

Ciudades SUSTENTABLES A PARTIR DE UN PARADIGMA HÍDRICO EMERGENTE

CASO DE ESTUDIO: TOLUCA, MÉXICO

LILIANA ROMERO-GUZMÁN*, JESÚS ENRIQUE DE HOYOS-MARTÍNEZ**, ELIZABETH TERESITA ROMERO-GUZMÁN***

Sustainable cities from an emerging water paradigm, Case study: Toluca, México

Fecha de recibido:
5 septiembre 2017
Fecha de aceptado:
14 diciembre 2017

*Universidad Autónoma del
Estado de México, México
lromerog@uaemex.mx

** Universidad Autónoma del
Estado de México, México
consultoria.dehoyos@gmail.com

*** Instituto Nacional de
Investigaciones Nucleares,
México
elizabeth.romero@inin.gob.mx

RESUMEN. A partir de la segunda mitad del siglo xx, el aumento en el crecimiento poblacional, aunado a la industrialización, urbanización, intensificación de la agricultura y cambios en el estilo de vida, han dado como resultado una crisis del agua, que en el siglo xxi es uno de los problemas centrales de la especie humana.

El presente artículo muestra la evolución de los paradigmas hídricos a través de la historia, se realiza también una caracterización del municipio de Toluca para determinar bajo qué paradigma se encuentra actualmente y poder potencializar sus cualidades hacia un enfoque sustentable en el manejo urbano del agua. El nuevo paradigma hídrico convierte los procesos lineales a cíclicos que consideran, entre algunos factores, al tratamiento del agua en sustituto de la extracción, a la lluvia como un recurso aprovechable y la permisión de nuevas estrategias de manejo y tecnologías, como parte de una solución sustentable e integral al problema hídrico de las ciudades.

Palabras clave: ciudades sustentables, paradigma hídrico, Toluca.

ABSTRACT. From the second half of the 20th century, the increase in population growth, together with industrialization, urbanization, intensification of agriculture and changes in lifestyle, have resulted in a water crisis, which in the 21st century, is one of the central problems of the human species.

The development of the present article shows the evolution of water paradigms through history and makes a characterization of the municipality of Toluca to determine under which paradigm it is currently and to potentiate its qualities towards a sustainable approach in the urban management of water.

The new water paradigm converts linear processes to cyclical ones that consider, among some factors, the treatment of water as a substitute for extraction, rain as a usable resource and the permission of new management strategies and technologies, as part of a sustainable and integral solution to the water problem of cities.

Key words: sustainable cities, water paradigm, Toluca.

E

l agua ha sido un tema de interés en las sociedades de todos los tiempos debido al papel vital que este

recurso juega en la vida humana; siendo esencial para el ambiente, para la seguridad alimentaria y para el desarrollo sustentable.

Prácticamente todas las civilizaciones, conocidas hasta el momento, han florecido al lado del recurso agua. A partir de la segunda mitad del siglo xx, el aumento en el crecimiento poblacional, aunado a la industrialización, urbanización, intensificación de la agricultura y cambios en el estilo de vida en el mundo entero, han dado como resultado una crisis del agua, considerada ya en el siglo xxi como uno de los problemas centrales de la especie humana, convirtiéndose de esta manera, en uno de los mayores desafíos para muchas zonas del mundo.

Se estima que una quinta parte de la población mundial sufre escasez del vital líquido y que cinco millones de personas mueren cada año por beber agua contaminada (Sartori y Mazzoleni, 2003). Aunado a que, uno de los principales problemas en relación al recurso del agua es su abasto irregular e insalubre. En este sentido, se estima para el año 2025 una crisis mundial de abasto irregular e insalubre de agua en la que el 80% de la población mundial no dispondrá de agua potable (Toledo, 2002).

Tan sólo por su extensión territorial y su tamaño demográfico, México no escapa a esta problemática. “Debido al crecimiento de la población, la disponibilidad de agua ha disminuido de manera considerable: en 1910 era de 31 mil m³ por habitante al año; para 1950 había disminuido hasta un poco más de 18 mil m³; en 1970 se ubicó por debajo de los 10 mil m³, en 2005 era de 4, 573 m³ y para 2010 disminuyó a 4, 230 m³ anuales por cada mexicano” (INEGI, 2010). Además, fenómenos como el cambio climático, ha dado paso a variaciones en los regímenes pluviales en diversas localidades del país, permitiendo que en época de lluvias algunas zonas estén inundadas y

a la vez, éstas mismas carezcan del vital líquido para beber. Lo que hace urgente la búsqueda e implementación de soluciones efectivas a corto, mediano y largo plazo.

Por ello, debería de considerarse un nuevo paradigma en el manejo del agua en las ciudades, convertir el proceso lineal que actualmente se maneja de extracción-uso-desecho a un proceso cíclico donde en algún momento se sustituya la extracción por uno o varios tratamientos del agua y así no desecharla después de un único uso, por citar un ejemplo.

En este sentido, en el ámbito internacional, Australia cuenta con las mayores acciones en aprovechamiento sustentable del agua. Como parte de la Iniciativa del Agua para el Futuro (*Water for the Future Initiative*), el gobierno australiano diseñó la Iniciativa Nacional de Aguas Pluviales y Aguas Grises (*National Rainwater and Greywater Initiative*, NRGi) para ayudar a su población a usar el agua sabiamente en su vida cotidiana.

