



**HAL**  
open science

# Resumen de métodos para estimar el consumo de agua en el análisis socio-económico de un territorio de Bosque Modelo

Melissa Cuevas, Abigaïl Fallot

► **To cite this version:**

Melissa Cuevas, Abigaïl Fallot. Resumen de métodos para estimar el consumo de agua en el análisis socio-económico de un territorio de Bosque Modelo. 2014. hal-01089513

**HAL Id: hal-01089513**

**<https://hal.science/hal-01089513>**

Preprint submitted on 1 Dec 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EcoAdapt Working Paper Series

*Adaptation to climate change for local development*

# **Resumen de métodos para estimar el consumo de agua en el análisis socio-económico de un territorio de Bosque Modelo**

**Melissa Cuevas, CATIE-CCC (consultoría 2012)**

**Abigail Fallot, CIRAD-Green y CATIE-CCC**

### Authors

**Lead author:** Melissa Cuevas has gathered the information, and written most of the article.

**Co-author:** Abigail Fallot ([fallot@cirad.fr](mailto:fallot@cirad.fr)) has provided ideas, extensive review, copy editing, rewriting and restructuring, and research management

### Contributors

**Contributor:** Devisscher Tahia ([tahia.devisscher@sei-international.org](mailto:tahia.devisscher@sei-international.org))

### Collaborators

**Collaborator:** William Watler

**Collaborator:** José Ney Rios ([jrios@catie.ac.cr](mailto:jrios@catie.ac.cr)).

### Versions

**Versión inicial:** informe Melissa Cuevas, octubre 2012.

**Versión final:** noviembre 2014

## Resumen, en castellano y en inglés

### Resumen

Con el afán de precisar la contribución del agua a la socio-economía de un territorio de Bosque Modelo, se revisa diferentes propuestas metodológicas de estimación del consumo de agua. Huella hídrica; estimación de una matriz insumo-producto; y Inventarios de Análisis de Ciclo de Vida, los tres métodos encontrados y estudiados con base a sus casos de aplicación, se presentan de forma sintética, haciendo resaltar sus especificidades y posible relevancia en los contextos de territorios rurales con vacíos de información sobre la situación del agua.

### Abstract

With the intention to precise the contribution of water to the socio-economy of Forest Model Landscape, several methodological proposals are revised, that allow to estimate water consumption. Three main methods are considered on the basis of their scope and implementation case: water footprint; estimation from an input-output matrix; life-cycle analysis inventories. They are presented in a synthetic way, highlighting their specificities and possible relevance in the contexts of rural territories with knowledge gaps on the water situation.

## Lista de acrónimos

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

BM: Bosque Modelo

HH: Huella Hídrica

WEAP: Water Evaluation And Planning

## Contenido

.....	1
Resumen, en castellano y en inglés .....	3
Contenido.....	4
Lista de acrónimos.....	3
Introducción: información incompleta de la situación del agua .....	5
Métodos de estimación cuantitativa del consumo de agua por sector.....	5
Estimaciones de la huella hídrica.....	5
Huella hídrica del sector agropecuario por agregación de huellas hídricas por producto (Mekonnen & Hoekstra 2010) .....	6
Huellas Hídricas de cultivos estimadas con CROPWAT 8.0 .....	7
Huella Hídrica del sector agrícola (Salmoral, et al. 2011).....	8
Huella Hídrica de los embalses (Salmoral, et al. 2011) .....	9
Estimación del consumo de agua por el modelo Insumo - Producto de Leontief (Velázquez 2005) ..	9
Inventarios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) .....	10
Discusión .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Estimación del consumo de agua en los territorios de Bosque Modelo.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Integrar oferta y demanda: el modelo de estimación WEAP ( <i>Water Evaluation and Planning System</i> ).....	11
Tabla 8. Modelo de estimación WEAP (Water Evaluation and Planning System) .....	12
Conclusión .....	13
Agradecimientos.....	14
Referencias (vínculos averiguados en octubre 2014) .....	14

## Tablas

TABLA 1. HUELLA HÍDRICA DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS CONFORME A VALORES ESTIMADOS POR MEKONNEN & HOEKSTRA (2010) Y ESTADÍSTICAS DE FAOSTAT .....	6
TABLA 2. ESTIMACIÓN ACTUALIZADA Y LOCAL DE LOS CULTIVOS DE ZENG, ET AL. (2012).....	7
TABLA 3. HUELLAS HÍDRICAS DE CULTIVOS ESTIMADAS CON CROPWAT 8.0 .....	8
TABLA 4. HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR AGRÍCOLA CON MÉTODO DE SALMORAL, ET AL. (2011) .....	9
TABLA 5. HUELLA HÍDRICA DE LOS EMBALSES CON METODOLOGÍA DE SALMORAL, ET AL. (2011).....	9
TABLA 6. MODELO INSUMO- PRODUCTO DE VELÁZQUEZ (2005).....	10
TABLA 7. INVENTARIOS DE ESTIMACIÓN DE CICLO DE VIDA PARA EL AGUA.....	10
TABLA 8. MODELO DE ESTIMACIÓN WEAP (WATER EVALUATION AND PLANNING SYSTEM).....	12

