



## **Huella hidrológica de la cuenca del río Mololoa Nayarit, México**

<sup>1</sup> Areli González García Sancho, <sup>2</sup>Oyolsi Nájera González, <sup>2</sup>Susana María Lorena Marceño Flores. <sup>2</sup>Fernando Flores Vilchez.

<sup>1</sup> **Estudiante de Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias**, Universidad Autónoma de Nayarit. México

<sup>2</sup> **Profesor-Investigador de la Secretaría de Investigación y Posgrado**, Universidad Autónoma de Nayarit. México

Autor principal: Areli González García Sancho, e-mail: areligs@hotmail.com

### **Resumen**

La Huella Hidrológica (HH) es un indicador de sostenibilidad desarrollado por Hoekstra y Hung (2002) y por Chapagain y Hoekstra (2004) para medir el volumen total de agua utilizada por los habitantes de una determinada región (Becerra *et al.*, 2013).

México tiene el onceavo lugar con mayor HH de producción y el octavo lugar de consumo, cada habitante del país consume en bienes y servicios un promedio de 1978 m<sup>3</sup> anuales, esta demanda compromete la sostenibilidad de los ecosistemas del país (WWF 2012).

Bajo esta perspectiva, México requiere mayor conocimiento de los recursos hídricos a niveles detallados (unidades pequeñas de estudio) que le aporte nueva información que permita una gestión adecuada y optimizar sustentablemente el recurso. En este contexto se determinó la HH de una de las cuencas más importantes del estado de Nayarit, México, la cuenca del río Mololoa, que es habitada por 402 690 personas (INEGI 2010) en un espacio relativamente pequeño de 56 000 ha; la HH total para el año 2011 fue de 638.95 hm<sup>3</sup>/año, con una tasa de incremento anual de 1.5 hm<sup>3</sup> y la HH por habitante fue de 1586 m<sup>3</sup>. La huella hídrica verde más alta se encuentra en el sector agrícola, el cual está basado en la producción de caña de azúcar, con una HH de 293 m<sup>3</sup>/ton, muy por arriba de lo reportado para México, Costa Rica y Honduras (Bolaños, 2011)

El sector urbano es el más preocupante en la huella HH gris debido a su alta tasa de crecimiento de 6.67 hm<sup>3</sup>/año, este mismo sector tiene HH azul de 15.32 hm<sup>3</sup>/año, con una tasa de crecimiento anual de 436 718 m<sup>3</sup>/año. En 2011 la HH urbana fue de 431 m<sup>3</sup>/percap/año, muy por arriba de 139 m<sup>3</sup>/percap/año calculado por Hoekstra y Chapagain (2007) para México; esto se relaciona con la mala calidad del agua, falta de infraestructura para el saneamiento y la falta de la gestión adecuada del recurso.

En el análisis se incluyó la HH forestal, por considerarla relevante en el funcionamiento de la cuenca, ya que sin zonas forestales el proceso de recarga al acuífero sería ineficiente, perdiéndose este servicio ambiental. De 2000 a 2011 la HH forestal disminuyó anualmente 2.29 hm<sup>3</sup>, este resultado es atribuible a la variación en precipitación y a la disminución de la superficie forestal, particularmente esta última es de 1.4% anual de acuerdo con González (*et al.*, 2016).



## Introducción

Es un hecho que el agua es un recurso indispensable para la vida de los organismos, ecosistemas y ser humano, pero el conocer cuánta agua requiere el hombre para sobrevivir ha sido un tema de discusión de años atrás. En 1996 se creó el concepto de Agua Virtual por Allan ~~en~~ (Martínez *et al.*, 2013), para exteriorizar la importancia del recurso hídrico en el comercio, principalmente la producción de materias primas como los cereales. Posteriormente se introduce el término de Huella Hidrológica (HH) como un indicador de sostenibilidad desarrollado por Hoekstra y Hung (2002) y por Chapagain y Hoekstra (2004) para medir el volumen total de agua utilizada por los habitantes de una determinada región (Becerra, *et al.*, 2013) es decir, el total de agua usada por un individuo, grupo de personas o de un país para producir los bienes y servicios consumidos. Chapagain y Hoekstra, (2004), Rodríguez (*et al.*, 2008) y Salmoral (*et al.*, 2012) lo describen como un indicador global de la apropiación y extracción del recurso agua dulce.

La HH proporciona el conocimiento de donde se origina el agua, cuanta y en qué condiciones se utiliza en el sistema hídrico y la cantidad necesaria para contrarrestar las aguas contaminadas; al relacionarla con la comercialización se puede deducir cuánto se importa y exporta al sistema (Rodríguez *et al.*, 2008 y Becerra *et al.*, 2013).

Por el lugar donde se producen los bienes consumidos en un país o región, la HH puede ser interna, que hace referencia al volumen de agua usada para producir los bienes y servicios consumidos por sus residentes, y externa atendiendo el volumen de agua usada en otros países o regiones para producir los bienes o servicios consumidos en el país o región de referencia (Rodríguez *et al.*, 2008).

