

Gestión urbana del recurso pluvial: aproximación histórica

pags 174-187

Grupo de investigación: Territorio y habitabilidad
Línea de investigación: Arquitectura, ciudad y ambiente
Luis Fernando Molina Prieto•

Recibido: 12 de noviembre de 2014 Aceptado: 5 de diciembre de 2014

RESUMEN

El artículo reflexiona en torno a la gestión del agua en las ciudades, centrándose en dos aspectos: el malgasto de agua potable en labores domésticas como la descarga de sanitarios, y el desinterés por las aguas pluviales que caracterizó a las ciudades del siglo XX, rompiendo con una tradición de milenios. En el *corpus* del artículo se realiza una aproximación a la historia de la gestión del recurso pluvial en diversas culturas, continentes y épocas. Se concluye que es urgente el retorno al concepto de 'cosechar agua lluvia' en las ciudades, con técnicas y tecnologías actuales, para: i) reducir la presión sobre ecosistemas, a los que se les secuestra el agua; ii) incrementar la resiliencia urbana; iii) reducir las inundaciones en áreas urbanizadas; iv) fomentar la descentralización del recurso agua en las ciudades; y v) fortalecer la independencia hídrica de los ciudadanos.

Palabras clave: Agua lluvia, cisternas, independencia hídrica, resiliencia urbana.

ABSTRACT

The article reflects on water management in cities, focusing on two aspects: misspend of potable water in domestic chores such as flushing toilets, and rainwater disinterest that characterized the twentieth century cities, breaking with a tradition of millennia. In the corpus of the article an approach to the history of stormwater management resource in different cultures, continents and eras is performed. It is concluded that it is urgent to return to the concept of 'rainwater harvesting' in cities, with contemporary techniques and technologies, for: i) lower the pressure over ecosystems (less water abducted); ii) increase urban resilience; iii) reduce flooding in urbanized areas; iv) promote decentralization of water resources in cities; v) strengthen water independence of citizens.

Keywords: Rainwater, cisterns, hydric independence, urban resilience.

• Docente investigador Facultad de Arquitectura, Fundación Universidad de América, Luis.molina@profesores.uamerica.edu.co

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más complejos que enfrentan las ciudades actuales es el acceso de sus habitantes al agua potable. Por diversos factores la disponibilidad de agua dulce es cada día más limitada,¹ situación que se presenta tanto en las zonas que otrora gozaban de ricas fuentes de agua como en las que carecían de ella. En consecuencia, el acceso al agua se ha transformado en un problema urbano (y rural) con enormes implicaciones económicas, sociales y ambientales. Para Karla Anecchini, investigadora de la *Universidad Federal Do Espírito Santo*:

“El consumo cada vez mayor de los recursos hídricos, el mal uso que se da a los mismos, la contaminación y el despilfarro del agua, y sobre todo, la ausencia de políticas públicas que estimulen su uso sustentable, han derivado en la escasez de un recurso natural indispensable para el mantenimiento de la vida sobre el planeta” (Anecchini, 2005: 21).

Las innumerables luchas, conflictos y guerras que está generando la gestión insustentable del agua —en todo el mundo— son registradas por la literatura especializada: Kessel (1985) señala que la industria minera en Tarapacá, Chile, estableció una lucha por el agua con las comunidades locales, poniendo en riesgo la salud y la supervivencia de las mismas. Perló & González (2009) subrayan los conflictos sociales y estatales que, por la inadecuada gestión del agua, surgieron en el Distrito Federal de México. Kruse (2005) analiza los graves conflictos sociales desatados en Cochabamba, Bolivia, por el agua, señalando que surgieron por efecto del acaparamiento del recurso hídrico por parte de las multinacionales del agua, que ven en la necesidad aguda del agua, la base para el lucro. Tello (1998) revisa los conflictos por el agua en Barcelona, debidos a la tarifa por metro cúbico establecida por las autoridades de

esa ciudad, que de acuerdo a los datos aportados por el autor duplica las tarifas de Madrid y Bilbao, cuadruplica las de La Coruña, y es ocho veces mayor a las de Melilla. Bloch (2003) analiza la estrecha relación que existe entre agua y desarrollo urbano, agua y población, agua y pobreza, y estudia los principales conflictos bélicos que tienen como fundamento el agua dulce. Gleick (2010) revisa las guerras por el agua en el Medio Oriente, y además, la importancia que el agua dulce tiene como fundamento para la paz en esa región. Shiva (2004) considera que los conflictos ocurridos en California en 1924, entre los habitantes de Los Ángeles y los del Valle de Owens, son el punto de partida de las guerras por el agua, y tras esa hipótesis, estudia conflictos por el agua en la India, Siria, Irak, Turquía, Anatolia, Egipto, Sudán, Etiopía, Israel, Jordania, El Líbano y Cisjordania, entre otros países.

Si bien es cierto que la cantidad de agua dulce y disponible del mundo es bastante reducida² en relación al volumen total de agua del planeta, igualmente cierto es que los problemas de escasez de agua potable en las ciudades se derivan de su gestión, que no solo es perfectamente insostenible, sino plenamente irracional. Para acreditar esta afirmación basta calcular el agua dulce y potable que se arroja a la alcantarilla —en gran parte de las ciudades del mundo— cada vez que sus habitantes descargan el sanitario. Para el cálculo se partió del número de descargas del sanitario que realiza una persona cada 24 horas, que de acuerdo con estudios internacionales varía entre 3 y 5 descargas (Corral & Pérez, 2012; Brjanovic et al, 2013). Para facilitar las operaciones se consideró que todos los aparatos involucrados en el cálculo son ahorradores, o sea, de 6 litros.³ Las operaciones para

1 Como el acelerado aumento de la población mundial, la destrucción de los manantiales, la contaminación de los cuerpos de agua dulce, el acaparamiento del agua dulce con ánimo de lucro, las elevadas tarifas del acueducto en las ciudades, entre otros factores.

2 Únicamente el 2.5% del agua del planeta es dulce. De esa cantidad, el 68.7% se encuentra en los polos y los glaciales y el 29.9% en los mantos acuíferos subterráneos. Solamente el 0.26% del total de las aguas dulces (unos 490 Km³) se encuentra disponible en cuerpos de agua como lagos, embalses, humedales o ríos (Toledo, 2006; Shiklomanov, 1999).