## Introducción: información incompleta de la situación del agua

En el marco del proyecto “Estrategias basadas en ecosistemas e innovaciones en redes de gobernanza del agua para la adaptación al Cambio Climático en Paisajes Latinoamericanos” (EcoAdapt<sup>1</sup>), se pretenden evaluar los posibles escenarios frente a problemáticas de seguridad hídrica vinculada a variables climática. A la escala de territorios de Bosques Modelo localizados en Argentina (Jujuy), Bolivia (Chiquitania) y Chile (Alto Malleco), se busca precisar la situación actual del agua con datos sobre su disponibilidad y su consumo.

En esos territorios, la información sistematizada sobre el consumo de agua es escasa y no corresponde a la cobertura y el nivel de detalle adecuados (estadísticas puntuales para una sola ciudad del territorio por ejemplo, o regionales a escala mayor). En ese contexto de información incompleta, surge la necesidad de conocer los métodos de estimación cuantitativa del consumo de agua y evaluar su relevancia para diagnósticos sobre la situación del agua desde la perspectiva economista.

Este trabajo tiene como objetivo presentar los métodos analizados para estimar el consumo (y la demanda) de agua en las áreas de los Bosques Modelo donde prevalecen las actividades agrícolas (Cuevas y Fallot, 2014) y donde existen embalses o proyectos de embalses (Le Coq et al, 2013). Identificamos tres métodos: el cálculo de huella hídrica, el uso del modelo insumo-producto, los inventarios de análisis de ciclo de vida. Además consideramos un programa de estimación conjunta del consumo y de la oferta de agua, WEAP.

## Métodos de estimación cuantitativa del consumo de agua por sector

Los métodos se basan sobre un entendimiento de la distinción entre diferentes tipos de agua (Hoekstra, et al. 2009).

- **Agua Azul:** el agua dulce superficial o subterránea que es posible utilizar
- **Agua Verde:** el agua que absorben las plantas y los árboles que no recarga los mantos acuíferos
- **Agua Gris:** el agua que ha sido contaminada. Se define como el volumen de agua limpia que se necesita para asimilar la carga de los contaminantes basado en los estándares, aplicados a la zona de estudio, de calidad de agua del ambiente.

## Estimaciones de la huella hídrica

**La huella hídrica es** el volumen de agua consumido en la producción de un bien o en la realización de un servicio. Corresponde al agua que se consume y no regresa a la cuenca de la que fue extraída.

La huella hídrica de un producto distingue el tipo de agua consumido.

$$\text{Huella Hídrica}_{\text{AZUL}} (\text{producto}) = \text{Evaporación de agua}_{\text{AZUL}} + \text{Incorporación al producto de agua}_{\text{AZUL}} + \text{Flujo perdido (regresa a otra fuente o regresa en otro tiempo)}$$

<sup>1</sup> Este proyecto es una iniciativa de investigación-acción llevada a cabo por centros de investigación y organizaciones de la sociedad civil, el cual busca fortalecer las capacidades de las comunidades en los procesos de gestión de sus recursos naturales, en especial en lo relacionado a la gestión del agua.

**Huella Hídrica VERDE (producto) = Evaporación de agua VERDE + Incorporación al producto de agua VERDE**

**Huella Hídrica GRIS (producto) = Carga de contaminantes/ Concentración de contaminante en el efluente – Concentración natural en el cuerpo de agua)**

La red sobre huellas hídricas ([www.waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org)) explica cómo calcular una huella hídrica y comparte datos sobre los valores de huella hídrica unitaria de más de 120 productos agropecuarios (Mekonnen & Hoekstra 2010).

### **Huella hídrica del sector agropecuario por agregación de huellas hídricas por producto (Mekonnen & Hoekstra 2010)**

Consiste básicamente a sumar huellas hídricas por productos multiplicadas por los volúmenes de esos productos.

Al nivel nacional, esos volúmenes se encuentran en las estadísticas de la FAO. Para estimar la producción de cada cultivo, se multiplican: la superficie sembrada por cultivo (en ha.) y los valores de rendimiento de cultivo nacionales estimados en FAOSTAT (en kg. por ha.). Del mismo modo para obtener la producción pecuaria se multiplican: el número de cabezas y los valores de rendimiento estimados nacionalmente por tipo de ganado en FAOSTAT. Para el caso de los cultivos perennes y los árboles, se debe de calcular el promedio de la producción anual sobre el total del ciclo de vida de la planta. También para el consumo de agua del cultivo perenne es necesario dividir el consumo de agua por el ciclo de vida.

