

## Uso múltiple del agua en las cuencas del Valle de México y Río Tula

HERNÁNDEZ, Isabel†\*, KAMPFNER, Oscar, RODRÍGUEZ, Filemón y MENESES, José

Recibido 2 de Enero, 2017; Aceptado 8 de Abril, 2017

### Resumen

Comisión Nacional del Agua es la encargada de administrar las aguas nacionales; para su gestión ha regionalizado la República Mexicana en 13 cuencas Hidrológico – Administrativas, para lograr un uso eficiente y sustentable del agua. La región XIII Aguas del Valle de México tiene la mayor presión por el uso del agua, por lo que Comisión Nacional del Agua en coordinación con gobiernos locales y usuarios de aguas nacionales, formuló un programa regional alineado a las estrategias de la Agenda del Agua 2030, tendiente a resolver el problema del agua en esta región. Para administrar las aguas, la región XIII se dividió en 2 cuencas: Valle de México y Río Tula. La primera no produce el agua necesaria para satisfacer la demanda en los diferentes usos y el agua residual que genera es descargada al estado de Hidalgo, donde se da un segundo uso en el riego de aproximadamente 100,000 hectáreas. El tercer uso se tiene con la producción de energía eléctrica en la hidroeléctrica Zimapán, la que produce 292 megawatts. Un cuarto uso del agua es posible con la instalación de pequeñas centrales eléctricas sobre la infraestructura de los Distritos de Riego. Los diversos usos del agua incrementan su productividad.

**Usos del agua, productividad del agua, distritos de riego, producción de energía eléctrica**

### Abstract

Comisión Nacional del Agua is in charge of administering the national waters; for its management has regionalized the Mexican Republic in 13 hydrological - administrative basins, to achieve an efficient and sustainable use of water. Region XIII Aguas del Valle de Mexico has the greatest pressure for the use of water, reason why Comisión Nacional del Agua in coordination with local governments and users of national waters, formulated a regional program aligned to the Strategies of the Water Agenda 2030, aimed at solving the water problem in this region. To manage the waters, region XIII was divided into 2 basins: Valle de México and Río Tula. The first does not produce the necessary water to satisfy the demand in the different uses and the wastewater that generates is discharged to the state of Hidalgo, where a second use is given in the irrigation of approximately 100,000 hectares. The third use is with the production of electric energy at the Zimapan hydroelectric plant, which produces 292 megawatts. A fourth use of water is possible with the installation of small power plants on the infrastructure of the Irrigation Districts. The diversity of water uses increase its productivity.

**Water uses, water productivity, irrigation Districts, electric power production**

**Citación:** HERNÁNDEZ, Isabel, KAMPFNER, Oscar, RODRÍGUEZ, Filemón y MENESES, José. Uso múltiple del agua en las cuencas del Valle de México y Río Tula. Revista de Ingeniería Civil 2017. 1-1:1-11

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: Armando.hernandez@conagua.gob.mx

## Introducción

La Comisión Nacional del Agua (Conagua), en su carácter de órgano rector en la administración de las aguas nacionales, ha establecido 13 regiones hidrológicas - administrativas en la República Mexicana, en busca de un uso racional del agua por parte del sector productivo y lograr el equilibrio en cuencas y acuíferos. El criterio que se utilizó en la definición de estas regiones administrativas fue seleccionar a estados y municipios involucrados en una cuenca hidrológica y tomar la delimitación municipal como frontera para la región administrativa; se procuró para este fin que la delimitación fuera lo más próxima a la delimitación natural de la cuenca. Se considera que la región XIII Aguas del Valle de México es la que presenta mayores retos en la administración de los recursos hídricos, debido a que en ella se tiene una densidad poblacional importante, además de uno de los corredores industriales que demandan mayores volúmenes de agua. También es destacar que en esta región se vierten grandes cantidades de aguas residuales a los ríos, generando una fuerte contaminación.



**Figura 1** Región hidrológico – Administrativa XIII

Para efecto de la gestión del agua en esta región hidrológica – administrativa, se dividió en dos principales cuencas: Valle de México y río Tula.

