

APROVECHAMIENTO DEL AGUA LLUVIA PARA RIEGO Y LAVADO DE ZONAS DURAS Y FACHADAS EN EL CAMPUS DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA (BOGOTÁ)*

USING RAINWATER FOR IRRIGATION, HARD SURFACE & FAÇADE CLEANING AT PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA'S CAMPUS (BOGOTA)

*Jaime Andrés Lara Borrero***

*Andrés Eduardo Torres Abello****

*María Claudia Campos Pinilla*****

*Leonardo Duarte Castro******

*Jairo Iván Echeverri Robayo******

*Paula Andrea Villegas González******

* *Fecha de recepción: 26 de enero de 2007. Fecha de aceptación para publicación: 23 de agosto de 2007. Este artículo se deriva del proyecto de investigación Reciclado de aguas en el campus de la Universidad Javeriana, financiado por la Pontificia Universidad Javeriana.*

** *Ingeniero civil, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Master en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, España. Doctor en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, España. Profesor asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: laraj@javeriana.edu.co*

*** *Ingeniero civil y especialista en Sistemas Gerenciales de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Master y candidato a Ph. D. en Ingeniería Civil, INSA, Francia. Profesor asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: andres.torres@javeriana.edu.co*

**** *Bacterióloga, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Especialista en Microbiología, Universidad de los Andes, Colombia. Master en Tecnología del Agua, Universidad Politécnica de Cataluña, España. Master en Microbiología, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Doctora en Biología, Universidad de Barcelona, España. Profesora asociada, Departamento de Microbiología, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: campos@javeriana.edu.co*

***** *Ingeniero civil, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Correo electrónico: leduartec@hotmail.com*

***** *Ingeniero civil, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.*

***** *Ingeniera civil, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Joven investigadora, Grupo de Investigación en Reutilización y Tratamiento de Aguas Residuales mediante Tecnologías de Bajo Impacto, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Correo electrónico: pvillegas@javeriana.edu.co*

Resumen: la recolección de agua lluvia para usos domésticos representa una práctica interesante, tanto económicamente para el consumidor como ambientalmente para el planeta. Sin embargo, esta solución, adoptada frente a la amenaza de la limitación del recurso hídrico, no es neutra desde el punto de vista sanitario. Este artículo presenta un análisis de la viabilidad económica y técnica del aprovechamiento del agua lluvia como una alternativa para el riego y el lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá). Se desarrollan tres aspectos principales: (i) estimación de los volúmenes disponibles de agua lluvia y de los posibles puntos de recolección, (ii) análisis preliminar de calidad del agua lluvia recolectada y (iii) cálculo de los costos de construcción de la infraestructura básica para recolectar el agua lluvia y proyección del ahorro generado al utilizar la solución propuesta. Los resultados sugieren que el aprovechamiento del agua lluvia es económica y técnicamente viable y que puede representar una solución interesante para contribuir a una gestión y un desarrollo sostenibles del campus de la Universidad.

Palabras clave: abastecimiento de agua lluvia, sistemas de abastecimiento de aguas, sistemas de aspersión (riego).

Abstract: Rainwater collection for domestic uses represents an interesting practice from the economical and environmental point of view. However, this solution is adopted due to the threat of the scarcity of water resources; it is not neutral from a sanitary perspective. This paper presents an analysis of the economical and technical viability of its use as an alternative for irrigation purposes, as well as cleaning of facades and hard areas in the campus of the Pontificia Universidad Javeriana (Bogota, Colombia). Three main aspects are developed in the paper: (i) estimation of the available rainwater volumes and the possible collection points; (ii) preliminary quality analysis of the collected rainwater; (iii) estimation of the construction costs for the basic infrastructure required to collect rainwater and estimation of the monetary savings obtained with the proposed solution. The results suggest that the use of rainwater is economically and technically viable, and that it may contribute with a sustainable management and development of the University's campus.

Key words: Water-supply rain, water supply systems, sprinkler systems (irrigation).

