



XXIII SEMINARIO NACIONAL DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA IBAGUÉ, 15 AL 17 DE AGOSTO DEL 2018

ATENUACIÓN DE CAUDALES PICO Y RETENCIÓN DE ESCORRENTÍA URBANA MEDIANTE UN TANQUE DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIA

Edgar L. Villarreal, Maryory Puente

Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, elvillarreal@unal.edu.co

Universidad de Los Andes – Venezuela, maryorypuente@ula.ve

RESUMEN:

En el Edificio Insignia Julio Garavito Armero de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, se implementó un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, cuya función principal es la de abastecer los sanitarios y orinales del Edificio y así promover el ahorro del agua potable. Los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias tienen funciones adicionales. En el presente artículo se hace un análisis de la capacidad del tanque como sistema de retención de agua de lluvia y atenuación de caudales pico. Utilizando perfiles sintéticos de lluvias y series históricas de precipitaciones registradas en el campus de la Universidad, así como las demandas del edificio, se lleva a cabo el análisis del sistema en pasos de tiempo diario, semanal y mensual, utilizando el algoritmo *yield-after spillage* (YAS). Los resultados muestran que la capacidad de retención del tanque está entre el 31% y 69%, al mismo tiempo que se logran importantes disminuciones del caudal pico, con lo que se demuestra que el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias cuenta con beneficios adicionales, constituyéndose así en un elemento de drenaje urbano sostenible.

ABSTRACT:

In the Building Julio Garavito Armero of the School of Engineering, National University of Colombia - Bogota Campus, a rainwater harvesting system was implemented, whose main function is to supply the toilets and urinals of the building and thus promote the saving of drinking water. Rainwater harvesting systems have additional functions. In this article, an analysis of the capacity of the tank as a stormwater retention system and attenuation of peak flows is made. Using synthetic rainfall and historical series of rainfall recorded on the campus of the University, as well as the demands of the building, an analysis of the system is carried out in daily, weekly and monthly time steps, using the yield-after spillage algorithm (YAS). The results show that the capacity of retention of the tank is between 31% and 69%, at the same time that important decreases in the peak flow are achieved, which shows that the rainwater harvesting system has additional benefits, constituting well in a sustainable urban drainage element

PALABRAS CLAVE: Tanque de agua de lluvia, detención de agua de lluvia, atenuación de caudales pico.

Mayor Información

INTRODUCCIÓN

La urbanización trae consigo la creación extensas zonas impermeables. Este cambio en el uso del suelo tiene grandes impactos sobre el ciclo del agua, en particular la reducción de la capacidad de infiltración del suelo (Figura 1). Esto trae consigo la producción de grandes volúmenes de escorrentía en zonas urbanas, los cuales son tradicionalmente drenados por medio de sistemas de alcantarillado, causando problemas ambientales aguas debajo de los puntos de recolección, así como caudales pico de mayor magnitud a aquellos que se tenían antes de la urbanización.

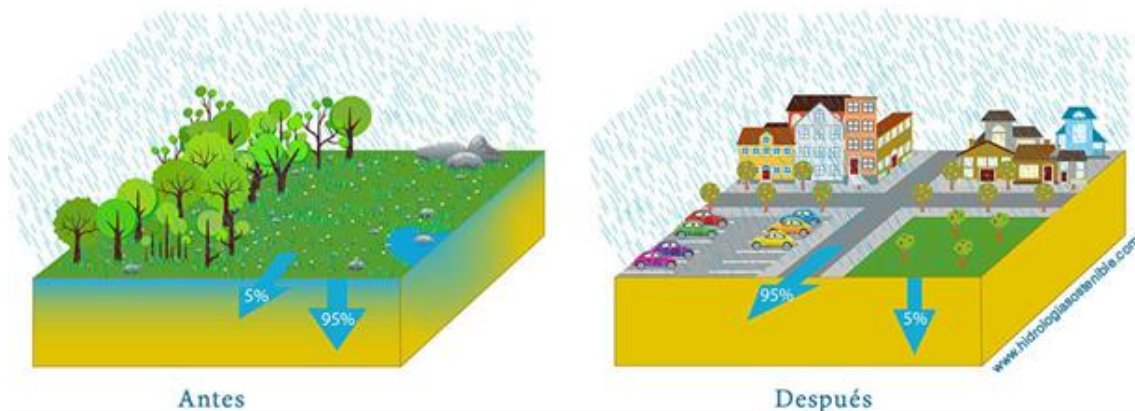


Figura 1.- Disminución de la infiltración producto de la urbanización.

Durante las últimas décadas se han venido implementando con éxito los sistemas de recolección de aguas lluvias en ambientes urbanos. Estos sistemas son diseñados para captar el agua lluvia de techos y otras superficies impermeables, para posteriormente aprovecharla en usos que no requieren agua de alta calidad, como por ejemplo riego de jardines, sanitarios, lavado de autos, entre otros (Novak et al., 2014). Se ha demostrado a través de varios estudios a nivel internacional (Villarreal y Dixon, 2005; Burns et al., 2015; Vaes y Berlamont, 2001), que la recolección de agua de lluvia por medio de estos sistemas tiene beneficios adicionales, tales como la retención de volúmenes de escorrentía y la atenuación de caudales pico, constituyendo así importantes elementos de un sistema de drenaje sostenible.

En varias ciudades colombianas se han instalado y están en uso este tipo de sistemas para el ahorro de agua potable; sin embargo, no existen normas de diseño y construcción de estos, ni tampoco se ha hecho estudios que demuestren los beneficios de instalar esos sistemas en nuestro medio. Con el presente estudio se busca contribuir en esta dirección. Para ello se utiliza como caso de estudio el sistema de recolección de aguas lluvia del Edificio Insignia Julio Garavito Armero de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, el cual fue diseñado inicialmente para promover el ahorro de agua potable. En este artículo se evalúa en particular el desempeño el tanque de almacenamiento de este sistema, como elemento de retención y atenuación de caudales pico.

