



Lagos artificiales: elementos paisajísticos como infraestructura hidráulica

Dew ponds: landscape elements as urban hydraulic infrastructure

Mauricio González Salgado
Juan Ansberto Cruz Gerón

RESUMEN: El artículo presenta la primera etapa de una investigación acerca del uso de los lagos artificiales como infraestructura hidráulica urbana que ponderan al paisaje. Las ciudades mexicanas y su problemática de crecimiento responden a las necesidades del mercado y omiten el proceso de sustentabilidad que deberían observar escrupulosamente. Esta investigación se concentra en el destino de los escurrimientos pluviales en zonas urbanas y cómo aprovecharlos en su beneficio. Mediante el análisis y la síntesis documental se exponen los fundamentos teórico-metodológicos que estructuran la investigación y se plantean indicadores para valorar la teoría, como segunda etapa de la investigación, en un caso específico, a fin de aportar claves y perspectivas para ser aplicadas en casos de estudio afines.

PALABRAS CLAVE: infraestructura hidráulica, lagos, sustentabilidad, paisaje urbano.

ABSTRACT: The paper presents the first stage of an investigation into the use of artificial lakes as urban water infrastructure pondering the landscape. Sprawl problems of Mexican cities respond, first to the market needs and omit the process of sustainability should be scrupulously observed. This research focuses on the fate of stormwater runoff in urban areas as use them to their advantage. Through the document analysis and work synthesis expose the theoretical and methodological foundations to structure the research and raises indicators that assess the theory in a specific instance, as a second stage of the research, to provide clues and perspectives with possibilities to be applied on similar cases.

KEYWORDS: water infrastructure, lakes, sustainability, urban landscape.

Introducción

En 1876, el presidente de la República Mexicana, Porfirio Díaz, inauguró el ferrocarril en la ciudad de Celaya (figura 1) lo que trajo aparejado la energía eléctrica y el telégrafo [1] que modificarían lentamente la vocación principal de la ciudad: de agrícola a industrial.

En 2013 el arribo de la fábrica de automóviles Honda [2] marca el inicio del proceso de industrialización automotriz bajo la condición de retirar el ferrocarril de la ciudad que ha sido parte importante de su vida por más de 130 años. Esta condición manifiesta que un desarrollo urbano desordenado e incongruente obliga a elaborar maniobras de reforma resolutive en la infraestructura de las ciudades con altos costos sociales, culturales, económicos y ambientales.



Figura 1: Estación de ferrocarriles de la ciudad de Celaya, México a principios del siglo XX. Fuente: www.celaya.com

La industria automotriz exige trabajos especializados que provocan una inmigración demandante de servicios, infraestructura y vivienda, incrementando la expansión urbana y, con ello, las necesidades de gestión del agua pluvial.

Los escurrimientos producto de las lluvias en los centros urbanos constituyen un importante factor de contaminación de ríos, lagos, océanos y cualquier medio acuático que cruce su paso. Al llover, los escurrimientos lavan la superficie impermeable de calles y techos arrastrando sólidos en suspensión, materia orgánica, metales pesados e hidrocarburos,

trasladándolos directamente a los cuerpos de agua naturales. El crecimiento desordenado provoca que zonas agrícolas queden dentro de la demarcación urbana sumando sus escurrimientos a la red de drenaje urbano incrementando la contaminación del agua por los agroquímicos utilizados en los campos de siembra.

En Celaya, como en gran parte de las ciudades de México, el agua de lluvia prácticamente limpia, al escurrir por techumbres y vialidades se transforma en agua altamente contaminada, ingresa en la red de drenaje urbana combinada (pluvial y sanitaria) suscitando la necesidad de tratarla antes de su vertido en cuerpos de agua receptores naturales, según la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996, sometiendo al sistema de saneamiento, recientemente instalado, a un régimen de caudal y concentración no uniforme y desfavorable en su diseño y funcionamiento [3].

