

Cubiertas vegetadas de tipo "extensivo", eficiencia en la retención del agua de lluvia de distinto tipo de vegetación implantada

"Extensive" green roof systems, efficiency in the retention capacity rainwater of the vegetation implanted

Héctor Rosatto ¹, Gabriela Moyano ¹, Laura Cazorla ¹, Daniel Laureda ¹, Maia Meyer ¹,
Paula Gamboa ¹, Martha Bargiela ³, Cesar Caso ¹, Gustavo Villalba ¹, Daniel Barrera ^{1,2},
Laura Pruzzo ⁴, Luis Rodríguez Plaza ⁵, Alejandra Oliveri ¹, Agustina Waslavsky ¹,
Patricia Hashimoto ⁶, Diana Kohan ⁷

Originales: *Recepción: 17/10/2014 - Aceptación: 27/05/2015*

RESUMEN

Los efectos del cambio climático y de los procesos de crecimiento urbano provocaron un deterioro ambiental en la Región Metropolitana Buenos Aires. Esta situación altera el ciclo hidrológico natural y el hidrograma de crecida en cuencas en proceso de urbanización se va modificando, presentando caudales pico más altos y tiempos de ascenso más cortos, a medida que aquélla avanza. Por otra parte, el calentamiento global de la atmósfera ha provocado un aumento en la precipitación media anual y en los valores extremos generados por tormentas de tipo conectivo, en la región central y norte de Argentina. Una de las posibles medidas para mitigar estos efectos, consiste en la implementación de cubiertas verdes o naturadas de tipo "extensivo" en terrazas de edificios y casas ya construidas para disminuir el factor de escurrimiento. El objetivo de este proyecto fue determinar la reducción del escurrimiento superficial y la calidad de agua entregada de cubiertas vegetadas con distinto tipo de vegetación implantada ante lluvias normales en la ciudad de Buenos Aires. Los resultados obtenidos a lo largo de un año de estudio, permitieron estimar una capacidad de retención de las cubiertas ensayadas (en CABA) que ha sido variable en función de la precipitación, y el tipo de

-
- 1 Departamento de Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (UBA). Av. San Martín 4453-C1417DSE. Buenos Aires. Argentina. rosatto@agro.uba.ar
 - 2 Investigador del CONICET.
 - 3 Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Facultad de Agronomía - UBA.
 - 4 Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía - UBA.
 - 5 Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.
 - 6 Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Lomas de Zamora.
 - 7 Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Entre Ríos. Av. San Martín 4453, Cap. Federal - C. P. 1417.

vegetación y su grado de cobertura. Es así que el porcentaje retenido ha sido alto (100%) con precipitaciones menores o iguales a los 20 mm. Para intervalos de lluvias entre 21 y 41 mm los porcentajes de retención variaron entre el 63% y 68%, con lluvias entre 42 y 60 mm observaron porcentajes de retención entre el 31% y 39%. Para el intervalo de 61 a 80 mm el porcentaje de retención se comportó en forma similar al intervalo anteriormente analizado, aunque con valores levemente menores 25% al 38% y por último, analizando las precipitaciones mayores a 90 mm, el porcentaje de retención fluctuó entre 16% y 22%. La *Aptenia cordifolia* presentó menores valores de retención en todos los intervalos salvo en el primero. Estos resultados posicionan a las cubiertas vegetadas, para las condiciones y sitio del ensayo, como una alternativa dentro del manejo hídrico integrado en cuencas urbanas.