Los componentes de la HH se definen por colores: azul al consumo de recursos hídricos de agua superficial y subterránea incorporado al producto o devuelto al sistema hídrico pero que no regresa a la cuenca donde fue extraída; verde hace referencia a la cantidad de lluvia incorporada al producto o la evapotranspiración de los cultivos y plantaciones; y gris al agua contaminada en ella, se calcula la cantidad de agua que se necesita para diluir los contaminantes hasta llegar a concentraciones que cumplan con las normas de calidad (Vásquez y Buenfil 2012 y Salmoral *et al.*, 2012). La HH se ha utilizado para identificar el consumo de agua en un proceso, un producto, una empresa, de los consumidores y de un área geográfica como un país o como el caso de este estudio de una cuenca. La HH de un área geográfica se puede abordar desde el productor y el consumidor; como productor es el volumen de agua utilizada dentro de los límites del área geográfica en la producción de bienes y servicios conocida como interna y como consumidor es el agua utilizada en los productos y servicios que son consumidos por los habitantes y que proceden de otros lugares, también se nombra estándar (Camarero *et al.*, 2011).

A partir de la fundación de Water Footprint Network por Hoekstra (*et al.*, 2009) se han realizado esfuerzos para conocer la HH de las naciones, entre ellos México que tiene el onceavo lugar con mayor HH de producción y el octavo lugar de consumo; debido a su tamaño poblacional, la mayor parte de la HH la originan los productos agropecuarios, sin embargo los rendimientos de los cultivos son inferiores al mundial lo que aumenta la HH



por tonelada, cada habitante del país consume en bienes y servicios un promedio de 1978 m<sup>3</sup> anuales, los rendimientos de producción son insuficientes para abastecer al total de la población nacional y la demanda compromete la sostenibilidad de los ecosistemas (WWF, 2012).

Bajo esta perspectiva México requiere tener mayor conocimiento de los recursos hídricos de aguas superficiales y subterráneas que aporten nuevos datos y perspectivas por unidades más pequeñas de estudio que permita una gestión adecuada para optimizar sustentablemente el recurso.

Publicaciones como Camarero (*et al.*, 2011), Salmoral (*et al.*, 2012), Sotelo (*et al.*, 2012), Becerra (2013), Martínez (*et al.*, 2013), San Luis Agua (2013) y Aragón (2014) presentan como unidad de estudio en la obtención de la HH a la cuenca hidrológica, esto favorece la comprensión del proceso hídrico para una regulación administrativa más funcional y una integración social y territorial.

El presente trabajo tiene como finalidad determinar la HH de una de las cuencas más importantes del estado de Nayarit, la cuenca del río Mololoa que a pesar de tener solamente 56 000 ha (2% de Nayarit) concentra más del 50% de la población estatal, además de ser una zona agrícola productiva de caña de azúcar de gran importancia económica generadora de la industria azucarera del Estado, los resultados obtenidos son herramientas fundamentales para la planeación en el uso y distribución del agua y fomenta un equilibrio entre la población, la producción y el ecosistema.

### **Área de estudio**

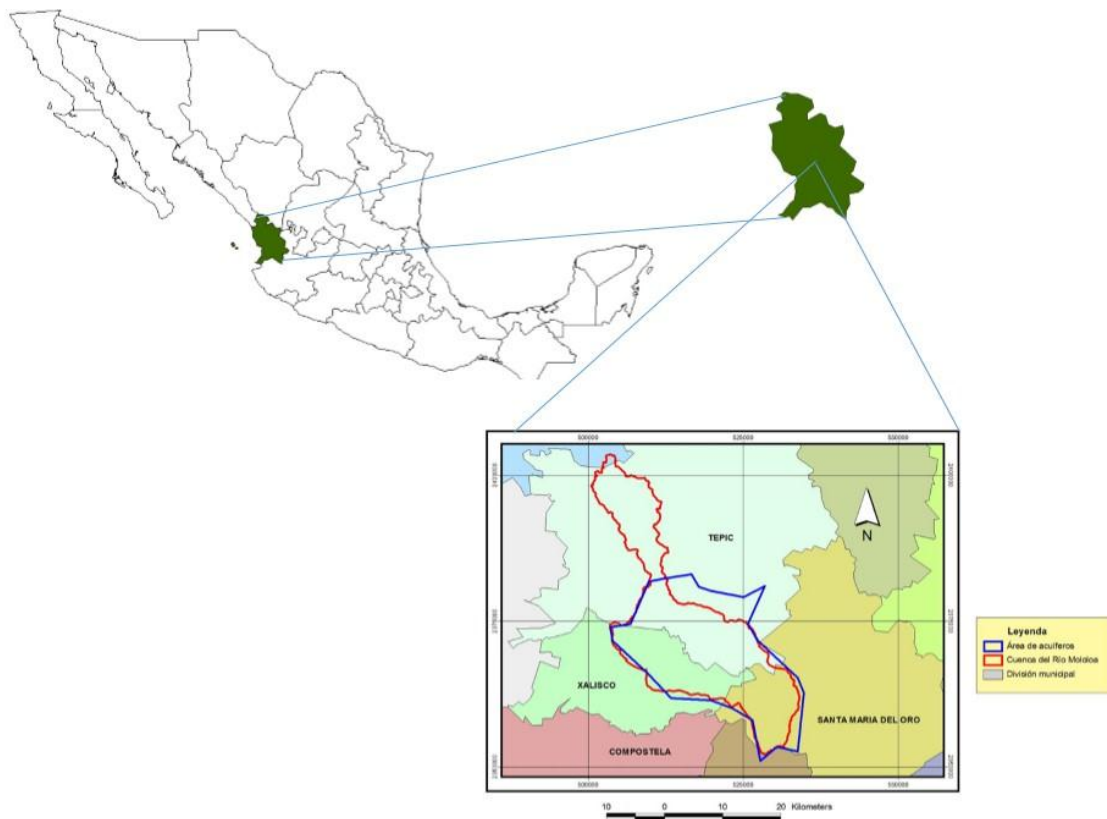
La cuenca del Río Mololoa se localiza en la parte central del estado de Nayarit, entre las coordenadas geográficas 21° 43' 26" Latitud Norte, 104° 56' 46" Longitud Oeste y 21° 16' 12" Latitud Norte, 104° 43' 06" Longitud Oeste. (Nájera *et al.*, 2010). Forma parte de la región hidrológica Lerma-Santiago (RH-12) entre los municipios de Tepic, Xalisco, Santa María del Oro y Santiago Ixcuintla con una superficie de 56 000 ha, por lo que se clasifica como una cuenca intermedio-grande (Nájera y Bojórquez, 2014) (véase figura 1).