La ineficacia de la gestión del agua en las ciudades mexicanas tiene muchas aristas, pero el principal problema es la ausencia de una política del agua que tenga como columna vertebral una estructura capaz de emular el ciclo natural del agua en las cuencas. Es decir, reproducir artificialmente la captación, la conducción, la depuración, la infiltración, el vertido de un gasto ecológico calculado y la administración de su uso en el trayecto. Las ciudades están inmersas en cuencas y deben integrarse a ellas funcionalmente. La infraestructura hidráulica debe partir de la lógica de los mecanismos del ciclo natural y sus objetivos deben ser los que cumple el medio físico de la cuenca donde la ciudad está emplazada [4].

1. INSTITUTO MUNICIPAL DE INVESTIGACIÓN PLANEACIÓN Y ESTADÍSTICA DEL MUNICIPIO DE CELAYA. Plan de ordenamiento territorial del municipio de Celaya, Gto., 2008-2035. Celaya: Presidencia Municipal de Guanajuato, 2009.
2. DIEGO, Martín; RAMÓN, René; CHÁVEZ, Mariana; CAMACHO, Carlos y BOFFIL, Luis A. "Guanajuato: llega nueva inversión de Honda a Celaya". [en línea]. *El Economista*. 2 de mayo de 2013. [Consultado: 18 de junio de 2013]. Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/estados/2013/05/02/honda-invertira-470-mdd-gunajuato>
3. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Ed. 2007. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007.
4. CONSEJO CONSULTIVO DEL AGUA, A.C. *La gestión del agua en las ciudades de México. Indicadores de desempeño de organismos operadores*. [en línea]. México D. F.: Consejo Consultivo del Agua, 2010. [Consultado: 13 febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.imta.gob.mx/compaps/images/stories/pdf/indicadorescca2010.pdf>

La ciudad puede ser parte funcional del medio ambiente, consiguiendo una integración equilibrada, aprovechándolo sostenidamente. Pero es indispensable que su funcionamiento se ordene con el ecosistema o ecosistemas de la cuenca o cuencas que la "hospedan".

En la ciudad de Celaya, la Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillados (JUMAPA) exige en los nuevos desarrollos urbanos, la separación del drenaje según el origen de las aguas: aguas servidas y aguas pluviales. Sin embargo, ambos terminan por conectarse a la red de drenaje urbano existente que conduce indiscriminadamente todo tipo de aguas, ocasionando su saturación. El mismo organismo operador también requiere la construcción de "tanques tormenta" cuya única función es regular el caudal y concentración de agua pluvial que escurre en calles antes de ingresarla a la red de drenaje urbano, como resultado del incremento del volumen de agua escurrido.

Esta investigación plantea valorar la opción de crear un lago que regule, depure y aproveche el agua de lluvia en la zona donde se generan los escurrimientos, de tal modo que el problema se atomiza y resuelve en el mismo sitio sin multiplicar las consecuencias negativas al trasladarlo al sistema hidráulico general urbano. Simultáneamente se proporciona un medio de almacenamiento de agua para el riego de la vegetación, tan requerida en el paisaje urbano de la ciudad de Celaya y otras en la República Mexicana.

Materiales y métodos

La presente investigación sugiere una alternativa de infraestructura hidráulica urbana como herramienta que contribuya a una gestión del agua pluvial que sea sostenible y permita un manejo paisajístico. Para ello se aplica una metodología replicable a través de un análisis transversal del medio natural y antrópico del sitio. Del análisis se elabora un diagnóstico y un pronóstico donde surge la propuesta de un lago con múltiples propósitos, con dimensiones y capacidades que satisfagan diferentes necesidades, y un sistema de áreas verdes con fines paisajísticos y descontaminantes que complementan la propuesta.

