

Eficiencia en la retención del agua de lluvia de cubiertas vegetadas de tipo "extensivo" e "intensivo" *

Water retention efficiency of green roof systems in "extensive" and "intensive" type covers

Héctor Rosatto ¹

Maia Meyer ¹

Daniel Laureda ¹

Laura Cazorla ¹

Daniel Barrera ^{1,2}

Paula Gamboa ¹

Gustavo Villalba ¹

Martha Bargiela ³

Laura Pruzzo ⁴

Luis Rodríguez Plaza ⁵

Nadia Mazzeo ⁶

César Caso ¹

Carlos Rocca ¹

Hashimoto Patricia ⁷

Diana Kohan ⁸

Elina Quaintenne ¹

Originales: Recepción: 16/11/2012 - Aceptación: 28/03/2013

RESUMEN

La inundación en áreas urbanas por sobrecarga de las redes de drenaje es un problema recurrente de importancia creciente. Las cubiertas vegetadas (naturadas) retienen parte de la lámina de agua precipitada, reduciendo el escurrimiento superficial y generando hidrogramas de escorrentía directa con caudales pico menores y más retardados. Estas propiedades hacen que esta tecnología pueda contribuir a reducir la sobrecarga de cauces urbanos. Los resultados obtenidos a lo largo de casi dos años de estudio permitieron estimar una capacidad de retención de las cubiertas ensayadas (en la Ciudad de Buenos Aires), que ha sido variable en función de la precipitación, del grado de cobertura y profundidad del sustrato. Es así que el porcentaje retenido ha sido alto (73% a 100%) con precipitaciones menores o iguales a los

ABSTRACT

Flash floods in urban areas caused by overload of drainage networks are a recurrent problem of raising importance. Greenroofs retain part of the stormwater, lowering surface flow and generating runoff hydrographs with lower and delayed peak flows. Therefore, this technology can contribute to mitigate the overload of drainage networks. The results of the study that was carried out in City of Buenos Aires along almost two years, showed that the retention capacity of the tested lots varied, depending upon precipitation, coverage and depth of the substrate. With precipitation less than or equal to 20 mm, the retention fraction was high (73% to 100%), and when precipitation reached 35 to 40 mm, the maximum percentage of retention was around 60%. However, when the rainfall was approximately 100 mm, the retention fraction was reduced substantially, reaching

* El presente trabajo es el resultado de las mediciones efectuadas en el marco de los proyectos UBACYT G036 y UBACYT 20020100100539 - 01/W539.

1 Dpto. de Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires (UBA). Av. San Martín 4453. C1417DSE. rosatto@agro.uba.ar

2 Investigador del CONICET.

3 Dpto. de Recursos Naturales y Ambiente. Facultad de Agronomía. UBA.

4 Dpto. de Producción Animal. Facultad de Agronomía. UBA.

5 Dpto. de Ingeniería Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCUYO.

6 Becaria Estímulo Facultad de Agronomía. UBA.

7 Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Lomas de Zamora.

8 Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Entre Ríos.

20 mm, alrededor del 60% con lluvias de 35 a 40 mm, y con precipitaciones cercanas a 100 mm los porcentajes de retención se redujeron notablemente, alcanzando valores cercanos al 30%. Estos resultados posicionan las cubiertas vegetadas, para las condiciones y sitio del ensayo, como una alternativa dentro del manejo hídrico integrado en cuencas urbanas.

values nearing 30%. The results of the test showed that green roofs system represent a good alternative in the integrated management of water runoff in urban watersheds.

Palabras clave

hidrología urbana • techos verdes

Keywords

urban hydrology • green roof systems

INTRODUCCIÓN

El clima a escala local, los procesos geomorfológicos y edáficos, el movimiento y la acción de agua y, consecuentemente, los numerosos procesos biológicos condicionados por ellos, se encuentran estrechamente asociados a la forma y altitud de la superficie del terreno en los que se desarrollan (Marquínez (1994) citado por Rosatto *et al.* (20)).

Esta asociación, arriba mencionada, puede verse condicionada por la acción humana sobre el paisaje. Alfaro *et al.* (1) manifiestan en un estudio realizado en la hoya hidrográfica del río Elqui, que la expansión de los cultivos hacia las laderas áridas facilitada por el riego tecnificado podría favorecer, en términos poblacionales, la colonización y el crecimiento.

En el marco del estudio de cuencas hídricas, Peña-Cortés *et al.* (16) mencionan que los cambios en la estructura del paisaje han sido conducidos fundamentalmente por acción antrópica generando importantes alteraciones en el paisaje ecológico.

En las cuencas urbanas, el escurrimiento se encuentra marcado por una característica particular: la impermeabilización superficial, mediante distintos tipos de solados, que es cada vez mayor reemplazando espacios verdes o superficies infiltrantes.

En pequeñas cuencas experimentales no alteradas donde se ha simulado el proceso de impermeabilización creciente que conlleva la urbanización, se han medido incrementos del caudal pico de hasta 50 veces e incrementos relativos de volumen de escorrentía directa de hasta 30 veces (18).