Mayor Información

METODOLOGÍA

Descripción del sistema de recolección de agua de lluvia:

El Edificio Julio Garavito Armero (Figura 2) es una obra arquitectónica patrimonio de la Universidad Nacional de Colombia. Como parte de las obras de remodelación que finalizaron en el año 2015, se implementó un sistema de recolección de aguas lluvia con el fin de suministrar la demanda de los baños y orinales del edificio, y de esta forma promover el ahorro agua potable. El edificio cuenta con salones de clase, auditorios y salas de computo, además de varias oficinas. De acuerdo con las estadísticas de la Universidad, para el periodo académico 2018 la ocupación diaria del edificio varía entre aproximadamente 3900 y 5200 personas de lunes a jueves, mientras que los viernes es de 1200 y los sábados de 320 personas, aproximadamente.

El sistema de recolección de agua de lluvia cuenta con un tanque de 18 m³ (construido en concreto armado), en el cual se colecta el agua lluvia proveniente de la cubierta del edificio (que tiene un área de 1800 m², construido en teja criolla a tres aguas). El agua lluvia colectada en el tanque pasa por un filtro de arena y un clorinador, y se bombea a un tanque de agua combinada (agua lluvia tratada y agua del acueducto), y de allí se distribuye a los baños del edificio por medio de bombeo. En caso de que no haya agua lluvia disponible en el tanque, los baños se abastecen con agua del acueducto.



Figura 2.- Edificio Julio Garavito Armero

Evaluación de la capacidad de retención del sistema

La estimación de la capacidad de retención del tanque, se llevó a cabo mediante el algoritmo *yield-after spillage* (Jenkins et al. 1978), mediante el cual se llevan a cabo

Mayor Información

simulaciones continuas del sistema, teniendo como información de entrada la geometría del área de recolección, datos de precipitación, y demandas de agua en la edificación. El algoritmo permite realizar un seguimiento al cambio en el volumen de almacenamiento. Para el presente análisis se tuvieron las siguientes consideraciones:

- **Volumen de entrada Q_t**

Se asumió que, para un cierto evento de precipitación, toda el agua lluvia proveniente del techo llega al tanque (es decir, no hay pérdidas):

$$Q_t = A \cdot R_t \quad [1]$$

donde:

$Q_t [m^3]$ = Volumen de agua lluvia que entra al tanque en el paso del tiempo t .

$A [m^2]$ = Área del techo del edificio.

$R_t [m]$ = Precipitación en el paso de tiempo t .

- **Volumen descargado por desbordamiento del tanque Q_{Dt}**

El volumen descargado por desbordamiento se determina como:

$$Q_{Dt} = \max \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + A \cdot R_t - S \\ 0 \end{array} \right. \quad [2]$$

donde:

$V_{t-1} [m^3]$ = Volumen almacenado en el tanque para el tiempo $t - 1$.

$S [m^3]$ = Capacidad de almacenamiento del tanque.

Para el presente estudio se asumió que el tanque estaba inicialmente vacío para llevar a cabo las simulaciones.

- **Rendimiento del tanque Y_t**

Esta variable se define como el valor más pequeño entre la demanda en el intervalo de t , y el volumen de agua de lluvia almacenado en el intervalo del tiempo $t - 1$:

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} \end{array} \right. \quad [3]$$

Para el presente estudio, D_t es la demanda de los baños del edificio (sanitarios y orinales).

- **Volumen almacenado V_t**

Para determinar el volumen almacenado en el tanque para un determinado tiempo t , se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + A \cdot R_t - Y_t \\ S - Y_t \end{array} \right. \quad [4]$$

Retención de agua de lluvia y reducción de caudales pico

Finalmente, el desempeño de retención volumétrica del tanque se utiliza la eficiencia de retención (E_R), definida como:

$$E_R = \left[1 - \frac{\sum Q_{Dt}}{\sum A \cdot R_t} \right] \cdot 100 \quad [5]$$

Mientras que la eficiencia del tanque para reducir caudales pico (E_{PR}) está dada por

$$E_{PR} = \left[1 - \frac{Q_{D \text{ pico}}}{A \cdot R_{\text{pico}}} \right] \cdot 100 \quad [6]$$

En cuanto a la información de precipitación necesaria para llevar a cabo una evaluación comprensiva del sistema, se tuvieron en cuenta perfiles de lluvia tanto reales como sintéticos, como se detalla a continuación.

• Precipitaciones

Para obtener los perfiles de lluvias sintéticas se empleó la ecuación de las curvas IDF de la Estación Universidad Nacional operada por el IDEAM (Acueducto, 2015), utilizando el método del bloque alterno (Figura 3). La información de precipitaciones reales se obtuvo de uno de los pluviógrafos de la red operada en el campus de la Universidad Nacional por y el Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos (GIREH).

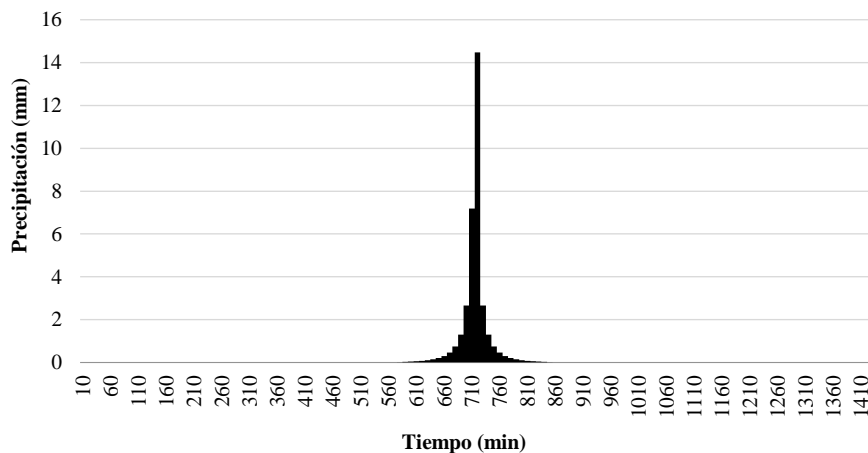


Figura 4.- Ejemplo de hietograma sintético: $T_r = 3$ años, duración 24 horas, para la estación Universidad Nacional – IDEAM

Para los perfiles reales de precipitación se contó con un registro de precipitaciones desde el año 2007 hasta el 2011. De estos registros se obtuvieron valores de precipitación cada 10

minutos para las tormentas más intensas registradas durante los dos periodos de lluvia (marzo, abril, mayo y septiembre, octubre, noviembre). Con esta información, se construyeron hietogramas de precipitación diaria (Figura 5).

