

# LA PRESIÓN HÍDRICA DE LA AGRICULTURA EN LOS DISTRITOS QUE CIRCUNDAN LA CIUDAD DE OAXACA

*Marta Magdalena Chávez Cortés<sup>1</sup>*

*Nayeli Flores Guadarrama<sup>2</sup>*

## RESUMEN

El agua constituye un componente fundamental de todas las actividades de producción y reproducción social, y posee una especial relevancia ambiental, cultural y política que remite a debates y conflictos por su apropiación. Esto en virtud de que los distintos usos del recurso imprimen demandas diferentes sobre la cantidad, calidad y distribución oportuna, en tiempo y forma, del agua. Tratándose de la agricultura y debido a su alta dependencia del recurso, existe acuerdo en que es urgente disminuir la presión que este uso de suelo ejerce sobre las funciones ecosistémicas de producción y regulación hidrológica. De aquí que, determinar las cantidades de agua requeridas para producir diferentes cultivos en contextos biofísicos diferentes, así como el rendimiento económico de los cultivos por unidad de agua, sea un requerimiento importante en términos de transitar hacia un uso sustentable del recurso y también hacia un mejor uso de suelo. En este trabajo se presenta una evaluación de la presión que ejerce la agricultura sobre el agua en los distritos que circundan la ciudad de Oaxaca, a partir de la noción de huella hídrica agrícola azul y verde. Estas categorías resultan de interés ya que dan cuenta de la presión hídrica que ejercen la agricultura de temporal y la de riego respectivamente. Como resultados de este estudio se proporciona una representación espacial de dicha presión y, al mismo tiempo, datos cuantitativos que indican que, primero, hay que enfocar esfuerzos en el distrito de Zimatlán para disminuir la huella hídrica agrícola de la región.

---

<sup>1</sup> Dra. en Planeación Regional y del Desarrollo, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Depto. El Hombre y su Ambiente, Calz. Del Hueso 1100, Col. Villa Quietud C.P.04960, Coyoacán, 54837225, ccmm1320@correo.xoc.uam.mx

<sup>2</sup> Bióloga, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Depto. El Hombre y su Ambiente, Calz. Del Hueso 1100, Col. Villa Quietud C.P.04960, Coyoacán, 54837225, nayelinda85@gmail.com

En este sentido, este estudio crea un caso tanto para la intervención del gobierno, como para la acción personal de los agricultores sobre las bases de la responsabilidad compartida.

Palabras clave: Presión hídrica, Oaxaca, agricultura.

## **INTRODUCCIÓN**

Uno de los retos más preocupantes que enfrenta la humanidad es el de tener que alimentar a una población cada vez más creciente (Grau y Tabora, 2011). La producción de alimentos así como la seguridad alimentaria plantean a su vez un fuerte reto que está íntimamente ligado a la disponibilidad de agua: sólo se puede proveer más comida si hay agua disponible en el momento adecuado, en el lugar adecuado, y en la cantidad y calidad suficientes (Lundqvist y Steen, 1999). Entonces, producir más alimento presupondría aumentar la presión sobre las funciones ecosistémicas de producción y regulación hidrológica (Falkenmark et al., 2007), ya que la agricultura es el mayor consumidor de agua a nivel mundial (Grau y Tabora, 2011).

En una cuenca-ecosistema, esta presión se torna crítica cuando la demanda para cubrir las necesidades humanas por agua supera la cantidad que una cuenca hidrológica es capaz de renovar anualmente (Keller et al., 1998). Si la presión hídrica continúa, se generan importantes repercusiones en la relación sociedad-naturaleza, tales como: colapso de la agricultura, aumento de riesgos a la salud, conflictos socio-políticos por escasez de agua, migración de la población, y reducción de caudales que ponen en riesgo las funciones ecosistémicas y los servicios ambientales que éstas proveen (Falkenmark et al., 2008).

Esta situación no es ajena a los distritos que rodean la Ciudad de Oaxaca en términos de provisión de agua, tanto desde la perspectiva de la cantidad como de la calidad (Binnquist, 2011). La precipitación promedio anual es de 650 mm, la infiltración natural es limitada debido a la heterogeneidad de la permeabilidad del suelo, y las fallas geológicas presentes en la Sierra

de San Felipe actúan como una barrera hidrológica que limita la escorrentía subterránea proveniente de la Sierra de Juárez hacia los Valles Centrales. Asimismo, la expansión del área conurbada de la ciudad de Oaxaca ha favorecido la invasión de áreas naturales útiles para la infiltración al acuífero y, en los últimos años, se ha presentado una reducción significativa de áreas naturales por incendios forestales. También se ha registrado una pérdida de suelo por degradación química, y por excesiva extracción de minerales y nutrientes, sobre todo en monocultivos. Adicionalmente, los acuíferos de Valles Centrales son muy vulnerables a la contaminación: el 65% de los pozos profundos (31) presentan una vida útil limitada debido a este problema. Y en el distrito de Zimatlán, en tiempo de lluvias, el nivel freático es somero (0.50 m) lo que significa contar con áreas de alta productividad agrícola pero vulnerables frente a contaminantes presentes en las aguas del río Atoyac. Cabe mencionar también que el agua subterránea es la fuente que abastece casi el 100% del uso urbano, suministra alrededor del 40% de la demanda agrícola y el 100% del uso industrial. Aunado a esto, las prácticas de riego son ineficientes y favorecen el derroche de agua, ya sea porque los riegos no se planifican adecuadamente de acuerdo a la temporada y el tipo de cultivo, por el tamaño de las unidades de producción, o por la tecnología de riego usada.

Todos estos factores en su conjunto, han contribuido a que la CONAGUA declare una veda a la entrega de concesiones para la extracción adicional del agua de los acuíferos de los Valles Centrales. Y, por si fuera poco, la producción de alimento en la región es pobre, debido a los bajos rendimientos con el menor valor económico por metro cúbico de agua consumido. En resumen, se está dejando atrás la ocupación agrícola sustentable.

El clima global en relación a cómo atender este asunto apunta al uso de tecnologías innovadoras que garanticen una producción de alimentos más sustentable tales como: incrementar el rendimiento de los cultivos, la protección de las cosechas y el aumento en la

eficiencia tecnológica de la infraestructura de los sistemas de riego, especialmente por goteo o micro-aspersión (Mestries y Bonilla, 2010). De aquí que la Agenda del Agua 2030 propuesta por la CONAGUA concentre sus apuestas en la tecnificación de la agricultura como la forma de disminuir el consumo de agua en este sector. Empero, si bien esta medida de ecoeficiencia es necesaria, se dejan de lado cuestiones como: emplear solo el agua que realmente requieren los cultivos para prosperar; buscar una combinación de cultivos que provean mayor biomasa por unidad de agua; o bien considerar, como criterio de aptitud en los programas de ordenamiento territorial, la cantidad de agua requerida para mantener, en el espacio y tiempo, los usos y destinos del suelo propuestos; cuando deberían ser estrategias complementarias. En opinión de las autoras, dichas alternativas, en conjunto, podrían soportar mejor el uso sustentable del agua en el largo plazo y, al mismo tiempo, frenar la expansión agrícola y proveer de más alimento.