La cuenca de Valle de México, por si sola no tiene la capacidad de producir la cantidad de agua necesaria para mantener tanto la demanda para consumo humano, como la demanda para la productividad industrial. Por esta razón, en décadas pasadas se han construido grandes obras de infraestructura hidráulica, que permiten importar agua de otras cuencas (río Balsas) para satisfacer la demanda de agua, como es el caso del sistema Cutzamala. Ante la creciente demanda del vital líquido y la imposibilidad de incrementar el volumen de agua que se importa de otras cuencas, la Conagua en coordinación con los gobiernos de la Ciudad de México y el Estado de México, han llevado acciones para optimizar su uso, a través de programas para detección y control de fugas, mejoramiento de la facturación, tratamiento de las aguas residuales, reutilización del agua para la producción agrícola, entre otras acciones.

La cuenca del río Tula se encuentra contaminada como consecuencia de que por más de 100 años ha recibido las aguas residuales que se generan en la cuenca del Valle de México y que no reciben prácticamente ningún tratamiento. Esta agua en su mayoría es usada en la producción agrícola.

## Las cuencas del Valle de México y río Tula

Estas cuencas anteriormente fueron amplias zonas lacustres de origen volcánico, producto de la intensa actividad tectónica del Terciario y del Pleistoceno. Forma parte de la cadena de grandes volcanes conocida como Eje Neovolcánico, entre los que destacan el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl, que se entremezclan con pequeños conos cineríticos (chimeneas de antiguos volcanes en forma de conos).

Que conforman los complejos paisajes de la Mesa Central de México. La cuenca del Valle de México no cuenta con una salida natural para descargar las aguas pluviales hacia algún río o cuenca vecina (es endorreica), por lo que a través de los años se han construido obras de desagüe como es el Gran Canal y el drenaje profundo de la ciudad de México, que permiten descargar dichas aguas a la cuenca del río Tula, evitando de esta manera inundaciones.

Una de las culturas que poblaron estas cuencas endorreicas, la mexicana, fundó Tenochtitlán en lo que hoy es la cuenca del Valle de México, que en aquel entonces lo conformaban cinco lagos con profundidades someras y fondos relativamente planos: el lago de Texcoco, Chalco, Xaltocan, Zumpango y Xochimilco.

### Descripción Fisiográfica

Estas cuencas se ubican en el centro del país, comprenden el territorio donde tiene su sede la capital de la República Mexicana; abarca parcialmente los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala y la ciudad de México. El área que comprende la cuenca del valle de México es de 9.738 km<sup>2</sup>, en tanto que la del río Tula tiene 8.490 km<sup>2</sup>, para dar un total de 18,228 km<sup>2</sup>.

El río Tula, corre por el estado de Hidalgo y toma su nombre de la ciudad de Tula de Allende, localidad que atraviesa en su recorrido; originalmente el río Tula nace en el Valle de Tula, sin embargo, con la construcción de los sistemas de desagüe de la Ciudad de México y su zona metropolitana, recibe aportaciones de los ríos del Valle de México que originalmente alimentaban a los lagos de Texcoco, Chalco, Xochimilco, Zumpango y Xaltocan.

El río Tula forma parte de la Región Hidrológica del Pánuco, y desemboca en el río Moctezuma. De acuerdo con datos de Comisión Nacional del Agua, el río Tula es uno de los más contaminados en el país y genera un escurrimiento anual de 428.9 hm<sup>3</sup>. La contaminación del río Tula se debe a que esta corriente recibe tanto las aguas residuales de la Ciudad de México y su zona metropolitana, así como del corredor industrial de la ciudad de Tula de Allende, en el estado de Hidalgo.

### Primer uso

Sin duda el principal uso del agua en la región administrativa XIII Aguas del Valle de México, es para brindar el servicio de agua potable a las comunidades ubicadas en esta región, así como para dotar de agua al sector industrial. Para este efecto, se estima que la capacidad de la infraestructura hidráulica que existe ofrece 3,300 hm<sup>3</sup>, en tanto que la demanda de agua es del orden de 4,700 hm<sup>3</sup>, por lo que completar el volumen de agua que se usa, ha sido necesario explotar agua del subsuelo, lo que ha provocado la sobreexplotación de acuíferos.