3 Muchos de los aparatos instalados actualmente en Bogotá son de 9 y hasta de 11 litros.

una ciudad de 8 millones de habitantes, como Bogotá, son:

6 litros X 3 descargas = 18 litros/persona/día
X 8 millones = 144 millones de litros/día

6 litros X 5 descargas = 30 litros/persona/día
X 8 millones = 240 millones de litros/día

El anterior cálculo evidencia que en Bogotá —por cuenta del uso de los sanitarios— se arrojan al sistema de alcantarillado un mínimo de 144 millones de litros de agua potable por día, lo que implica 4.320 millones de litros por mes y 51.840 millones de litros por año [cálculo para 3 descargas]; y un máximo de 240 millones de litros de agua potable por día, lo que implica 7.200 millones de litros por mes y 87.600 millones de litros por año [cálculo para 5 descargas]. En otras palabras, por los sanitarios de Bogotá se arrojan hasta 87.6 millones de metros cúbicos [Mm³] de agua potable cada año, lo que por poco equivale al volumen de agua que contiene el embalse del Sisga, que reserva 101 Mm³ en 700 hectáreas de superficie; o el del Muña, que reserva 102 Mm³ en 933 hectáreas de superficie; o el del Neusa, que reserva 103 Mm³ en 955 hectáreas de superficie (www.fao.org). Si a esto se le llama 'gestión del agua dulce', se debe valorar como insensata, imprudente o irracional. ¿Cuánto vale⁴ acopiar, embalsar, potabilizar y conducir ese enorme volumen de agua hasta una ciudad para arrojarlo a la alcantarilla? ¿Cuántos ecosistemas se ven afectados por el secuestro de ese colosal volumen de agua que los humanos no usan para beber? ¿De qué manera ese enorme caudal, extraído de ecosistemas externos e incluso distantes a la ciudad, contribuye con la congestión y el taponamiento de los sistemas de alcantarillado y con el incremento de las inundaciones urbanas? Teniendo en cuenta todo lo anterior, el artículo realiza una aproximación histórica a la gestión del agua pluvial en diversas culturas, eras y continentes, con el objetivo de vislumbrar formas alternativas que

contribuyan con una gestión verdaderamente estratégica y sustentable del agua, en las ciudades del siglo XXI.

Marco teórico

El artículo se inscribe en las nuevas políticas y lineamientos de la Naciones Unidas en torno al desarrollo sustentable, que han dejado atrás metas difusas, genéricas y en muchos casos utópicas (reducción de emisiones de CO₂, protección de la atmósfera, conservación de la diversidad biológica, protección de los océanos, etcétera) como se hizo en la *Agenda 21*,⁵ para dar paso a una política centrada en la producción limpia y el consumo responsable, que se conoce como Consumo y Producción Sustentable (CPS), y que se gestiona a través del llamado Proceso de Marrakech:⁶

“Es necesario un cambio sistemático enfocado en estilos de vida sostenibles con bajas emisiones de carbono. Con la participación de todos los actores sociales, desde los gobiernos, el sector empresarial, hasta la sociedad civil y los ciudadanos. El cambio hacia el CPS es una oportunidad real para propiciar soluciones innovadoras y creativas...” (PNUMA, 2012: 2).

Teniendo en cuenta que uno de los tres objetivos primordiales⁷ del CPS consiste en usar de modo eficiente los recursos y la energía, el artículo se enfoca en el aprovechamiento del recurso pluvial urbano, puesto que: i) fomenta la

4 En Colombia la cadena de valor del acueducto incluye: 1. captación; 2. Aducción; 3. Tratamiento; 4. Conducción; 5. Distribución; y 6. Comercialización.

5 Informe final de la Conferencia de la Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, realizada en Río de Janeiro en 1992.

6 Foro permanente para la cooperación en materia de CPS que abarca seis grandes regiones del planeta (América Latina, América del Norte, África, Europa, Región Árabe, y Asia y el Pacífico), y que además, cuenta con siete grupos de trabajo orientados a campos estratégicos del desarrollo sustentable, muy relevantes y bien definidos (PNUMA, 2009).

7 Los otros dos son: desvincular el crecimiento económico de la degradación ambiental; y alcanzar finalmente la meta de erradicar la pobreza (PNUMA, 2012).

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ARQUITECTURA, CIUDAD Y AMBIENTE

descentralización del recurso hídrico; ii) fortalece la independencia de las viviendas, frente a los acueductos locales; iii) minimiza los riesgos de inundación en las áreas urbanas; iv) reduce notablemente la demanda de agua potable en las ciudades; y v) permite diseñar ciudades verdaderamente resilientes, al menos en cuanto al agua. El alcance del documento no es una presentación exhaustiva de los sistemas para el almacenamiento de aguas lluvias a través de la historia de la civilización. Se presentan algunos ejemplos característicos de diversas culturas y continentes, que dan cuenta de la importancia del recurso pluvial a través de la historia de la vida urbana y permiten clarificar el papel preponderante que el agua lluvia alcanzará en las ciudades del siglo XXI, si en verdad se desea que alcancen las metas de la sustentabilidad y la resiliencia.

Agua lluvia: recurso milenario y renovable

La práctica de recolectar y almacenar agua lluvia —como forma de acceder a ese recurso vital para la existencia humana— se desarrolló de manera espontánea a lo largo y ancho de los cinco continentes. El concepto de ‘cosechar agua lluvia’ (*rainwater harvesting*) y reservarla en depósitos a nivel del suelo, semienterrados o enterrados, tiene una tradición de seis mil años en China, cuatro mil en Yemen y la península arábiga, tres mil en Mesoamérica (Guerra Carranza, 2014; Gutiérrez Sastrias, 2014), y más de dos mil en Siam (actual Tailandia) y el sudeste asiático (Sallen & Taher, 2012). De acuerdo con Nordon (1991) los sistemas para recolectar y almacenar agua lluvia son característicos de casi todas las civilizaciones y hacen parte esencial de la aparición de las ciudades.