Palabras clave

hidrología urbana • techos verdes • eficiencia

ABSTRACT

Climatic change effects and the processes of urban growth caused environmental deterioration in the city of Buenos Aires. This situation alters the natural hydrological cycle and the hydrograph of floodwaters in urbanizing watersheds will modify, presenting flows higher peak and shorter rise times as it progresses. On the other hand, the global warming has caused an increase in mean annual precipitation and extreme values generated by storms of connective type, in the central region and North of Argentina. One of the possibilities to mitigate these effects is the implementation of extensive green roofs systems in terraces of buildings and houses built that help to reduce runoff factor. The objective of this paper was: to determine the reduction of surface runoff and water quality delivered for different types of green roofs with different types of vegetation implanted in normal rainfall in the city of Buenos Aires. The results of the study that was carried out along one year, showed that the retention capacity of the tested lots varied, depending upon precipitation, type of vegetation and coverage. For the range of 21 and 41 mm the retention rates reached between 63% and 68%, with rainfall between 42 and 60 mm are observed percentages of retention from 31% to 39%. For the range of 61 to 80 mm the retention percentage was similarly to the range previously analyzed, 25% to 38%, and finally analyzing rainfall greater than 90 mm, the percentage of retention varies between 16% and 22%. The *Aptenia cordifolia* presented minors values of retention in all ranges except the first. The results of the test showed that green roofs system represent a good alternative in the integrated management of water runoff in urban watersheds.

Keywords

urban hydrology • green roof systems • efficiency

INTRODUCCIÓN

Los efectos del cambio climático y de los procesos de crecimiento urbano provocaron un deterioro ambiental en la Región Metropolitana Buenos Aires. La urbanización afectó la dinámica hídrica, alterando las condiciones naturales de drenaje, aumentando la contaminación y la impermeabilización del terreno con reducción del volumen de agua de lluvia que se infiltraba en la cuenca, e incluso ha alterado los límites físicos naturales de las cuencas hídricas (19).

Este fenómeno, también se verifica en distintas ciudades y regiones del planeta, Forrester *et al.*, (2006), mencionan que el aumento sostenido del exceso de precipitación o precipitación efectiva, debido a la creciente impermeabilización de áreas urbanas, se ha convertido en una preocupación ambiental seria.

Vilatte *et al.* (2014), sostienen la importancia de generar políticas de desarrollo urbanístico e infraestructura para evitar daños recurrentes en el sector urbano.

La relevancia de esta tendencia queda manifiesta ante el aumento del nivel de urbanización, que según predicciones de Naciones Unidas (1999), se incrementaría, para América Latina, del 71% actual hasta 81% en el 2025. A su vez, Naciones Unidas (2010) estima un incremento en la cantidad de personas que viven en las ciudades de un 85% entre 2009 y 2050, crecimiento que será más pronunciado en los países en vías de desarrollo.

Esta situación altera el ciclo hidrológico natural y el hidrograma de crecida en cuencas en proceso de urbanización se va modificando, presentando caudales pico más altos y tiempos de ascenso más cortos a medida que aquélla avanza.

La lección básica que proporciona la naturaleza en el ciclo del agua es

el almacenamiento."Los colectores pluviales deben diseñarse para corresponder a los modelos naturales permitiendo la retención del agua y su absorción dentro del suelo, en un porcentaje similar a las condiciones naturales". Este principio es ahora bien reconocido en los países occidentales como una alternativa realista a las prácticas habituales (11).

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 (22).

El hidrograma de proyecto utilizado para dimensionar la red de drenaje urbano, derivado a partir de un evento de lluvia con determinado período de retorno (por lo general de 2 a 5 años), queda desactualizado al aumentar la lluvia efectiva debido a la impermeabilización del suelo.

Por otra parte, el calentamiento global de la atmósfera ha provocado un aumento en la precipitación media anual y en los valores extremos generados por tormentas de tipo convectivo, en la región central y norte de Argentina (Barros, 2006). La frecuencia de eventos que exceden los 100mm diarios de lluvia se ha triplicado en el centro y este de Argentina durante los últimos 40 años (2).

Algunas de las soluciones hidráulicas que suelen considerarse como: redimensionamiento de cunetas, bocas de tormenta, alcantarillas, zanjas, canales abiertos y conductos entubados, son extremadamente costosas y en ciertos casos impracticables.

Perales Momparler *et al.* (2008), proponen como una alternativa a los manejos tradicionales, a los Sistemas Urbanos de Diseño Sostenible (SUDS).

Los SUDS, surgen de la necesidad de encontrar alternativas sustentables que permitan el escurrimiento, absorción, o retardo de las aguas en llegar a los sistemas de drenaje, mejorando la integración entre lo antrópico y lo natural. Engloban un amplio espectro de soluciones que permiten afrontar el planeamiento, diseño y gestión de aguas pluviales dando tanta importancia a los aspectos ambientales y sociales como a los hidrológicos e hidrogeológicos.