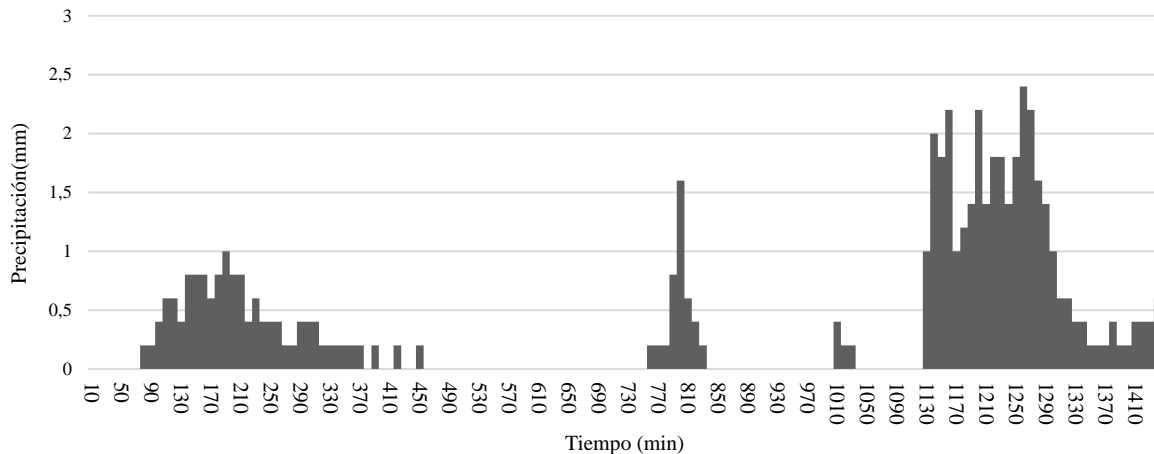


Figura 5.- Hietograma de precipitación diaria para la tormenta del 24 de mayo, 2008

- **Patrón de demanda de los baños del edificio**

Con el fin de conocer el patrón de la demanda de los baños del edificio, se instaló un medidor ultrasónico (SPIREMT 280-R-DN40), por medio del cual se obtuvieron datos de consumo reales cada 10 minutos. El periodo de medición considerado en el presente análisis va desde el 16/03/2018 al 18/05/2018. Las mediciones recolectadas se analizaron con el objetivo de identificar cómo varían los consumos para diferentes periodos de tiempo. Con esta información se construyeron curvas acumuladas de consumos para los diferentes días de la semana, así como para las diferentes semanas del periodo de mediciones. En la Figura 6 se presenta, a manera de ejemplo, la respectiva curva para los días lunes, y en la Figura 7 para las semanas. La variación en los consumos diarios se contrastó con la información de ocupación para esos días, con lo que se pudo determinar que las diferencias se deben al número de personas presentes en el edificio. Los días viernes y sábados, la ocupación es relativamente baja ya que solo se programan actividades académicas hasta el mediodía.

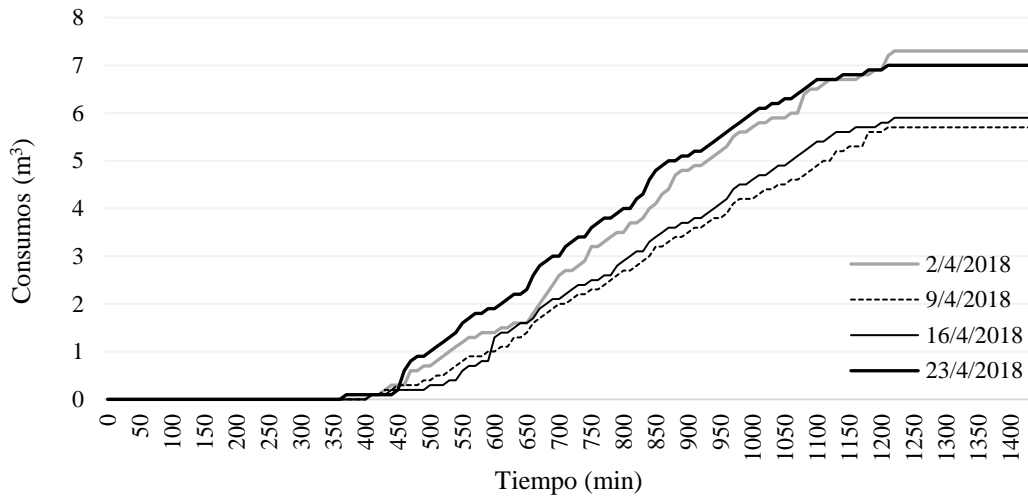


Figura 6.- Consumos acumulados de los baños para los días lunes.