India

Los primeros asentamientos urbanos de la India surgieron en el valle del río Indo, hace más de 5.000 años. En las principales ciudades construidas por la ‘civilización del Valle del Indo’, es decir, Mohenjo Daro, Harappa y Lothal, los vestigios arqueológicos evidencian la existencia de

variadas y numerosas cisternas para el almacenamiento de aguas lluvias. Asimismo, en la India medioeval (750 a 1300 de nuestra era), se usaron diversas técnicas para la recolección y el aprovechamiento de las aguas lluvias. Una de ellas era el *Ranjan* —utilizado en la mayor parte de las viviendas—, sistema simple y eficiente conformado por un cántaro de cerámica colocado permanentemente en un patio, al cual estaba conectada una bajante por la que descendían las aguas lluvias captadas por la cubierta. El agua acumulada se destinaba a diversas labores domésticas. Otros sistemas indios para la recolección de aguas lluvias eran los tanques subterráneos, llamados *Kunds* o *Kundis*, cuyo uso, aparte de común entre la población, se mantuvo vigente en muchas ciudades hasta las primeras décadas del siglo XX (Biswas, 2011; Government of India, 2004; Rathore, 2011).

Anatolia

Aunque las evidencias de civilización en Anatolia (actual Turquía) se remontan a nueve mil años, los hallazgos arqueológicos que reportan cisternas pertenecen al II milenio a. de C. La presencia de depósitos para almacenar aguas lluvias es frecuente en las ciudades de Anatolia a partir de esa época. En la acrópolis de Hattusa, capital del Imperio Hitita, se han encontrado cisternas talladas en la roca, cuya construcción se presume realizada durante el siglo XIV a. de C. Asimismo, las ciudades dominantes durante el período Urartu, establecido en el siglo VIII a. de C. (en territorios de las actuales Turquía y Albania), recurrieron a las cisternas para el almacenamiento de aguas lluvias. El uso de cisternas talladas en la roca en ciudades como Pérgamo, Priene o Alabanda, también fue común durante los períodos históricos marcados por las influencias persa, griega y romana, que se extienden entre el 550 a. de C. y el 133 de nuestra era (Ozis, 1982).

Medio Oriente

En una región del planeta que se caracteriza por su aridez, los habitantes de antiquísimos

pueblos y ciudades recurrieron a las cisternas, también conocidas en árabe como aljibes. Si un manantial abastecía una cisterna, se consideraba comunal. Pero si la cisterna acopiaba las aguas pluviales que recogían las superficies de una casa (cubiertas, terrazas y otras áreas adecuadas para ese propósito), la cisterna pertenecía exclusivamente al dueño de la vivienda. En Jordania las cisternas familiares tenían una capacidad que oscilaba entre 35 y 200 metros cúbicos, y su uso era muy común, de manera que en la región de al-Yaduda se tiene conocimiento de más de 300 (Wählin, 1997).

“Las cisternas son abundantes también en otras partes de Jordania, así como en Palestina y Siria. Se encuentran entre los seminómadas de Libia y fueron vistas como un lugar común en el urbanismo del siglo XIV, en Túnez” (Wählin, 1997: 236).

Una de las grandes ventajas que brindaban las cisternas —fueran comunales o familiares— consistía en que el agua lluvia que se recogía en ellas durante la corta temporada de lluvias era suficiente para al menos una estación seca, y en ocasiones, hasta para tres. En Palestina, Jordania y Siria el uso de cisternas ha sido fuente de agua dulce durante más de cinco mil años, y su capacidad de almacenamiento mejoró hacia el año 1000 a. de C. cuando las paredes de las cisternas empezaron a recubrirse con yeso impermeable. En Petra, la ciudad tallada en la roca, se recurrió a grandes cisternas también talladas, pero con una particularidad: que se horadaban en la roca varios depósitos, de modo que si se llenaba uno, tenía un rebosadero que lo comunicaba con un segundo depósito, siendo muchos los depósitos que se articulaban de esta manera y permitían acopiar millones de litros de agua lluvia perfectamente fresca y potable (Wählin, 1997). En Jerusalén y otras ciudades de Israel se han descubierto muchas cisternas. Entre ellas llama la atención la gran cisterna hallada en el sitio arqueológico que se cree es la ciudad bíblica de Ai, que data de alrededor de 2500 años a. de C. y tiene una capacidad de cerca de 1700 metros cúbicos de agua (Mays et al, 2013).

Creta Minoica

La civilización minoica también construyó cisternas para el almacenamiento de aguas lluvias. Durante la Edad del Bronce —2900 a 2300 a. de C.— los tejados y patios abiertos de las construcciones cretenses actuaban como sumideros para recoger el agua lluvia, conduciéndola a reservorios apropiados para su almacenamiento. Siglos después, entre 2000 y 1100 a. de C., la ciudad-palacio de Cnosos pasó por un período de florecimiento cultural. Aunque aún no se han estudiado a fondo los complejos sistemas de abastecimiento de agua de Cnosos, se sabe que la ciudadela contaba con un sistema avanzado para la recolección y el almacenamiento de aguas lluvias, y con cisternas dotadas de filtros para mejorar la pureza y la calidad del agua. Así mismo, en Tiliso, otra importante ciudad minoica, se construyeron numerosas cisternas para conservar aguas lluvias. De forma redondeada y paredes revestidas con yeso impermeable, las cisternas de la Creta minoica fueron construidas 1000 años antes que en las ciudades de la Grecia de Sócrates y Platón (Mays, 2007; Angelakis & Vavoula, 2012). Por la complejidad de los sistemas de recolección y distribución del agua propios de los palacios cretenses, algunos autores, como Lyrantzis & Angelakis (2006), argumentan que son la base para la concepción del ‘laberinto’ que hace parte de la mitología griega desarrollada en épocas posteriores.

Antigua Grecia

En las ciudades de la Antigua Grecia algunas casas contaban con una pileta superficial y una cisterna subterránea para conservar el agua lluvia. Se ubicaban en el centro de un atrio (patio interior), y recibían las aguas pluviales gracias a un sistema de captación y conducción conformado por las cubiertas y otras superficies impermeables de la vivienda. De ese modo, los habitantes de la casa tenían siempre a mano agua dulce. Pero no todas las viviendas contaban con ese sistema de almacenamiento que, por ser costoso, era exclusivo de las clases privilegiadas. Ejemplo de lo anterior se encuentra en la isla de

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ARQUITECTURA, CIUDAD Y AMBIENTE

Delos, centro espiritual y de peregrinación de su época por albergar el santuario de Apolo. En Delos los arqueólogos han realizado excavaciones en innumerables viviendas, dando nombre a las más grandes y ricas a partir de los mosaicos que decoran muros, pisos y cielorrasos: Casa de los Actores, Casa de los Delfines, Casa de Dionisio, entre otras muchas. Todas estas viviendas, pertenecientes a las clases privilegiadas, se desarrollan en torno al atrio en el que se encuentran la pileta y la cisterna. Ejemplo de ello es la Casa de las Máscaras, ubicada en el barrio del teatro. En ella el atrio de la cisterna está ricamente decorado con mosaicos que representan centauros y deidades de la mitología griega (Miravet, 1992a). Cabe subrayar que Aristóteles en su *Política*, escrita en el año 320 a. de C., afirmaba que las ciudades necesitaban cisternas (abastecidas por aguas lluvias) para la seguridad en la guerra. Al parecer, sus palabras fueron escuchadas, puesto que en el ágora de Atenas se construyó por ese tiempo una gran cisterna (Mays, 2007; Zarkadoulas et al, 2012).

