario de huella hídrica en el proceso de cultivo.

El cálculo de la huella hídrica deberá ser completo, sin embargo, por la complejidad que puede llegar a presentar el cálculo de la huella hídrica en un cultivo, para el caso de estudio no se han considerado los consumos de agua indirectos.

Para más información sobre cómo calcular los consumos de agua indirectos se puede consultar la “Guía para el cálculo de la Huella Hídrica”, además del otro caso práctico propuesto.

### Cálculo huella hídrica azul y verde

Según la metodología de cálculo, en el estudio de las necesidades hídricas de un cultivo se tienen en cuenta las cantidades de agua evapotranspiradas o incorporadas al producto, ya sea de agua verde (de lluvia) o agua azul (de riego).

La **evapotranspiración** de un cultivo puede ser medida o estimada por medio de un modelo basado en fórmulas empíricas. La medición de la evapotranspiración (ETP) es costosa y poco frecuente.

Para estimar el consumo de agua del cultivo de algodón, la lluvia efectiva y las necesidades de riego, se ha aplicado el modelo CROPWAT<sup>1</sup>. El modelo dispone de una guía o manual de uso y

<sup>1</sup> Desarrollado por la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO), que se basa en el método descrito en Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998) ‘Crop evapotranspiration:

explica cada paso y dato necesario para el cálculo. Por lo general, mucho de los datos necesarios para el cálculo serán datos que dispone la propia empresa objeto de estudio. Para aquellos casos en los que la información no se disponga, acudiremos a la base de datos CLIMWAT 2.0<sup>2</sup> que facilita los datos climáticos necesarios en el formato requerido por el modelo CROPWAT 8.0. Los datos no corresponden a un año específico, sino que son promedios de 30 años. (CLIMWAT 2.0 database, FAO, Rome).

Para el modelo, necesitamos conocer:

- Datos climáticos de la zona respectiva, los cuales se obtienen de la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio.
- Los coeficientes de rendimiento del cultivo (Kc), la profundidad de las raíces, el nivel de agotamiento crítico del agua en el suelo y el factor de respuesta del rendimiento del cultivo se obtienen de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Los datos de suelo con los cuales debe estimarse el balance de agua también es un dato que se puede obtener de la FAO. Además, El propio programa ofrece las bases para utilizar una opción u otra en función de las características del cultivo.

Para el caso que aplica los datos de partida que necesitamos para el estudio son:

CULTIVO DE ALGODÓN	
Fecha de Siembra	15-abril
Cosecha	26-octubre
Periodo	195 días
Rendimiento del cultivo (ton/ha)	3,27
Riego superficial (mm)	40

Tabla 2. Datos de partida.

Para el cálculo que aquí se presenta, se han elegido las siguientes opciones a seleccionar en el modelo CROPWAT<sup>3</sup>:

---

Guidelines for computing crop water requirements', FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization, Rome.

CROPWAT 8.0 model, FAO, Rome, Para más información y descarga del software: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>

<sup>2</sup> Para más información sobre la base de datos, acceder a la siguiente dirección: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/>

<sup>3</sup> El modelo ofrece varias opciones en función de la disponibilidad de los datos por parte de la empresa. Al ser un cálculo teórico, las opciones que aquí se presentan son las elegidas por falta de datos reales.

- Se toma la opción de “necesidades de agua de los cultivos” (crop water requirement), en la que se suponen condiciones óptimas. La otra opción que ofrece el programa es la de especificar el suministro de riego real en el tiempo.
- Se considera la opción de “riego en el momento de agotamiento crítico” y “relleno del suelo hasta la capacidad de campo”, ya que se asume la hipótesis de un riego “óptimo”, en la que los intervalos de riego son máximos, pero evitando cualquier estrés al cultivo.
- Se considera “escenario de riego en el momento de agotamiento crítico” y “relleno del suelo hasta la capacidad de campo”, con riegos cada 7 días que llegan a 40 mm de profundidad en el suelo.

Después de ejecutar el software con las opciones de riego seleccionados, se obtiene:

- Evapotranspiración azul (ETPaz)= 630,6 mm/periodo
- Evapotranspiración verde (ETPv)=132,9 mm/periodo

Existen otras vías para calcular la evapotranspiración de los cultivos sin necesidad de emplear modelos, como el descrito en el anexo I, incluso son datos que la propia empresa puede disponer. Al ser un ejemplo teórico, se ha optado por el uso de este modelo.