**Tabla 1. Huella hídrica de productos agropecuarios conforme a valores estimados por Mekonnen & Hoekstra (2010) y estadísticas de FAOSTAT**

<b>Ámbito</b>	Sector agropecuario
<b>Variabes necesarias</b>	✓Valor estimado de huella hídrica de los productos agrícolas ✓Producción de cada producto <sup>2</sup>
<b>Variabes obtenidas</b>	●Huella hídrica azul ●Huella hídrica verde ●Huella hídrica gris
<b>Ventajas</b>	Se pueden estimar con los valores que han sido estimados previamente por otras fuentes
<b>Desventajas</b>	- Poca precisión (se basa en promedios) - No existen valores para todos los productos agrícolas - No considera el consumo de agua dentro de los hogares , ni actividades como el turismo o el comercio <sup>3</sup> - La huella hídrica gris únicamente considera la contaminación causada por niveles elevados de nitrógeno - Estos valores fueron diseñados para estimar el consumo de agua a mayor escala (nacional, global)
<b>Ejemplos</b>	A la escala nacional solamente. No identificamos ejemplos para escala local

<sup>2</sup> Se puede obtener multiplicando un promedio global por la superficie cultivada o el número de cabezas.

<sup>3</sup> Considera que el consumo de agua de las personas es igual al total de productos que consumen.

Al nivel territorial, la estimación depende del último censo agropecuario, su fecha su nivel de detalle espacial. Cuando las estadísticas de producción agropecuaria no están actualizadas a la escala del territorio, se puede hacer una estimación preliminar de los cultivos (Zeng et al. 2012). Un método para estimar el nivel de producción de los cultivos y del ganado con información más actualizada consiste en combinar la información estadística (desactualizada) de la producción de los cultivos y la densidad del ganado (número de cabezas/km<sup>2</sup>) a escala provincial o nacional con datos espaciales explícitos.

**Tabla 2. Estimación actualizada y local de los cultivos de Zeng, et al. (2012)**

<b>Ámbito</b>	Producción de agropecuaria (cultivos y ganado)
<b>Variabes necesarias</b>	✓ Información espacial explícita del área ✓ Producción de los cultivos a la menor escala posible
<b>Variabes estimadas</b>	➢ Área de los cultivos ➢ Producción de los cultivos
<b>Ventajas</b>	Actualización de los datos
<b>Desventajas</b>	Se necesitan datos espaciales e información de producción agropecuaria
<b>Ejemplos</b>	Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China (Zeng et al. 2012)

### **Huellas Hídricas de cultivos estimadas con CROPWAT 8.0**

El programa (*software*) CROPWAT desarrollado por la FAO, permite calcular las necesidades de agua y de riego de los cultivos con base en datos del suelo, del clima y del cultivo. El usuario ingresa los datos en una ventana del programa y puede utilizar los datos predeterminados o generar una nueva ventana de datos.

Para obtener las huellas hídricas, se divide la lluvia efectiva (ER) y el requerimiento de agua de los cultivos (I) entre la producción, como se muestra en las siguientes formulas.

$$\text{Huella Hídrica}_{\text{VERDE}} = \text{Lluvia efectiva} / \text{Producción}$$

$$\text{Huella Hídrica}_{\text{AZUL}} = \text{Requerimientos de agua de los cultivos} / \text{Producción}$$

La producción de los cultivos se estima de la misma manera que en la metodología anterior: se multiplica la superficie sembrada por cultivo por los valores de rendimiento de cultivo nacionales estimados en FAOSTAT. La evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto) se calcula con los valores medidos o calculados usando la ecuación FAO Penman-Montieth ecuación basada en de datos climáticos (década/mes): temperatura del aire máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y duración del sol. El software puede calcular Eto únicamente con la temperatura, aunque es mejor ingresar los otros datos en caso de disponer de ellos. Esta información, al igual que los datos de precipitación se obtiene de las estadísticas de institutos o agencias. La base de datos CLIMWAT de la FAO puede ser usada para este propósito ([www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_climwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html)). Se procura que los datos provengan de la estación meteorológica más cercana posible para obtener mayor precisión.

CROPWAT proporciona algunos coeficientes de cultivo basadas en publicaciones de FAO. Sin embargo esto no es para todos los cultivos y es mejor obtenerse esos coeficientes de información local. Los datos del tipo de suelo pueden provenir de investigaciones realizadas anteriormente en el área, aunque puede resultar información difícil de conseguir, ya que son bastante precisos (incluyen



Agua total disponible, Tasa de infiltración máxima, Profundidad de enraizado máxima, Agotamiento inicial de humedad del suelo (% de humedad disponible total). Con respecto a los criterios de programación, varias opciones se pueden seleccionar con respecto al cálculo de tiempo de aplicación y la profundidad de la aplicación.

