

# Evaluación de un techo verde bajo eventos de precipitación sintéticos para caracterizar el comportamiento del flujo por escorrentía

## Evaluation of a green roof with synthetic rainfall events for a runoff flow characterization

Emmanuel Rodríguez-Bejarano<sup>1</sup>, Karolina Villagra-Mendoza<sup>2</sup>

---

Rodríguez-Bejarano, E; Villagra-Mendoza, K. Evaluación de un techo verde bajo eventos de precipitación sintéticos para caracterizar el comportamiento del flujo por escorrentía. *Tecnología en Marcha*. Edición especial. Movilidad Estudiantil 6, 2019. Pág 3-12.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v32i8.4559>



1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: emrodriguez.1828@gmail.com

2 Escuela de Ingeniería Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: kvillagra@tec.ac.cr

## Palabras clave

Techo verde; escorrentía; precipitación sintética; simulador de lluvia.

## Resumen

Techos verdes se refiere a la práctica de recubrir con una capa vegetal el techo de una estructura. A pesar de que esta estructura ha formado parte del paisaje arquitectónico característico de las tierras del norte afectadas por crudos inviernos hoy en día se ha presentado con gran auge en la arquitectura moderna. Su importancia, desde el ámbito hidrológico, radica en la capacidad que poseen para modificar el comportamiento hidrológico de un techo, de una zona y, por tanto, de una cuenca. Con el fin de cuantificar este comportamiento característico de un techo verde se llevaron a cabo una serie de pruebas con diferentes intensidades en un simulador de lluvia previamente calibrado, utilizando un techo verde de 3 metros cuadrados y eventos de precipitación desde 8 hasta 36 mm/h. Se cuantificó el volumen de agua de lluvia despejado por cada una de las capas que conformaron el techo verde. De esto se derivó que el tipo de sustrato instalado es un factor primordial para estimar el comportamiento hidráulico de la estructura ya que esta depende enteramente de la capacidad de conducción hidráulica del sustrato instalado para evitar la conformación de anegamientos en la superficie, aunado a esto, se encontró que las variaciones en la pendiente de instalación e intensidad de evento de precipitación no causaron una variación drástica sobre la curva de comportamiento del techo verde, pero sí en el volumen entregado por cada una de las capas que lo conforman.

## Keywords

Green roof; runoff; synthetic rainfall.

## Abstract

Green roof refers to the use of vegetal coating over a building's roof. This kind of structure has been seen since long ago on the characteristic architecture of the strong-winter Northern countries, however nowadays, we're witnessing a revival of this custom. It's significance, from the hydrological field of study, stands over the green roof capacity to modify the hydrological behavior of a roof, in a region and, therefore, of a basin. In order to quantify the green roof's behavior a set of experiments were carried out under a rainfall simulator using intensities from 8 up to 36 mm/h over a three square meter green roof. It was possible to quantify the rain-water volume managed by the green roof's layer outlets. It was concluded that the characteristics of the substrate installed on the green roof are very significant when modeling the hydraulic behavior of the structure, since this behavior rests on merely of the water conductivity capacity to avoid the form of swamping. In addition, it was found that the slope and intensity fluctuations did not severe affect the runoff behavior curve, but they did over the water volume lent by the green roof's layers.

## Introducción

Debido al cambio en el régimen de lluvias experimentado a nivel mundial y el impacto de diversos fenómenos climáticos (El Niño, La Niña, COENOS, etc.) cada vez es más frecuente experimentar eventos extremos de precipitación, con lluvias de mayor intensidad y corta duración [1]. Esto ha provocado el fallo de los sistemas de alcantarillado pluvial, en muchas zonas urbanas, diseñados para comportamientos hidrológicos muy diferentes a los que se han presentado en los últimos años. Por esta razón se presenta, cada vez con más frecuencia, la incidencia de inundaciones de zonas urbanas, producto de los altos volúmenes de escorrentía que deben ser evacuados, para los cuales los sistemas actuales no han sido diseñados [2].

En la búsqueda por una remediación a las secuelas causadas por estos acontecimientos han surgido diversas propuestas, innovadoras en algunos casos, para enfrentar los efectos generados por estos eventos que, mayormente, se atribuyen al cambio climático. Una de estas propuestas que ha alcanzado un auge en los últimos años [3] es la utilización de techos verdes como una iniciativa que combina una solución hidrológica al lado de un mejoramiento visual de la urbe [4].