Una de ellas consiste en la implementación de cubiertas verdes o naturadas en terrazas de edificios y casas constituyéndose entonces, en una de las prácticas que ayudan a disminuir el factor de escurrimiento (27).

Existen en la bibliografía distintas acepciones sobre qué se considera una cubierta vegetada. Una de las más abarcativas es la elaborada por Osmundson (1999), 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 (Chow *et al.*, 1994); una vez que el sustrato se satura, la percolación es igual a la conductividad hidráulica (Philip, 1957), 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 temporalmente 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.

Debido a dichos cambios, la escorrentía directa en los componentes de la red de drenaje se distribuye en un período de tiempo más largo, primero la originada en las superficies impermeables y luego la debida al agua liberada por las cubiertas vegetadas. El caudal máximo disminuye y el tiempo de ascenso aumenta, siendo ambos efectos mitigadores de los impactos negativos de la inundación repentina.

La elección de especies con capacidad de adaptación a recursos limitados es un criterio fundamental desde el enfoque de la sustentabilidad (Carrieri *et al.*, 1996 citado por Martínez *et al.*, 2013).

Farreras (2014), menciona que las cuencas hidrográficas tienen importantes funciones como ecosistemas y suministran

una serie de valiosos servicios ambientales a la sociedad, también llamados servicios ecosistémicos. Ahora bien, la instalación de la cubierta verde debería tender a conseguir un acercamiento a ese concepto elaborado anteriormente de "ciudad sustentable", es por eso que es necesario asegurar no solo la instalación de la cubierta, sino su viabilidad desde el punto de vista antes mencionado.

El agua percolada, en un sistema de cubiertas naturadas, previo paso por el sistema de desagüe pluvial, culmina generalmente en fuentes de agua potable, por eso es necesario analizar la presencia de sustancias (originadas en la cubierta), que puedan potencialmente alterar los sistemas acuáticos de recepción final.

La literatura expresa que a excepción del nitrógeno, en algunos casos las terrazas verdes se convierten en fuente de contaminantes, aunque no sustancialmente. Especialmente después de eventos de lluvias fuertes se presenta un aumento de las concentraciones de fosfatos, materia orgánica y metales (26). En eventos moderados los valores son más bajos que los niveles permitidos. También se puede producir un aumento del pH por lo que mitigaría los efectos de la lluvia ácida (3).

El sobrepeso que estas cubiertas generan en la edificación, varía según sea el tipo de cubierta: Extensiva (menor profundidad de sustrato) entre 80-210 kg/m² e Intensiva (mayor profundidad de sustrato) tienen un peso superior a 210kg/m². Esto presenta el desafío de desarrollar alternativas para los edificios y casas ya construidas, que soportan un menor sobrepeso, dado que no fueron construidos "pensando" en la instalación posterior de un techo verde. En estas viviendas la alternativa son las cubiertas vegetadas de tipo "extensivo".

Objetivo general

Determinar la reducción del escurrimiento superficial y el retardo en el mismo que causan las cubiertas vegetadas seleccionadas en una cubierta de tipo extensiva con distinto tipo de vegetación.

Objetivo específico

Determinar la cantidad y fracción de agua que retienen las cubiertas naturadas, con distinto tipo de vegetación, ante lluvia de distinta intensidad y duración a lo largo de las cuatro estaciones, para una profundidad de sustrato de cubierta de tipo extensivo.

HIPÓTESIS

Existen diferencias en la capacidad de retención del agua de lluvia, por parte de las cubiertas vegetadas, según sea la vegetación implantada en la misma.

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

El ensayo se montó sobre una serie de estructuras de hierro (figura 1, pág. 128) con forma de mesada, con hierros tipo "L".

Estas estructuras se encuentran a una altura aproximada (respecto del piso) de 1,5 m y cuentan con 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.

Todas las estructuras mencionadas fueron colocadas sobre una capa de polietileno de alta densidad (para evitar el crecimiento de vegetación) y niveladas



Figura 1. Imágenes del sitio y de parte del material del ensayo.