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el papel del agua lluvia en las ciudades se está replanteando. En efecto, el agua lluvia está pasando de considerarse un desecho, del cual hay que deshacerse lo antes posible, a considerarse un recurso (Vishwanath, 2001; De Graaf, Van der Brugge y Lankester, 2007; Fletcher, Mitchell y Delectic, 2007). La recolección de aguas lluvias para usos domésticos representa una práctica interesante, tanto económicamente para el consumidor como ambientalmente para el planeta. Sin embargo, esta solución, adoptada frente a la amenaza de

la limitación del recurso hídrico, no es neutra desde el punto de vista sanitario (Chocat, 2006).

Pensando en esto, la Pontificia Universidad Javeriana, dentro del marco de Plan de Manejo Ambiental, concibió un proyecto a través del cual busca analizar la viabilidad económica y técnica del aprovechamiento del agua lluvia como una alternativa para el riego y el lavado de zonas duras y fachadas del campus de su sede en Bogotá. Este proyecto está liderado por el Grupo de Investigación Reutilización y Tratamiento de Aguas Residuales mediante Tecnologías de Bajo Impacto, de la misma Universidad, y se inscribe en un estudio más amplio que busca determinar la cantidad de agua del campus de la Universidad Javeriana potencialmente reutilizable, su calidad y posibles usos y la infraestructura necesaria para tal fin.

Este artículo presenta tres aspectos principales: (i) estimación de los volúmenes disponibles de agua lluvia y de los posibles puntos de recolección, (ii) análisis de la calidad del agua lluvia recolectada y (iii) cálculo de los costos de construcción de la infraestructura básica para recolectar agua lluvia y comparación con el ahorro generado al utilizar la solución propuesta.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de levantamientos topográficos existentes, se realizó un *modelo digital de elevaciones* (MDE). Este modelo permitió determinar las áreas de drenaje y ubicar los potenciales lugares de recolección de aguas. Dicho modelo fue complementado con las superficies pertenecientes a todas las cubiertas de la Universidad. Se realizó un levantamiento catastral de las redes de alcantarillado dentro del campus, el cual se incorporó al MDE para de esta forma georreferenciar los sumideros, las alcantarillas y las tuberías con sus diámetros, cotas y direcciones de flujo.

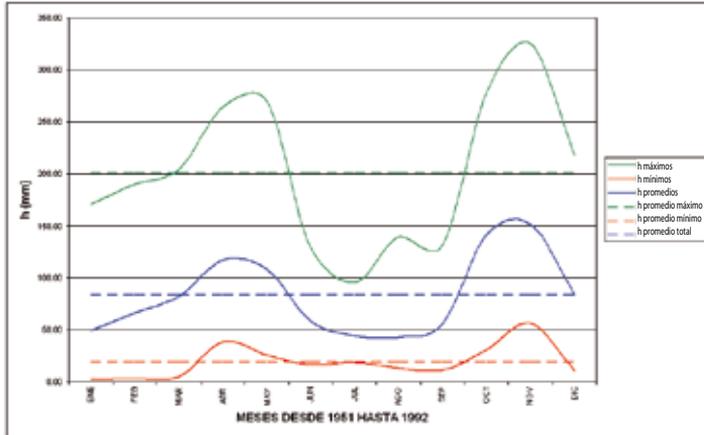
Se realizó un balance hidrológico para el área de drenaje del campus. Dicho análisis consistió en calcular la altura acumulada mensual de lluvia (en mm), según la información pluviométrica registrada por el Instituto Geofísico de la Universidad entre 1951 y 1992. Se plantearon tres escenarios (mínimo, promedio y máximo) de oferta hídrica mensual en el campus, de manera que se pudiera tener en cuenta la variabilidad de la información disponible (Figura 1).

A partir de las alturas acumuladas de lluvia y con la información de los diferentes tipos de superficies del campus —y según los cálculos de sus respectivos coeficientes de escorrentía (Chow, 1994; Monsalve, 1999; Merritt, Loftin y Ricketts, 1999)— se calculó la oferta en términos de volumen según el método racional (Chow, 1994) para cada mes y cada escenario planteado.

