

## **Techos verdes. Contribución de *Carpobrotus Acinaciformis* al manejo integrado de escurrimientos superficiales urbanos \***

### **Green roofs. Contribution of *Carpobrotus Acinaciformis* to the integrated management of urban surface runoff**

Gustavo Ariel Villalba<sup>1</sup>, Héctor Gustavo Rosatto<sup>1</sup>, Fernando Bienvenido<sup>2</sup>, Isabel María Flores-Parra<sup>2</sup>, Guido Fernando Botta<sup>1,3,4</sup>, Daniel Andrés Laureda<sup>1</sup>, Damián Andrés Perez<sup>1</sup>

Originales: *Recepción*: 18/08/2016 - *Aceptación*: 24/10/2016

#### **RESUMEN**

En el marco de la modelización matemática de las cuencas hídricas urbanas, uno de los parámetros que es necesario conocer, son los factores en la cuenca que pueden modificar la escorrentía superficial. Las Cubiertas Naturadas pueden (a partir de su capacidad de retención y retardo de los escurrimientos originados por las precipitaciones), modificar la escorrentía superficial. Pero en qué medida pueden hacerlo, dependerá de la respuesta de dichas estructuras vegetadas a la cantidad precipitada y esta respuesta será diferente según el tipo de cubierta utilizada (básicamente espesor del sustrato y tipo de vegetación). Por eso en los modelos matemáticos de simulación, la modelización será más precisa en función de la precisión de los datos fuentes utilizados en la misma. El objetivo de este trabajo ha sido determinar la capacidad de retención que presentan las cubiertas naturadas de tipo extensivo e intensivo implantadas con *Carpobrotus acinaciformis*. Los resultados obtenidos permitirían afirmar, para las condiciones estudiadas, que el *Carpobrotus acinaciformis*, puede realizar un aporte a la disminución de los escurrimientos urbanos para ciudades ubicadas en la costa bonaerense como la de este trabajo.

#### **Palabras clave**

techos verdes • retención hídrica • modelos de simulación

---

\* El presente trabajo es el resultado de las mediciones efectuadas en el marco del proyecto UBACYT 20020130100752BA.

1 Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Depto. Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra. rosatto@agro.uba.ar

2 Universidad de Almería - Departamento de Informática. La Cañada - 04120, Almería, España.

3 Departamento de Tecnología. Universidad Nacional de Luján.

4 Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Pampa.  
Av. San Martín 4453, Cap. Federal - CP: 1417.

## ABSTRACT

In the mathematical modeling of urban watershed, the parameters that are necessary to know, are the factors of the basin that can modify the surface runoff. The green roofs can modify (from its capacity of retention and delay the water flow originated by the rainfalls), the superficial run-off. But the magnitude that they can do it, will depend on the response of the above mentioned green roofs to the rainfalls, and this response will be different according to the type of green roof (basically substrate thickness and type of vegetation). Because of it, in the mathematical simulation models, the modeling will be more precise depending on the precision of the information sources used. The aim of this work has been to determine the capacity of retention that present green roof, extensive and intensive, planted with *Carpobrotus acinaciformis*. The results would allow affirming, for the studied conditions, that the *Carpobrotus acinaciformis*, can realize a contribution to the decrease of the urban runoffs for cities located in the Buenos Aires coast as that of this work.

### Keywords

green roofs • water retention • simulation models

## INTRODUCCIÓN

Las cuencas son complejos sistemas ambientales donde se desarrollan procesos geomorfológicos, hidrológicos, climáticos y ecológicos, que son impactados por la urbanización (17).

La gestión del agua es equivalente a la gestión de conflictos entre seres humanos y de estos con el entorno. En cuencas donde se asientan poblaciones estos conflictos se agudizan (6).

No existe un solo aspecto de la vida de las sociedades contemporáneas que no se vea influido por el crecimiento de los grandes complejos urbanos, algunos de los cuales ya figuran entre las concentraciones de población y actividades económicas más grandes del mundo (4).

