

# El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: estado actual y desafíos para la sostenibilidad

• Carlos Andrés Peña-Guzmán\* •  
*Universidad de Alicante, España/ Universidad Santo Tomas, Colombia*

\*Autor para correspondencia

• Joaquín Melgarejo • Daniel Prats •  
*Universidad de Alicante, España*

## Resumen

Peña-Guzmán, C. A., Melgarejo, J., & Prats, D. (noviembre-diciembre, 2016). El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: estado actual y desafíos para la sostenibilidad. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(6), 57-71.

Conocer los componentes y el comportamiento del ciclo urbano del agua permite gestionar de manera adecuada los recursos ambientales y económicos de una ciudad, pues este concepto integra elementos hidrológicos, hídricos, de abastecimiento, de distribución, uso del agua, de recolección, tratamiento y reutilización. En Bogotá, las tasas de crecimiento poblacional y geográfico aumentan de manera acelerada, a tal punto que el ciclo urbano del agua cada vez adquiere mayor importancia para administraciones públicas, privadas y para los habitantes, debido a la búsqueda de fuentes de abastecimiento, a la ampliación de la infraestructura de saneamiento básico y al aporte de contaminantes a ríos. Con base en lo anterior, este artículo ofrece un diagnóstico del estado actual de los componentes del ciclo urbano del agua en Bogotá, además presenta diferentes retos que tiene la ciudad para un futuro ambiental, social y económico sostenible.

**Palabras clave:** ciclo urbano del agua, desarrollo urbano sensible al agua, gestión sostenible del agua urbana.

## Introducción

Uno de los conceptos más empleados en la gestión integral de los recursos hídricos es el ciclo del agua, el cual describe el movimiento y cambio del agua en la Tierra. Sin embargo, este ciclo ha venido variando en sus componentes y magnitudes, principalmente por el crecimiento acelerado de las áreas urbanizadas y las poblaciones que las habitan (Anderson, 2003; Niemczynowicz,

## Abstract

Peña-Guzmán, C. A., Melgarejo, J., & Prats, D. (November-December, 2016). *The Urban Water Cycle in Bogotá, Colombia: Current Status and Challenges for Sustainability*. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 7(6), 57-71.

Understand the components and the behavior of the Urban Water Cycle is useful to management the environmental and economic resources of a city. This concept integrates hydrological, water supply, distribution, water use, water pollution, harvesting, treatment and reuse. In Bogotá the rates of population and geographic growth are going to accelerated pace, to the point that the urban water cycle is gaining greater importance in public and private administrations, because is necessary search new sources of water supply, extension of basic sanitation infrastructure and the control of pollutants in Bogotá's rivers. According to the above, this paper presents an analysis of the current state of the components of the urban water cycle in Bogotá, additionally presents different challenges facing the city for sustainable environmental, social and economic future.

**Keywords:** Sustainable urban water management, urban cycle water, water sensitive urban design.

---

Recibido: 10/07/2015

Aceptado: 28/04/2016

---

1999). Estos cambios han incluido dentro del ciclo la inclusión del servicio de prestación de agua y los usos que se le da en áreas urbanas, como suministro de agua potable, drenaje de agua de lluvia y residuales, y manejo y tratamiento de las aguas. Por tal motivo, el ciclo en estos suelos urbanizados comienzan a tener interacciones más complejas y una retroalimentación entre los diferentes sistemas existentes (McPherson, 1973; Sonnen, 1974; Urich & Rauch, 2014).

Este enfoque ha venido tomando históricamente mayor fuerza e importancia y hoy en día es conocido como el *ciclo urbano del agua* (CUA), en el cual se integran elementos hidrológicos, hídricos, de abastecimiento, distribución, uso del recurso, recolección, tratamiento y reutilización, a través de rangos y escalas. Esta visión de integración va más acorde con las condiciones y retos actuales que demandan el manejo y la gestión integral de los sistemas urbanos (Rauch *et al.*, 2002). Asimismo, proporciona buenas bases conceptuales y unificadoras para estudios de balance hídrico, conservación de fuentes hídricas, captación eficiente de agua potable, desarrollo óptimo en la infraestructura de agua potable y saneamiento, minimización de descargas de aguas residual, manejo de la cantidad y calidad del agua de lluvia, generación de un ambiente sostenible, y beneficios sociales y económicos (Bach, Rauch, Mikkelsen, McCarthy, & Deletic, 2014; Hardy, Kuczera, & Coombes, 2005; Marsalek *et al.*, 2008; Mitchell, Mein, & McMahon, 2001; Mitchell, 2006a; Wong, 2006a).

De acuerdo con lo anterior, el presente artículo mostrará un diagnóstico del estado actual del ciclo urbano del agua en la ciudad de Bogotá y planteará una discusión sobre las necesidades que se tienen dentro del mismo para la gestión del recurso hídrico de la ciudad. Para lo cual se dividirá en dos secciones: la primera describirá el estado actual del CUA; la segunda planteará una discusión sobre las necesidades que se tienen dentro del CUA para la gestión integral del recurso hídrico, teniendo como referencia dos ejes del desarrollo urbano sensible del agua: a) conservación del agua para abastecimiento y b) gestión de los sistemas de drenaje pluvial.

## Bogotá

Bogotá es la capital de Colombia y el centro urbano más grande del país. Ubicada en la cordillera oriental de los Andes, a una altura de 2 630 metros sobre el nivel del mar, cuenta con un área total de 163 574 hectáreas (ha), distribuidas en 12 localidades urbanas, una rural y siete más

que poseen áreas urbanas y rurales de forma simultánea, como se ve en la figura 1. A pesar de poseer el territorio urbanizado más extenso en el ámbito nacional, sólo abarca 23.49% del área total. Limita al norte con el municipio de Chía; al oriente, con los cerros orientales y los municipios de la Calera, Choachí, Ubaque, Chipaque, Une y Gutiérrez; al sur, con los departamentos del Meta y Huila; y al occidente, con el río Bogotá y los municipios de Cabrera, Venecia, San Bernardo, Arbeláez, Pasca, Sibate, Soacha, Mosquera, Funza y Cota (Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente, & Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2008).

El 99.92% de la población de Bogotá habita en el área urbana, la cual se aproxima a más de ocho millones de habitantes, lo que representa más de 17% de la población nacional. Económicamente genera 26% del Producto Interno Bruto del país (Ivanova & Sarmiento, 2013) y, al mismo tiempo, tiene la mayor plataforma empresarial, con más de 300 mil empresas. Hidrográficamente está compuesta por las cuencas media del río Bogotá, la cuenca alta del río Sumapaz y la cuenca alta del río Blanco (Alcaldía Mayor de Bogotá *et al.*, 2008).