**Tabla 3. Huellas Hídricas de cultivos estimadas con CROPWAT 8.0**

<b>Ámbito</b>	Sector agrícola
<b>VARIABLES NECESARIAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto)</li> <li>✓ Los datos de precipitación (diario / década / mes); precipitación mensual se divide entre el número de tormenta de lluvia cada mes;</li> <li>✓ Datos del sistema de cultivo</li> </ul> <p>Además, para la programación del riego, el modelo requiere información sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tipo de suelo</li> <li>✓ Criterios de Programación</li> </ul>
<b>VARIABLES ESTIMADAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Huella hídrica azul</b></li> <li>➤ <b>Huella hídrica verde</b></li> <li>➤ Lluvia efectiva (mm período) - la cantidad de agua que entra en el suelo;</li> <li>➤ Requerimientos de agua de los cultivos - CWR o ETM (mm/período);</li> <li>➤ Requerimientos de riego - IWR (mm/período);</li> <li>➤ Humedad total disponible- TAM (mm);</li> <li>➤ Humedad disponible fácilmente - RAM (mm);</li> <li>➤ Evapotranspiración real del cultivo - Etc (mm);</li> <li>➤ Radio de Evapotranspiración real del cultivo sobre evapotranspiración máxima del cultivo - Etc / ETM (%);</li> <li>➤ Déficit de humedad del suelo diaria (mm);</li> <li>➤ Intervalo de riego (días) y profundidad de aplicación de riego(mm);</li> <li>➤ Pérdida de riego (mm) • el agua de riego que no se almacena en el suelo (cualquiera de las superficies, escorrentía o percolación);</li> <li>➤ Reducción de producción estimada debido a estrés de los cultivos (cuando Etc / ETM cae por debajo del 100%)</li> </ul>
<b>Ventajas</b>	Riqueza en información y precisión
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existen valores para todos los productos</li> <li>- Únicamente se puede aplicar al sector agrícola</li> </ul>
<b>Ejemplos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Water Footprint Analysis (Hydrologic and Economic) of the Guadania River Basin (Aldaya &amp; Llamas 2008)</li> <li>- Apéndice II de The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard (Hoekstra et al. 2011)</li> <li>- Water Footprint Analysis for the Guadiana River Basin (Aldaya y Llamas 2009)</li> </ul>

### **Huella Hídrica del sector agrícola (Salmoral, et al. 2011)**

La huella hídrica agrícola se obtiene al sumar la huella hídrica verde de la superficie bajo secano, la huella hídrica verde de la superficie bajo riego, y la huella hídrica azul de la superficie de riego de todos los cultivos. Todas las huellas hídricas se calculan al multiplicar el componente de evapotranspiración de cada cultivo por la superficie dedicada a ese sistema y por 10 (conversión de mm a m<sup>3</sup>/ha).

$$\text{Huella Hídrica}_{\text{AGRICULTURA}} = \text{Huella Hídrica}_{\text{CULTIVO1}} + \text{Huella Hídrica}_{\text{CULTIVO2}} + \dots + \text{Huella Hídrica}_{\text{CULTIVO n}}$$

$$\text{Huella Hídrica}_{\text{CULTIVO1}} = -[10 \cdot \text{ET}_{\text{V CULTIVO1}} \cdot \text{S}_{\text{SECANO}} + 10 \cdot \text{ET}_{\text{V CULTIVO1}} \cdot \text{S}_{\text{RIEGO}} + 10 \cdot \text{ET}_{\text{A CULTIVO1}} \times \text{S}_{\text{RIEGO}}]$$

Donde:

ET<sub>v</sub>- evapotranspiración del agua verde

ET<sub>A</sub>- evapotranspiración del agua azul

S- superficie

**Tabla 4. Huella Hídrica del sector agrícola con método de Salmoral, et al. (2011)**

Ámbito	Sectores
<b>VARIABLES NECESARIAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Superficie en riego por cultivo</li> <li>✓ Superficie en secano por cultivo (superficie total menos superficie de riego)</li> <li>✓ Evapotranspiración del agua verde (ET<sub>v</sub>) por cultivo (usar promedios globales o buscar información más detallada)</li> <li>✓ Evapotranspiración del agua azul (ET<sub>A</sub>) (usar promedios globales o buscar información más detallada)</li> </ul>
<b>VARIABLES ESTIMADAS</b>	➤ Huella hídrica agricultura
<b>VENTAJAS</b>	Presenta otra forma de estimación que podría llegar a ser más precisa en caso de que se contaran con datos locales
<b>DESVENTAJAS</b>	Se necesita información sobre los componentes de evapotranspiración locales y sobre la superficie de riego por cultivo (Los datos de riego de los censos casi nunca están con respecto al tipo de cultivo. Se tendría que utilizar supuestos para la evapotranspiración)
<b>EJEMPLO</b>	Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir (Salmoral et al. 2011)