En la gestión del agua en la cuenca del Valle de México, se ha determinado la existencia de dos problemas graves, el primero se debe al crecimiento poblacional, que origina una mayor presión por el suministro de agua potable. El segundo, la baja eficiencia en la administración y manejo de los recursos hídricos. La consecuencia de estas problemáticas es que la disponibilidad del agua en la cuenca ha sido sobrepasada.

En la Ciudad de México corresponde al Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) el suministro de agua y el saneamiento de las aguas residuales.

La zona metropolitana del Valle de México, con más de 22 millones de habitantes, incluida la Ciudad de México (con más de 9 millones de habitantes), se enfrenta a enormes retos en relación con el agua:

- Sobreexplotación de acuíferos
- Baja eficiencia en el uso del agua
- Limitado tratamiento de aguas residuales
- Problemas de salud por el aprovechamiento de las aguas residuales en la producción agrícola
- Inundaciones de la zona urbana
- Baja recaudación por el uso del agua

El gobierno federal, a través de Conagua, está a cargo de la regulación de los recursos hídricos en la cuenca del Valle de México y ha buscado alternativas para solucionar estos problemas, a través de financiamientos que han permitido la construcción, conservación y operación de sistemas de agua potable (sistema Cutzamala y pozos profundos) que de manera limitada satisfacen demanda de agua potable; para lograr lo anterior ha sido importante la coordinación con los gobiernos locales.

Para enfrentar los retos anteriormente descritos, Conagua y los gobiernos de la Ciudad de México y el Estado de México han conjuntado esfuerzos para desarrollar un programa de sostenibilidad hídrica del Valle de México. El resultado fue el Programa Hídrico de la Región Hidrológico Administrativa XIII Aguas del Valle de México, el cual consideró los alcances de la denominada Agenda del Agua 2030 (AA 2030), la cual considera estrategias para alcanzar la sustentabilidad en el aprovechamiento del agua, mediante cuatro ejes de política hídrica.

Cuencas y acuíferos en equilibrio, Ríos limpios, Cobertura universal y Asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas.

La AA 2030 aborda entre otros, los diferentes problemas que se presentan en la cuenca Aguas del Valle de México y plantea estrategias y acciones para cerrar la brecha que existe entre la oferta y demanda del agua en la cuenca y establece que para este propósito se requieren del orden de 68,200 millones de pesos (costos en 2011). Adicional a esta cantidad, se requiere invertir 123 mil millones de pesos para mantener en operación las fuentes de abastecimiento existentes.

Por otra parte, en el Estado de México, la Comisión Aguas del Estado de México (CAEM) recibe agua en grandes cantidades de Conagua, la transmite mediante su propia infraestructura para abastecer a 57 municipios, con 4.1 millones de habitantes. La CAEM verifica la calidad del agua y proporciona asistencia técnica a los municipios para la desinfección del agua y la limpieza de alcantarillas; opera estaciones de bombeo de aguas residuales y cinco plantas de tratamiento de aguas residuales; vacías fosas sépticas y abastece agua en camiones cisterna en situaciones de emergencia.

Se estima que en la Ciudad de México y en el Estado de México existen 1,100 pozos registrados con una profundidad de entre 70 a 200 metros. En estos, no se incluyen los pozos puestos en marcha por la Comisión Nacional del Agua, que son más profundos. También se estima que existen pozos no registrados, muchos de los cuales se encuentran en el Estado de México.

Adicional a los pozos, la infraestructura de abastecimiento de agua de la Ciudad de México está formada por dos sistemas: Lerma y Cutzamala.