Un techo verde consta de un techo cubierto, parcial o totalmente, por material vegetal vivo, compuesto por diferentes capas entre las que se pueden diferenciar una capa de drenaje, un sustrato de anclaje y una capa vegetal. Su aplicación no es una práctica moderna, por el contrario, su existencia data a la época de los jardines colgantes de Babilonia en el siglo VII y VIII, siendo también observados en la arquitectura característica de las tierras nórdicas; donde su función giraba en torno a formar una capa aislante, reduciendo la pérdida de calor entre la habitación y la intemperie invernal [5].

Uno de los fines significativos, al implementar techos verdes, es la modificación de las propiedades hidrológicas del área intervenida. Con esto se pretende aumentar el tiempo de retención del agua de escorrentía superficial en una zona determinada, aumentando su tiempo de concentración y, reduciendo consecuentemente el caudal pico, generado por un evento de precipitación, a la salida de la micro cuenca en la que se desarrolla el proyecto. Esto se logra a través de la modificación del tiempo de recorrido de la escorrentía desde su punto de origen hasta la descarga en el sistema fluvial [4].

La escorrentía es la generación del flujo, como respuesta rápida a un evento de precipitación, que no se infiltra en el suelo, sino que, por lo contrario, se desplaza superficialmente hasta un punto de captación conocido como cauce fluvial. En algunos casos existe la posibilidad de que se presente un flujo de agua por debajo de la superficie que alcanza el cauce fluvial con considerable rapidez, el cual es conocido como interflujo o flujo sub superficial que también forma parte de la escorrentía [6]. Por tanto, la escorrentía se puede definir como el volumen aportado en conjunto por la escorrentía superficial y el interflujo a un cauce fluvial [7].

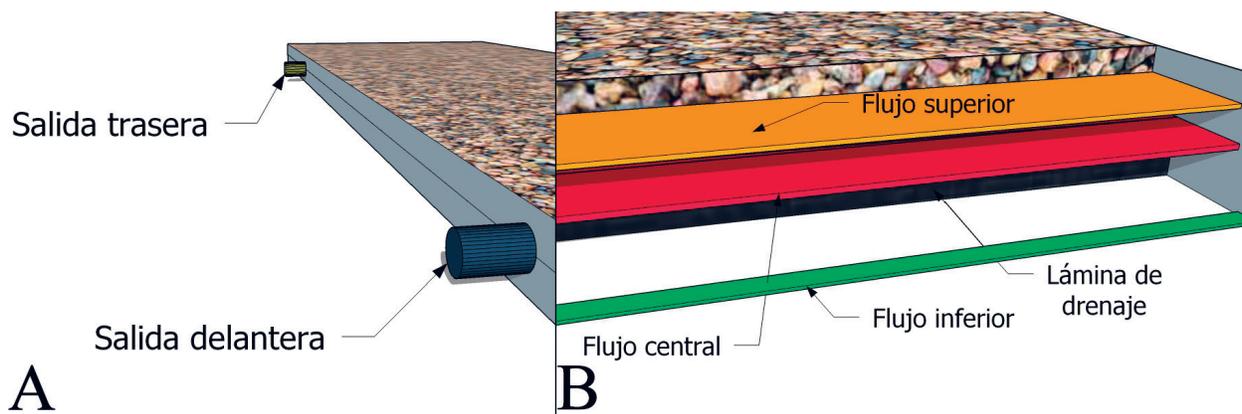
Este estudio tiene como propósito cuantificar la eficiencia de techos verdes en la reducción de escorrentía, ante un evento de precipitación, con el fin de proporcionar insumos para la modelación matemática del comportamiento de una cuenca bajo los efectos de techos verdes.

## Materiales y métodos

Las pruebas de escorrentía se realizaron utilizando un techo verde de 3 x 1 metros (largo x ancho) conformado por una lámina de drenaje Optigreen Meander Panel 30 y una capa de 6 centímetros de sustrato tipo E-Light, también de Optigreen, sin cobertura vegetal. Para los experimentos se utilizó el simulador de lluvia desarrollado por [8]. Los experimentos se llevaron a cabo en el laboratorio del Instituto de Ingeniería Ríos y Zonas Costeras de la Universidad Técnica de Hamburgo (TUHH), en Alemania. El experimento se dividió en dos fases: 1) el diseño de un método para lograr la separación de los flujos y, 2) la aplicación de eventos de precipitación sintéticos para la respectiva evaluación del techo verde.