### **Huella Hídrica de los embalses (Salmoral, et al. 2011)**

Partiendo del supuesto de que en los embalses se pierde agua, debido a la evaporación, Salmoral, et al. (2011) calcula la huella hídrica de los embalses con la siguiente fórmula basada en los resultados del estudio de Hardy y Garrido (2010).

$$\text{Huella Hídrica}_{\text{EMBALSE}} = \text{Volumen Evaporado}(\text{mm}^3) = 0,047 \cdot \text{Capacidad del Embalse} (\text{mm}^3) - 0,415$$

**Tabla 5. Huella Hídrica de los embalses con metodología de Salmoral, et al. (2011)**

Ámbito	Huella hídrica embalses
<b>VARIABLES NECESARIAS</b>	✓ Capacidad del Embalse (mm <sup>3</sup> )
<b>VARIABLES ESTIMADAS</b>	➤ Huella hídrica (gasto de agua por evaporación) de los embalses VE
<b>VENTAJAS</b>	Simplicidad y sencillez
<b>DESVENTAJAS</b>	Estima únicamente la huella hídrica de los embalses
<b>EJEMPLO</b>	Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir (Salmoral et al. 2011)

### **Estimación del consumo de agua por el modelo Insumo - Producto de Leontief (Velázquez 2006)**

La matriz insumo-producto (MIP) caracteriza la demanda y la oferta que cada sector productivo hace a los diferentes sectores productivos (incluyéndose a sí mismo). Así describe las transacciones entre diversos sectores de la economía real. Velázquez (2005) calcula el consumo directo e indirecto de

agua por medio de la matriz de insumo - producto de Leontief y el modelo de uso de energía desarrollado por Proops.

Mediante este modelo se puede identificar a los sectores que más agua consumen tanto directa como indirectamente, y la interrelación entre ellos, para evaluar la situación en caso de que uno de los sectores carezca de agua. La desventaja de esta metodología es que para estimar este modelo se necesita obtener el consumo de agua de los sectores.

**Tabla 6. Modelo Insumo- Producto de Velázquez (2006)**

<b>Ámbito</b>	Escenario general y relaciones entre sectores (e.g. agricultura-ganadería)
<b>VARIABLES NECESARIAS</b>	✓ Valores de gasto de agua de los sectores
<b>VARIABLES</b>	➤ Consumo directo e indirecto de agua ➤ Impacto frente a cambios en el consumo
<b>VENTAJAS</b>	Útil para estimar interrelaciones e impactos
<b>DESVENTAJAS</b>	Se necesitan valores del agua para los sectores
<b>EJEMPLO</b>	Analyzing intersectoral water relationships in Andalusia (Velázquez 2006)
<b>NOTA</b>	A la fecha (oct. 2012), no existen datos en los BMs para este modelo. Tal vez se podría utilizar más adelante, en caso de tener más información, para analizar los impactos entre sectores.

## Inventarios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Con el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida, la estimación considera el consumo de agua de un producto desde su origen hasta distintas etapas del proceso; dependiendo el enfoque puede ser hasta que llega al consumidor o hasta que es desechado. Comparado a la huella hídrica, el ACV es más completo, considera cuestiones como el transporte o el empaque de los productos. Se podría decir que la huella hídrica está contenida en el ACV. Existen *softwares* como GaBi o Ecoinvent que ayudan a esquematizar el proceso de y algunos cuentan con bases de datos.

Dentro del enfoque ACV existen muchos métodos diferentes, sin embargo no todos son adecuados para estimar el consumo de agua en el BM, ya que el objetivo es estimar el consumo local de agua a la escala del territorio. Una método que podría ser adecuado en caso de que se contara con los datos necesario, es el de inventarios. Para estimar el consumo de agua de un proceso, se le resta a la cantidad ingresada de agua limpia, los efluentes de agua contaminada. Así, es posible determinar la cantidad de agua consumida por evaporación, integración del producto o fugas.

**Tabla 7. Inventarios de Estimación de Ciclo de Vida para el Agua**

<b>Ámbito</b>	Sectores
<b>VARIABLES NECESARIAS</b>	✓ Total de agua utilizada ✓ Total de agua de desperdicio
<b>VARIABLES ESTIMADAS</b>	➤ Consumo de agua por evaporación ➤ Consumo de agua por integración del producto ➤ Consumo de agua por goteras
<b>VENTAJAS</b>	Precisión
<b>DESVENTAJAS</b>	Se necesita información sobre el agua utilizada y el agua de desperdicio
<b>REFERENCIA</b>	How to Address Water Use in Life Cycle Assessment? (Berger & Finkbeiner 2010)

## Integrar oferta y demanda: el modelo de estimación WEAP (*Water Evaluation and Planning System*)

El programa de cómputo WEAP es una herramienta para caracterizar la situación del agua en el área de estudio. Asimismo, este modelo puede proyectar los escenarios potenciales frente a cambios en cuestiones relacionadas con el agua en el área determinada. Se caracteriza por considerar tanto la oferta como la demanda del agua.