## Estado actual del ciclo urbano del agua

Esta primera parte describe la infraestructura y el servicio de los sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento de aguas pluviales y residuales, los consumos de agua por los diferentes usuarios en cada uno de los usos del suelo, el sistema de tratamiento de aguas residuales y las condiciones de calidad de los ríos de Bogotá. Para este diagnóstico se empleó información suministrada por la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá y la Secretaría Distrital de Ambiente; una ventana temporal de 10 años (2004-2014), exceptuando el análisis de la calidad de los cuerpos de agua, pues la información se encuentra disponible desde 2007 hasta 2013. La totalidad de la información fue brindada por las entidades públicas encargadas de la administración del recurso

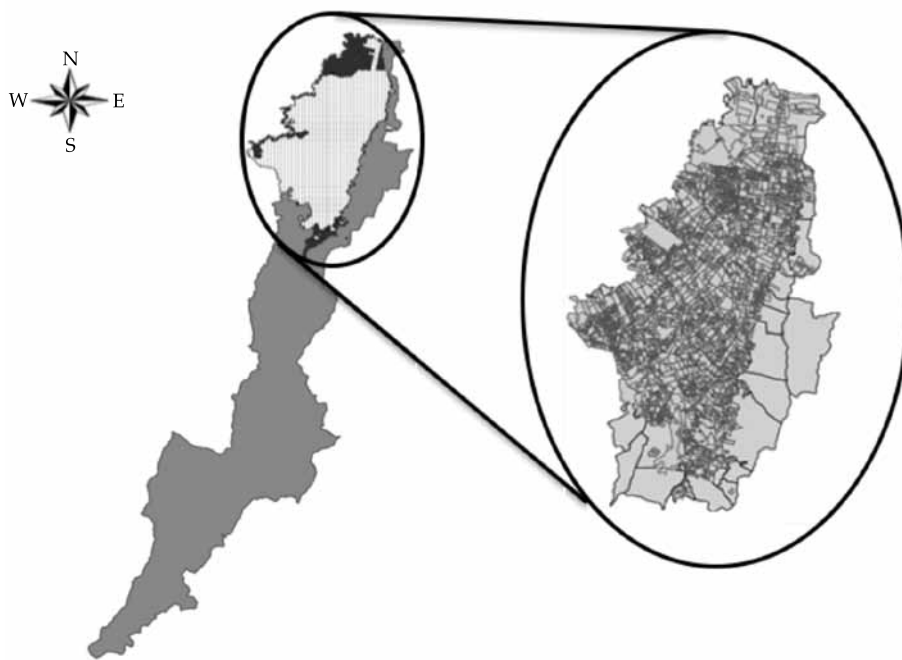


Figura 1. Área urbana de Bogotá.

hídrico, y documentos técnicos y académicos especializados en los componentes del ciclo urbano del agua.

### **Sistema de abastecimiento de agua potable**

#### *Suministro de agua potable por fuentes superficiales*

El suministro de agua en la ciudad de Bogotá se lleva a cabo por la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB), la entidad pública más antigua e importante de la capital. El nivel de cobertura de abastecimiento de agua potable es de 100% de la población, con un caudal medio diario de 9 m<sup>3</sup>/s; además, la EAB abastece 10 municipios aledaños a Bogotá por venta de agua en bloque, con un caudal medio diario de 6 m<sup>3</sup>/s (Chía, Cajicá, Sopó, La Calera, Tocancipá, Funza, Madrid, Mosquera, Soacha y Gachancipa).

Las fuentes de suministro principal se dan en ríos, quebradas y embalses, lo que históricamen-

te ha llevado a un incremento progresivo de la intervención de cuencas periféricas a la ciudad y otras cuencas del territorio nacional, para satisfacer el crecimiento de la población de la urbe (Colmenares-Faccini, 2007). Estas fuentes abastecen a tres sistemas principales (Tibitoc, Chingaza y La Regadera), como se puede ver en la figura 2, los cuales poseen cuatro plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), y presentan una capacidad instalada de 27.5 m<sup>3</sup>/s, donde sólo se demanda un 53% de la capacidad instalada.

#### *Sistema Chingaza*

Chingaza es una de las reservas ecológicas más importantes del mundo, caracterizada por ser un ecosistema de Páramo. Se localiza al nororiente de la ciudad, en la parte alta de la cordillera oriental. Dentro del sistema se construyó un sistema de captación, que incluye el embalse de Chunza, con una capacidad de 20 millones de m<sup>3</sup>, cuya función es la regulación de caudal del río Guatiquía, que pertenece a la cuenca del

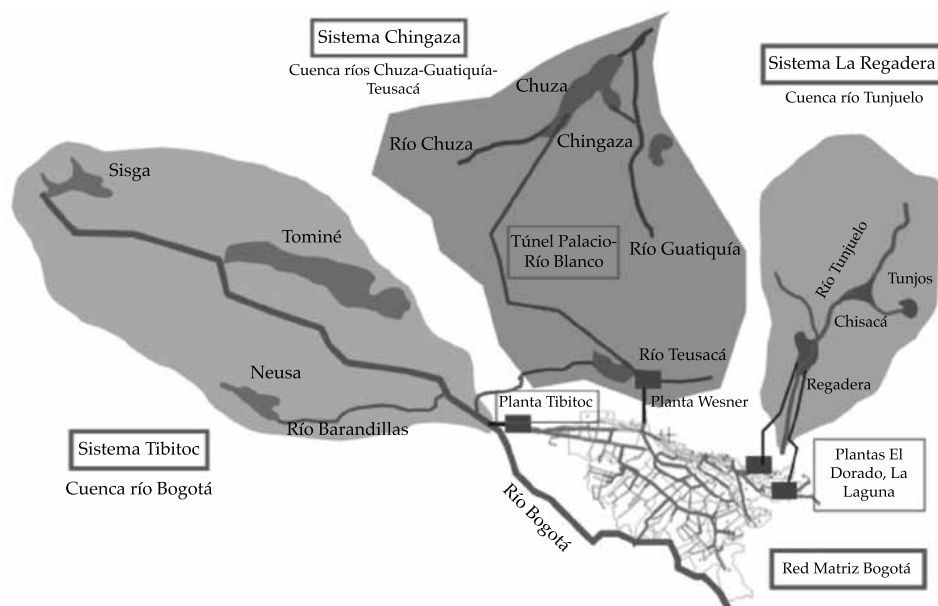


Figura 2. Sistema de abastecimiento de agua de Bogotá.

Fuente: Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, 2012.

Orinoco, lo cual implicó el primer transvase de aguas (Colmenares-Faccini, 2007).

El agua es tratada por la PTAP Francisco Wiesner, ubicada en el municipio de la Calera, al oriente de la ciudad. Su capacidad es de  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ , pero en la actualidad se encuentran operando sólo  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Esta planta es la más importante para la ciudad, al aportar 61.68% del agua potable de la misma.