## Separación de flujos

Para diferenciar el flujo proveniente de cada capa que conforma el techo verde se instalaron barreras físicas entre las diferentes salidas de agua. Estas son: la estructura del techo verde, la lámina de drenaje, el flujo de exceso de la lámina de drenaje y la escorrentía superficial. En la figura 1.a, se observa un esquema de cómo el flujo de la lámina de drenaje es evacuado a través de tubería instalada a la salida de la capa de drenaje (identificado como flujo frontal y trasero). Luego, todo el flujo que no es capaz de evacuar el orificio en la lámina de drenaje es captado por una lámina de plástico instalada en el borde de la capa de drenaje (rojo, flujo medio). En la sección superior se coloca una lámina que divide el sustrato 3 centímetros por debajo de la superficie para captar la escorrentía meramente superficial (naranja, flujo superior). Estas divisiones pueden observarse en la figura 1.b. Todas las salidas de agua fueron captadas y recolectadas en cilindros graduados.



**Figura 1.** Esquema de la separación de los flujos de agua en el sustrato, A Tuberías conectadas a la lámina de drenaje. B Intercepción del flujo de las diversas capas.

## Eventos de precipitación sintéticos

Con el fin de estudiar el comportamiento del techo verde es necesario cuantificar con exactitud el agua que ingresa al sistema a través de la precipitación y la cantidad que sale de este por las diferentes captaciones, ya que no existen más pérdidas además de las causadas por la hidratación del sustrato en los primeros minutos del evento de precipitación. Para esto fueron aplicados los conjuntos de intensidad, duración de evento y pendiente detallados en el cuadro 1.

La entrada del sistema se monitoreó con un fluxómetro y la salida se cuantificó a través de cilindros graduados (figura 2). Al comienzo de cada experimento se utilizó una manta plástica impermeable para verificar el caudal neto suministrado al techo verde por el simulador de lluvia. Por recomendación del fabricante cada experimento se realizó disponiendo de 24 horas entre un evento de lluvia y otro para permitir el secado del sustrato [9]. La lectura de los cilindros se realizó cada 30 segundos a partir del comienzo del evento de precipitación hasta 30 minutos después del cese de la lluvia, recopilando así el agua liberada por el techo durante una parte del periodo de drenaje y secado.

**Cuadro 1.** Conjunto de eventos de precipitación utilizados en los experimentos [10].

Intensidad (mm/h)	Duración de evento (min)	Pendiente (%)
36	15	2
24	30	2
20	45	2
16	60	2
12	90	2
8	120	2
36	15	6
8	120	6