Figure 1. Images of the site and part of the test material.

(con un nivel de anteojo "Wild NAK2") a fin de que las parcelas cuenten con pendiente hacia el desagüe de las mismas.

Sobre las estructuras descritas, se ubicaron en forma aleatoria las parcelas de fibrocemento de 0,50 x 0,50 m.

La altura de ellas es de 0,20 metros de altura.



Figura 2. Esquema de armado de los desagües de la parcela y los bidones colectores.

Figure 2. Structure for detail of drains and collectors drums scheme.

Para establecer el desagüe de cada una, se realizó una perforación en las cubetas en uno de sus ángulos, en el mismo se sujetaron las 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 la manguera de plástico transparente, que se conectó a un bidón de 30 litros, ubicado en la parte inferior de la mesada. Estos bidones colectarán el agua drenada por las parcelas (figura 2).

A continuación se limpió la superficie interna de las cubetas y se las identificó junto con los respectivos bidones.

Debido a los fuertes vientos que acompañaron a las tormentas ocurridas, se colocó en la parte inferior, una malla de alambre en forma de retícula, para que sujetara los bidones y así evitar que se soltaran de la varilla de drenaje (figura 3).

Finalmente se colocó, en las parcelas, el sustrato compuesto por:

- Piedra partida o "granza" (4 cm de espesor)
- Arcilla expandida "mini leca" (3 cm de espesor)
- Arena Oriental de textura gruesa (4 cm de espesor)
- Sustrato Orgánico, compuesto por 5% de lombricompost, 20% de turba blanca y 75% de compost orgánico (4 cm de espesor).



Figura 3. Malla de alambre.

Figure 3. Wire mesh.

Se analizó también, la condición "con mantenimiento mínimo" y "sin mantenimiento"; considerando la condición con mantenimiento mínimo, al desmalezado (vegetación espontánea) y control de plagas de las parcelas correspondientes.

Registro de datos

Luego de cada precipitación ocurrida desde el comienzo del ensayo hasta la fecha, se realizaron las mediciones del agua drenada por cada parcela estudiada (el testigo y cuatro repeticiones por parcela). Las mismas se realizaron con una probeta de 2 litros graduada a 20 ml.

A medida que se realizaron las mediciones se procedió con el registro de los resultados obtenidos, pero también se tomaron muestras de las aguas drenadas para proceder al análisis de las mismas.

Componentes del ensayo

En lo referente a lo colectado en los bidones, se realizaron observaciones en las siguientes parcelas (tabla 1, pág. 130).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se ordenaron, de menor a mayor, según la cantidad de precipitación caída. Se distribuyeron en intervalos de aproximadamente 20 mm, se determinó el porcentaje de agua retenida. Los datos se expresan en la tabla 2 (pág. 130).

Respecto del estado de las parcelas con la cobertura, en la implantación y al año de implantadas, puede verse en las figura 4 y figura 5 (pág. 131).

Con el objeto de comprobar si los resultados obtenidos permiten aseverar o no que los tratamientos realizados, son equivalentes, se procedió (a partir de las variancias muestrales) a la comparación de las variancias poblacionales utilizando el estadístico "F" de G.W. Snedecor (Pimentel Gómez, 1978).

Tabla 1. Tratamientos.**Table 1.** Treatments.

| Vegetación | Con <i>Sedum</i> <i>pachyphyllum</i> | Con <i>Sedum</i> <i>spurium</i> | Con Crasa 1 <i>Aptenia cordifolia</i> | Con Crasa 2 <i>Carpobrutus</i> <i>edulis</i> |
|---|--|---------------------------------------|--|--|
| Sin sustrato (testigo) | X | | | |
| Con sustrato de 15 cm de espesor y sin mantenimiento | X | X | ----- | X |
| Con sustrato de 15 cm de espesor y con mantenimiento mínimo | X | X | X | ----- |

Nota: la *Aptenia* no sobrevive en el tiempo sin mantenimiento y el *Carpobrutus* se seleccionó por su rusticidad por eso se ensayó sin mantenimiento.

Note: the *Aptenia* does not survive in time without maintenance and the *Carpobrutus* was selected for its rusticity that was tested without maintenance.