Este programa se desarrolla partiendo de un escenario base a partir del cual se estiman los diferentes escenarios en un horizonte a largo plazo para desarrollar estrategias de administración adaptativas, a partir de comparar los posibles desenlaces.

Para estimar la situación del agua en el área con este programa se siguen los siguientes pasos:

- Definición de situación a estudiar  
Se definen cuestiones como el área de estudio, el marco temporal, los componentes del sistema y la configuración del problema.
- Búsqueda de información  
Esta etapa se lleva a cabo en dos partes: en la primera se recolecta información más general de fuentes oficiales y en la segunda se obtiene información más específica una vez que el modelo se ha montado.
- Desarrollo del modelo  
Se busca representar la situación en el área de estudio mediante información sobre la oferta y la demanda de agua. En esta etapa se procesan los datos para generar una base de datos.
- Calibración del modelo  
En este proceso se revisa que la información resultante del modelo coincida con lo observado o lo encontrado en la literatura. Se lleva a cabo en tres etapas en el siguiente orden: las zonas de régimen natural, las cuencas intermedias y las cuencas bajas.
- Estimación de escenarios  
Una vez que el modelo está calibrado se pueden estimar los escenarios bajo cambios en los parámetros principales.

**Tabla 8. Modelo de estimación WEAP (Water Evaluation and Planning System)**

<b>Ámbito</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Caracterización general de la situación del agua en la zona</li> <li>● Proyecciones frente a cambios en variables</li> <li>● Proyecciones sobre la implementación de políticas adaptativas</li> </ul>
<b>Variables necesarias para estimación<sup>4</sup></b>  Únicamente para la etapa inicial	<p style="text-align: center;"><b>OFERTA</b></p> <p style="text-align: center;"><u>Uso de suelo</u></p> <p>✓ DEM (Modelo de Elevación Digital) (GIS) / ✓ Cobertura de vegetación (GIS) / ✓ Áreas de agricultura irrigada (GIS, Excel, texto o csv)</p> <p style="text-align: center;"><u>Clima</u></p> <p>✓ Precipitación / ✓ Temperatura / ✓ Humedad Relativa / ✓ Viento (series de datos históricos, i.e. promedio mensual en cada año del período de modelación) (Excel, texto, o csv)</p> <p>✓ Latitud (Excel, texto, o csv, o capas de GIS)</p> <p style="text-align: center;"><u>Por sitio de demanda (ciudad, industria, zona agrícola)</u></p> <p>✓ Número usuarios / ✓ Consumo per cápita / ✓ Variación Mensual / ✓ Porcentaje retorno</p> <p style="text-align: center;"><b>DATOS DE SUMINISTRO Y RECURSOS</b></p> <p style="text-align: center;"><u>Datos físicos sobre reservorios o represas</u></p> <p>✓ Capacidad almacenamiento / ✓ Volumen inicial / ✓ Curva volumen por elevación / ✓ Evaporación / ✓ Pérdidas a agua subterránea</p> <p style="text-align: center;"><u>Datos de operación</u></p> <p>✓ Máximo nivel conservación / ✓ Máx. nivel seguridad / ✓ Máx. nivel inactivo</p> <p style="text-align: center;"><b>DATOS PARA ALIMENTAR EL MODELO Y DURANTE EL PROCESO DE CALIBRACIÓN</b></p> <p style="text-align: center;"><u>Capacidad hidroeléctrica</u></p> <p>✓ Mínimo caudal turbina / ✓ Máx/ caudal turbina / ✓ Cabeza hidráulica / ✓ Factor de Planta / ✓ Eficiencia</p> <p style="text-align: center;"><u>Canales para extracción de agua</u> (i.e. para irrigación)</p> <p style="text-align: center;"><b>DATOS PARA CALIBRACIÓN DEL MODELO</b></p> <p style="text-align: center;"><u>Por río</u></p> <p>✓ Series de tiempo de caudales</p>
<b>Variables estimadas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Balances de masa</li> <li>➤ Desvíos de agua</li> <li>➤ Uso de agua de los sectores</li> <li>➤ Comparación de escenarios costo/beneficio</li> <li>➤ Contaminación del agua</li> </ul>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenta una caracterización de la situación general</li> <li>- Para evaluar los escenarios, considera el impacto a gran número de variables</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere rango amplio de datos homologados por fecha. El modelo no se puede correr si algún parámetro falta</li> <li>- Hay que procesar los datos antes de ingresarlos al sistema. Requiere manejar programas SIG (ArcGIS® 9.2, Grass, Manifold)</li> <li>- Costo del programa, aunque señala que es gratuito para países en desarrollo y ofrece descuentos a Organizaciones No Gubernamentales</li> </ul>
<b>Ejemplos</b>	<p>Water, Climate, Food, and Environment in the Sacramento Basin (Huber-Lee et al. 2003)</p> <p>Effective Water Management Allocation in the Jordan Valley (Alfarra et al. 2011)</p>
<b>Descripción</b>	<p>A Demand-, Priority, and Preference-Driven Water Planning Model Part 1: Model Characteristics (Yates et al. 2005a)</p> <p>A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Part 2: Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation (Yates et al. 2005b)</p>

<sup>4</sup> Varían dependiendo de la dificultad del modelo.