Como parte de estas acciones, el gobierno australiano proporcionó: reembolsos de hasta 500 dólares para los hogares que instalaron un nuevo sistema de aguas grises o de agua de lluvia conectado al inodoro o a la lavadora e instalado por un plomero certificado, además otorgó subsidios a clubes de hasta 10 000 dólares para instalar tanques de agua de lluvia o emprender un proyecto amplio de ahorro de agua con dispositivos eficientes, instalado también por un plomero certificado y auditado por la autoridad competente.

Un total de 14, 625 reembolsos domésticos equivalentes a 7´017, 200 dólares y 658, 000 dólares correspondientes a 86 clubes fueron pagados por el gobierno en toda Australia en el 2013, lo que incentiva un uso eficiente del agua por parte del usuario y que debería de considerarse en México, a través de la generación de políticas propias de estos sistemas, conjuntas con incentivos tributarios y conciencia ambiental.

ANTECEDENTES TEÓRICOS DEL PARADIGMA HÍDRICO

En este apartado se presenta una reflexión filosófica a partir del reconocimiento de la cultura planetaria, un segundo argumento muestra la transición física-tecnológica por medio del reconocimiento del ciclo hidrológico y el tercero considera el aspecto social a través de la evolución de los paradigmas hídricos a través de la historia y el reconocimiento del paradigma hídrico actual.

1. CULTURA PLANETARIA

El agua, como líquido vital asociado a los procesos de formación y desarrollo de todos los fenómenos naturales, es el vínculo esencial entre los componentes que determinan la vida. En este sentido, la relación hombre-ambiente toma una significación esencial, en el entendido de que todos los que habitamos en el planeta Tierra coexistimos y debemos de guardar un equilibrio con las demás especies y con los recursos.

En nuestros días se hace necesario generar un nuevo paradigma de convivencia entre lo natural, que se enfoque en la vida y que garantice un futuro de la misma en las mejores condiciones. Se hace necesario, reflexionar sobre la Casa Común, el *ethos* o la morada humana, nuestro hábitat: la Tierra y no solamente la morada en que habitamos, la ciudad en que vivimos o el país al que pertenecemos. Importa asegurar la sustentabilidad de la Tierra, de la vida, de la sociedad y de la humanidad.

Es necesario combinar educación, cultura y arte para concientizar a la sociedad sobre la necesidad de preservar los recursos y conseguir que el mayor número posible de personas se involucre en el respeto al medio ambiente (Dentro del marco de la celebración del Día Mundial

del Agua 2013. Exposición: Agua y Saneamiento de Toluca “ELAYER”).

Por lo tanto, es necesario cambiar nuestra forma de pensar, cambiar nuestro estado de conciencia hacia una conducta sustentable, como lo indica Corral-Verdugo (2001: 37), donde menciona que la conducta proambiental es “el conjunto de acciones deliberadas y efectivas que responden a requerimientos sociales e individuales y que resultan en la protección del medio”, por ello, es necesario modificar el paradigma en relación al uso y manejo del agua, debemos encaminar nuestras acciones hacia una gestión sustentable del agua.

*El **AGUA**, como **LÍQUIDO VITAL** asociado a los procesos de **FORMACIÓN** y **DESARROLLO** de todos los **FENÓMENOS NATURALES**, es el **VÍNCULO** esencial entre los componentes que determinan la **VIDA**.*

2. CICLO HIDROLÓGICO

La cantidad total de agua que existe en la Tierra en sus tres estados: sólido, líquido y gaseoso se ha mantenido constante. La atmósfera, los océanos y los continentes, así como los ríos, las nubes y la lluvia están en constante cambio o, dicho de otra manera, en circulación continua: el agua de la superficie se evapora, el agua de las nubes se precipita, la lluvia se filtra por la tierra, etc. A estos cambios que determinan la circulación y conservación del agua en la Tierra se les llama ciclo hidrológico o ciclo del agua, el cual se mantiene por la radiación del sol y por la fuerza de gravedad.

Con el estilo de vida de la sociedad actual, donde algunos piensan que cerrando las llaves ya están cuidando el agua, se olvida que al comprar cualquier producto también se genera un impacto en ese ciclo vital (Romero *et al.*, 2013), o como dijo Jacques Y. Cousteau: "Olvidamos que el Ciclo del Agua y el Ciclo de la Vida son uno mismo".

El desarrollo integral sustentable del agua tiene que ver con el conocimiento del ciclo hidrológico, con la planeación y desarrollo de acuerdo con la disponibilidad de agua. Se refiere a lograr el equilibrio de los recursos hidrológicos de una cuenca considerando el escurrimiento natural y el número de habitantes sin que disminuya la cantidad y calidad del agua.

No es posible seguir realizando proyectos de agua y saneamiento bajo el esquema de dominación a la naturaleza, donde la inversión y sobre todo la operación de los mismos tengan altos impactos económicos, ambientales y se presenten conflictos sociales. Se tiene que cambiar el enfoque hacia la sustentabilidad, con un paradigma hídrico emergente.