El sistema Lerma, construido en los años 40, trasvasa 4,8 m<sup>3</sup>/s de agua (6% del abastecimiento de agua total para la Zona Metropolitana del Valle de México) provenientes de pozos localizados en la cuenca superior del río Lerma. El sistema Cutzamala se construyó por etapas desde finales de los años 70 hasta finales de los años 90 para trasvasar 14,9 m<sup>3</sup>/s (19% del abastecimiento total) de agua del río Cutzamala en la cuenca de Balsas, para lo cual la eleva más de 1,000 metros. Utiliza 7 estanques, un acueducto de 127 km de largo con 21 km de túneles, 7,5 km de canales abiertos y una planta de tratamiento de agua. Ambos sistemas son puestos en marcha por Comisión Nacional de Aguas.

### Segundo uso

El segundo uso que se da al agua es en la producción agrícola, mediante el aprovechamiento de las aguas residuales que provienen de la cuenca del Valle de México.

La Zona Metropolitana del Valle de México recolecta las aguas residuales municipales, residuales industriales y pluviales mediante un sistema unificado de alcantarillado combinado. Éste incluye 11.8 km de conductos, 68 estaciones de bombeo, numerosas presas, lagunas y vasos reguladores del control de flujo, 111 kilómetros de canales abiertos, 42 kilómetros de ríos utilizados principalmente para el drenaje y 118 kilómetros de túneles y colectores subterráneos (interceptores y emisores), esto sin contar el Túnel Emisor Oriente, que actualmente se encuentra en construcción.

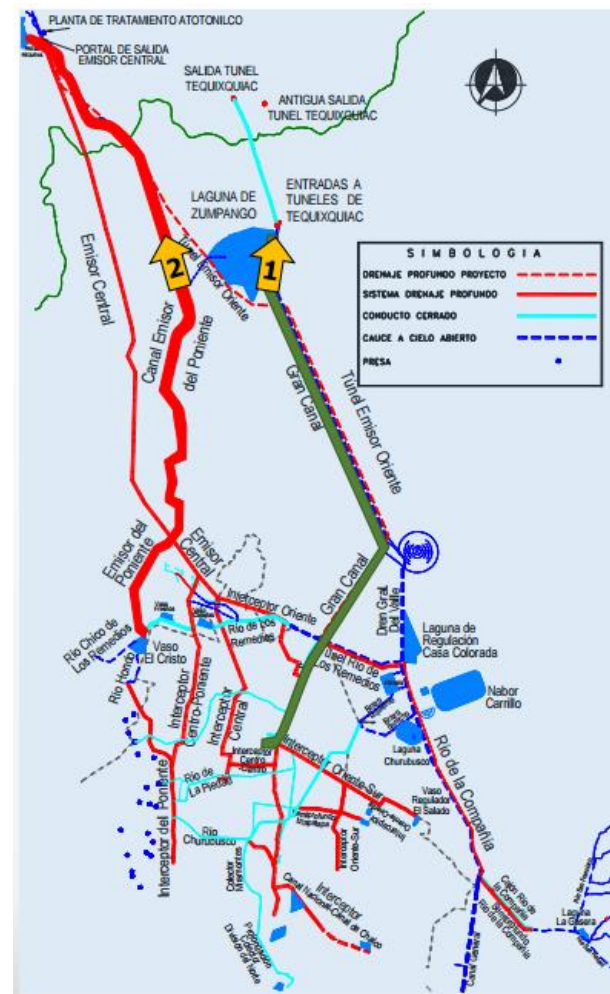


Figura 2 Sistema de drenaje del Valle de México (Ref. 3)

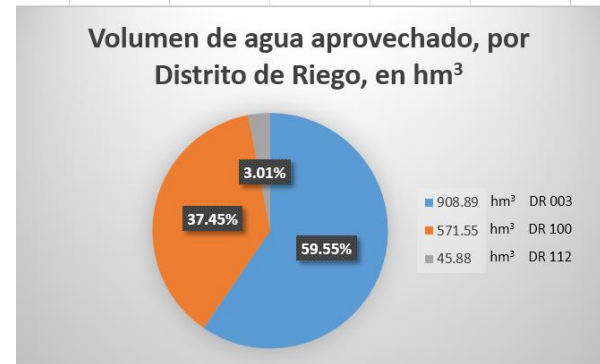
Los tres interceptores son los siguientes:

- Interceptor Poniente que desemboca en el tajo de Nochistongo.
- Interceptor Central que desemboca en el Emisor Central y después en el río Salto del Estado de Hidalgo, próximo a la presa Requesena, desde donde fluye hasta el Valle del Mezquital.
- Interceptor Oriente que desemboca en el Gran Canal, después pasa por los túneles de Tequixquiac y, por último, desemboca en el río Salado.