Ante la importancia del tema de la suficiencia alimentaria y su fuerte dependencia del recurso agua, cualquier evaluación de la agricultura debe basarse en el reconocimiento de la necesidad urgente de producir más con menos agua, menos suelo y menos agroquímicos. Producir más alimentos con *menos agua* solo puede alcanzarse si el agua que está disponible para la agricultura se usa de manera más eficiente y más productivamente. Esto merece poner atención en tres aspectos: 1) negociaciones del uso del agua dentro del sector agrícola; 2) negociaciones sobre el uso del agua entre sectores, en primera instancia entre el sector urbano y el rural; 3) la necesidad de balancear las funciones y beneficios derivados del uso directo del agua con la preocupación por lograr un desarrollo territorial más acorde con los principios de la sustentabilidad ambiental (Lundqvist y Steen, 1999). En cualquiera de estos casos, determinar las cantidades de agua requeridas para producir diferentes cultivos en contextos biofísicos diferentes, así como el rendimiento económico de los cultivos por unidad de agua, es un imperativo en términos de transitar hacia una agricultura más sustentable (Pengue, 2006).

Dada la vulnerabilidad de los Valles Centrales de Oaxaca al crecimiento urbano y su orientación agrícola bajo condiciones de escasa disponibilidad de agua, es importante realizar estudios que sirvan de base para intentar establecer políticas que, de acuerdo con la Agenda del Agua 2030, promuevan la protección y el uso sustentable de los recursos hídricos. Una forma de analizar estos aspectos, es a través de indicadores de sustentabilidad capaces de medir las presiones ejercidas por actividades antrópogénicas -como es el caso de la agricultura- sobre los recursos que generan los ecosistemas (Roth et al., 2001). Uno de estos indicadores es la Huella Hídrica (HH), desarrollado por Hoekstra y Hung en el año 2002 con el objeto de desarrollar un indicador que relacionara el uso del agua con el consumo humano (Hoekstra y Hung, 2002). La HH de un individuo, de un grupo de personas o de un país, se define como el total de agua utilizada para producir los bienes o servicios consumidos por el individuo, por ese grupo de personas o por el país (Chapagain y Hoekstra, 2004).

En el caso de la agricultura, el consumo de agua que éste sector hace con respecto a otro, ya sea en un país o en una región, siempre se ha presentado como un porcentaje del agua disponible. Pero, si bien estos datos son útiles para cuantificar el nivel de explotación de los recursos hídricos locales, no proporcionan información sobre qué cultivos son los que ejercen mayor presión hídrica y sobre el tipo de fuente sobre la cual se ejerce esa presión. La estimación de la huella hídrica de la agricultura, surge así como un indicador complementario al de la huella ecológica, por ejemplo, en el cálculo de la sustentabilidad del uso de los recursos naturales por parte del hombre (Rodríguez, et al., 2008; Hoekstra, 2007). Ejemplos de trabajos recientes que han abordado el cálculo de la huella hídrica agrícola son el de Ridoutt et al., (2010) en donde se hace la cuantificación de la huella hídrica azul, verde y gris para la producción de mango Australiano o de Arévalo y colaboradores (2011), quienes hacen un estudio de la huella hídrica del sector agrícola de Colombia, resaltando los productos agrícolas con mayor huella y su representación a nivel municipal y departamental. En el caso de México,

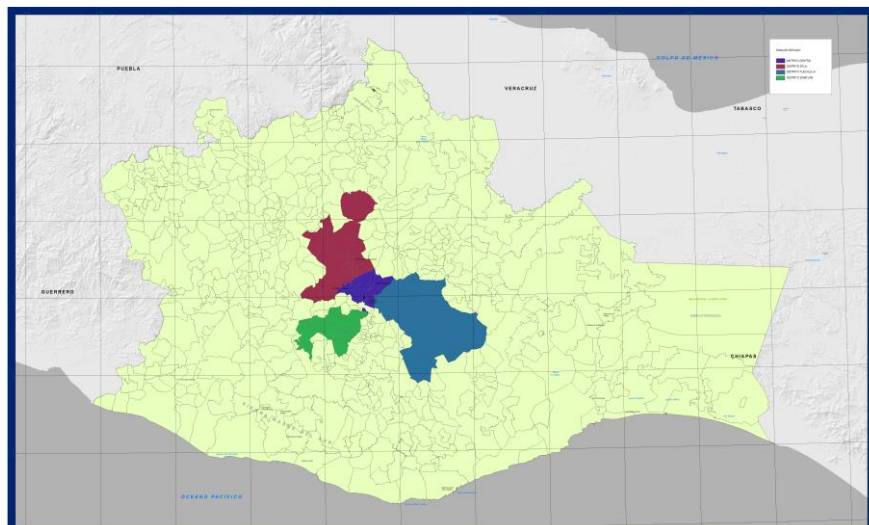
se registra una escasa publicación de trabajos sobre HH a nivel de región, o incluso a nivel de productos o actividades productivas en particular, de aquí el aporte de este trabajo.

Uno de los aspectos más relevantes de la huella hídrica es que permite diferenciar el agua consumida según su procedencia, distinguiendo entre huella hídrica azul y huella hídrica verde. Se denomina huella hídrica azul cuando la fuente de agua utilizada para la producción proviene de ríos, lagos, y acuíferos; y huella hídrica verde cuando se utiliza el agua que proviene de las precipitaciones, la cual queda retenida en el suelo (Falkenmark, 2003). Por su parte, la huella hídrica gris, está ligada a la contaminación del recurso posterior a su utilización. Distinguir entre ellas es importante ya que cada una implica diferentes impactos sobre el ambiente y requieren diferentes políticas de administración y gestión del agua y del territorio (Pérez, 2008).

En este contexto, el objetivo de este trabajo es estimar la presión que ejerce la agricultura sobre el recurso agua en Valles de Etna, Zimatlán, Tlacolula y Centro a través del cálculo de la huella hídrica agrícola azul y verde. Estas categorías resultan de interés ya que darán cuenta de la presión hídrica que ejercen la agricultura de temporal y la de riego respectivamente.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

Los distritos o también denominados valles de Etna, Zimatlán, Tlacolula y Centro se ubican en la región de los Valles Centrales localizada entre el Nudo Mixteco, la Sierra de Juárez y la Sierra Madre del Sur en la porción central del estado de Oaxaca (ver Figura 1) (Gobierno del Estado de Oaxaca, 2011).



**Figura 1. Ubicación geográfica de los Valles Centrales de Oaxaca.**

**Fuente: elaboración propia a partir de INEGI (2000).**

Cada distrito agrupa diversos municipios Etna (23), Zimatlán (13), Tlacolula (25) y Centro (21) que, en conjunto conforman una superficie de 695,173.42 ha.

Hidrológicamente los Valles Centrales pertenecen a la región V Pacífico Sur específicamente a la Subregión hidrológica “Río Verde”, la cual presenta siete tipos climáticos, que varían desde los climas semicálidos hasta los secos y templados. La temperatura promedio es de 20°C y la precipitación media anual varía de 515 a 1 615 mm. Las corrientes de mayor importancia en la subregión son el Río Verde y el Río Atoyac.

Los Valles Centrales circundantes a la ciudad de Oaxaca son una depresión en forma de “Y” de la cual el brazo NW representa el acuífero del Valle de Etna, el brazo NE al acuífero del Valle de Tlacolula, ambos convergen en la parte sur de la ciudad Oaxaca, y dan lugar al acuífero de Zimatlán. La región consume anualmente 121.8 millones de m<sup>3</sup> de agua. Del acuífero de Valles Centrales se extraen 240 hm<sup>3</sup>/año de agua para atender las demandas de los usos: público

urbano, agrícola, industrial y otros servicios. Así, el agotamiento se vincula en gran parte al crecimiento de la agricultura (2% anual) y la población urbana (1% anual).

En los Valles Centrales de Oaxaca la agricultura de temporal ocupa la mayor superficie distribuida en dos cultivos esencialmente, el maíz de grano y el frijol, dominando el primero en superficie. La agricultura de riego se lleva a cabo sembrando maíz de grano, maíz forrajero, frijol, sorgo y tomate rojo (jitomate); este último, en invernaderos bien establecidos y al parecer con una buena producción ( $\approx 25$  Ton/ha) (SIAP, 2010).