Dourojeanni y Jouravlev (1999), mencionan dentro de los problemas ambientales relacionados con la urbanización, al incremento del coeficiente de escorrentía en las zonas urbanas en comparación con las rurales, debido a una mayor proporción de

áreas impermeables en dichas zonas; y a la disminución del tiempo de concentración en las áreas urbanas, debido a que los flujos son más rápidos, los caudales picos aumentan de dos a cinco veces y con ello el potencial de inundación.

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

El cambio climático ha impuesto retos sobre el manejo de los recursos hídricos en zonas urbanas. Las políticas y el enfoque de la ingeniería deben considerar la adaptabilidad como parte fundamental de la planeación de proyectos hidráulicos (2).

Entre los aspectos a considerar se encuentra la modificación del entorno, que provoca la urbanización. Esto altera los servicios eco-sistémicos que brindan los paisajes, algunos de los cuales, de existir, contribuyen a disminuir los problemas mencionados.

La Planificación Ecológica de los paisajes es una de las disciplinas que puede contribuir sustancialmente a la regulación del proceso de urbanización en áreas ambientalmente sensitivas. Se trata de una disciplina que combina los aportes de la ecología con el análisis espacial aportado esencialmente por la geografía, para proporcionar argumentos, evaluar y predecir los problemas ambientales que afectan a las ciudades latinoamericanas, así como para contribuir a la sustentabilidad de su crecimiento (17).

Gran parte de la hidrología urbana actual, como nuevo paradigma que pueda lograr lo antedicho, propone para el manejo del drenaje urbano, además del sistema de alcantarillado tradicional existente, una serie de medidas que tratan de trabajar sobre el escurrimiento superficial de una manera integrada. Esta serie de prácticas suelen agruparse bajo la denominación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable o Sistemas de Drenaje sostenible (SuDS).

Kellagher *et al.* (2007), mencionan que estos sistemas están diseñados para gestionar los riesgos ambientales resultantes de la escorrentía urbana y contribuir siempre que sea posible a la mejora de la ecología urbana. Por lo tanto los objetivos de los SuDS, son minimizar los impactos del desarrollo urbano sobre la cantidad y calidad de los escurrimientos y maximizar oportunidades de biodiversidad.

Dentro de estas prácticas que se agrupan bajo la denominación de SuDS, se encuentran los Techos verdes o como mencionan Rosatto *et al.* (2013), mejor denominadas como Cubiertas Naturadas, involucra 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".

Crespo *et al.* (2010), concluyen en su trabajo que el escurrimiento estudiado, dependió en gran parte de la Cobertura Vegetal.

En las cuencas rurales o agrícolas, uno de los principios de su ordenamiento (1), se centra en el análisis de las capacidades bioclimáticas en las diferentes zonas de la cuenca, a fin de establecer la vegetación protectora contra la erosión, que al mismo tiempo contribuye en la regulación de la lámina de escurrido. Por asociación, se podría decir que el establecimiento de cubiertas naturadas, por su capacidad de retención y retardo del escurrimiento proveniente de las precipitaciones, sería una de las prácticas que contribuiría en la regulación de la lámina de escurrimiento en las cuencas urbanas.

Para el análisis de los beneficios del establecimiento de distintas prácticas integradas para el manejo del drenaje urbano, suelen utilizarse modelos matemáticos, con el fin de estudiar la respuesta de las medidas propuestas ante diferentes rangos de precipitaciones.

GelmiySeoane (2013), mencionan que la revisión bibliográfica (por ellos realizada), muestra que los modelos hidrológicos y de calidad de agua determinísticos, para su aplicación en cuencas, requieren información muy detallada de las variables.

La bibliografía menciona, que para las cubiertas vegetadas o naturadas, tanto de tipo extensivo como intensivo, se reportan distintos beneficios, uno de ellos es: la capacidad de retener y retardar las aguas pluviales, lo que reduce los riesgos de inundaciones urbanas.

En el contexto actual de Cambio Climático, es importante estudiar el comportamiento de las Cubiertas Vegetadas en cuanto a la capacidad real,

mencionada, de contribuir a la disminución o retardo del escurrimiento superficial, para realizar un aporte a una de las variables de estudio que es necesario conocer en el marco de la modelización matemática de la simulación comportamiento superficial en cuencas urbanas.