A principios del siglo XX, con la puesta en operación del Gran Canal de Desagüe de la Ciudad de México, se inició la agricultura de riego en el estado de Hidalgo, al aprovechar las aguas residuales vertidas. Esto también dio origen a la construcción de la infraestructura de riego en el Estado de Hidalgo; en los años 70's se intensificó la construcción de los canales principales de los Distritos de Riego 003 Tula y 100 Alfajayucan y continuó con la creación del Distrito de Riego 112 Ajacuba a mediados de los 80's. Con esta infraestructura se logra distribuir aguas pluviales y residuales de la Ciudad de México para el riego de alfalfa como cultivo principal, así como cebada, trigo y maíz. Cabe señalar, que, por emplear las aguas residuales sin tratamiento alguno, los cultivos que se deberían permitir sembrar son aquellos en donde el fruto no tiene contacto con el agua residual y se requiere de su cocción para su consumo.

La mayor parte de la infraestructura que se usa en los Distritos de Riego (DR) antes señalados, la construyó la Conagua y dependencias que le antecedieron. La infraestructura primaria es operada, administrada y conservada por los DR y la infraestructura secundaria por las Asociaciones Civiles de Usuarios (ACU), a través de los Módulos de Riego que se han creado para la autogestión del agua para riego y otra por Conagua todavía.

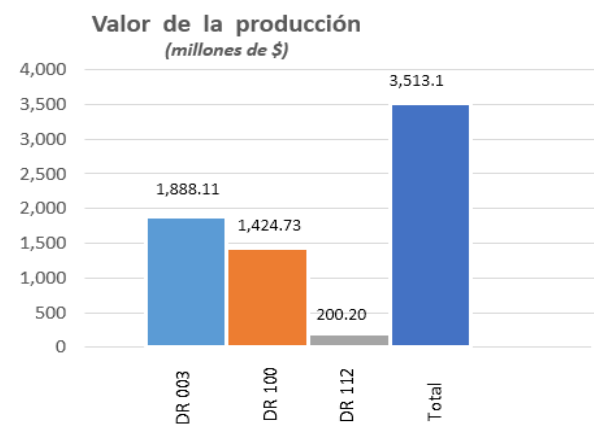
Por otra parte, gracias a los nutrientes de las aguas residuales, la producción de alfalfa por hectárea supera las 100 toneladas, en comparación con el promedio nacional de 68 a 74 toneladas. La alfalfa se cosecha todo el año, proporciona de 9 a 10 cortes por plantación y se vende para actividades agropecuarias locales y en otros estados.



**Figura 3** Distribución del agua usada en el riego

En estos DR se aprovecha un volumen anual de agua residual estimada en 1,530.3 hm<sup>3</sup>, de los cuales el 59.55% es utilizado en el 003 Tula, el 37.44% en el 100 Alfajayucan y el 3.01% en el 112 Ajacuba. Se producen 4,586.4 miles de toneladas de productos agrícolas, de los cuales el 61.48% se produce en el 003 Tula, el 32.80% en el 100 Alfajayucan y el 5.72% en el 112 Ajacuba.

Un dato interesante es el valor de la producción que se logra en estos DR, la cual asciende a 3,513.1 millones de pesos, correspondiendo al 003 Tula 1,888.11, 1,424.73 al 100 Alfajayucan y 200.26 al 112 Ajacuba.



**Figura 4** Ingresos anuales en los Distritos de Riego.

Las cifras anteriores reflejan la importancia del segundo uso del agua, ya que los habitantes de los municipios que se localizan dentro de los DR, su principal ingreso lo obtienen del campo.