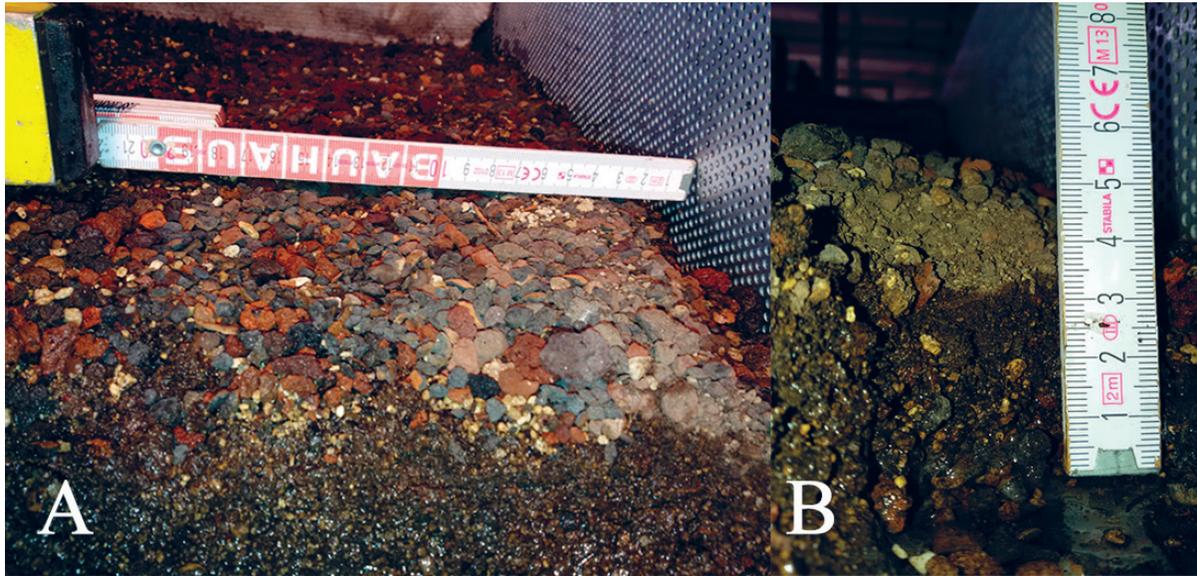


**Figura 2.** Cilindros graduados utilizados para la cuantificación del volumen vertido por el techo verde [9].

## Resultados y discusión

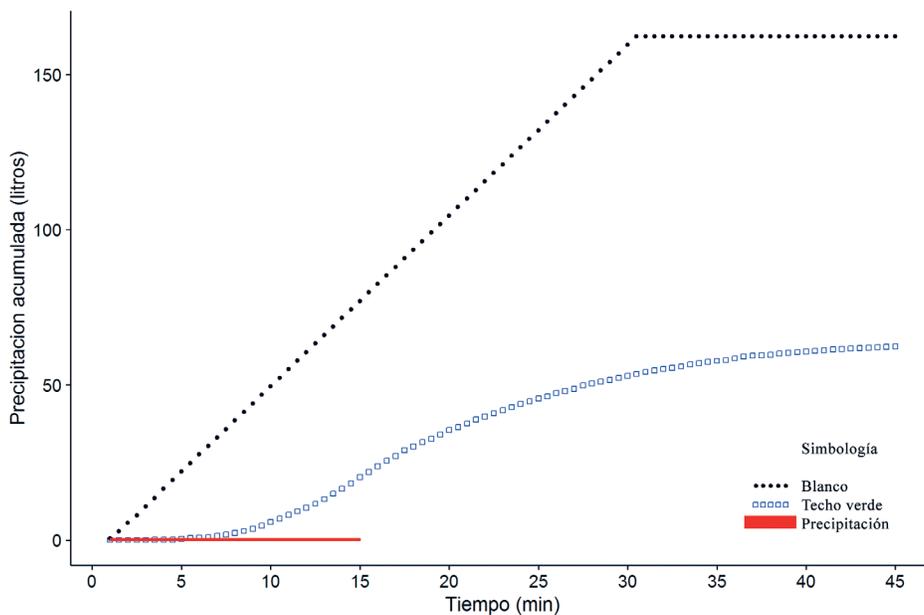
Para observar el comportamiento del flujo del agua sobre y debajo de la superficie, primeramente, se llevó a cabo un evento de precipitación con una intensidad aproximada de 36 mm/h (máximo permisible por el simulador de lluvia) con el fin de forzar un flujo superficial. Aislado de la lluvia una sección del sustrato, se observó ausencia de flujo superficial (figura 3). Esto puede deberse a que la conductividad hidráulica del sustrato, que es aproximadamente de 36 mm/h [11], es equivalente a la intensidad aplicada por el simulador de lluvia. Se desconoce la capacidad

de infiltración del sustrato, pero es considerado que debido a la ausencia de vegetación o compactación el flujo del agua es semejante tanto vertical como horizontalmente. A pesar de esto aun así se colocó una barrera física para separar el flujo 3 cm por debajo de la superficie y adentrándose otros 5 cm, punto en que se presenta el límite vertical de humedecimiento del sustrato (figura 3, B).