Etruria y Fenicia

Con la expansión de la cultura griega, iniciada en el siglo X a. de C., muchos pueblos que habitaban en las márgenes del mar Mediterráneo fueron colonizados por los griegos, o adquirieron sus modelos económicos, políticos y culturales. Entre ellos se destacan los etruscos. En las grandes villas etruscas, como en la Casa de los Mosaicos, construida en la ciudad de Rosellae a principios del siglo I a. de C., se accedía a través de un atrio que contenía el *impluvium*,⁸

8 Cabe aclarar que la palabra latina *implvium* se traduce de varias maneras. El diccionario Latín-Español VOX, traduce: “impluvio (sumidero para aguas pluviales); patio”. Asimismo la definición de impluvio en el diccionario RAE es: “En las casas romanas, espacio descubierto en medio del atrio, por donde entraban las aguas de la lluvia” de modo que en español, impluvio denota el atrio o patio interior por donde escurren las aguas lluvias hacia la pileta o cisterna. Por su parte el diccionario Latín-Italiano Olivetti traduce la palabra latina *impluvium*, de dos formas: “1 *impluvio*, *vasca quadrata per la raccolta dell’acqua piovana posta al centro dei cortili*; 2 *impluvio*, *cortile interno*”. Es decir: 1 impluvio, pileta cuadrada para la recolección del agua lluvia puesta al centro del patio

y en torno a ese ambiente se organizaban las habitaciones principales y los espacios de circulación que conducían a otras áreas de la vivienda (Miravet, 1992d; Thomas & Wilson, 1994). Por su parte Donati (1994) en su libro *La casa dell’impluvium. Architettura etrusca a Roselle*, revela los hallazgos arqueológicos logrados en una villa etrusca, también en Rosellae, pero construida cinco siglos atrás (siglo VI a. de C.). Donati asegura que la casa *dell’impluvium* contaba con un atrio amplio de forma cuadrangular, que servía de acceso, dotado de *compluvium* (pendientes de la cubierta convergiendo hacia el centro) de manera que conducían las aguas lluvias al *impluvium*.

De otro lado, la cultura fenicia, que surgió en el siglo VIII a. de C. en el norte de África, también recurrió al agua lluvia. En Cartago —principal ciudad fenicia y eterna rival de la Roma Imperial— las viviendas más suntuosas contaban con una cisterna localizada en el centro de uno de sus patios, al cual se conducía el agua lluvia merced a la pendiente de las cubiertas y otros espacios interiores, como terrazas y pasillos. A estos ambientes se les llamaba ‘salas de agua’, y a las superficies de captación y conducción del agua: *impluvium* (Egea Vivancos, 2000).

Imperio Romano

Por su parte los arquitectos del Imperio Romano también recurrieron a las aguas pluviales para suplir las necesidades de la vida doméstica, y como en Grecia, Etruria y Fenicia, fueron los habitantes más pudientes quienes gozaron de ese privilegio. En Pompeya, Herculano y Stabiae, las tres ciudades destruidas por la erup-

interior; 2 impluvio, patio interior. De manera que en italiano, impluvio significa patio interior y también pileta. Lo mismo sucede al traducir la palabra latina *impluvium* al francés “1 *impluvium*, *bassin qui récoltait l’eau de pluie*, *posé au centre des cours*; 2 *cour intérieure*”, es decir: 1 impluvio, recipiente para recolectar el agua lluvia puesto en el centro del patio; 2 patio interior. De manera que en italiano y en francés la palabra denota tanto a la pileta como al atrio en el que se encuentra. **NOTA:** Teniendo en cuenta que referenciamos artículos escritos en varios idiomas, mantendremos el significado que cada autor le atribuye a la palabra *impluvium*.

ción del Vesubio en el año 79, las excavaciones arqueológicas han logrado rescatar lujosas residencias, en donde se aprecia que el *impluvium* actuaba como elemento generador del diseño arquitectónico. Lo anterior se evidencia en la Villa de San Marco, en Stabiae, pues cuenta con un atrio de estilo jónico dotado de *impluvium* que funciona como corazón de la villa; también en la Casa Samnita, en Herculano, cuya distribución gira en torno a un atrio con *impluvium*; y además, en algunas de las casas más lujosas de Pompeya —construidas en el transcurso de los siglos IV y III a. de C.— como la Casa del Cirujano, donde la vida doméstica se desarrollaba en torno a un atrio amplio con *impluvium*. También se han descubierto en Pompeya casas más pequeñas y más pobres, con pocas habitaciones, de planta estrecha y alargada, que carecen de *impluvium*, lo que confirma que era un elemento arquitectónico exclusivo de las clases privilegiadas (Miravet, 1992c).

El Imperio Romano llegó a abarcar un territorio muy vasto, y en muchas de las ciudades fundadas por los romanos las viviendas más suntuosas contaban con *impluvium*. Esto se aprecia en todos los confines del Imperio, desde Barcino (actual Barcelona) hasta Londinium (hoy Londres); desde Lutetia (actual París) hasta Aquincum (hoy Budapest), y por supuesto, en el norte de África, en ciudades como Volubilis, Timgad y Lambaesis, entre muchas otras. Volubilis⁹ se convirtió en provincia romana durante el gobierno del emperador Calígula, quien gobernó entre los años 37 y 41 de nuestra era. Si bien el tipo de edificación más común en esa ciudad es la vivienda, el *impluvium* es una característica del diseño que se reserva a las casas más lujosas. En una vivienda del barrio norte, la Casa del Efebo —nombre derivado de una estatua de bronce—, los arqueólogos subrayan el magnífico *impluvium* en torno al cual se organizan las habitaciones más importantes; y destacan así mismo la Casa de la Columna, que contaba con “un *impluvium* de proporciones excepcionales y forma circular” (Miravet, 1992b: 48).