Para el desarrollo de la propuesta de alternativa de un lago como infraestructura hidráulica urbana, se describe la metodología siguiente:

- Revisión de la congruencia de la propuesta como idea con los propósitos de las nuevas teorías de desarrollo urbano a nivel nacional e internacional [5], con los sistemas de infraestructura más modernos en escalas similares y con los conceptos y enfoques del manejo integral de cuencas como los expuestos en el Seminario

de Investigación I de la Maestría de Arquitectura de Paisaje de la Universidad Iberoamericana León.

- Análisis detallado del espacio seleccionado y su regionalización consistente en información del sitio y destino del proyecto (figuras 2 y 3).

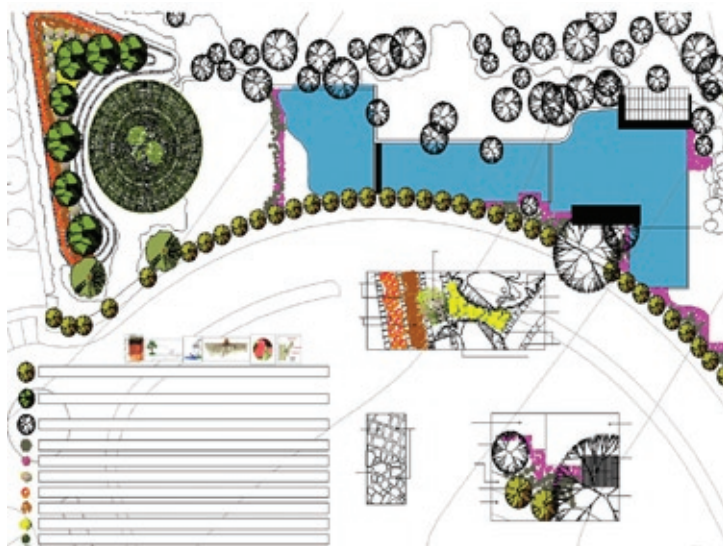


Figura 2: Análisis del sitio con las curvas de nivel topográfico. Fuente: imagen elaborada por los autores.

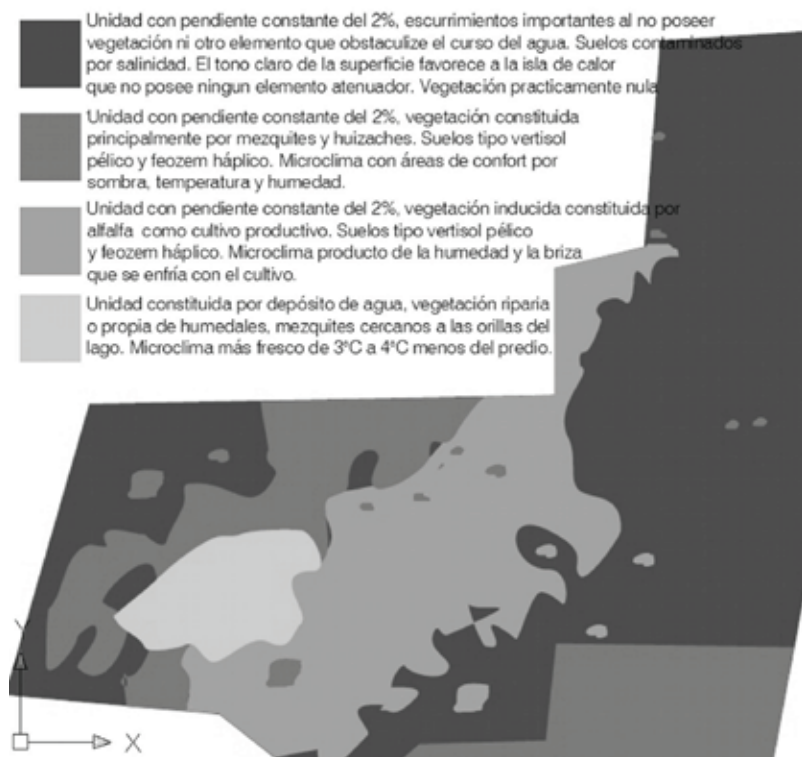


Figura 3: Imagen que representa las unidades de paisaje del sitio propuestas para el análisis. Fuente: imagen elaborada por los autores.

5. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *The Urban Environmental Design Manual*. Rhode Island: Department of Environmental Management, 2005.

- Elaboración de un resumen con descripciones concretas de los factores naturales (expresados en láminas): clima, relieve, suelo, flora, fauna e hidrología.

- Análisis de los factores antrópicos: condiciones urbanas de infraestructura vial, eléctrica, sanitaria, hidráulica y sistema de áreas verdes, graficados en láminas síntesis. Los antecedentes demográficos, socioeconómicos, culturales, históricos y de usos de suelo completan este apartado.

- Revisión de los antecedentes históricos de la región con información sobre la evolución, el funcionamiento del espacio y factores coincidentes. La información histórica revela condicionantes y soluciones a diversos aspectos cruciales en la toma de decisiones.

- Integración del diagnóstico donde se determinan las unidades paisajísticas, consistentes en una delimitación espacial geográfica relativamente homogénea en función del medio físico y biológico, así como de las evidencias de la actividad antrópica. En esta etapa en particular se hace un diagnóstico específico de la hidrología en relación con la región y detalladamente con el sitio y los componentes del proyecto.

- Desarrollo de la propuesta que, basada en el diagnóstico, es la respuesta sistemática al planteamiento del problema y tiene los siguientes capítulos:

1. El Programa Paisajístico, derivado de las necesidades, tanto por usuarios como por el mismo diagnóstico.

2. La Zonificación Potencial, cuyo resultado es la localización geográfica que mejor responde a las necesidades espaciales del programa paisajístico. Se elabora una matriz y un diagrama de funcionamiento para verificar la interrelación de la zonificación potencial.

3. El Plan Conceptual surge del concepto filosófico basado en los valores y principios que rigen las decisiones en el diseño. En algunos casos se suman ciertas tendencias de los antecedentes históricos. También se eligen conceptos funcionales y espaciales que completan este tema. La creatividad que perfilará, estructurará y dará apariencia con valor paisajístico a las soluciones planteadas, se apoya en el uso de temas de composición y un registro de la evolución formal.

4. El Plan Maestro es el plan director de la totalidad del área a intervenir. Contiene las instrucciones generales de funcionamiento, interrelación, estructura, carácter y conformación de la propuesta. De este se derivan proyectos específicos y detallados.

5. El Proyecto Ejecutivo expresa de forma amplia y detallada, en planos, elementos gráficos y documentos, la solución propuesta para todos y cada uno de los aspectos estéticos, arquitectónicos y constructivos de una obra.

Se eligió el proyecto de urbanización conocido como "Magno" (figura 4) por la posibilidad de llevar a cabo la construcción de la propuesta que aquí se describe como primera etapa de la investigación. El proyecto "Magno" es una urbanización para uso habitacional ubicada al sureste de la ciudad de Celaya que tiene una superficie de 164 518 m² compuesta por 93 752 m² de área lotificada con 300 lotes para vivienda, 28992 m² de vialidades, 30 688 m² de áreas comunes (equipamiento de comercio y servicios básicos) y 11 086 m² para áreas verdes. Se considera que el lago servirá a la superficie total del desarrollo.