### Sistema La Regadera

Este sistema, localizado al sur de la ciudad, está compuesto por dos embalses (La Regadera y Chisacá), que regulan y almacenan el caudal del río Tunjuelo y sus afluentes, como el Curubital y Mugroso. Dentro de éste se encuentran dos plantas de tratamiento: La Laguna y el Dorado.

La planta La Laguna se localiza junto al antiguo pueblo Usme y cuenta con una capacidad de producir hasta  $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ . En la actualidad sólo se emplea en condiciones de contingencia. En cuanto a la planta El Dorado, fue construida y puesta en servicio en el segundo semestre de

2001, lo que la convierte en la planta más moderna del conjunto de sistemas de tratamiento de la ciudad, pues su operación es totalmente automatizada y monitoreada por un sistema de supervisión, que permite el control en tiempo real del comportamiento de todas sus variables fisicoquímicas y bacteriológicas.

En cuanto al suministro por agua subterránea, este recurso no puede considerarse como una fuente potencial para abastecer a la población de Bogotá debido a que la recarga de los acuíferos es de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  y el orden de extracción es de la misma magnitud (Bogotá, Alcaldía Mayor, Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, 2000), lo que significaría que un aumento en la extracción no permitiría la recarga del mismo.

### Suministro de agua potable por fuentes subterráneas

El uso de las aguas subterráneas en Bogotá es relativamente bajo, comparado con las fuentes superficiales, debido a que el volumen de agua

concesionado está entre los 8 y 9 Mm<sup>3</sup> al año. Se ha podido estimar que un 55% del agua subterránea se emplea para usos industriales; 39%, en usos múltiples; 3%, en agrícolas; 2%, en sectores residenciales, y 1% en otros sectores (IDEAM, 2015). De forma temporal, las concesiones han sufrido variaciones en su comportamiento. De 2000 a 2005 hubo una disminución en más de 1 Mm<sup>3</sup>; de 2005 a 2007 aumentó el consumo en más de 2 Mm<sup>3</sup>; de 2007 a 2013 el volumen concesionado bajó con reducciones de 2 Mm<sup>3</sup>. Estas diferencias se deben principalmente a la no renovación de las concesiones de aguas subterráneas y al sellamiento temporal o definitivo por parte de la autoridad ambiental.

### Consumo

En la actualidad, el consumo per cápita de agua en Bogotá es de 98.2 l/hab.día, lo que es relativamente bajo, si se compara con otras capitales del mundo y ciudades con menores habitantes en Colombia. Este consumo es fun-

ción del número de usuarios existentes y del costo de la tarifa, para lo cual se ha planteado fraccionar a la ciudad en los siguientes usos del suelo: industrial, comercial, oficial, especial y residencial. Además, este último uso se diferencia socioeconómicamente en seis estratos, donde los más altos pagan un precio más elevado por el mismo servicio que los más bajos, a los que subsidian (Mallarino, 2008).

En la figura 3 se pueden observar los valores de consumos y número de usuarios existentes durante el periodo de evaluación, donde se logra identificar que el mayor número de usuarios se presenta en el uso residencial, con más de 95% de los usuarios registrados en Bogotá, y representando 78.74% del consumo total de agua.

Los estratos 2 y 3 consumen 50% del agua en Bogotá, ya que solamente estos dos aportan más de 60% del número de usuarios existentes. Este crecimiento se puede asociar con dos factores: el primero se da por la búsqueda de estratos económicos en materia de servicios; el segundo

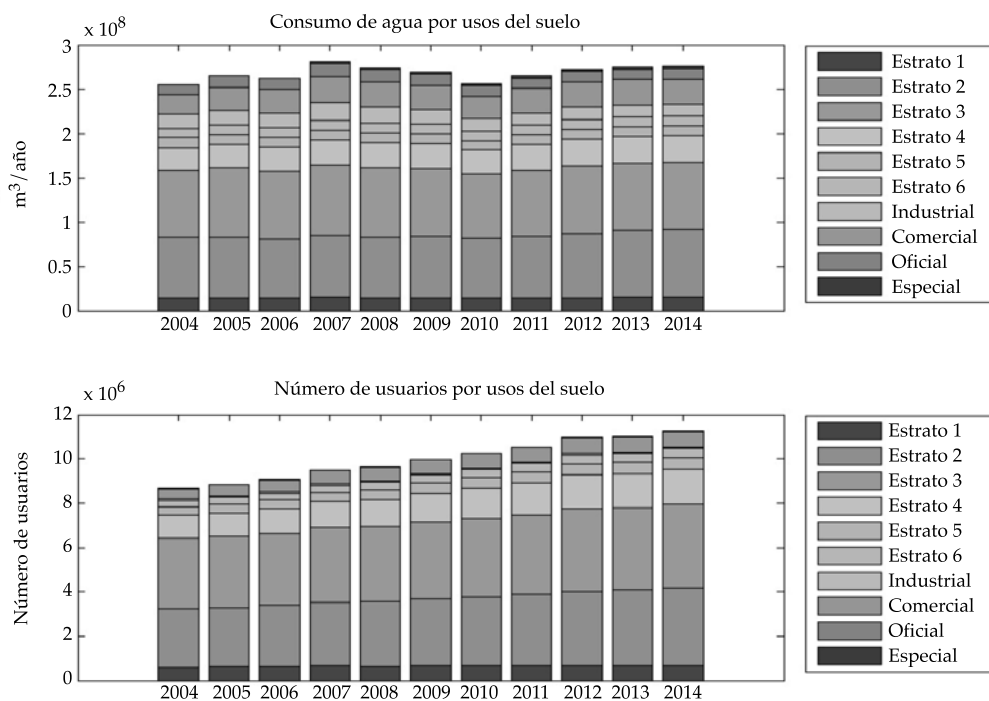


Figura 3. Consumo y número de usuarios de agua potable por uso.



es el fortalecimiento de la infraestructura vial, comercial, educativa, etcétera, que se ha llevado a cabo en estas zonas.

En segundo lugar de usuarios está el sector comercial, con un 6.2% y un consumo de 10%. Lo interesante en este valor es que duplica a los estratos 1, 5 y 6, y a los usos industrial y oficial. En tercera posición se ubica el sector industrial, con un porcentaje de usuarios de 0.51%, pero con consumos de 5.8%; sin embargo, para los periodos comprendidos entre 2012 y 2014, el volumen de agua ha decaído por la disminución de empresas de gran tamaño en la ciudad, las cuales se han trasladado a lugares periféricos de la misma. Por último, están los usos oficiales con 0.17% de usuarios y 4.65% en consumo, y el uso especial con menos de 1% tanto en consumo como en usuarios.

### Sistemas de saneamiento en Bogotá

El sistema de alcantarillado público en la ciudad de Bogotá da inicio en 1900 y su crecimiento continúa hasta la fecha con un porcentaje de cobertura superior al 90%. En la actualidad se cuenta con una gran variedad de infraestructuras, como estaciones de bombeo, redes de saneamiento, colectores, canales, boxes y una planta de tratamiento de aguas residuales.