La relevancia de esta tendencia queda manifiesta ante el aumento del nivel de urbanización que según predicciones de Naciones Unidas (13) se incrementaría, para América Latina, del 71% actual hasta 81% en el 2025.

Las soluciones al problema abarcan un amplio espectro de posibilidades. Una de ellas consiste en la disminución del escurrimiento superficial. La implementación de cubiertas verdes o naturadas en terrazas de edificios y casas es una de las prácticas que ayudan a disminuir este factor (22).

En uno de los pocos estudios realizados en Argentina para proponer alternativas viables a la problemática descrita, Rosatto *et al.* (19), mencionan los *techos verdes o cubiertas vegetadas*, como una tendencia positiva en la disminución del escurrimiento superficial en cuencas urbanizadas.

Si bien los sistemas de techos con cubierta vegetal se han desarrollado e investigado en las últimas décadas, según Bliss (2), existen evidencias del uso de estas estructuras desde hace casi 4000 años. Pero las cubiertas vegetales como las conocemos hoy en día, provienen de Islandia (14)

En la actualidad, la gran superficie impermeable creada por el desarrollo urbano creó un flujo de escurrimiento con el que no pueden lidiar la combinación de las zonas no edificadas residuales y el sistema de alcantarillado de aguas de tormenta. Las cubiertas verdes o vegetadas pueden reducir la cantidad de agua de tormenta que llega hasta el sistema de transporte de alcantarillado sustituyendo un techo impermeable con suelo poroso que retiene el agua de lluvia y plantas que evapotranspiran, lo que trae como resultado escurrimientos reducidos para el sistema de alcantarillado (3).

Rosenzweig *et al.* (21), citado por Maldonado Cortéz (10), mencionan que como consecuencia de este aumento en los porcentajes de las superficies impermeabilizadas en las ciudades, se ha inducido un desplazamiento significativo en el ciclo hidrológico.

El establecimiento de sistemas con cubierta vegetal en la superficie de los techos es una alternativa viable ambientalmente para reducir las fluctuaciones en temperatura y manejo del agua de lluvia en las zonas urbanas (10).

Zinzi & Agnoli (23) mencionan que estudios específicos sobre los materiales de sustrato, características de follaje y especies vegetales demostraron la variabilidad de las interpretaciones de techo verde existentes en función de las soluciones técnicas utilizadas.

De Grazia *et al.* (5), evaluando fertilización nitrogenada en distintos sustratos, mencionan que sólo se observaron leves mejoras en el crecimiento de los plantines al fertilizar los sustratos carentes de compost, debido a su escasa retención hídrica y elevada lixiviación de N.

Según García (9), en cubiertas vegetadas de tipo extensivo (donde el espesor del sustrato no debe ser superior a 12 cm), la vegetación a utilizar debe ser de bajo porte, usándose generalmente especies endémicas o adaptadas a las condiciones ambientales, y por ello su mantenimiento será bajo o casi nulo. Este sistema, es el más apto para ser utilizado en construcciones existentes.

Diversas especies de la familia *Crassulaceae* son usadas comúnmente en techos verdes (11).

Dunnett *et al.* (7) afirman que a pesar de que los techos verdes se basan en sistemas vivos, la mayoría de la literatura de investigación publicada contiene poca información específica sobre la contribución de las plantas para las diversas funciones y propiedades de los techos verdes. Además, ha habido poca investigación de la influencia de la composición de la vegetación en las propiedades físicas de un sistema de techo verde.

Existen en la bibliografía distintas acepciones sobre qué se considera una cubierta vegetada, una de las más abarcativas es la elaborada por Osmundson (15), quien la define como cualquier espacio abierto, plantado, realizado para proveer disfrute humano o una mejora ambiental, que se encuentra separado del suelo por un edificio u otra estructura y que puede estar debajo, a la misma altura o por encima del nivel del suelo.

Una "cubierta naturada" involucra entonces la construcción de espacios verdes "contenidos" encima de una estructura hecha por el hombre. Este espacio verde puede estar sobre, en o debajo del nivel del piso pero en todos los casos la vegetación no es plantada en el "suelo natural".

Gracias a su capacidad de retención, las "cubiertas naturadas" pueden causar los siguientes cambios en la respuesta hidrológica:

1. Reducción del escurrimiento superficial por retención de parte del agua de lluvia; la diferencia entre la humedad volumétrica inicial del sustrato y la correspondiente a la capacidad de campo, es retenida en el medio poroso y posteriormente vuelve a la atmósfera por evapotranspiración.