PARADIGMA HÍDRICO

Según una serie de estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en el 2008 se logró demostrar que más del 50% de la población mundial reside en zonas urbanas, lo que ha provocado que en muchas de estas áreas la demanda de agua sea mayor a la oferta disponible (FAO, 2000). Lo anterior, sumado a la evidente escasez de agua causada por desequilibrios del ciclo hidrológico (Duarte y Echeverry, 2004; Eriksson *et al.*, 2002; Fletcher *et al.*, 2008), pero también es

alarmante la magnitud de población que no tiene acceso al recurso en óptimas condiciones, motivo por el cual uno de los Objetivos del Milenio de la ONU es precisamente reducir a la mitad esta limitación

En la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro 1992, se definió que toda forma de desarrollo sostenible debe generar crecimiento económico, equidad social y conservación ambiental, y por ende, debe estar ligado a la concepción de infraestructura sostenible (Ghisi *et al.*, 2006; González, 2003). Por esta razón, dada la necesidad de mitigar las sobrepresiones hídricas, es necesario establecer nuevas opciones de suministro de agua, las cuales logren interactuar eficazmente con el ambiente (Zhang *et al.*, 2009), con lo cual, estas mismas organizaciones mundiales propenden por el aprovechamiento de las aguas de lluvia y la reutilización de las aguas grises y negras en los centros urbanos (Montt *et al.*, 2003).

Sin embargo, a lo largo de la historia, el manejo urbano del agua ha tenido una evolución (tabla 1). De acuerdo con Novotni *et al.* (2010), citado en Hernández (2012), han sido cuatro los paradigmas que ha enfrentado el recurso agua en las ciudades:

TABLA 1. EVOLUCIÓN DE LOS PARADIGMAS HÍDRICOS URBANOS.

PARADIGMA	CARACTERÍSTICAS
I. Suministro básico del agua (a.C. hasta la Edad Media, aún se encuentra en países en desarrollo).	Pozos y aguas superficiales para el suministro de agua; calles y drenajes de calles para el agua de lluvia y aguas de desecho; materia fecal humana animales muertos desechados en calles y en drenaje superficial; letrinas y exteriores de casas para desechos; la mayor parte de las calles eran permeables o semipermeables; techos de paja o cubiertos de césped.
II. Transporte ingenieril de aguas de escorrentía y de suministro (Antigua Creta, Grecia, Roma; ciudades europeas en la Edad Media hasta la Revolución Industrial en el Siglo XIX).	Pozos y grandes acueductos para fuentes públicas, baños y algunos castillos y villas; algún tratamiento al agua potable; uso extendido del agua de lluvia en cisternas subterráneas; impermeabilidad media, adoquines; varios techos cubiertos con azulejos; coladeras y drenaje superficial para agua de lluvia; algunos inodoros en lugares públicos y hogares de aristócratas que descargaban en alcantarillas o en letrinas y exteriores de casas para desechos negros; a veces se desechaba materia fecal y animales muertos sobre calles y drenajes superficiales; sin tratamiento de aguas de desecho.

<p>III. Transporte de agua rápido, sin mínimo de tratamiento (Desde la segunda mitad del Siglo XIX en Europa y Estados Unidos, después en las ciudades asiáticas, hasta la segunda mitad del Siglo XX en países avanzados, aún persistente en varios países).</p>	<p>Pozos y grandes acueductos para el suministro de agua; agua potable mayormente por fuentes superficiales tratadas por sedimentación y filtración con una amplia implementación de alcantarillas mixtas en Europa y Norteamérica; se comienza a extender el uso de retretes; se transforman los drenajes superficiales en conductos subterráneos; inicialmente se tiene un tratamiento primario para el agua de desecho, y en algunas grandes ciudades de Alemania y Estados Unidos se instalan procesos secundarios de depuración después de 1920; después de 1960 algunas comunidades se equipan con depuradores secundarios de baja eficiencia; pavimentación de superficies con materiales impermeables, concreto y asfalto; nadar en ríos es peligroso o imposible.</p>
<p>IV. Transporte de agua rápido con tratamiento al final de la tubería (Desde la aprobación de la Ley de Aguas Limpias de Estados Unidos en 1972 hasta 2010).</p>	<p>Implementación gradual de restricciones ambientales resultando en tratamientos secundarios obligatorios de orgánicos biodegradables; regionalización de sistemas de drenaje; remoción de nitrógeno obligatorio en la Comunidad Europea; se reconoce la contaminación difusa o por fuentes no puntuales como el problema restante de mayor importancia; incremento en la preocupación de contaminación por escorrentía urbana y de avenidas como fuentes de sedimentos, tóxicos y patógenos; mayor enfoque en la implementación de mejores prácticas de manejo para el control de la contaminación y la escorrentía; énfasis en la remoción de nutrientes desde fuentes puntuales y no puntuales.</p>

FUENTE: NOVOTNY ET AL. (2010) CITADO EN HERNÁNDEZ (2012).

Por lo anterior, se tendrá que caracterizar al municipio de Toluca para poder determinar bajo qué esquema paradigmático funciona en relación al agua urbana y potencializar sus cualidades hacia un enfoque sustentable que ayude a la habitabilidad urbana.