Dicho sistema está dividido en tres cuencas sanitarias como se observa en la figura 4, las cuales llevan el nombre de los tres grandes ríos que atraviesan a Bogotá: Salitre, Fucha y Tunjuelo (Rodríguez *et al.*, 2008). Dentro de estas cuencas existen un total de 65 subcuencas menores, que están divididas en 49 subcuencas sanitarias y 16 subcuencas pluviales (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2011).

#### *Cuenca Salitre*

Esta cuenca recoge las aguas pluviales y sanitarias de la subcuenca del río Torca y la cuenca del río Salitre, cubriendo la parte norte de la ciudad desde la calle 200 hasta la calle 26 y desde los cerros orientales hasta el río Bogotá, cubriendo un área de 11 883.57 ha para aguas residuales y

16 863.68 ha para agua de lluvia (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2011).

La cuenca tiene en su parte central un sistema de alcantarillado combinado, con un total de 33.5 km<sup>2</sup>, proveniente de las subcuencas Arzobispo, Sears, Las Delicias, La Vieja, río Negro y río Nuevo. Por otra parte, es la cuenca más desarrollada en infraestructura, ya que posee en la actualidad la única planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad, denominada el Salitre.

La subcuenca del Torca es un canal que posee una longitud de 4.24 km. Nace en los cerros orientales y desemboca en el humedal Torca-Guaymaral. Su área de drenaje es de 2 078 ha. El



Figura 4. Esquema general de las cuencas de drenaje sanitario de Bogotá.

sistema de alcantarillado de esta subcuenca se divide en tres subcuencas inferiores: El Cedro, San Cristóbal y Serresuela (González, 2011).

#### *Cuenca Fucha*

Esta cuenca se localiza en la zona centro-sur de la ciudad. Sus aguas drenan por el norte desde los límites de la cuenca del río Salitre; por el suroriente recibe las aguas desde el barrio Santa Inés, San Blas; recolecta las aguas del interceptor Sur desde el Barrio San Benito y por el occidente con las aguas drenadas del interceptor Kennedy, para un total de área de 14 024.61 ha para aguas residuales y 3 824.67 ha para agua de lluvia (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2011).

Se caracteriza por contar con la mayoría de industrias de la ciudad, las cuales incluyen tintorerías, curtiembres, sectores alimentarios, metalmecánica y químicos, además cuenta en su parte oriental con un sistema de alcantarillado combinado, con un total de 40.5 km<sup>2</sup>; sin embargo, no son claros los límites entre los sistemas combinados y separados en esta cuenca (González, 2011).

Asimismo, existe un **pondaje (OJO AUTOR, ¿QUÉ SIGNIFICA PONDAGE?)** al final de esta cuenca. Tiene una capacidad de almacenamiento de un millón de m<sup>3</sup> y un área aproximada de 13 ha. Su principal función es interceptar los picos de agua combinada de la cuenca, que finalmente son entregados al interceptor Fucha-Tunjuelo (González, 2011).

#### *Cuenca Tunjuelo*

Esta cuenca se ubica al sur de la ciudad, captando las aguas que drenan por el sur desde los límites de la cuenca del río Fucha. Se caracteriza por ser una zona altamente rural y residencial, y por ser la única cuenca sanitaria completamente separada. El área total es de 21 956.69 ha de aguas residuales y 62 606.85 ha para agua de lluvia (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2011).

A pesar de la existencia de estas áreas de drenaje, es la cuenca con más baja cobertura, pues sobre la cuenca existen grandes problemas sociales, como áreas invadidas por diferentes sectores sociales, que da como resultado la creación de barrios ilegales y extrema pobreza.

#### *Planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre*

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) El Salitre inició su construcción en 1997 y entró en funcionamiento en 2000. Se ubica en la desembocadura del río Salitre con el río Bogotá y actualmente sólo cuenta con un tratamiento primario y capacidad de tratamiento de 4 m<sup>3</sup>/s. Esta planta recibe las aguas residuales de unos 2 200 000 habitantes del área norte del distrito capital, pertenecientes a la cuenca del Salitre, lo que representa un 25% de las aguas residuales de la ciudad (Rojas, De Meulder, & Shannon, 2015). Por cumplimiento normativo, la PTAR tiene un porcentaje de remoción de la DBO de 40% y de los SST de 60% como se observa en la figura 5.

La administración nacional se ha visto obligada a proponer la ampliación sobre esta planta a 8 m<sup>3</sup>/s y un sistema de tratamiento secundario; por otro lado, deberá construir la PTAR Canoas, que tratará las aguas residuales de las cuencas Fucha y Tunjuelo de Bogotá. Esta planta se contempla con una capacidad de 12 m<sup>3</sup>/s mediante un sistema de lodos activados.

#### **Fuentes hídricas superficiales**

Las fuentes hídricas superficiales de la ciudad están compuestas principalmente por quebradas, ríos, lagos y humedales naturales, empleadas en su gran mayoría como fuentes receptoras de las descargas de aguas residuales de la ciudad, lo que ha generado un cambio muy drástico en las condiciones de calidad hídrica de los cuerpos de agua, haciéndoles perder capacidades de potenciales usos. Sin embargo, algunos son usados por sectores industriales y agrícolas.

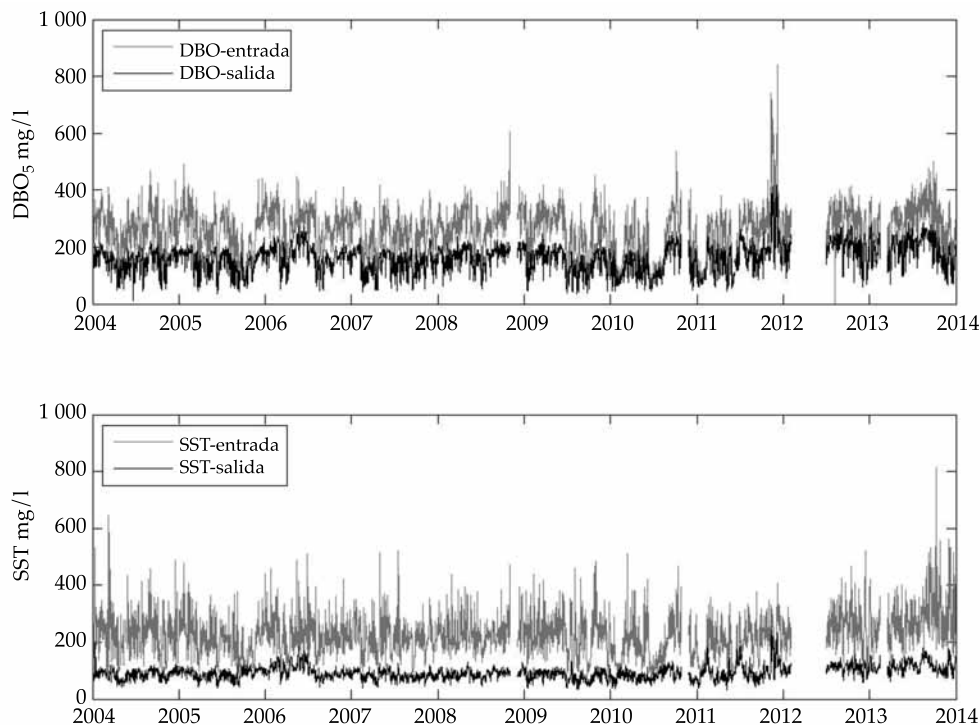


Figura 5. Comportamiento de la  $DBO_5$  y los SST a la entrada y salida de la PTAR El Salitre.