Distrito de Riego	Superficie	Producción	Valor de la producción
	ha	ton	millones \$
003 Tula	54,691.00	2,819,531.00	1,888.11
100 Alfajayucan	38,940.00	1,504,461.00	1,424.73
112 Ajacuba	6,519.00	262,451.00	200.26
<b>Total</b>	<b>100,150.00</b>	<b>4,586,443.00</b>	<b>3,513.10</b>

**Tabla 1** Producción agrícola en los Distritos de Riego

Las experiencias han demostrado que el uso de aguas con alto contenido de materia orgánica ayuda a mejorar el rendimiento de los cultivos. La región utiliza las aguas residuales del Valle de México para la irrigación de los cultivos de aproximadamente 100,000 ha. Estas aguas residuales están compuestas en un 43% de aguas industriales y de un 57% doméstica. De acuerdo con las estadísticas de los Distritos de Riego, en el Valle del Mezquital, se recibe un caudal promedio de 42 m<sup>3</sup>/s en época de sequías, pudiendo disminuir hasta 12 m<sup>3</sup>/s; así también, en época de lluvias se tiene caudales del orden de 190 m<sup>3</sup>/s. Los Distritos de Riego en el Valle del Mezquital están en 3er lugar de producción agrícola en el ámbito nacional, lo anterior se debe a los grandes aportes de materia orgánica que reciben.

Las aguas residuales se han utilizado de esta forma desde inicios del siglo pasado. Los agricultores valoran enormemente las aguas residuales, ya sean sin tratar, tratadas parcialmente o mezcladas con aguas pluviales, debido a su capacidad para mejorar la calidad del suelo y por su carga de nutrientes, que permite aumentar la productividad.

No obstante, las aguas residuales están contaminadas con organismos patógenos y productos químicos tóxicos que constituyen un riesgo para la salud tanto de los agricultores como de los consumidores de productos agrícolas. Para atender este tema, Conagua está a punto de poner en operación la planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco (PTAR) y se tiene en proyecto otras plantas para sanear las descargas de agua del Valle de México.

### Tercer uso

El agua residual y pluvial que descarga la cuenca del Valle de México, estimada en 1,700 hm<sup>3</sup> anuales aproximadamente, es utilizada en su mayoría para la agricultura y los excedentes, así como las aguas de retorno del riego que llegan a los ríos Tula y Chicavasco, confluyen con las aguas procedentes del estado de Querétaro a través del Río San Juan, en la presa Zimapán y son utilizadas para la generación de energía eléctrica. Por otra parte, el DR 003 Tula tiene registrado como usuarios a la Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos, a quien le suministra agua que es utilizada en sus procesos de generación de energía eléctrica. En este rubro se debe señalar que la generación de valor por metro cúbico de agua corresponde a \$393.67.

### Posible cuarto uso

En este mismo contexto, considerando las características hidráulicas de los canales principales de los DR 003 Tula y 100 Alfajayucan, existe la posibilidad de instalar plantas para generar energía eléctrica a pequeña escala. Esta situación ha sido planteada a Conagua por empresas interesadas en su construcción, sin embargo, a la fecha no se cuenta con proyectos para la construcción de estas plantas.

Cabe señalar que las empresas interesadas en la construcción de las centrales hidroeléctricas, han realizado recorridos por los canales principales de los DR del Valle del Mezquital y han ubicado puntos donde es posible la generación de energía eléctrica, como es la liga El Biestro, km 1+800 del canal principal Salto Tlamaco, la Cantera Lateral 12+900 del canal principal Salto Tlamaco, en la obra de toma de la Presa Endho, la Barranca km 37+500 del canal principal Requena, sin embargo, al existir veda para el uso o aprovechamiento de aguas nacionales dentro de estos DR para usos distintos al agrícola, se había impedido el desarrollo de estos proyectos.



**Figura 5** La cantera lateral 12+900 del canal principal. Salto Tlamaco, en el DR 003 Tula

En años recientemente, considerando el interés que existe para la construcción de plantas para generar energía eléctrica, el gobierno federal ha realizado la adecuación del marco normativo en el uso y aprovechamiento del agua para este fin y en la actualidad es posible el desarrollo de estos proyectos dentro de los DR's, ya que la generación de energía eléctrica no representa un uso consuntivo y no degrada la calidad del agua.