Posteriormente se calculó la demanda de agua potable en el campus. Este cálculo se realizó teniendo como base las facturas proporcionadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá entre 2000 y 2004. Al

igual que para la oferta hídrica, se realizaron tres escenarios de consumo mensual de agua potable (mínimo, promedio y máximo). Específicamente, se calcularon los consumos para ciertos usos específicos susceptibles de ser satisfechos a partir del aprovechamiento del agua lluvia, como riego por goteo, lavado de zonas duras y lavado de fachadas.

Figura 1. Oferta hídrica mínima, promedio y máxima mensuales en el campus de la Universidad Javeriana



Fuente: presentación propia de los autores.

Se proyectó el volumen de agua lluvia que debe ser almacenado en los puntos IN8 e IN10. Estos volúmenes se determinaron comparando las estimaciones anuales de oferta y demanda (para riego por goteo, lavado de zonas duras y lavado de fachadas) acumuladas promedio, a partir de las estimaciones mensuales acumuladas promedio.

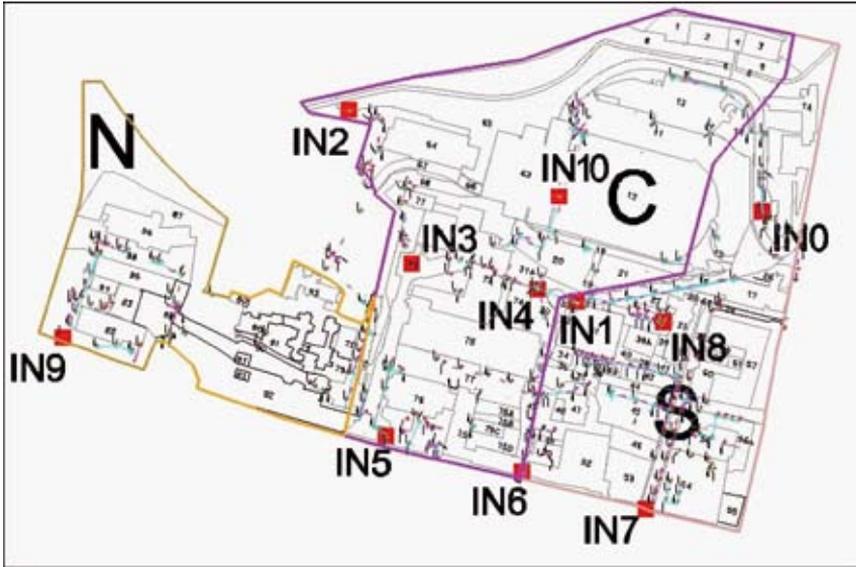
Se realizó un análisis preliminar de la calidad del agua que se puede captar, con el fin de evaluar su adecuación para el uso deseado. Este análisis consistió en el recuento de coliformes fecales y en la determinación de la concentración de sólidos suspendidos totales para tres muestras tomadas los días 26 y 29 de noviembre de 2004. El origen de dichas muestras son: (i) cubierta del edificio del Centro Javeriano de Formación Deportiva, (ii) vía ubicada al suroriente del campus y (iii) pozo de inspección de la red de alcantarillado pluvial, ubicado en cercanías al edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad.

Finalmente, se analizaron los costos generados por adoptar las soluciones propuestas y el ahorro en agua potable para la Universidad teniendo como base las facturas proporcionadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá entre 2000 y 2004.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 presenta un plano, obtenido a partir del MDE con la ubicación de los potenciales lugares de recolección de aguas lluvias en el campus, numerados de IN0 a IN10.

Figura 2. Localización puntos (IN) de recolección de aguas lluvias



Fuente: presentación propia de los autores.

De los once posibles puntos de recolección propuestos, se seleccionaron los puntos IN8 e IN10, teniendo en cuenta las condiciones topográficas susceptibles de permitir la construcción de tanques de almacenamiento y de captar la mayor parte del agua de escorrentía.