En la cuenca el abastecimiento de agua subterránea se obtiene del acuífero del Valle de Matatipac, abarca una superficie aproximada de 52600 ha, está comprendido entre los paralelos 21° 15' 48" y 21° 33' 6" de latitud norte y los meridianos 14° 39' 24" y 104° 58' 36" de longitud oeste (Figura 1). Es un acuífero de tipo libre con descargas principales al río Mololoa con una trayectoria similar al flujo de aguas superficiales (Diario Oficial de la Federación, 2009) (véase figura 1).

La población asentada en la cuenca es de 402 690 personas (INEGI 2010) el 90% de los habitantes viven en la zona urbana de Tepic (capital del estado de Nayarit) y Xalisco, solo el 10 % se localiza en zonas rurales, las principales actividades son terciarias (servicios y comercio) y primarias de agricultura de caña de azúcar, aguacate, mango y agave (Rivera *et al.*, 2014).



**Figura 1.** Mapa de localización de la cuenca del río Mololoa y el acuífero Valle de Matatipac.



### Metodología

Se determinó la HH interna de la cuenca del río Mololoa en dos tiempos (años) 2000 y 2011 bajo la clasificación de colores: azul si el agua se obtiene del acuífero o del río, verde si su procedencia es de la precipitación y gris como la cantidad de agua que se requiere para diluir el agua contaminada a concentraciones permisibles conforme a las normas de calidad nacionales, bajo la metodología propuesta por Hoekstra (*et al.*, 2011) en 3 sectores: agropecuario, forestal y urbano, de acuerdo a la fórmula general de Arévalo y Campusano (2013):

$$HH = HHa + HHf + HHu$$

La HH agrícola se obtuvo de la suma de la  $HH_{verde}$  y  $HH_{azul}$  para lo que se utilizó el programa CROPWAT de la FAO, que determina la evapotranspiración de los cultivos,



alimentado con los datos climatológicos de la estación meteorológica de Tepic de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Los datos de producción de cultivos y rendimientos se adquirieron del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, órgano desconcentrado de la SAGARPA y del Censo Agropecuario de Nayarit (2007-2012), asimismo se utilizó la base de datos de Allen (2006) de FAO sobre el tipo de cultivo, días de etapa de crecimiento, fecha de siembra, fecha de cosecha, profundidad de raíz y el coeficiente único del cultivo ( $K_c$ ) y se incluyeron los datos del suelo de la cartografía Edafológica de INEGI (2007 serie 2). En el cálculo final se utilizó la metodología descrita por Bolaños (2011) para conocer la HH en  $m^3/ha$  y la metodología de Cuevas (2014) para obtenerla en  $m^3/ton$ .

Para conocer los tipos de cultivos y las extensiones dentro de la cuenca se realizó un levantamiento de cobertura de uso del suelo con imágenes de sensores remotos Landsat Thematic Mapper de fechas febrero 2000 y febrero 2011, obtenidas del Servicio Geológico de EE. UU., con el método de clasificación supervisada de máxima verosimilitud con el apoyo de sistemas de información geográfica.

En este sector agrícola la  $HH_{gris}$  se fundamentó en el uso de fertilizantes con fósforo (P) y nitrógeno (N) conforme a la ecuación definida por Hoekstra (*et al.* 2011):

$$HH_{proc,gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}}$$

Dónde:

- $HH_{gris}$ : Huella Hídrica Gris de un producto agrícola específico ( $m^3/ha$ )
- $L$ : cantidad de fertilizante aplicado ( $Kg/ha$ )
- $C_{max}$ : concentración máxima permisible del N y/o P en el agua ( $Kg/m^3$ )
- $C_{nat}$ : Concentración natural del N y/o P en el agua ( $Kg/m^3$ ).

Los valores máximos permisibles fueron referidos a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 y a los resultados de Jáuregui (*et al.* 2007) en cuanto a la concentración natural del contaminante a evaluar en el río Mololoa.

Para el sector ganadero se calculó la  $HH_{azul}$  que se contempla como el agua extraída de fuentes subterráneas para el consumo directo y de uso en el servicio de limpieza por cada especie productiva en la zona en estudio, con la ecuación propuesta por Mekkonen y Hoekstra (2010):

$$HH_{pecuaria} = HH_{bebida} + HH_{serv}$$

Dónde:

- $HH_{ganadera}$ : Huella Hídrica de una especie productiva ( $m^3/año$ )
- $HH_{bebida}$ : cantidad de agua que consume por especie productiva ( $m^3/año$ )
- $HH_{servicio}$ : cantidad de agua que se utiliza para limpieza y servicio ( $m^3/año$ ).



Los datos fueron obtenidos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, órgano desconcentrado de la SAGARPA y del Censo Agropecuario de Nayarit INEGI (2007- 2012).