2. Retardo del tiempo inicial del escurrimiento superficial debido a que la tasa de infiltración a través de la superficie del sustrato está relacionada con la conductividad hidráulica del mismo (4); una vez que el sustrato se satura, la percolación es igual a la conductividad hidráulica (17), y el flujo lateral hacia los desagües es función de ésta. Cuando la lluvia cesa y desaparece la capa de anegamiento en la superficie, el volumen de agua retenida temporariamente en la fracción de poros entre la capacidad de campo y la porosidad, también percola. Todo ello hace que el desplazamiento del agua infiltrada sea mucho más lento que el que corresponde a escurrimiento en manto sobre una superficie impermeable.

Objetivo

- Determinar en condiciones urbanas y en parcelas de simulación de techos verdes, la potencial reducción del escurrimiento superficial y el retardo en el mismo (en forma indirecta, a partir de la precipitación retenida), que causan los techos verdes con dos tipos de cubierta, extensiva e intensiva, y con vegetación y sin vegetación implantada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El ensayo se ubicó en el campus de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, en un sector libre de vegetación arbórea y arbustiva de aproximadamente 3500 m² y aislado de otros ensayos por una distancia de alrededor de 60 m.

Metodología

La materialización de cubiertas vegetadas en una ciudad se encuentra condicionada (técnicamente), cuando se trata de construirlas sobre estructuras ya existentes, y que en su cálculo no han contemplado el peso extra que representa la instalación de la cubierta.

Este inconveniente no existe en construcciones nuevas donde se contemple su utilización desde el comienzo del mismo diseño.

La bibliografía menciona que la tecnología para la materialización de cubiertas naturadas es diversa y posee distinto grado de complejidad. A pesar de su diversidad, y analizando lo expuesto por distintos autores, se puede establecer que todos los sistemas de cubiertas pueden dividirse en dos grandes grupos según el espesor del sustrato: los extensivos y los intensivos.

Cubierta Intensiva

Los sistemas intensivos son aquellos que permiten el desarrollo de vegetación de gran porte, donde el espesor del sustrato es de más de 15 cm.

Presentan unas condiciones de distribución y aprovechamiento comparables a las de cualquier jardín al aire libre. Debido a la gran superficie de evaporación de las plantas, las cubiertas ajardinadas intensivas necesitan gran cantidad de agua.

Estos sistemas requieren de un alto costo de implementación y mantenimiento, y algunos de los materiales no se consiguen aún en el mercado argentino.

La estructura necesaria para soportar el peso de dichos sistemas es costosa, dado que esta cubierta suele tener un peso superior a los 200 kg/m².

Cubierta extensiva

Un sistema extensivo consiste en la plantación en la cubierta de un tipo de vegetación natural que requiere un mantenimiento mínimo para su desarrollo.

La capa de sustrato no supera los 15 cm para el soporte de las especies vegetales más rústicas. Los materiales con los que están construidas son más simples y su obtención en el mercado es razonablemente sencilla. Esta cubierta posee un peso de 80-200 kg/m² aproximadamente; su variación reside en la cantidad y variedad del sustrato a utilizar.

En el ensayo propuesto se contemplaron ambas posibilidades reales en cuanto a su implementación actual en la ciudad, tanto para edificios construidos, como por construir. Asimismo, para evaluar la eficiencia, respecto del testigo, se establecieron dos condiciones con respecto a la vegetación: sustrato sin vegetación o la combinación de ambos: sustrato + vegetación.

La metodología descrita se desarrolló en distintas etapas:

a) Estructura sobre la que se estableció el ensayo: Mesada

El ensayo se montó sobre una estructura de hierro con forma de mesada (6,8 m de largo por 1,8 m de ancho), con hierros tipo "L". Esta tiene en la parte superior (aprox. a 1,5 m de altura) una serie de hierros (perfiles) paralelos y transversales al lado mayor, sobre los que se colocaron los macetones que actúan como parcelas.

En la parte inferior tiene una serie de perfiles (similares a los descritos para la parte superior), soldados en todo su perímetro, a fin de reforzarla y que pueda soportar el peso del ensayo (figura 1, pág. 175).

La estructura mencionada se niveló (con un nivel de antejo "Wild NAK2") a fin de que las parcelas cuenten con pendiente hacia el desagüe de las mismas (figura 2, pág. 175).

b) Construcción de las parcelas

Sobre la estructura descrita en a), se ubicaron en forma aleatoria 32 parcelas de fibrocemento de 0,50 x 0,50 metros: 16 de ellas de 0,30 m de altura y las 16 restantes de 0,10 m (figura 3, pág. 175).

Para establecer el desagüe de cada una, se realizó una perforación en las cubetas en uno de sus ángulos, en el mismo se sujetaron varillas roscadas huecas de ½" mediante tuercas, arandelas y pegamento siliconado (para evitar pérdidas). Adosada a la varilla (en la parte inferior de la cubeta) se insertó una manguera de plástico transparente, conectada a un bidón de 30 l, ubicado en la parte inferior de la mesada, a fin de coleccionar el agua drenada de la parcela.

Cada bidón se identificó con un número que corresponde a la cubeta a la cual está conectada.