Resulta conveniente el desarrollo de las plantas generadoras de energía eléctrica en los DR del Valle del Mezquital, debido a que se podría proporcionar el servicio eléctrico a una parte de la infraestructura de los DR.

Así como a comunidades rurales y a desarrollos industriales y comerciales.

En caso de prosperar este tipo de proyectos, se observaría el cuarto uso del agua.

### Conclusiones

El programa hídrico de la región administrativa XIII Valle de México, así como la Agenda del Agua 2030, consideran que sin un equilibrio en la oferta y la demanda del agua, no se puede lograr la sustentabilidad de la cuenca y se limita el desarrollo económico de la región.

Esta región administrativa es la más contaminada en la República Mexicana como consecuencia del crecimiento poblacional que ha experimentado en las últimas décadas, así como por el corredor industrial que se ha desarrollado. En esta región, el 76% de las aguas vertidas no reciben tratamiento, o bien, el tratamiento es deficiente, por esta razón se ha construido la macroplanta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco, la cual tendrá capacidad para tratar 23 m<sup>3</sup>/s durante el estiaje mediante un proceso convencional; cuenta también con un módulo adicional que mediante un proceso físico-químico podrá tratar 12 m<sup>3</sup>/s en época de lluvias, con lo que se lograra una capacidad para tratar 35 m<sup>3</sup>/s y solo de manera extraordinaria podrá alcanzar a tratar hasta 42 m<sup>3</sup>/s. Actualmente la macroplanta se encuentra en fase de pruebas.

Es claro que en la cuenca de Aguas del Valle de México ha sido superada la oferta de agua para satisfacer sus servicios, por lo que ha sido necesario la explotación no sustentable de los mantos acuíferos para alcanzar a cubrir la demanda de agua, por esta razón resulta impostergable llevar a cabo acciones para lograr la sustentabilidad del sector hídrico. Algunas de las acciones consideradas en la planeación hídrica son:



- Manejo integrado y sustentable de cuencas y acuíferos.
- Fortalecer el uso eficiente de los recursos hídricos en el desarrollo económico y social.
- Protección de las zonas boscosas
- Ampliar la capacidad de drenaje del Valle de México
- Tratar las aguas residuales

Con las dos primeras estrategias se busca cerrar la brecha entre la oferta y demanda del agua en la cuenca, la cual se estima que para el año 2030 podría ser de 1,699 hm<sup>3</sup>; se requieren del orden 68,200 millones de pesos (a costo de 2011) para implementar acciones que permitan recuperar 1,894.2 hm<sup>3</sup>.

Las acciones contemplan la reducción en el consumo de agua, tanto en el servicio público urbano, como en el industrial, reducir el desperdicio en sus diferentes usos y mejorar las condiciones de la red de conducción para reducir las pérdidas de agua; esta acción incluye mejoras en la facturación y cobro del agua. Estas acciones también permitirán alcanzar un uso eficiente del agua en el desarrollo económico y social de la región.

Con el primer punto se busca la reducción del consumo de agua, del desperdicio y de las pérdidas de agua en todos los usos. También se considera intercambiar volúmenes de aguas subterráneas que se extraen diariamente y que son utilizados tanto en la industria como en la agricultura, por agua tratada con una calidad necesaria para esas actividades.

Un fenómeno que se observa en las ciudades, es que la tarifa que se aplica por el servicio de agua potable, no corresponde con una tarifa real, por lo que se aplica un subsidio a este uso del agua, lo que impide un desarrollo sano de los organismos operadores de agua. Para el caso de la Ciudad de México, tan solo para traer agua de cuencas vecinas para complementar la oferta, se cuenta con 11 presas derivadoras y dos acueductos que permiten conducir 1,072.9 hm<sup>3</sup> al año, además de la operación de 50 plantas potabilizadoras incluyendo a planta Los Berros que potabiliza el agua del sistema Cutzamala. En conjunto se potabilizan del orden de 20 m<sup>3</sup>/s. Esta infraestructura es operada, conservada y administrada por Conagua con cargo a recursos federales. Aún y cuando Conagua cobra al Sistema de Aguas de la Ciudad de México el suministro de agua en bloque, este pago no es suficiente para cubrir las erogaciones federales para sostener la infraestructura antes señalada.