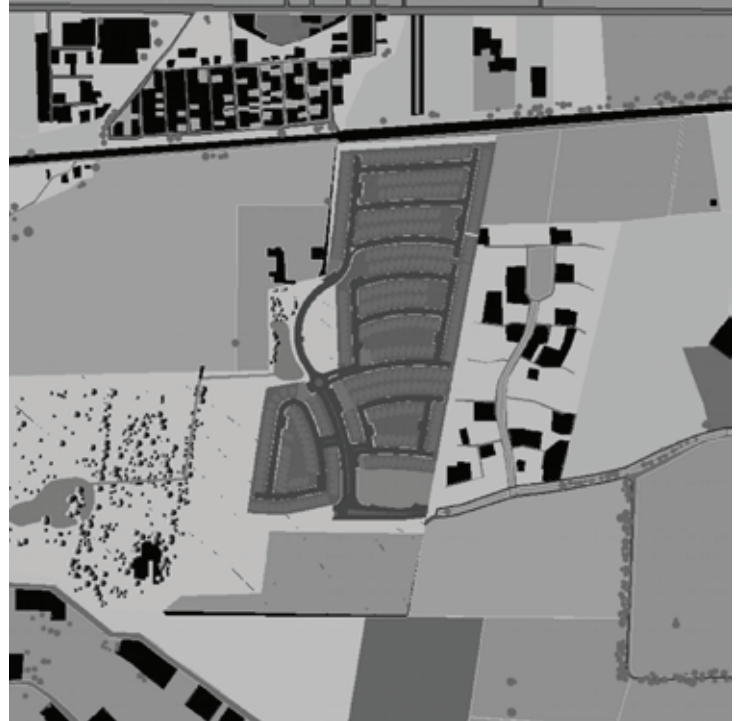


Figura 4: Vialidad en la ciudad de Celaya, México. Fuente: Sergio Hernández. Celaya: "No han resuelto problema de inundaciones en La Cruz". *El sol del bajío*. 3 de julio de 2012. <http://www.oem.com.mx/elsoldelbajio/notas/n2603971.htm> [11 de febrero de 2013].

El régimen de lluvia de la ciudad considerado para esta investigación es de 500 mm promedio anuales, según datos de las estaciones de monitoreo agroclimatológico del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Fueron analizados los registros diarios de los últimos 93 años tomando, con fines prácticos, los siguientes datos estadísticos: la mínima, el promedio, la moda y el máximo [6].

6. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS. *Estaciones de monitoreo agroclimatológico*. [en línea]. Celaya: INIFAP, 2013. [Consultado: 12 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=26473>

Con estos datos se calcularon los volúmenes de agua para distintos eventos de lluvia. (Tabla 1)

Los coeficientes de escurrimiento utilizados son: en las áreas verdes de 0,3, en vialidades de 0,8 y un general de 0,52 correspondientes a los usados por el organismo operador del agua municipal JUMAPA con fines de diseño de infraestructura.

Tabla 1

	mínima	máxima	promedio	moda
LLUVIA (mm)	0,2	99	3,38	5
ÁREA VERDE (m³)	0,67	329,25	11,24	16,63
LOTIFICACIÓN (m³)	9,75	4826,35	164,78	243,76
VIALIDADES (m³)	4,64	2296,17	78,39	115,97
A. COMUNES (m³)	4,91	2430,49	82,98	122,75
A. TOTAL (m³)	17,11	8469,39	289,16	427,75

Paralelamente se obtuvo la demanda de riego en las áreas verdes del desarrollo "Magno", considerando una lámina de riego de 5 mm y 92 días de riego que equivalen a la tercera parte de los 276 días que comprende aproximadamente la temporada de estiaje. Está prevista la utilización de plantas nativas por su bajo uso consuntivo del agua. La superficie a regar corresponde al 60 % de los 11 086 m² de área verde. Estos datos demandan 33,26 m² de agua para riego por día, para un total de 3 059,73 m² anuales.

El área destinada al lago es de 1 657,40 m², una profundidad máxima de 220 cm y playas perimetrales con una pendiente de 4:1 hasta llegar a 140 cm de profundidad terminando en el fondo del lago los 80 cm restantes, con pendiente perimetral de 1:1 (figura 5). Los datos anteriores dan una capacidad de 1 893,61 m³ y 723,64 m³ respectivamente y un total de 2 616,97 m³.

El volumen de evaporación anual del agua en el lago es dinámico dependiente del nivel ordinario de agua según la época del año; aun así se determinó un 10 % para fines de cálculo. Dado que, por cuestiones paisajísticas se pretende mantener un espejo de 760,64 m², el margen de agua restante cubre la demanda anual de riego hasta en un 80 % en condiciones promedio (figura 6).