En la obtención de la HH forestal se utilizó la metodología expresada anteriormente en el sector agrícola con el programa CROPWAT de la FAO, bajo los criterios de Cuevas y Fallot (2014), donde considera  $HH_{verde}$  como la cantidad de agua de lluvia utilizada en el proceso de evapotranspiración de las áreas forestales y  $HH_{azul}$  a la precipitación que conforma la escorrentía importante para el ciclo hidrológico de la cuenca.

La  $HH_{azul}$  del sector urbano se realizó con la metodología propuesta por Arévalo y Campusano (2013) bajo los estándares de Water Footprint Network (WFN), que consiste en conocer los usos y distribución del agua subterránea en los subsectores residencial, industrial, comercial y público, con los datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, el Inventario Nacional de Vivienda (INEGI, 2014 y 2015), el Sistema Interactivo de Consulta de Estadística Educativa y los coeficientes de consumo medio por habitante y día (Querétaro, 2013) acorde a la ecuación propuesta por Camarero (*et al.* 2011):

$$HH_{urbano} = \frac{C_{Habitantes} * N^{\circ} Habitantes * 365}{1000}$$

Donde,

- $C_{Habitante}$  es el coeficiente de consumo de agua (l/hab/día).
- $N^{\circ} Habitantes$  es el número de habitantes.
- 365 son el número de días totales de un año no bisiesto.

La  $HH_{gris}$  para el sector urbano se obtuvo de las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los sólidos suspendidos totales (SST) por medio de la siguiente ecuación determinada por Hoekstra (*et al.*, 2011):

$$HH_{gris} = \frac{Efl * (C_{efl} - C_{nat})}{C_{max} - C_{nat}}$$

Dónde:

- $HH_{gris}$ : Huella Hídrica Gris de un contaminante ( $m^3/año$ )
- $Efl$ : caudal vertido ( $m^3/año$ )
- $C_{efl}$ : concentración del contaminante en el efluente
- $C_{max}$ : concentración máxima permisible del contaminante en el agua ( $Kg/m^3$ )
- $C_{nat}$ : Concentración natural del contaminante en el agua ( $Kg/m^3$ ).

En donde la concentración máxima permisible es la indicada por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 y la concentración natural es el promedio de los resultados obtenidos por Jauregui (*et al.*, 2007 y *et al.*, 2014). El caudal vertido por los sectores residencial, industrial, comercial y público para los años 2000 y 2011, fueron proporcionados por la Comisión Nacional del del Sistema unificado de información básica del agua (SUIBA).





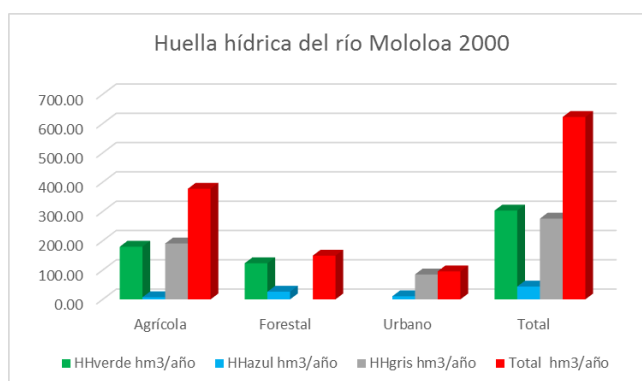
## Resultados

### Huella Hídrica de la cuenca

La HH de la cuenca conformada por  $HH_{\text{verde}}$ ,  $HH_{\text{azul}}$  y  $HH_{\text{gris}}$  de los sectores agropecuario, forestal y urbano fue de  $622.42 \text{ hm}^3/\text{año}$  en el año 2000 (véase tabla 1 y gráfica 1) y  $638.95 \text{ hm}^3/\text{año}$  en 2011 (véase tabla 2 y gráficas 2) con una tasa de incremento anual de  $1.5 \text{ hm}^3$ .

**Tabla 1 y gráfica 1. Huella Hídrica de la cuenca del río Mololoa 2000**

	Agropecuario	Forestal	Urbano	Total
$HH_{\text{verde}}$ $\text{hm}^3/\text{año}$	179.73	123.21		302.95
$HH_{\text{azul}}$ $\text{hm}^3/\text{año}$	7.12	26.10	10.52	43.74
$HH_{\text{gris}}$ $\text{hm}^3/\text{año}$	190.61		85.12	275.73
<b>Total</b> $\text{hm}^3/\text{año}$	<b>377.46</b>	<b>149.31</b>	<b>95.64</b>	<b>622.42</b>
Poblac.	317503			

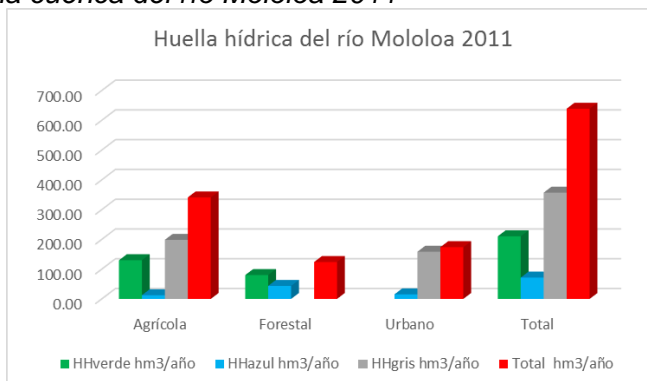


Fuente: Elaboración propia

El sector agropecuario es el de mayor impacto tanto en la  $HH_{\text{verde}}$  como  $HH_{\text{gris}}$  que puede ser atribuible tanto a la evapotranspiración vegetal como por el elevado uso de fertilizantes (véase tabla 1 y 2). En la comparación de ambos tiempos se observa una disminución en la  $HH_{\text{verde}}$  de  $49.64 \text{ hm}^3$  en el año 2011 que se relaciona con la precipitación por ser un año seco (véase figura 1 y 2).