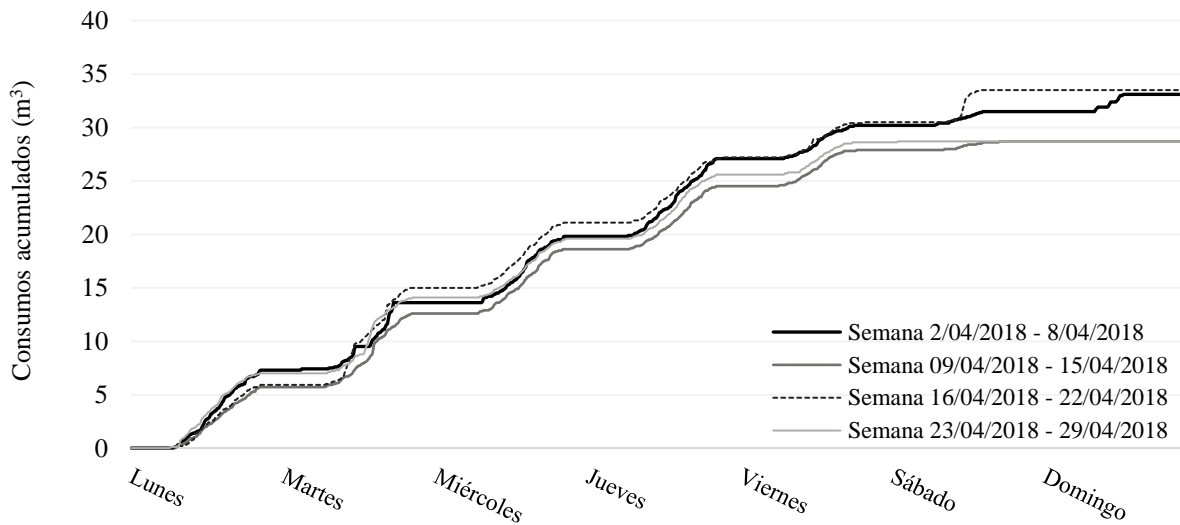


Figura 7.- Consumos acumulados de los baños por semanas.

Las curvas semanales de consumo muestran un comportamiento más regular que las diarias. De acuerdo con lo anterior, para los análisis se asumió un comportamiento de consumo característico por cada uno de los días de la semana, así como uno característico para la semana. Para el caso de estudio se escogió como semana característica la del lunes 02/04/2018 hasta el domingo 8/04/2018.

Puesto que a la fecha de llevar a cabo los análisis se contaba con un mes completo de registros de consumos en el Edificio (desde el lunes 2/04/2018 hasta el domingo 29/04/2018), y como se acaba de demostrar el comportamiento semanal es muy regular, se

Mayor Información

decidió tomar esta información para extender el periodo de análisis a dos periodos académicos. De esta forma, se evaluó el desempeño del sistema para dos semestres académicos con la idea de tener en cuenta en la evaluación las dos temporadas de lluvias típicas de Bogotá. El primer periodo de análisis comprende los meses de febrero hasta mayo, incluyendo la semana santa, y el segundo periodo desde agosto hasta noviembre, donde se tuvo en cuenta la semana universitaria, que para efectos del presente análisis fue representada por las mediciones tomadas en semana santa. Los meses de enero, junio, julio y diciembre, no fueron tomados en cuenta para el análisis, debido a que la ocupación del edificio en estos meses disminuye notoriamente.

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Utilizando como información de entrada los perfiles de lluvias sintéticas, los resultados de los análisis a nivel diario muestran que hay eficiencias de retención, E_R , entre el 31% y el 36% para periodos de retorno de 3 y 5 años, mientras que, para periodos de retorno mayores las E_R se alcanzaron valores entre 24% y 30% (ver Tabla 2). Esto se debe a que las demandas de consumo en el edificio no varían, mientras que las profundidades de precipitaciones son mayores para periodos de retorno más grandes, y por lo tanto el tanque tiene menor capacidad para retener el agua de lluvia.

Tabla 2.- Resumen del porcentaje de retención de los días característico para cada periodo de retorno, utilizando perfiles de lluvia sintéticos.

Tr	P Total (mm)	E _R (%)				
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
3 años	35,9	36,1	34,8	35,0	35,5	32,9
5 años	38,8	33,6	32,4	32,6	33,1	30,5
10 años	43,0	30,5	29,4	29,6	30,1	27,5
25 años	49,4	26,9	25,9	25,9	26,6	24,0

En la Tabla 2 también se puede apreciar que el efecto del día de la semana no influye significativamente en la eficiencia de retención. Es así como se obtuvieron diferencias muy pequeñas entre los días lunes a jueves. Esto se debe a la regularidad de los consumos diarios en el edificio. Se observa además que para los días viernes el E_R es bajo en comparación con los demás días de la semana. La baja ocupación del Edificio este día de la semana hace que el consumo disminuya y el tanque tenga menos volumen disponible para retener lluvia (ver Figura 8).