### 3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

#### 3.1 Cálculo de la huella hídrica agrícola

Para evaluar la presión que ejerce la agricultura sobre el recurso agua, este estudio tomó como base metodológica la desarrollada por Chapagain y Hoekstra (2004) para el cálculo de la Huella Hídrica, pero referida solamente al cálculo de la Huella Hídrica de la Agricultura en un año determinado: 2010. Dicha huella se estimó considerando dos de sus componentes: la azul y la verde.

De acuerdo con esta metodología, el volumen de agua utilizada para la producción agrícola en un país, región o lugar en particular, se calcula como:

$$HH (\text{Agricultura}) = \sum_{i=1}^n UAC[i] \quad (1)$$

Donde UAC ( $m^3/año$ ), uso de agua por cultivo, es el volumen total de agua usada para producir una cantidad determinada de toneladas de un cultivo [i]. Así se tiene que:

$$UAC[i] = UC[i] \times Producción[i] / Rendimiento[i] \quad (2)$$



Donde,  $UC[i]$  corresponde al uso consuntivo de cada cultivo ( $m^3/ha$ ); la producción es la cantidad del cultivo  $[i]$  producido en un año (ton/año), y el rendimiento corresponde a volumen de producción del cultivo  $[i]$  por unidad de área de producción (ton/ha).

El uso consuntivo, es definido como el total de agua necesaria para que una planta crezca, se desarrolle y produzca económicamente (Sánchez-Tienda, 1999). En otras palabras, es la evapotranspiración de un cultivo, desde la siembra hasta la cosecha, dado un régimen climático específico, cuando la humedad del suelo es mantenida adecuadamente por la precipitación o irrigación de tal manera que no limite el crecimiento de la planta ni el rendimiento del cultivo (Allen, et al., 1998).

La evapotranspiración real de los cultivos se estimó utilizando el método de Blannet y Criddle modificado por Phelan (Aguilera y Martínez, 1980), el cual toma en cuenta la temperatura media mensual, el fotoperiodo diario y el factor de absorción de cada cultivo ( $K_c$ ). Los principales determinantes de  $K_c$  son la variedad del cultivo, el clima y las etapas de crecimiento del cultivo. Los valores del  $K_c$  son estimados a nivel internacional por la FAO, y a nivel local por instituciones de gobierno como la SAGARPA o bien por instituciones académicas. Aunque  $K_c$  es un coeficiente que depende en esencia de la variedad del cultivo, en la práctica se usa casi siempre el mismo valor para todas las variedades (Pérez, 2008). La evapotranspiración, por su parte, depende de datos climatológicos que aunque son variables, pueden considerarse estables durante un lapso de tiempo para un lugar específico (Ibid).

### **3.2 Cálculo del uso de agua azul y agua verde en la agricultura**

El uso del agua en la agricultura se corresponde con la suma de las demandas evaporativas de los cultivos producidos e incluye tanto el agua azul como la verde. Las pérdidas de agua que

puedan producirse por riego no se contabilizan en este trabajo, asumiendo que eventualmente puedan ser reutilizadas.

Los cultivos utilizados en este trabajo son todos aquellos contemplados en la base de datos del portal electrónico OEIDRUS-Oaxaca para los distritos de Etna, Tlacolula, Zimatlán y Centro (31 cultivos). Los coeficientes de cultivo  $K_c$  se obtuvieron de diferentes fuentes bibliográficas.

Se calcularon por separado la evapotranspiración anual de agua verde ( $UCV[i]$ ,  $m^3/ha$ , año) y la evapotranspiración anual de agua azul ( $UCA[i]$ ,  $m^3/ha$ , año).

De acuerdo con Rodríguez et al.,(2008), la evapotranspiración anual de agua verde, correspondiente al régimen de temporal, coincide con la precipitación efectiva ( $Pe$ ,  $m^3/ha$ , año) en el caso de que esta cantidad no supera las necesidades hídricas del cultivo, es decir:

$$UCV[i] = \min(UC[i]; Pe) \quad (3)$$

Para obtener la precipitación efectiva, que es el agua de la lluvia que realmente puede ser aprovechada por la planta, se aplicó el modelo de Zierold y Palacios desarrollado en 1971 para diferentes zonas de México, el cual está en función de la precipitación mensual ( $p$ ,  $cm/mes$ ):

$$Pe (cm/mes) = p - 0.05 \times p^2, \text{ si } p < 2.5 \text{ cm} \quad (4)$$

$$Pe(cm/mes) = 1.27 \times p^{0.75} - 0.0806 \times p^{1.5}, \text{ si } p > 2.5 \text{ cm} \quad (5)$$

$$Pe(m^3/ha, mes) = 100 \times Pe \quad (6)$$

En el caso de la evapotranspiración anual de agua azul, vinculada al régimen de riego, se supuso que todos los cultivos ven cubiertas sus necesidades hídricas. Así, la evapotranspiración de agua azul se corresponde con el riego realizado y compensa la diferencia, si existiera, entre sus necesidades hídricas y la precipitación efectiva (Rodríguez, et al., 2008). De aquí que:

$$UCA[i] = \max(0; UC[i] - Pe) \quad (7)$$

Una vez obtenidos los usos consuntivos, para estimar las huellas hídricas azul y verde de la agricultura en cada distrito, se aplicó la ecuación 8 para los cultivos bajo el régimen de riego y la ecuación 9 para los cultivos bajo régimen de temporal.

$$\text{HHA (distrito)} = \sum_{i=1}^n \text{UCA}[i] \times \text{Producción}[i] / \text{Rendimiento}[i] \quad (8)$$

$$\text{HHV (distrito)} = \sum_{i=1}^n \text{UCV}[i] \times \text{Producción}[i] / \text{Rendimiento}[i] \quad (9)$$