Tabla 2. Porcentaje de retención de las parcelas respecto del testigo.**Table 2.** Percentage of retention of the plots compared to the witness.

| Tratamientos (T) | Precipitación (en mm) | | | | |
|--|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 0 - 20 | 21 - 41 | 42 - 60 | 61 - 80 | > 90 |
| <i>Sedum pachyphyllum</i> Sin mantenimiento (T1) | 100 % | 65 % | 33 % | 30 % | 16 % |
| <i>Sedum pachyphyllum</i> Con mantenimiento (T2) | 100 % | 67 % | 39 % | 37 % | 22 % |
| <i>Sedum spurium</i> Sin mantenimiento (T3) | 100 % | 67 % | 35 % | 31 % | 21 % |
| <i>Sedum spurium</i> Con mantenimiento (T4) | 100 % | 63 % | 31 % | 29 % | 16 % |
| <i>Aptenia cordifolia</i> Con mantenimiento (T5) | 100 % | 44 % | 20 % | 17 % | 11 % |
| <i>Carpobrutus edulis</i> Sin mantenimiento (T6) | 100 % | 68 % | 35 % | 38 % | 20 % |



Figura 4. Implantación de *Sedum pachyphyllum*, *Sedum spurium*, *Aptenia cordifolia* y *Carpobrutus edulis* (en orden desde el vértice superior izquierdo al vértice inferior derecho)

Figure 4. Plantation of *Sedum pachyphyllum*, *Sedum spurium*, *Aptenia cordifolia* and *Carpobrutus edulis* (in order from the top left corner to the right bottom vertex).



Figura 5. Desarrollo alcanzado al año de *Sedum pachyphyllum*, *Sedum spurium*, *Aptenia cordifolia* y *Carpobrutus edulis* (en orden desde el vértice superior izquierdo al vértice inferior derecho).

Figure 5. Development reached in a year of *Sedum pachyphyllum*, *Sedum spurium*, *Aptenia cordifolia* and *Carpobrutus edulis* (in order from the top left corner to the right bottom vertex).

Se propuso una hipótesis nula (H0) de igualdad entre las variancias y una hipótesis (H1) de desigualdad.

Los datos estadísticos (en el rango de precipitación de 0-20 mm), demuestran que el valor calculado es inferior al valor crítico en todas las combinaciones analizadas, lo que demuestra que los tratamientos son equivalentes, no presentan diferencias estadísticas significativas.

Efectivamente, se observa que para intervalos de lluvias entre 0 y 20 mm el porcentaje retenido es del 100% en todas las especies analizadas con y sin mantenimiento. Porcentajes de retención similares fueron reportados por Rosatto *et al.* (2013), aunque trabajando para intervalos de lluvia mayores y mayor profundidad de sustrato. Miller (2001) y FLL (2002), mencionan que con una profundidad de sustrato como la utilizada en este ensayo, el porcentaje de retención debería rondar el 100%.

El análisis estadístico (en el rango de precipitación de 21-41 mm), demuestra que el valor calculado es inferior al valor crítico en todas las combinaciones analizadas, menos en las combinaciones con el T5, lo que demuestra que los tratamientos son equivalentes y no presentan diferencias estadísticas significativas, salvo el T5.

En efecto, para intervalos de lluvias entre 21 y 41 mm los porcentajes de retención rondan entre el 63% y 68% a excepción de la *Aptenia cordifolia* cuyo porcentaje de retención fue menor (44%). Este porcentaje de retención (63 a 68%), coincide con el reportado por Rosatto *et al.* (2010 y 2013), Moran *et al.* (2004) y Tanner *et al.* (2004).

El menor porcentaje de retención en el caso de la *Aptenia cordifolia*, se explicaría en el poco desarrollo que esta planta alcanzó durante el ensayo y que significó una baja cobertura de la parcela.

El análisis estadístico (en el rango de precipitación de 42-60 mm), demuestra que el valor calculado es inferior al valor crítico en todas las combinaciones analizadas, menos en las combinaciones con el T5, lo que demuestra que al igual al rango anteriormente analizado, los tratamientos son equivalentes y no presentan diferencias estadísticas significativas, salvo el T5.