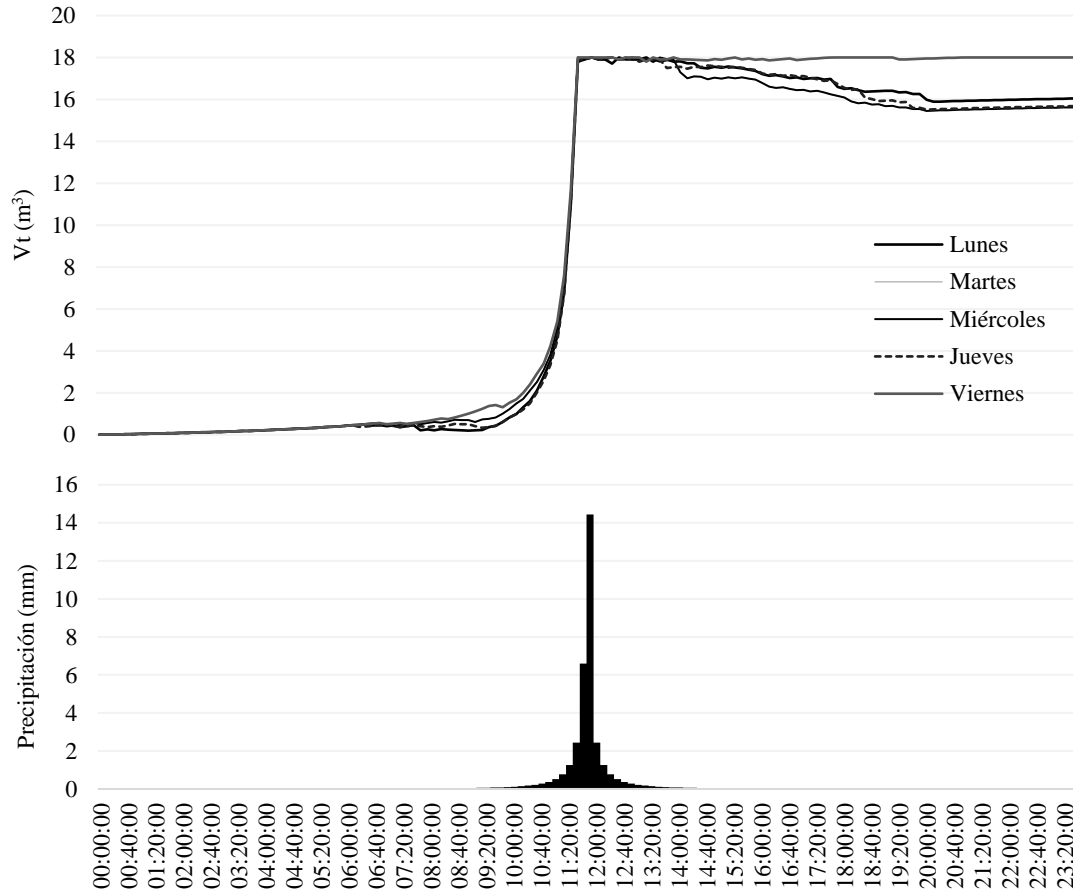


Figura 8.- Variación del volumen acumulado en el tanque para cada día de consumo del edificio, durante un evento de lluvia con $T_R = 3$ años.

También se analizó el caso para el cual el centro del aguacero del hietograma de diseño coincidiera con el inicio de actividades en el edificio, es decir, a las 6 a.m. Teniendo en cuenta esta consideración se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 3. Se puede observar que la $E_R = 35,9\%$ fue la más pequeña y se trata del día de menor consumo (viernes), mientras que para el resto de los días se puede observar que las E_R aumentan, en comparación con los obtenidos en la Tabla 3. De esta forma se hace evidente que la E_R depende de la hora del aguacero y las demandas del edificio.

Tabla 3.- Eficiencias de retención de cada día para cada periodo de retorno, moviendo el centro del aguacero a las 6 a.m.

T_R	Precipitación Total (mm)	E_R (%)				
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
3 años	21,9	50,8	49,6	49,6	50,1	48,5
5 años	26,6	47,3	46,1	46,1	46,6	45,1
10 años	26,2	42,8	41,9	41,9	42,3	40,8
25 años	30,1	37,5	36,7	36,8	37,2	35,9

Mayor Información

De otro lado, utilizando mediciones de eventos reales de precipitación se pretendió evaluar la capacidad de retención del sistema las E_R de una manera más ajustada a la realidad. Las variaciones de las eficiencias de retención presentaron rangos que se pueden distinguir de la siguiente forma: si la precipitación acumulada de un día oscila entre 34 – 47 mm la E_R estaba entre 25 – 35%; para 25 – 33 mm el E_R varia 40 – 50%, para 17 – 24 mm entre 51 – 69%, y para profundidades menores a 16 mm la E_R alcanzo valores hasta del 100%.

A manera de ejemplo, en la Figura 9 se pudo observar que para la precipitación del jueves 5/04/2007 y el consumo correspondiente al día característico del jueves 5/04/2018, el tanque presenta un $E_R= 47,8 \%$ para una precipitación acumulada de 28,8 mm.