Respecto al costo total de esta infraestructura, que incluye obras preliminares, fuentes aireadoras, materiales eléctricos, obra civil y otros, asciende a 636 131,94 pesos mexicanos contra los 2 600 000,00 pesos que tiene como costo la obra hidráulica comúnmente utilizada (tanque tormenta de concreto armado) con el fin de regular el escurrimiento pluvial para el mismo desarrollo.

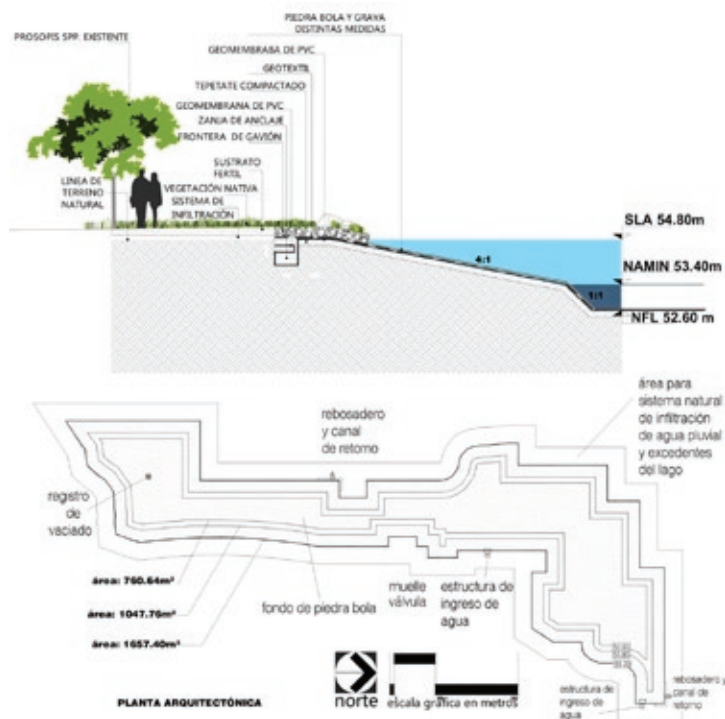


Figura 5: Conjunto habitacional "Magno". Fuente: imagen elaborada por los autores.

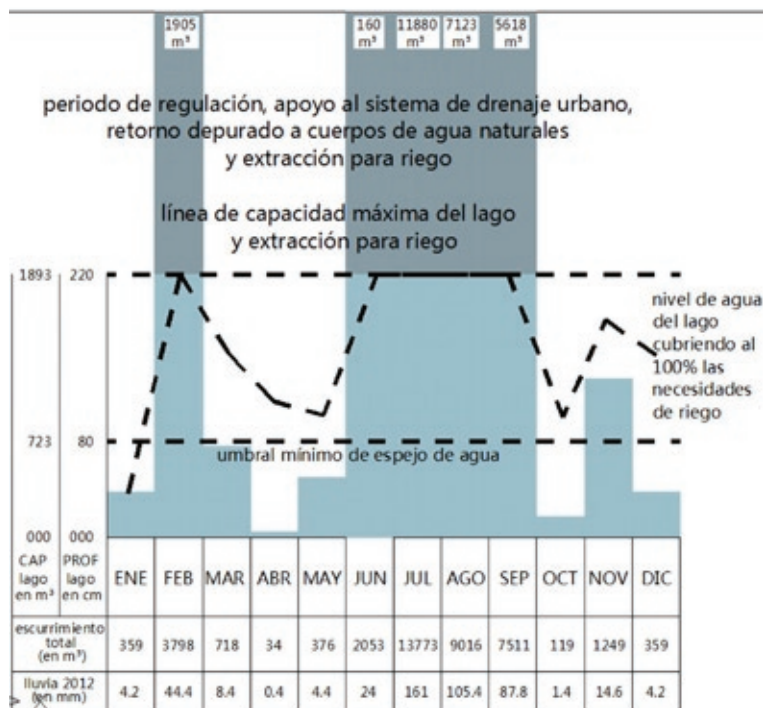


Figura 6: Planta arquitectónica del Lago y detalle constructivo. Fuente: imagen elaborada por los autores.