METODOLOGÍA

La parte metodológica del presente artículo la integra un diagnóstico del municipio de Toluca considerando su localización, delimitación hidrográfica, infraestructura hidráulica actual, descripción de zonas de inundación y la disponibilidad de agua de lluvia, para caracterizar al municipio de acuerdo con alguno de los paradigmas hídricos mencionados en la parte teórica y poder potencializar las cualidades del mismo hacia un enfoque más sustentable en el manejo del agua urbana a partir de un nuevo paradigma hídrico, denominado *emergente*, el cual al ser más complejo y dinámico requiere de mayor cooperación.

LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE TOLUCA

El municipio de Toluca se localiza en la zona central del Estado de México. Sus coordenadas extremas varían de los 18°59'2" a los 19°27'9" de latitud norte, y de los 99°31'43" a los 99°46'58" de longitud oeste. La altura promedio es de 2,600 msnm. Los municipios colindantes son al norte Temoaya y Otzolotepec; al noroeste con Almoloya de Juárez; al sur con Villa Guerrero, Coatepec Harinas, Calimaya y Tenango del Valle; al sureste con Metepec; al este con Lerma y San Mateo Atenco y al oeste con Zinacantepec. Es la capital del Estado de México que se ubica a 72 km de la capital del país. Cuenta con una extensión de 420.14 km² (H. Ayuntamiento de Toluca, 2013).

DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA

El sistema hidrológico del municipio coincide con la cuenca alta del río Lerma; circunscribe a los ríos Lerma y Xicualtenco o Verdiguél (que cruza la cabecera municipal de poniente a oriente y va a desembocar al río Lerma). El municipio de Toluca está asentado sobre el acuífero del Valle de Toluca, que tiene una extensión de 2,738 km² (CNA, 2002) abarcando varios

municipios, cuya principal recarga proviene del Nevado de Toluca.

Es posible identificar tres flujos subterráneos dominantes, el primero proviene de las infiltraciones que se generan sobre el Nevado de Toluca y circulan rumbo al este-noreste y atraviesan prácticamente todo el valle hasta llegar al pie de la sierra de las Cruces. Un segundo flujo proviene también del Nevado de Toluca, que se dirige en sentido norte para salir hacia Ixtlahuaca. El tercero subterráneo proviene de la sierra de las Cruces y circula rumbo al oeste para desembocar al pie de la sierra, en la zona de las antiguas lagunas de Lerma Almoloya (H. Ayuntamiento de Toluca, 2013).

Existen también algunos pequeños arroyos: el de San Marcos y otros que se forman durante la temporada de lluvias, como el Tejalpa; pero en general se carece de corrientes acuíferas y de manantiales de alguna importancia.

Asimismo, se cuenta con 122 pequeños bordos de carácter permanente y temporal que cubren una superficie de 448.58 hectáreas, entre ellos destacan: San Andrés, La Bandera, San Blas, San Jerónimo, San Nicolás y Santa Rosa, ubicados en la zona norte del municipio (figura 1).

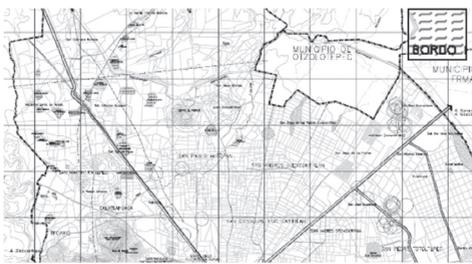


FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE BORDOS EN LA ZONA NORTE DEL MUNICIPIO.

FUENTE: PLAN MUNICIPAL DE DESARROLLO, TOLUCA, 2013.

Los problemas más graves que afrontan los recursos hidrológicos del municipio, además de su sobreexplotación, es el de la contaminación. Se considera que el tramo comprendido entre la zona industrial Toluca-Lerma es uno de los ríos más contaminados, al recibir las aguas negras de las zona urbana del municipio y de otros municipios conurbados y las descargas

residuales de las industrias provenientes de la ciudad de Toluca (H. Ayuntamiento de Toluca, 2013).

Además hay que destacar que la dirección de los escurrimientos provenientes principalmente del Nevado de Toluca es del sur hacia el noreste, lo que acarrea problemas con la perpendicularidad de las principales calles del municipio de Toluca que corren en dirección este-oeste.

INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA ACTUAL DEL MUNICIPIO

En los siglos xx y xxi, la ciudad de Toluca ha experimentado grandes cambios en toda la estructura urbana con la característica peculiar de la falta de planeación congruente. El sistema de agua potable no ha sido la excepción, es así que la explosión demográfica ha provocado un crecimiento desorganizado de la red de abastecimiento. Estas condiciones dificultan un diagnóstico adecuado para evitar pérdidas de agua en el sistema de distribución (Fonseca, 2010).

De acuerdo al organismo operador Agua y Saneamiento de Toluca (2013), el sistema de agua potable del municipio funciona a partir de fuentes propias y externas como se muestra en la tabla 2 y en la figura 2.

TABLA 2. VOLUMEN DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL MUNICIPIO DE TOLUCA.

FUENTES PROPIAS	FUENTES EXTERNAS
37 pozos en la zona urbana, 765 Lps 47 pozos en la zona rural, 695 Lps Volumen total extracción de pozos: 1460 Lps	Sistema Cutzamala: 657 Lps
Volumen total: 2117 Lps	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

El SISTEMA de AGUA POTABLE del municipio funciona a partir de
FUENTES PROPIAS Y EXTERNAS.