En este enfoque se considera el panorama general con información cuantitativa. A diferencia de los otros enfoques que aproximan la situación y se afina en las etapas subsecuentes, con este modelo primero es necesario obtener todos los parámetros necesarios, y después calibrar el modelo con ayuda de la literatura existente. Este modelo es intensivo en datos, hay que ingresar todos los parámetros requeridos en la primera etapa, para que el modelo pueda ser estimado.

La ventaja de elegir este enfoque es que la caracterización de la situación podría realizarse con mayor precisión en caso de conseguir la información requerida. Con esta herramienta también es posible estimar escenarios para evaluar los cambios en la oferta y la demanda de agua, así como la introducción de medidas de adaptación en el panorama general.

El reto de este enfoque se encuentra en conseguir la información requerida, ya que si no se cuenta con información de todos los parámetros el modelo no funciona. Por tanto, hay que considerar su viabilidad, basada en la disponibilidad de datos, antes de considerarlo como una herramienta.

## Conclusión

Las estadísticas disponibles en los territorios de Bosque Modelo determinan los métodos que pueden ser utilizados, según la disponibilidad y la calidad (representatividad y actualización) de los datos con los que se cuenta.

Actualmente, se cuenta con información o pueden usarse aproximaciones para estimar lo siguiente:

- Huella Hídrica Agricultura:
  - Cálculo de huella hídrica con programa informático CROPWAT
  - Huella hídrica de productos agropecuarios conforme a valores estimados por Mekonnen & Hoekstra (2010) y estadísticas de FAOSTAT
- Huella Hídrica Ganadería:
  - Huella hídrica de productos agropecuarios conforme a valores estimados por Mekonnen & Hoekstra (2010) y estadísticas de FAOSTAT
- Huella Hídrica Embalses:
  - Huella Hídrica de los embalses de Salmoral, et al. (2011)

- Huella Hídrica Industria:

No se cuenta con estadísticas apropiadas para la estimación. (Se podría estimar el gasto de agua si supiéramos el tipo de productos que se producen, la cantidad y si estos productos están en la lista de valores predefinidos. Otra forma es por los registros del gobierno de gasto de agua por industria, pero habría que investigar si los gobiernos cuentan con estos datos para todos los BM.)

➤ Huella Hídrica Hogares:

No se cuenta con estadísticas apropiadas para la estimación. Aunque existen promedios de consumo de agua de los hogares para Latinoamérica, estas estadísticas resultarían poco representativas para el caso de los Bosques Modelo. En los documentos donde se estiman cuentan con estadísticas del uso de los hogares por parte de la municipalidad.

El enfoque cuantitativo por sectores aproxima la situación con respecto al agua centrándose en lo particular, y se pretende a partir de la información principal ir aproximando el panorama general. La ventaja de elegir este enfoque es que es útil para poder estimar la capacidad de adaptación de cada sector frente a un cambio en los niveles del agua. Es importante mencionar que sin información local, estas estimaciones representan únicamente aproximaciones. Hoekstra, et al. (2001) recomiendan utilizar un modelo de balance hídrico adecuado a nivel local, junto con los datos de entrada locales.

## Agradecimientos

Las autoras agradecen a William Watler, José Ney Rios, Tahia Devisscher por sus insumos y apoyo brindado durante la consultoría de Melissa Cuevas en CATIE, Costa Rica. Este documento ha sido elaborado con el apoyo de las “Estrategias basadas en ecosistemas e innovaciones en redes de gobernanza del agua para la adaptación al Cambio Climático en Paisajes Latinoamericanos” (EcoAdapt) del programa de investigación financiado por la Comisión Europea bajo el contrato FP7 ENV.2011.4.2.3-1 / 283163. El contenido de este documento es responsabilidad exclusiva de los autores y en ningún caso debe considerarse que refleja la posición de la Unión Europea.