**Tabla 2 y gráfica 2. Huella Hídrica de la cuenca del río Mololoa 2011**

	Agropecuario	Forestal	Urbano	Total
$HH_{\text{verde}}$ $\text{hm}^3/\text{año}$	130.09	80.18		210.27
$HH_{\text{azul}}$ $\text{hm}^3/\text{año}$	12.56	43.88	15.32	71.76
$HH_{\text{gris}}$ $\text{hm}^3/\text{año}$	198.41		158.52	356.92
<b>Total</b> $\text{hm}^3/\text{año}$	<b>331.05</b>	<b>124.06</b>	<b>173.84</b>	<b>638.95</b>
Poblac	402690			



Fuente: Elaboración propia

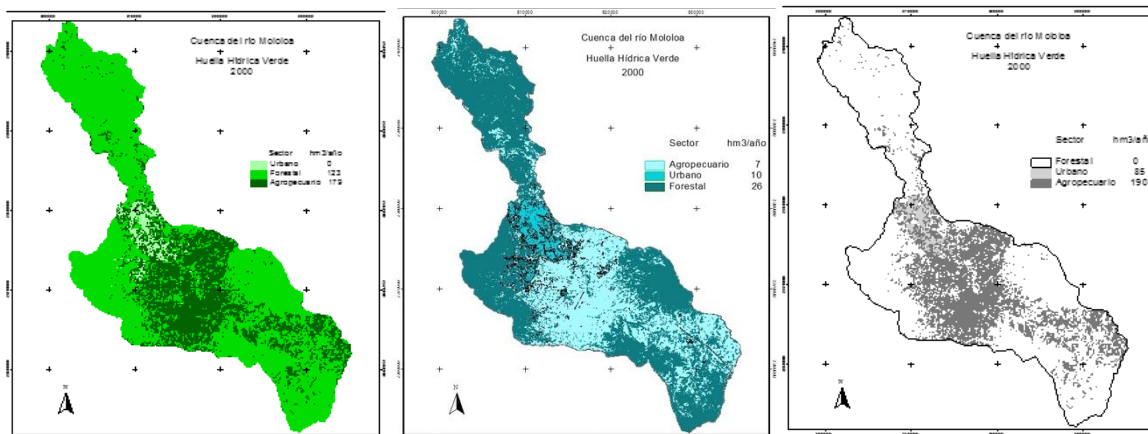


El cultivo principal es la caña de azúcar, que representa el 94% de la superficie sembrada en la cuenca; este cultivo tiene una HH de 293 m<sup>3</sup>/ton, muy por arriba de lo reportado para México, Costa Rica y Honduras (Bolaños, 2011). De acuerdo con Chávez y Binnquist (2012) es un cultivo que presenta un bajo rendimiento y un alto consumo de agua además de que las prácticas de cosecha son inadecuadas porque queman la caña para cortarla esto provoca contaminación ambiental y pérdida de suelos.

En el sector agropecuario la HH<sub>gris</sub> total en el año 2000 fue de 190.61 h<sup>3</sup>m, para el año 2011 aumento a 198.41 h<sup>3</sup>m, representando una tasa de incremento de 709 090 m<sup>3</sup>/año que puede ser atribuida al uso excesivo de fertilizantes con fósforo y nitrógeno en los cultivos principales de caña de azúcar, maíz, aguacate, mango y agave (véase tabla 1 y 2, gráficas 1 y 2).

La HH<sub>azul</sub> en el sector agropecuario representa la extracción de agua subterránea para el consumo y servicio en la cría de especies animales para consumo humano como: bovinos (carne y leche), caprinos, ovinos, porcinos y aves (carne y huevo), en menor proporción el cultivo de caña de azúcar de riego que representa solo 3% de la superficie cultivada de la cuenca. Los resultados revelan que la cría de aves constituye la mayor HH<sub>azul</sub> por su abundancia, seguida de los porcinos por sus altos requerimientos de agua y los bovinos por su alto consumo (27 litros/día/cabeza y 55 litros/día/cabeza si son para producción de leche) (véase figuras 2 y 3).