Se colocó en la parte inferior una malla de alambre en forma de retícula, para que sujetara los bidones y así evitar que se suelten de la varilla de drenaje ante la posibilidad de fuertes vientos (figura 4, pág. 175).



Figura 1. Estructura de hierro donde se montó el ensayo.
Figure 1. Structure of iron for the trial.



Figura 2. Nivelación de la estructura.
Figure 2. Leveling of the structure.

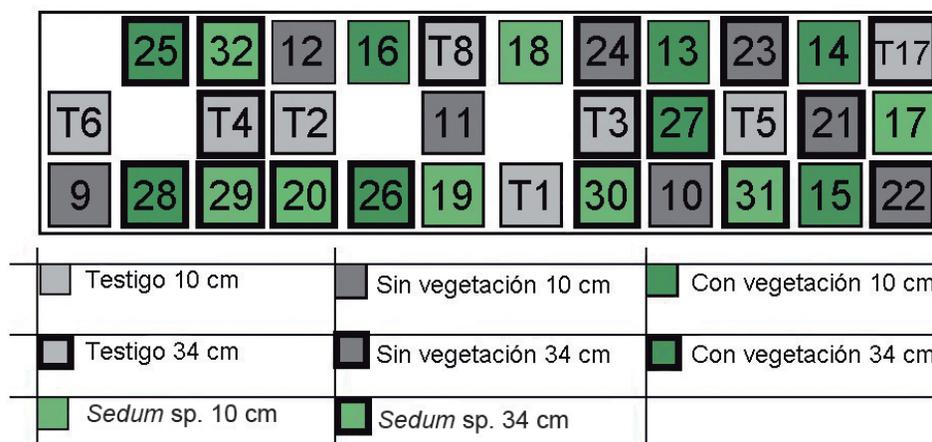


Figura 3. Esquema de la distribución de las parcelas sobre la mesa (la letra T: testigo, el número corresponde al número de parcela).

Figure 3. Diagram of the distribution of plots on the table (letter T: witness, the number is the number of parcel).



Figura 4. Detalle del drenaje de las parcelas y bidones.

Figure 4. Detail of drainage parcels and containers for liquid.

Finalmente se colocaron los sustratos en las parcelas asignadas para ello (figura 5, pág. 177). Aquí quisiéramos dejar sentado que algunos de los sustratos sugeridos por la bibliografía (Forrester *et al.* (8): *fine arkalite - expanded clay*) no se comercializan en nuestro país, por lo que se reemplazó la arcilla por "leca" (arcilla expandida), la piedra partida cerámica (8-12 mm) por "binder" (3-9 mm) y la materia orgánica por "compost" orgánico mezclado con tierra negra. Esto se decidió en función de evaluar la viabilidad de la metodología con los insumos disponibles localmente.

Los sustratos, se colocaron en forma de capas con el siguiente orden:

Parcelas con sustrato de 30 cm (desde abajo hacia arriba):

| | | | |
|---|------|-----|---------|
| Piedra partida "Mar del Plata" o Granza | (PP) | +/- | 13,0 cm |
| Leca (arcilla expandida) | (L) | +/- | 1,5 cm |
| Binder (granulometría de 3-9 mm) | (B) | +/- | 1,5 cm |
| Arena oriental de textura gruesa | (A) | +/- | 11,0 cm |
| Compost orgánico | (C) | +/- | 1,5 cm |
| Tierra negra | (T) | +/- | 1,5 cm |

Parcelas con sustrato de 6 cm (desde abajo hacia arriba):

| | | | |
|---|------|-----|--------|
| Piedra partida "Mar del Plata" o Granza | (PP) | +/- | 1,5 cm |
| Leca (arcilla expandida) | (L) | +/- | 1,5 cm |
| Binder (granulometría de 3-9 mm) | (B) | +/- | 1 cm |
| Arena oriental de textura gruesa | (A) | +/- | 1,5 cm |
| Compost orgánico | (C) | +/- | 0,5 cm |
| Tierra negra | (T) | +/- | 0,5 cm |

Luego, en 8 de las 32 cubetas (4 de 10 cm y 4 de 34 cm de altura), se plantaron cinco plantas de *Sedum acre* (envases de 12 dm³), ubicando una en cada ángulo de la cubeta y una en el centro. Como la construcción del ensayo se realizó en diciembre, se podaron las plantas para disminuir la superficie de transpiración y para que logran adaptarse al stress del trasplante. (figuras 6-7, pág. 177).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de cada precipitación ocurrida desde el establecimiento del ensayo (salvo en los casos en que se produjeron accidentes en el mismo, por ejemplo roturas por vientos extremos o cuando, por disposición de la Facultad de Agronomía de la

Universidad de Buenos Aires se debió desplazar el ensayo a otro sitio), se realizaron las mediciones del agua drenada por cada parcela. Las mismas se realizaron con una probeta de 2 l graduada a 20 ml y una probeta pequeña para los casos de precipitaciones escasas (figura 8).