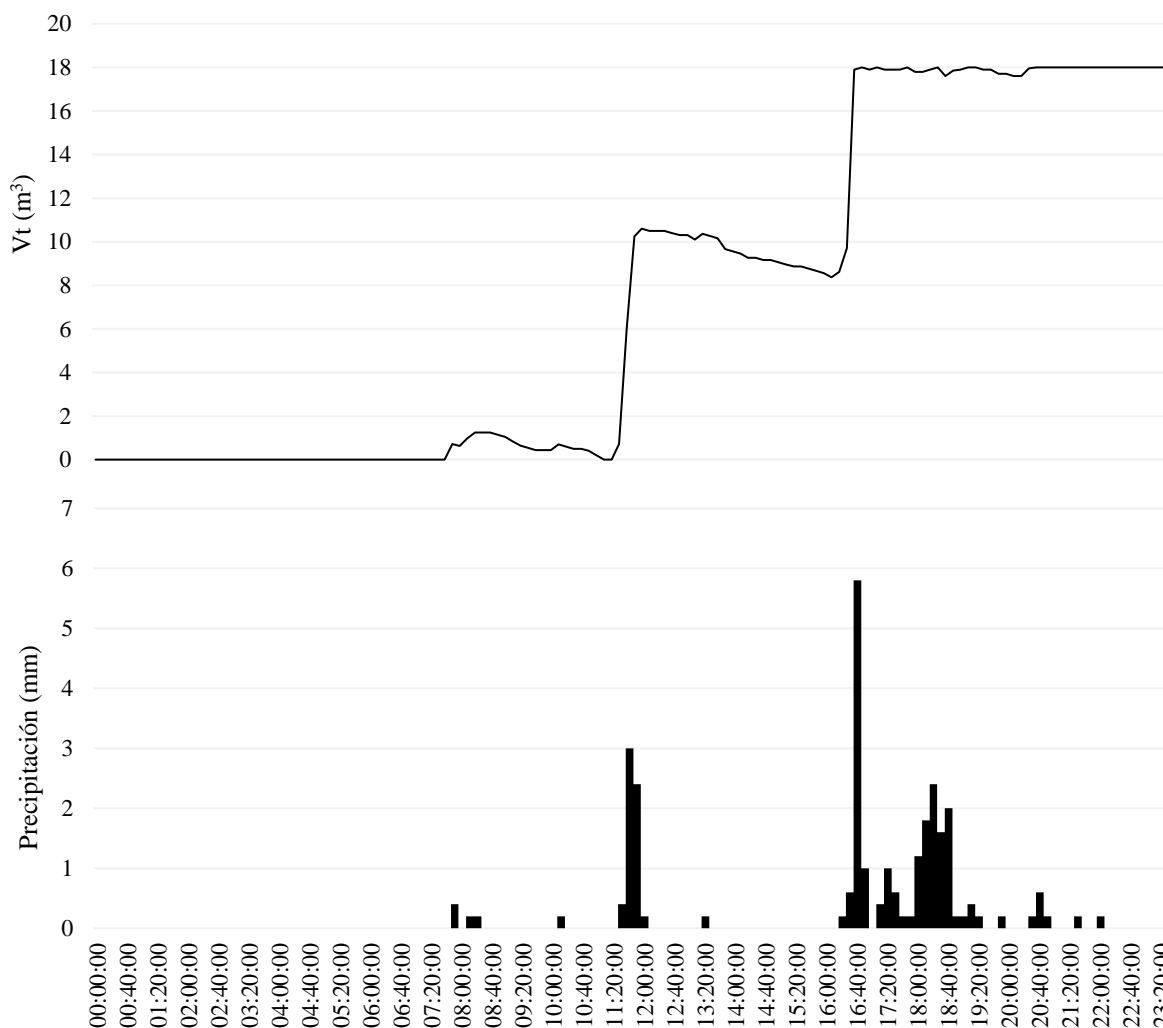


Figura 9 Variación del volumen del tanque vs el tiempo, para el evento del jueves 5/04/2007.

Los resultados de los análisis a nivel semanal muestran también unas tendencias, las cuales se pueden resumir de la siguiente manera: si la precipitación acumulada semanal se encuentra entre 100 – 120 mm, la E_R varía entre 19 – 24%, para 65 – 81 mm entre 31 –

Mayor Información

37%, para 30 – 62 mm los valores de E_R oscilan entre 38 – 52%, para precipitaciones menores a 30 mm se obtuvieron retenciones de hasta el 100%.

A manera de ejemplo en la Figura 10 se presenta el comportamiento del tanque para una semana cuya precipitación acumulada es de 59,8 mm, para la cual $E_R=38,3\%$.

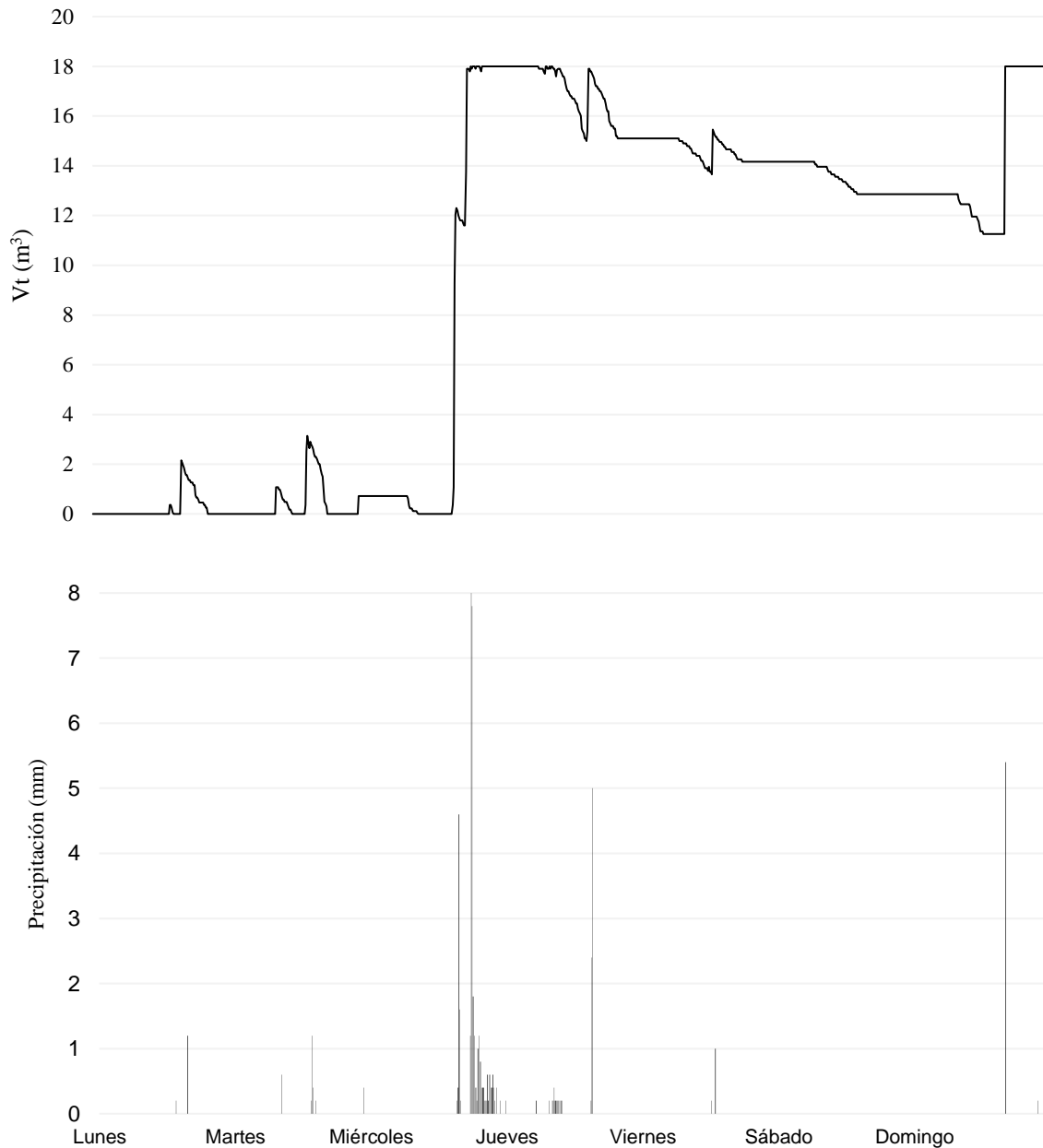


Figura 10. Variación del volumen del tanque vs el tiempo. Para el evento generado durante la semana lunes 12/10/2009 – domingo 18/10/2009.