**Figura 2.** Huella Hídrica verde, azul y gris de la cuenca del río Mololoa 2000



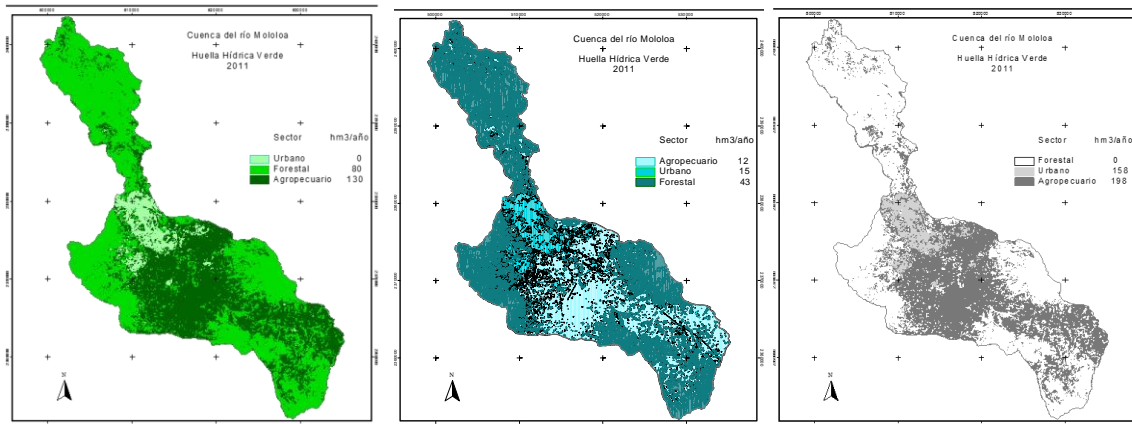
**Fuente:** Elaboración propia

El sector urbano está conformado por los subsectores industrial, comercial, público y residencial, este último representa el 50% HH<sub>azul</sub>, es decir, se utilizaron 5.25 hm<sup>3</sup>/año en 2000 y 7.66 hm<sup>3</sup>/año en 2011 para viviendas. Aunque en la cuenca no se asienta una macro industria, existe un ingenio de producción de azúcar, dos embotelladoras de refresco y 112 purificadoras de agua embotellada que aportan el 25% de la HH<sub>azul</sub>, el resto se distribuye entre el subsector público y comercial lo que da una tasa de crecimiento de 436 718 m<sup>3</sup>/año durante el periodo 2000 a 2011 (véase figura 2 y 3).





**Figura 3. Huella Hídrica verde, azul y gris de la cuenca del río Mololoa 2011**



*Fuente: Elaboración propia*

La HHgris es la más impactante en la cuenca, no solamente por cantidad de agua gris que se desecha, sino también por la cantidad de agua necesaria para que disminuyan los contaminantes a niveles permisibles de acuerdo a la normatividad oficial (NOM-001-ECOL-1996). Las condiciones del río Mololoa son de contaminación alta, solamente existen dos plantas de tratamiento de aguas residuales municipales que son insuficientes y de bajo rendimiento, por tal motivo la tasa de crecimiento de la HHgris es de 6.67 hm<sup>3</sup>/año, debido al subsector industrial y residencial (véase figura 2 y 3).

El subsector industrial representó para el año 2011 el 51% de la HH<sub>gris</sub> (81.46 hm<sup>3</sup>/año); como ya se mencionó a pesar de no ser una industria muy grande, sí es representativa, además vierte sus aguas al sistema de alcantarillado municipal sin ningún tipo de tratamiento. Las políticas de desarrollo actuales no han sido suficientes para garantizar el cuidado de los recursos y la restauración de los daños ambientales (véase figura 2 y 3).

El crecimiento poblacional de la cuenca es de 7 744 habitantes por año, lo que representó una HH urbana de 95.64 hm<sup>3</sup>/año en 2000 y 173.84 hm<sup>3</sup>/año en 2011, y una tasa de incremento de 7.10 hm<sup>3</sup>/año (véase tablas 1 y 2, gráficas 1 y 2).

De acuerdo a Hoekstra y Chapagain (2007) la huella hídrica urbana para México es de 139 m<sup>3</sup>/percap/año, dato que contrasta fuertemente con los resultados obtenidos en este trabajo para el años 2000 y 2011 (301 m<sup>3</sup>/percap/año y 431 m<sup>3</sup>/percap/año respectivamente) ambas huellas están por arriba de lo esperado y se ve una clara tendencia de acrecentar (véase figura 2 y 3).

Se calculó la HH forestal considerando que es importante conocer todas las necesidades de la cuenca; los bosques y selvas requieren de agua para su crecimiento y sobrevivencia (HH<sub>verde</sub>) y la escorrentía permite la infiltración a los acuíferos (HH<sub>azul</sub>) este proceso es importante para mantener el equilibrio y el ciclo hídrico, sin embargo la disminución de la HH<sub>verde</sub> en este sector de 43.03 hm<sup>3</sup>/año entre los años de 2000 a 2011 y el aumento de la HH<sub>azul</sub> de 17.78 hm<sup>3</sup>/año en el mismo tiempo, se vinculan con la



pérdida de vegetación natural ligada a una tasa de cambio de cobertura de -1.4 % anual de la superficie forestal a usos agrícolas y urbanos como lo menciona González (*et al.*, 2016) (véase figura 2 y 3).

Hoekstra y Chapagain (2007) y AgroDer (2012) durante el periodo de 1996 a 2005 reportan una HH para México de 1441 m<sup>3</sup>/percap/año, en cambio Vasquez (*et. al.*, 2012) indica una HH de 1978 m<sup>3</sup>/percap/año, siendo el promedio mundial de 1385 m<sup>3</sup>/percap/año. Tomando en cuenta los tres sectores agropecuario, forestal y urbano en sus tres colores verde, azul y gris la HH de la cuenca del río Mololoa durante 2000 fue de 1960 m<sup>3</sup>/percap/año y de 1586 m<sup>3</sup>/percap/año en 2011, ambas por arriba del promedio Mundial.

### **Conclusiones**

Como describe Aldaya (*et al.*, 2008) el conocimiento de la HH de un país, región o en este caso una cuenca, facilita distinguir las demandas económicas y ecológicas del recurso hídrico y de esta manera contar con herramientas para realizar una planeación adecuada que garantice la conservación y permanencia del recurso para la población que la habita. El mismo autor (*et al.* 2011) indica que la crisis del agua es un problema de mala gestión, por lo que los resultados de esta investigación aportan conocimiento de la cuenca para que las autoridades correspondientes tengan información necesaria para realizar una gestión adecuada del recurso hídrico.