Así, con el objetivo de controlar y mejorar la calidad de los cuerpos de agua, en 2006, la SDA formuló por primera vez los objetivos de calidad sobre los grandes ríos de Bogotá (Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo). Una vez planteados y para el seguimiento al cumplimiento de la norma, se inició el funcionamiento de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB). Dos años después, los objetivos de calidad se modificaron, con el fin de asociarlos a las actividades de saneamiento planteadas por la EAB para dar cumplimiento a las exigencias nacionales. Así, se dividieron los ríos en tramos y se propuso un cambio gradual de los valores de calidad de 10 parámetros representativos en periodos de 4 y 10 años (Rodríguez, Pérez, Rodríguez, Porras, & Medina, 2011).

La RCHB hoy día está compuesta por 30 estaciones, divididas en cuatro sobre el río Torca; dos sobre el río Bogotá; seis estaciones sobre el río Salitre; ocho estaciones sobre el río Fucha, y

10 sobre el río Tunjuelo. Además, para verificar el cumplimiento de los objetivos de calidad, los valores reportados por estas estaciones sirven para calcular un índice de calidad hídrico. Para el caso específico de la ciudad se emplea el CCME-WQI (Canadian Council of Minister of the Environment-Water Quality Index). Este indicador presenta valores cuantitativos entre 0 y 100, divididos en cinco rangos, que representan cinco condiciones cualitativas (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001), como se observa en el cuadro 1.

De acuerdo con lo anterior, en el cuadro 2 se muestran los valores reportados por la SDA del WQI para el periodo 2007 a 2013.

Se observa que sobre los primeros tramos se presentan las mejores condiciones de calidad, ya que los primeros puntos de monitoreo de cada río se ubican en los nacimientos de éstos, con lo que se pretende determinar la condición de entrada a la ciudad. En cuanto a los tramos



Cuadro 1. Puntuación e interpretación del WQI.

Rango	Valor	Interpretación
Excelente	95-100	La calidad del agua cumple los objetivos de calidad. La calidad está protegida sin que las condiciones deseables estén amenazadas
Buena	80-94	La calidad del agua cumple con los objetivos de calidad. La calidad está protegida en un menor nivel; sin embargo, las condiciones deseables pueden estar amenazadas
Regular	65-79	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, ocasionalmente las condiciones deseables están amenazadas
Marginal	45-64	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas
Pobre	0-44	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, la mayoría de veces, la calidad está amenazada o afectada, por lo general apartada de las condiciones deseables

Cuadro 2. Resultados históricos del WQI para los ríos de Bogotá.

Río Torca	Punto	Longitud (m)	Junio 2007-2008	Junio 2008-2009	Junio 2010-2011	Junio 2011-2012	Junio 2012-2013
Tramo 1	Canal El Cedro	5 956	67	71	94	100	100
Tramo 2	Makro 193	7 105.7	71	63	71	47	53
	Club Guaymaral						
Río Salitre	Punto	Longitud (m)	Junio 2007-2008	Junio 2008-2009	Junio 2010-2011	Junio 2011-2012	Junio 2012-2013
Tramo 1	Parque Nacional	1 312.3	50	88	88	94	94
Tramo 2	Arzobispo Carrera 7	2 306.1	31	46	49	44	46
	Carrera 30 Calle 53						
Tramo 3	Carrera 30 Calle 53	2 698.5	31	47	50	38	43
	Carrefour Av. 68						
Tramo 4	Carrefour Av. 68	13 449.7	59	36	48	39	38
	Transversal 91						
	Planta Salitre						
	Salitre con Alameda						
Río Fucha	Punto	Longitud (m)	Junio 2007-2008	Junio 2008-2009	Junio 2010-2011	Junio 2011-2012	Junio 2012-2013
Tramo 1	El Delirio	1 976.5	100	88	94	88	88
Tramo 2	Carrea 7 con río Fucha	7 562.1	34	35	37	31	41
	Avenida del Ferrocarril						
Tramo 3	Fucha Avenida Las Américas	2 737.6	45	58	56	57	51
	Avenida Boyacá						
Tramo 4	Visión Colombia	5 026.4	27	42	42	37	35
	Fucha Zona Franca						
	Fucha con Alameda						

Cuadro 2 (continuación). Resultados históricos del WQI para los ríos de Bogotá.

Río Tunjuelo	Punto	Longitud (m)	Junio 2007-2008	Junio 2008-2009	Junio 2010-2011	Junio 2011-2012	Junio 2012-2013
Tramo 1	Regadera	1 458.6	80	82	81	80	88
Tramo 2	Yomasa	4 098.7	27	34	69	60	81
	Doña Juna						
Tramo 3	Doña Juana	14 157.9	31	35	51	38	39
	Barrio México						
	San Benito						
	Makro Auto Sur						
Tramo 4	Makro Auto Sur	14 394.7	23	35	44	38	38
	Transversal 86						
	Puente La Independencia						
	Isla Pontón San José						

posteriores (toda el área urbana), se evidencia el indicador en condiciones pobres y marginales, debido a las descargas de vertimientos domésticos e industriales que se llevan a cabo sobre los cuerpos de agua. Por ejemplo, en 2013, se calcularon 178 descargas de aguas residuales provenientes del sistema de alcantarillado y cuatro vertimientos directos de sectores industriales, donde aproximadamente se vertieron 92 635.12 ton/año de DBO y 60.419.06 ton/año de SST.

### Desafíos del ciclo urbano del agua en Bogotá para un futuro sostenible

Diferentes autores han propuesto iniciativas para la gestión integral del ciclo urbano del agua, una de estas se ha denominado Desarrollo Urbano Sensible al Agua (DUSA) (Water Sensitive Urban Development, WSUD), la cual comenzó a ser utilizada en la década de 1990 en Australia (Fletcher *et al.*, 2014; Tony HF Wong, 2006b). Esta propuesta promueve la integración entre el suministro de agua potable, las aguas pluviales, la gestión de los sistemas de alcantarillado y el manejo de las aguas subterráneas. Además, pretende integrar soluciones sobre el ciclo urbano del agua debido a que permite la

elección de estrategias oportunas, viables y óptimas para la gestión del recurso hídrico urbano (Coombes, Argue, & Kuczera, 2000; EDAW, 2007; Suárez-López, Puertas, Anta, Jácome, & Álvarez-Campana, 2014).