Figura 5. Capas de sustratos en el orden que se colocaron. (PP, L, B, A, T).
Figure 5. Layers of substrates in the order they were placed. (PP, L, B, A, T).



Figura 6. Detalle cubeta de 30cm de sustrato con *Sedum*.
Figure 6. Tray detail with 30 cm of substrate with *Sedum*.



Figura 7. Vista del ensayo construido.
Figure 7. View of the built test.



Figura 8. Probeta utilizada para realizar las mediciones de agua precipitada.
Figure 8. Test tube used to perform measurements of precipitated water.

En lo referente a lo colectado en los bidones, se realizaron cuarenta y una mediciones positivas, se descartaron todas aquellas mediciones inferiores a 2 mm dado que las mismas apenas llegaron a humedecer parte del sustrato.

Se pudo apreciar que en los casos en que las precipitaciones fueron acompañadas de fuertes vientos, el efecto de la distribución de las parcelas (que originalmente se distribuyeron al azar), afectó la distribución de las lluvias en las parcelas más bajas (con 6 cm de sustrato) cuando las mismas se encontraban cercanas a parcelas altas (con 30 cm de sustrato), lo que obligó a descartar esas mediciones y a replantear la ubicación de las parcelas.

Los resultados obtenidos se presentan en las siguientes siete tablas, desde la 1a hasta la 1g.

Validando el supuesto sobre la posibilidad de retención de agua de lluvia de los techos verdes, los resultados muestran que los porcentajes de retención hídrica en las parcelas (respecto de lo sucedido en el testigo), son en general altos (70% a 100%) cuando las precipitaciones no son elevadas (alrededor de los 20 mm), salvo en aquellos casos en lo que la humedad antecedente del sustrato era alta (debido a la ocurrencia de lluvias dos días anteriores a la medición); en estos casos, las parcelas "bajas" (6 cm de sustrato) presentaron retenciones mucho menores, cercanas al 30% y de alrededor del 60% en las "altas" (sustrato de 30 cm).

Tabla 1a. Porcentaje de retención de las parcelas respecto del testigo (enero y febrero 2010).

Table 1a. Percentage of retention of the plots compared to the witness (January and February 2010).

| Precipitación (en mm) | 38,0 | 16,3 | 20,0 | 21,0 | 21,5 | 98,0 |
|-------------------------|--|-------|-------|-------|---------|-------|
| Fecha de la observación | ENERO | | | | FEBRERO | |
| | 4 | 11 | 12 | 19 | 1 | 4 |
| Tratamiento | Porcentaje retenido respecto del testigo | | | | | |
| C/S - S/V 6 cm | 18,8% | 51,5% | 32,4% | 64,8% | 48,0% | 32,6% |
| C/S - SEDUM 6 cm | 26,8% | 62,8% | 44,8% | 58,5% | 56,2% | 33,3% |
| C/S - S/V 30 cm | 48,8% | 100% | 72,3% | 88,8% | 97,3% | 36,9% |
| C/S - SEDUM 30 cm | 61,2% | 100% | 85,5% | 87,8% | 100% | 35,2% |

C/S = Con sustrato - S/V = Sin vegetación
6 cm/30 cm = altura de sustrato
SEDUM = plantada con *Sedum sp.*

C/S = With substrate - S/V = Without vegetation
6 cm/30 cm = height of substrate
SEDUM = planted with *Sedum sp.*

Tabla 1b. Porcentaje de retención de las parcelas respecto del testigo (marzo, abril y mayo 2010).**Table 1b.** Percentage of retention of the plots compared to the witness (March, April and May 2010).

| | | | | | | |
|-------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| Precipitación (en mm) | 23,8 | 39,2 | 37,0 | 19,7 | 16,7 | 47,6 |
| Fecha de la observación | MARZO | | | ABRIL | | MAYO |
| | 3 | 19 | 22 | 16 | 19 | 29 |
| Tratamiento | Porcentaje retenido respecto del testigo | | | | | |
| C/S - S/V 6 cm | 39,9% | 34,9% | 10,1% | 30,4% | 57,8% | 12% |
| C/S - SEDUM 6 cm | 48,9% | 35,1% | 19% | 21,7% | 74,3% | 31% |
| C/S - S/V 30 cm | 92,8% | 66% | 26,1% | 29,1% | 80% | 27,8% |
| C/S - SEDUM 30 cm | 100% | 83,3% | 31,1% | 42,1% | 96,6% | 37,3% |

C/S = Con sustrato - S/V = Sin vegetación
6 cm/30 cm = altura de sustrato
SEDUM = plantada con *Sedum sp.*

C/S = With substrate - S/V = Without vegetation
6 cm/30 cm = height of substrate
SEDUM = planted with *Sedum sp.*

Tabla 1c. Porcentaje de retención de las parcelas respecto del testigo (junio, julio, agosto y septiembre 2010).**Table 1c.** Percentage of retention of the plots compared to the witness (June, July, August and September 2010).