Con el objetivo de analizar el comportamiento del sistema en el largo plazo, se tomaron cuatro meses del consumo del edificio y se utilizaron cuatro meses concurrentes de precipitaciones reales medidas en la Universidad. De esta forma se quiso analizar la efectividad del sistema a nivel semestral, tratando de simular el periodo correspondiente a

Mayor Información



un año académico. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 4; como se puede observar, para periodos de tiempo más largos, en este caso para cuatro meses, se encontraron valores de E_R entre 39 y 51%. Del análisis también se destaca que la profundidad de precipitación acumulada no influye sobre el E_R para el periodo de tiempo considerado.

Tabla 4.- Resultados del porcentaje de retención en función de los meses de consumo y de lluvia. (FMAM = febrero, marzo, abril y mayo. ASON = agosto, septiembre, octubre, noviembre.)

	Precipitación acumulada (mm)	E_R (%)
FMAM2011	589,4	41,3
ASON2011	504,4	39,7
ASON2010	479,4	44,0
FMAM2008	415,4	42,0
ASON2007	359,6	45,5
ASON2008	354,6	50,3
FMAM2009	299,2	48,3

En la Figura 11 se presenta a manera de ejemplo la variación del volumen del tanque en función de los cuatro meses de lluvia; para el ejemplo mostrado se obtuvo una $E_R = 42\%$.

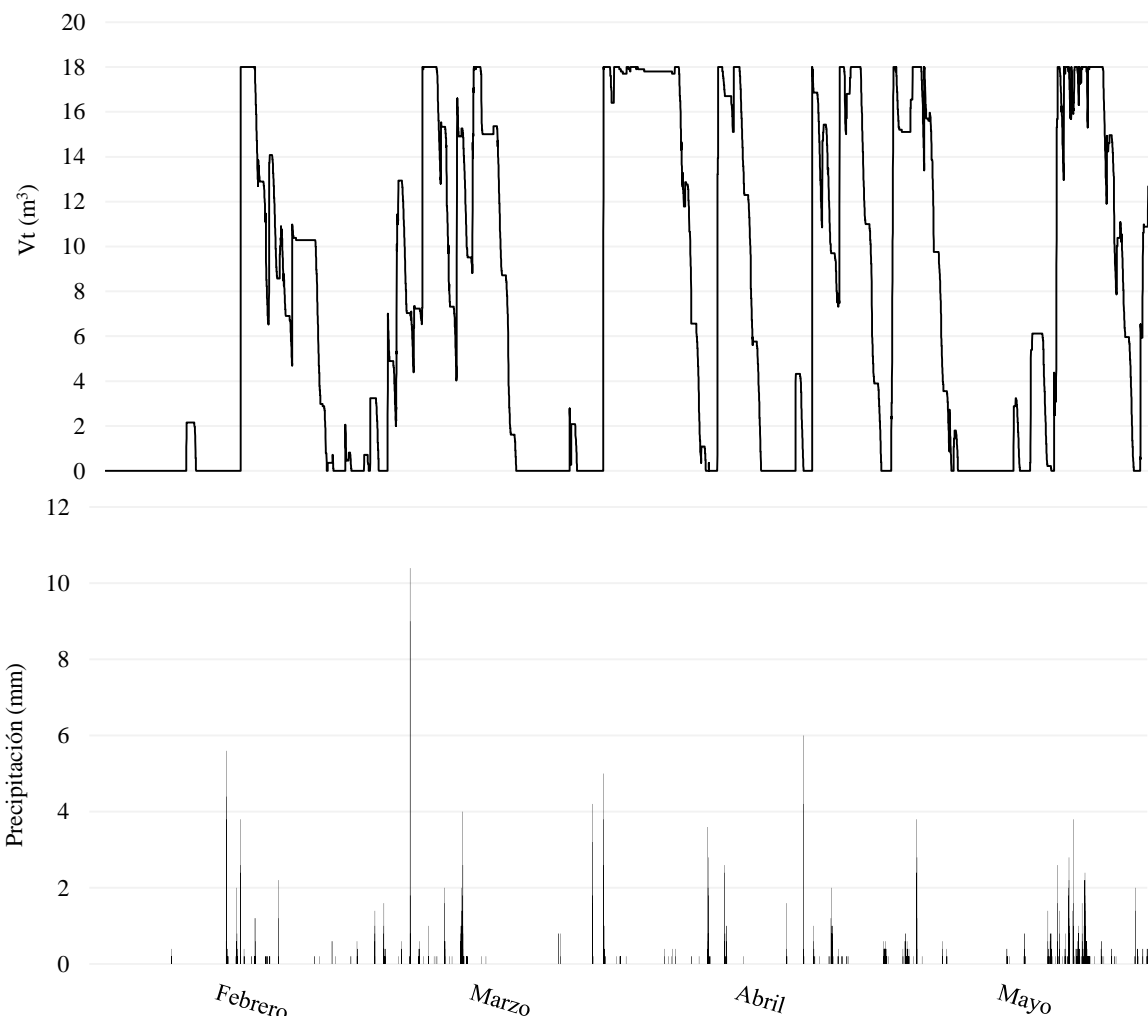


Figura 11.- Variación del volumen del tanque en función de cuatro meses de precipitación del año 2008.