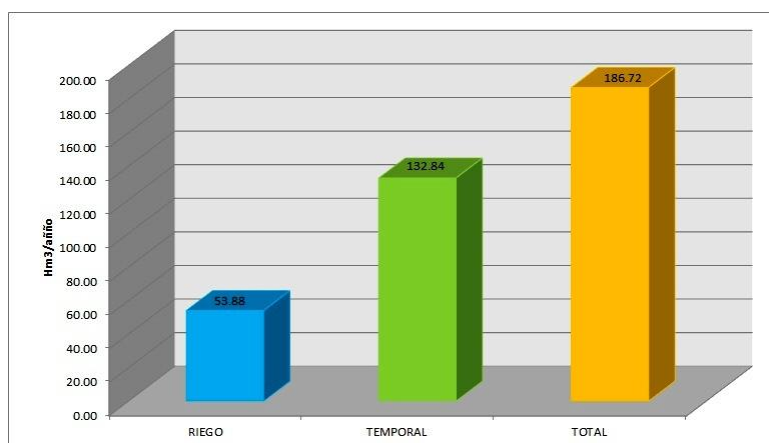
## 4. RESULTADOS

### 4.1 El consumo de agua en la agricultura a nivel global

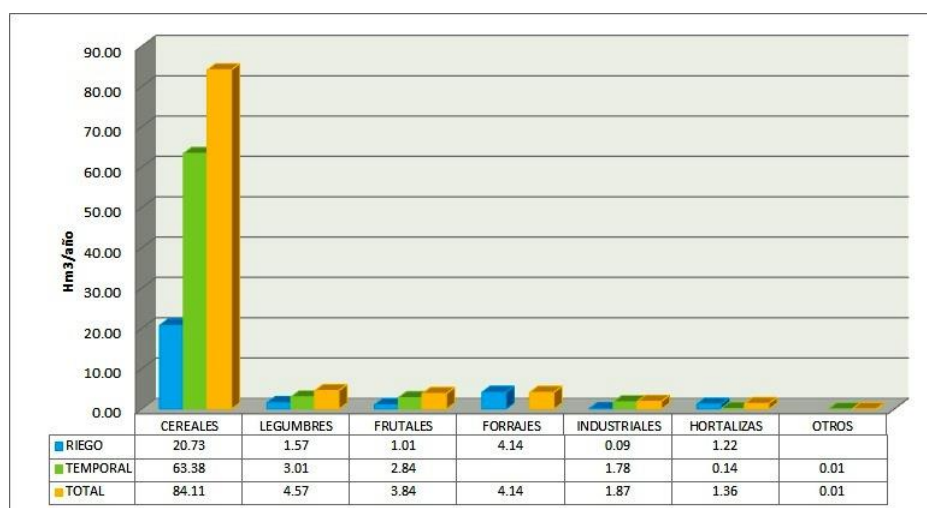
La huella hídrica agrícola global de la zona de estudio asciende 186.72 hm<sup>3</sup>/año y, en esta región, se cultivan 31 productos repartidos fundamentalmente en seis grupos: cereales, forrajes, legumbres, hortalizas, frutales y cultivos industriales.

Al desagregar la huella hídrica por tipo de cultivos, se encontró evidencia de un efecto claro de la dinámica económica sobre la agricultura de la región: la especialización, la cual conduce a la concentración de una fracción importante del consumo de agua en un solo grupo de cultivos: los cereales. Estos son los principales consumidores de agua de la región, empleando en el 2010 un 84.11% (157.05 hm<sup>3</sup>/año) de toda el agua utilizada para la agricultura. Después de los cereales, las legumbres y los forrajes son los grupos de cultivos con mayor huella hídrica en la región de estudio con un requerimiento de 8.54 hm<sup>3</sup>/año y 7.73 hm<sup>3</sup>/año cada uno. Le siguen los frutales (7.18 hm<sup>3</sup>/año) y los cultivos industriales -en este caso caña de azúcar y agave- (3.49 hm<sup>3</sup>/año). En último lugar compiten las hortalizas con un requerimiento de 2.54 hm<sup>3</sup>/año.

Ampliando la perspectiva de la huella hídrica a sus componentes verde y azul, encontramos que prácticamente todos los grupos de cultivos se siembran bajo los dos esquemas agrícolas: el de riego y el de temporal pero en diferente proporción. De acuerdo con datos de la SAGARPA (2010), en la región se dedican 11650.50 ha a la agricultura de riego y 81188.00 ha a la agricultura de temporal. De aquí que se consuma más agua verde que azul en la actividad agrícola (ver Figura 2) pues, en principio, la superficie de temporal supera casi siete veces a la de riego.



**Figura 2. Distribución de la huella hídrica agrícola de acuerdo al régimen de cultivo**



**Figura 3. Magnitud de la huella hídrica agrícola clasificada por tipo de cultivos**

Viendo más de cerca la huella hídrica azul, los resultados que se muestran en la figura 3 demuestran que el grupo de los cereales es también el mayor consumidor de agua (39.04

hm<sup>3</sup>/año). Le siguen los forrajes, las legumbres y las hortalizas con un requerimiento de 7.73 hm<sup>3</sup>/año, 2.92 hm<sup>3</sup>/año y 2.28 hm<sup>3</sup>/año respectivamente. Los tipos de cultivo que menos agua azul consumen son los frutales (1.88 hm<sup>3</sup>/año) y los cultivos industriales (0.28 hm<sup>3</sup>/año) representados, en este caso, por la caña de azúcar.

Si bien este último dato pudiera parecer poco significativo con respecto a la presión hídrica global en la región, al enmarcarlo dentro del contexto de la disponibilidad de agua azul, se hace evidente que el cultivo de la caña de azúcar ejerce presión exclusivamente sobre las fuentes de agua naturales (acuífero subterráneo). Tomando en consideración que este cultivo es muy demandante de agua, habrá que vigilar su expansión.

Ahora bien, el reflejo del esquema de especialización agrícola a nivel de los cultivos indica que el maíz de grano es el cultivo dominante. De aquí que sea el cultivo que mayor presión ejerce tanto sobre el agua verde como sobre el agua azul.

En cuanto a la huella hídrica verde, el maíz de grano da cuenta del 88.92 % del agua de lluvia utilizada para la agricultura. Cabe destacar que el maíz de grano es el cultivo más importante para el estado de Oaxaca en términos de superficie cultivada, así como el primero en cuanto al consumo de agua verde.

En el caso del esquema de regadío, asociado a la huella hídrica azul, el cultivo del maíz de grano consume el 70.84 % del agua subterránea utilizada en los tres valles (38.17 hm<sup>3</sup>/año). El resto de la huella hídrica azul de la zona de estudio se explica por el consumo de otros tres cultivos: el maíz forrajero (4.29 hm<sup>3</sup>/año), el frijol (3.50 hm<sup>3</sup>/año) y la alfalfa (3.38 hm<sup>3</sup>/año).

#### 4.2 El consumo de agua en la agricultura al interior de cada valle

De los cuatro valles estudiados, Zimatlán es el que más agua consume en la producción agrícola (70.28 hm<sup>3</sup>/año) en términos de agua azul y verde en conjunto, seguido por el valle de Etna (55.03 hm<sup>3</sup>/año), Tlacolula (31.82 hm<sup>3</sup>/año) y Centro (29.58 hm<sup>3</sup>/año).

En términos de la distribución de la huella hídrica agrícola por grupo de cultivos a nivel local, los valles de Etna y Centro observan el mismo patrón de requerimientos de agua. Es decir, el riego de cereales, forrajes y legumbres, en conjunto, dan cuenta de la mayor demanda de agua. A diferencia de Tlacolula, donde el patrón es: cereales, industriales y frutales como los grupos de cultivos que mayor demanda de agua tienen. O de Zimatlán, donde los cereales, frutales y legumbres consumen la mayor cantidad de agua.

En términos de cultivos individuales, los tres cultivos que ejercen una mayor presión hídrica en Etna son el maíz de grano, el frijol y el maíz forrajero, mientras que en el distrito Centro son el maíz de grano, alfalfa y frijol. En Zimatlán los cultivos más demandantes son el maíz de grano, la manzana y el frijol, y en Tlacolula estos puestos los ocupan el maíz de grano, el agave y la alfalfa (ver Figura 4).