De acuerdo con lo anterior, se planteará una discusión sobre las necesidades que se tienen dentro del CUA para la gestión integral del recurso hídrico, teniendo como referencia dos ejes del DUSA: a) conservación del agua para abastecimiento y b) la gestión de los sistemas de drenaje pluvial.

#### *Conservación del agua para abastecimiento*

Para la conservación del recurso hídrico que es empleado como fuente de abastecimiento es necesario controlar dos aspectos principales: la excesiva demanda de agua y la búsqueda de nuevas fuentes de suministro. Para ello, en primer lugar, las entidades públicas han iniciado el control del consumo de agua mediante normatividad. Por ejemplo, a mediados de la década de 1990 se plantearon en el país las Leyes 142 de 1994 “Régimen de Servicios Públicos Domiciliarios”, donde se incrementaron las tarifas de agua potable y la 373 de 1997: “por la cual se establece el programa para el uso eficiente y

ahorro del agua”, donde se obligó a las entidades prestadoras de servicios públicos a generar programas, proyectos y acciones para controlar el recurso hídrico.

Estas normas, más una crisis económica del país, llevaron a una disminución del consumo de agua potable en Bogotá de 17% entre los años 1997 y 2008 (Ivanova & Sarmiento, 2013). Sin embargo, estas medidas no han sido suficientes, pues a partir de 2009, las demandas han vuelto a aumentar, lo cual se asocia también con crecimiento poblacional, espacial y malas prácticas de consumo de los usuarios.

Por lo tanto, para controlar este incremento, es necesario plantear tres diferentes campos de acción:

- a) Continuar con más iniciativas legislativas que promuevan la conservación del agua por parte de los usuarios; ello debe permitir la evaluación y verificación de aplicación de dichas iniciativas. En el caso del sector residencial, se debe incluir la posibilidad de generar auditorías sobre las viviendas, pues es donde más se consume agua y del que se tiene menos conocimiento sobre sus prácticas. Para los actores industriales, comerciales e institucionales, se requiere fortalecer la búsqueda de sistemas de manejo ambiental, producción más limpia y descarga cero, entre otras acciones.
- b) Ampliación de los programas de educación ambiental en centros educativos y dentro de los barrios, pues estos programas en muchas ocasiones no son masificados, perdiendo así el poder de alcance. También se debe fomentar la modernización de la fontanería.
- c) Gestión interna que realice la EAB, en cuanto a la infraestructura que se tiene. Para ello es necesario controlar y disminuir el porcentaje de pérdidas y tener una alta eficiencia en programas de mantenimiento.

En cuanto al uso de fuentes alternativas de agua, Wong y Brown (2009) manifiestan que las ciudades pueden llegar a tener una alta gama de fuentes de suministro no convencionales,

como agua de lluvia, agua subterránea, reúso de aguas residuales y desalinización. Por consiguiente, en Bogotá, la fuente más factible es el agua de lluvia, debido principalmente a que la precipitación promedio mensual es de 69.4 mm. Para emplear esta fuente es necesario enfocar los esfuerzos sobre dos grandes actores. En primer lugar, los usuarios, para lo cual es necesario generar normativas y campañas educativas que fortalezcan y estimulen el uso del agua de lluvia, así como generar formas de financiación de los costos asociados con la infraestructura (tratamiento y distribución).

El segundo actor es la administración pública, en donde se debe pensar en estrategias a corto y largo plazos. En un plazo inmediato es necesario el control de la contaminación del agua de lluvia (conexiones erradas, primer lavado, etc.) y ampliar la infraestructura de captación; para el plazo más largo es preciso considerar la construcción de un sistema de distribución paralelo de agua lluvia tratada no potable, cuyos usos puedan ser sanitarios, áreas abiertas que requieran regadíos, lavado de zonas duras, etcétera. Tal actividad también favorece, en un futuro más lejano, la posibilidad de reusar aguas residuales o grises (Wong & Brown, 2009). Finalmente, se necesita llevar a cabo, por parte de los sectores públicos y académicos, un asesoramiento técnico y seguimiento sobre estas prácticas, pues en muchas ocasiones, la falta de un tutor experto no permite que se cumplan casos exitosos y/o masivos.

En cuanto a las aguas subterráneas, el control que se debe efectuar por parte de las entidades ambientales locales y nacionales debe ser constante y exhaustivo; esto, con el fin de proteger la existencia del recurso, ya que los factores que más preocupan son los siguientes: sobreexplotación, concesiones ilegales, inadecuado mantenimiento de los pozos, contaminación y pérdida de acuíferos por actividades mineras. Además, es necesario robustecer la recarga de los acuíferos con agua de lluvia, pues aproximadamente el área impermeabilizada de Bogotá es superior a 90% (Betancourt, 2014). Sumado a esto, hay que efectuar en las zonas de recarga existentes

vigilancia y seguimiento, debido a que se ubican principalmente sobre los cerros orientales, los cuales se están convirtiendo en áreas potenciales para la construcción de viviendas legales e ilegales, perdiendo así toda capacidad de zona de recarga.

### *La gestión de los sistemas de drenaje*

La gestión sobre los sistemas de drenaje pluvial en Bogotá ha venido creciendo y ampliándose en los últimos años debido al aporte investigativo que se ha dado por las instituciones académicas y públicas, y a las inversiones que se llevan a cabo por la administración local, que se ha enfocado en el saneamiento de los cuerpos hídricos, la ampliación en cobertura del sistema de alcantarillado sanitario, y el control y disminución de inundaciones; sin embargo, esta gestión aún no es suficiente, al mantenerse estos problemas.

Para la gestión de los sistemas de aguas residuales es necesario orientar los esfuerzos en dos grandes temas. El primero es la reducción del caudal de aguas residuales, y la ampliación de redes, sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento. Para la reducción de las aguas residuales, toda gestión que se efectúe sobre la demanda generará un impacto positivo sobre ésta, principalmente en volúmenes y concentraciones de los diferentes contaminantes; pero también es necesario el control sobre la tasa de infiltración en los sistemas de alcantarillado sanitario, pues se ha podido estimar que este flujo es de un 50% de la media de flujo de las aguas residuales (Rodríguez *et al.*, 2008), para lo cual es preciso fortalecer el plan de mantenimiento preventivo que lleva a cabo la EAB y controlar las conexiones ilegales que hacen los usuarios.