En cuanto al efecto de atenuación de caudales pico, este se evaluó considerando eventos independientes de precipitación. Para efectos del análisis se consideró que dos eventos son independientes si han transcurrido más de dos horas entre eventos. Los resultados de las simulaciones muestran que se alcanzan reducciones de caudal pico entre el 30% y el 65%, mientras que para aquellos casos en que la retención es del 100%, se alcanzan atenuaciones del 100%. Como es de esperarse, los mayores valores de E_{PR} se obtienen para aquellos casos en que el tanque no estaba completamente lleno; a este respecto, cabe anotar que el tanque se llena con 10 mm de precipitación efectiva. Otro factor determinante para la atenuación de caudales pico son las horas en las que se presentan las mayores demandas de agua, en el edificio, ya que esto contribuye a que haya más volumen disponible en el tanque para lograr el efecto de la atenuación. Finalmente, para cierto tipo de eventos de lluvia se pudo constatar que la atenuación del pico se presentaba solo para una parte del evento, mientras que una vez lleno el tanque no hay atenuación de picos.

Mayor Información



CONCLUSIONES

Con base en los resultados de los análisis diarios, semanales y mensuales se pudo establecer rangos de retención para el sistema de recolección de agua de lluvia implementado en el edificio Julio Garavito Armero. Los resultados de los análisis diarios para 36 eventos de precipitación analizados, que representan el 50% de la muestra analizada, se obtuvo una E_R entre el 40 y 69%, mientras que los análisis semanales (25 eventos de precipitación, que representan el 64% de la muestra), se obtuvieron valores de E_R entre el 31% y 52%. Los resultados de los análisis a nivel mensual muestran retenciones del 39% al 51%. Claramente, los análisis diarios dan los mayores valores de E_R ; sin embargo, se debe tener en cuenta que se asumió que el tanque estaba vacío al inicio del día. De otro lado, el rango de valores de E_R obtenidos para los análisis semanal y mensual son prácticamente el mismo. Estos resultados son comparables con los obtenidos en un estudio realizado en el sur de Italia (Campisano, et al. 2014) en el cual se obtuvieron valores de E_R entre el 30 y 50%.

En relación con las demandas dentro del edificio, se pudo determinar que estas juegan un papel importante para lograr los efectos de retención de escorrentía y atenuación de caudales pico, ya que estas establecen la disponibilidad de volumen dentro del tanque durante y entre eventos de lluvia. Resultados similares se han obtenido en otros proyectos de investigación en diferentes partes del mundo (por ejemplo, Burns et al. 2012, Campisano et al., 2014, Campisano y Modica, 2014 y Burns et al., 2015). Este estudio difiere sin embargo de otros en aspectos tales como tipo y tamaño de edificación, ocupación, y desde luego patrón de demandas de agua.

Otro aspecto que se investigó fue la atenuación de caudales pico. A este respecto, la atenuación se observó para un número de eventos de precipitación y el análisis muestra que esta reducción en los caudales pico depende en gran medida de las características del evento de lluvia y del volumen disponible en el tanque de almacenamiento. Otro factor determinante que se pudo identificar es la simultaneidad del evento de lluvia y las demandas en el edificio.

Se ha demostrado que el tanque de agua de lluvia del edificio Julio Garavito Armero tiene beneficios adicionales aparte de del ahorro de agua potable. El presente estudio hace parte de un proyecto a mediano y largo plazo, que tiene por objetivo estudiar este tipo de sistemas y destacar los beneficios que tiene implementarlos. Estos sistemas tienen el potencial de contribuir a un mejor manejo del agua lluvia en ambientes urbanos colombianos, y de esta forma constituirse en elementos de un sistema de drenaje sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acueducto – Agua Alcantarillado y Aseo de Bogotá (2015). Caracterización de tormentas y actualizaciones de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia-IDF. INGETEC, julio de 2015.

Burns, M., Fletcher, T., Hatt, B., Anthony, R. y Walsh, C. (2010). Can allotment-scale rainwater harvesting manage urban flood risk and protect stream health? *Novatech*, 1–10.

Mayor Información



Novatech 2010, 7th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management, Lyon, France.

Burns, M., Fletcher, T., Duncan, H., Ladson, A. y Walsh, C. (2012). The stormwater retention performance of rainwater tanks at the land-parcel scale. *In: 7th International Conference on Water Sensitive Urban Design*, Wong THF, Mccarthy DT (eds.). Melbourne: Australia.

Burns, M., Fletcher, T., Duncan, H., Hatt, B., Ladson, A., y Walsh, C. (2015). The performance of rainwater tanks for stormwater retention and water supply at the household scale: an empirical study. *Hydrological Processes*, 29(1), 152-160. <https://doi.org/10.1002/hyo.10142>.

Campisano, A., Di Liberto, D., Modica, C., y Reitano, S. (2014). Potential for peak flow reduction by rainwater harvesting tanks. *Procedia Engineering*, 89, 1507-1514. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.441>.

Campisano, A., y Modica, C. (2014). Selecting time scale resolution to evaluate water saving and retention potential of rainwater harvesting tanks. *Procedia Engineering*, 70(0), 218-227. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.025>.

Jenkins, D., Pearson, F., Moore, E., Kim, S., y Valentine, R. (1978). Feasibility of Rainwater Collection Systems in California. Contribution no. 173. Californian Water Resources Centre, University of California, 1978.

Novak, C. A., DeBusk, K. M., y Van Giesen, E. (2014). Designing Rainwater Harvesting Systems: Integrating Rainwater Into Building Systems. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsebk&AN=712372&lang=es&site=eds-live>.

Vaes, G., y Berlamont, J. (2001). The effect of rainwater storage tanks on design storms. *Urban Water*, 3, 303-307.

Villarreal, E., y Dixon, A. (2005). Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40(9), 1174-1184. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.10.018>.