Es así como la cuenca del río Mololoa que es habitada por 402 690 personas (INEGI, 2010) en un espacio relativamente pequeño de 56000 ha, para satisfacer sus necesidades hídricas extraen del acuífero Valle de Matatipac 74.9 hm<sup>3</sup>/año (CONAGUA, 2016) el resto se obtiene de la precipitación anual. La HH total para el año 2011 fue de 638.95 hm<sup>3</sup>/año, con una tasa de incremento anual de 1.5 hm<sup>3</sup> durante el periodo de 2000- 2011.

Durante el periodo de 2000 a 2011 la HH forestal disminuyó anualmente 2.29 hm<sup>3</sup>, relacionada con la variación anual de precipitación y con la disminución de la superficie forestal, es prioritario conservar las zonas forestales que favorecen la recarga del acuífero y la permanencia de los servicios ambientales.

La HH por habitante en el año 2000 fue de 1 960 m<sup>3</sup> y de 1 586 m<sup>3</sup> en 2011, ambas por arriba del promedio Mundial y Nacional, por lo que es relevante considerar como menciona Chavez y Binquíst (2012) que el uso del agua es clave para la conservación del ambiente, si se rebasan los límites de la disponibilidad natural del recurso por una demanda excesiva puede agotarse, como sucede en los valles de Oaxaca donde el agua subterránea es la fuente de suministro del 40% de la demanda agrícola, urbana e industrial. En la cuenca del río Mololoa el agua subterránea abastecía en el 2000 el 12% y se incrementó un poco más del doble para 2011 a 26% de la demanda agropecuaria, urbana e industrial, por lo que es trascendental realizar políticas de planeación y gestión adecuada del recurso para garantizar su conservación y no esperar a que llegue a puntos críticos que signifique pérdidas ambientales, económicas y problemáticas sociales.



## Bibliografía

- AgroDer, 2012. Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica. WWF México y AgroDer. México DF.
- Aldaya, M. M., Llamas Madurga, M. R., Garrido Colmenero, A., & Varela Ortega, C. (2008). Importancia del conocimiento de la huella hidrológica para la política española del agua. *Encuentros multidisciplinares*, 10(29), 1-12.
- Aldaya, M. M., Niemeyer, I., & Zarate, E. (2011). Agua y Globalización: Retos y oportunidades para una mejor gestión de los recursos hídricos. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, (230), 63-83.
- Aldaya, M. M., Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2012). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Routledge.
- Allen, R. G. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Vol. 56). Food & Agriculture Org.
- Arango Ochoa, J. (2014). *Determinación de la huella hídrica del sector doméstico en la Cuenca del Río Porce* (Doctoral dissertation).
- Arévalo Uribe, D & Campusano Ochoa, C. (2013) Huella Hídrica cuenca Porce, Colombia
- Becerra, A. T., Bravo, X. B. L., & Membrive, V. J. F. (2013). Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos. *M+ A. Revista Electrónica de Medioambiente*, 14(1), 56-86.
- Bolaños, M. E. (2011). Determinación de la huella hídrica y comercio de agua virtual de los principales productos agrícolas de Honduras. Zamorano Honduras.
- Bonilla, M. A. R. (2013). Importancia económica de la provisión y regulación hídrica de los parques nacionales naturales de Colombia para los sectores productivos del país.
- Camarero, F., Sotelo, J. A., Olcinas, J., Tolón, A., García-Alvarado, J. M., Lastra, X. B., & Sotelo, I. (2011). Huella hídrica, desarrollo y sostenibilidad en España. Madrid, Fundación Mapfre.
- Chapagain, A. K. & Hoekstra, A. Y. (2004) "Water footprints of nations". Value of Water Research Report Series, 16, Netherlands, UNESCO-IHE, Delft. Disponible en: [http://www.unesco-ihe.org/Value-of-Water-Research-Report-Series/Research-Papers/\(offset\)/10](http://www.unesco-ihe.org/Value-of-Water-Research-Report-Series/Research-Papers/(offset)/10) (Fecha de consulta: 20/03/2012).
- Chavez C, & Binnquist C. (2012) La huella hídrica agrícola en los Valles de Etna, Zimatlán y Tlacolula, Oaxaca. *Sociedades rurales, producción y Medio Ambiente*, 2(23), 15-50.
- CNA. (2000) Gerencia de saneamiento y calidad del agua. Subdirección General Técnica. Sistema unificado de información básica del agua- SUIBA-. México.