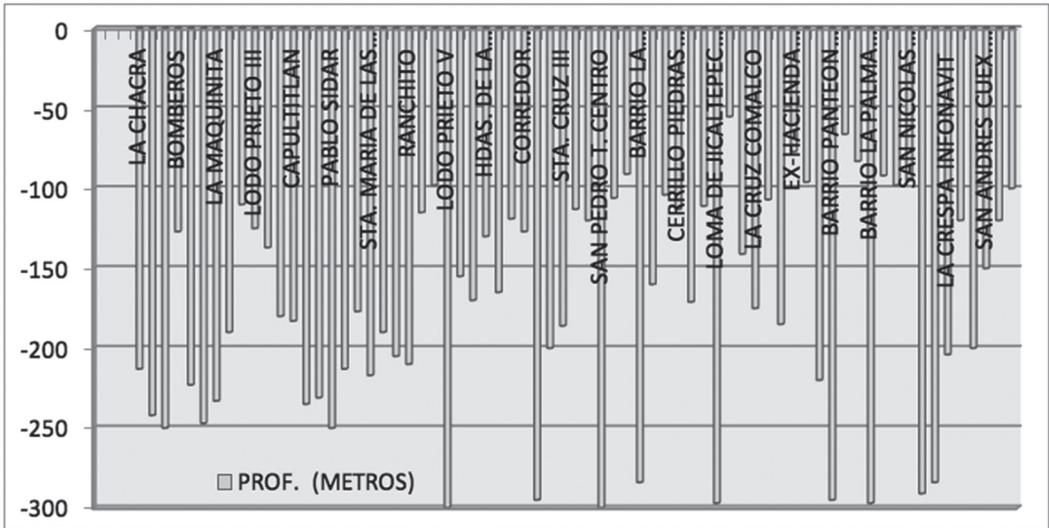


FIGURA 2. PROFUNDIDAD DE POZOS EN EL MUNICIPIO DE TOLUCA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Dentro del proyecto de rehabilitación del sistema de agua potable de la zona urbana en el periodo comprendido entre 1981 y 1986, se contemplaba el funcionamiento con bombeo a tanques y gravedad a la red, por lo cual se construyeron las líneas de conducción necesarias, sin embargo, dentro de las adecuaciones al funcionamiento, parte del volumen de agua se envía directamente a la red de distribución.

En 2013 se tenían en funcionamiento 8 tanques superficiales (Lomas Altas, Zopilocalco, San Miguel, Teresona, Gigantes, San Bernardino, Coatepec, Calvario), ubicados en las partes altas de la ciudad, con un volumen total de regularización de 33, 000 m³ (figura 3).



FIGURA 3. UBICACIÓN DE LOS TANQUES DE REGULARIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE TOLUCA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La red de distribución funciona con base en circuitos principales desde los tanques de regularización (tabla 3), con pequeñas isletas de servicio en las colonias donde cuentan con fuente propia que no ha sido incorporada a los tanques.

A últimas fechas se ha estructurado para que funcione en forma de distritos hidrométricos (que son pequeños sistemas independientes para un mejor control) y en macrosectores que son zonas mayores que en su momento agruparían a varios distritos hidrométricos.

TABLA 3. CAPACIDAD DE TANQUES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.

No.	TANQUE	CAPACIDAD (m ³)	m.s.n.m.
1	Teresona	2,000	2,800
2	Lomas Altas	5,200	2,690
3	San Miguel	1,250	2,736
4	Gigantes	700	2,770
5	Calvario	3,700	2,703
6	Agustín Millán	1,250	2,731
7	Coatepec	900	2,712
8	Zopilocalco	300	2,725
9	San Bernardino	250	2,810
10	San Miguelito	30	2,802

FUENTE: DEPARTAMENTO DE OPERACIÓN, AGUA Y SANEAMIENTO DE TOLUCA, 2013.

En lo que se refiere a las tomas de agua potable, en su mayoría son del tipo doméstico, aunque por los diferentes servicios que se proporcionan, existen también tomas comerciales.

De acuerdo con la información proporcionada por el organismo operador Agua y Saneamiento de Toluca, no se tiene determinado el consumo por bloque, ya que no se cuenta con un servicio medido en la totalidad del municipio, sin embargo, está programado en corto plazo incrementar la instalación de medidores a fin de poder establecer un control que permita una mejor operación del sistema de agua potable.

Con el objetivo de monitorear la red de agua potable, el organismo operador ha dividido al municipio en diferentes áreas de influencia por cada fuente de abastecimiento, que abarcan espacios físicos ocupados por usuarios, que son alimentados por la misma fuente de abastecimiento, a las que ha definido como zonas de servicio.

En lo referente a la calidad del servicio, se considera como bueno en la zona baja de la ciudad, que comprende lo que en un momento se llamó mancha urbana, dentro de los límites del Paseo Tolloacan. En la zona sur-poniente de la ciudad, el servicio varía de regular a programado (tandeo) debido principalmente a los volúmenes de agua disponibles.

DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE INUNDACIÓN

En el municipio se presentan granizadas de hasta seis días al año en promedio, principalmente en la zona sur, ocasionando el desbordamiento de cuerpos de agua y la inundación de zonas urbanas y agrícolas.

Las zonas susceptibles a inundación son las delegaciones de Santa Ana Tlapaltitlán, San Mateo Oxtotitlán, San Pedro Totoltepec, Santa María Totoltepec, San Martín Totoltepec, San Pablo Autopan, Calixtlahuaca, Santiago Tlaxomulco, San Andrés Cuexcontitlán y Santa Cruz Atzacapotzaltongo; y en la propia cabecera municipal destacando las colonias: Izcalli Toluca, Reforma, Ex hacienda del Carmen, corredor Industrial Toluca-Lerma, Barrio de Huitzila, Barrio Tlacopa, Col. Nueva Santa María y la Col. Isidro Fabela; donde el promedio de la superficie afectada es de 273, 300 m².

En todos los casos, se conjugan las fuertes tormentas, falta de obras para contener aguas, desbordamiento de ríos y otros cuerpos de agua, la falta de azolve constante de la red de drenaje y la insuficiente capacidad de la misma.

En términos generales, de acuerdo con datos proporcionados por el Departamento de Proyectos y Planeación del organismo de Agua y Saneamiento de Toluca, el municipio no presenta inundaciones, ya que la misma topografía del municipio hace que la escorrentía discurra por la superficie del municipio, sin embargo, tales escurrimientos se ven afectados debido

a que el crecimiento urbano se ha encargado de impermeabilizar áreas que años atrás servían de infiltración. Por lo que la mayoría de las zonas susceptibles de inundación son consideradas como encharcamientos menores.

DISPONIBILIDAD DEL AGUA DE LLUVIA

La temporada de lluvias en el municipio de Toluca se presenta entre los meses de abril y hasta principios de octubre, con una precipitación media anual que varía entre 800 y 900 mm,

dependiendo de la orografía del municipio, siendo las delegaciones de Cacalomacán, San Juan Tilapa y las zonas altas más cercanas al Nevado de Toluca las que presentan mayor precipitación.

El periodo del año en que se presenta el mayor registro de precipitación pluvial es de junio a agosto, destacando julio con 246 mm, seguido de agosto con 233 mm y disminuyendo paulatinamente el registro hasta enero con 14.6 mm, figura 4, (H. Ayuntamiento de Toluca, 2013).



FIGURA 4. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL PROMEDIO 1965-2000 (MILIMETROS).

FUENTE: INEGI, CUADERNO ESTADÍSTICO MUNICIPAL DE TOLUCA, 2006.

De acuerdo con las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en el periodo comprendido de 1951 a 2010, se tiene para el municipio de Toluca, una precipitación normal de 747.5 mm (figura 5).

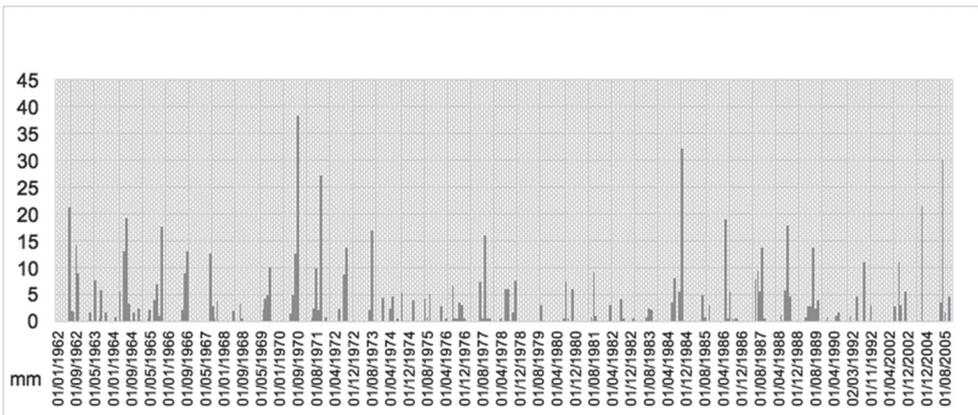


FIGURA 5. EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN EL MUNICIPIO DE TOLUCA 1951-2010, CON UN PERIODO DE RETORNO DE 1951 A 2010 (59 AÑOS).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Con los datos mencionados como la sobre-explotación de los recursos hidrológicos del municipio, el crecimiento desorganizado de la red de abastecimiento de agua potable, las zonas de inundación detectadas, además del desaprovechamiento del agua pluvial, se puede establecer que el paradigma hídrico existente en el municipio tiene características asociadas al paradigma: Transporte de agua rápido con tratamiento al final de la tubería, el cual no es considerado sustentable ni resiliente.

RESULTADOS

Las características del paradigma hídrico emergente, el cual pretende que adopten la mayoría de las ciudades, entre ellas Toluca, para tener un enfoque más sustentable son:

- **Los residuos humanos deben ser capturados y procesados, ya que se consideran como un recurso.**

En el caso del municipio de Toluca, la mayoría de los desechos son capturados, pero no son procesados, por lo que no se están considerando como recurso. En algunas partes del mundo, gracias a la aplicación de los residuos humanos como productos fertilizantes en campos agrícolas, se ha logrado alimentar a una población cada vez más numerosa, sin contaminar el agua potable. Las plantas de tratamiento del municipio están en intermitente funcionamiento por falta de recursos económicos para su mantenimiento.