Los resultados que el programa facilita, una vez se incorporan todos los datos anteriores son:

- Evapotranspiración total de cultivo y precipitación efectiva. El mínimo entre ambos términos resulta ser la evapotranspiración de agua verde.
- La diferencia entre la evapotranspiración total del cultivo y la precipitación efectiva total es la evapotranspiración del agua azul.
- Cuando la precipitación efectiva es mayor que la evapotranspiración total del cultivo, la evapotranspiración azul es igual a cero.

Una vez se tiene la evapotranspiración, el cálculo del consumo de agua se obtiene de la siguiente manera:

- a) Consumo de agua verde

$$CAUCv = 10 \cdot 132,9 \text{ m}^3/\text{ha} = \mathbf{1.329 \text{ m}^3/\text{ha}}$$

- b) Consumo de agua azul

$$CAUCaz = 10 \cdot 630,6 \text{ m}^3/\text{ha} = \mathbf{6.306 \text{ m}^3/\text{ha}}$$

Siendo 10 el factor aplicado para convertir la cantidad de agua hasta una profundidad de 10 mm, en volúmenes de agua por unidad de superficie, en m<sup>3</sup>/ha. Por último, la huella hídrica del

proceso de crecimiento de un cultivo ( $HH_{cv}$ , en  $m^3/t$ ) se calcula como el cociente del Consumo de Agua Verde Utilizada en el Cultivo ( $CAUC_{cv}$ , en  $m^3/ha$ ), entre el Rendimiento del Cultivo<sup>4</sup> ( $RC$ , en  $t/ha$ ):

a) Huella hídrica verde:

$$HH_{CV} = \frac{1.329}{3,27} = \mathbf{406,42\ m3/ton}$$

b) Huella hídrica azul:

$$HH_{CAX} = \frac{6.306}{3,27} = \mathbf{1.928,44\ m3/ton}$$

Además del agua que se evapotranspira, existe consumo de agua por incorporación al producto. Para estimar ese componente de la huella hídrica basta con emplear el dato del contenido de agua del cultivo. En el caso del algodón, el contenido en humedad es del 15% sobre su peso. Esto es 150 litros de agua por tonelada de producto.

Debemos diferenciar el agua verde y azul contenida en el producto. Para esto se supone que el Agua incorporada verde es la misma que la azul, es decir, suponemos un 50% de agua azul y un 50% de agua verde.

### Cálculo de la huella hídrica gris

Para el cálculo de la huella hídrica gris se adoptan las siguientes hipótesis:

- La tasa media de aplicación de fertilizantes es de  $180\ kg/ha^5$ , en varias aplicaciones, por lo que la cantidad total de fertilizante empleado es de  $0,18\ ton/ha$  y año.
- La cantidad de nitrógeno lixiviado o arrastrado por escorrentía, que llega a cauces y masas de agua se supone que es el 10% de la tasa de fertilización aplicada (en  $kg/ha/año$ )<sup>6</sup>. El efecto de la utilización de otros nutrientes, plaguicidas y herbicidas para el medio ambiente no se considera.

---

<sup>4</sup> Recordemos del apartado 1 de primeros pasos, la unidad funcional seleccionada para este tipo de estudios es “tonelada de algodón”. Al tener los datos de consumo de agua por hectárea, para obtener la HH ( $m^3/t$ ) se debe dividir por el rendimiento del cultivo ( $t/ha$ ).

<sup>5</sup> Se obtienen de datos internos de la empresa.

<sup>6</sup> Según el Manual de la *Water Footprint Network*.

- La concentración máxima permitida en las masas de agua superficial ( $C_{max}$ ) es de 10 mg/litro, medida como nitrógeno. Este valor puede variar según las normativas específicas de la localización del cultivo<sup>7</sup>.
- Por falta de datos adecuados, la concentración natural de nitrógeno en las masas de agua receptoras se ha considerado cero<sup>8</sup>.

Como norma ambiental de calidad del agua para el nitrógeno, se ha utilizado 10 mg/litro (medido como nitrógeno). Este límite se ha usado para calcular el volumen de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes.

Según la fórmula de la Water Footprint Network, la huella hídrica gris para el parámetro nitrógeno, se calcula de la siguiente manera:

$$HH_{cg} = \frac{\left(180 \frac{Kg}{ha} \cdot 0,01\right) / \left(0,001 \frac{Kg}{m^3} - 0 \frac{Kg}{m^3}\right)}{3,27 \frac{ton}{ha}} = 550,46 \text{ m}^3/\text{ton}$$

La huella hídrica gris del cultivo relacionada con las toneladas cultivadas es de 550,46 m<sup>3</sup>/ton.