El segundo es la ejecución de la totalidad de las actividades de saneamiento planteadas por la EAB, comenzando con la construcción y ampliación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Para esto se debe iniciar con la mayor prontitud la construcción de la PTAR Canoas y la ampliación de la PTAR Salitre; a ello hay que agregar la continuación de la

construcción y operación de interceptores y el manejo de alivios. Sin esto, y a pesar de contar con plantas de tratamiento de aguas residuales, no se alcanzarán los objetivos de calidad de los cuerpos de agua (González, 2011).

Por último, sobre el manejo del agua de lluvia, se busca principalmente la reducción de caudales por escorrentía, el control de contaminación del agua de lluvia y la ampliación de la infraestructura pluvial en Bogotá. Para el manejo de caudal de escorrentía y control de las concentraciones contaminantes, se han planteado en el mundo una gran variedad de conceptos, como los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), que consisten en acciones estructurales y no estructurales para el manejo integral del binomio medio ambiente y urbanismo (Tsihrintzis & Hamid, 1997).

A pesar de que estas prácticas se han realizado desde la década de 1970 en diferentes lugares del orbe (Oviedo & Torres, 2014), en Bogotá inicia en el decenio de 1990 gracias a centros de investigación de universidades. Sin embargo, sus aplicaciones fueron a escalas muy pequeñas (humedales artificiales, pavimentos porosos, techos verdes, etc.). En la actualidad comenzaron campañas de aseo para disminuir sólidos en sistemas pluviales, y construir humedales artificiales a mayor escala, así como pilotos de pavimentos porosos.

Por lo tanto, para que estas prácticas sean institucionalizadas, es necesario que se incluyan en el plan de ordenamiento territorial de Bogotá, a fin de asignarles recursos, masificación de las prácticas, continuidad, y encaminar el diseño de la ciudad de una manera sostenible y amigable al agua. Además, estas prácticas no sólo protegerán el recurso hídrico y disminuirán las inundaciones, al mismo tiempo se preservará la infraestructura local (disminución de mantenimiento), la salud y las condiciones económicas de los habitantes.

### **Conclusiones**

El trabajo que se está llevando a cabo en la ciudad de Bogotá por los actores públicos para

la gestión integral del recurso hídrico se debe mantener y mejorar. Es importante recordar que el porcentaje de cobertura de acueducto es de 100% y el del sistema de alcantarillado es superior a 90%; esto muestra un gran compromiso por parte de la ciudad con sus habitantes, manteniendo un derecho fundamental, como es el acceso al agua potable y una gran responsabilidad en la gestión del saneamiento público. Además, se han realizado inversiones para controlar y recuperar la calidad hídrica de nuestros ríos, y para la protección de cuerpos de agua y acuíferos.

Sin embargo, es clara la necesidad de aumentar los esfuerzos, principalmente en la planeación de la ciudad. Para esto es fundamental comprender y conocer las interacciones entre los diferentes actores y componentes del ciclo urbano del agua, para así enfocar las políticas para el desarrollo urbano sostenible sobre la ciudad y sobre este ciclo.

Legalmente, la administración pública debe generar y robustecer normas sobre el control del crecimiento poblacional y urbanístico; incentivar la implementación de medidas para la gestión del agua en los sectores industriales, comerciales y residenciales; ampliar normas y sanciones sobre usos indebidos o fraudulentos del agua; fomentar e invertir en proyectos de investigación, que busquen soluciones o implementaciones para el manejo del recurso en Bogotá.

En cuanto al consumo de agua potable, se plantea dirigir los esfuerzos sobre diferentes flancos: el primero es la búsqueda de la posibilidad de utilizar el agua de lluvia por parte de los usuarios en diferentes actividades o procesos. Además, será necesario mantener bajo los niveles de consumo per cápita, ya que ello garantiza la no necesidad de trasvases de cuencas o el posible agotamiento de nuestras fuentes hídricas.

Es de vital importancia mejorar el saneamiento de los cuerpos de agua de la ciudad, para lo cual, la nación y la ciudad deben garantizar la inversión de la PTAR Canoas y la ampliación

de la PTAR Salitre lo más pronto posible; por otra parte, se debe fortalecer el seguimiento y control a las tasas de infiltración sobre el sistema de alcantarillado sanitario.

Por último, en el caso del manejo del agua de lluvia, se debe trabajar en el volumen de agua que se genera, a fin de disminuir la probabilidad de inundaciones, que principalmente se da en sectores marginales; además, fortalecer la investigación en el uso de SUDS, que permitan bajar el impacto ambiental que se da por la descarga de agua de lluvia contaminada.

### Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la Secretaría Distrital de Ambiente y a la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá por brindarnos la información necesaria para la elaboración de este artículo. Agradecer de igual manera a los evaluadores anónimos que revisaron una versión anterior de este documento, por sus comentarios constructivos, que mejoraron la calidad y la legibilidad del artículo.

### Referencias

- Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente, & Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (2008). *Calidad del sistema hídrico de Bogotá*. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Anderson, J. (2003). The Environmental Benefits of Water Recycling and Reuse. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(4), 1-10.
- Bach, P. M., Rauch, W., Mikkelsen, P. S., McCarthy, D. T., & Deletic, A. (2014). A Critical Review of Integrated Urban Water Modelling – Urban Drainage and Beyond. *Environmental Modelling & Software*, 54, 88-107. Recovered from <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.018>.
- Betancourt, L. R. (2014). El papel del agua en una ciudad como Bogotá. *Revista Ciudades, Estados y Política*, 1(2), 51-60.
- Bogotá, Alcaldía Mayor, Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (2000). *Modelo hidrogeológico para los acuíferos de Bogotá, D.C.* (p. 31). Bogotá: Bogotá, Alcaldía Mayor, Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (2001). *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0, User's Manual*. In: Canadian Environmental Quality Guidelines.