| | | | | | | |
|-------------------------|--|-------|-------|--------|------------|-------|
| Precipitación (en mm) | 46,0 | 21,0 | 49,0 | 38,0 | 58,0 | 28,6 |
| Fecha de la observación | JUNIO | | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | |
| | 1 | 16 | 20 | 2 | 8 | 15 |
| Tratamiento | Porcentaje retenido respecto del testigo | | | | | |
| C/S - S/V 6 cm | 12,5% | 22,3% | 18,0% | 24,8% | 13,7% | 32,3% |
| C/S - SEDUM 6 cm | 14,5% | 25,4% | 26,3% | 24,8% | 20,9% | 41,3% |
| C/S - S/V 30 cm | 29,5% | 35,3% | 35,3% | 32% | 20,2% | 70,3% |
| C/S - SEDUM 30 cm | 37,3% | 51,7% | 56,0% | 62,5% | 34,7% | 81,5% |

C/S = Con sustrato - S/V = Sin vegetación
6 cm/30 cm = altura de sustrato
SEDUM = plantada con *Sedum sp.*

C/S = With substrate - S/V = Without vegetation
6 cm/30 cm = height of substrate
SEDUM = planted with *Sedum sp.*

Tabla 1d. Porcentaje de retención de las parcelas respecto del testigo (enero y febrero 2011).**Table 1d.** Percentage of retention of the plots compared to the witness (January and February 2011).

| | | | | | | | |
|-------------------------|--|--------|-------|---------|--------|-------|--------|
| Precipitación (en mm) | 54,1 | 10,0 | 36,0 | 5,8 | 13,0 | 69,0 | 10,0 |
| Fecha de la observación | ENERO | | | FEBRERO | | | |
| | 17 | 21 | 28 | 2 | 14 | 21 | 25 |
| Tratamiento | Porcentaje retenido respecto del testigo | | | | | | |
| C/S - S/V 6 cm | 16,8% | 0,0% | 22,1% | 100,0% | 69,0% | 17,2% | 59,1% |
| C/S - SEDUM 6 cm | 25,3% | 41,2% | 44,1% | 100,0% | 100,0% | 28,4% | 75,3% |
| C/S - S/V 30 cm | 39,6% | 100,0% | 67,6% | 100,0% | 100,0% | 41,1% | 100,0% |
| C/S - SEDUM 30 cm | 36,7% | 100,0% | 67,4% | 100,0% | 100,0% | 45,0% | 100,0% |

C/S = Con sustrato - S/V = Sin vegetación
6 cm/30 cm = altura de sustrato
SEDUM = plantada con *Sedum sp.*

C/S = With substrate - S/V = Without vegetation
6 cm/30 cm = height of substrate
SEDUM = planted with *Sedum sp.*

Tabla 1e. Porcentaje de retención de las parcelas respecto del testigo (abril y mayo 2011).**Table 1e.** Percentage of retention of the plots compared to the witness (April and May 2011).

| | | | | | | | |
|-------------------------|--|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Precipitación (en mm) | 19,9 | 4,0 | 32,0 | 36,4 | 9,0 | 2,0 | 34,8 |
| Fecha de la observación | ABRIL | | | MAYO | | | |
| | 4 | 8 | 29 | 17 | 22 | 23 | 28 |
| Tratamiento | Porcentaje retenido respecto del testigo | | | | | | |
| C/S - S/V 6 cm | 58,5% | 100,0% | 0,0% | 17,4% | 26,6% | 100,0% | 6,4% |
| C/S - SEDUM 6 cm | 73,1% | 100,0% | 17,9% | 31,5% | 26,3% | 100,0% | 15,6% |
| C/S - S/V 30 cm | 100,0% | 100,0% | 77,1% | 53,2% | 69,0% | 100,0% | 44,0% |
| C/S - SEDUM 30 cm | 96,8% | 100,0% | 94,2% | 60,8% | 94,5% | 100,0% | 57,6% |

C/S = Con sustrato - S/V = Sin vegetación
6 cm/30 cm = altura de sustrato
SEDUM = plantada con *Sedum sp.*

C/S = With substrate - S/V = Without vegetation
6 cm/30 cm = height of substrate
SEDUM = planted with *Sedum sp.*

Tabla 1f. Porcentaje de retención de las parcelas respecto del testigo (junio, julio, agosto y septiembre 2011).