Resultados

La ciudad de Celaya, como la mayoría de los municipios del país carece de un drenaje pluvial que opere en forma paralela al drenaje urbano sanitario. La red de conducción de aguas residuales se ve saturada en la

temporada de lluvias, (junio-septiembre) al ser utilizada a través de alcantarillas, duplicando su propósito al drenar al mismo tiempo las aguas negras y las pluviales [3] y [7].

Cuatro días de lluvia no mayores a 12 mm con registros en las estaciones de monitoreo [6] provocan calles y avenidas anegadas (figura 7). Esto causa periódicamente en las colonias Insurgentes, La Cruz, Jardines de Celaya, Liberación, Del Zapote, Las Delicias, Tres Guerras, entre otras del sur de la ciudad, viviendas anegadas, casas afectadas por el retorno de las aguas negras al obstruirse los drenajes, cierres del tráfico, vehículos varados. Así mismo, la basura en las alcantarillas, las fallas en la infraestructura o los errores humanos en la operación de la misma, se suman a las causas de estas inundaciones [8-12].



Figura 7: La gráfica es una simulación del comportamiento del nivel del agua en el lago durante el año 2012 con datos de lluvia obtenidos de las estaciones de monitoreo del INIFAP. Fuente: imagen elaborada por los autores. Datos de volúmenes de lluvia del INIFAP.

La zona urbana del municipio cuenta con 76 pozos de aguas subterráneas en operación, que constituyen el 100 % de la fuente de abastecimiento de agua en la ciudad, con una población de 468 469 habitantes en el año 2010 [13]. La mayor parte de estos pozos extraen a más de 120 m. de profundidad [7]. La sobreexplotación del acuífero del Valle de Celaya ha acelerado la subsidencia del terreno a tal punto que en cinco zonas de la ciudad son superficialmente visibles causando importantes daños económicos y alarma social [14] y [15].

La situación expuesta anteriormente exhibe las fallas y deficiencias institucionales al instrumentar políticas ajenas a las características geográficas y físicas del municipio. Según el Consejo Consultivo del Agua, A.C. los ámbitos centrales de interés de las políticas públicas en materia de agua son:

- Eficiencia y equidad en el suministro a poblaciones humanas y actividades económicas.

- Eliminación de contaminantes de alto riesgo ambiental y mantenimiento de la calidad de cuerpos continentales y costeros.

- Abastecimiento que garantice la integridad ecológica de sistemas fluviales y lacustres, humedales y estuarios.