- Canadian Council of Ministers of the Environment. **OJO AUTOR, FALTA CIUDAD DE EDICIÓN**
- Colmenares-Faccini, R. (2007). El agua y Bogotá: un panorama de sostenibilidad. **OJO AUTOR, FALTA CIUDAD DE EDICIÓN Y CASA EDITORIAL**
- Coombes, P. J., Argue, J. R., & Kuczera, G. (2000). Figtree Place: A Case Study in Water Sensitive Urban Development (WSUD). *Urban Water*, 1(4), 335-343. Recovered from [http://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00027-3](http://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00027-3).
- EDAW (2007). *Water Sensitive Urban Design Objectives for Darwin - Discussion Paper*. Northern Territory Department of Planning and Infrastructure. EDAW. **OJO AUTOR, FALTA CIUDAD DE EDICIÓN (NO PAÍS)**
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (2011). *Sistema troncal de alcantarillado Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá*. Bogotá: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., & Viklander, M. (2014). SUDS, LID, BMPs, WSUD and More – The Evolution and Application of Terminology Surrounding Urban Drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542. Recovered from <http://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>.
- González, J. D. (2011). *Desarrollo e implementación de un modelo integrado del sistema alcantarillado-PTAR-humedales-ríos urbanos de la ciudad de Bogotá (Maestría)*. Bogotá: Universidad Nacional. Recuperado a partir de <http://www.ing.unal.edu.co/gireh/docs/Gonzalez.pdf>.
- Hardy, M., Kuczera, G., & Coombes, P. (2005). Integrated Urban Water Cycle Management: the Urban Cycle Model. *Water Science & Technology*, 52(9), 1-9.
- IDEAM (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.
- Ivanova, Y., & Sarmiento, A. (2013). Evaluación de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá como una herramienta de la gestión del agua en el territorio urbano. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*, 4(2), 1-5.
- López-Martínez, C., & Polo-Campos, G. (2009). *Análisis del sistema actual de abastecimiento de Bogotá. Agua subterránea como fuente alterna o de contingencia (Pregrado)*. Bogotá: Universidad de La Salle. **OJO AUTOR, ESTA REFERENCIA NO APARECE EN EL CUERPO DEL TEXTO**
- Mallarino, C. U. (2008). Estratificación social en Bogotá: de la política pública a la dinámica de la segregación social. *Universitas humanística*, 65, 139-171.
- Marsalek, J., Cisneros, B. J., Karamouz, M., Malmquist, P. A., Goldenfum, J. A., & Chocat, B. (2008). *Urban Water Cycle Processes and Interactions: Urban Water Series - UNESCO-IHP*. CRC Press. **OJO AUTOR, FALTA CIUDAD DE EDICIÓN (NO PAÍS)**
- McPherson, M. B. (1973). Need for Metropolitan Water Balance Inventories. *Journal of the Hydraulics Division*, 99(10), 1837-1848.
- Mitchell, V. G. (2006). Applying Integrated Urban Water Management Concepts: A Review of Australian Experience. *Environmental Management*, 37(5), 589-605. Recovered from <http://doi.org/10.1007/s00267-004-0252-1>.
- Mitchell, V. G., Mein, R. G., & McMahon, T. A. (2001). Modelling the Urban Water Cycle. *Environmental Modelling & Software*, 16(7), 615-629. Recovered from [http://doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00029-9](http://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00029-9).
- Niemczynowicz, J. (1999). Urban Hydrology and Water Management – Present and Future Challenges. *Urban Water*, 1(1), 1-14. Recovered from [http://doi.org/10.1016/S1462-0758\(99\)00009-6](http://doi.org/10.1016/S1462-0758(99)00009-6).
- Oviedo, N., & Torres, A. (2014). Hydrologic Attenuation and the Hydrologic Benefits of Implementing Eco-Productive Green Roofs in Marginal Urban Areas. *Ingeniería y Universidad*, 18(2), 291-308. Recovered from <http://doi.org/10.11144/Javeriana.IYU18-2.hahb>.
- Rauch, W., Bertrand-Krajewski, J. L., Krebs, P., Mark, O., Schilling, W., Schutze, M., & Vanrolleghem, P. A. (2002). Deterministic Modelling of Integrated Urban Drainage Systems. *Water Science & Technology*, 45(3), 81-94.
- Rodríguez, J., Díaz-Granados, M., Camacho, L., Raciny, I., Maksimovic, C., & McIntyre, N. (2008). Bogotá's urban Drainage System: Context, Research Activities and Perspectives. In: *Proceedings of the 10th National Hydrology Symposium, British Hydrological Society*. Exeter, United Kingdom.
- Rodríguez, J. P., Diaz-Granados, M., Camacho, L., Raciny, I., Maksimovic, C., & MacIntyre, N. (2008). *Bogotá's Urban Drainage System: Context, Research Activities and Perspectives* (pp. 378-386). BHS 10th National Hydrology Symposium, Exeter.
- Rodríguez, M., Pérez, A., Rodríguez, L., Porras, L., & Medina, S. (2011). *Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2009-2010)*. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Ediciones Uniandes.
- Rojas, C., De Meulder, B., & Shannon, K. (2015). Water Urbanism in Bogotá. Exploring the Potentials of an Interplay between Settlement Patterns and Water Management. *Habitat International*, 48, 177-187. Recovered from <http://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.03.017>.
- Sonnen, M. B. (1974). Discussion of "Need for Metropolitan Water Balance Inventories". *Journal of the Hydraulics Division*, 100(8), 1187-1189.
- Suárez-López, J. J., Puertas, J., Anta, J., Jácome, A., & Álvarez-Campana, J. M. (2014). Gestión integrada de los recursos hídricos en el sistema agua urbana: desarrollo urbano sensible al agua como enfoque estratégico. *Ingeniería del agua*, 18(1), 111-123. Recuperado de <http://doi.org/10.4995/ia.2014.3173>.
- Tsihrintzis, V. A., & Hamid, R. (1997). Modeling and Management of Urban Stormwater Runoff Quality: A Review. *Water Resources Management*, 11, 137-164.

- Urich, C., & Rauch, W. (2014). Modelling the Urban Water Cycle as an Integrated Part of the City: A Review. *Water Science & Technology*, 70(11), 1857. Recovered from <http://doi.org/10.2166/wst.2014.363>.
- Wong, T. H. (2006a). Water Sensitive Urban Design - the Journey Thus Far. *Australian Journal of Water Resources*, 10(3), 213-222.
- Wong, T. H. (2006b). Water Sensitive Urban Design - the Journey Thus Far. *Water Practice & Technology*, 1(1). Recovered from <http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=308430980450150;res=IELENG>.
- Wong, T. H., & Brown, R. R. (2009). The Water Sensitive City: Principles for Practice. *Water Science & Technology*, 60(3), 673-282.

## Dirección institucional de los autores

M.C. Carlos Andrés Peña Guzmán

Estudiante doctoral en Agua y Desarrollo Sostenible  
Universidad de Alicante  
Instituto del Agua y las Ciencias Ambientales

Universidad Santo Tomás  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Cra. 9 #51-11, Bogotá, Cundinamarca, COLOMBIA  
Teléfono: +57 (1) 5878 797  
[carlos.pena@usantotomas.edu.co](mailto:carlos.pena@usantotomas.edu.co)  
[capg2@alu.ua.es](mailto:capg2@alu.ua.es)

Dr. Joaquín Melgarejo Moreno

Universidad de Alicante  
Instituto del Agua y las Ciencias Ambientales  
Carretera San Vicente del Raspeig s/n  
03690 San Vicente del Raspeig, Alicante, ESPAÑA  
Teléfono laboral: +34 (96) 5903 400, extensión 9677  
[jmelgar@ua.es](mailto:jmelgar@ua.es)

Dr. Daniel Prats Rico

Universidad de Alicante  
Instituto del Agua y las Ciencias Ambientales  
Carretera San Vicente del Raspeig s/n  
03690 San Vicente del Raspeig, Alicante, ESPAÑA  
Teléfonos: +34 (96) 5903 948 y 5903 951  
[prats@ua.es](mailto:prats@ua.es)