Table 1f. Percentage of retention of the plots compared to the witness (June, July, August and September 2011).

| Precipitación (en mm) | 39,6 | 90,2 | 84,1 | 25,5 | 18,7 | 18,0 |
|-------------------------|--|-------|-------|-------|--------|------------|
| Fecha de la observación | JUNIO | | JULIO | | AGOSTO | SEPTIEMBRE |
| | 15 | 24 | 22 | 29 | 15 | 30 |
| Tratamiento | Porcentaje retenido respecto del testigo | | | | | |
| C/S - S/V 6 cm | 17,9% | 25,7% | 35,4% | 35,9% | 4,3% | 48,4% |
| C/S - SEDUM 6 cm | 27,3% | 41,2% | 29,4% | 46,0% | 43,3% | 60,0% |
| C/S - S/V 30 cm | 57,5% | 35,1% | 33,0% | 78,0% | 79,9% | 100,0% |
| C/S - SEDUM 30 cm | 60,8% | 25,8% | 22,5% | 80,0% | 100,0% | 100,0% |

C/S = Con sustrato - S/V = Sin vegetación
6 cm/30 cm = altura de sustrato
SEDUM = plantada con *Sedum sp.*

C/S = With substrate - S/V = Without vegetation
6 cm/30 cm = height of substrate
SEDUM = planted with *Sedum sp.*

Tabla 1g. Porcentaje de retención de las parcelas respecto del testigo (noviembre 2011).

Table 1g. Percentage of retention of the plots compared to the witness (November 2011).

| Precipitación (en mm) | 7,0 | 14,0 | 12,0 |
|-------------------------|--|--------|--------|
| Fecha de la observación | NOVIEMBRE | | |
| | 8 | 12 | 21 |
| Tratamiento | Porcentaje retenido respecto del testigo | | |
| C/S - S/V 6 cm | 100,0% | 38,8% | 28,6% |
| C/S - SEDUM 6 cm | 100,0% | 85,1% | 100,0% |
| C/S - S/V 30 cm | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| C/S - SEDUM 30 cm | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

C/S = Con sustrato - S/V = Sin vegetación
6 cm/30 cm = altura de sustrato
SEDUM = plantada con *Sedum sp.*

C/S = With substrate - S/V = Without vegetation
6 cm/30 cm = height of substrate
SEDUM = planted with *Sedum sp.*

Cuando las precipitaciones alcanzaron los 35 a 40 mm, los porcentajes máximos de retención se ubican alrededor del 65%. Este dato es coincidente con el hallado por Moran *et al.* (12), en un ensayo realizado en Carolina del Norte, USA, con sustratos parecidos a los aquí utilizados. La excepción al resultado mencionado se presenta, al igual que lo manifestado en el párrafo anterior, cuando lluvias previas al evento medido

provocaron la casi saturación del perfil. En estos casos los valores de retención bajan al 10-15% para las parcelas bajas y del 40 a 50% en las altas.

Cuando las precipitaciones se aproximaron a los 90 a 100 mm, los porcentajes de retención se reducen notablemente, alcanzando valores cercanos al 25 al 35%, dato que se asemeja al mencionado por De Nardo *et al.* (6), aunque en su caso, para valores de precipitación algo menores. Ante estos valores de precipitación cercanos a los 100 mm, la influencia de la humedad antecedente en el porcentaje de retención no ha sido tan evidente.

CONCLUSIONES

Para las condiciones y los distintos tratamientos estudiados, las parcelas de 30 cm de sustrato son las que mejor comportamiento tuvieron respecto de la disminución del escurrimiento, siendo las implantadas con *Sedum acre*, las que presentaron mayores porcentajes de retención.

En el otro extremo, las que presentaron menores porcentajes de retención han sido las parcelas de 6 cm de sustrato, observándose dentro de ellas la misma tendencia antes mencionada respecto de la mayor retención de las vegetadas.

Estas situaciones detalladas en los dos párrafos anteriores no se verificaron cuando la precipitación superó los 90 mm, puesto que los porcentajes no presentaron en general diferencias.

CONSIDERACIONES FINALES

Si bien aún hay mucho que estudiar y evaluar, para condiciones similares a las del estudio, las cubiertas vegetadas presentan una alternativa viable para la reducción del escurrimiento superficial y la generación de hidrogramas de escorrentía directa con caudales pico menores y más retardados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alfaro, F. M.; Pizarro-Araya, J.; Cepeda-Pizarro, J.; Bodini, A. 2011. Composición y distribución del ensamble de *Orthoptera* (Insecta) en una cuenca árida del norte-centro de Chile. *Rev. FCA UNCUYO*. 43(1): 97-110.
2. Bliss, D. J. 2007. Stormwater runoff mitigation and water quality improvements through the use of a green roof in Pittsburgh, Pa. Thesis Master. Faculty of the School of Engineering. University of Pittsburgh, Pennsylvania. 377 p.
3. Bliss, D. J.; Neufeld, R. D.; Ries, R. J. 2009. Storm Water Runoff Mitigation Using a Green Roof. *Environmental Engineering Science*. 26(2): 407- 418.
4. Chow, V. T.; Maidment, D. R.; Mays, L. W. 1994. "Applied Hydrology" (en Español). McGraw-Hill Interamericana, Bogotá, Colombia. 572 p.
5. De Grazia, J.; Tiftonell, P. A.; Chiesa, A. 2011. Fertilización nitrogenada en plantines de pimiento (*Capsicum annum* L.) cultivados en sustratos con diferentes proporciones de materiales compostados: efecto sobre los parámetros de calidad del plantín. *Rev. FCA UNCUYO*. 43(1): 175-186.