Rosatto *et al.* (2015) citando a Perahia (2011), mencionan que los efectos del cambio climático y de los procesos de crecimiento urbano provocaron un deterioro ambiental en la Región Metropolitana Buenos Aires. Los peligros que esto conlleva se tornan menos predecibles debido a los mencionados cambios en el clima.

La variabilidad climática puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénicas (variabilidad externa) (2014).

En Argentina, Rosatto *et al.* (2010, 2013, 2015), para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, reportaron en sus estudios, datos sobre la capacidad de retención de las Cubiertas Naturadas (tanto de tipo extensivo como Intensivo), ante distinta pluviometría de las precipitaciones, encontrando una tendencia positiva de acuerdo con el tipo de vegetación utilizada. En sus trabajos los mayores porcentajes de retención fueron determinados para especies del género *Sedum* (*S. pachyphyllum*, *S. spurium* y *S. acre*) y para *Carpobrotus edulis*. Todas Crasuláceas.

Sin embargo, Re y Menéndez (2007), en un trabajo donde analizaron las respuestas de un modelo de simulación de grandes ondas de tormenta, menciona que, las zonas costeras, y especialmente las ciudades ubicadas en ellas, están amenazadas por una amplia variedad de peligros relacionados con el clima.

## Objetivo

Determinar la capacidad de retención hídrica (en forma indirecta a partir de la percolación) de parcelas de simulación de cubiertas naturadas de tipo intensivo y extensivo implantadas con *Carpobrotus acinaciformis*, en una localidad de la costa atlántica bonaerense.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en la localidad de Ostende sita en: 37°7'33,10" S y 56°53'3,12" O, en el partido de Pinamar, en la provincia de Buenos Aires-Argentina (figura 1, pág. 173).

### Establecimiento del ensayo

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 (19).

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/m<sup>2</sup> e Intensiva (mayor profundidad de sustrato) tienen un peso superior a 210kg/m<sup>2</sup>. 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" (20), con profundidad de sustrato menor a 15 cm y que generalmente requieren mantenimiento mínimo.



**Figura 1.** Ubicación geográfica del sitio de ensayo (Fuente IGN e imagen Landsat de Google earth).

**Figure 1.** Geographical location of test site (Source IGN and Landsat image from Google earth).

El ensayo se montó sobre la terraza de un edificio de la ciudad, donde no existe ningún tipo de interferencia de arbolado o de construcciones que pudieran interceptar las lluvias.

En la mencionada terraza se ubicaron, en forma aleatoria, parcelas de simulación de techos verdes, constituidas por "macetones" de fibrocemento de 0,50 x 0,50 metros y alturas de 35 y 20 cm.

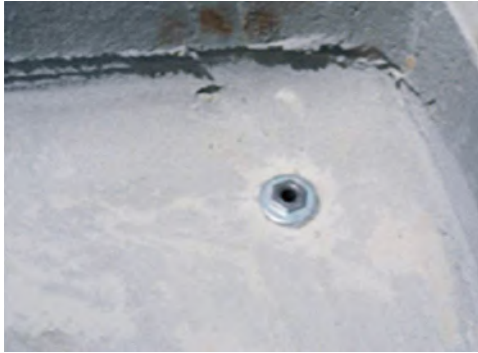
Todas las parcelas fueron niveladas a fin de que cuenten con pendiente hacia el desagüe de las mismas.

Para establecer el desagüe de cada parcela de simulación, se realizó una perforación en las cubetas en uno de sus ángulos, en el mismo se sujetaron varillas roscadas huecas de  $\frac{1}{2}$ " mediante tuercas, arandelas y pegamento siliconado (para evitar pérdidas) (figura 2, pág. 174).

Adosada a la varilla (en la parte inferior de la cubeta) se insertó una manguera de plástico transparente, conectada a un bidón de 30 litros, ubicado en la parte inferior, 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.