El primer uso que se le da al agua en la cuenca del Valle de México provoca el bienestar social, el cual no tiene precio, además del desarrollo social y económico.

En lo que toca al segundo uso, la agricultura de riego en el Valle del Mezquital es el principal motor económico en la región, ya que se producen alrededor de 4.6 millones de toneladas de productos agrícolas que tienen un valor en el mercado de más de 3,500 millones de pesos, lo que le da una productividad al agua de 2.3 \$/m<sup>3</sup>.

Existen preocupaciones sobre el impacto en la salud y el medio ambiente por el uso para riego de aguas residuales sin tratar de la Ciudad de México. Los cultivos que se deberían sembrar con estas aguas se limitan a los que no se comen crudos, pero estas limitaciones son difíciles de imponer y los agricultores también cultivan verduras utilizando aguas residuales.

Según un estudio del Instituto Internacional del Manejo del Agua (IWMI), estos riesgos se deben considerar con detenimiento, pero también debe tenerse en cuenta la importancia de esta práctica para los medios de vida de innumerables productores agrícolas. Los estudios acerca de suelos regados con aguas residuales sin tratar durante 50 años, revelan una acumulación de metales pesados en el suelo, pero también que se acumulan en menor grado en las plantas.

De acuerdo con otro estudio, se ha encontrado contaminación bacteriana en algunos de los acuíferos del Valle del Mezquital y es de observar que el agua que se extrae es usada para el abastecimiento de agua potable en la región, lo que ha dado lugar a una alta incidencia de diarrea e irritaciones de la piel entre la población.

El tercer uso se da en la central hidroeléctrica Zimapán desde el año 1996, con la generación de 292 megawatts que permite reforzar el abasto de energía eléctrica la porción centro de la República Mexicana; esta ha beneficiado a la población por más de 20 años

Con relación al posible cuarto uso, para generación de energía eléctrica, aún no se llevado a cabo la construcción de ninguna planta generadora sobre la infraestructura de los DR, pero sin duda son proyectos que generarán empleo y cierta derrama económica.

Es de señalar que, al permitir este tipo de proyectos, la Conagua podría tener acceso a la energía eléctrica con tarifas preferenciales para operar plantas de bombeo; en la actualidad la Conagua paga cantidades importantes por este rubro, a pesar de que el costo de la energía eléctrica debería ser pagada por los productores agrícolas que las utilizan.

Por otra parte, la Comisión Federal de Electricidad y particulares interesados en la generación de energía eléctrica, han realizado estudios preliminares para estudiar la posibilidad de construir otra central hidroeléctrica, aguas abajo de la presa Zimapán, sobre el río Moctezuma. Se tendrán que llevar a cabo estudios serios y definitivos para establecer la conveniencia y rentabilidad de este nuevo proyecto y de ser el caso, se estaría dando un cuarto uso al agua, aumentando su productividad.

Queda pendiente cuantificar los beneficios económicos y sociales del primer y tercer uso, para dimensionar el valor social que representa el agua que se produce en el sistema Cutzamala o en los acuíferos de la Ciudad de México y Cuautitlán – Pachuca, ya que como se ha observado se utiliza de distintas formas y en distintos procesos sociales y económicos.

También, queda pendiente estudiar y evaluar el aprovechamiento de estas aguas en la cuenca del río Moctezuma hasta el Pánuco, y con ello dimensionar el valor social y económico que genera el uso del agua en todo su recorrido hasta su desembocadura al mar.

## Referencias

Comisión Nacional del Agua. (2012). “Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México”. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México.

Comisión Nacional del Agua. (2014). “Estadísticas agrícolas de los Distritos de Riego Año Agrícola 2012-2013”. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México.

Leal, B. G. (2015). Modelo de simulación matemática para el análisis integral del sistema principal de drenaje de la ZMVM. Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. Ciudad de México.