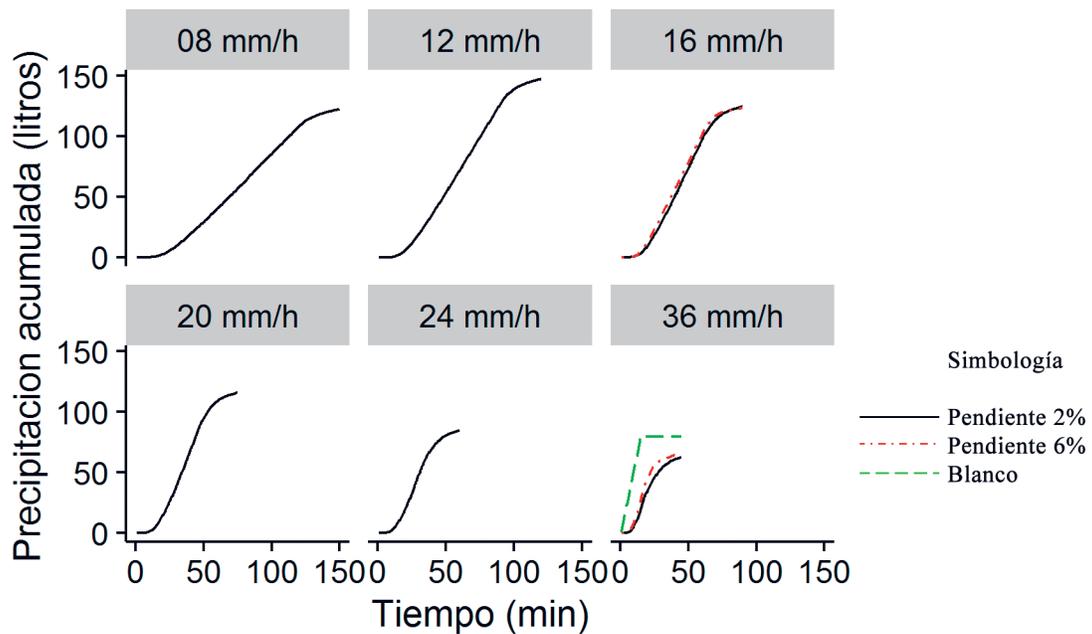
**Figura 3.** A Área aislada de la lluvia. B Comportamiento del flujo superficial e interflujo en una sección de sustrato.

La figura 4 muestra la diferencia entre un techo verde al que no se le ha colocado el sustrato y uno cubierto por sustrato, ambos casos se realizaron con una duración de lluvia de 15 minutos y una intensidad de 108 mm/h.

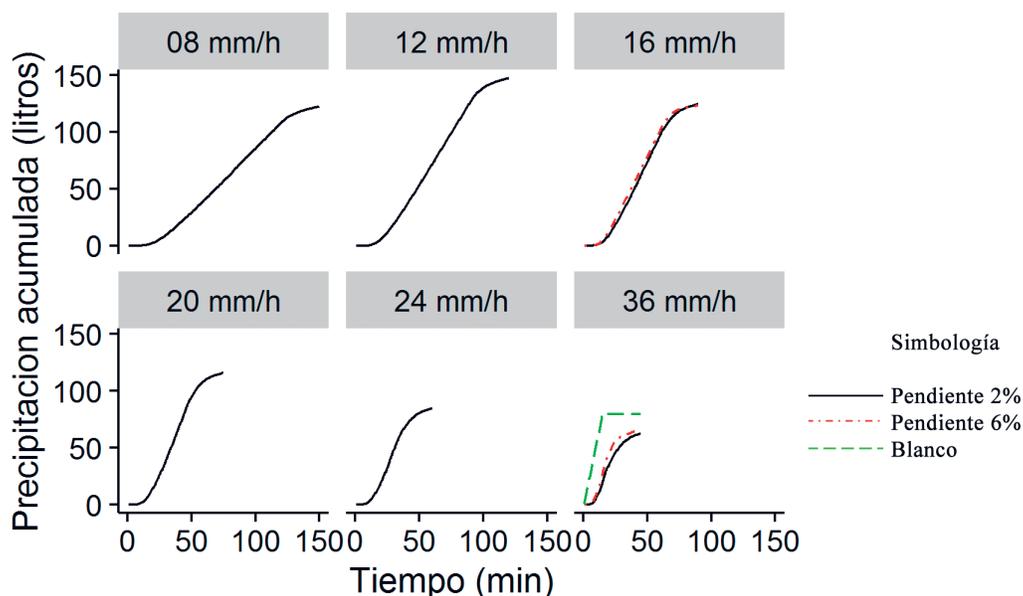


**Figura 4.** Comparación del comportamiento de un techo verde vacío y uno con sustrato.

La figura 5 muestra el comportamiento de los colectores del techo verde a pesar del cambio de intensidad. Se presenta un flujo uniforme, visualizándose en el gráfico como una sección creciente con una pendiente estable. El comportamiento “estable” se presenta cuando el sustrato se ha saturado y sólo genera una resistencia al flujo sin la absorción del mismo. Esta absorción mostró tener una media de 18,7 litros. En la figura 6 se observa el volumen recolectado para cada experimento al igual que la retención estimada.