#### **Colocación de las capas de los sustratos en las parcelas**

Aquí se quiere dejar sentado que algunos de los sustratos sugeridos por la bibliografía, no se comercializan en Argentina, por lo que se reemplazaron por materiales "locales" en función de evaluar la viabilidad de la metodología con los insumos disponibles en el mercado en el sitio de estudio.



**Figura 2.** Detalle del dispositivo de desagüe de cada parcela (fuente propia).  
**Figure 2.** Detail of each plot drain device (own source).

Asimismo, parte de la bibliografía reciente, por ejemplo Vanwallegem *et al.* (2015) mencionan que, en la capacidad total de retención de agua de los sustratos de los techos verdes, el tipo de sustrato no tiene gran influencia en el porcentaje retenido.

Bianchini and Hewage (2012), mencionan que la nueva tecnología permitió el uso de polietileno de baja densidad (polímeros) y materiales de polipropileno con un peso reducido en los techos verdes. Sostienen que estos materiales tienen efectos negativos para el ambiente, por lo que, concluyen, los actuales materiales de techos verdes necesitan ser reemplazados por productos más ecológicos y sostenibles. Por esta razón, tampoco se utilizaron estos materiales.

Los sustratos, se colocaron en forma de capas desde el fondo del macetón (de mayor a menor granulometría). Los sustratos o capas utilizadas fueron:

- Piedra partida o "granza"
- Arcilla expandida "mini leca"
- Arena Oriental de textura gruesa
- Sustrato Superior; se utilizó arena del sitio donde crece naturalizada la especie estudiada.

### Vegetación

En cuanto a las especies a utilizar en los techos verdes, tomando en cuenta que los mismos se construyen sin riego, y se encuentran sujetos a condiciones frecuentes de estrés hídrico, la bibliografía recomienda el uso de Crasuláceas.

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)).

La capacidad de ocupación de hábitats secos, ha sido favorecida por el desarrollo de la capacidad de fijación nocturna de CO<sub>2</sub> (Metabolismo CAM) (12).

CAM es un acrónimo de Crassulaceae Acid Metabolism (Metabolismo Ácido de Crassulaceae), que es un tipo de metabolismo de fijación de carbono caracterizado por la acumulación de ácidos orgánicos durante la noche. Semejante al metabolismo C<sub>4</sub>, pero en CAM la separación de las dos carboxilaciones no es espacial (C<sub>4</sub>) sino temporal (21).

El resultado es que la apertura estomática y la fijación de CO<sub>2</sub> ocurren durante la noche, cuando la demanda evaporativa de la atmósfera es menor, y la fotosíntesis de carbohidratos se produce al día siguiente. Por ello la eficiencia de uso de agua (cantidad de materia orgánica sintetizada por unidad de agua transpirada) es mucho mayor en aquellas plantas que poseen este tipo de metabolismo (12).

En Argentina, han sido reportadas dos especies con este metabolismo: *Carpobrotus edulis* y *Carpobrotus acinaciformis* (13, 16).

Estas especies están naturalizadas en el área de estudio y una buena descripción botánica de ellas ha sido realizada por Portela Carballeira (2015).

El mencionado autor, menciona que *Carpobrotus edulis* es una especie vegetal perteneciente a la familia Aizoaceae. La especie es originaria de Sudáfrica, pero en la actualidad se encuentra presente en todas las zonas templadas del mundo, especialmente en ecosistemas costeros (incluyendo tanto dunas como costa rocosa). Se trata de una planta camefita, pluricaule y reptante, alcanzando los tallos una longitud de hasta 2 m, radicantes, muy ramificados y subcilíndricos. Las hojas son de color verde vivo, a veces púrpura en los extremos, ahusadas, con textura cérea y sección transversal en triángulo equilátero, curvadas hacia arriba, de alrededor de 10 cm de largo.

En suelos muy salinos, pueden desarrollar una especie de costra salina que les da un color superficial blanquecino. Posee metabolismo CAM, propio de las plantas crasuláceas. Las flores son muy llamativas, tienen de 6 a 9 cm de diámetro, numerosos pétalos imbricados de color rosado o amarillento, con cinco tépalos.