6. De Nardo, J. C.; Jarret, A. R.; Manbeck, H. B.; Beattie, D. J.; Berhage, R. D. 2003. Stormwater detention and retention abilities of greenroofs. In Proceedings of the World Water and Environmental Resources Congress. Pennsylvania. USA. Edit.: Paul Bizier, Paul DeBarry. p. 1-7.
7. Dunnett, N.; Nagase, A.; Booth, R.; Grime, P. 2008. Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments. *Urban Ecosyst* 11. p. 385 - 398.
8. Forrester, K.; Jost, V.; Luckett, K.; Morgan, S.; Yan, T.; Retzlaff, W. 2006. Evaluation of Storm Water Runoff from a Midwest Green Roof System. Illinois State Academy of Science Annual Meeting, April 21, 2006, Chicago. Published by Green Roof Environmental Evaluation Network.
9. García, I. 2009. Cubiertas verdes. Tesis de Licenciatura, México: Universidad Nacional Autónoma de México. 198 p.
10. Maldonado Cortés, D. 2009. Efectividad de los sistemas de techos con cubierta vegetal para la mitigación del calentamiento y manejo de la escorrentía en las zonas urbanas. Tesis de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental en Evaluación y Manejo de Riesgo Ambiental de la Universidad Metropolitana- Escuela Graduada de Asuntos Ambientales. Puerto Rico. 105 p.
11. Monroy, C. A.; Reyes, S. J.; Collazo, O. M. 2008. Las azoteas verdes y su papel en el mejoramiento del ambiente urbano. Laboratorio de Desarrollo en Plantas, Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias; Universidad Nacional Autónoma de México.
12. Moran, A.; Hunt, B.; Jennings, G. 2004. Greenroof research of stormwater runoff quantity and quality in North Carolina. *Water Quality Group Newsletter, NC State University, USA*. 1-6.
13. Naciones Unidas (CELADE - CEPAL). 1999. América Latina: Proyecciones de población urbano - rural 1970-2025. *Boletín Demográfico* N° 63. Santiago, Chile. 256 p.
14. Ortega Mendoza, A. R.; Carbajal Avila, J.; Pérez Juárez, A. 2008. Cubiertas Vegetales, una Revisión Histórica y Técnica. 32 Semana Nacional de Energía Solar: ABC - 29. Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado. Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México. 5 p.
15. Osmundson T. 1999. *Roof Gardens History, Design and Construction*. Ed. W.W. Norton & Company Inc., 500 Fifth Avenue, New York, EEUU. 311 p.
16. Peña-Cortés, F.; Escalona-Ulloa, M.; Pincheira-Ulbrich, J.; Rebolledo, G. 2011. Cambio de uso del suelo en los geosistemas de la cuenca costera del río Boroa (Chile) entre 1994 y 2004. *Rev. FCA UNCU*. 43(2): 1-20.
17. Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration. 1: The infiltration equation and its solution. *Soil Science*, 83, p. 345-357.
18. Riccardi, G. A. 1997. La transformación lluvia-caudal en ambientes rurales y urbanos. Los procesos hidrológicos y el modelado. Cuadernos del CURIHAM (Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales). N° 4, p. 69-87.
19. Rosatto, H.; Laureda, D.; Pérez, D.; Barrera, D.; Meyer, M.; Gamboa, P.; Villalba, G.; Friedrich, M.; Bargiela, M.; Rodríguez Plaza, L.; Calvo, G.; Miranda, M.; Iñigo, M.; Quaintenne, E. 2010. Eficiencia de la retención hídrica de las cubiertas vegetadas. *Rev. FCA UNCUIYO*. 42(1): 213-219.
20. Rosatto, H.; Botta, G.; Presutti, M.; Pruzzo, L.; Laureda, D.; Tolón Becerra, A.; Rodríguez Plaza, L.; Villalba, G.; Calvo, G.; Davanzo, B.; Miranda, M.; Meyer, M.; Iñigo, M. 2011. Determinación de la precisión de DEMs generados con puntos digitalizados a partir de cartografía existente: relación con el algoritmo utilizado. *Rev. FCA UNCUIYO*. 43(1): 1-17.
21. Rosenzweig, C.; Solecki, W.; Slosberg, R. 2006. *Mitigating New York City's heat island with urban forestry, Living Roofs, and Light Surfaces*. NYSERDA Report 06-06 - Albany, NY: New York State Energy Research and Development Authority. 173 p.
22. Uhl, M.; Schiedt, L.; Mann, G.; Henneberg, M. 2003. Long-term study of rainfall runoff from green roofs. *Wasser und Boden*, 55(3): 28-36.
23. Zinzi, M.; Agnoli, S. 2011. Cool and Green Roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. *Energy and Buildings* (In Press). Editorial Elsevier Science S. A. 11 p.