- CNA. (2010) Gerencia de saneamiento y calidad del agua. Subdirección General Técnica. Sistema unificado de información básica del agua- SUIBA-. México.
- CONAGUA. (2016) Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=60>
- Cuevas, M., & Fallot, A. (2014). Resumen de métodos para estimar el consumo de agua en el análisis socio-- Diario Oficial de la Federación (2009). Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea Acuífero (1804) Valle de Matatipac, Estado de Nayarit. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. DOF 28 de agosto de 2009.económico de un territorio de Bosque Modelo.
- Egan, M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. *Social and Environmental Accountability Journal*, 31(2), 181-182.
- González, A. G. S., González, O. N., Núñez, R. M. M., & Flores, S. M. L. M. (2016). Dinámica espacio-temporal de la cobertura y uso del suelo en una cuenca hídrica. CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias, 5(9).
- Hoekstra, A. Y. & Hung, P. Q. (2002): "Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade". Value of Water Research Report Series, 11, Netherlands, UNESCO-IHE, Delft.
- Hoekstra, A.Y. (ed.) (2003) Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, Holanda, 12–13 December 2002, Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft, 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 resources management*, 21(1), 35-48.
- 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, Holanda. <http://waterfootprint.org/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf>
- Hoekstra, A.Y. & Chapagain, A.K. (2010) Globalización del Agua: Compartir los recursos de agua dulce del planeta, Marcial Pons, Madrid / Barcelona / Buenos Aires.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. & Mekonnen, M.M. (2011) The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard, Earthscan, London, UK.
- Huella de Ciudades. (2016). Proyecto apoyado por el Banco de desarrollo para América Latina -CAF- y la Alianza Clima y Desarrollo (CDKN), facilitado por la Fundación Futuro Latinoamericano (FFLA) y ejecutado por Servicios Ambientales S.A. y la WaterFootprint Network <http://www.huelladeciudades.com/huella-hidrica.html>
- INEGI (2007). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico para Nayarit serie II Formato electrónico. Escala: 1:250 000. Clave carta: F13-8. Proyección: Universal Transversa de Mercator. Coordenadas: O 104°00 - O 106°00 / N 21°00 - N 22°00.



- INEGI (2007-2012). Principales cultivos agrícolas en Nayarit. Censo agropecuario 2007-2012.
- INEGI (2010). Censo de Población y vivienda. México.
- INEGI (2014). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. México
- INEGI (2015). Inventario Nacional de Viviendas. México.
- Ivanova, Y. (2013). Evaluación de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá como una herramienta de gestión del recurso hídrico en el área urbana. Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Colombia. <http://hdl.handle.net/10554/15009>
- Jáuregui, C. S., Ramírez, M. A., Espinoza, R., Tovar, R., Quintero, B., & Rodríguez, I. (2007). Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. *Rev. Latin. Rec. Nat*, 3, 65-73.
- Jáuregui, M.C., Rodríguez, C.I. & Ramírez, H,S, (2014) Contaminación y calidad del agua del río Mololoa. En *La cuenca del río Mololoa y su problemática socioambiental*. (pp. 147-155). Nayarit, México: UAN.
- Jimenez, A. A., Vilchez, F. F., & Flores, S. M. (2016). Integración del paisaje como propuesta de regionalización. Cuenca río mololoa. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 4(8).
- Martínez, F. P., Perni, Á., & Paz, J. M. M. (2013, December). La huella hídrica total de una cuenca: el caso de la demarcación hidrográfica de la Segura. In 8. ° *Congreso Ibérico de Gestão e Planeamento da Água* (pp. 507-517).
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Value of water research report series no. 48. UNESCO-IHE.
- Nájera-González, O., Bojórquez-Serrano, J. I., Cifuentes-Lemus, J. L., &Marceleño-Flores, S. (2010). Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit. *Revista Bio Ciencias*, 1 (1).
- Nájera-González, O., & Bojórquez-Serrano, J. I. (2014) Caracterización hidrológica de la cuenca del río Mololoa. En *La cuenca del río Mololoa y su problemática socioambiental*. (pp. 37-46). Nayarit, México: UAN.
- NOM-001-ECOL-1996. Mexicana, N. O. (1996). NOM-001-ECOL-1996. *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*.
- Pérez, M. A., Peña, M. R., & Álvarez, P. (2011). Agro-industria cañera y uso del agua: análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en Colombia. *Ambiente & Sociedad*, 14(2), 153-178.
- Querétaro, Gobierno de (2013). Normas y lineamientos técnicos para las instalaciones de agua potable, agua tratada, alcantarillado sanitario y pluvial de los fraccionamientos y condominios de las zonas urbanas del Estado de México.





- Rivera-Aldaco Y.M., Marcelleño Flores S., Nájera-González, O., & Flores-Vilchez F. (2014) Análisis socioambiental de los ejidos de la cuenca del río Mololoa. En *La cuenca del río Mololoa y su problemática socioambiental*. (pp. 117-130). Nayarit, México: UAN.
- Rodríguez Casado, R., Garrido Colmenero, A., Llamas Madurga, M. R., & Varela Ortega, C. (2008). La huella hidrológica de la agricultura española. *Papeles de Agua virtual*, (2), 1-38.
- San Luis Agua S.E (2013). *Cálculo y Análisis de la Huella Hídrica de la Provincia de San Luis sectores agrícola y pecuario*. Gobierno de la Provincia de San Luis, Argentina.
- Salmoral, G., Dumont, A., Aldaya, M. M., Rodríguez-Casado, R., Garrido, A., & Llamas, M. R. (2012). *Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir*. Fundación Marcelino Botín.
- Sotelo Navalpotro, J. A., Olcina Cantos, J., García Quiroga, F., & Sotelo Pérez, M. (2012). Huella hídrica de España y su diversidad territorial.
- Vásquez, R., & Buenfil, M. O. (2012). Huella hídrica de América Latina: retos y oportunidades. *Aqua-LAC*, 4(1), 41-48.
- Velasquez G.V. (2011). Los Bosques Plantados y la Huella Hídrica, la Respuesta Hidrológica y la Hidrosolidaridad. Séptimo diálogo Interamericano sobre Gestión del Agua. Medellín, Colombia.
- WWF - SDC, (2012). The Swiss Water Footprint Report. A global Picture of Swiss Water