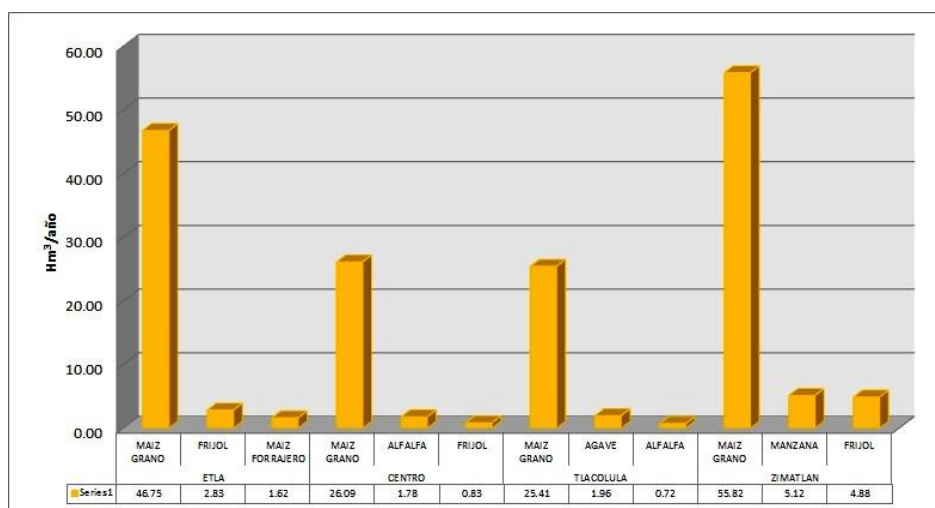
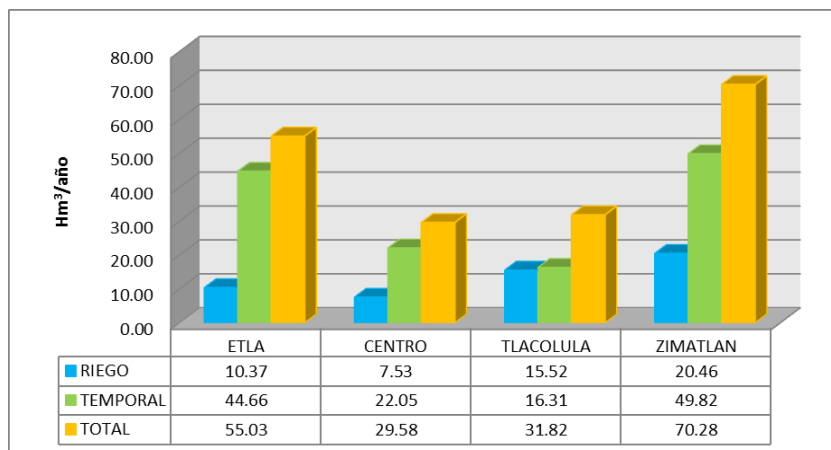


Figura 4. Relación de cultivos que registran una mayor huella hídrica en los cuatro distritos.



**Figura 5. Magnitud de la huella hídrica de acuerdo a la fuente de agua**

Como puede observarse en la figura 5, los cuatro valles comparten la característica de que su huella hídrica verde es mayor que la azul y, dentro de este contexto, el que más agua consume es Zimatlán y el que menos Tlacolula. Independientemente del distrito que se trate, dicha huella se ve fuertemente influida por la siembra del maíz de grano. Sin embargo, la diferencia de la huella hídrica verde entre estos distritos se puede explicar porque en Tlacolula, a pesar de registrar una precipitación anual promedio ligeramente mayor, se cultiva casi la mitad de superficie que en Zimatlán con este grano.

Asimismo, el distrito que utiliza más agua azul es Zimatlán, seguido por Tlacolula, ETLA y el que menos lo hace es el Centro. De acuerdo con los resultados, Zimatlán supera al distrito Centro en términos de su huella hídrica azul por un factor de 2.71, lo cual podría explicarse porque en Zimatlán se dedica más del doble de tierra (4504.62 ha) a la agricultura de riego que en el distrito Centro (1759.68 ha) y porque ahí se cultiva más del triple de superficie con maíz de grano (2939 ha).

Aquí es importante resaltar que, desde la perspectiva de la especialización agrícola, el valle de Zimatlán es el que más acusa este efecto, puesto que Tlacolula presenta mucha más riqueza de cultivos (21) que Zimatlán (7), producidos bajo un esquema de riego. Lo mismo sucede si se

compara Zimatlán con los distritos Etna y Centro, pues el primero registra una riqueza de 16 cultivos mientras que el segundo 13. Lo anterior cobra más relevancia ya que el distrito Centro posee una huella hídrica azul casi tres veces menor que la de Zimatlán y, al mismo tiempo, favorece un mosaico agrícola más complejo.

Otro punto a destacar es que, en el caso de Etna, si bien se asemeja a Tlacolula en términos de superficie agrícola bajo régimen de riego (alrededor de 2700 ha), este distrito presenta una huella hídrica azul todavía menor y su riqueza de cultivos no es mucho menor que la de Tlacolula. De entrada, esto llevaría a pensar que el recurso agua se usa de manera más ambientalmente sustentable en la agricultura de Etna.

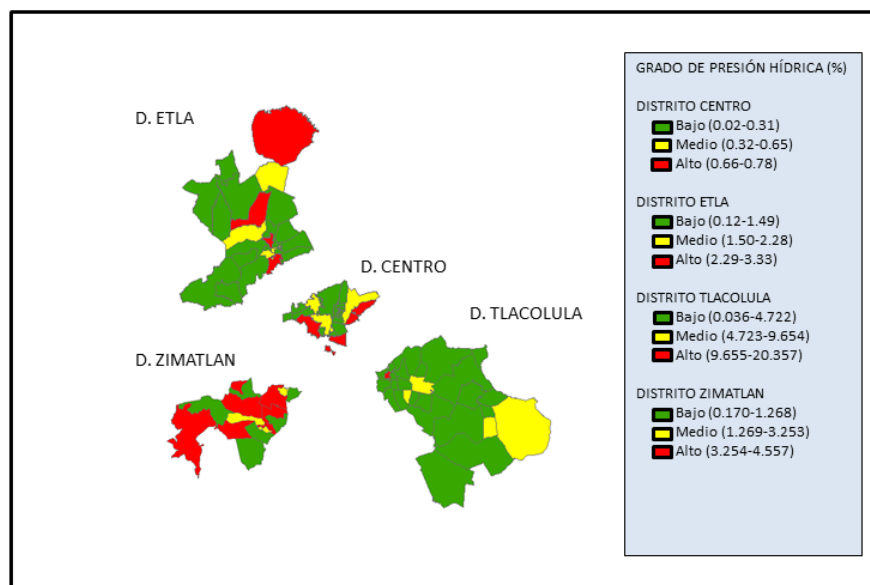
#### **4.3 La presión hídrica sobre el acuífero en los cuatro distritos**

Frente a la realidad descrita hasta aquí, se puede observar la magnitud del consumo de agua azul en los cuatro valles ( $53.88 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) al compararla con el rendimiento permanente del acuífero ( $135.2 \text{ hm}^3/\text{año}$ ). La actividad agrícola está consumiendo el 39.85% de los aportes hídricos subterráneos de estos valles y este consumo representa el 42% del volumen concesionado. Viéndolo por separado, este consumo se distribuye en los tres valles de la siguiente manera (ver Cuadro 1 y Figura 6):



**Cuadro 1. Distribución porcentual del consumo de agua subterránea y del volumen concesionado por parte de la actividad agrícola. Fuente: elaboración propia.**

Distrito	% de consumo de los aportes hídricos subterráneos	% de consumo del volumen concesionado	Principales municipios responsables
<b>Etla</b>	7.67	8.51	San Juan Bautista Atlatlahuaca, San Pablo Huitzo, San Lorenzo Cacaotepec, Reyes Etla, San Juan Bautista Jayacatlán
<b>Tlacolula</b>	11.47	12.74	Santa María Zoquitlán, Tlacolula de Matamoros, San Pedro Totolapa, San Lorenzo Albarradas, San Jerónimo Tlaochahuaya.
<b>Zimatlán</b>	15.13	16.79	San Miguel Mixtepec, Zimatlán de Álvarez, San Bernardo Mixtepec, San Pablo Huixtepec, Ciénega de Zimatlán.
<b>Centro</b>	5.56	4.02	Santo Domingo Tomaltepec, San Bartolo Coyotepec, Cuilapam de Guerrero, Santa María del Tule, Tlalistac de Cabrera
<b>Total</b>	<b>39.85</b>	<b>42.04</b>	