Sin embargo, algunas de las acciones en materia de tratamiento de aguas residuales que se han realizado son: la planta de tratamiento de El Refugio Tlacotepec o el apoyo que el organismo ha dado para la operación de la planta de tratamiento que se ubica en el primer vaso del Parque Alameda 2000.

La infraestructura debe ser adecuada a las condiciones de demanda, no sólo a la cantidad de agua demandada y se debe de recolectar para su posterior tratamiento. Por ello se recomienda que los sistemas de recolección y plantas de tratamiento se descentralicen en

lo posible, pues esta acción reduciría el costo y provocaría que fuera viable realizar este proceso.

- **El agua de lluvia debe ser capturada, almacenada, tratada y/o infiltrada para apoyar la recarga de acuíferos, ya que se considera como un recurso.**

La literatura y las experiencias en sistemas de captación de agua pluvial indican que es factible un proyecto de esta naturaleza en zonas con niveles de precipitación anuales a partir de los 400 mm, lo cual le da al municipio de Toluca una ventaja al tener más de 700 mm anuales, evitando zonas de inundación y promoviendo a nivel individual o comunitario un modelo de captación pluvial.

A partir de 2014 se han construido en el municipio colectores pluviales: Rancho la Mora, Alameda 2000, San Bernardino, para evitar encharcamientos y disminuir posibles inundaciones en temporada de lluvias, además de la recuperación de cuerpos de agua.

Es importante mencionar también que en el 2013 se inició la construcción de un sistema integral para captar agua pluvial en el edificio sede del Organismo de Agua y Saneamiento de Toluca, cuyo volumen captado se utiliza en los servicios y módulos sanitarios del inmueble; sirviendo el organismo como ejemplo de cuidado del agua potable y captación de líquido pluvial para su uso en los servicios que así lo ameriten. Dicho sistema cuenta con una cisterna con capacidad para captar 55 m³ de agua de lluvia, adicionalmente a la que ya se tiene de 15 m³, para alcanzar un total de 70 m³ de disponibilidad del recurso pluvial para el mantenimiento y servicios del edificio de Agua y Saneamiento de Toluca. El objetivo de esta acción es consolidar la nueva cultura del cuidado del agua potable en Toluca y un paso importante será iniciar con el aprovechamiento del agua de lluvia, debido a que prácticamente en su totalidad va a parar a los sistemas de drenaje, ocasionando a veces daños a personas y a sus bienes patrimoniales.

• **La infraestructura en este nuevo paradigma no incluye sólo tuberías sino también suelos, vegetación y plantas de tratamiento, es por eso que toma el nombre de infraestructura verde.**

El colector pluvial en las inmediaciones del Parque Alameda 2000 ha sido diseñado y concebido como “obra verde”, captará las aguas pluviales provenientes del Arroyo Caballero y las derivará hacia el segundo vaso que se ubica en las inmediaciones de la Ex Hacienda La Pila, contribuyendo así, a tener la permanencia de agua durante más tiempo en el bordo, a fin de empezar a regenerar la flora y fauna endémica de la zona.

Es necesario considerar los diversos usos del agua, sobre todo en la vivienda urbana y saber que no es la misma calidad requerida, lo que puede animar a los usuarios a reusarla y contribuir a la recuperación del recurso hídrico (tabla 4).

TABLA 4. DISTRIBUCIÓN DEL USO DEL AGUA EN LA VIVIENDA URBANA.

USOS DEL AGUA EN LA VIVIENDA	PORCENTAJE PROMEDIO	CALIDAD DE AGUA REQUERIDA	TRATAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA
Inodoro	36.25%	Baja	Pretratamiento
Riego, limpieza y otros usos	6.25%	Baja	Pretratamiento
Lavado de ropa	12.75%	Media	Pretratamiento Tratamiento primario
Regadera y Lavabo	31.25%	Media	Pretratamiento Tratamiento primario
Cocina y agua beber	13.5%	Alta	Pretratamiento Tratamiento primario Tratamiento Secundario
Total	100%		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, BASADO EN CONAFOVI, 2005).

La mayoría de estas propuestas que maneja el paradigma emergente apenas se están implantando en algunas ciudades, ya que las estrategias a seguir, dependen de la problemática de cada sitio, en el caso de Toluca, no es la excepción.

CONCLUSIONES

Ante el panorama de la situación actual del agua potable en el planeta, el planteamiento de una correlación entre la cultura planetaria

El colector también permitirá la regulación de los fuertes escurrimientos generados en época de lluvias, evitando la saturación del alcantarillado ubicado aguas abajo, con lo que se mitigarán los encharcamientos que pudieran suscitarse en las colonias Vicente Guerrero, Plazas de San Buenaventura y San Bernardino.

• **El uso único del agua que se considera en el paradigma actual debe transformarse a reúso y recuperación del recurso, dando prioridad a la calidad del recurso de acuerdo al uso, considerando que la sustentabilidad cambia los procesos de lineales a cíclicos.**

con el conocimiento del ciclo hidrológico, se hace necesario para generar un nuevo paradigma hídrico en las ciudades, para el manejo sustentable del agua.