## Referencias (vínculos averiguados en octubre 2014)

- Aldaya, M. and M. Llamas (2008). Water Footprint Analysis for the Guadiana River Basin. UNESCO-IHE. [www.waterfootprint.org/Reports/Aldaya\\_and\\_Llamas\\_2008.pdf](http://www.waterfootprint.org/Reports/Aldaya_and_Llamas_2008.pdf)
- Aldaya, M. and M. Llamas (2009). Water Footprint Analysis (Hydrologic and Economic) of the Guadiana River Basin. The United Nations World Water Assessment Programme. <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001821/182177e.pdf>
- Alfarra, A. et al. (2011). Modeling Water Supply and Demand for Effective Water Management Allocation in the Jordan Valley, Journal of Agricultural Science and Applications (JASA), [www.weap21.org/Downloads/JASA10002-20120502-152508-4026-2113.pdf](http://www.weap21.org/Downloads/JASA10002-20120502-152508-4026-2113.pdf)
- Berger, M. and M. Finkbeiner (2010). Water Footprinting: How to Address Water Use in Life Cycle Assessment? Sustainability 2010, 2, 919-944. [www.mdpi.com/2071-1050/2/4/919](http://www.mdpi.com/2071-1050/2/4/919)
- CropWat (2012). En FAO Databases and Software. [www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html)
- Guía Metodológica: Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP (2009). Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile y Stockholm Environment Institute. [www.weap21.org/downloads/Guia\\_modelacion\\_WEAP\\_Espanol.pdf](http://www.weap21.org/downloads/Guia_modelacion_WEAP_Espanol.pdf)
- Hoekstra, A.Y., et al. (2009). Water footprint manual: State of the art 2009, Water Footprint Network, [www.waterfootprint.org/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf](http://www.waterfootprint.org/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf)
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. (2011) The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earthscan. [www.waterfootprint.org/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual.pdf](http://www.waterfootprint.org/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual.pdf)



- Huber-Lee, A., et al. (2003). Water, Climate, Food, and Environment in the Sacramento Basin, Consultado el 12 de octubre de 2012 en [http://ivm45.ivm.vu.nl/adaptation/project/files/File/ADAPTS/Sacramento\\_FinalReport.pdf](http://ivm45.ivm.vu.nl/adaptation/project/files/File/ADAPTS/Sacramento_FinalReport.pdf)
- Jefferies, D., et al. (2012). Water Footprint and Life Cycle Assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine. *Science Direct*.33: 155–166.
- Le Coq, J.-F., Fallot, A., Aguilar, T., Rixen, A., Vilugrón, L., Gonzalez, D., Schillinger, R., Vides-Almonacid, R. (2013). Analysis of Socio-Ecological Dynamics, Synthesis. Deliverable 2.5 del Proyecto EcoAdapt, 2012 - 2016.
- Marica, A. Short description of the CROPWAT model. Consultado el 2 de septiembre de 2012 en <http://agromet-cost.bo.ibimet.cnr.it/fileadmin/cost718/repository/cropwat.pdf>
- Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 1577-1600. Consultado el 2 de julio de 2012 en <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report47-WaterFootprintCrops-Vol1.pdf>
- Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. UNESCO-IHE. Consultado el 2 de julio de 2012 en <http://www.waterfootprint.org/Reports/Mekonnen-Hoekstra-2011-WaterFootprintCrops.pdf>
- Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. UNESCO-IHE. Consultado el 2 de julio de 2012 en <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Vol1.pdf>
- Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products, Ecosystems, Consultado el 2 de julio de 2012 en <http://www.waterfootprint.org/Reports/Mekonnen-Hoekstra-2012-WaterFootprintFarmAnimalProducts.pdf>
- ¿Por qué WEAP? (2012). En WEAP 21, Consultado el 10 de octubre de 2012 en <http://weap21.org>
- Salmoral, G., et al. (2011). Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir. Fundación Botín. Consultado el 2 de julio de 2012 en [www.huellahidrica.org/Reports/Salmoral-et-al-2011.pdf](http://www.huellahidrica.org/Reports/Salmoral-et-al-2011.pdf)
- Velázquez, E. (2006). An input–output model of water consumption: Analysing intersectoral water relationships in Andalusia, *Ecological Economics* 56: 226-240.
- Water Evaluation and Planning System (2012). United Nations Framework Convention on Climate Change. [http://unfccc.int/files/adaptation/methodologies\\_for/vulnerability\\_and\\_adaptation/application/pdf/water\\_evaluation\\_and\\_planning\\_system.pdf](http://unfccc.int/files/adaptation/methodologies_for/vulnerability_and_adaptation/application/pdf/water_evaluation_and_planning_system.pdf)
- Yates, D., et al. (2005a) WEAP21 – A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model Part 1: Model Characteristics. <http://cabyregion.org/Members/yates/yates-et-al-part-1.pdf>
- Yates, D., et al. (2005b) WEAP21 – A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Part 2: Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation. <http://cabyregion.org/Members/yates/yates-et-al-part-2.pdf>
- Zeng, Z., et al. (2012). Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16: 2771–2781. [www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/9/5779/2012/hessd-9-5779-2012.pdf](http://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/9/5779/2012/hessd-9-5779-2012.pdf)