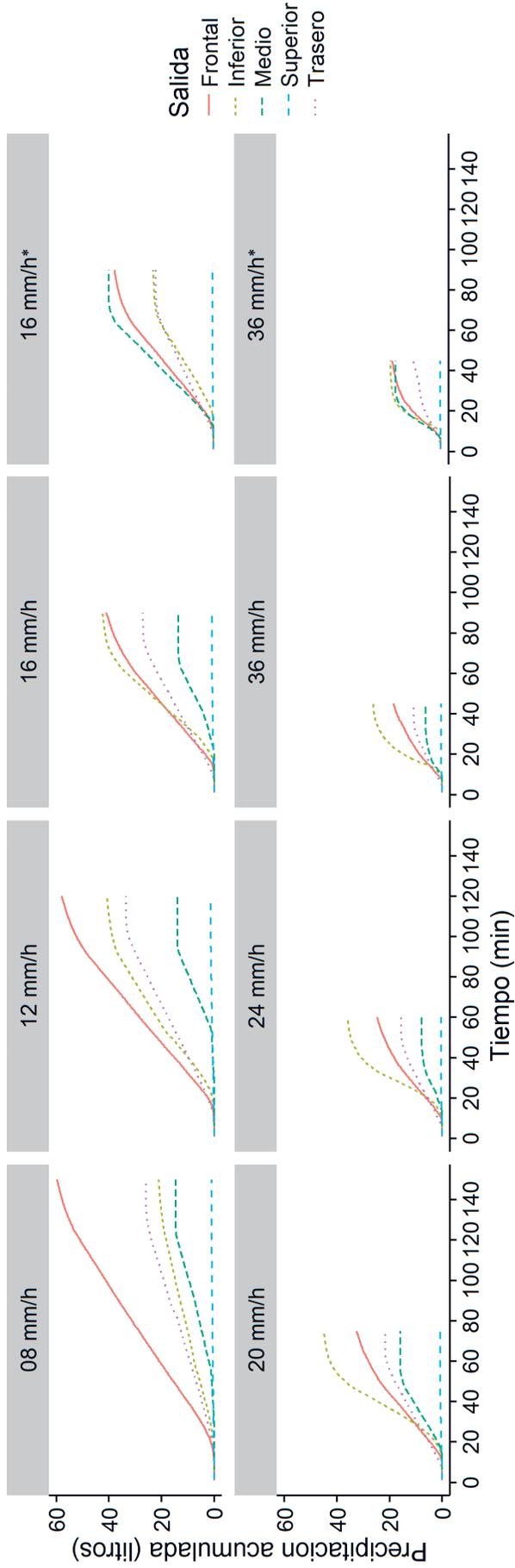


**Figura 5.** Volúmenes cuantificados en el colector del techo verde para diferentes eventos de precipitación.



**Figura 6.** Retención y vertido del techo verde bajo diferentes intensidades.

En la figura 7 se observa que para altas intensidades la mayor parte del flujo es manejado por el fondo de la mesa, esto significa que la lámina de drenaje se desborda en algunos puntos y el flujo es recolectado por la mesa que conforma el techo verde. Debido a la forma de instalación del sistema existen fugas que viajan por debajo de la lámina de drenaje y se recolectan a la salida de la mesa que conforma el techo verde (flujo inferior). Esta disposición no puede ser cambiada ya que la instalación actual es la misma utilizada en la práctica y, por tanto, se asemeja lo mejor posible a los techos verdes instalados en campo. Esto se comprueba, ya que para los dos eventos de menor precipitación el flujo es manejado mayormente por la salida frontal de la lámina de drenaje, comprendiéndose que la intensidad no es de una magnitud suficiente como para superar la capacidad que la lámina de drenaje puede sobrellevar. Aun así, se presenta de todas formas un flujo debajo de la lámina de drenaje, pero de mucha menor magnitud en comparación con los demás experimentos. Para el caso de los ensayos con una pendiente del 6 % se observa que el flujo aportado por la capa media es considerablemente mayor en comparación con su homólogo con pendiente del 2 %. Esto se debe a que el cambio de pendiente disminuye el área hidráulica dentro de la lámina de drenaje y tiempo de concentración, causando así un desbordamiento al final de la misma.