- [7]. Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado. [en línea]. *Celaya: Junta Municipal*, 2013. [Consultado: 12 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.jumapacelaya.gob.mx/>
- [8]. ZONA FRANCA. "Inundaciones en viviendas por lluvias; reporta estragos en Celaya y León". [en línea] *Zona Franca*. 3 de septiembre de 2011. [Consultado: 11 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.zonafranca.mx/se-inunda-celaya-casas-con-aguas-negras-y-vehiculos-varados/>
- [9]. PERIÓDICO CORREO. REDACCIÓN. "Causan lluvias caos vial e inundaciones". [en línea]. *periódico Correo*. 14 de julio de 2012. [Consultado: 11 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.periodicocorreo.com.mx/comunidades/46197-causan-lluvias-caos-vial-e-inundaciones.html>
- [10]. ZARATE, L. "Son 950 kilómetros de red de agua y drenaje que necesita ser cambiada. El centro de la ciudad es la zona más crítica". [en línea] *Periódico am*. 24 de septiembre de 2012. [Consultado: 11 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.am.com.mx/>
- [11]. AGUILAR, R. "Previenen riesgo de inundaciones". [en línea] *periódico Correo*. 20 de junio de 2012. [Consultado: 11 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.correo-gto.com.mx/celaya/41944-previenen-riesgo-de-inundaciones.html>
- [12]. DIEGO, Martín; RAMÓN, René; CHÁVEZ, Mariana; CAMACHO, Carlos y BOFFIL, Luis A. "Guanajuato: 4 heridos y 600 casas dañadas por inundación". [en línea] *La Jornada*. jueves 30 de agosto de 2007. [Consultado: 11 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2007/08/30/index.php?section=estados&article=032n1est>
- [13]. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. [en línea]. *Agascalientes: INEGI*, 2013. [consultado: 12 de febrero de 2013]. Disponible en: www.inegi.org.mx
- [14]. RODRÍGUEZ, M.D. "Sobreexplotación de pozos de agua acelera el hundimiento de Celaya". [en línea] *La Jornada*. miércoles 26 de diciembre de 2007. [Consultado: 11 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2007/12/26/index.php?section=estados&article=031n1est>
- [15]. INFORURAL. "En peligro de secarse el acuífero de Celaya". [En línea] *Inforural*. 15 de mayo de 2007. [Consultado: 11 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article6700>

El mismo Consejo señala que una comparación objetiva de la gestión, administración y manejo ambiental del recurso hídrico de la mayoría de las ciudades mexicanas, incluida la de Celaya, bajo estos tres parámetros, proporcionaría indicadores con resultados muy bajos o nulos. La ingeniería hidráulica aplicada en la ciudad de Celaya es, como en casi todo México, producto de un eje paliativo, costoso y disonante de cualquier manejo sostenible del agua.

El presente caso de estudio expone una propuesta alternativa de infraestructura hidrológica urbana sostenible con características paisajísticas de valor ambiental y social. La alternativa consiste en el diseño de un cuerpo de agua prototipo como infraestructura hidráulica pluvial en las ciudades, cuyos objetivos específicos son:

1. Documentar una metodología de diseño de cuerpos de agua y sistemas de áreas verdes como alternativa de infraestructura hidráulica.

2. Proponer los lineamientos para integrar el lago al paisaje urbano de manera que resulte disfrutable para el usuario.

3. Utilizar el cuerpo de agua como regulador y almacén de aguas de lluvia.

4. Aprovechar un porcentaje del agua cosechada para irrigación.

Conclusiones

Se utilizan los objetivos de la presente investigación para construir unidades de medida que valoren la eficiencia de la propuesta de esta investigación, se considera teóricamente que se logrará:

- Cubrir como mínimo el 50% de las necesidades de agua para riego (dependiendo del régimen de lluvia anual que se presente).

- Extraer para el riego por medio de la cosecha de agua de lluvia y no de los acuíferos (lo cual disminuye considerablemente el deterioro del ya alterado medio ambiente).

- Reintegrar, por medio de este sistema regulador, la mayor parte de los escurrimientos excedentes a las aguas naturales colaborando con el gasto ecológico y evitando inundaciones.

- Depurar los escurrimientos antes de introducirlos al lago, descontaminando el agua que será devuelta a los vasos receptores naturales.

Hasta esta parte de la investigación se cuenta con los elementos que permiten su construcción y su posterior evaluación al ser puesta en marcha. La intención de publicar esta primera parte de la investigación tiene como finalidad presentar una propuesta que colabore

a modificar el tipo de infraestructura que actualmente se utiliza en las ciudades mexicanas que, además de costosa, no aporta las características con elementos que emulen el ciclo del agua en el medio ambiente natural.



Mauricio González Salgado
Máster en Arquitectura de Paisaje, Universidad Iberoamericana León, México
mauricio.gonzalez@vivitare.com.mx



Juan Ansberto Cruz Gerón
Máster en Ingeniería Hidráulica, Doctor en Urbanismo
Investigador Asociado, Sección de Hidráulica, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
jcruzg@iingen.unam.mx