**Figura 6. Distribución espacial de la presión hídrica sobre el acuífero de Valles Centrales**

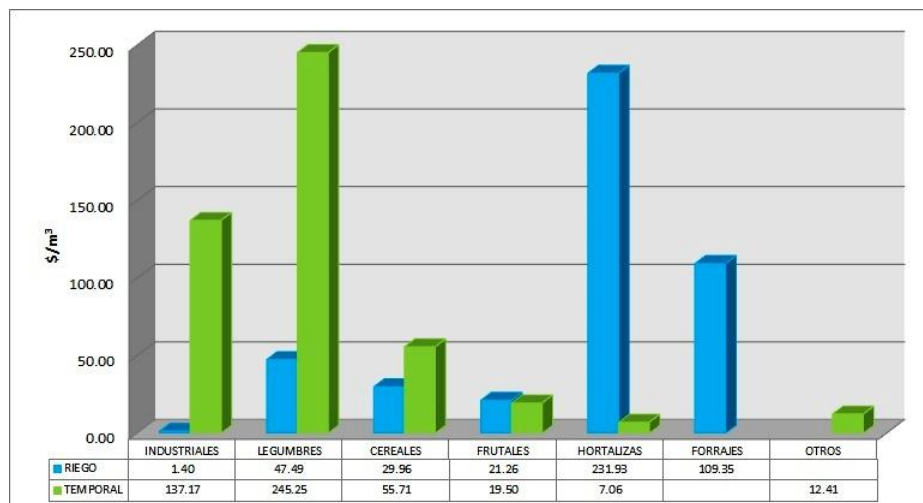
Tratándose de agua subterránea, estos resultados colocan a Zimatlán como el distrito que ejerce mayor presión en el área de estudio y, dentro de éste, al municipio de San Miguel Mixtepec como principal responsable. A su vez, el conjunto de los cuatro valles constituye un territorio que ejerce, por el momento, una presión hídrica clasificada como *media-fuerte*, de acuerdo a la escala del Consejo Mundial del Agua ( $20\% < \text{explotación} < 40\%$  del agua

naturalmente disponible) (CONAGUA, 2008). Sin embargo, está sumamente cerca de pasar a la categoría de presión hídrica *fuerte*. Esto, aunado a la relativa baja pluviosidad de la zona (alrededor de los 650 mm/año), a los requerimientos actuales de agua para el cultivo del maíz de grano, y a la fragilidad del acuífero de los Valles Centrales por sus características hidrogeológicas (infiltración natural y recarga limitada), ponen en riesgo la sustentabilidad del recurso hídrico subterráneo de la región, en el corto plazo.

#### **4.4 La productividad del agua en la zona de estudio**

Finalmente, si se analiza la situación desde la óptica de la productividad media del agua, se puede apreciar que, bajo el esquema de riego, las hortalizas son las que aportan un mayor valor añadido por unidad de agua utilizada (ver Figura 6). Le siguen los forrajes con una productividad intermedia y, a gran distancia, figuran las legumbres, los cereales y los frutales. En el caso de la agricultura de temporal, los más productivos en función de los requerimientos de agua son las legumbres y los cultivos industriales, dejando considerablemente por debajo a los cereales.

Tomando en cuenta que el maíz es el cereal más extendido en los tres valles, esto hace que la productividad del agua en este territorio alcance, en promedio, los 47.43 \$/m<sup>3</sup> en el caso del esquema de riego y los 96.68 \$/m<sup>3</sup> para temporal.



**Figura 6. Productividad del agua para los distintos grupos de cultivos.**

## 5. DISCUSIÓN

En un contexto de condiciones de brecha hídrica y de alta competencia por el consumo de agua -como ocurre en la región de los Valles Centrales de Oaxaca-, el reto para la conservación de este recurso ligada al uso del suelo, dependerá no solo de la reducción de la huella hídrica agrícola por sí misma, sino de los impactos que esta reducción tendrá sobre los distintos usuarios, incluyendo los ecosistemas. Así, si bien son importantes las negociaciones institucionales que se realicen con los agricultores para optimar la capacidad de organización social para administrar las zonas de regadío y la producción de cultivos, bajo una perspectiva de lograr mayor bienestar por unidad de agua, también lo serán los acuerdos con otros sectores económicos que demandan este líquido y que están implantando novedosas medidas de ecoeficiencia en el reuso de las aguas servidas con tratamiento preliminar, primario y secundario, así como de otras fuentes de agua de calidad marginal.

De manera realista, se requiere una actividad agrícola que combine elementos tanto del conocimiento tradicional como del moderno científico. Es decir, complementando el uso de distintas variedades de cultivos con tecnologías ecológicamente correctas y eficientes en el uso

del agua, se puede asegurar una producción agrícola más sustentable. Tomando en cuenta el indicador de la huella hídrica, para los distritos analizados de los Valles Centrales de Oaxaca, avanzar en esta dirección rendiría mayores beneficios si primero se enfocan esfuerzos al distrito de Zimatlán, dada la presión hídrica que ejerce en la región. Sin embargo, la variabilidad que puede existir en la eficiencia del uso del agua entre agricultores también necesitaría ser tomada en cuenta (Ridout et al., 2010), así como las condiciones de negociación para actuar en consecuencia.

En un contexto territorial, se puede afirmar que la huella hídrica agrícola es un indicador con potencial para orientar políticas públicas que promuevan la protección y el uso sustentable de los recursos hídricos desde la perspectiva del ordenamiento y el desarrollo territorial, siempre y cuando se contextualicen sus impactos y los beneficios del uso del agua. En el caso del uso de suelo agrícola, se pensaría que lo ideal sería encontrar un balance entre cultivos que sean rentables tanto desde la perspectiva del productor como la de su valor en el mercado, en función del consumo de agua que se requiere para su producción. Y en este sentido, los resultados de este estudio proporcionan evidencia de que, en los tres valles estudiados, el maíz de grano es, por el momento, un cultivo poco rentable económicamente y con una alta huella hídrica azul y verde. También de que, bajo esta perspectiva, el frijol, el jitomate e incluso la alfalfa, resultan una mejor opción, sobre todo bajo el esquema de riego.

De entrada, esto podría sugerir que la alternativa sería un programa de reconversión productiva del maíz de grano por otros cultivos de mayor relevancia económica bajo el esquema de riego. Sin embargo, los maíces nativos de Oaxaca presentan valores agregados muy importantes: su germoplasma es una prioridad en términos de su conservación biológica; son muy tolerantes y se adaptan a múltiples ambientes; son de alto valor culinario de los productos; en la comercialización tiene sobreprecio; es más rápida su venta; además de que tienen una gran

importancia social, pues son el sustento de un complejo sistema biocultural y étnico (Casas-Cázares et., 2005). De aquí que la sustitución del maíz por otros cultivos constituya una solución subóptima tanto desde la perspectiva ecológica como social.

Es necesario entender que el bajo rendimiento del maíz obedece a diversos factores que lo ponen en desventaja como cultivo, tales como: la baja fertilidad de los suelos, que buena parte de las parcelas de temporal se ubican en piedemontes y laderas, no se realiza control de plagas, hay ineficiente control de malezas, baja o nula fertilización, bajas densidades de población, malos arreglos, uso de variedades criollas pero con defectos, mala selección y bajo potencial de rendimiento, entre otros factores (Ruiz y Loaeza, 2004). Luego entonces, para darle mayor oportunidad a este cultivo de importancia biocultural y regional, se requerirá de cambios estructurales dirigidos mayormente a corregir desigualdades en la distribución y acceso a recursos: incentivos a los valores tradicionales del maíz, subsidios a la agricultura de temporal, capacitación y transferencia tecnológica -p. e. para mejorar la productividad del agua, mejorar las variedades, mejorar la fertilización, generar cadenas de valor de los productos, etc. (Wise, 2008). Aunque también se necesitará el reconocimiento, por parte de los gobiernos, de que el conocimiento tradicional es un recurso de vital importancia en la búsqueda de la sustentabilidad, sobre todo en un contexto cultural como el de Oaxaca (Toledo, 2002).