Respecto de *Carpobrotus acinaciformis*, Portela Carballeira (2015), sostiene que esta planta se encuentra emparentada

con *C. edulis*, procede de Sudáfrica y muchas de sus características fisiológicas y morfológicas son similares.

Se trata de un caméfito suculento y reptante, pluriacaule, con los tallos largos y radicantes y las ramas cortas con numerosas hojas. Estas son opuestas, sésiles, curvadas, generalmente glaucas. La diferencia fundamental con *C. edulis* es que las hojas de este tienen forma de triángulo equilátero, mientras que las de *C. acinaciformis* presentan sección transversal en triángulo isósceles (Suehs *et al.*, 2004, citado por Portela Carballeira (2015)). Además, la flor de *C. acinaciformis* siempre es de color púrpura.

Flores grandes, de 7-10 cm de diámetro, solitarias, de color púrpura, con 5 tépalos. Soporta bien la sequía y la salinidad pero no las heladas. Necesita exposiciones a pleno sol para crecer.

Tomando en cuenta que *Carpobrotus edulis*, había sido utilizada en la investigación reportada por Rosatto *et al.* (2015), en este ensayo las parcelas se vegetaron con plántulas de *Carpobrotus acinaciformis*, a fin de evaluar su comportamiento (figuras 3 y 4, pág. 176).

### Tratamientos

Se realizaron cuatro repeticiones de cada una de las combinaciones (8), con un diseño completamente aleatorizado (tabla 1, pág. 176).

La determinación del escurrimiento posterior a cada lluvia, se realizó mediante la medición del agua de cada recipiente (correspondiente a cada una de las parcelas) y se determinó el porcentaje de retención de cada combinación (en forma indirecta a partir del agua percolada) respecto del testigo, luego de cada evento de lluvia.

Con los datos obtenidos, se realizó un ANVA con el método de comparación de Duncan y un nivel de significación de 0,99.



**Figura 3.** Implantación de *Carpobrotus acinaciformis* - parcelas "extensiva" e "intensiva" (fuente propia).

**Figure 3.** Plantation of *Carpobrotus acinaciformis* - plots "extensive" and "intensive" (own source).



**Figura 4.** Detalle de *Carpobrotus acinaciformis* creciendo en las parcelas (fuente propia).

**Figure 4.** Detail of *Carpobrotus acinaciformis* growing in plots (own source).

**Tabla 1.** Tratamientos.

**Table 1.** Treatments.

Vegetación / Tratamiento	Con <i>Carpobrotus acinaciformis</i>	Con <i>Carpobrotus acinaciformis</i>
Sin sustrato (Testigo)		X
Con sustrato de 15 cm de espesor (extensivo)	X	X
Con sustrato de 30 cm de espesor (intensivo)	X	X



**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los datos obtenidos, de los porcentajes de agua de lluvia retenida, respecto del testigo, pueden apreciarse en la tabla 2.

En primer lugar se estudió estadísticamente si existían diferencias significativas entre las parcelas de simulación de Cubiertas Naturadas de tipo "intensivo" y "extensivo", para los intervalos de lluvia estudiados.

Los resultados, muestran que para la capacidad de retención analizada, existen diferencias significativas para todos los intervalos (de precipitaciones) estudiados entre ambos tipos de Cubiertas Naturadas. Esto va de la mano con lo sostenido por la mayoría de la bibliografía consultada.

**Rango 0 - 20 mm**

*Análisis de la varianza*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
0 - 20	70	0,84	0,84	8,80

*Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)*

F.V.	SC	gl	CM
Modelo	2654,05	1	2654,05
Repeticiones	2654,05	1	2654,05
Error	581,09	14	41,51
Total	3235,15	15	

F.V.	F	p-valor
Modelo	63,94	<0,0001
Repeticiones	63,94	<0,0001
Error		
Total		

*Test: Duncan Alfa = 0,01*

*Error: 38,1174 gl: 68*

Repet	Medias	n	E.E.		
1	84,20	35	1,04	A	
2	56,04	35	1,04		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,01).  
 Statistical average with a common letter are not significantly different (p > 0.01).