“En las ciudades romanas los hogares y edificios públicos tenían sistemas muy interesantes para recoger y almacenar agua de lluvia. Los edificios con tejados inclinados tenían canales a lo largo de los aleros para recoger el agua de lluvia y bajantes en cerámica, a menudo dentro de los muros, que la conducían a las cisternas ubicadas en la parte baja de los edificios” (Mays et al, 2007).

Desde la perspectiva teórica es importante destacar *Los diez libros de Arquitectura*, obra de Marco Vitruvio Polonio —más conocido como Vitruvio— publicada en Roma a finales del siglo I a. de C. El Libro Octavo de dicha obra está dedicado por completo al tema del agua, y el Capítulo II del Libro Octavo, que se titula “Del agua llovediza”, hace referencia directa a la importancia del recurso pluvial para la arquitectura. En palabras del propio Vitruvio: “habiendo dado en los siete libros precedentes las reglas para los edificios, convenía dar en este las de hallar el agua” (Vitruvio, 2001: 189). Es claro que para Vitruvio la arquitectura incluye, además del arte de construir edificios, la responsabilidad de abastecerlos de agua para hacerlos habitables. Cabe aclarar que el Libro Octavo no es un tratado de hidráulica, sino que su objeto de estudio es la obtención del agua para la edificación, y en él se destaca el recurso pluvial, del que dice el autor “... el agua recogida de las lluvias es más saludable...” (Vitruvio, 2001: 191).

Mesoamérica

En el continente americano los vestigios más antiguos de almacenamiento subterráneo de aguas pluviales para uso doméstico se encuentran en San José Mogote, Tierras Largas y Oaxaca, y datan de 900 a 1000 años a. de C. De gran relevancia en cuanto al almacenamiento del agua lluvia son los *chultunes*¹⁰ mayas “que se cuentan por miles en la península de Yucatán, fueron vitales para los asentamientos

9 Principal centro arqueológico de Marruecos.

10 “*Chultun* significa cisterna labrada en la roca para contener agua de lluvia; proviene de la contracción de *chulub* (agua de lluvia) y *tun* (piedra labrada)” (Zapata en Calderón & Hermes, 2005: 111).

prehispánicos y persisten hasta el presente” (Conagua, 2009: 10). En muchos sitios arqueológicos —ubicados en México, Guatemala y Belice— son innumerables los *chultunes* reportados por los investigadores, los cuales fueron construidos durante los periodos preclásico y clásico de la cultura maya, o sea, entre los siglos IX a. de C. y IX de nuestra era. En Petén se encontraron 60; en Oxkintok se hallaron 16; en Tikal se reportan 220; en Santa Rosa Xtampak más de 67; en Xculoc 123; en Chichen Itza se han hallado 49 y falta mucha área por explorar (Martínez Klemm, 1992; Calderón & Hermes, 2005; Weiss-Krejci, 2004). En consecuencia, la arqueóloga Rocío González de la Mata concluye que en la cultura maya:

“Los *chultunes*, en el contexto doméstico, desempeñaron su misión como auxiliares directos a la vida cotidiana, suministrando y conservando agua limpia, indispensable para tareas diarias como la preparación y consumo de alimentos, y el lavado personal y, tal vez, para riego de cultivos caseros” (González de la Mata, 2003: 1006).

De otra parte, cabe señalar que en los hallazgos arqueológicos de Abaj Takalik, Guatemala, pertenecientes al período preclásico de la cultura Maya (siglo IX a. de C.), se evidencia la construcción de terrazas y canales revestidos con piedra de canto rodado para la conducción y el encausamiento de las aguas pluviales. En Abaj Takalik, además, se construyeron acueductos en piedra para suministrar agua potable directamente a las viviendas (Crasborn & Marroquín, 2006). Así mismo, en Cholula, importante ciudad maya que en su tiempo rivalizó como foco de atracción con la misma Teotihuacán, el manejo del agua era preciso y eficiente: la población agrícola empleaba canales de regadío, en tanto los arquitectos le sacaban partido al problema planteado por la necesidad de desalojar las aguas pluviales que escurrían por los costados de las pirámides escalonadas. Para este fin construyeron tubos de cerámica que se insertaban y ocultaban entre la construcción, o canales a la vista que contribuían a la composición

del conjunto arquitectónico (Gendrop & Heyden, 1975).

Bizancio

Los ingenieros y arquitectos del Imperio Bizantino —330 a 1204 de nuestra era—, cuyo centro fue la ciudad de Constantinopla (hoy Estambul), construyeron una gran cantidad de cisternas para uso público y para uso privado. En el subsuelo de Estambul se han encontrado más de 60 cisternas de gran tamaño, muchas de ellas reforzadas con numerosas columnas, como la muy famosa cisterna de Yerebatan Sarayi, construida por el emperador Justiniano en el siglo VI de nuestra era y con capacidad para 80.000 metros cúbicos de agua, que hoy es una de las atracciones turísticas de la ciudad. Algunas cisternas eran abastecidas por aguas lluvias, otras, por acueductos provenientes de ríos y lagos. En monasterios, iglesias y algunas residencias se construyeron cisternas para la recolección de aguas lluvias, incrementándose la cantidad durante el último período, puesto que el Imperio en decadencia no contaba con recursos para la construcción de acueductos, y las ciudades fortificadas y sobrepobladas no contaban con espacio suficiente para su construcción (Mays et al, 2013; Ozis, 1982).

Edad Media

En la Europa medioeval también se utilizaron cisternas para conservar aguas lluvias, especialmente en conventos, monasterios y castillos. Como en otras regiones y épocas, las aguas pluviales eran recolectadas por los techos y los pavimentos de las edificaciones, y una vez en la cisterna, se destinaban a diversas necesidades. Reservorios de agua que eran privilegio de las clases adineradas, lo que se explica por el alto costo de construcción y mantenimiento de tales sistemas de almacenamiento, a lo que se sumaban los gastos de embellecimiento y decoración: aún se conservan espacios construidos durante la Edad Media destinados a las cisternas, decorados con motivos que representan escenas de *La Biblia*. Las cisternas y los alji-