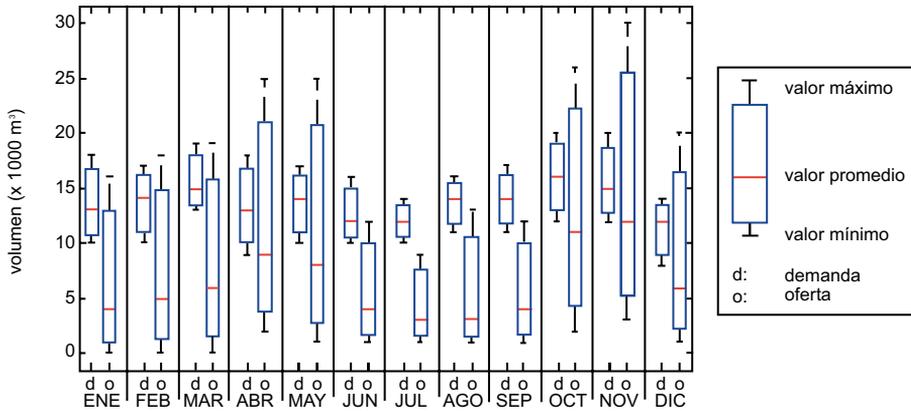
A manera de comparación, en la Tabla 1 y en la Figura 3 se presentan los volúmenes mensuales correspondientes a la oferta y a la demanda hídrica en todo el campus para los tres escenarios propuestos. Si bien la Tabla 1 muestra un consumo mínimo del orden de diez a cien veces mayor que el volumen de lluvia mínimo proyectado, para los otros dos escenarios planteados los órdenes de magnitud entre oferta y demanda son similares.

Tabla 1. Comparación de los volúmenes estimados mensuales de consumo y de lluvia en el campus de la Universidad Javeriana

Meses	Volumen acumulado mensual (x 1.000 m ³)					
	Mínimo		Promedio		Máximo	
	Consumo	Lluvia	Consumo	Lluvia	Consumo	Lluvia
Enero	10	0	13	4	18	16
Febrero	10	0	14	5	17	18
Marzo	13	0	15	6	19	19
Abril	9	2	13	9	18	25
Mayo	10	1	14	8	17	25
Junio	10	1	12	4	16	12
Julio	10	1	12	3	14	9
Agosto	11	1	14	3	16	13
Septiembre	11	1	14	4	17	12
Octubre	12	2	16	11	20	26
Noviembre	12	3	15	12	20	30
Diciembre	8	1	12	6	14	20

Fuente: presentación propia de los autores.

Figura 3. Comparación de los volúmenes estimados mensuales de consumo y de lluvia en el campus de la Universidad Javeriana



Fuente: presentación propia de los autores.

Para la oferta promedio presentada en la Tabla 1 se proyectó la oferta en cada punto de recolección seleccionado IN8 e IN10 (Tabla 2).

Tabla 2. Oferta disponible (m³) en los puntos de recolección IN8 e IN10

Punto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
IN8	366	494	608	869	804	433	329	321	412	1.050	1.131	621	7.438
IN10	349	471	580	829	767	413	313	306	393	1.002	1.079	592	7.094

Fuente: presentación propia de los autores.

A partir de los consumos totales (Tabla 1) se calculó el consumo total anual de 3.713,5 m³ para el riego por goteo y el lavado de zonas duras y fachadas. Este cálculo proviene, a su vez, de las siguientes estimaciones: (i) riego por goteo: consumo promedio de 13,85 m³/d y un estimado de 3.325 m³/año; (ii) lavado de zonas duras: promedio de 3,94 L/m² para un total de 328,5 m³/año, y (iii) lavado de fachadas: promedio de 4,5 L/m², que representan 60 m³/año.

A partir del resultado anterior, se realizó una proyección anual del consumo en cercanías a los puntos seleccionados IN8 e IN10. A partir de esta información se planteó una estimación mensual donde, según el periodo, ciertas actividades se realizan simultáneamente (véanse tablas 3 y 4).

Tabla 3. Consumo estimado en el punto IN8 (m³)

Uso	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Riego por goteo	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Lavado de zonas duras	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	28	0
Lavado de fachada	0	0	30	0	0	0	0	0	0	30	0	0
Total	30	30	60	30	30	58	30	30	30	60	58	30

Fuente: presentación propia de los autores.