**Rango 21 - 40 mm**

*Análisis de la varianza*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21 - 40	16	0,82	0,81	9,36

*Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)*

F.V.	SC	gl	CM
Modelo	13877,81	1	13877,81
Repeticiones	13877,81	1	13877,81
Error	2591,98	68	38,12
Total	16469,79	69	

F.V.	F	p-valor
Modelo	364,08	<0,0001
Repeticiones	364,08	<0,0001
Error		
Total		

*Test: Duncan Alfa = 0,01*

*Error: 41,5067 gl: 14*

Repet	Medias	n	E.E.		
1	81,69	8	2,28	A	
2	55,93	8	2,28		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,01).  
 Statistical average with a common letter are not significantly different (p > 0.01).

**Tabla 2.** Porcentaje de retención de las parcelas respecto del testigo.

**Table 2.** Percentage of retention of the plots compared to the witness.

Tratamiento	Precipitación (en mm)			
	0 - 20	21 - 41	42 - 60	61 - 80
<i>Carpobrotus acinaciformis</i> (Intensivo)	84% (σ = 5,6)	82% (σ = 6,2)	84% (σ = 2,5)	77% (σ = 1,0)
<i>Carpobrotus acinaciformis</i> (Extensivo)	56% (σ = 6,7)	56% (σ = 4,0)	52% (σ = 4,5)	35% (σ = 2,8)

**Rango 41 - 60 mm***Análisis de la varianza*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
41 - 60	14	0,96	0,95	5,40

*Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)*

F.V.	SC	gl	CM
Modelo	3611,25	1	3611,25
Repeticiones	3611,25	1	3611,25
Error	161,86	12	13,49
Total	3773,11	13	

F.V.	F	p-valor
Modelo	267,74	<0,0001
Repeticiones	267,74	<0,0001
Error		
Total		

*Test:Duncan Alfa = 0,01*

*Error: 13,4880 gl: 12*

Repet	Medias	n	E.E.	A	B
1,00	84,13	7	1,39	A	
2,00	52,01	7	1,39		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,01$ )

Statistical average with a common letter are not significantly different ( $p > 0.01$ ).

**Rango más de 60 mm***Análisis de la varianza*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Mayor a 60	14	1,00	1,00	0,11

*Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)*

F.V.	SC	gl	CM
Modelo	6174,00	1	6174,00
Repeticiones	6174,00	1	6174,00
Error	0,05	12	3,9E-03
Total	6174,05	13	

F.V.	F	p-valor
Modelo	1576340,43	<0,0001
Repeticiones	1576340,43	<0,0001
Error		
Total		

*Test:Duncan Alfa = 0,01*

*Error: 0,0039 gl: 12*

Repet	Medias	n	E.E.	A	B
1	77,00	7	0,02	A	
2	35,00	7	0,02		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,01$ )

Statistical average with a common letter are not significantly different ( $p > 0.01$ ).

En segundo término, se determinó si existían diferencias significativas entre los resultados del porcentaje retenido de agua de lluvia, para los intervalos de precipitaciones, para las cubiertas de tipo "Intensivo", e igualmente para las de tipo "extensivo".

El análisis estadístico para las parcelas de simulación de cubiertas de tipo "intensivo", muestra que no existen diferencias significativas, en cuanto a la capacidad de retención, para los intervalos de lluvia de 0-20 mm, 21 a 40 mm y 41 a 60 mm, en cambio sí existen para el último intervalo de más de 60 mm.

**Cubierta de tipo "Intensivo"***Análisis de la varianza*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Columna 2	12	0,93	0,90	1,10

*Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)*

F.V.	SC	gl	CM
Modelo	82,16	3	27,39
Repeticiones	82,16	3	27,39
Error	6,42	8	0,80
Total	88,58	11	

F.V.	F	p-valor
Modelo	34,11	<0,0001
Repeticiones	34,11	<0,0001
Error		
Total		

Test: Duncan Alfa = 0,01  
Error: 0,8030 gl: 8

Columna 1	Medias	n			
1,00	84,20	3	0,52	A	
2,00	82,00	3	0,52	A	
3,00	81,66	3	0,52	A	
4,00	77,01	3	0,52		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,01$ )

Statistical average with a common letter are not significantly different ( $p > 0.01$ ).