Sin perder de vista este contexto, es importante dejar claro que, las mejoras en la eficiencia en el uso del agua, tanto por tonelada producida, como por hectárea sembrada, son estrategias importantes y pertinentes para disminuir la presión sobre el recurso hídrico y, por lo tanto, sobre los ecosistemas (Hoekstra,2007). Esto en virtud de que en México la agricultura de riego ha sido privilegiada y su importancia ha sido sobrevalorada por las políticas agrícolas desde hace casi un siglo, acarreando grandes subsidios a la minoría de los productores de riego quienes no pagan el agua a su costo económico real y menos a su costo de oportunidad. Esto, a su vez, ha

propiciado un uso desmedido del agua que, en conjunto con la ineficiencia de los métodos de riego, pozos cada vez más hondos, costos de bombeo, e irresponsabilidad de los productores, han contribuido al cierre de algunas cuencas y a un agotamiento progresivo de los mantos freáticos. También a azolvamiento y salinización de presas, e inundaciones por desfogue de represas en las cuencas bajas (Mestries y Bonilla, 2010).

En este sentido, resulta importante explorar la viabilidad de una política de cobro por el uso de agua que sea justa y eficaz para incentivar el ahorro de agua, y desfavorecer los cultivos altamente intensivos en el uso de este recurso y energéticamente dispendiosos (Lundqvist y Steen, 1999; Toledo, 2002). También sería necesario mejorar la supervisión oficial de la extracción y venta de concesiones, así como capacitación a los usuarios en la administración de los módulos de riego respecto a los controles del tiempo y volumen de extracción, sobre todo en un contexto regional donde las concesiones de agua son gratuitas -independientemente de la situación del agricultor-, no son monitoreadas y se usan en la práctica como un artículo con valor de mercado intercambiable entre los agricultores (Consejo, 2009).

También será cada vez más importante mejorar las técnicas de colecta y almacenamiento de agua en el esquema de agricultura de temporal con el propósito de hacer un mejor uso del agua de lluvia (Falkenmark et al, 2007), sobre todo para la siembra del maíz. Asimismo, en un contexto de sustentabilidad, las autoridades ambientales y de planificación territorial deberían estructurar una política de desarrollo regional donde se puedan identificar la capacidad de carga hídrica del territorio y, en función de ésta, diseñar nuevos esquemas para la siembra de este cultivo que potencien sus rendimientos y promuevan su conservación como capital natural y cultural (Pérez, 2008).

Aunado a esto, sería importante la promoción de la heterogeneidad de los mosaicos agrícolas en donde se combinaran cultivos altamente productivos con cultivos nativos menos consumidores de agua, y más rentables económicamente desde la perspectiva del valor agregado de otros mercados como el del gastronómico en el sector turístico (Binnqüist, 2011). Aquí valdría la pena visitar las posibilidades de promover la milpa mejorada en el contexto rural, y evaluar el potencial de la agricultura urbana en el contexto de las ciudades (Turrent et al, 2012).

Por otra parte, la agricultura de riego en los Valles Centrales enfrenta la presión que tienen las propias fuentes de agua azul: en esta zona casi no existen depósitos naturales de aguas superficiales -la mayoría del agua escurre superficialmente a través de la red hidrológica, principalmente por los ríos Atoyac, Salado, Seco, Jalatlaco -; la infiltración natural y la recarga es limitada; la extracción de agua de los acuíferos de los Valles Centrales se ha realizado desde tiempos prehispánicos para sistemas de riego. A pesar de esto, se ha llevado a cabo la desmedida extracción del líquido para cubrir la demanda agrícola y urbana, sobre todo del distrito Centro.

Bajo el contexto, el reto de mantener la producción agrícola en los Valles Centrales de Oaxaca, radica también en proteger y preservar el agua azul proveniente de los acuíferos que en este momento están en veda. Aquí, la incorporación del enfoque de huella hídrica agrícola resulta de utilidad para resguardar y revalorizar el recurso agua (Pengue, 2006), actuando en consecuencia, por ejemplo, a través de la optimización del regadío. Otro elemento fundamental para disminuir la presión hídrica agrícola es incrementar el uso efectivo del agua de lluvia, del agua almacenada y del agua marginal de menor calidad para el regadío pues, dadas las condiciones de infiltración y recarga de los acuíferos de los Valles Centrales, no es sustentable

seguir manejando los mismos volúmenes concesionados de agua azul, así como importar agua de otras subcuencas (Binnqüist, 2011).

En este sentido, una alternativa a futuro sería una nueva racionalidad en la gestión de las aguas residuales en zonas urbano-rurales, en donde se asuman como un capital los gastos sanitarios derivados de los drenajes urbanos a los cuales se les puede otorgar un nuevo valor, pues al ser conducidos eficientemente por colectores marginales hasta sistemas locales de tratamiento, el efluente no deberá de verterse directamente a la red hidrológica, por el contrario, deberá de mantenerse en el sistema a través de destinarse al regadío de acuerdo a los límites máximos permisibles de contaminantes considerados en la NOM-001-ECOL-1996. Esto sería de particular utilidad en el caso de la agricultura del distrito Centro ya que no implicaría un esfuerzo de transporte tan fuerte como en el caso del resto de los distritos aquí estudiados.

Otra alternativa sería mantener el buen funcionamiento de los actuales sistemas de riego antes que aumentarlos, con el objeto de reducir pérdidas. En este punto es importante hacer notar que, si bien las pérdidas por drenaje, filtrado o percolación, se pueden reincorporar al ciclo hidrológico, hay que tomar en cuenta que la calidad de agua que se infiltra no tiene la misma calidad del agua que se extrae. De ahí la importancia de la sincronización del riego en los periodos más sensibles al crecimiento, basadas en las necesidades hídricas de los cultivos.

## **6. CONCLUSIONES**

El objetivo de este estudio fue estimar la presión que ejerce la agricultura sobre el recurso agua en Valles de Etna, Zimatlán, Tlacolula y Centro a través del cálculo de la huella hídrica agrícola. El balance entre la oferta y la demanda de agua de los tres valles evidencia que la agricultura ejerce una fuerte presión hídrica en esta región, y que un factor determinante es la especialización productiva basada en el cultivo del maíz de manera tecnificada. Los resultados



obtenidos permiten afirmar que el maíz de grano es un cultivo poco rentable y con externalidades crecientes, por ejemplo: intensificación del estrés hídrico, homogenización del paisaje y disminución de la diversidad de cultivo. De aquí que la ventaja económica no es un criterio que justifique dicha especialización. Sin embargo, reconociendo la importancia biocultural del maíz, no se trata de sustituirlo por cultivos de mayor relevancia económica, sino de una estrategia mixta que permita, por un lado, aumentar la producción de biomasa disminuyendo los insumos de agua recurriendo a estrategias de bajo costo en contraposición al uso de variedades transgénicas. Por el otro a través de la reorientación de la política pública para apoyar a pequeños y medianos productores de temporal.

Otra posibilidad sería complementar el cultivo del maíz con otros que pueden significar una alternativa desde el punto de vista de la productividad del agua y que además pueden coadyuvar en la creación de paisajes agrícolas más heterogéneos, menos consumidores de agua y con mayor valor agregado.