En México, la gestión integral y sustentable del agua requiere la participación, tanto de la sociedad civil como del gobierno, para evitar su derroche y prevenir su contaminación. Los ciudadanos, teniendo representación en los espacios de toma de decisiones, junto con los planificadores y las autoridades, como equipo multidisciplinario, deben impulsar la generación de

políticas tendientes a la sustentabilidad del agua, sobre todo a largo plazo, permitiendo nuevas estrategias de manejo del agua con gran coordinación y el uso de nuevas tecnologías en el entorno urbano.

Debe quedar claro que el agua dulce es un recurso finito y vulnerable. Al tener el agua un valor económico en los diversos usos a los que se destina, debería reconócerse también como un bien económico, generando incentivos tributarios y conciencia ambiental que puedan inducir a la población a implantar estrategias del paradigma emergente, desde la escala de vivienda hasta barrio o ciudad como experiencias exitosas en el manejo sustentable del agua.

El manejo sustentable del agua en el municipio de Toluca implica inducir un cambio en la conducta de los individuos para alcanzar un equilibrio entre el uso del vital recurso y la protección y conservación del recurso. Esa preocupación y presión de los ciudadanos puede acelerar la voluntad política para propiciar una gestión sustentable del agua.

Actualmente, el municipio no alcanza a cubrir las necesidades de agua potable en el 10% de su población, sobre todo en la parte norte. Para ofrecer el servicio en las comunidades que padecen la falta del recurso, el organismo de Agua y Saneamiento de Toluca elaboró un proyecto de captación de agua pluvial para casas-habitación aisladas. También se pretende entregar biodigestores para compensar la falta de un sistema de drenaje en algunas regiones, pues para hacer la ampliación de estos servicios en una densidad de viviendas baja, sería muy costoso. Este tipo de acciones y replanteamiento de estrategias pueden sentar las bases necesarias para dar continuidad a un paradigma hídrico emergente en el municipio.

FUENTES DE CONSULTA

CONAFOVI (2005), *Guía para el uso eficiente del agua en desarrollos habitacionales*, CONAFOVI, México.

Corral-Verdugo, V. (2001), *Comportamiento proambiental. Una introducción al estudio de las conductas protectoras del ambiente*, Santa Cruz de Tenerife, España: Resma.

Duarte, L. & Echeverry, J. (2004), *Estudio para la reutilización*

de las aguas lluvias en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá-Colombia.

Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M. & Ledin, A. (2002), "Characteristics of grey wastewater", *Urban Water*, pp. 85-104.

FAO (2000), *Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia Experiencias en América Latina*, Serie: Zonas Áridas y Semiáridas Santiago de Chile, FAO, Chile.

Fletcher, T., Deletic, A., Mitchel, V., & Hatt, B. (2008), "Reuse of Urban Runoff in Australia: A Review of Recent Advances and Remaining Challenges", *J. Environ Qual.*, 37(5_Supplement), S-116-S-127.

Fonseca O. C. R. (2010), *Propuesta metodológica para la gestión del agua en contexto urbano con enfoque termodinámico. Tesis de Maestría en Ciencias del Agua*. Centro Interamericano de Recursos del Agua, UAEM, México.

Ghisi, E., Montibeller, A. & Schmidt, R. (2006), "Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil", *Building and Environment*, pp. 204-210.

González, F. (2003), "Las instituciones medioambientales globales ante la Cumbre de Río+10", *Ecosistemas*, 16.

H. Ayuntamiento de Toluca (2000), *Historia de los Servicios de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento en el municipio de Toluca*, HAT, México.

H. Ayuntamiento de Toluca (2013), *Plan de Desarrollo Municipal 2013-2015*. Toluca. HAT, México.

Helmreich, B. & Horn, H. (2009), "Opportunities in rainwater harvesting", *Desalination*, 248 (1-3), Germany.

Hernández P. N. K. (2012), *Soluciones sustentables para captar y usar agua en zonas urbanas*. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas, Instituto Politécnico Nacional, México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2010), Agua Potable y Drenaje, [en línea] <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T>, consultado el 16 de agosto de 2017.

Montt, J., Rivera, P., Fernández, B. & Valenzuela, Y. (2003), *Caracterización de la calidad de las aguas lluvias urbanas de Santiago*. Paper presented at the XVI congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.

Novotny, Vladimir; Ahern, Jack y Paul Brown (2010), *Water Centric Sustainable Communities: Planning, Retrofitting, and Building the Next Urban Environment*, John Wiley & Sons, Inc., USA.

Romero G. L., Romero G. E. T., Reyes G. R. y De Hoyos M. J. E. (2013), "Agua de lluvia: calidad físico-química", *Ciudades 99*, julio-septiembre. pp. 39-45. RNIU, Puebla, México.

Sartori, Giovanni & Mazzoleni, Gianni (2003), *La tierra explota. Superpoblación y desarrollo*, Taurus, España.

Toledo, A. (2002), *El agua en México y el Mundo*, Gaceta del Instituto Nacional de Ecología, México.

Zhang, Y., Chen, D., Chen, L. & Ashbolt, S. (2009), "Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities", *Journal of environmental management*, 91, 1, pp. 222-226.