El análisis estadístico para las parcelas de simulación de cubiertas de tipo "intensivo", muestra que no existen diferencias significativas, en cuanto a la capacidad de retención, para los intervalos de lluvia de 0-20 mm, 21 a 40 mm y 41 a 60 mm, en cambio sí existen para el último intervalo de más de 60 mm.

En cuanto a las de tipo "extensivo", el estadístico, permite afirmar que no hay diferencias para los dos primeros intervalos (0-20 mm y 21-40 mm), pero sí con el tercero (41-60 mm) y de este con el cuarto intervalo (más de 60 mm).

### Cubierta de tipo "Extensivo"

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Columna 2	12	1,00	1,00	0,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM
Modelo	930,72	3	310,24
Repeticiones	930,72	3	310,24
Error	0,08	8	0,01
Total	930,80	11	

F.V.	F	p-valor
Modelo	31023,99	<0,0001
Repeticiones	31023,99	<0,0001
Error		
Total		

Test: Duncan Alfa = 0,01  
Error: 0,0100 gl: 8

Columna 1	Medias	n			
1,00	56,04	3	0,06	A	
2,00	55,93	3	0,06	A	
3,00	52,01	3	0,06		B
4,00	34,67	3	0,06		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,01$ )

Statistical average with a common letter are not significantly different ( $p > 0.01$ ).

Respecto de los datos de la tabla 2 (pág. 177), los resultados observados en este estudio, así como los mencionados en la bibliografía van en línea con el hecho observado generalmente de una disminución de la retención con el aumento de la precipitación.

Aunque en el presente trabajo los resultados son algo menores que los observados por Rosatto *et al.* (2015), para el intervalo de 0 a 20 mm.

Este alto porcentaje de retención ante lluvias relativamente pequeñas, encuentra su explicación de acuerdo con la bibliografía (2005). Para condiciones secas del sustrato, se requiere entre 6 y 12 mm de lluvia para iniciar la escorrentía, mientras que para condiciones de saturación, la respuesta es más lineal.

En el trabajo de Rosatto *et al.* (2015), el sustrato utilizado (capa superior) fue un sustrato orgánico compuesto, que "necesita" para comenzar el drenaje, una pluviometría mayor que el sustrato de arena utilizado en esta investigación. Esto permitiría acordar con que lo aseverado por Vanwalleghem *et al.* (2015), respecto de que en la capacidad total de retención de agua de los sustrato de los techos verdes, el tipo de sustratos no tiene gran influencia en el porcentaje retenido, no sería del todo cierto.

Respecto de los resultados obtenidos para los otros intervalos de precipitaciones, en este ensayo la capacidad de retención ha sido más estable que en el estudio mencionado de Rosatto *et al.* (2015).

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permitirían afirmar, para las condiciones estudiadas, que *Carpobrotus acinaciformis*, puede

realizar un aporte a la disminución de los escurrimientos urbanos, como vegetación a utilizar en cubiertas naturadas para ciudades ubicadas en la costa bonaerense como la de este trabajo.