De hecho, al registrarse lluvias entre 42 y 60 mm se observan porcentajes de retención que varían entre el 31% y 39%. Dunnet (2008) y Johnston *et al.* (2004), reportan porcentajes cercanos a los aquí hallados, pero mencionando que son para techos extensivos (sin mencionar la pluviometría) en el caso de Dunnet y determinados para tormentas invernales en el caso reportado por Johnston.

Nuevamente, el menor porcentaje se registró en *Aptenia cordifolia* (20%).

El análisis estadístico (en el rango de precipitación de 61-80 mm), demuestra que el valor calculado es inferior al valor crítico en todas las combinaciones analizadas, menos en las combinaciones con el T5, lo que demuestra que al igual a las dos casos anteriormente analizados, los tratamientos son equivalentes y no presentan diferencias estadísticas significativas, salvo el T5.

Efectivamente, cuando las lluvias registradas fueron de 61 a 80 mm, el porcentaje de retención se comportó en forma similar al intervalo anteriormente analizado, aunque con valores levemente menores (25% al 38%). Los menores porcentajes de retención pertenecen nuevamente a *Aptenia cordifolia* (17%).

El análisis estadístico (en el rango de precipitación mayor a 90 mm), demuestra que el valor calculado es inferior al valor crítico en todas las combinaciones analizadas, menos en las combinaciones con

el T5, lo que demuestra que al igual a los casos anteriormente analizados, los tratamientos son equivalentes y no presentan diferencias estadísticas significativas, salvo el T5.

En efecto, analizando las precipitaciones mayores a 90 mm, el porcentaje de retención varía entre 16% y 22%. Similares valores fueron determinados por Rosatto *et al.* (2013), aunque levemente mayores a los aquí obtenidos y también fueron reportados por Connelly y Lui (2005), aunque en su caso para precipitaciones ocurridas durante el invierno.

La menor retención fue registrada por *Aptenia cordifolia* (11%).

CONCLUSIONES

Es notorio como en todas las especies y tratamientos el porcentaje de retención disminuye con la intensidad

de las precipitaciones, coincidente con lo informado por la bibliografía consultada.

Existe una leve tendencia de un mayor porcentaje de retención en el tratamiento con mantenimiento en el caso del *Sedum pachyphyllum*, pero no fue así en el caso del *Sedum spurium*.

De cualquier manera, es necesario realizar este análisis para un mayor período de tiempo (que el año aquí analizado) para que pueda apreciarse diferencias significativas entre los tratamientos mencionados.

La *Aptenia cordifolia* es la especie que registra menor porcentaje de retención en todos los intervalos de precipitaciones mayores a los 20 mm.

La vegetación que mayor grado de cobertura mostró en las parcelas fue el *Carpobrotus edulis* y el *Sedum pachyphyllum*, que además fueron las que mejor se comportaron en cuanto a la retención hídrica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Barros, V. 2004. Tendencias climáticas en la Argentina: precipitación. Proyecto Agenda Ambiental Regional - Mejora de la Gobernabilidad para el desarrollo sustentable PNUD Arg./03/001. Fundación Torcuato Di Tella y Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable.
2. Barros, V. 2006. El Cambio climático Global. 2ª edición 2006. Libros del Zorzal, Buenos Aires, 175 p.
3. Berndtsson, J. C. 2010. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering* 36. 4: 351-360.
4. Carrieri, S. A.; R. A. Codina y E. R. Manzano. 1996. "Arbolado de rutas en zonas áridas. Propuesta para la Provincia de Mendoza. Verde complementario para vías de circulación de la provincia de Mendoza". Cátedra de Parques y Jardines. Ed. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza. 105 p.
5. Chow, V. T.; Maidment, D. R.; Mays, L. W. 1994. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Interamericana, Bogotá, Colombia. 572 p.
6. Connelly, M.; Lui, K. 2005. Green roof research in British Columbia - An overview [PDF 1MB]. In: Proceedings 3rd Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards & Trade Show, Washington, DC. The Cardinal Group, Toronto.
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: 385-398.
8. Farreras, V. 2014. Valoración económica de los efectos de la presión antrópica sobre el piedemonte mendocino. Una aplicación de los experimentos de elección discreta. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 46(2): 113-133.