No habría que olvidar la necesidad de mejorar la eficiencia técnica de la infraestructura de los sistemas de riego y disminuir la extracción de agua de las fuentes naturales. Ante esto, se impone un manejo del recurso agua donde el enfoque de la "vía suave", esto es: utilizar agua de menor calidad en procesos que no requieran agua potable; trabajar en forma más cercana con los usuarios en los ámbitos organizacionales y sociales para cambiar las percepciones y actitudes en torno al agua donde sea necesario; y emplear herramientas económicas para fomentar el uso eficiente y la adecuada distribución del agua, juegue un papel protagónico en el manejo de este recurso.

Por otro lado, si bien el recurso agua puede ser discutido en términos de cifras nacionales y globales, concordamos con Rouet y colaboradores (2010) en que las consecuencias de la falta

de disponibilidad de agua, ya sea el agotamiento de otros recursos, el daño a la salud humana o a la integridad de los ecosistemas, se experimentan a nivel de subcuencas locales. En este sentido, la huella hídrica agrícola aporta una perspectiva a tener en cuenta en el desarrollo de políticas, programas y acciones destinadas al ordenamiento y el desarrollo territorial, así como para la sensibilización y capacitación de los productores en relación al uso del agua. Un aspecto importante a considerar en el uso de la huella hídrica agrícola en el diseño de políticas, es la necesidad de contextualizar los impactos ambientales y sociales de este indicador.

Lo que este caso de estudio ha mostrado, es que la huella hídrica agrícola puede usarse para hacer transparente y significativa la presión hídrica en el contexto de la disponibilidad local del recurso agua. Esta transparencia es crítica si se considera al consumo/desperdicio de agua no solamente en términos de su costo económico, sino en términos de sus impactos sociales y ambientales. Por lo tanto, lo expuesto en este documento crea un caso tanto para la intervención del gobierno, como para la acción personal de los agricultores sobre las bases de la responsabilidad compartida.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**Aguilera, C.M., Martínez, E.R.** (1980) Relaciones agua suelo planta atmósfera. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de enseñanza investigación y servicio en irrigación, México.

**Allan, J.A.** (1998) Virtual water: A strategic resource, global solutions to regional deficits. *Groundwater* 36, pp.545-546.

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

**Arévalo, D., Lozano, J., Sabogal, J.** (2011) Estudio nacional de huella hídrica Colombia sector agrícola. Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo. No. 7. Cátedra UNESCO de Sostenibilidad de la Universidad Politécnica de Cataluña.

**Binnqüist, C.G.S.** (2011) Actualización del Plan de Ordenamiento de la Zona Conurbada de la Ciudad de Oaxaca, Fase I. Secretaría de las Infraestructuras y Ordenamiento Territorial Sustentable del estado de Oaxaca – Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Fondo Metropolitano.

**Casas-Cázares, R., González-Cossío, F. V., Martínez-Saldaña, T., García-Moya, E., B.V. Peña-Olvera, Benjamín.** (2009) Sostenibilidad y estrategia en agroecosistemas campesinos de los Valles Centrales de Oaxaca. *Agrociencia*, 43(3), pp.319-331.

**CONAGUA**, (2009) Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea acuífero (2025) Valles Centrales, Estado de Oaxaca. Comisión Nacional de Agua, Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos, México, D.F.

**Consejo, J.J.** (2009) Protecting Water: Sustainable Production and Efficient Irrigation in Oaxaca's Central Valleys. En: *Essays from de CSIS and SAIS Year of Water Conference: Water and Agriculture. Implications for Development and Growth.*

**Chapagain, A., Hoekstra, A.** (2004) Water Footprints of Nations. *Volume 1: Main Report. Value for Water*, Research Report Series No. 16, November. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.

Disponible en: <<http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16.pdf>> [Consultada el 15 de mayo del 2013]

**Falkenmark, M., Finlayson, C.M., Gordon, L.J.** (2008) Agriculture, water, and ecosystems: avoiding the costs of going too far. En Molden, D. (Ed.) *Water for food water for life*. Earthscan, UK, pp. 233-277

**Falkenmark, M.** (2003) Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B. Biological Science*, 358, pp.2037-2049.

**Grau, G., Tabora, F.** (2011) El agua: tema central para la seguridad alimentaria, Global Water Partnership. *Entre-aguas*, 2(11) p.1.

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

**Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q.** (2002) Virtual water trade: A quantification of virtual waterflows between nations in a relation to international crop trade. *Value of Water Research Report Series No.11*, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands. Disponible en: <<http://www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf>> [Consultada el 2 de febrero del 2013].

**Lundqvist, J., Steen, E.** (1999) The contribution of blue water and green water to the multifunctional character of agriculture and land. En: *FAO/Netherlands Conference on the Multifunctional Character of Agriculture and Land Background Paper 6: Water*. Holanda.

**Mestries, F. y T. Bonilla.** (2010) Crisis de la sustentabilidad de la agricultura de riego en el valle central de Puebla. *Revista Estudios Agrarios*, 43, pp.1-14.

**Molle, F., Wester, P., Hirsch, P.** (2010) River basin closure: Processes, implications and responses. *Agricultural Water Management*, 97, pp.469-577.

**Pengue, W.A.** (2006) Agua virtual, agronegocio sojero y cuestiones económico ambientales futuras. *Fronteras* 5(5), pp.14-25.

**Pérez, R.A.** (2008) Comercio internacional y medio ambiente en Colombia. Mirada desde la Economía Ecológica. La colección libros de investigación, Programa Editorial Universidad del Valle, Colombia.

**Ridoutt, B.G., Juliano,P., Sanguansri,P., Sellahewa,J.** (2010) The waterfootprint of food waste: case study of fresh mango in Australia. *Journal of Cleaner Production*, 18, pp.1714-1721.

**Rodríguez, C.R., Garrido, A., Llamas, M.R., Varela-Ortega, C.** (2008) La huella hidrológica de la agricultura española, Papeles de Agua Virtual No.2, Fundación Marcelino Botquin, Santander, España, 38 pp.

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

**Ruiz, V. J., Loeza, G.R.** (2004) Validación del Método de Siembra en Surcos Alternos para la Asociación Maíz- Frijol en Valles Centrales de Oaxaca. *Naturaleza y Desarrollo*, 2(1), pp.13-17.

**SAGARPA**, 2010. Estadísticas Agrícolas 2010. OEIDRUS-Oaxaca. Disponible en: <[http://www.oeidrus-portal.gob.mx/oeidrus\\_oax/](http://www.oeidrus-portal.gob.mx/oeidrus_oax/)> [Consultada el 3 y 25 de marzo del 2013].

Sáinz, J., Becerra, M. 2003. Los conflictos por el agua en México. *Gaceta Ecológica*, 67, pp.61-68.

**Sánchez-Tienda, J.** (1999) Uso consuntivo del cultivo de aguacate: metodología Blaney y Criddle modificada relacionando fenología y precipitación. *Revista Chapingo serie Horticultura* 5, pp.201-207.

**SIAP** 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la SAGARPA. Disponible en: < <http://www.siap.gob.mx> > [Consultada el 10 de febrero del 2013]

**Toledo, A.** (2002) *El agua en México y en el mundo*. Gaceta Ecológica, 64, pp.9-18.

**Turrent, F.A., Wise, A.T., Garvey, E.** (2012) Factibilidad de alcanzar el potencial productivo del maíz de México. Mexican Rural development Research Reports, Report 24. Woodrow Wilson International Center for Scholars. 38 pp.

**Wise, T.** (2008) Estado de emergencia para el maíz mexicano: proteger la agrobiodiversidad apuntalando la economía campesina. En: L.L. Seefó, ed. 1980. *Desde los Colores del Maíz: una agenda para el campo mexicano*. México: El Colegio de Michoacán, pp.167-198.