---

<sup>7</sup> Este dato debe obtenerse de la legislación local, por lo que resulta obligada la consulta de las Directivas Europeas, las Confederaciones Hidrográficas (Planes Hidrológicos, etc.), las comunidades autónomas y el Ministerio con competencia en medio ambiente.

<sup>8</sup> La *Water Footprint Network* recomienda que, siempre que no se disponga de datos de concentraciones naturales del medio, se utilice el valor cero ( $C_{nat}=0$ ) para el cálculo de huella hídrica gris.

## RESULTADOS

La suma de los tres indicadores, huella hídrica verde, azul y gris, da como resultado la huella hídrica total de la producción de una tonelada de algodón.

$$HH_C = 406,49 + 1.928,51 + 550,46 = \mathbf{2.885,46 \text{ m}^3/\text{ton}}$$

La huella hídrica de una tonelada de algodón es de **2.886 m<sup>3</sup>**.

CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE ALGODÓN	
ET <sub>v</sub> (mm/periodo)	132,90
ET <sub>AZ</sub> (mm/periodo)	630,60
ET <sub>c</sub> (mm/periodo)	763,50
CAUC <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /ha)	1.329,00
CAUC <sub>AZ</sub> (m <sup>3</sup> /ha)	6.306,00
CAUC <sub>total</sub> (m <sup>3</sup> /ha)	7.635,00
RC (ton/ha)	3,27
HH <sub>cv</sub> (m <sup>3</sup> /ton)	<b>406,49</b>
HH <sub>CAZ</sub> (m <sup>3</sup> /ton)	<b>1.928,51</b>
AF (Kg/ha)	180,00
HH <sub>CG</sub> (m <sup>3</sup> /ton)	<b>550,46</b>
HH <sub>CULTIVO</sub> (m <sup>3</sup> /ton)	<b>2.889,13</b>

Tabla 3. Resumen de los resultados obtenidos al cálculo de la HH del algodón.

## RESULTADOS HH CULTIVO DE ALGODÓN

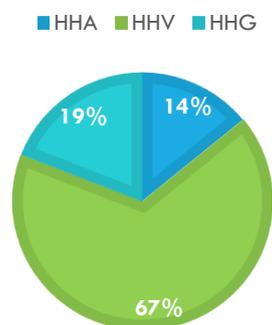


Ilustración 2. Reparto de consumos según indicadores de huella hídrica

## ANEXO I: MÉTODO ALTERNATIVO PARA CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE UN CULTIVO

El modelo CROPWAT puede llegar a calcular de manera precisa las necesidades hídricas del cultivo, sin embargo, no deja de ser un modelo matemático que podemos simplificar utilizando información de la zona de referencia.

A continuación, se detalla cómo el modelo calcula la evapotranspiración azul y verde y los datos que necesitamos para el cálculo manual.

La información que necesitamos recopilar para este cálculo es la siguiente:

- Evapotranspiración de la zona de estudio (ET<sub>o</sub>): se obtiene de la estación meteorológica más cercana a la finca objeto de estudio.
- Precipitación total: se obtiene de la estación meteorológica más cercana a la finca objeto de estudio.
- Precipitación efectiva: se supone el 80% de la precipitación total.
- Coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>), que incorpora las características del cultivo y la evaporación promedio del suelo. Estos valores se pueden obtener de la FAO, al igual que en el modelo CROPWAT.

La fórmula utilizada para el cálculo es la siguiente:

$$\text{Evapotranspiración total de cultivo (Etc)} = E_{to} \cdot K_c$$

Por último, diferenciamos la evapotranspiración verde y azul según los resultados obtenidos:

- Evapotranspiración total de cultivo y precipitación efectiva. El mínimo entre ambos términos resulta ser la evapotranspiración de agua verde.
- La diferencia entre la evapotranspiración total del cultivo y la precipitación efectiva total es la evapotranspiración del agua azul.
- Cuando la precipitación efectiva es mayor que la evapotranspiración total del cultivo, la evapotranspiración azul es igual a cero.

Se ha de mencionar que los resultados que aquí se obtienen son de evapotranspiración de agua y no de huella hídrica. Para hacer la transformación se deberá aplicar lo explicado en el apartado de *cálculo de huella hídrica azul y verde*