9. 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. 5 p.
10. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. V. (FLL). 2002. Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünung. Bonn. 95 p.
11. Hough, M. 1998. Naturaleza en las ciudades-Barcelona. Gustavo Gili. 315 p.
12. Johnston, C.; McCreary, K.; Nelms, C. 2004. Vancouver Public Library Green Roof Monitoring Project. Greening Rooftops for Sustainable Communities, Portland, Oregon. Green Roofs for Healthy Cities. 13 p.
13. Martínez, C. F.; Cavagnaro, J. B.; Roig Juárez, F. A.; Cantón, M. A. 2013. Respuesta al déficit hídrico en el crecimiento de forestales del bosque urbano de Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 45(2): 47-64.
14. Miller, C. 2001. Use of Vegetated Roof Covers in Runoff Management. Memorandum, Roofscapes Inc. USA. 5 p.
15. Moran, A.; Hunt, B.; Jennings, G. 2004. Greenroof research of stormwater runoff quantity and quality in North Carolina. NCSU Water Quality Group Newsletter, NC State University, USA. 1-6 p.
16. Naciones Unidas (CELADE-CEPAL). (1999). América Latina: Proyecciones de población urbano-rural 1970-2025. Boletín Demográfico No. 63. Santiago, Chile.
17. Naciones Unidas (UNDESA). (2010). "World Urbanization Prospects. The 2009 Revision". ESA/P/WP/215. Disponible en: http://esa.un.org/unpd/wup/Documents/WUP2009_Highlights_Final.pdf
18. Osmundson, T. 1999. "Roof Gardens History, Design and Construction". W.W. Norton & Company Inc., New York. 311 p.
19. Perahia, R. 2011. La Región Metropolitana de Buenos Aires: Suburbanización desordenada. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología del Paisaje GEPAMA CONICET. Número especial hacia la sustentabilidad ecológica en un planeta que cambia rápidamente.* 2: 88-95.
20. Perales Mompalder, S.; Doménech A.; Fernández Escalante I. 2008. Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en la hidrogeología urbana. I+D+i del Grupo TRAGSA Madrid. IX Simposio de Hidrogeología. AIH. Elche, Valencia, España. 12 p. Disponible en: <http://www.dina-mar.es/pdf/6-if-suds-2.pdf>.
21. Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration. 1: The infiltration equation and its solution. *Soil Science.* 83: 345-357.
22. Riccardi, G. A. 1997. La transformación lluvia-caudal en ambientes rurales y urbanos. Los procesos hidrológicos y el modelado. *Cuadernos del CURIHAM.* 4: 69-87.
23. 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. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 42(1): 213-219.
24. Rosatto, Héctor; Meyer, Maia; Laureda, Daniel; Cazorla, Laura; Barrera, Daniel; Gamboa, Paula; Villalba, Gustavo; Bargiela, Martha; Pruzzo, Laura; Rodríguez Plaza, Luis; Mazzeo, Nadia; Caso, Cesar; Rocca, Carlos; Hashimoto Patricia; Kohan, Diana y Quaintenne, Elina. 2013. Eficiencia en la retención del agua de lluvia de Cubiertas Vegetadas de tipo "Extensivo" e "Intensivo". *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 45(1): 169-183.
25. Tanner, S.; Scholz-Barth, K. 2004. Green Roofs. Federal Technology Alert. Energy Efficiency and Renewable Energy. Departmente of Energy. EUA. DOE-EE-0298.
26. Teemusk, A.; Mander, U. 2007. Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events. *Ecological Engineering* 30. 3: 271-277.
27. Uhl, M.; Schiedt, L.; Mann, G.; Henneberg, M. 2003. Long-term study of rainfall runoff from green roofs. [Langzeitstudie zum Abflussverhalten begrünter Dächer]. *Wasser und Boden.* 55(3): 28-36.
28. Vilatte, C.; Aguas, L.; Confalone, A. 2014. Influencia de los ciclos solares sobre las precipitaciones en Azul, pcia. de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 46(1): 227-233.