bes que colectan aguas lluvias fueron comunes en ciudades medioevales italianas como Florencia, Ravena y Nápoles, desempeñando un papel preponderante para la supervivencia de la población, puesto que, aunque esas ciudades contaban con acueductos, estos no sustituían a las cisternas sino que las complementaban. Una gran ventaja de las cisternas en una época tan volátil, peligrosa y combativa como la Edad Media era su seguridad, por el contrario, los acueductos resultaban vulnerables y frágiles frente a los ataques de los enemigos (Squatriti, 1998). Con respecto a la arquitectura doméstica de Nápoles, Arthur (1991) subraya que las construcciones eran menos sólidas que las de la época romana, y debido al incremento poblacional al interior de las murallas defensivas, el crecimiento urbano se dio de manera vertical, dedicando el primer piso de las viviendas a tres usos distintos: depósitos para productos agrícolas, puestos y tiendas comerciales, y espacios que daban acceso a las cisternas, conocidas como *piscinae*. En Inglaterra la tecnología de las cisternas fue conservada durante la Edad Media por frailes de diversas órdenes, destacándose los dominicos y los franciscanos de Londres, Canterbury y Southampton (Magnusson, 2001). En la isla de Mallorca, España, se conservó hasta mucho después de la Edad Media el principio romano de recolectar las aguas lluvias en un patio empedrado (*clasta*, en mallorquín), para conducir las hasta una cisterna (Ramis, 2005).

Renacimiento y Modernidad

En Europa la historia de las cisternas para aguas lluvias se desdibuja a partir del Renacimiento. Finalizadas las grandes guerras entre ciudades-estado floreció un período de paz en el que se construyeron muchos acueductos. No obstante, la cultura de la recolección y el almacenamiento del agua lluvia se mantuvo en muchas regiones de Europa, como en las villas de Dalmacia y Ragusa —en Croacia—, donde la cisterna era estratégica en relación al diseño del conjunto arquitectónico, puesto que en muchas ocasiones sobre la cisterna se construía la capilla familiar (Deanovic, 1967); o en Malta, donde un estudio

realizado por Romano Carapeccchia, en 1723, reveló la existencia de 120 cisternas para aguas lluvias en ocho de las ciudades de la isla, algunas de las cuales se mantuvieron en uso hasta mediados del siglo XX (Sapiano et al, 2008).

Pero las prácticas milenarias de recolección de aguas pluviales —que gestionaban el recurso hídrico de manera eficiente, y por ende, sustentable—, se perdieron en muchas ciudades durante los siglos XVIII, XIX y XX. Con la consolidación de la Modernidad se dieron dos procesos urbanos estrechamente vinculados al agua: i) la construcción de acueductos; y ii) la centralización del recurso hídrico y su consecuente privatización por parte del Estado. En las ciudades modernas cambió abruptamente la apreciación del recurso pluvial. En un período relativamente corto de tiempo el agua lluvia dejó de ser un recurso renovable, muy valioso, para adquirir la connotación de problema o amenaza urbana. A mediados del siglo XIX, en Europa, las aguas pluviales fueron consideradas principalmente una molestia, porque generaban barrizales en las calles sin pavimentar, mientras que en el siglo XX adquirieron un nuevo estatus: la amenaza potencial de inundar abruptamente las ciudades (Chocat et al., 2008).

La consolidación del Movimiento Moderno, paradigma de la arquitectura del siglo XX, asestó el golpe de gracia a una tradición que, además de generar independencia hídrica a las viviendas, aportaba resiliencia a las ciudades. Convencidos de los alcances ilimitados de la tecnología, los arquitectos e ideólogos del Movimiento Moderno —Le Corbusier, Walter Gropius, Mies van der Rohe, entre otros— ignoraron de manera tajante la práctica ancestral de recolectar aguas lluvias, y las generaciones de arquitectos que les siguieron, los imitaron. Desde el campo de las ingenierías sucedió algo similar: la construcción de grandes embalses y complejas redes de distribución de agua en las ciudades, tornaron obsoleto todo intento de captar aguas pluviales de manera independiente. Las cisternas pasaron a la historia. En con-

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ARQUITECTURA, CIUDAD Y AMBIENTE

secuencia, el recurso pluvial, que durante siglos diera vida a las ciudades, se fue por el desagüe.

Por efecto de ese repentino cambio en la gestión urbana del agua (que menospreció el aporte del recurso pluvial), el consumo de agua creció a un ritmo dos veces superior al de la población mundial (Fernández Pérez, 2009). En pocas palabras: el rápido progreso tecnológico logrado en el siglo XX creó un desprecio por las tecnologías del agua tradicionales, en consecuencia, una práctica sustentable que se mantuvo viva por más de sesenta siglos, fue descartada en menos de 20 años. Desprecio y arrogancia intelectual que desembocaron en las guerras por el agua que actualmente azotan al planeta, y que son parte de los desequilibrios políticos, sociales y ambientales que urge resolver para restablecer el equilibrio a nivel local y global.

Discusión y conclusiones

La deforestación y la destrucción de mantiales y cuencas hidrográficas alrededor del mundo —en aras del desarrollo— junto con una población mundial en acelerado crecimiento, hacen cada día más urgente la necesidad de recursos hídricos. El suministro de agua potable en las ciudades, a través de tuberías y a partir de fuentes distantes, ha generado en la ciudadanía una enorme dependencia del agua suministrada por el sector público. También hay que subrayar que en la mayor parte de las ciudades del mundo el despilfarro del agua potable forma parte de la gestión del recurso hídrico (pues un gran porcentaje se usa para descargar sanitarios). Asimismo, resulta paradójico que algunas ciudades reciben agua potable de manera esporádica o eventual (a través del acueducto), pero a la vez, sufren de grandes inundaciones cuando llueve. ¿Por qué los ciudadanos no aprovechan el recurso pluvial que llega a todos los hogares y es gratuito? Esta pregunta se la hacen actualmente muchos investigadores alrededor del mundo, y como resultado de sus pesquisas, se está revalorando el recurso pluvial.