Los porcentajes de retención obtenidos ante los distintos intervalos de lluvia analizados pueden significar un aporte a las variables a estudiar en el marco de la modelización matemática de simulación de inundaciones urbanas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre, J. Á. M.; Sánchez, J. C. R. 1994. Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración higrológico-forestal, mediante modelos hidrológicos. *Ingeniería del agua*. 1(2): 69-82.
2. Ávila, H. 2012. Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático-caso de estudio: Ciudad de Barranquilla, Colombia. *Revista de Ingeniería*. 36: 54-59.
3. Bianchini, F.; Kasun, H. 2012. How green are the green roofs? Life cycle analysis of green roof materials. *Building and Environment*. 48: 57-65.
4. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 1992. El manejo del agua en las áreas metropolitanas de América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Chile. 19 p.
5. Crespo, R. J.; Sfeir, A.; Usunoff, E.; Ares, G.; Wingeyer A. B. 2010. Efecto de la labranza y la cobertura vegetal sobre el escurrimiento y la pérdida de suelo en la región central dela provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 42(1): 93-106.
6. Dourojeanni, A.; Jouravlev, A. 1999. Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. CEPAL. 176 p.
7. 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.
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, Chicago. Published by Green Roof Environmental Evaluation Network. 5 p.
9. Gelmi, M. E.; Seoane, R. S. 2013. Modelos determinístico y probabilístico para la estimación de la carga de nitratos en una cuenca rural. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 45(2): 245-255.
10. Kellagher, R.; Martin, P.; Jefferies, C.; Bray, R.; Shaffer, P. 2007. The SUDS manual. London. 697: 599 p.
11. 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.
12. Medina, E. 1990. Eco-fisiología y evolución de las Bromeliaceae. *Boletín de La Academia Nacional de Ciencias, Córdoba*. 59(1-2): 71-100.
13. O'Rourke, E.; Lysaght, L. 2014. Risk assessment of *Carpobrotus edulis*. National Biodiversity Data Centre - Documenting Ireland's Wildlife. 28 p.

14. Portela Carballeira, R. 2015. Importancia de la integración clonal en los procesos de invasiones biológicas: un trabajo experimental con *Carpobrotus* sp. Trabajo Fin de Máster, Master Universitario en Ciencias, Tecnologías y Gestión Ambiental. Universidad de La Coruña.
15. Re, M.; Menéndez, Á. 2007. Impacto del Cambio Climático en las Costas del Río de la Plata. Revista Internacional de Desastres Naturales. 7(1): 25-34.
16. Robert, H.; Lafontaine, R. M.; Beudels, R. C.; Delsinne, T. 2013. Risk analysis of the Hottentot Figs *Carpobrotusedulis* (L.), *C. acinaciformis* (L.). Risk analysis report of non-native organisms in Belgium from the Royal Belgian Institute of Natural Sciences for the Federal Public Service Health, Food chain safety and Environment. 35 p.
17. Romero, H.; Vásquez, A. 2005. Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. Revista EURE, Vol. XXXI, N° 94. 97-117.
18. 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. B.; Iñigo, M.; Quintenne, E. 2010. Eficiencia de la retención hídrica de las cubiertas vegetadas. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza. Argentina. 42(1): 213-219.
19. Rosatto, H.; Meyer, M.; Laureda, D.; Cazorla, L.; Barrera, D.; Gamboa, P.; Villalba, G.; Bargiela, M.; Pruzzo, L.; Rodríguez Plaza, L.; Mazzeo, N.; Caso, C.; Rocca, C.; Hashimoto, P.; Kohan, D.; Quintenne, E. 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.
20. Rosatto, H.; Moyano, G.; Cazorla, L.; Laureda, D.; Meyer, M.; Gamboa, P.; Bargiela, M.; Caso, C.; Villalba, G.; Barrera, D.; Pruzzo, L.; Rodríguez Plaza, L.; Oliveri, A.; Waslavsky, A.; Hashimoto, P.; Kohan, D. 2015. Cubiertas Vegetadas de tipo "Extensivo" - Eficiencia en la retención del agua de lluvia de distinto tipo de Vegetación Implantada. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 123-134.
21. Tormo Molina, R. 2014. Plantas y Hongos. Universidad de Extremadura. Disponible en: <http://www.plantasyhongos.es/index.htm>.
22. Vanwallegghem, T.; Hayas, A.; Peña, A.; Jiménez-Quiñones, D.; Sánchez, D.; Giráldez, J. V. 2015. Análisis de la escorrentía, la percolación y la evaporación en techos verdes usando áridos reciclados como sustrato. IV Jornadas de Ingeniería del agua, la precipitación y los procesos erosivos. Córdoba, España. 10 p.
23. Vilatte, C.; Aguas, L.; Confalone, A. 2014. Influencia de los ciclos solares sobre las precipitaciones en Azul, provincia de Buenos Aires. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 46(1): 227-233.
24. Villarreal E. L.; Bengtsson, L. 2005. Response of a Sedum green-roof to individual rain events. Ecological Engineering. 25(1): 1-7.