Tabla 4. Consumo estimado en el punto IN10 (m³)

Uso	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Riego por goteo	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Lavado de zonas duras	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	22	0
Lavado de fachada	0	0	13	0	0	0	0	0	0	13	0	0
Total	45	45	58	45	45	67	45	45	45	58	67	45

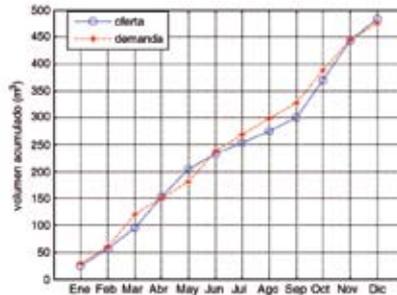
Fuente: presentación propia de los autores.

De acuerdo con la información anterior se calculó el volumen de almacenamiento en los puntos seleccionados mediante diagramas acumulados de masas. Aunque existe una buena oferta de agua lluvia en los puntos IN8 e IN10, no es necesario almacenar tal volumen, ya que el consumo requerido es apenas del 6,5% para IN8 y del 9% para IN10 del volumen total de la oferta en cada uno de esos puntos (total anual demanda/total anual oferta).

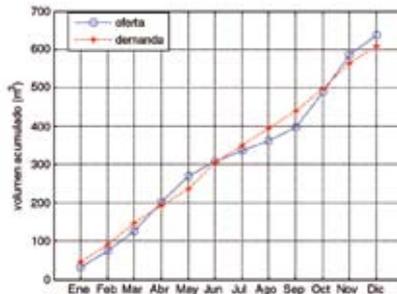
El cálculo del volumen se realizó teniendo en cuenta la diferencia de la dinámica mensual entre los volúmenes de oferta y la demanda de agua lluvia. La Figura 4 presenta los diagramas de volúmenes acumulados utilizados para calcular la capacidad requerida en los puntos IN8 e IN10.

Figura 4. Diagramas de volúmenes acumulados en los puntos IN8 e IN10 utilizados para calcular la capacidad de almacenamiento requerida

IN8



IN10



Fuente: presentación propia de los autores.

A partir de los diagramas de la Figura 4, se llegó a la conclusión de que los volúmenes necesarios requeridos en los puntos IN8 e IN10 son de 51 m³ y de 73 m³, respectivamente. Los resultados de los análisis preliminares de calidad de agua se muestran en la Tabla 5. Éstos sugieren que el agua puede ser utilizada para riego y lavado de zonas duras y fachadas. Sin embargo, la muestra 3 presenta una proporción de coliformes fecales bastante elevada (más de 1.000 UFC/100 ml) para los usos requeridos (Ministerio de Agricultura de Colombia, 1984). Esto sugiere que se deben tomar las siguientes precauciones: (i) evitar todo contacto con el ser humano, (ii) evitar hacer riegos por aspersión y (iii) de ser necesario un riego por aspersión, tomar medidas para reducir los coliformes o realizar las aspersiones en horas de la noche.

Tabla 5. Resultados de laboratorio: análisis de la calidad del agua recolectada en el campus de la Universidad Javeriana

Muestra	Fecha de toma	Coliformes fecales (UFC/ml)	Sólidos totales (mg/l)
1	26 de noviembre de 2004	<1/100	75
2	29 de noviembre de 2004	100 /100	390
3	29 de noviembre de 2004	5.000 /100	120

UFC: unidades formadoras de colonia.

Fuente: presentación propia de los autores.

Se determinaron los costos de construcción de los tanques IN8 e IN10. Teniendo en cuenta el volumen deseado de 51 m³ del tanque IN8 y considerando su ubicación en la Plazoleta de la Facultad de Ingeniería, se propone adaptar el tanque del laboratorio de hidráulica de aproximadamente 100 m³ de capacidad y dividirlo en dos partes: una para el fin diseñado originalmente (suministro de agua para prácticas en el laboratorio de hidráulica) y otra para la recolección de aguas lluvias y los usos seleccionados. Esta es la alternativa más económica en comparación con las otras consideradas.

Se plantea entonces una inversión inicial en el tanque IN10 y la adecuación del tanque IN8, por un valor aproximado de 16 millones de pesos. Estas estimaciones se realizaron según cotizaciones con contratistas, e incluyen los costos de localización y replanteo, excavaciones y construcción, así como los costos indirectos.

Se analizaron varios escenarios acerca del ahorro en términos de agua potable al adoptar la solución propuesta para el aprovechamiento del agua lluvia en los puntos IN8 e IN10. A manera de ejemplo, la Tabla 6 presenta dos de los escenarios planteados.

Tabla 6. Ahorro anual generado gracias a la reutilización (millones de pesos)

Escenario	Ahorro
Riego por goteo todos los días, lavado de zonas duras y de dos fachadas dos veces al año	17,5
Riego por goteo 20 días al mes, lavado de zonas duras y de dos fachadas dos veces al año	12,0

Nota: los cálculos tienen en cuenta el precio actual del m³ no residencial y su efecto sobre la factura del servicio.

Fuente: presentación propia de los autores.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se seleccionaron dos puntos de recolección de agua lluvia (IN8 e IN10) teniendo en cuenta las condiciones topográficas susceptibles de permitir la construcción de tanques de almacenamiento y de captar la mayor parte del agua de escorrentía, que privilegian las soluciones de drenaje por gravedad. Para dichos puntos se estimaron los volúmenes mensuales consumidos para riego por goteo y lavados de zonas duras y fachadas y los volúmenes mensuales de agua lluvia susceptibles de ser aprovechados para tal fin. Los resultados muestran que el agua lluvia es suficiente para el uso deseado y que es necesario almacenar volúmenes de 51 m³ para IN8 y de 73 m³ para IN10.

Para tres puntos de muestreo se midieron los índices de coliformes fecales y sólidos totales. A partir de estos resultados se concluye que el agua puede ser utilizada para riego y lavado de zonas duras y fachadas, pero evitando todo contacto con el ser humano y hacer riegos por aspersión. De ser necesarios tales riegos, se recomienda tomar medidas para reducir los coliformes o realizar las aspersiones en horas de la noche. Sin embargo, se recomienda llevar a cabo ensayos más profundos de la calidad del agua, diversificando los puntos de muestreo.

Finalmente, se determinó que: (i) la inversión inicial para construir el tanque en el punto IN10 y adaptar el tanque del laboratorio de hidráulica de tal forma que satisfaga el volumen requerido en el punto IN8 es de 16 millones de pesos; (ii) según las prácticas de riego y de lavado, el ahorro anual generado gracias al aprovechamiento del agua lluvia en el campus en los dos puntos considerados está por encima de 12 millones de pesos.

Los resultados de este estudio son preliminares, pero sugieren que es viable técnica y económicamente el aprovechamiento de las aguas lluvias como una solución alternativa a algunos usos de agua en el campus de la Universidad Javeriana (sede Bogotá) y que puede representar una solución para contribuir a una gestión y un desarrollo sostenibles del campus.

REFERENCIAS

- CHOCAT, B. Les préoccupations sanitaires liées aux eaux pluviales et à l'assainissement. «*Eau et Santé*», *Eaux pluviales et assainissement: nouvelles préoccupations sanitaires*. Lyon, 2006.
- CHOW, V. T. y MAIDMENT, D. *Hidrología aplicada*. Bogotá: McGraw Hill, 1994.
- COLOMBIA. Ministerio de Agricultura. *Decreto 1594 de 1984 sobre el uso del agua y los residuos líquidos*. Bogotá, 1984.
- DE GRAAF, R., VAN der BRUGGE, R. y LANKESTER, J. Local Water Resources and Urban Renewal. A Rotterdam Case Study. *NOVATECH 2007, 6th International Conference on Sustainable*

Techniques and Strategies in Urban Water Management. Lyon, France, 2007, p. 189-196.

FLETCHER, T. D., MITCHELL, V. G. y DELECTIC, A. Is Storm Water Harvesting Beneficial to Urban Waterway Environmental Flows? *Water Science & Technology*, 2007, 55 (4): 265-272.

MERRITT, F., LOFTIN, M. y RICKETTS, J. *Manual del ingeniero civil*. 4th ed. México: McGraw Hill, 1999.

MONSALVE, G. *Hidrología en la ingeniería*. 2ª ed. Medellín: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999.

VISHWANATH, S. *Domestic Rainwater Harvesting: Some Applications in Bangalore, India*. RWH Conference, IITD, New Delhi, April 2001.