Las antiguas tecnologías del agua y especialmente las referidas a la captación y el almacenamiento de aguas lluvias, como son las cisternas y los aljibes del Medio Oriente; las ‘salas de agua’ fenicias; los *chultunes* mayas; los *impluviums* y *compluviums* del mundo romano; el *Ranjan*, el *Kunds* y el *Kundis* de la India; la *Piscinae* medioeval; así como la *clasta* mallorquina, no deben considerarse objetos curiosos o artefactos cuya importancia radica meramente en su valor histórico, sino adquirir el estatus de modelos para la gestión del recurso pluvial en las urbes del siglo XXI. Es urgente retornar al concepto de ‘cosechar el agua lluvia’ en las ciudades, con técnicas y tecnologías actuales, para: i) reducir la presión sobre ecosistemas, a los que se les secuestra el agua; ii) incrementar la resiliencia urbana; iii) reducir las inundaciones en áreas urbanizadas; iv) fomentar la descentralización del recurso agua en las ciudades; y v) fortalecer la independencia hídrica de los ciudadanos. Todo eso ya está sucediendo en muchas ciudades del mundo, especialmente en Australia, Nueva Zelanda, Bélgica, Suiza, España, Irlanda, Inglaterra, Holanda, Dinamarca, Rusia, Jordania, Nepal, Pakistán, Taiwan, Siria, India, Brasil, México, Estados Unidos, Sur África, Mozambique, Kenia, África Central, Etiopía y Bangladesh, puesto que en esos países se están instalando cisternas para el almacenamiento de aguas lluvias, en centenares de viviendas y en algunos edificios públicos, o se está replanteando y reorientando el sistema de gestión de aguas lluvias de toda una ciudad, para aprovecharlas, como sucede actualmente en San Petersburgo (Akraluk Steffensen, 2013).

En un momento histórico que exige sustentabilidad y resiliencia a las ciudades, la gestión urbana del recurso pluvial es una prioridad.¹¹ Las tecnologías actuales permiten la construcción de cisternas durables, eficientes y ambientalmente adaptables, y además, ellas contribuyen con el Consumo y la Producción

11 “Según cálculos del ministerio del medio ambiente en Hessen (Alemania), se pueden sustituir, en un hogar medio, 50.000 litros anuales de agua potable, por agua de lluvia” (Gallardo & Cornejo, sf: 9).

Sustentable (CPS) de la arquitectura. De otra parte, la seguridad hídrica es uno de los aspectos críticos del diseño y la construcción de las ciudades, y el recurso pluvial gestionado de manera individual potencializa la independencia hídrica de los ciudadanos, los compromete con el ambiente y les permite acceder a

otros renglones de la sustentabilidad que tanto requiere actualmente el planeta. En pocas palabras “En tiempos históricos, las cisternas se convirtieron en la característica esencial de una ciudad bien diseñada” (Mays et al, 2013: 1917), y hoy, esa característica esencial, recobra toda su vigencia.

REFERENCIAS

- Akraluk Steffensen, Aske Benjamin (2013). *Praktik i Københavns Kommunes Klimatilpasningsteam*. København: Praktikrapport: TekSam K2.
- Annechhini, Karla Ponzo Vaccari (2005). *Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo.
- Angelakis, A.N. & Vavoula, G. (2012). *Evolution of urban hydro-technologies in Crete, Greece through the centuries*. Protection and restoration of the environment XI. Thessaloniki, July 2012.
- Arthur, Paul (1991). “Naples: a case of urban survival in the early Middle Ages?” In: *Mélanges de l’Ecole française de Rome. Moyen-Age, Temps modernes*, T. 103, N° 2, pp. 759-784.
- Biswas, Brototi (2011). Comparison of rain water harvesting techniques of modern and medieval era (757 a. d. – 1327 a. d.) in India: tackling an omni important environmental concern. *Journal of Environmental Research and Development*, vol. 6, issue 1: 186-189.
- Bloch, Roberto (2003). *Los conflictos por el agua dulce en el mundo*. Buenos Aires. Editorial Duplicar.
- Brjanovic, Damir; López-Vázquez, Carlos M.; Hooijmans, Christine M. & González Díaz, Orestes A. (2013). Uso de aguas de segunda calidad en ciclo urbano del agua para las condiciones cubanas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 34, N° 3: 86-94.
- Calderón, Zoila & Hermes, Bernard (2005). “Chultunes en los alrededores de la laguna Yaxha, Petén”. En *XVIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2004* (editado por J.P. Laporte, B. Arroyo y H. Mejía), pp.111-130. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología.
- Chocat, B.; Abirached, M.; Delage, D. & Faby, J.A. (2008). *Etat de l’art sur la gestion urbaine des eaux pluviales et leur valorisation. Tendances d’évolution et technologies en développement*. Lyon: Office national de l’eau et des milieux aquatiques-ONEMA / Office International de l’Eau.
- Crasborn, José & Marroquín, Elizabeth (2006). “Los patrones constructivos de Tak’alik Ab’aj”. En *XIX Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2005* (editado por J.P. Laporte, B. Arroyo & H. Mejía), pp.45-55. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología.
- Conagua (2009). *Semblanza histórica del agua en México*. México D.F.: Conagua.
- Corral Chacón, Mario Alberto & Pérez Muñoz, Jesús Alberto (2012). Desarrollo, divulgación y dotación del dispositivo ahorrador de agua. *Journal Académico Cátedra*, vol. 1, N° 1: 13-22.
- Deanovic, Ana (1967). Villas de los siglos XV y XVI en Dalmacia. *Cuadernos de Arquitectura*, N° 68/69: 84-88.
- Donati, Luigi (1994). *La casa dell’impluvium. Architettura etrusca a Roselle*. Roma: Bretschneider.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ARQUITECTURA, CIUDAD Y AMBIENTE

Egea Vivancos, Alejandro (2000). "Abastecimiento y distribución urbana del agua en Qart-Hadast. La continuidad en época republicana". En *Actas del II Congreso Internacional del Mundo Púnico (Cartagena, 6-9 de abril de 2000)*, pp. 527-538.

Fernández Pérez, Iván (2009). *Aprovechamiento de aguas pluviales*. Barcelona: Escola Politècnica Superior d'edificació de Barcelona.

Gallardo, Juan & Cornejo, José (sf). *Sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales*. Máster universitario en Ingeniería del Agua. Universidad de Sevilla. Grupo TAR.

Gendrop, Paul & Heyden, Doris (1975). *Arquitectura Mesoamericana*. Madrid: Aguilar.

Gleick, Peter H. (2010). Water, War & Peace in Middle East. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, Vol. 36, Issue 3: 6-42.

González De la Mata, Rocío (2003). "Los chultunes de Chichen Itza". En *XVI Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2002* (editado por J.P. Laporte, B. Arroyo, H. Escobedo y H. Mejía), pp.994-1008. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

Government of India (2004). *Water Harvesting and*

artificial recharge. Government of India: New Delhi.

Guerra Carranza, Germán (2014). *Captación y tratamiento de aguas pluviales en macro-edificaciones. Estudio de caso: central de abasto de la Ciudad de México*. Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México.

Gutiérrez Sastrias, Andrea (2014). Captación de agua pluvial, una solución ancestral. *Impluvium, Publicación de la Red del Agua UNAM*, N° 1: 6-11.