**Figura 7.** Registros de las diferentes salidas. \* Pendiente del 6 %.

## Conclusiones

La separación de los diferentes flujos presentes en cada una de las capas que conforman el techo verde es exitosa. A pesar de esto, las mediciones pueden ser más precisas a través de una mejora en la instalación del techo verde sellando los costados, pero esto tiene el inconveniente que se aleja de la forma real en que se instalan estas estructuras.

Se comprueba con la experimentación que, debido a las características hidráulicas del sustrato, este posee una velocidad de infiltración y conductividad hidráulica superiores a los caudales de los experimentos llevados a cabo, lo cual ocasiona que no se presente una escorrentía superficial cuantificable.

La pendiente y la intensidad no varían considerablemente el comportamiento general de un techo verde (excepto por el total del caudal acumulado en el caso de las variaciones de intensidad), pero sí modifican los caudales que cada capa del sistema debe evacuar.

## Agradecimientos

A los profesores del Instituto de Ingeniería Ríos y Zonas Costeras de la Universidad Técnica de Hamburgo (Justus, Sandra, Michael) y al profesor Fröhle por su gran ayuda y disposición.

## Referencias

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. «Climate change 2014». Génova, Suiza. 2015.
- [2] M. Quesada y P. Waylen, «Análisis climático de la precipitación anual e interanual en la cuenca media del río Grande de San Ramón, Costa Rica», Investig. Geográficas, n.o 45, p. ág-3, 2013.
- [3] S. Zielinski, M. A. G. Collante, y J. C. V. Paternina, «Techos verdes: ¿Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta?», Gest. Ambiente, vol. 15, n.o 1, pp. 91-104, 2012.
- [4] T. Carter y C. R. Jackson, «Vegetated roofs for storm water management at multiple spatial scales», Landsc. Urban Plan., vol. 80, n.o 1-2, pp. 84-94, 2007.
- [5] C. Stewart, Thinking Above the Box: Green Roof History and Systems. The University of Tennessee, 2009.
- [6] V. T. Chow, D. R. Maidment, y L. W. Mays, Applied Hydrology (en español). McGraw-Hill Interamericana, Bogotá, Colombia, 1994.
- [7] The COMET Program. «Sección uno: Descripción general de la escorrentía». Obtenido de Curso Básico de Hidrología: [http://www.meted.ucar.edu/hydro/basic/Runoff\\_es/print\\_version/01-overview.htm](http://www.meted.ucar.edu/hydro/basic/Runoff_es/print_version/01-overview.htm). 2006.
- [8] G. Palmaricciotti, J. Patzke, S. Hellmers, N. Manojlovic, y P. Fröhle, «Rainfall Simulator RS-TUHH-Planning, Construction and Use», en ICHE 2014. Proceedings of the 11th International Conference on Hydrosience & Engineering, 2014, pp. 257-266.
- [9] G. Timillero. «Assesment of the water retention capacity of green roofs based on laboratory tests». (Unpublished), Universidad Técnica de Hamburgo-Harburgo. 2015.
- [10] R. Rüter. «Analysis of the water retention capacity of the HansePor AG 4/9-320 roof greening substrate based on hydraulic model tests». Technische Universität Hamburg Institut Für Wasserbau. 2016.
- [11] Optigreen. Data sheet: Extensive multi-layer substrate type E. Recuperado de: [http://www.optigreen.com/fileadmin/contents/sprache\\_englisch/datenblaetter/04\\_Substrate/Optigreen-Extensive\\_Multi\\_Layer\\_Substrate-Type\\_E-EN.pdf](http://www.optigreen.com/fileadmin/contents/sprache_englisch/datenblaetter/04_Substrate/Optigreen-Extensive_Multi_Layer_Substrate-Type_E-EN.pdf). 2016.