Kessel, J. Van (1985). La lucha por el agua de Tarapacá; la visión andina. *Revista Chungará*, N° 14: 141-155.

Kruse, Thomas (2005). "La guerra del agua en Cochabamba, Bolivia: terrenos complejos, convergencias nuevas". En: De la Garza Toledo, Enrique (Comp.) *Sindicatos y nuevos movimientos sociales en América latina*. Buenos Aires: GLACSO, pp. 121-161.

Lyrantzis, N. & Angelakis A.N. (2006). Is the "Labyrinth" a Water Catchment Technology? A Preliminary Approach. *IWA 1st International Symposium on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations, Iraklio, Greece, 28-30 October 2006*, pp. 163-174.

Magnusson, Roberta (2001). *Water technology in the Middle Ages. Cities, Monasteries and Waterworks after the Roman Empire*. Lon-

don: The Johns Hopkins University Press.

Martínez Klemm, Carolina (1992). La recuperación del palacio Chi'ch' del grupo Ah Canul, Oxkintok, Yucatán, México. *Mayab*, N° 8: 24-38.

Mays, Larry; Antoniou, George P. & Angelakis, Andreas N. (2013). History of Water Cisterns: Legacies and Lessons. *Water*, N° 5: 1916-1940.

Mays, L.W.; Koutsoyiannis, D. & Angelakis, A.N. (2007). A brief history of urban water supply in antiquity. *Water Science & Technology: Water Supply*, Vol. 7, issue 1: 1-12.

Mays, Larry (2007). Ancient urban water supply systems in arid and semi-arid regions. *International Symposium on New Directions in Urban Water Management, 12-14 September 2007*. Paris: UNESCO.

Miravet, Juan Luis (Editor) (1992a). *Arqueología de las Ciudades Perdidas, Volumen 8, Islas Griegas*. Barcelona: Salvat.

Miravet, Juan Luis (Editor) (1992b). *Arqueología de las Ciudades Perdidas, Volumen 24, Norte de África. Costantinopla*. Barcelona: Salvat.

Miravet, Juan Luis (Editor) (1992c). *Arqueología de las Ciudades Perdidas, Volumen 16, Pompeya y la Italia meridional*. Barcelona: Salvat.

Miravet, Juan Luis (Editor) (1992d). *Arqueología de las Ciudades Perdidas, Volúmen 13, Las ciudades etruscas*. Barcelona: Salvat.

Nordon, Marcel (1991). *Histoire de l'hydraulique*. Paris: Éditions Masson.

Ozis, Unal (1982). "Outlook on ancient cisterns in Anatolia, Turkey". En: Fujimura, Faith (Ed.) *International Conference on Rain Water Cistern Systems*, University of Hawaii at Manoa, Water Resources Research Center, 15-17 June 1982 Honolulu, Hawaii, pp. 9-15.

Perlo Cohen, Manuel & González Reynoso, Arsenio Ernesto (2009). *¿Guerra por el agua en el valle de México?: Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México*. México D.F.: UNAM.

Sapiano, M.; Micallef, P.; Attard, G. & Zammit, M.L. (2008). The evolution of water culture in Malta: an analysis of the changing perceptions towards water throughout the ages. In: El Moujabber, M. (ed.). *Water culture and water conflict in the Mediterranean area*. Bari: CIHEAM, pp. 97 -109.

Shiklomanov, I.A. (1999). *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*. Cambridge: UNESCO.

Shiva, Vandana (2004). *Le guerre dell'acqua*. Milano: Giangiacomo Feltrinelli Editore.

Tello Agaray, Enric (1998). La "guerra del agua" en Barcelona. Alternativas económico-ecológicas para un desafío socioambiental. *Mientras tanto*, N° 73: 55-72.

Thomas, Robert & Wilson, Andrew (1994). Rifornimento d'acqua per le fattorie romane del lazio e dell'etruria meridionale. *Papers of the British School at Rome*, vol. 62: 139-196.

Toledo, Alejandro (2006). *Agua, hombre y paisaje*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología.

PNUMA (2012). *Portal global de CPS, a solo un clic del consumo y la producción sostenibles*. París: PNUMA.

PNUMA (2009). *El Proceso de Marrakech*. París: PNUMA/ United Nations Environment Programme.

Ramis, Miquel (2005). "La pervivencia de los modelos romanos en la arquitectura popular mallorquina". *Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Cádiz, 27-29 enero 2005, pp. 931-941.

Rathore, Narpal Singh (2011). A Historical Perspective of the Development of Rain Water Harvesting Techniques in the Mewar Region, Udaipur, Rajasthan, India. *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, Vol. 1, Issue 4: 285-294.

Salleh, Sharafaddin Abdullah Ahmed & Taher, Taha Muhammed (2012). Rooftop rainwater harvesting in modern cities: a case study for sana'a city, yemen. *Journal of Science & Technology*, vol. 17, issue 2: 48-68.

Squatriti, Paolo (1998). *Water and society in early medieval Italy AD 400-1000*. Cambridge: Cambridge University Press.

Vitruvio Polión, Marco (2001). *Los diez libros de la arquitectura*. Traducción y comentarios de José Ortiz y Sanz. Madrid: Akal.

Wählin, Lars (1997). "The Family Cistern: 3000 Years of Household Water Collection in Jordan". In: Sabour, M'hammed & Vikør, Knut (Eds.) *Ethnic encounter and culture change*. Bergen/London: Nordic Society for Middle Eastern Studies, pp. 233-249.

Weiss-Krejci, Estella (2004). "Investigación de las depresiones pequeñas en el área de la milpa, Belice". En *XVII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, 2003 (editado por J.P. Laporte, B. Arroyo, H. Escobedo y H. Mejía), pp.1037-1049. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

Zarkadoulas, N.; Koutsyiannis, D.; Mamassis, N. & Angelakis, A.N. (2012). "A Brief History of Urban Water Management in Ancient Gree-

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ARQUITECTURA, CIUDAD Y AMBIENTE

ce". *Evolution of Water Supply Through the Millennia*, pp. 259–270. London: IWA Publishing.

Zhang, Dongging; Gersberg, Richard; Wilhelm, Chistian

& Voigt, Manfred (2009). Decentralized water management: rainwater harvesting and greywater reuse in an urban area of Beijing, China. *Urban Water Journal*, vol. 6, issue 5: 375-385.

www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm