

# PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA

## **Techos verdes y sistemas de procesamiento de agua de lluvia**

**Castaño, Pablo – LU 1014921**

Ingeniería Industrial

Tutor:

**Larreteguy, Axel Eduardo, UADE**

**Martes 25 de Marzo, 2014**



**UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS**

## Índice

<b>Introducción .....</b>	<b>2</b>
<b>Ventajas de los techos verdes.....</b>	<b>3</b>
Aislación térmica .....	4
Extensión de la vida útil de los techos.....	9
Reducen el efecto isla de calor .....	11
Nuevos espacios verdes, disminución de superficies impermeables .....	13
Filtran el aire y reducen los remolinos de polvo causado por las altas temperaturas del pavimento.....	14
Amortiguan el pH de la lluvia ácida a niveles neutrales .....	15
<b>Construcción de un techo verde .....</b>	<b>18</b>
<b>Otras alternativas en construcción de techos verdes.....</b>	<b>31</b>
<b>Carga estructural de un techo verde.....</b>	<b>33</b>
<b>Capacidad de acumulación de agua de lluvia y de retardo de desagote por varias horas .....</b>	<b>34</b>
<b>Reducción y retardo en el pico de flujo de lluvia .....</b>	<b>41</b>
<b>Sistemas de reutilización de agua de lluvia .....</b>	<b>43</b>
<b>Beneficios Económicos (Casos).....</b>	<b>47</b>
<b>Ensayo.....</b>	<b>54</b>
<b>Simulaciones .....</b>	<b>59</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>81</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>84</b>

## **Introducción**

Un techo verde es un sistema a instalar en la superficie de un techo que puede recrear, si se utilizan plantas nativas, la situación previa a la que se encontraba antes que las construcciones ocuparan ese espacio. Estos sistemas tienen múltiples beneficios que serán desarrollados a lo largo de la tesis, que además de ser económicos en el largo plazo tiene otros que afectan directamente la vida y el desarrollo de las personas de una sociedad. En este estudio se analizarán los techos verdes desde su capacidad para imitar las condiciones hidrológicas previas a las construcciones que se han realizado en las ciudades y los demás beneficios que acarrea.

Los techos verdes pueden ser intensivos o extensivos, en el primer caso requieren de más de 30 cm de sustrato y puede contener hasta árboles mientras que el segundo requiere menor sustrato y mantenimiento al aplicar por lo general plantas nativas de la zona. En este caso siempre que se hable de techos verdes se hará referencia a cubiertas vivas extensivas, que además es la que contempla la Ley 4.428 de Ciudad Autónoma de Buenos Aires (hasta 18 cm de sustrato).

Las inundaciones provocadas por importantes precipitaciones ponen en riesgo la vida de personas, deja a vecinos sin servicios básicos, provocando además pérdidas en bienes y económicas. La situación actual ocasiona que un gran porcentaje del caudal de lluvia sea derivado a los sistemas de desagües pluviales y cloacales de la ciudad, desbordándolos, siendo el máximo responsable de las grandes inundaciones. Si la gran mayoría del agua retenida (aproximadamente 56% anual) es evaporada por la vegetación y el sustrato, esa cantidad de agua nunca llega a los sistemas de desagües ayudando a no desbordarlos y disminuyendo los graves perjuicios ambientales por arrastre de elementos contaminantes y por desborde del tratamiento de aguas. Es de vital importancia destacar que utilizando los techos verdes se está atacando y remediando la causa en el origen, mientras que los métodos convencionales al recibir toda el agua de precipitación están lidiando con las consecuencias de la misma.

## Ventajas de los techos verdes

Los beneficios que los techos verdes aportan son los siguientes:

- Capacidad de acumulación de agua de lluvia y de retardo de desagote por varias horas
- Reducción y retardo en el pico de flujo de lluvia
- Actúan como aislantes térmicos, tanto en verano como en invierno, reduciendo significativamente el consumo energético.
- Extienden la vida útil de los techos, ya que no deben soportar grandes diferencias de temperatura de invierno a verano, ni la incidencia de rayos UV.
- La ciudad gana espacios verdes que captan CO<sub>2</sub> y liberan O<sub>2</sub>, disminuyendo las superficies de pavimento.
- Reducen el efecto “Isla Calor”.
- Filtran el aire y reducen los remolinos de polvo causado por las altas temperaturas del pavimento.
- Amortiguan el pH de la lluvia ácida a niveles neutrales.

### Aislación térmica

Las casas cubiertas con techos verdes han probado su capacidad para aislar térmicamente habitaciones inferiores. Esto ocurre debido a que sobre la losa del techo se encuentra la cobertura de tierra, siendo ésta habitualmente de 15 cm de espesor, proveyendo aislación al tener una conductividad de 0,6 W/mK (Minke, 2004) cuando se encuentra húmeda.

Al agregar el manto de vegetación ocurren varios fenómenos:

En primer lugar, produce sombra sobre la tierra logrando que los rayos solares no incidan directamente sobre el mismo, aumentando la temperatura.

Por otra parte la energía proveniente de los rayos del sol es utilizada en gran parte por el manto de vegetación para producir la fotosíntesis ( $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ ). La planta a partir de dióxido de carbono y agua genera glucosa y oxígeno, utilizando 2,83kJ de energía (Minke, 2004).

Para calcular el proceso de calentamiento del agua desde una temperatura hasta lograr evaporación se utilizan las siguientes fórmulas:

$$Q = m C \Delta T$$

$$Q = m l_v$$

Calculando primero la cantidad de calorías para elevar la temperatura hasta 100°C y, luego la cantidad que se requiere para vaporizarla, obteniendo a través de la suma el total necesario.

Si estamos en un día de 30°C, considerando que la planta tiene esa temperatura en los estomas:

$$m = 1000\text{g} \quad C_{\text{h}_2\text{o}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \quad \Delta T = (100-30)^\circ\text{C}$$

$$m = 1000\text{g} \quad l_v = 539 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

$$Q = 1000\text{g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} (100-30)^\circ\text{C} = 70 \text{ kCal}$$

$$Q = 1000\text{g} \cdot 539 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = 539 \text{ kCal}$$

El total para evaporar 1kg de agua es de 609 kCal.

Según los estudios de Gernot Minke (Minke, 2004), 1 hectárea de pasto puede evaporar aproximadamente 22450 litros de agua. Por lo tanto en esa situación se estarían utilizando 13.672.050 kCal de la radiación solar para evaporar agua que, al humidificar el aire, baja la temperatura ambiente. Esto se puede ver claramente a partir de un gráfico psicrométrico (Fig. 1), donde a mayor humedad disminuye la temperatura.

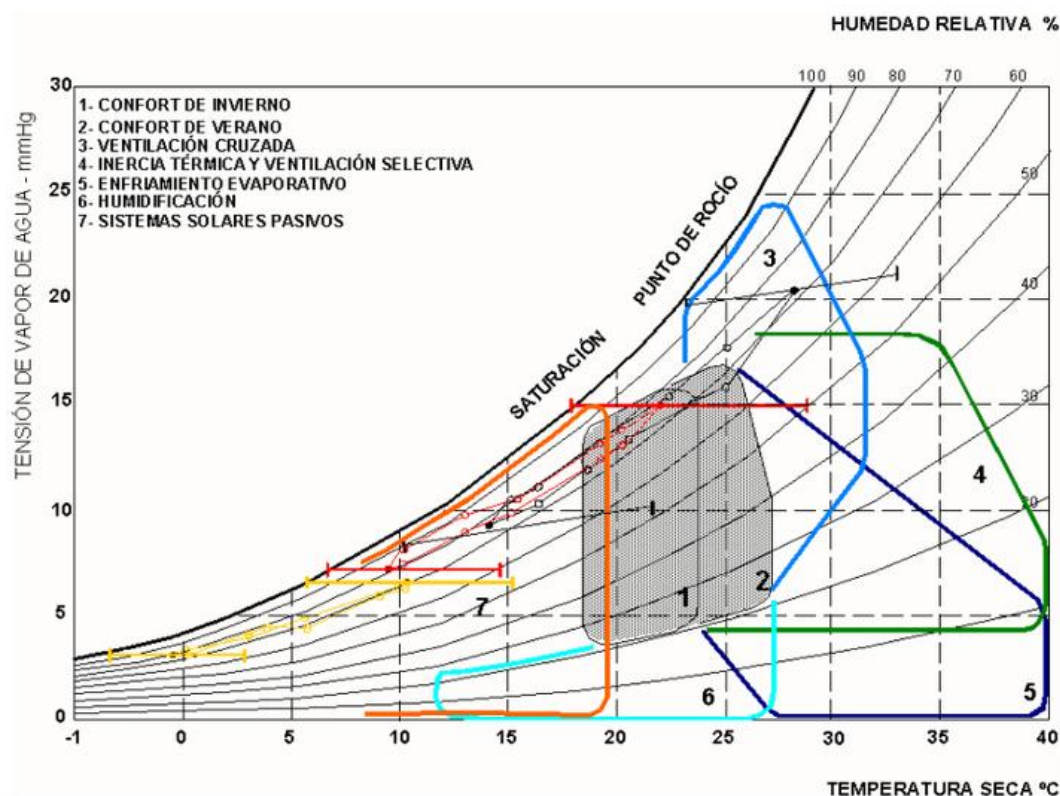


Figura 1: climograma de Givoni. (Givoni, 1969)

Las plantas tienen la capacidad de regular la temperatura del ambiente y la amplitud de la misma, a través de la evapotranspiración, que aumenta a medida que aumenta la temperatura y, la condensación. La capacidad para poder evaporar depende de que haya una diferencia de presión de vapor entre la planta y el ambiente, resultando básicamente en poca evapotranspiración cuando hay mucha humedad y viceversa.

Por último, regula la temperatura a partir del rocío que se genera en las plantas durante la madrugada. Este rocío se forma a partir de un descenso de la temperatura con la misma humedad relativa que se da al entrar en contacto el agua a una menor temperatura que la de la planta, llegando al punto de saturación. En este punto se

produce una ganancia de calor, a partir de la condensación, de  $l_c = 539 \frac{\text{cal}}{\text{s}}$ , los que antes eran utilizados para evaporar el agua.

Teniendo en cuenta que esta energía es utilizada por la vegetación para realizar la fotosíntesis se puede ver que gran parte de la misma no deviene en aumentar la temperatura de la vegetación y del techo. A partir de los siguientes gráficos (Fig. 2 y 9) se puede ver claramente el efecto de la vegetación en los techos.

El intercambio energético del techo está dominado por el efecto de losa refrigerante. Este ocurre debido a los fenómenos de conducción, convección y evaporación logrando refrigerar el ambiente que se encuentra a una mayor temperatura que la losa del techo, transmitiéndole calor. Siguiendo la cadena, la losa se encuentra a una mayor temperatura que la tierra del techo transmitiéndole también calor por conducción. Por último, gran parte de la radiación de los rayos solares es utilizada para realizar la fotosíntesis que al humidificar el aire exterior reduce la temperatura.

En un día de verano (Europeo) con una temperatura ambiente de 30°C, a partir del efecto sombra de las plantas y de la fotosíntesis, debajo de la vegetación se tiene 24°C mientras que debajo de la tierra solamente 17°C.

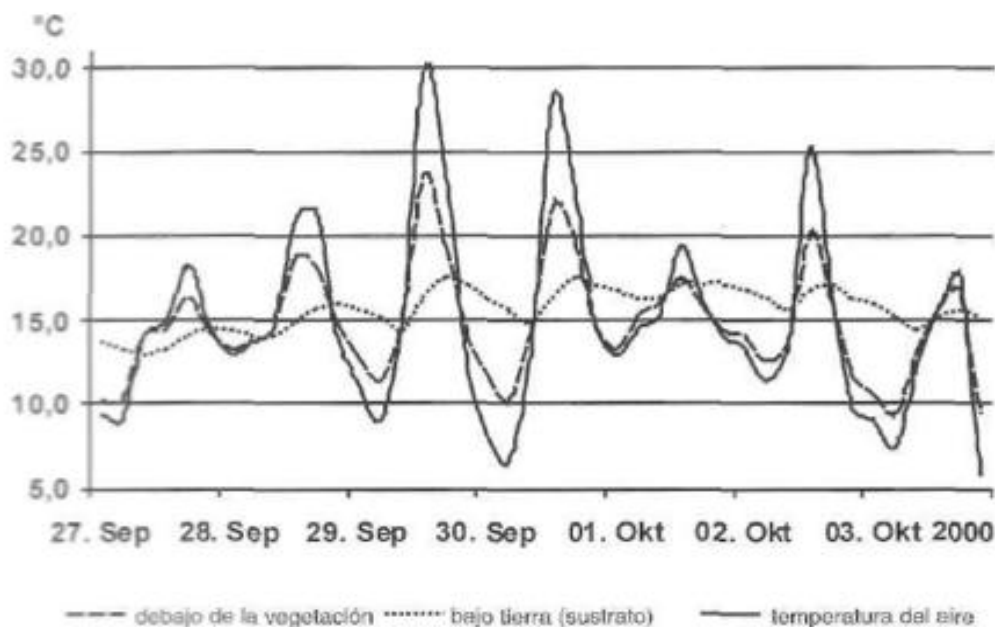


Figura 2: variación de temperatura en las capas de un techo verde (Minke, 2004)

Esto comprueba el verdadero efecto aislante de los techos verdes, similar a los proyectos consultados en General Roca, Rio Negro y Villa La Angostura, Neuquén de los arquitectos Nicolás Zilvestein y Daniel Alonso (Fig. 3) respectivamente.





Figura 3: estudio del arquitecto Daniel Alonso, Villa La Angostura

Un estudio realizado por el National Research Council de Canadá en Ottawa comparando balances energéticos, entre un techo con membrana asfáltica (de color gris claro) y un techo verde con 15 cm de sustrato contiguos, demostró una reducción de más de 75% (Liu & Baskaran, 2003) en la demanda de energía para poder acondicionar un espacio similar durante el verano. La demanda para acondicionar el espacio variaba entre 6 y 7,5 KWh/día mientras que con el techo verde se redujo hasta menos de 1,5KWh/día para los meses de verano (hemisferio norte) como se puede observar en la Figura 4.



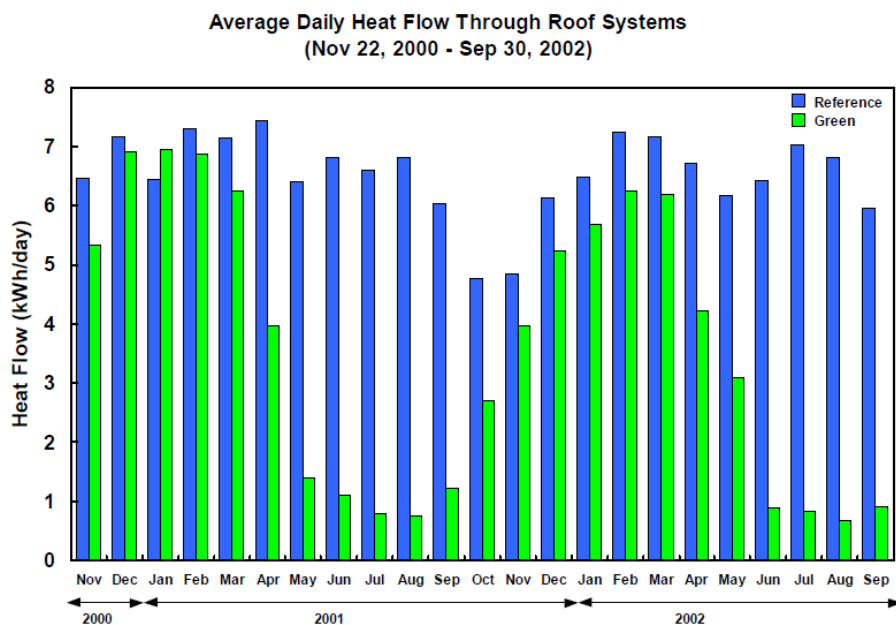


Figura 4: Flujo de calor por mes (Liu & Baskaran, 2003)

El estudio además analizó el flujo de calor en la Figura 5 se puede observar como para el caso de un día de verano (16 de Julio, 2001) el flujo de ganancia y pérdida de calor por el techo es drásticamente reducido.

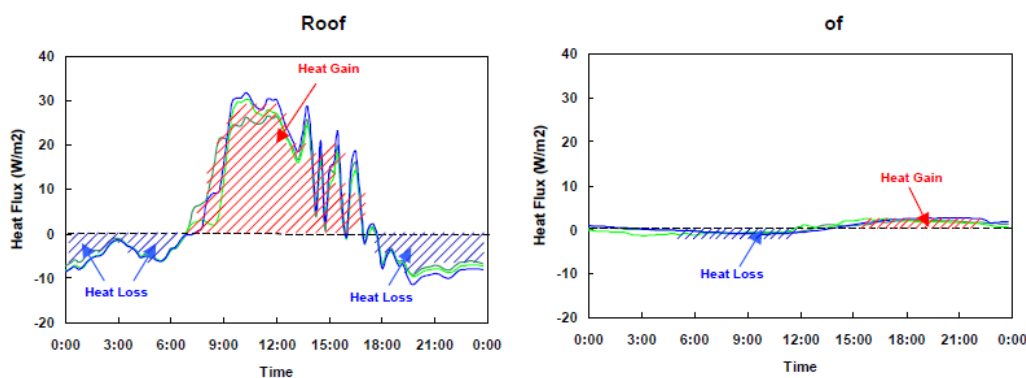


Figura 5: (Liu & Baskaran, 2003)

Como análisis complementario de lo mencionado anteriormente, los resultados a los largo del estudio que duró 660 días de ganancia y pérdida de calor de un techo verde pueden verse en la Figura 6. Apreciándose una reducción de 95% de ganancia de calor y una de 26% respecto de la pérdida, logrando durante el estudio una reducción total del flujo de calor de

47%.

	Reference Roof	Green Roof	Reduction
Heat Gain	19.3 kWh/m <sup>2</sup> (5900 BTU/ft <sup>2</sup> )	0.9 kWh/m <sup>2</sup> (270 BTU/ft <sup>2</sup> )	95%
Heat Loss	44.1 kWh/m <sup>2</sup> (13500 BTU/ft <sup>2</sup> )	32.8 kWh/m <sup>2</sup> (10100 BTU/ft <sup>2</sup> )	26%
Total Heat Flow	63.4 kWh/m <sup>2</sup> (19400 BTU/ft <sup>2</sup> )	33.7kWh/m <sup>2</sup> (271 BTU/ft <sup>2</sup> )	47%

Figura 6: Comparación de flujos de calor (Liu & Baskaran, 2003)

### Extensión de la vida útil de los techos

Al cubrir el techo con vegetación se logra extender la vida útil del mismo ya que no se encuentra expuesto a las condiciones ambientales, humedad y amplitud de temperaturas verano-invierno, ni a la incidencia de los rayos solares ultravioleta. En Alemania el Ministerio Federal para Ordenamiento de Espacios, Construcción y Urbanismo realizó un estudio donde 5 años luego de instalar una membrana, el 80% de los techos ya presentaban daños (Minke, 2004). Mientras que un techo verde extiende la esperanza de vida del mismo, como dice Gernot Minke, famoso arquitecto sustentable y constructor de techos verdes, hasta en 100 años. Hay casos en Alemania de techos verdes con hasta 90 años de antigüedad.

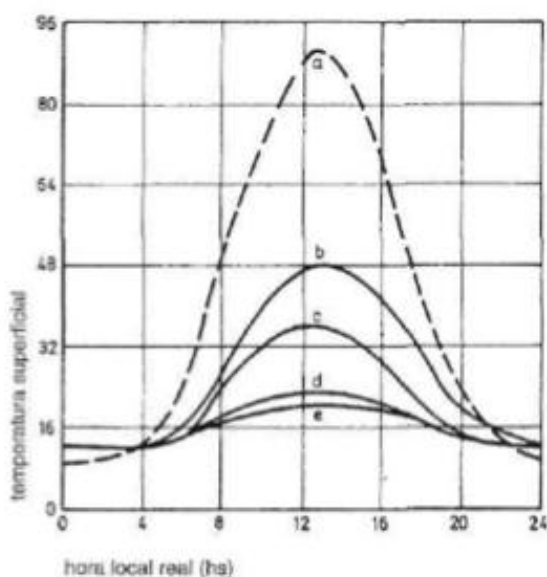
El estudio realizado por el National Research Council de Canadá durante 660 días muestra en la Figura 7 cuantos días un techo con membrana asfáltica de color gris claro y un techo verde superan ciertas temperaturas. Claramente se puede ver como en 219 días la membrana asfáltica supera los 50°C y, de esos, en 89 días supera los 60°C, dañando en el corto plazo la membrana. A su vez, la cubierta verde solamente en 63 días supera los 30°C.

Temperature Greater Than:	Reference Roof		Green Roof		Ambient	
	No. of Days	% of Days	No. of Days	% of Days	No. of Days	% of Days
30°C (86°F)	342	52	18	3	63	10
40°C (104°F)	291	44	0	0	0	0
50°C (122°F)	219	33	0	0	0	0
60°C (140°F)	89	13	0	0	0	0
70°C (158°F)	2	0.3	0	0	0	0

Table1: Statistics on the daily maximum temperature of the roof membranes on FRF during the observation period (660 days in total).

Figura 7: temperaturas alcanzadas por los techos estudiados (Liu & Baskaran, 2003)

La amplitud térmica genera daños mecánicos al techo, la misma puede variar en temperaturas de verano desde 80°C (temperatura ambiente 30°C, cuerpo oscuro) hasta ir por debajo de los 0°C grados en invierno. Como se puede ver claramente en la Figura 8 techos recubiertos con colores oscuros, como cartón bituminoso, o vertido de grava claros tienden a generar temperaturas que los dañan mecánicamente, al tener que resistir luego temperaturas bajo cero, soportando una amplitud de temperaturas que se vería netamente reducida si el techo estuviera cubierto con vegetación. Además los ambientes que tienen esos techos deben soportar temperaturas por arriba del rango de confort térmico que se encuentra entre los 21°C y 26°C, demandando el uso de aire acondicionado para aclimatar, aumentando el efecto isla calor.



- a) cartón bituminoso
- b) vertido de grava, claro
- c) pintura clara reflectiva
- d) mojado, plantado artificial
- e) plantado

Figura 8: temperatura alcanzada por techo (Minke, 2004)

Justamente el estudio del National Research Council de Canadá muestra (Fig. 9) cómo varían las amplitudes térmicas y cómo un techo vivo las reduce considerablemente durante el transcurso de los días. En el estudio remarcan que el promedio de la amplitud térmica durante el año de la membrana asfáltica fue de 45°C mientras que la de la cubierta verde de solamente 6°C. A su vez, que en invierno cuando ambos son cubiertos por una capa de nieve se encuentran protegido de las fluctuaciones.

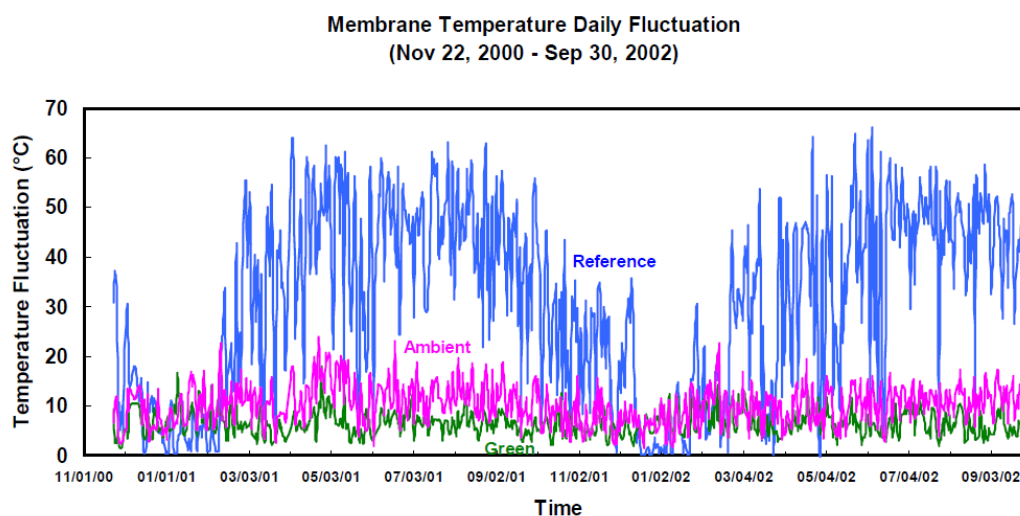


Figura 9: techo con membrana asfáltica (azul), techo verde (verde), (Liu & Baskaran, 2003)

### Reducen el efecto isla de calor

El efecto “isla de calor” es un fenómeno que se muestra en mayores temperaturas en las ciudades que en las áreas suburbanas y rurales que lo rodean (Fig. 10).

Estudios revelan que la demanda de electricidad para enfriar ambientes aumenta 2-3.33% por cada 1°C aumentado por el efecto (EPA).

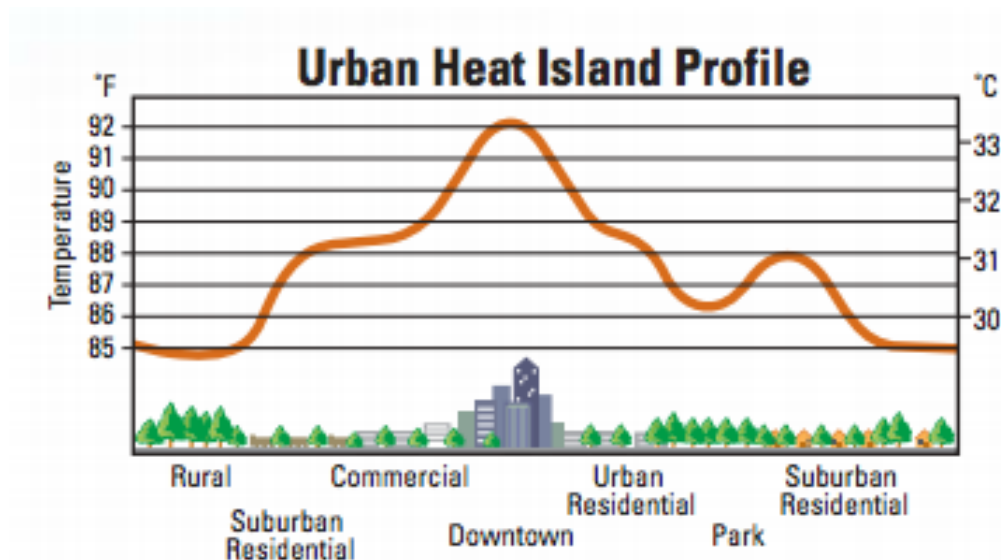


Figura 10: perfil de temperaturas, efecto isla de calor (EPA, Cooling summertime Temperatures, 2003)

En una ciudad de 1 millón de habitantes puede haber un incremento de 1 a 3°C promedio y de 12°C, luego del ocaso del sol, en un día de verano (EPA).

Esto ocurre debido a que los materiales predominantes en las ciudades tienen un albedo muy bajo (colores opacos), reflejando pocos rayos, absorbiendo la mayor parte de esa energía. La vegetación también tiene albedos no muy elevados pero mayores a los mencionados anteriormente y utilizan la mayor parte de esa energía para el proceso de fotosíntesis y de evapotranspiración, que reducen la temperatura.

Lo que ocurre con materiales como el concreto o asfalto es que absorben la mayor parte de la energía y luego la inercia térmica de ese material determina la velocidad de liberación del calor al ambiente, que en este caso se produce lentamente logrando, como decíamos con anterioridad, tener una diferencia de hasta 12°C luego del ocaso del sol. A su vez la altura de los edificios provoca que la parte de radiación reflejada sea en dirección hacia otros edificios evitando que escapen, lo que se conoce como cañadones urbanos terminando en la absorción.

Al tener mayores temperaturas se tiende a tener una mayor capacidad instalada de aires acondicionados que básicamente enfrían el aire del interior a costas de aumentar la temperatura del aire exterior. Se tienen dos problemas graves, aumento de temperatura ambiente y un mayor gasto energético que dada la matriz energética Argentina, donde el 89% proviene de combustibles fósiles, deviene en una mayor emisión de CO<sub>2</sub>.

Según los estudios Lawrence Berkeley National Laboratory, el efecto es responsable por un aumento en el consumo de energía entre 5-10% durante la demanda pico (Akbari, 2005). Además afecta negativamente la salud a través de la formación de smog, al ser este un proceso dependiente de la temperatura, acrecentándolo hasta en un 20%.

Las alternativas para solucionar este grave problema son:

La creación de nuevos espacios públicos verdes (parques, plazas), techos verdes, techos blancos y pavimentos fríos.

Los últimos dos se basan en la reflexión de la radiación solar a partir de albedos cercanos a 1 y colores claros. Por su parte los techos blancos son una solución parcial y de menor costo que los techos verdes que mitiga el problema isla calor al evitar que gran parte de la radiación sea absorbida disminuyendo considerablemente el consumo de energía.

Esta solución es parcial debido a que no se cuenta con la capacidad de retención de los techos verdes ni de aislación, o de reducción de la temperatura por medio de la evapotranspiración debido a que logran humidificar el aire cuando está seco o captar la humedad. Además se debe estudiar el efecto visual perjudicial que producen estos techos sobre edificios que se encuentran a mayor altitud al producirse la reflexión.

### **Nuevos espacios verdes, disminución de superficies impermeables**

A partir de la fotosíntesis la ciudad gana espacios verdes que captan CO<sub>2</sub> y liberan O<sub>2</sub>, disminuyendo además las superficies de pavimento. A través del proceso de fotosíntesis la plantas captan dióxido de carbono CO<sub>2</sub> que al combinarlo con el agua H<sub>2</sub>O retenida en la planta forman glucosa C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> y oxígeno O<sub>2</sub> con un gasto energético aproximado como se demostró anteriormente de 600 cal por molécula de glucosa.

Sobre este punto, el tener superficies cubiertas con techos verdes brinda dos beneficios netos, el primero de captación de CO<sub>2</sub> (en la respiración se consume oxígeno y libera CO<sub>2</sub> relación baja 1/5 a 1/3 (Minke, 2004)) y, el segundo, tener superficies permeables que permiten el escurrimiento del agua de lluvia. La situación actual ocasiona que un gran porcentaje del caudal de lluvia sea derivado a los



sistemas de desagües pluviales y cloacales de la ciudad, desbordándolos, siendo el máximo responsable de las grandes inundaciones.

Además una investigación conducida por Gernot Minke en la Universidad de Kassel, demuestra que un techo con grama silvestre puede tener, dependiendo la altitud de este, de 50 a 100 m<sup>2</sup> de vegetación por m<sup>2</sup> de área. Mientras que un parque al estar cortado prácticamente al ras del suelo tiene aproximadamente 10 m<sup>2</sup>. Por lo tanto se tiene como mínimo 5 veces más área de vegetación por m<sup>2</sup> de techo verde que en el caso de un parque. Es evidente que en una ciudad del tamaño de Buenos Aires donde resulta difícil encontrar un área para convertirla en parque, sin contar la presión económica en el caso de ser hallada para construir edificios, que es más barato y más efectivo construir techos verdes que parques.

### **Filtran el aire y reducen los remolinos de polvo causado por las altas temperaturas del pavimento**

Debido a las elevadas temperaturas que pueden alcanzar techos sin vegetación (Fig. 8) se producen movimientos de aire ascendentes, al dilatarse y tener una densidad menor que la del aire que se encuentra por encima del mismo, provoca que se eleven partículas de polvo (incluyendo metales pesados) que se encuentran sobre la superficie, disminuyendo la calidad del aire y tornándolo en algunos casos nocivo para la salud. Los techos verdes brindan dos soluciones en este caso: la primera de evitar diferencias de temperatura elevadas entre la capa de aire inmediata al techo y las superiores a esta, lo que inhibe que se forme movimiento de aire ascendente o disminuye su efecto. La segunda, de no menor importancia, es la de filtrar el aire no solo de polvo sino de partículas nocivas como metales pesados (plomo, mercurio, cromo). En el estudio Interior Landscape Plants For Indoor Air Pollution Abatement realizado por la NASA que surgió a partir de la mala calidad de aire al interior de edificios de eficiencia energética en los años 70 (tenían pobre circulación de aire), teniendo el objetivo de utilizar los conocimientos en las estaciones espaciales, se comprobó la capacidad de las plantas para remover sustancias químicas para la salud como benceno, formaldehído y tricloroetileno. Como se puede apreciar en la Figura 11 las plantas tiene gran capacidad de remover sustancias químicas.

**Table 4. Chemicals Removed by Household Plants from a Sealed Experimental Chamber During a 24-h Exposure Period**

	Formaldehyde			Benzene			Trichloroethylene		
	Initial (p/m)	Final (p/m)	Percent Removed	Initial (p/m)	Final (p/m)	Percent Removed	Initial (p/m)	Final (p/m)	Percent Removed
Mass cane	20	6	70	14	11	21.4	16	14	12.5
Pot mum	18	7	61	58	27	53	17	10	41.2
Gerber daisy	16	8	50	65	21	67.7	20	13	35
Warneckei	8	4	50	27	13	52	20	18	10
Ficus	19	10	47.4	20	14	30	19	17	10.5
Leak control	18	17.5	2.8	20	19	5	20	18	10

Note: Plants were maintained in a commercial-type greenhouse until ready for testing. Each test, 24-h in duration, was conducted in a sealed chamber with temperature and light intensity of 30 °C ±1 and 125 footcandles ±5, respectively.

Figura 11: Remoción de químicos por plantas de interior (Wolverton, 1989)

### Amortiguan el pH de la lluvia ácida a niveles neutrales

Un importante aporte de los techos verdes es el de amortiguación de la lluvia ácida, elevando su pH hasta niveles neutros. En regiones en que la lluvia ácida puede convertirse en un problema tanto por el contacto con metales de la infraestructura aguas abajo del techo como por la disposición final de ese desagote, los techos verdes surgen como una solución factible.

Este problema específico tuvo un pico de relevancia en Buenos Aires, durante el 2007 cuando las usinas térmicas Central Puerto y Central Costanera debieron operar con fuel oil en lugar de gas natural, generándose un efecto contaminante de importancia que se vio reflejado en una disminución del pH del agua de lluvia.

Se puede observar en la Figura 12 una clara diferencia entre el pH de muestras de desagote de techos con membrana asfáltica y techos verdes. El estudio Green Roofs for stormwater runoff control de la Agencia de Control Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) en la Universidad Penn State, demostraba que para techos con: vegetación, con solamente sustrato y membrana asfáltica, el pH para los dos primeros llegaba a valores neutrales, mientras que el último era completamente ácido (Berghage, 2009). De esta forma se llegaba a la conclusión de que el factor determinante eran los minerales que se encontraban en el sustrato y, no la vegetación.

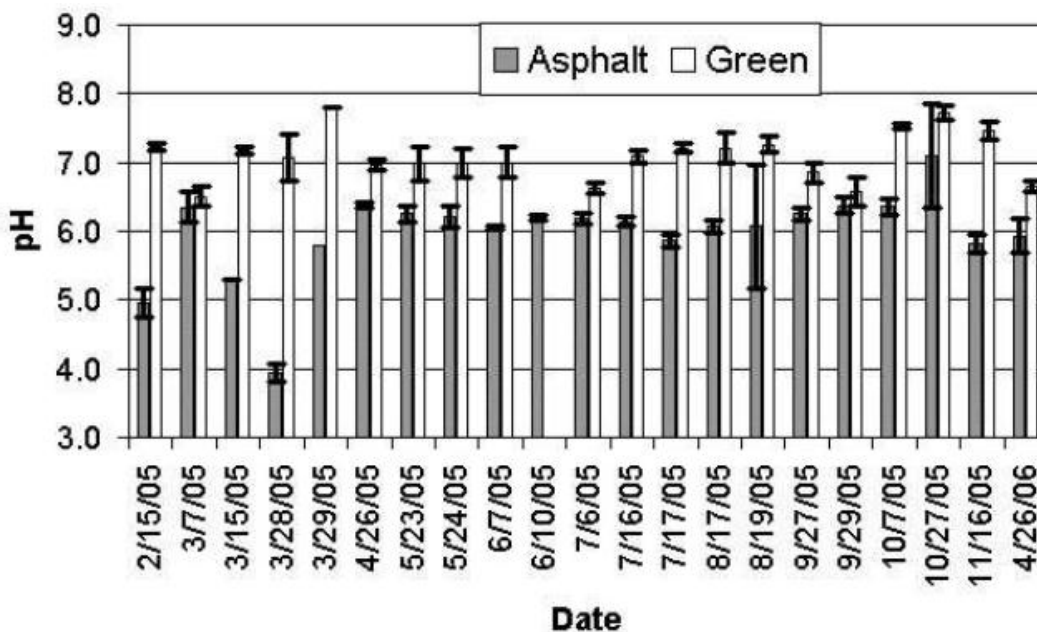


Figura 12: pH de agua desagotada de techos verdes y de m. asfáltica (Berghage, 2009)

Obviamente la composición del suelo es un factor determinante para poder calcular la capacidad de amortiguación de ese techo. Otro tema relevante es el tiempo que tardará el sustrato en perder su capacidad como amortiguador, hasta tener que agregarle alguna base para restaurarla. A partir de los puntos mencionados anteriormente, la EPA (Berghage, 2009) hizo pruebas con un sustrato a base de arcilla (Fig. 13) y otro en base a laja (Fig. 14) para determinar por medio de una prueba de envejecimiento acelerada, el tiempo que tardaría el suelo en perder su capacidad como amortiguador del pH.

Las tablas muestran el pH en eje de coordenadas y en el de abscisas el total del volumen de agua ácida. El estudio se realizó por 47 días en los que se agregó la solución ácida diariamente. Los puntos inferiores representan los instantes posteriores al agregado de la solución ácida mientras que los superiores la medición del pH 24 horas después.

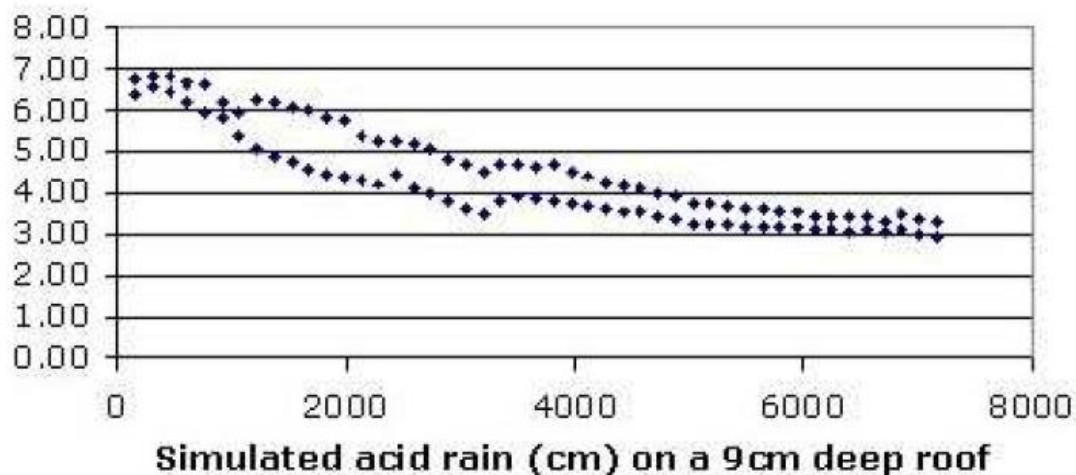


Figura 13: sustrato en base a arcilla (Berghage, 2009)

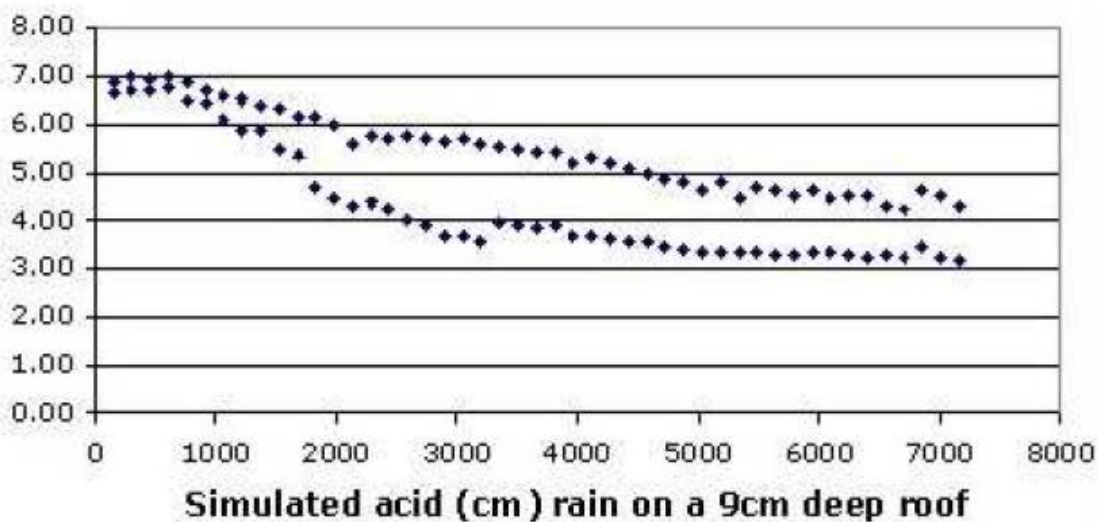


Figura 14: sustrato en base a laja (Berghage, 2009)

Se puede ver claramente entonces el efecto del suelo, como en 1 día logra elevar el pH. Además el sustrato en base a piedra laja pierde menor capacidad de amortiguación a lo largo del estudio y, tiene mayor fuerza en su efecto luego de las 24 horas para elevar el pH.

## Construcción de un techo verde

Con el objetivo de comprobar el comportamiento de las curvas de retención, de retardo de desagote y disminución del pico de flujo desagotado se participó activamente junto a Gernot Minke<sup>1</sup> (Fig. 16) en la construcción de dos prototipos de techos verdes en el Museo de Arquitectura de la Sociedad de Arquitectos el 12 de Octubre de 2013, cuyo proceso constructivo se detalla a continuación.

Las capas que forman el techo verde (Fig. 15) son las siguientes:

1. Membrana de PVC
2. Geodren
3. Sustrato
4. Vegetación

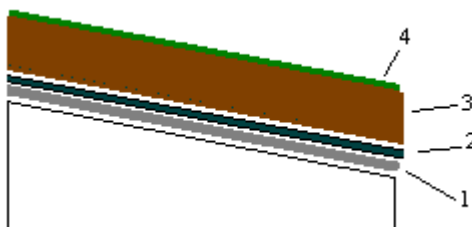


Figura 15: corte del techo verde

---

<sup>1</sup> Gernot Minke es un arquitecto alemán que ha estudiado desde 1974 en la Universidad de Kassel (Alemania) métodos constructivos con tierra y la construcción de techos verdes. Fue catedrático de la Universidad de Kassel y director del Instituto de Investigación de Construcciones Experimentales, actualmente se encuentra retirado. Ha publicado varios libros sobre los temas mencionados y es un fuerte impulsor de estas prácticas. Sus obras se encuentran en Europa, América y Asia, donde además ha sido invitado para disertar en conferencias y brindar cursos.





Figura 16: módulo de techo verde (Gernot Minke)

Este modelo de techo verde se hizo sobre módulos que medían 1,28 x 1,04 x 0,15 m, teniendo un área de 1,33 m<sup>2</sup> y, un volumen de 0,1996 m<sup>3</sup>. Por lo tanto la mezcla de sustrato para estos módulos era de la profundidad del módulo, aproximadamente 0,15 m, de vital importancia cuando se quiere evaluar la capacidad de retención de agua. Además estos módulos constan de láminas de PVC flexible, aplicada con aire caliente y por partes, en este caso de la marca Sika, siendo material importado de China. El



espesor de las láminas es de 1,2 mm constante, teniendo la parte interior más oscura como se puede apreciar en la Figura 17, en la que se aplica el aire caliente y va adherida al techo y, la parte exterior más clara que tiene protección ultravioleta y puede quedar expuesta al sol y la intemperie.



Figura 17: membrana de PVC flexible Sika

En Europa generalmente se utiliza un tejido de poliéster cubierto de PVC de 1,5mm o 2mm, éste último más seguro para soldar, utilizando el tejido para estabilizar, siendo estas últimas opciones más costosas. Luego como se ve en la Figura 18 se procedió a la aplicación de las láminas de PVC sobre el módulo de techo verde.



Figura 18: aplicación de láminas de PVC sobre el techo modelo

Se preparó la mezcla de tierra que, como recomienda Gernot Minke se debe utilizar tierra infértil, ya que en caso contrario la vegetación crece demasiado, sin dejar que las plantas que se encuentran por debajo crezcan y, se terminen por doblar a partir de la acción del viento y el sol. Para este caso se utilizó una mezcla de arena con tierra de 1 a 3 para reducir la fertilidad de la misma como se puede ver en la Figura 19.

Luego se procedió a mezclarlo para que la misma quedara lo más homogénea posible, con la ayuda de 6 personas, estando 3 personas en un lado opuestos a otras 3, se elevó la mezcla de lado a lado en forma intermitente como se ve en la Figura 20.

Después se agregó leca por 2 motivos, en un primer lugar su textura porosa permite el escurrimiento del agua y, en segundo, debido a la baja relación peso/volumen (Fig. 21).

Por último, al sustrato se le pone agua para permitir una mejor adaptación de la plantas al mismo y luego se lo mezcla como se ve en la Figuras 22 y 23.



Figura 19: mezcla 1 balde de arena por 3 de tierra





Figura 20: Homogenización del sustrato



Figura 21: agregado de leca a la mezcla





Figura 22: agregado de agua a la mezcla



Figura 23: homogenización del sustrato

Se prosiguió con el arreglo de ambos módulos, uno con inclinación de 5° y otro con una de 40°. El primero no requiere ningún tipo de taco para evitar deslizamiento de tierra ya que no presenta peligro. Ambos constan de una membrana geodren que se puede apreciar en la Figura 24, la misma se compone en el exterior de 2 fieltros (geotextiles) que impiden el avance de las raíces y en el interior de una malla volumétrica para permitir el drenaje del agua. Es muy importante la acción de los fieltros, que impide el avance de las raíces y, que éstas lleguen a la membrana de PVC. Si ésta última tiene mal hecho el solape entre los distintos sectores, puede permitir la entrada de agua y la formación de raíces.



Figura 24: Membrana geodren

Sobre el techo que ya tiene instaladas las láminas de PVC se dispone, sin ningún tipo de pegamento, la membrana geodren. Posteriormente se colocan rocas de mayor peso, en la zona más baja del módulo (por la que se producirá el desagote), para asegurar la membrana geodren, como se puede apreciar en la Figura 25. Por último, se colocan piedras de menor tamaño para poder permitir el desagote eficaz del agua (Fig. 26).





Figura 25: membrana geotextil ya colocada, se disponen las piedras.

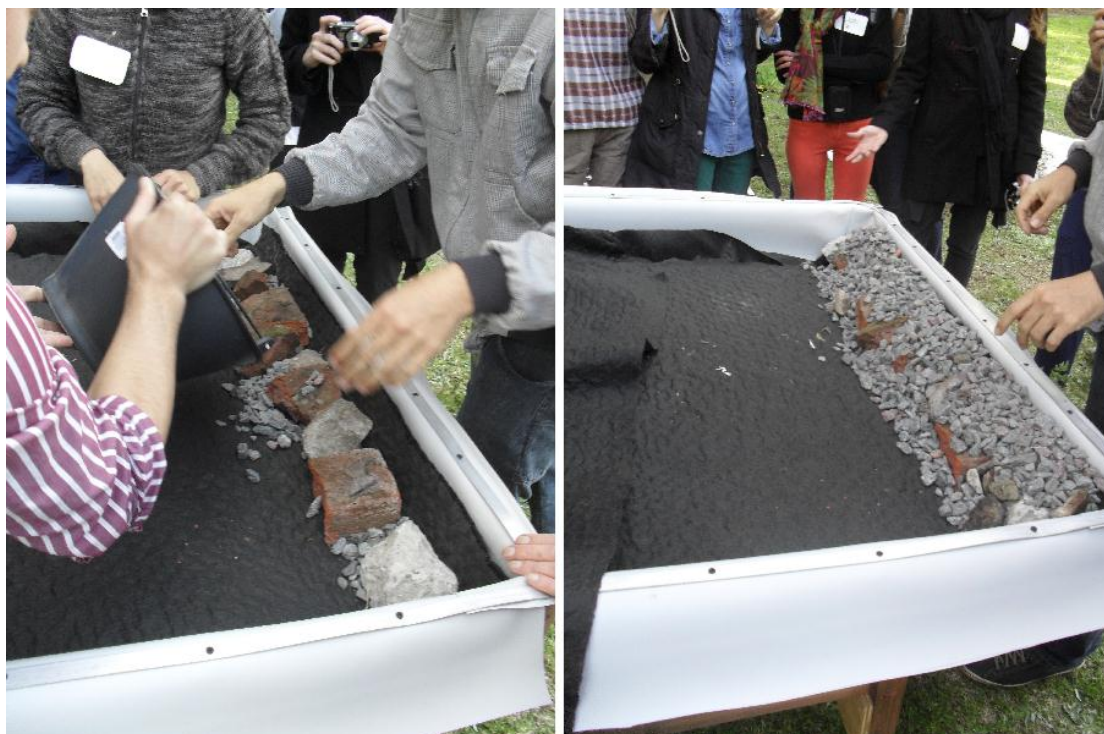


Figura 26: colocación de piedras de menor tamaño

Con un fin meramente estético se cubren las piedras hasta 5 cm del borde del módulo y, se rellena con la mezcla de sustrato previamente abordada (Fig. 27 y 28)





Figura 27: terminación de borde



Figura 28: llenado del módulo o techo

Por último se utilizó flora de la zona para formar el manto de vegetación del módulo (Fig. 29).



Figura 29: módulo de 5 grados

El segundo módulo de 40 grados (Fig. 30), presenta riesgo de que la tierra deslice, por eso se disponen tacos de madera para evitar cualquier peligro. Este tipo de techos no es abundante en la zona de Buenos Aires, pero si son utilizados en zonas de la Cordillera. La finalización del borde se realiza situando el manto geotextil por sobre el tope del módulo (donde desagota el agua). Sobre el manto se colocan, nuevamente rocas de mayor tamaño para fijarlo y, luego piedras pequeñas para lograr el escurrimiento del agua (Fig. 31).





Figura 30: módulo de 40 grados



Figura 31: detalle de terminado del borde, colocación de piedras

Posteriormente se realiza la colocación de tacos para prevenir el deslizamiento de la masa de tierra y vegetación. En este caso se demostraron dos métodos eficaces, pudiendo ser utilizados indistintamente (Fig. 32), incluso en forma de damero a lo largo del techo. En el superior para evitar que el taco del borde del techo resista toda la fuerza se disponen travesaños de 5 cm de



Figura 32: ejemplos de tacos

espesor a lo largo del techo puestos paralelamente, dependiendo la distancia del grado de inclinación del techo y estando aseguradas por medio de tacos clavados al techo como se puede apreciar en la Figura 32. Otro método es asegurar las maderas a lo largo del techo por medio de tacos que tienen como punto de apoyo el borde del



módulo, siempre que éste sea capaz de resistir esa fuerza. Por último, se relleno el módulo con la mezcla y la vegetación (Fig. 33). Es de vital importancia al disponer panes sobre el sustrato, que las uniones entre los panes sean rellenas con tierra. Esto tiene como fin evitar que las raíces entre los panes queden al descubierto pudiendo secarlas.



Figura 33: módulo de 40 grados

## Otras alternativas en construcción de techos verdes

Una alternativa más sustentable y ecológica a la membrana de PVC es la utilización de membrana asfáltica, este técnica es utilizada por el arquitecto Carlos Placitelli<sup>2</sup>.

Las distintas capas de la cubierta viva (Fig. 34) son:

1. Membrana asfáltica
2. Silo Bolsa de 200/250 micrones
3. Geotextil
4. Sustrato
5. Vegetación

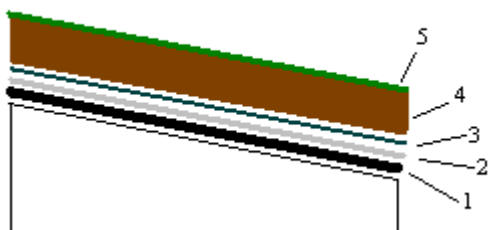


Figura 34: corte del techo verde

Mientras el grado de inclinación del techo sea menor a 5° se debería reemplazar el geotextil por el geodren aplicado en la construcción anterior para permitir el desalojo del agua.

Es de vital importancia en los solapes entre membranas asfálticas comprobar que la unión se encuentra totalmente sellada, lo cual se puede hacer mediante una espátula o destornillador. La utilización del silo bolsa es para brindar una segunda barrera de protección contra las raíces.

Una alternativa más económica es utilizar simplemente polietileno de 200 micrones, como única barrera contra las raíces, siempre que la inclinación del techo permita el escurrimiento del agua. Caso contrario, se debería agregar una membrana geodren.

Las distintas capas del techo vivo (Fig. 35) son:

<sup>2</sup> Carlos Placitelli es un arquitecto naval uruguayo que se ha dedicado a las construcciones con tierra y de techos verdes. Viene aplicando techos verdes en sus construcciones en Argentina desde 1998 y ha publicado 3 obras al respecto.



1. Cartón
2. Polietileno de 200 micrones
3. Sustrato
4. Vegetación

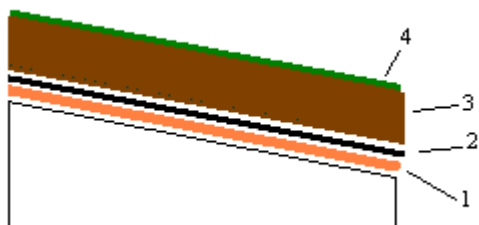


Figura 35: corte del techo verde

En la Figura 36 se utiliza cartón para que el polietileno no se dañe al colocarlo encima de la madera.



Figura 36: (Bioconstruyendo 2013, Paulina Avila, Paz Alvarez, Carlos Placitelli, Emiliano Eustaquio)

## Carga estructural de un techo verde

El código de edificación de CABA dispone en el inciso 8.1.3.b) las siguientes sobrecargas para azoteas:

- (1) Azoteas inaccesibles. .... 100 kg/m<sup>2</sup>
- (2) " accesibles..... 150
- (3) " donde puede congregarse gente para fines de recreo u observación.... 500

Teniendo en cuenta que un techo verde en carga (saturado por agua) pesa, dependiendo de los materiales, alrededor de 10 kg/m<sup>2</sup> por centímetro de sustrato, una cubierta verde de 15 cm pesaría 150 kg/m<sup>2</sup>. Para nuevas edificaciones sería simple de alcanzar, al prever el peso, mientras que con edificaciones ya construidas habría que verificar el cálculo de estructura. En vez de los 15 cm de sustrato se podría poner menores cantidades y hacer pasarelas (ya que esta cubierta verde no es transitable) respetando el máximo de carga.

## Capacidad de acumulación de agua de lluvia y de retardo de desagote por varias horas

La capacidad de acumulación de agua de lluvia de los techos verdes, es una de sus más importantes características. El estudio Green Roofs For Stormwater Runoff Control realizado por la Agencia de protección ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) ha demostrado que los techos verdes retienen anualmente, tanto por el sustrato como por la evapotranspiración de la vegetación, 50% o más del agua de lluvia. Los estudios fueron llevados a cabo en módulos de 8 a 10 cm de sustrato, con 1,8 x 2,4m de área. Además estos estudios señalaban que durante el verano la capacidad de retención se acercaba al 95%, mientras que durante el invierno esta cualidad llegaba al 20%, siendo más variable la capacidad de retención.

El resultado del estudio conducido por la EPA arrojó que 52,6% del agua de lluvia fue retenida por los módulos con vegetación (Fig. 37) mientras que los módulos con membrana asfáltica sólo retuvieron 14,1%. Por último, el módulo que sólo tenía sustrato retuvo un 29,7%, marcando claramente que la diferencia entre un techo verde y uno que sólo tiene sustrato es la rápida remoción de agua desde zonas profundas del sustrato que logra la vegetación, apurando la velocidad para volver a su estado máximo de retención.

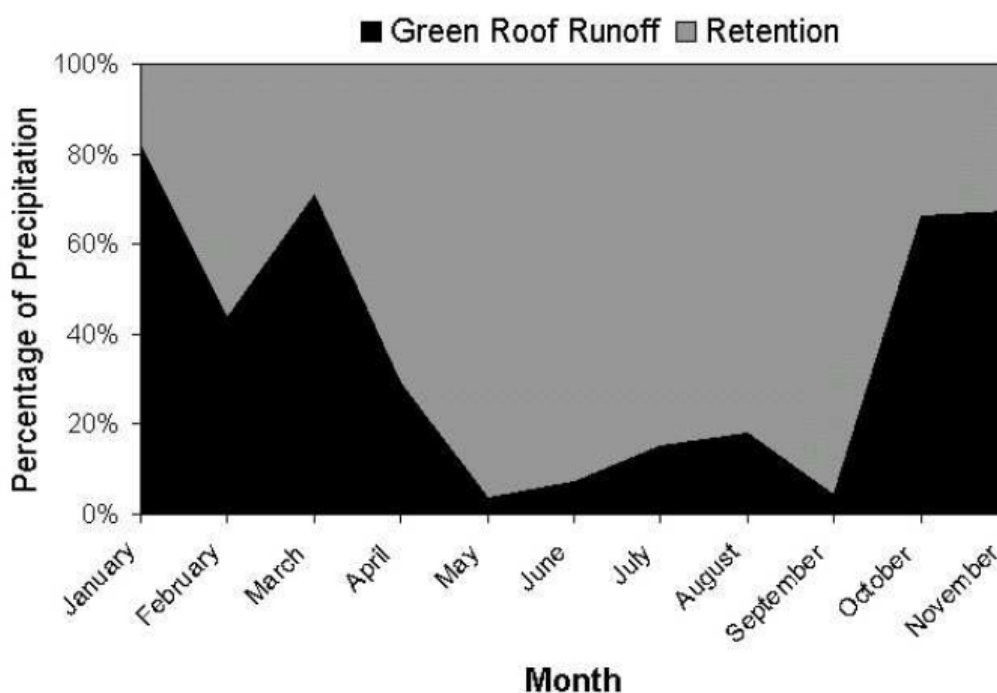


Figura 37: retención de agua de lluvia por los techos verdes (Berghage, 2009)

Los porcentajes que retienen los techos verdes varían según el estudio y van de un 40% a un 80% de acuerdo a los materiales que se hayan usado en el sustrato, la pendiente del techo y la vegetación. Según Kohler, en Alemania un techo verde de 5 a 15cm de sustrato es capaz de retener 60-80% de las precipitaciones anuales (Palla, 2010). Tres estudios realizados por Scholtz-Barth en Estados Unidos mostraban retenciones de 58, 67 y 72% al variar vegetación y sustrato (Scholz-Barth, 2001). Mientras que un estudio de Van Woert similar al realizado por la EPA en un periodo de 14 meses y con 556 mm de lluvia resultó en retenciones de 27,2%, 50,4% y 60,6% para techos de: gravilla, sólo sustrato y vegetación (Van Woert, 2005). En la Figura 38 se pueden observar distintos estudios realizados sobre retención en techos verdes con una media de 56%, siendo las posibles diferencias atribuibles a los métodos de medición, las estaciones del año, y duración en los que se hicieron las muestras. Además, se deben tener cuenta los climas de cada lugar, la vegetación, el tipo de sustrato elegido y su capacidad de retención.

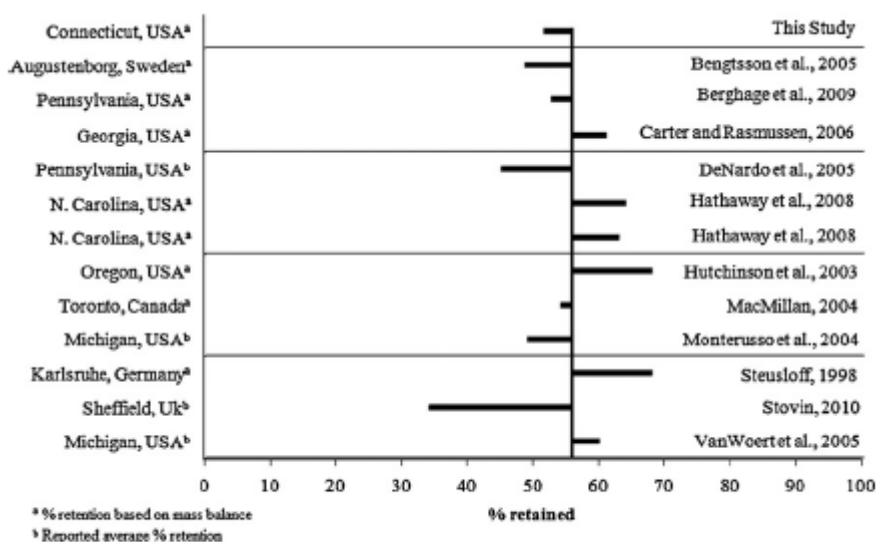


Fig. 1. Meta-analysis of green roof precipitation retention. The solid vertical line represents an average retention of 56%.

Figura 38: retenciones de agua de lluvia en 13 estudios (Gregoire, 2011)

Contrastando los valores del agua de lluvia acumulada para la ciudad de Buenos Aires (Fig. 39) con los valores arrojados con el estudio de la EPA se puede ver el efecto significativo que tendrían los techos verdes en cuanto a capacidad de retención.



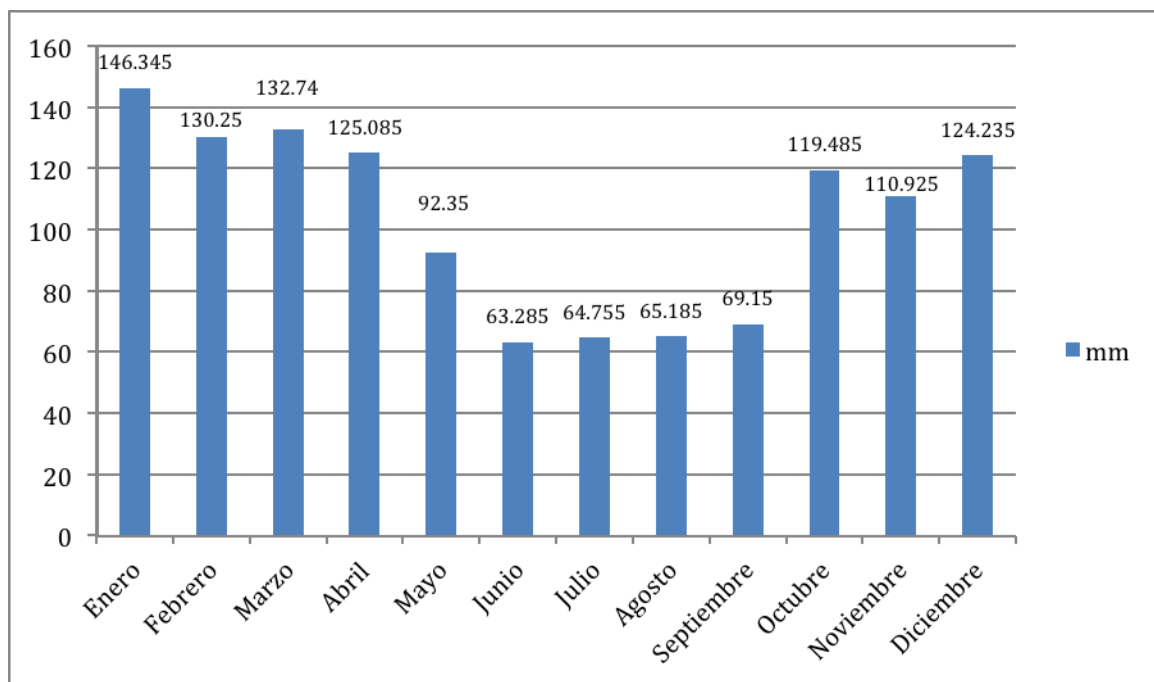


Figura 39: mm de agua de lluvia mensuales promedio (1991-2010, CABA, 2013)

En los meses de primavera y verano donde la vegetación y su capacidad de evapotranspiración se encuentra más activa es cuando más milímetros de lluvia cae en la ciudad de Buenos Aires. Mientras que en los meses de otoño e invierno cuando declina esa capacidad las lluvias descienden. Justamente en los meses de invierno es cuando los módulos con sustrato tienen resultados similares a los de techos verdes, especialmente cuando la vegetación se encuentra en estado de latencia.

Una importante conclusión del estudio de la EPA (Berghage, 2009) fue que los techos verdes tienen muy poco o ningún desagote hasta 10 mm de agua de lluvia con una probabilidad del 65%, sin importar la estación. Al comparar estos resultados contra la altura promedio por lluvia en cada mes se puede observar (Fig. 40) que en invierno con alturas de (4,96mm 5,98mm 7,21mm 6,84mm) la probabilidad de retener agua de lluvia es importante. Por otra parte se espera que en los meses más húmedos la rapidez de los techos vivos para volver a su estado de máxima capacidad de retención sea menor.

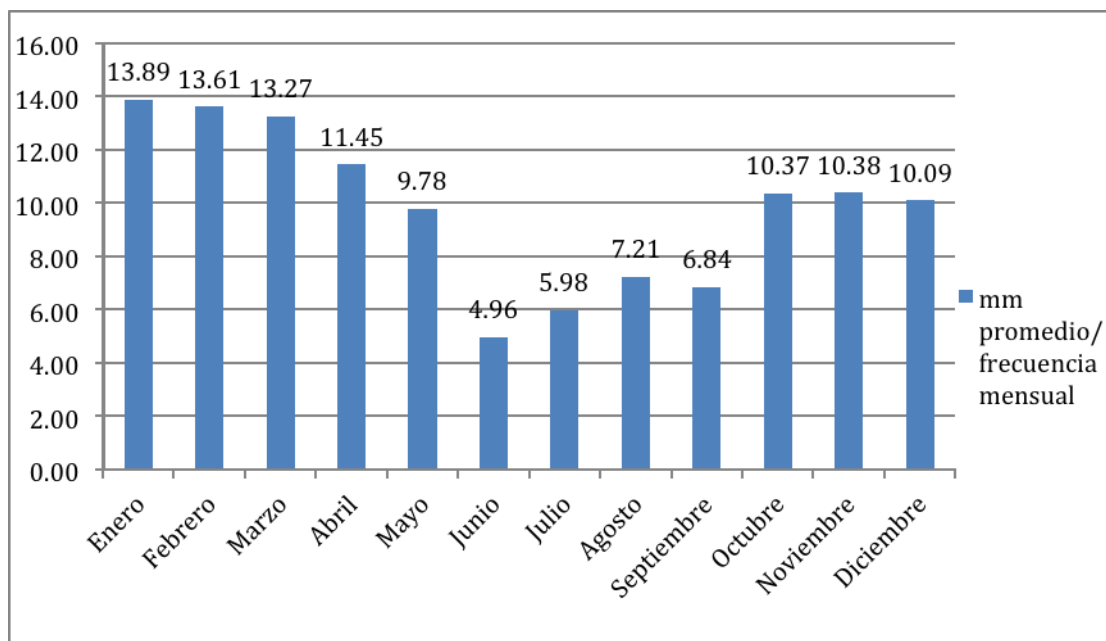


Figura 40: mm de lluvia promedio por lluvia caída periodo (1995-2010, CABA, 2013)

Una vez que es retenida, el agua de lluvia tiene 3 formas de abandonar el techo verde, por medio de la evapotranspiración que realizan las plantas, de evaporación que se produce en el sustrato y de un desagote muy lento. Éste último puede llegar a durar horas, estudios realizados por la Universidad de Kassel (Minke, 2004) en Alemania (Fig. 41) demuestran que un techo verde con 14 cm de sustrato tardó 12 horas en empezar a desagotar agua de lluvia mientras que su desagote definitivo fue 20 horas luego que terminara de llover.

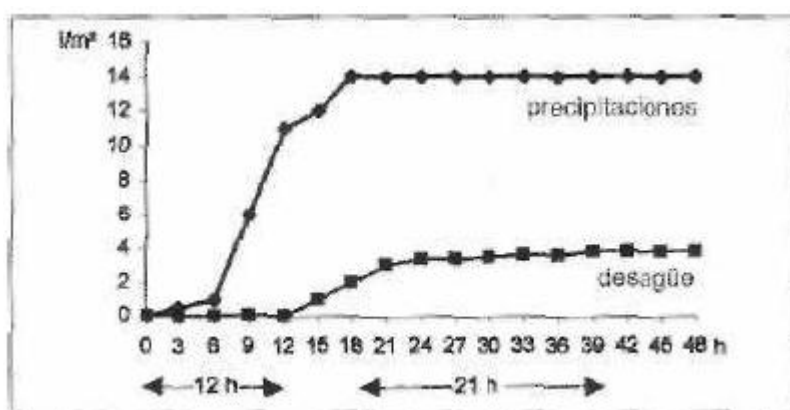


Figura 41: precipitaciones/desague (Minke, 2004)

Además se puede ver que habiendo llovido 9 milímetros de agua de las horas 6 a 12, el desagote fue sólo de 1 mm en las 3 horas siguientes y de 3 mm en las 6 horas

siguientes cuando ya habían caído 14 mm. El estudio prueba claramente la capacidad de retención de los techos verdes y del retardo que presentan para desagotar el agua de lluvia.

Un dato muy importante es el que proporciona Minke en su libro *Techos Verdes*, hablando de la capacidad de retención, *Un techo verde con 20 cm de sustrato de tierra y arcilla expandida puede, según Durr (1995, pág. 39), almacenar 90 mm de agua (=90 litros por m<sup>2</sup>)* (Minke, 2004). Ese nivel de agua fue exactamente el que cayó en la inundación de Buenos Aires el 2 de abril de 2013, durante la intensidad máxima de la misma por 2 horas (Fig. 42).



Figura 42: inundación del 2-4-2013, Capital Federal (Fuente: La Nación)

La evapotranspiración que realiza la vegetación es el otro factor importante dentro del análisis. La misma es responsable de retirar rápidamente el agua desde zonas profundas del sustrato, una vez que se ha producido la lluvia.

El estudio realizado por la EPA, señala que un techo verde comparado a un techo que sólo tiene sustrato, tiene esta característica, permitiendo que regrese más rápido la capacidad de retención que tenía el techo verde previo a la lluvia. Quizá uno de los datos más importantes es el de que las plantas tenían un ratio de evapotranspiración previo a alcanzar stress relacionado con la humedad del suelo de 10,5 mm/día

(Berghage, 2009), que ocurre cuando la capacidad de campo (la cantidad de humedad que puede retener el suelo luego de que se haya infiltrado el agua gravitacional) se encuentra en un 60%. Luego de dicho momento las pérdidas por evapotranspiración se reducen a 0,35 mm/día. Además realizaron un estudio en laboratorio simulando una sequía de 14 días (de otoño) para analizar las pérdidas de agua de un módulo con plantas y otro que solamente tenía sustrato. En los 14 días de sequía simulada el módulo con sustrato perdió 6mm mientras que el que tenía vegetación que alcanzó los 10mm (Fig. 43). Siendo una prueba contundente de la importancia de las plantas en los techos vivos como control de agua de lluvia.

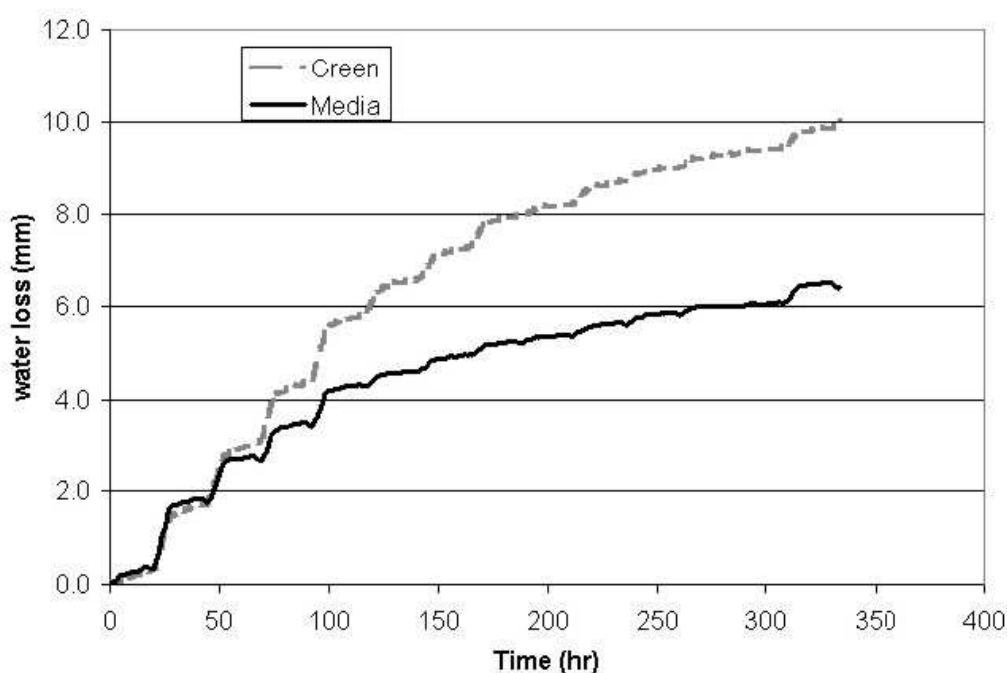


Figura 43: tasa de evaporación de un módulo con vegetación y uno con sustrato (Berghage, 2009)

Un techo que solo tiene sustrato tiene la misma capacidad de perder agua inicialmente pero luego de unos días esa capacidad se reduce por debajo de la de un techo verde que puede seguir sacando agua de las zonas profundas del sustrato. Además estos estudios indicaron la capacidad de la vegetación, especialmente la que se utiliza para zonas secas o donde se prefiere evitar un sistema de riego, como las *Sedum Album* o *Delosperma Nubigenum* (Fig. 44) para evaporar rápidamente el agua y luego pasar a una etapa donde el metabolismo se adapta a condiciones secas.





Figura 44: izq. *Sedum Album*, der. *Delosperma nubigenum*

Éstas plantas cuando se enfrentan a stress por sequía pasan a un metabolismo por el cual durante el día cierran los estomas (lugar por el que realizan la evapotranspiración) para evitar la pérdida de agua. Durante la noche abren los estomas y, absorben dióxido de carbono, almacenándolo como ácido málico y, durante el día lo utilizan para realizar la fotosíntesis con los estomas cerrados.

## Reducción y retardo en el pico de flujo de lluvia

Esta es otra característica importante para las ciudades como Buenos Aires donde intensas lluvias pueden causar inundaciones con daños irreparables. El retardo que logra el techo verde en que el desagote alcance el pico de flujo, sumado a una reducción en el mismo, es una cualidad inobjetable de este tipo de medida de control de lluvias (Fig. 45).

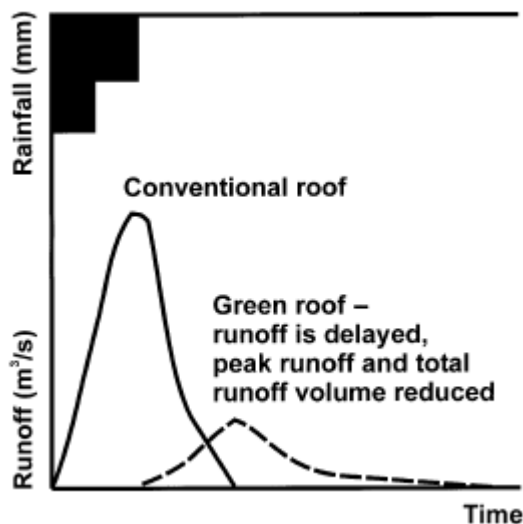


Figura 45: esquema del retardo y de la reducción en el volumen y pico de flujo desagotado (Stovin, 2009)

Esta característica brinda beneficios claros logrando que no toda el agua llegue al sistema de desagüe pluvial en el mismo momento y da tiempo extra a las personas para tomar resguardo.

Cuando cae una lluvia intensa, no se presenta un importante escurrimiento del agua hasta que el techo verde se encuentra saturado, una vez en ese punto, casi toda el agua que entra es igual a la que sale.

Una vez que el agua llega al techo tiene varios retardos, al ser atrapado por la vegetación y el tiempo que tarda en bajar hasta el sustrato, el que ocasiona el tamaño de las raíces y la red debajo del sustrato y, por el tiempo en que tarda en llegar hasta la membrana de drenaje. Una vez allí, dependerá de la composición de esa membrana para medir el tiempo en que desagota, sin presentar demasiados contratiempos, ya que su función es que el agua fluya. Entonces el tiempo de retardo es medido por el movimiento vertical que hace el agua mientras que el lateral debería ser similar al de un techo con membrana asfáltica.

Dependiendo del techo, del peso que pueda soportar y de los costos de piedras como la arlita, se puede utilizar un tejido para retener agua que se coloca por encima de la membrana de drenaje. Estos tejidos varían en su capacidad, como ejemplo en los estudios realizados por Van Woert se utilizaron de 800 y 1200 g de agua/m<sup>2</sup>.

El estudio realizado por la EPA, constatado luego por las simulaciones realizadas para la tesis como se verá más adelante, durante una lluvia en la que se alcanzó una intensidad de 75 mm/h (Fig. 46), muestra los retardos ocasionados por un techo con membrana asfáltica y uno verde.

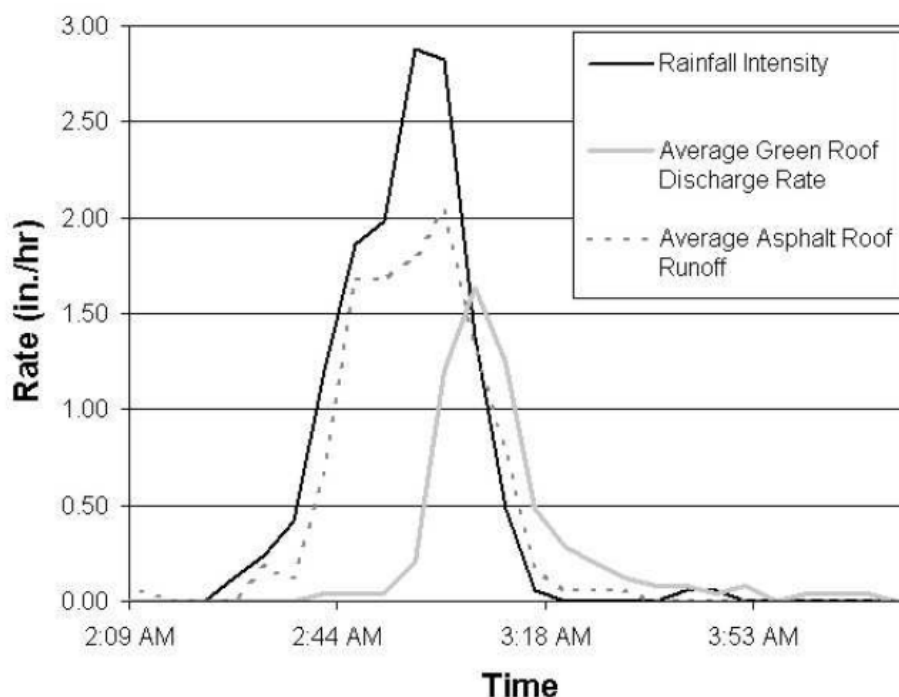


Figura 46: lluvia (intensidad máx. 75 mm/h), retardo y reducción del pico de flujo desagotado (Berghage, 2009)

El primero presenta un retardo de 5 minutos desde el pico de intensidad de agua de lluvia mientras que el techo verde lo hace 10 minutos después del mismo. Además presenta otros beneficios como lo mencionábamos anteriormente, el pico se encuentra reducido llegando a ser de 41mm, contra los 53mm de la membrana asfáltica, una merma importante cercana al 25% y de 45,3% al pico de lluvia. Los estudios realizados por Stovin en la Universidad de Sheffield mostraron similares resultados, con una reducción promedio del 57% (Stovin, 2009) del pico de flujo de desagote, al igual que los estudios realizados por Van Woert de la Universidad estatal de Michigan. Se podrán apreciar en los ensayos realizados los mismos comportamientos.

## Sistemas de reutilización de agua de lluvia

Los sistemas de retención mediante barriles o cisternas para esta problemática son utilizados con 2 motivos, reducir parcialmente el volumen de agua y el pico del flujo de desagote. Además actúan como retardadores mientras se llena la cisterna logrando (durante un lapso más acotado) similares efectos a los de un techo verde.

Al poder actuar en serie con un sistema de techos verdes estaría reduciendo de forma adicional el flujo de escurrimiento del agua de lluvia, ya que la misma estaría pasando por 2 trampas hasta salir del edificio.

Estos sistemas pueden ser pasivos (sin bomba) donde solamente se utilizan barriles desde 200L en viviendas unifamiliares o hasta un mayor tamaño en edificaciones (siendo capaces de desagotar el agua por su propio medio) o, activos cuando el agua de las cisternas además puede ser utilizada para agua de uso no potable o secundario a través de la reutilización por medio de bombas.

Los primeros sistemas son menos costosos y más fáciles de instalar que los activos. Pero estos últimos incluyen una opción similar a las pasivas en implementación y costo cuando se debe utilizar una bomba para desagotar las cisternas. A medida que se hace más complejo el sistema activo de reutilización aumentan considerablemente los costos.

El informe Rainwater harvesting de la EPA proporciona valores de 1,5-3 U\$S por galón americano (3,78 litros) de capacidad de almacenamiento para sistemas simples y un incremento de 2-5 U\$S para sistemas de reutilización (EPA, Rainwater Harvesting Conservation, Credit, Codes, and Cost, 2013).

Los sistemas pasivos (Fig. 47) de barriles han sido promocionados por varias ciudades estadounidenses (Nueva York, Los Angeles, Portland, Philadelphia y Chicago (EPA, Rainwater Harvesting Conservation, Credit, Codes, and Cost, 2013)) entregando los barriles de forma gratuita. La ciudad de San Diego lo hizo con el fin específico de desconectar a cada casa que cumplía los criterios del sistema de desagües (Rain Barrel Downspout Disconnect, 2010).



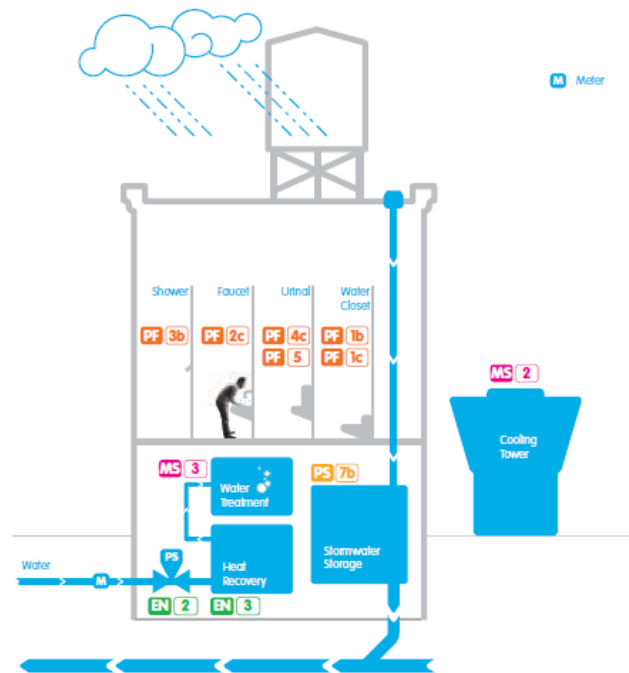


Figura 47: captación de agua de lluvia (Water Matters a design manual for water conservation in buildings, 2011)

Los sistemas activos simples se utilizan para retener el agua de lluvia y, luego utilizarla para riego o limpieza (Fig. 48)

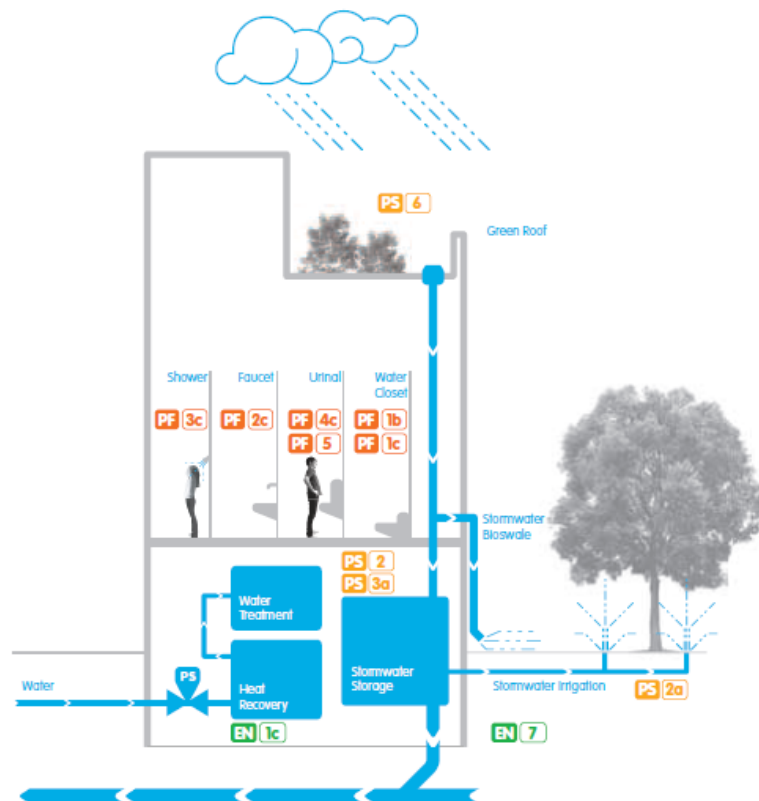


Figura 48: reutilización de agua de lluvia (Water Matters a design manual for water conservation in buildings, 2011)

Además en los sistemas activos el agua de lluvia se puede acoplar a uno de aguas grises (Fig. 49) donde el agua de aire acondicionado (central), duchas y lavabos es reutilizada tanto para riego y limpieza como para urinales e inodoros.

Estos sistemas generan mayores costos en el tratamiento del agua al tener por ejemplo, que tratar el agua de duchas y lavabos respecto de la grasa proveniente de los jabones, que sino se acumularían en los caños que van a urinales e inodoros tapándolos.

El informe de la EPA brinda, además de los inodoros como posibles utilizations de estos sistemas, a los lavarropas (EPA, Rainwater Harvesting Conservation, Credit, Codes, and Cost, 2013). Entre los cuales se utiliza en Estados Unidos el 48,7% del agua de uso doméstico dentro de la casa por un total de 262 litros per capita por día. Siendo que en este país el agua no potable de uso residencial promediado en distintas ciudades equivale a 78% mientras que la comercial e industrial a 64% (Fig. 50), el potencial de sistemas de reutilización es muy importante.

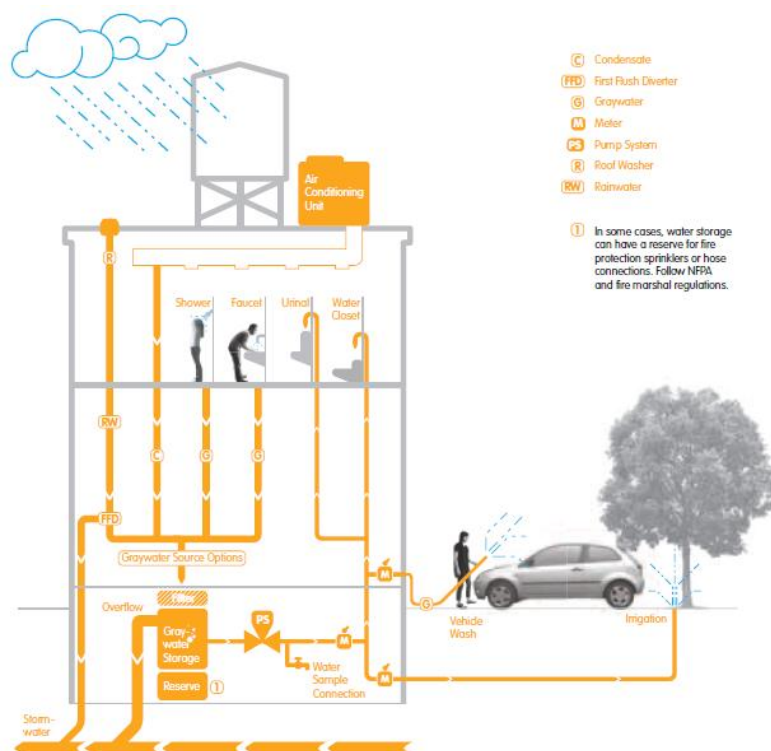


Figura 49: reutilización de agua de lluvia acoplado a aguas grises (Water Matters a design manual for water conservation in buildings, 2011)

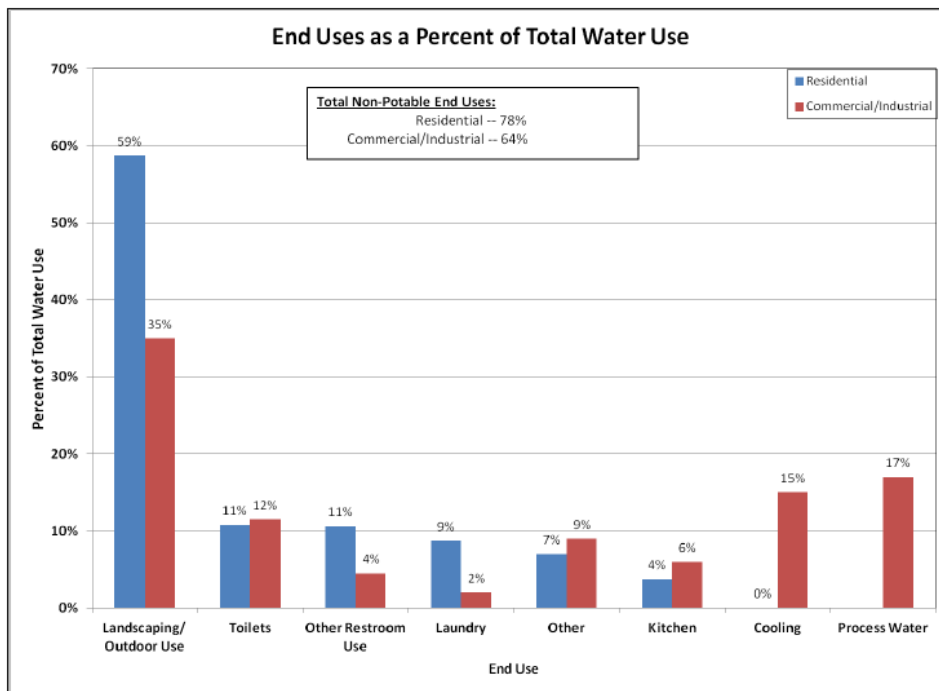


Figura 50: (EPA, Rainwater Harvesting Conservation, Credit, Codes, and Cost, 2013)

Los sistemas pasivos requieren poco mantenimiento, con un costo que puede ser pequeño o tendiente a cero, para remover desechos como hojas y mantener el filtro. Mientras que los activos requieren los 2 cuidados anteriormente mencionados que pueden ser reemplazados por un artefacto anterior al filtro (ejemplo una canasta), de la limpieza del filtro, de la bombas y del sistema de control de aguas grises.

La construcción de este tipo de sistemas en Estados Unidos está regido por 2 motivos: en algunas ciudades como Seattle, en zonas específicas, es obligatorio construir sistemas de retención en nuevos edificios, mientras que en otras ciudades como se verá en el siguiente análisis viene dado por incentivos económicos para tratar el agua de lluvia. Por su parte CABA en julio de 2012 sancionó la ley 4.237 según la cual nuevas edificaciones deben incorporar sistemas de recolección de agua de lluvias para ser aplicado a la limpieza de las aceras, estacionamientos propios, patios y riego de jardines, de todos los inmuebles, exceptuando:

1. Edificios de propiedad horizontal y/o multifamiliares de menos de 4 plantas.
2. Inmuebles cuya superficie sea menor a 200 m<sup>2</sup> cubiertos.
3. Otras exclusiones a determinar por la Autoridad de Aplicación.

## Beneficios Económicos (Casos)

La ciudad de Portland tenía en el año 2008, 92903 m<sup>2</sup> de techos verdes, incluyendo 8 edificios públicos con una superficie de 2787 m<sup>2</sup>. En el estudio Cost Benefits Evaluation of Ecoroofs se detallan los distintos incentivos que ofrece la ciudad, que cuenta con un incentivo llamado Ecoroof Floor Area Ratio (FAR) Bonus, que permite en aquellos edificios industriales, comerciales y residenciales, que instalen un techo verde, una mayor ocupación del espacio.

Donde el techo verde tiene:

- entre 10 y 30% del FOS, por cada 1 SF (=0,092903m<sup>2</sup>) se obtiene 1 SF más para aumentar el área de construcción.
- entre 30 y 60% del FOS, por cada 1 SF se obtiene 2 SF más aumentar el área de construcción.
- mayor o igual a 60% del FOS, por cada 1 SF se obtiene 3 SF más aumentar el área de construcción.

La ciudad de Portland además cobra un impuesto de 8,51 U\$s (dólares de 2008) /m<sup>2</sup> de superficie no absorbente (Cost Benefits Evaluation of Ecoroofs, 2008). De los cuales el 35% (2,97 U\$s) era posible utilizarlo para pedir como descuento a partir de un techo verde. El resto la ciudad justifica que lo necesita para pagar el tratamiento del agua de lluvia proveniente de espacios públicos.

Por último, ofrece un subsidio inicial de 5U\$s/m<sup>2</sup> de techo verde, para proyectos aprobados.

En estudios realizados en esta ciudad se muestra que para un techo de 40.000 SF (=3716,1 m<sup>2</sup>) teniendo en cuenta los beneficios impositivos, la reducción de uso de energía, la extensión de vida del techo, la reducción en volumen de agua y su posterior tratamiento, los privados que instalen un techo verde tienen a 5 años un flujo de -128.803 U\$s (dólares de 2008) y a 40 años uno positivo de 403.632 U\$s. Mientras que la ciudad obtiene flujos positivos a 5 años de 101.660 U\$s y a 40 años de 403.632 U\$s.

A la ciudad le cuesta 29,17 (U\$s / m<sup>2</sup> de superficie no absorbente) en infraestructura para controlar el agua, siendo el total de ese techo, 108.000U\$s. Por lo tanto, en el estudio realizado tomando un coeficiente de 56% de retención de agua de lluvia, siendo 877.000 galones/año la totalidad de agua de lluvia caída, el techo verde retendría 471.000 galones dándole beneficios a la ciudad por 60.800U\$s.



Siendo además obligatorio en ciertas zonas de Portland construir edificios con control de agua de lluvia mediante tanques contenedores, el estudio destaca reducciones en costos de construcción de entre 30 y 60% de estos sistemas, al permitir reducir su tamaño de almacenamiento en edificios que instalen techos verdes.

Otro ejemplo brinda Chicago, líder en Estados Unidos en instalación de techos verdes, incluyendo la municipalidad de la ciudad, tiene subsidios que cubren 50% de los costos hasta 100.000 U\$s para construcciones en el distrito Central Loop que cubran 50% o más de los techos. Además ofrece subsidios de 5000 U\$s para techos verdes en lugares residenciales y comerciales pequeños.

El distrito de Columbia tiene un subsidio al techo verde de 75,35 U\$s/m<sup>2</sup> de techo verde. Mientras que también cuenta con un impuesto al agua de lluvia basado en el área del terreno que no es absorbente (ver Tabla I).

Tabla I

Impervious Area (Square Feet)	ERU	ERU Rate	Monthly Cost
100-600	0.6	\$11.85	\$7.11
700-2,000	1.0	\$11.85	\$11.85
2,100-3,000	2.4	\$11.85	\$28.44
3,100-7,000	3.8	\$11.85	\$45.03
7,100-11,000	8.6	\$11.85	\$101.91
11,100 and more	13.5	\$11.85	\$159.98

Fuente: (DCWS)

La ciudad de Nueva York contaba con un subsidio que cubría aproximadamente un 25% del costo de un techo verde, siendo 1 año de reducción en el impuesto a la propiedad a razón de 48,45 U\$s / m<sup>2</sup> de techo verde, con un máximo de 100.000 U\$s.

La ciudad de Toronto, una de las más adelantadas en este tema, emitió una ordenanza municipal según la cual a partir de 2010 todo proyecto comercial, residencial y público mayor a 2000 m<sup>2</sup> Gross Floor Area (similar al FOT), tuviera techo verde (ver Tabla II). A partir de Mayo de 2012, también empezó a aplicar para las industrias, pudiéndose observar en la figura 28 los requisitos de techos verdes para las nuevas

construcciones. Esta medida además excluye a los proyectos residenciales de 6 pisos o hasta 20 metros de altura.

Tabla II

Gross Floor Area (Size of Building)	Coverage of Available Roof Space (Size of Green Roof)
2,000 - 4,999 m <sup>2</sup>	20%
5,000-9,999 m <sup>2</sup>	30%
10,000-14,999 m <sup>2</sup>	40%
15,000-19,999 m <sup>2</sup>	50%
20,000 m <sup>2</sup> or greater	60%

Fuente: (Toronto Municipal Code Chapter 492, Green Roofs)

Además para los edificios que no quedan dentro de la ordenanza municipal existe un incentivo, vigente desde 2009, de 75 CAD/ m<sup>2</sup> hasta llegar a 100.000 CAD.

La ciudad de Toronto estima que hay 50.000.000 m<sup>2</sup> de techos para poder construir. Estudios realizados por la ciudad muestra los beneficios económicos que acarrea la instalación en techos mayores a 350 m<sup>2</sup>, cubriendo 75% del techo, tanto por el control de agua de lluvia como por la reducción en el efecto isla calor y, por tanto, el uso de energía. En infraestructura de control de agua de lluvia de entre 2,8 y 79 millones CAD, en mitigación de erosión de los suelos de 25 millones CAD, en contaminación de 14 millones CAD, en reducción de consumo de energía de 21 millones CAD (equivalente a 4,15KWh/m<sup>2</sup>) y un costo evitado de reducir la demanda en el pico de la misma de 68 millones CAD.

A su vez, el efecto isla calor podría reducir entre 0,5 y 2° C la temperatura ambiente, otorgándole a la ciudad reducciones de utilización de energía para enfriar de 12 millones CAD (equivalente a 2,37 KWh/m<sup>2</sup>) y costo evitado al reducir la demanda en el pico de la misma de 80 millones CAD.

Alemania es el líder mundial en techos verdes con instalaciones en 14% de la totalidad de los techos. El país cuenta con más de 86.000.000 m<sup>2</sup> y 48 ciudades tienen incentivos para techos verdes.

Ciudades de Alemania cuentan con los siguientes incentivos:

- *Münster ofrece un 80% de reducción en el impuesto por agua de lluvia para techos verdes*

- *Ciudades del Rin (Colonia, Bonn, Mainz y Mannheim) tienen incentivos impositivos*
- *El estado de Nordrhein-Westfalen (Düsseldorf, Bonn, Dortmund, Münste, entre otras) ofrecen un incentivo de €15.00/m<sup>2</sup> por techo verde*
- *Esslingen paga 50% del costo del techo verde*
- *Darmstadt cubre todos los costos hasta €5,000*
- *Colonia y Mannheim reducen un 50% el impuesto por agua de lluvia (Colonia requiere un mínimo de 3 pulgadas de sustrato) ( TSH, 2005)*

La ciudad de Buenos Aires por medio de la ley 4428 propone los siguientes incentivos:

Hasta 20% de reducción en el pago de los derechos de delineación y construcción y, hasta 20 % de quita de ABL para propietarios. *Tal reducción se calcula como el producto de la aplicación del coeficiente de ponderación  $\mu$  por el descuento máximo aplicable que es del 20% de las referidas tasas (Ley 4428, Ciudad Autónoma de Buenos Aires).*

$$\text{Coeficiente de ponderación } \mu = \frac{\mu 1 + \mu 2}{2}$$

Tabla III

Tablas I (Superficie del Techo Verde)		Tabla II (Porcentualidad de Cubierta, medida en proyección horizontal que se ha destinado al Techo Verde)	
m 2	$\mu$ 1	%	$\mu$ 2
0 - 50	0.2	0 - 20	0.2
51 - 100	0.4	21 - 40	0.4
101 - 150	0.6	41 - 60	0.6
151 - 200	0.8	61 - 80	0.8
Más de 200	1	81 - 100	1

Fuente: Ley 4428 Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Lo que se puede analizar de la dirección de los impuestos y subsidios a los techos verdes es que los gobiernos de las ciudades están apuntando dentro del sistema

combinado de desagüe al problema del agua de lluvia. Por lo tanto, están cobrando un mantenimiento mínimo por el sistema y un impuesto elevado por metro cuadrado de terreno no absorbente.

El problema del agua de lluvia, en estos países, se lo analiza por 2 cuestiones: la del volumen de cañerías a dimensionar y por los contaminantes que arrastra el agua por la superficie de las ciudades al desbordarse el sistema de cloacas dañando ríos, lagos, arroyos y mares. Un sistema de desagüe para agua de lluvia separado del de cloacas presenta el problema de liberar a los cauces de agua directamente todos los contaminantes (ver Tabla IV) presentes en las ciudades, como enumera el estudio Rooftops to rivers del Natural Resource Defense Council (NRDC por sus siglas en ingles).

Tabla IV

Contaminante	Fuente
Bacteria	Desechos de mascotas
Metales	Automóviles
Nutrientes	Patios, Deposición Ambiental
Aceite y grasa	Automóviles
Sustancias que agotan oxígeno	Orgánicas, basura
Pesticidas	Patios
Sedimentos	Construcciones, calles
Químicos tóxicos	Automóviles, Industrias
Basura y desechos	Múltiples fuentes

Fuente: (NRDC, 2006)

Mientras que un sistema combinado, cuando el agua de lluvia desborda el sistema, no hay tratamiento de agua, debe ir directamente a los cauces. Cabe aclarar que en Argentina en varios lugares descarga directamente a los cauces. En el mismo estudio se tomaron medidas de las concentraciones de agua de desborde y de agua tratada (ver Tabla V).



Tabla V

TABLE 4: Pollutants in CSO Discharges<sup>a</sup>

Pollutant	Median CSO Concentration	Treated Wastewater Concentration
Pathogenic bacteria, viruses, parasites		
• Fecal coliform (indicator bacteria)	215,000 colonies/100 mL	< 200 colonies/100mL
Oxygen depleting substances (BOD <sub>5</sub> )	43 mg/L	30 mg/L
Suspended solids	127 mg/L	30 mg/L
Toxics		
• Cadmium	2 µg/L	0.04 µg/L
• Copper	40 µg/L	5.2 µg/L
• Lead	48 µg/L	0.6 µg/L
• Zinc	156 µg/L	51.9 µg/L
Nutrients		
• Total Phosphorus	0.7 mg/L	1.7 mg/L
• Total Kjeldahl Nitrogen	3.6 mg/L	4 mg/L
Trash and debris	Varies	None

<sup>a</sup> U.S. EPA, Report to Congress: Impacts and Control of CSOs and SSOs, Office of Water, EPA-833-R-04-001, August 2004.

Fuente: (NRDC, 2006)

El estudio The Clean Water and Drinking Water Infrastructure Gap Analysis realizado por la EPA en 2002 estimó que Estados Unidos necesitaba gastar entre 331 y 450 mil millones U\$s hasta el 2019 para mantener y renovar el sistema de tratamiento de agua de lluvia (EPA, The Clean Water and Drinking Water Infrastructure Gap Analysis , 2002). A su vez en 1972, se firmó en Estado Unidos el Clean Water Act cuyo objetivo es mantener la integridad química, física y biológica del agua del país, razón por la cual se ven los esfuerzos de las ciudades para instalar infraestructura verde que reduce la cantidad de agua y la contaminación.

Es en este lugar que los techos verdes y, otros sistemas, conocidos como Low Impact Development (LID), pueden ser una mejor solución y más económica para que el dimensionamiento del sistema de cloacas se vea reducido al igual que los contaminantes. Entre estos LID se encuentran bio-retención (para remover contaminantes), cunetas, pavimento permeable, humedales, patios para control de lluvia, barriles y cisternas para acopio de agua de lluvia.

El estudio Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development realizado por la EPA (ver Tabla 6) muestra reducciones de costos del 15% al 80% usando sistemas LID contra construcciones convencionales. Además estos sistemas son más flexibles que sistemas de construcciones convencionales permitiendo instalarlos en lugares específicos en caso de necesitarlo.

Tabla VI

**Table 2. Summary of Cost Comparisons Between Conventional and LID Approaches<sup>a</sup>**

Project	Conventional Development Cost	LID Cost	Cost Difference <sup>b</sup>	Percent Difference <sup>b</sup>
2 <sup>nd</sup> Avenue SEA Street	\$868,803	\$651,548	\$217,255	25%
Auburn Hills	\$2,360,385	\$1,598,989	\$761,396	32%
Bellingham City Hall	\$27,600	\$5,600	\$22,000	80%
Bellingham Bloedel Donovan Park	\$52,800	\$12,800	\$40,000	76%
Gap Creek	\$4,620,600	\$3,942,100	\$678,500	15%
Garden Valley	\$324,400	\$260,700	\$63,700	20%
Kensington Estates	\$765,700	\$1,502,900	-\$737,200	-96%
Laurel Springs	\$1,654,021	\$1,149,552	\$504,469	30%
Mill Creek <sup>c</sup>	\$12,510	\$9,099	\$3,411	27%
Prairie Glen	\$1,004,848	\$599,536	\$405,312	40%
Somerset	\$2,456,843	\$1,671,461	\$785,382	32%
Tellabs Corporate Campus	\$3,162,160	\$2,700,650	\$461,510	15%

<sup>a</sup> The Central Park Commercial Redesigns, Crown Street, Poplar Street Apartments, Prairie Crossing, Portland Downspout Disconnection, and Toronto Green Roofs study results do not lend themselves to display in the format of this table.

<sup>b</sup> Negative values denote increased cost for the LID design over conventional development costs.

<sup>c</sup> Mill Creek costs are reported on a per-lot basis.

Fuente: (EPA, Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development, 2007)

Como se puede deducir en las municipalidades están dando incentivos concretos, ya sea mediante préstamos, subsidios, reducción del impuesto por superficie no absorbente, aumento del FOS y FOT, porque son conscientes de los beneficios económicos y ambientales que traen los techos verdes como mencionábamos anteriormente. Por lo tanto, a partir de lo estudiado proponemos una seria de recomendaciones:

- Proponer mejoras de FOT similares a las de la ciudad de Toronto. También evaluar la posibilidad de agregar 1 piso subterráneo para cocheras
- Mayor incentivo económico para construcciones particulares
- Barriles de 200 Litros, que capten el agua de los techos, para casas en zonas residenciales afectadas

## Ensayo

### Metodología:

A los fines de analizar la capacidad de retención de agua de lluvia de un techo verde en la ciudad de Buenos Aires se realizó una simulación por método de riego por aspersión sobre los 2 módulos construidos.

La simulación fue de 15 mm de agua, siendo 1 mm de altura de lluvia equivalente a 1 litro/m<sup>2</sup>. Como el área de los módulos construidos era 1,33 m<sup>2</sup> se lo multiplicaba por la altura de agua de lluvia para tener los milímetros correspondientes a los módulos.

Para las mismas se tomaron muestra de caudal de desagote cada 30 segundos, haciendo posible determinar en qué momentos se producía el pico de flujo y cuánto retenía el módulo en dichos intervalos.

Las simulaciones duraron valores cercanos a 10 minutos y se prosiguió con las muestras de caudal hasta los 30 minutos.

### Herramientas:

- 60 Botellas 1.5L de Coca-Cola, enumeradas de 1 a 60
- 2 probetas de 100ml con apreciación 1ml
- 1 probeta de 1000ml con apreciación 50ml
- 1 manguera
- 1m de caño de agua fría
- 3 micro aspersores (1 de 360° cobertura, y 2 de 180° cobertura)
- 1 embudo
- Cronómetro

El sistema estaba formado por una manguera conectado a una canilla. Dicha manguera tenía una conexión a un caño de agua fría de 1 metro de largo que contaba con 3 micro aspersores (2 de 180° en los extremos y 1 de 360° en el centro).

En primer lugar se decidió cuál iba a ser la altura del agua de lluvia a simular. Luego se abrió la canilla tomando el tiempo  $x(s)$  que tardaba en alcanzar los 0,5 L de la probeta de 1L, para poder tener el caudal en  $dm^3/s$  y, en base a ese valor calcular el tiempo necesario para alcanzar la altura de lluvia a simular.

$$\text{Caudal} = \frac{0,5\text{dm}^3}{x(s)} \rightarrow T \text{ de simulación} = \frac{\text{Altura de simulación } \text{dm}^3}{\text{Caudal } \frac{\text{dm}^3}{s}}$$

Posteriormente se procedía a conectar la manguera y, una vez que se encontraba sobre el módulo, se iniciaba el cronometraje de la simulación.

Las mediciones fueron llevadas a cabo por 2 personas, una encargada de usar el embudo para llenar las muestras de caudal cada 30 segundos y la segunda encargada de controlar el tiempo para tomar las muestras.

Mediciones:

- 15mm (Modelo con 5° de Inclinación)

El tiempo de medición fue de 10 minutos y 9 segundos, con un caudal de 16,38 ml/s (983 ml/30s).

Como se puede observar en la Tabla VII y en el acumulado (Fig. 51) durante la lluvia se produjo una retención de 77,82% del agua.

Tabla VII

	Lluvia total (ml)	19950	100.00%
Retención	Con lluvia (ml)	15525	77.82%
	Sin lluvia (siguió desagotando) (ml)	11984	60.07%

A pesar que la retención durante la lluvia (1/3 de la simulación) fue del 77,82% y el total de 60,12%, creemos que la capacidad de retención se pudo ver afectada por el acotado tiempo durante el que se simuló, siendo que una lluvia tipo de 15 mm puede llegar a durar hasta un día entero. Por otra parte serviría para demostrar la capacidad de retención en caso de una tormenta donde grandes cantidades de agua son depositadas en poco tiempo.



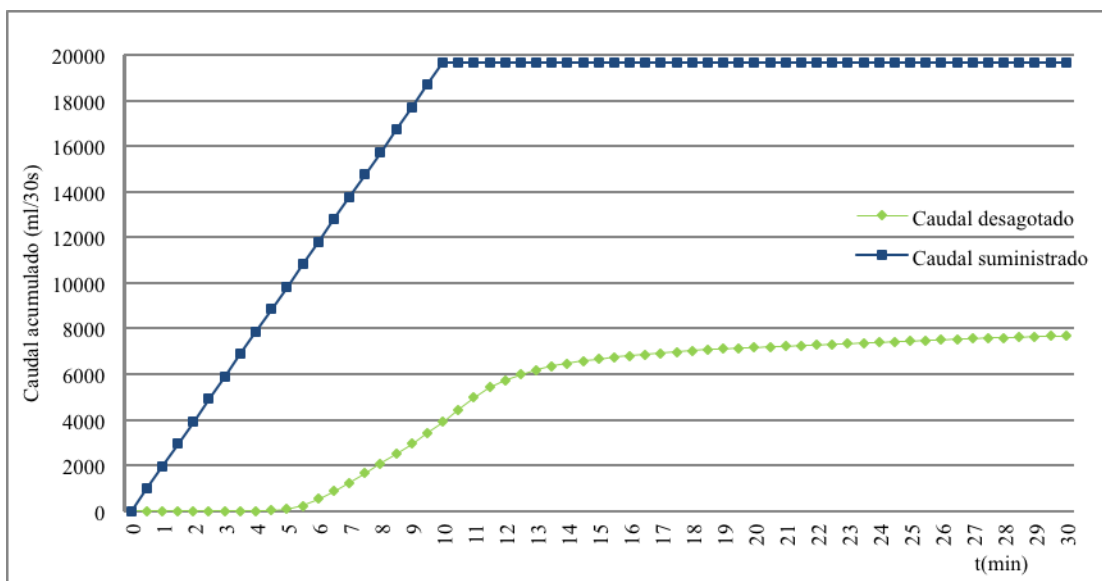


Figura 51: caudal acumulado

Un efecto muy importante para las inundaciones que se demuestra en las simulaciones es que el pico de flujo de agua desagotada siempre es menor y se encuentra por detrás del pico de agua de lluvia caída. En este caso al no poder variar el flujo de lluvia se encuentra por detrás de la mayor cantidad de agua suministrada (Fig. 52). Por su parte el pico de flujo desagotado es netamente inferior representando solamente 54,52% del pico de lluvia.

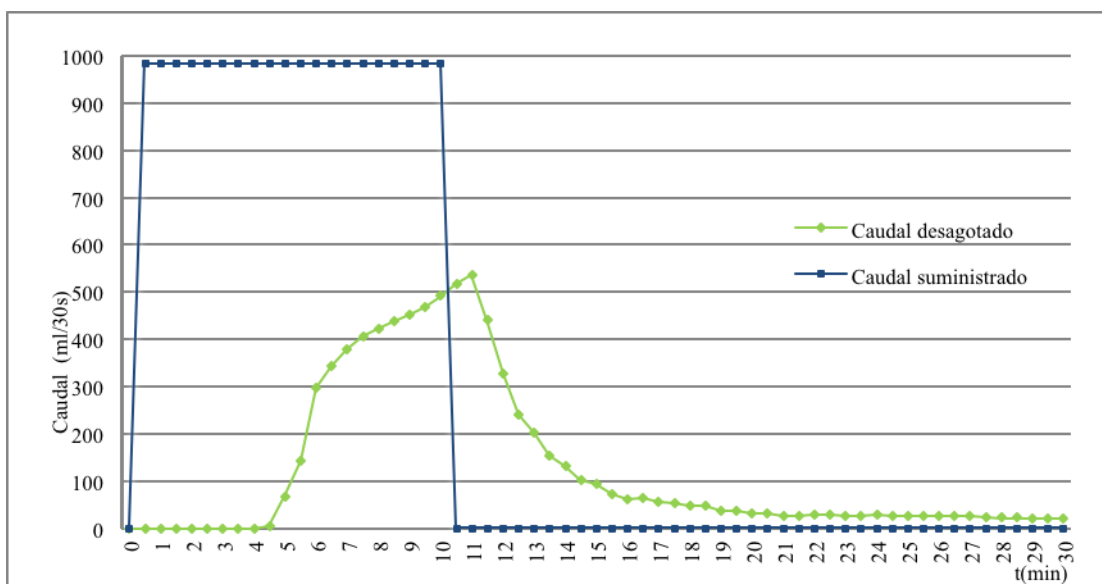


Figura 52

- 15mm (Modelo con 40° de inclinación)

El tiempo de medición fue de 10 minutos y 49 segundos con un caudal de 31,4ml/s (942 ml/30s).

Como se puede ver en la Tabla VIII y el acumulado (Fig.47) la retención durante la lluvia fue de 66,08% (1/3 de la simulación). Mientras que una vez completada la simulación el total retenido bajo a 49,89%.

Tabla VIII

	Lluvia total (ml)	19950	100.00%
<b>Retención</b>	Con lluvia (ml)	13182	66.08%
	Sin lluvia (siguió desagotando) (ml)	9954	49.89%

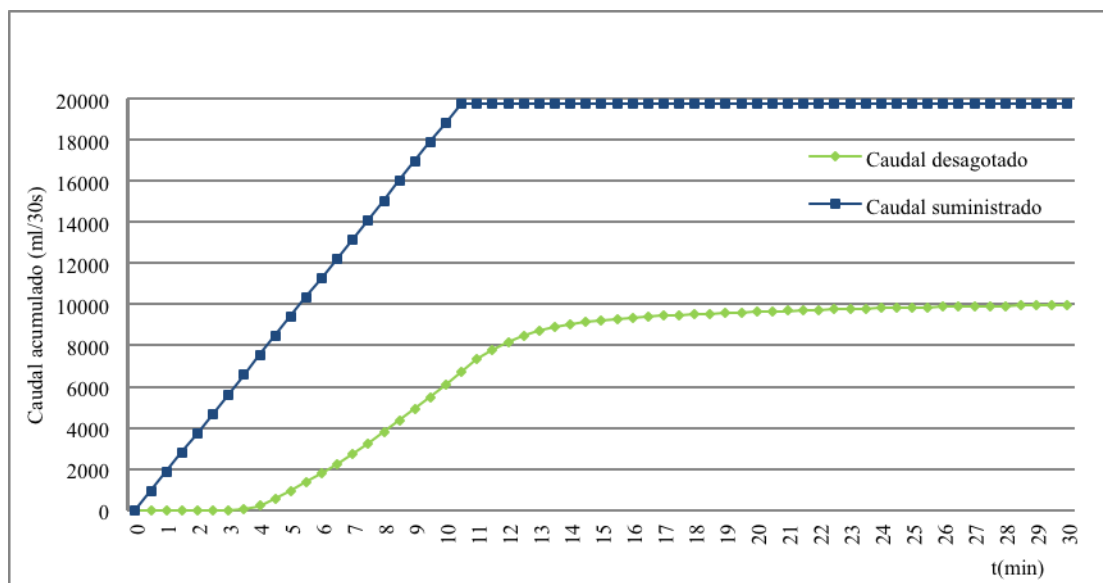


Figura 53: caudal acumulado

Por las características de este módulo se aprecia una diferencia de 1 minuto con el módulo de 5° en el inicio del desagote (incluso cuando el caudal era menor), como era de esperarse. Además el pico de flujo de desagote (Fig. 54) fue marcadamente mayor en el caso del módulo de 40° y la reducción respecto de la lluvia fue de 33,13%. Por último, la caída en el caudal de desagote una vez cesa el flujo de lluvia es mayor que en el primer módulo analizado.

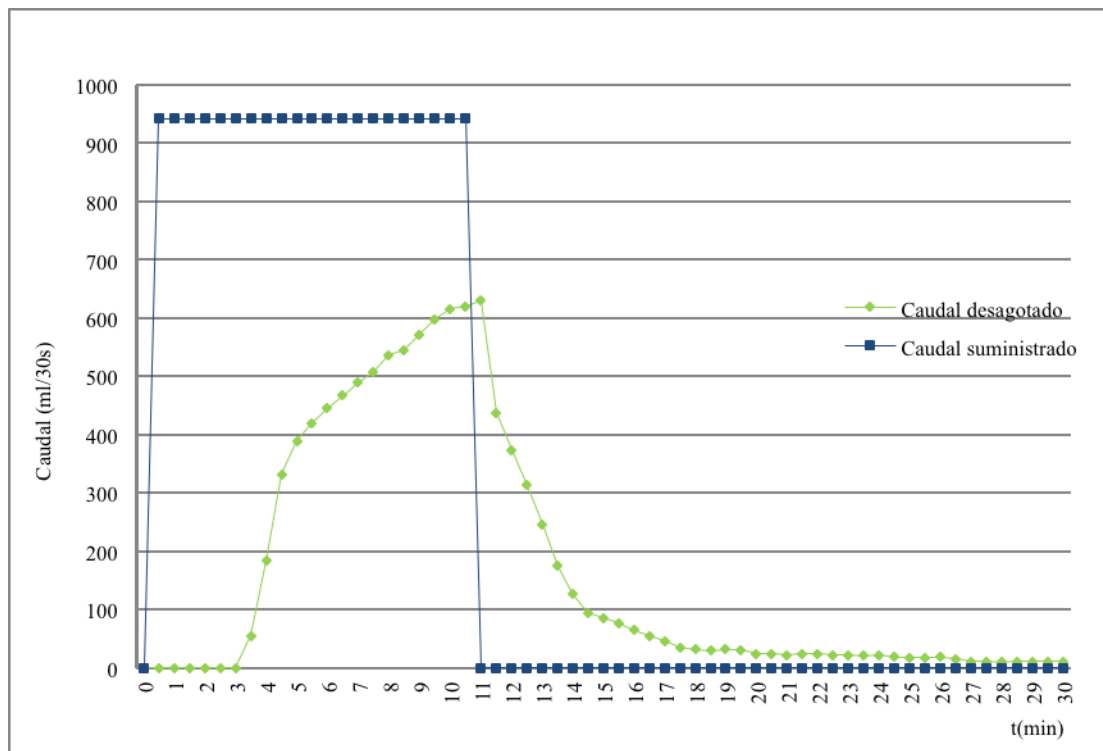


Figura 54

Como era de esperarse el módulo de 5° retuvo mayor cantidad de agua que el de 40°, logrando también menores picos de flujo de desagote y un escurrimiento más paulatino. Las características principales del comportamiento de los techos verdes para reducir el volumen y retardar el desagote fueron probadas satisfactoriamente en este ensayo. Probablemente la menor retención final pueda deberse a la intensidad de la lluvia y, pueda servir como medida para los casos en que ocurran este tipo de tormentas.

## Simulaciones

El simulador utilizado fue EPA Storm Water Management Model 5 (SWMM 5, por sus siglas en inglés). Se realizaron simulaciones sobre 4 cuadras del microcentro de la ciudad, 3 cuadras sobre la Av. Cabildo y sobre la calle Iberá para comprobar el efecto que tendrían los techos verdes en zonas que tienen una reducida proporción de terreno absorbente.

El simulador SWMM 5 de la EPA lo que proporciona es la posibilidad de utilizar celdas de bio-retención entre las que se pueden incluir como elementos de aplicación normal los techos verdes, los patios de lluvias y los canteros de calle. El diagrama genérico y completo de bio-retención funciona del siguiente modo: al caer agua de lluvia infiltra al sustrato, en cierto porcentaje también puede desbordar la superficie. Luego, percola a la capa de almacenamiento donde tiene la posibilidad de escurrir por el sistema de desagüe o de infiltrar nuevamente al suelo que se encuentra por debajo (esto no ocurre en el caso de los techos verdes).

Las primeras 3 simulaciones se realizaron sobre 4 cuadras de microcentro (Fig. 55).



Figura 55: entre Hipólito Yrigoyen y Moreno y, entre San José y Salta



Para cada manzana se consideró adicionar además 5,5m lineales de calle por lado y 2m de vereda (valores promedio). Para la simulación se considera a todos los techos capaces de resistir estructuralmente el peso del techo verde y, con un factor de espacio ocupado no aprovechable para dicha función equivalente al 15% del mismo (ver Tabla IX).

Tabla IX

Manzana	Área (m <sup>2</sup> )	Superficie Techos	Espacio disponible para techos verdes
1	17.028	75,83%	64,46%
2	17.517	73,93%	62,84%
3	17.910	74,99%	63,74%
4	18.172	69,34%	58,94%

El total sobre la proyección en planta de origen, en estudio, equivale a 70.627 m<sup>2</sup> de superficie.

Modelo A) Se corrió una simulación con 10mm de lluvia de 12 horas de duración (Fig. 56).

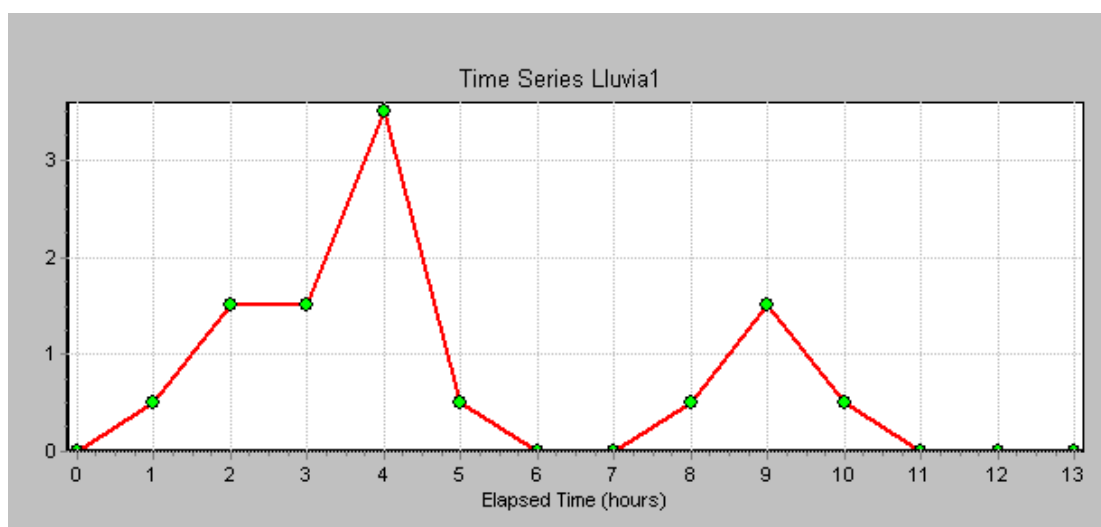


Figura 56: lluvia simulada (mm/h)

Se realizaron estudios correspondientes a los siguientes porcentajes de cobertura, siempre referidos al espacio definido como aprovechable o disponible para techos verdes.

- a) 0%

- b) 25%
- c) 50%
- d) 75%
- e) 100%

Obteniéndose los siguientes resultados:

- a) Sin la presencia de techos verdes y, disponiendo de tan poco terreno absorbente, prácticamente la totalidad del agua de lluvia terminó en el sistema de desagüe (Fig. 57).
- b) Con 25% cubierto con techo verde y un sustrato de 15cm, se puede notar una disminución promedio de 1,55mm en los distintos techos, reteniendo las cubiertas verdes la totalidad del agua caída (Fig. 58), mientras que los picos se redujeron en un 2,72 LPS promedio.
- c) Con 50%, la retención es siempre la misma, el total de agua desagotada disminuye 3,11mm promedio, sucediendo lo mismo con el pico de flujo que reduce en 5,32 LPS promedio su caudal (Fig. 59).
- d) Con 75% de techos verdes, se produce una disminución de 4,67mm promedio, mientras que el pico de flujo disminuye 7,95 LPS promedio (Fig. 60).
- e) Con 100% cubierto por techos verdes el agua desagotada se redujo 3,66mm promedio, en tanto que los picos de agua desagotada lo hicieron en 10,61 LPS promedio (Fig. 61).

```

*****
Subcatchment Runoff Summary
*****

```

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	10.00	0.00	0.00	0.16	9.81	0.17	16.46	0.981
Manzana2	10.00	0.00	0.00	0.05	9.91	0.17	16.99	0.991
Manzana3	10.00	0.00	0.00	0.05	9.91	0.18	17.16	0.991
Manzana4	10.00	0.00	0.00	0.11	9.86	0.18	17.59	0.986

Figura 57: mediciones sin techos verdes

\*\*\*\*\*  
Subcatchment Runoff Summary  
\*\*\*\*\*

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	10.00	0.00	0.00	0.16	8.21	0.14	13.79	0.821
Manzana2	10.00	0.00	0.00	0.05	8.35	0.15	14.32	0.835
Manzana3	10.00	0.00	0.00	0.05	8.33	0.15	14.42	0.833
Manzana4	10.00	0.00	0.00	0.11	8.39	0.15	15.00	0.839

\*\*\*\*\*  
LID Performance Summary  
\*\*\*\*\*

Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Init. Storage mm	Final Storage mm	Pcnt. Error
Manzana1	TechosVerdes	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00
Manzana2	TechosVerdes	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00
Manzana3	TechosVerdes	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00
Manzana4	TechosVerdes	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00

Figura 58: retención de las manzanas (superior), retención de los techos verdes (inferior)

\*\*\*\*\*  
Subcatchment Runoff Summary  
\*\*\*\*\*

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	10.00	0.00	0.00	0.16	6.60	0.11	11.13	0.660
Manzana2	10.00	0.00	0.00	0.05	6.79	0.12	11.65	0.679
Manzana3	10.00	0.00	0.00	0.05	6.74	0.12	11.68	0.674
Manzana4	10.00	0.00	0.00	0.10	6.93	0.13	12.39	0.693

Figura 59: retención en las manzanas con 50% de techos verdes

\*\*\*\*\*  
Subcatchment Runoff Summary  
\*\*\*\*\*

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	10.00	0.00	0.00	0.16	5.00	0.09	8.46	0.500
Manzana2	10.00	0.00	0.00	0.05	5.22	0.09	8.97	0.522
Manzana3	10.00	0.00	0.00	0.05	5.15	0.09	8.94	0.515
Manzana4	10.00	0.00	0.00	0.10	5.46	0.10	9.79	0.546

Figura 60: retención en las manzanas con 75% de techos verdes

\*\*\*\*\*  
Subcatchment Runoff Summary  
\*\*\*\*\*

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	10.00	0.00	0.00	0.15	3.40	0.06	5.79	0.340
Manzana2	10.00	0.00	0.00	0.05	3.66	0.06	6.30	0.366
Manzana3	10.00	0.00	0.00	0.05	3.57	0.06	6.20	0.357
Manzana4	10.00	0.00	0.00	0.10	3.99	0.07	7.19	0.399

Figura 61: retención en las manzanas con 100% de techos verdes

En la Tabla X se puede ver el cuadro de retenciones por parte de cada manzana mostrando la ventaja de este método para el control de agua de lluvia. Considerando un sustrato de 15 cm de profundidad los techos verdes retienen la totalidad del agua de lluvia.

En la Tabla XI se puede observar la reducción del pico de flujo desagotado, otro importante beneficio que aportan los techos verdes.

Tabla X: retención de cada manzana con 10mm de lluvia

		Precipitación	Retención			
		0% Verde (mm)	25% Verde	50% Verde	75% Verde	100% Verde
Manzana	S1	9,81	16,31%	32,72%	49,03%	65,34%
	S2	9,92	15,74%	31,48%	47,33%	63,07%
	S3	9,92	15,94%	31,99%	48,03%	63,98%
	S4	9,86	14,91%	29,72%	44,62%	59,53%

Tabla XI: reducción del pico de flujo desagotado por cuadra

		Pico de desagote	Reducción			
		0% Verde (LPS)	25% Verde	50% Verde	75% Verde	100% Verde
Manzana	S1	16,46	16,22%	32,81%	47,93%	63,97%
	S2	16,99	15,72%	31,43%	47,20%	62,80%
	S3	17,16	17,25%	31,06%	47,20%	63,29%
	S4	17,59	14,72%	29,56%	44,34%	58,90%



Haciendo un análisis detenido de la manzana S1, vemos el impacto que tiene el techo verde, al lograr retener totalmente los milímetros de agua caída, en el flujo de agua que desagota desde la misma (Fig. 62).

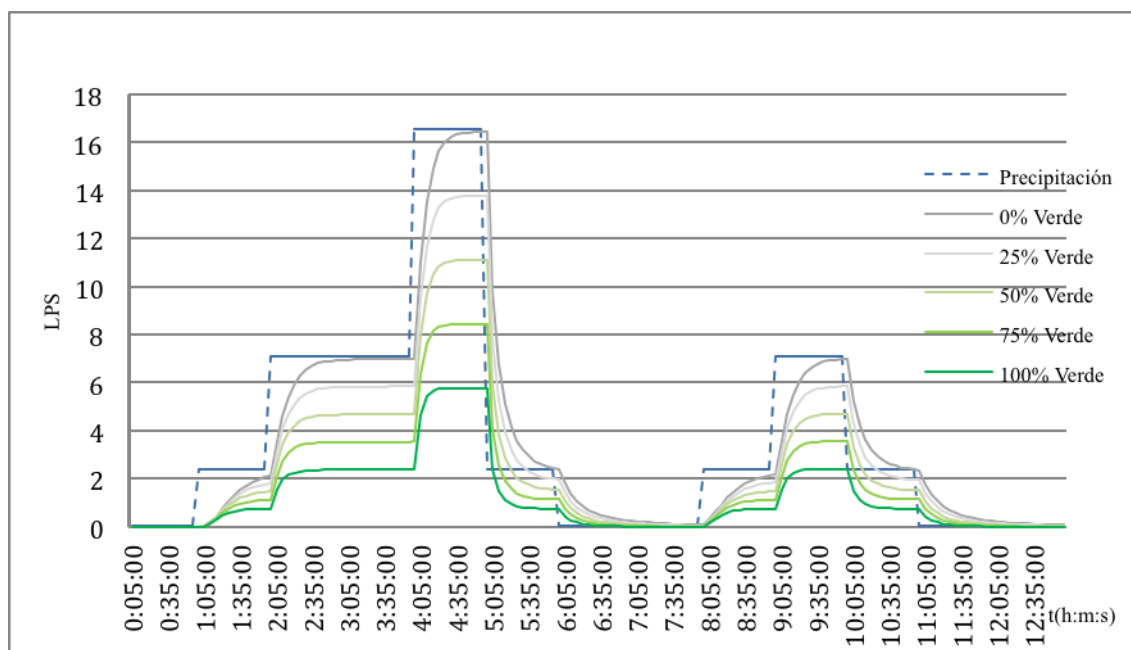


Figura 62: simulación con 10mm de lluvia

Modelo B) Se corrió una simulación de 20mm durante 11 horas con las intensidades (mm/h) que se pueden apreciar en la figura 63.

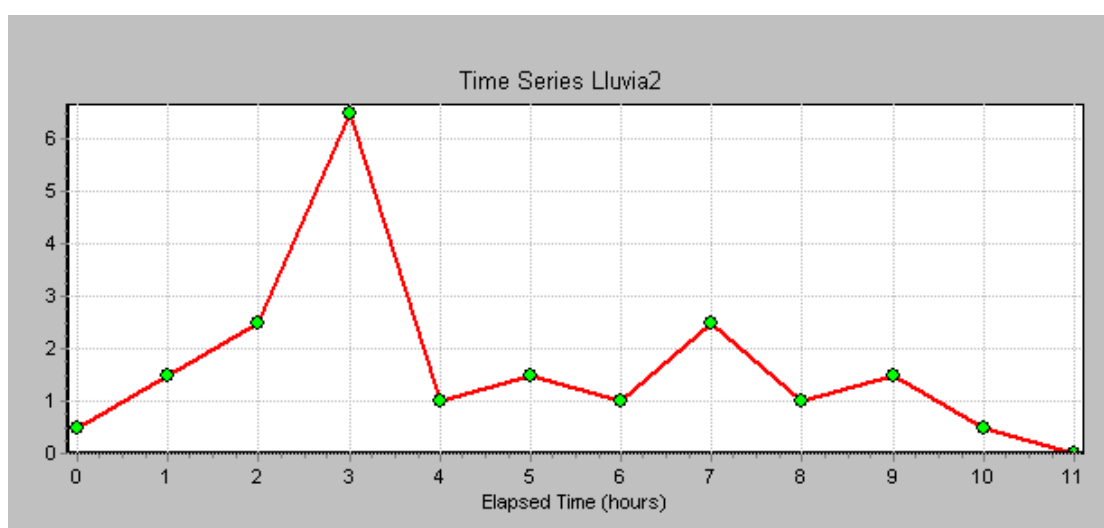


Figura 63: simulación lluvia de 20mm (mm/h)

- a) Nuevamente como la zona analizada presenta escasos lugares permeables, prácticamente la totalidad del agua de lluvia se convirtió en desagote (Fig. 64).
- b) El techo verde con 15cm de sustrato es capaz de retener la totalidad del agua de lluvia caída. Por eso, se reflejan disminuciones promedio de 3,13mm del total de agua desagotada y 4.96 LPS en el pico del flujo de desagote (Fig. 65).
- c) Con 50% de techos verdes las reducciones en el total de agua desagotada son 6,24mm promedio, mientras que la reducción en el pico de flujo desagotado 9,92 LPS promedio (Fig. 66).
- d) Con 75% de techos verdes se producen disminuciones promedio de 9,36mm, mientras que en los picos de flujo desagotado es 14,88 LPS promedio (Fig. 67).
- e) Por último, con la totalidad de los techos con cubierta verde se reducen en promedio 12,47mm el agua desagotada, mientras que el pico de flujo lo hace en 19,84 LPS promedio (Fig. 68).

```

*****
Subcatchment Runoff Summary
*****

```

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzanal	20.00	0.00	0.00	0.22	19.76	0.34	30.65	0.988
Manzana2	20.00	0.00	0.00	0.07	19.90	0.35	31.59	0.995
Manzana3	20.00	0.00	0.00	0.07	19.90	0.35	31.90	0.995
Manzana4	20.00	0.00	0.00	0.14	19.83	0.36	32.74	0.992

Figura 64: mediciones sin techos verdes

\*\*\*\*\*  
Subcatchment Runoff Summary  
\*\*\*\*\*

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	20.00	0.00	0.00	0.22	16.54	0.28	25.70	0.827
Manzana2	20.00	0.00	0.00	0.07	16.76	0.29	26.63	0.838
Manzana3	20.00	0.00	0.00	0.07	16.71	0.30	26.81	0.836
Manzana4	20.00	0.00	0.00	0.14	16.88	0.31	27.91	0.844

\*\*\*\*\*  
LID Performance Summary  
\*\*\*\*\*

Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Init. Storage mm	Final Storage mm	Pcnt. Error
Manzana1	TechosVerdes	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	-0.00
Manzana2	TechosVerdes	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	-0.00
Manzana3	TechosVerdes	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	-0.00
Manzana4	TechosVerdes	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	-0.00

Figura 65: retención en las manzanas con 25% de techos verdes

\*\*\*\*\*  
Subcatchment Runoff Summary  
\*\*\*\*\*

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	20.00	0.00	0.00	0.21	13.33	0.23	20.74	0.666
Manzana2	20.00	0.00	0.00	0.07	13.63	0.24	21.66	0.682
Manzana3	20.00	0.00	0.00	0.07	13.54	0.24	21.72	0.677
Manzana4	20.00	0.00	0.00	0.14	13.95	0.25	23.07	0.697

Figura 66: retención en las manzanas con 50% de techos verdes

\*\*\*\*\*  
Subcatchment Runoff Summary  
\*\*\*\*\*

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	20.00	0.00	0.00	0.21	10.11	0.17	15.79	0.506
Manzana2	20.00	0.00	0.00	0.07	10.49	0.18	16.69	0.525
Manzana3	20.00	0.00	0.00	0.07	10.36	0.18	16.63	0.518
Manzana4	20.00	0.00	0.00	0.14	11.01	0.20	18.24	0.550

Figura 67: retención en las manzanas con 75% de techos verdes

```

*****
Subcatchment Runoff Summary
*****
-----
Subcatchment      Total      Total      Total      Total      Total      Total      Peak      Runoff
Precip            Runon      Evap        Infil      Runoff      Runoff      Runoff      Coeff
mm                mm         mm          mm         mm          10^6 ltr   LPS
-----
Manzana1          20.00     0.00       0.00       0.20       6.90       0.12       10.84    0.345
Manzana2          20.00     0.00       0.00       0.07       7.36       0.13       11.72    0.368
Manzana3          20.00     0.00       0.00       0.07       7.18       0.13       11.55    0.359
Manzana4          20.00     0.00       0.00       0.14       8.07       0.15       13.41    0.403
  
```

Figura 68: retención en las manzanas con 100% de techos verdes

El resumen de las retenciones se puede ver en la Tabla XII donde nuevamente, al retener la totalidad del agua caída, los porcentajes son prácticamente los mismos a los de la primera simulación.

Mientras que en la Tabla XIII se pueden observar las disminuciones provocadas por los techos verdes en el pico del flujo de desagote.

Cabe destacar que una lluvia de 20mm es importante y que el techo simulado estaría reteniendo la totalidad del agua caída pudiendo reducir el agua que llega al sistema de desagües hasta en un 62,83% promedio en esta situación.

Tabla XII: retención de cada cuadra con 20mm de lluvia

		Precipitación	Retención			
		0% Verde (mm)	25% Verde	50% Verde	75% Verde	100% Verde
Manzana	S1	19,76	16,30%	32,54%	48,84%	65,08%
	S2	19,9	15,78%	31,51%	47,29%	63,02%
	S3	19,9	16,03%	31,96%	47,94%	63,92%
	S4	19,83	14,88%	29,65%	44,48%	59,30%

Tabla XIII: reducción del pico de flujo desagotado por cuadra

		Pico de desagote	Reducción			
		0% Verde (LPS)	25% Verde	50% Verde	75% Verde	100% Verde
Manzana	S1	30,65	16,15%	32,33%	48,48%	64,63%
	S2	31,59	15,70%	31,43%	47,17%	62,90%
	S3	31,9	15,96%	31,91%	47,87%	63,79%
	S4	32,74	14,75%	29,54%	44,29%	59,04%



Analizando la manzana S1 se puede observar en la Figura 69 la disminución en los picos de flujo que otorgan los techos verdes al poder retener la totalidad del agua de lluvia caída

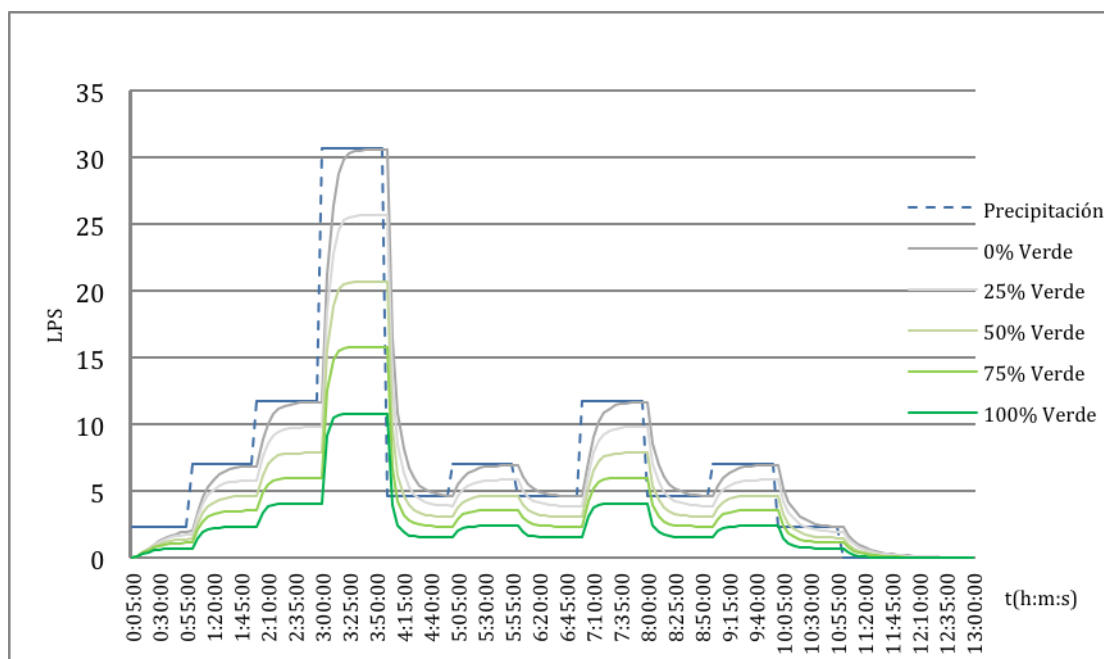


Figura 69: simulación con 20mm de lluvia

Modelo C) Se corrieron dos simulaciones de 90mm en 2 horas, la primera con una intensidad de 45 mm/h y la segunda con intensidades de 80 mm/h y 10 mm/h.

- Intensidad de precipitación 45 mm/h
  - a) Al correr la simulación sin techos verdes, como ocurre en los casos anteriores, prácticamente la totalidad del agua de lluvia terminó en el sistema de desagüe (Fig. 70).

En esta simulación, con las características de la cubierta verde y de la zona, el techo verde logra retener 31,88mm, mostrando que la capacidad de retención y saturación del sistema se halla alrededor de los 30 mm. Nuevamente una vez que alcanza el punto de saturación el techo verde comienza a desagotar por el drenaje el agua que ingresa.

- b) Al tener 25% cubierto con techo vivo se puede notar una reducción promedio de 4,95mm en los distintos techos, mientras que los picos se redujeron en 7,9 LPS promedio (Fig. 71).

- c) Con 50% de techos verdes, el total de agua desagotada disminuye 9,9 mm promedio, sucediendo lo mismo con el pico de flujo que reduce en 15,8 LPS promedio su caudal (Fig. 72).
- d) Cubriendo 75% con techos verdes, se produce una disminución de 14,86mm promedio, mientras que el pico de flujo disminuye 23,9 LPS promedio (Fig. 73).
- e) Finalmente al cubrir el 100% con techo vivo el agua desagotada se reduce 19,8 mm promedio, en tanto que los picos de agua desagotada lo hacen en 31,59 LPS promedio (Fig. 74).

```
*****
Subcatchment Runoff Summary
*****
```

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	90.00	0.00	0.00	0.00	89.97	1.53	212.85	1.000
Manzana2	90.00	0.00	0.00	0.06	89.90	1.57	218.85	0.999
Manzana3	90.00	0.00	0.00	0.06	89.90	1.59	220.95	0.999
Manzana4	90.00	0.00	0.00	0.12	89.84	1.63	226.92	0.998

Figura 70: 0% de techos verdes

```
*****
Subcatchment Runoff Summary
*****
```

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	90.00	0.00	0.00	0.00	84.86	1.45	204.97	0.943
Manzana2	90.00	0.00	0.00	0.06	84.93	1.49	210.94	0.944
Manzana3	90.00	0.00	0.00	0.06	84.85	1.50	212.85	0.943
Manzana4	90.00	0.00	0.00	0.12	85.17	1.55	219.22	0.946

```
*****
LID Performance Summary
*****
```

Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Init. Storage mm	Final Storage mm	Pcnt. Error
Manzana1	TechosVerdes	90.00	0.00	0.00	0.00	58.24	0.00	31.88	-0.13
Manzana2	TechosVerdes	90.00	0.00	0.00	0.00	58.24	0.00	31.88	-0.13
Manzana3	TechosVerdes	90.00	0.00	0.00	0.00	58.24	0.00	31.88	-0.13
Manzana4	TechosVerdes	90.00	0.00	0.00	0.00	58.24	0.00	31.88	-0.13

Figura 71: 25% de techos verdes

```
*****
Subcatchment Runoff Summary
*****
```

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	90.00	0.00	0.00	0.00	79.75	1.36	197.08	0.886
Manzana2	90.00	0.00	0.00	0.06	79.95	1.40	203.03	0.888
Manzana3	90.00	0.00	0.00	0.06	79.80	1.41	204.75	0.887
Manzana4	90.00	0.00	0.00	0.12	80.50	1.46	211.53	0.894

Figura 72: 50% de techos verdes

```
*****
Subcatchment Runoff Summary
*****
```

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	90.00	0.00	0.00	0.00	74.64	1.27	189.19	0.829
Manzana2	90.00	0.00	0.00	0.06	74.97	1.31	195.12	0.833
Manzana3	90.00	0.00	0.00	0.06	74.75	1.32	196.65	0.831
Manzana4	90.00	0.00	0.00	0.12	75.83	1.38	203.83	0.843

Figura 73: 75% de techos verdes

```
*****
Subcatchment Runoff Summary
*****
```

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	90.00	0.00	0.00	0.00	69.53	1.18	181.30	0.773
Manzana2	90.00	0.00	0.00	0.06	69.98	1.23	187.21	0.778
Manzana3	90.00	0.00	0.00	0.06	69.70	1.23	188.55	0.774
Manzana4	90.00	0.00	0.00	0.12	71.16	1.29	196.14	0.791

Figura 74: 100% de techos verdes

En la Tabla XX se pueden observar los resultados de retención de esta simulación para una lluvia con intensidad de 45 mm/h. Pueden considerarse escasas reducciones de 4,95%, 9,9%, 14,86% y 19,80% promedio, pero es una solución que se puede implementar en el corto plazo brindando este beneficio más todos los otros mencionados al principio de la tesis. Recordando que las lluvias de 10 y 20 mm fueron íntegramente retenidas por los techos verdes. Por su parte, el otro aporte se puede observar en la tabla XXI, las reducciones en el pico de flujo desagotado.

Tabla XX

		Precipitación		Retención							
		0% Verde		25% Verde		50% Verde		75% Verde		100% Verde	
		mm		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Manzanas	1	89.77		5.11	5.68%	10.22	11.36%	15.33	17.04%	20.38	22.65%
	2	89.93		4.97	5.53%	9.95	11.07%	14.93	16.61%	19.92	22.16%
	3	89.93		5.05	5.62%	10.1	11.23%	15.15	16.85%	20.2	22.47%
	4	89.85		4.67	5.20%	9.34	10.40%	14.01	15.59%	18.68	20.79%

Tabla XXI

		Pico de desagote		Reducción							
		0% Verde		25% Verde		50% Verde		75% Verde		100% Verde	
		LPS		LPS	%	LPS	%	LPS	%	LPS	%
Manzanas	1	212.85		7.88	3.70%	15.77	7.41%	23.66	11.12%	31.55	14.82%
	2	218.85		7.91	3.61%	15.82	7.23%	23.73	10.84%	31.64	14.46%
	3	220.95		8.1	3.67%	16.2	7.33%	24.3	11.00%	32.4	14.66%
	4	226.92		7.7	3.39%	15.39	6.78%	23.89	10.53%	30.78	13.56%

Nuevamente es importante el efecto amortiguador del techo verde, no sólo reteniendo 31,88mm, sino también retrasando en 11 minutos el inicio del desagote de agua (manzana 1, Fig. 75). El manzana sin cubierta verde reduce su desagote inmediatamente después de que la lluvia lo hace, mientras que los techos verdes lo hacen gradualmente (a partir de 3:10, Fig. 75) llevando varias horas el mismo, como mencionamos anteriormente.

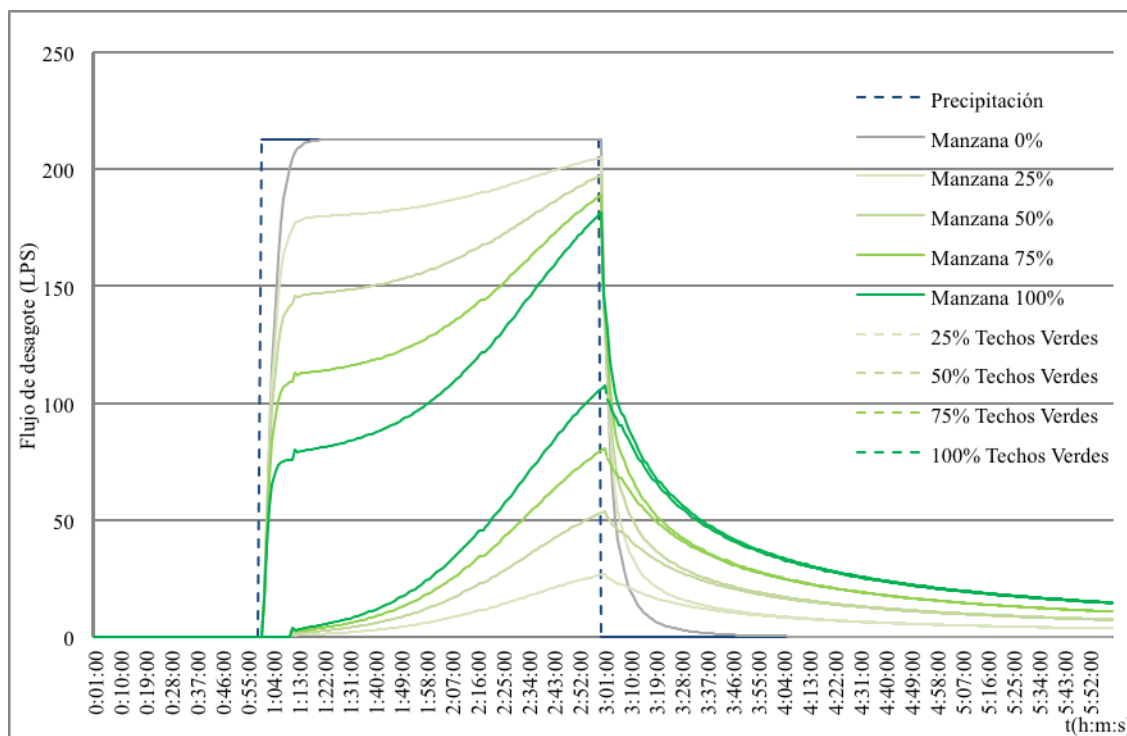


Figura 75: flujo de desagote de manzana 1 contra flujos de techos verdes



- Intensidades de precipitación 80 mm/h y 10 mm/h

Se realizaron las mismas mediciones y se pueden observar los resultados entre las Figuras 76 y 80. En este caso al alcanzar un pico de lluvia de mayor intensidad la retención de los techos verdes fue menor, totalizando 29,62mm.

```
*****
Subcatchment Runoff Summary
*****
```

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	90.00	0.00	0.00	0.00	89.99	1.53	378.40	1.000
Manzana2	90.00	0.00	0.00	0.06	89.93	1.58	389.13	0.999
Manzana3	90.00	0.00	0.00	0.06	89.93	1.59	392.86	0.999
Manzana4	90.00	0.00	0.00	0.12	89.87	1.63	403.54	0.999

Figura 76: 0% techos verdes

```
*****
Subcatchment Runoff Summary
*****
```

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	90.00	0.00	0.00	0.00	85.25	1.45	347.45	0.947
Manzana2	90.00	0.00	0.00	0.06	85.30	1.49	358.09	0.948
Manzana3	90.00	0.00	0.00	0.06	85.24	1.51	361.06	0.947
Manzana4	90.00	0.00	0.00	0.12	85.53	1.55	373.33	0.950

```
*****
LID Performance Summary
*****
```

Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Init. Storage mm	Final Storage mm	Pcnt. Error
Manzana1	TechosVerdes	90.00	0.00	0.00	0.00	60.49	0.00	29.62	-0.12
Manzana2	TechosVerdes	90.00	0.00	0.00	0.00	60.49	0.00	29.62	-0.12
Manzana3	TechosVerdes	90.00	0.00	0.00	0.00	60.49	0.00	29.62	-0.12
Manzana4	TechosVerdes	90.00	0.00	0.00	0.00	60.49	0.00	29.62	-0.12

Figura 77: 25% techos verdes

```
*****
Subcatchment Runoff Summary
*****
```

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzana1	90.00	0.00	0.00	0.00	80.50	1.37	316.48	0.894
Manzana2	90.00	0.00	0.00	0.06	80.68	1.41	327.03	0.896
Manzana3	90.00	0.00	0.00	0.06	80.54	1.42	329.26	0.895
Manzana4	90.00	0.00	0.00	0.12	81.19	1.48	343.11	0.902

Figura 78: 50% techos verdes

\*\*\*\*\*  
Subcatchment Runoff Summary  
\*\*\*\*\*

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzanal	90.00	0.00	0.00	0.00	75.75	1.29	285.51	0.842
Manzana2	90.00	0.00	0.00	0.06	76.05	1.33	295.97	0.845
Manzana3	90.00	0.00	0.00	0.06	75.85	1.34	297.46	0.843
Manzana4	90.00	0.00	0.00	0.12	76.85	1.40	312.90	0.854

Figura 79: 75% techos verdes

\*\*\*\*\*  
Subcatchment Runoff Summary  
\*\*\*\*\*

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 <sup>6</sup> ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
Manzanal	90.00	0.00	0.00	0.00	70.99	1.21	254.55	0.789
Manzana2	90.00	0.00	0.00	0.06	71.41	1.25	264.92	0.793
Manzana3	90.00	0.00	0.00	0.06	71.15	1.26	265.66	0.791
Manzana4	90.00	0.00	0.00	0.12	72.50	1.32	282.68	0.806

Figura 80: 100% techos verdes

Si bien en las Tabla XXII puede observarse que prácticamente no hubieron diferencias entre ambas lluvias, la Tabla XXIII revela una diferencia importante por ejemplo en la manzana 1 de 32,73% contra 14,82% en el pico de flujo desagotado confirmando una de los más importantes beneficios, en este caso reduciéndolo en 123,85 LPS. Esto se debe a la mayor intensidad de la lluvia en la segunda simulación.

Tabla XXII

		Precipitación	Retención							
		0% Verde	25% Verde		50% Verde		75% Verde		100% Verde	
		mm	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Manzanas	1	89.99	4.74	5.27%	9.49	10.55%	14.24	15.82%	19	21.11%
	2	89.93	4.63	5.15%	9.25	10.29%	13.88	15.43%	18.52	20.59%
	3	89.93	4.69	5.22%	9.39	10.44%	14.08	15.66%	18.78	20.88%
	4	89.87	4.34	4.83%	8.68	9.66%	13.02	14.49%	17.37	19.33%

Tabla XXIII

		Pico de desagote	Reducción							
		0% Verde	25% Verde		50% Verde		75% Verde		100% Verde	
		LPS	LPS	%	LPS	%	LPS	%	LPS	%
Manzanas	1	378.4	30.95	8.18%	61.92	16.36%	92.89	24.55%	123.85	32.73%
	2	389.13	31.04	7.98%	62.1	15.96%	93.16	23.94%	124.21	31.92%
	3	392.86	31.8	8.09%	63.6	16.19%	95.4	24.28%	127.2	32.38%
	4	403.54	30.21	7.49%	60.43	14.97%	90.64	22.46%	120.86	29.95%

Puede observarse nuevamente en la Figura 81 el efecto retardador de los techos verdes, no solo retardando el inicio de desagote sino también en la liberación del agua que fue detenida por varias horas después de que se produce la lluvia.

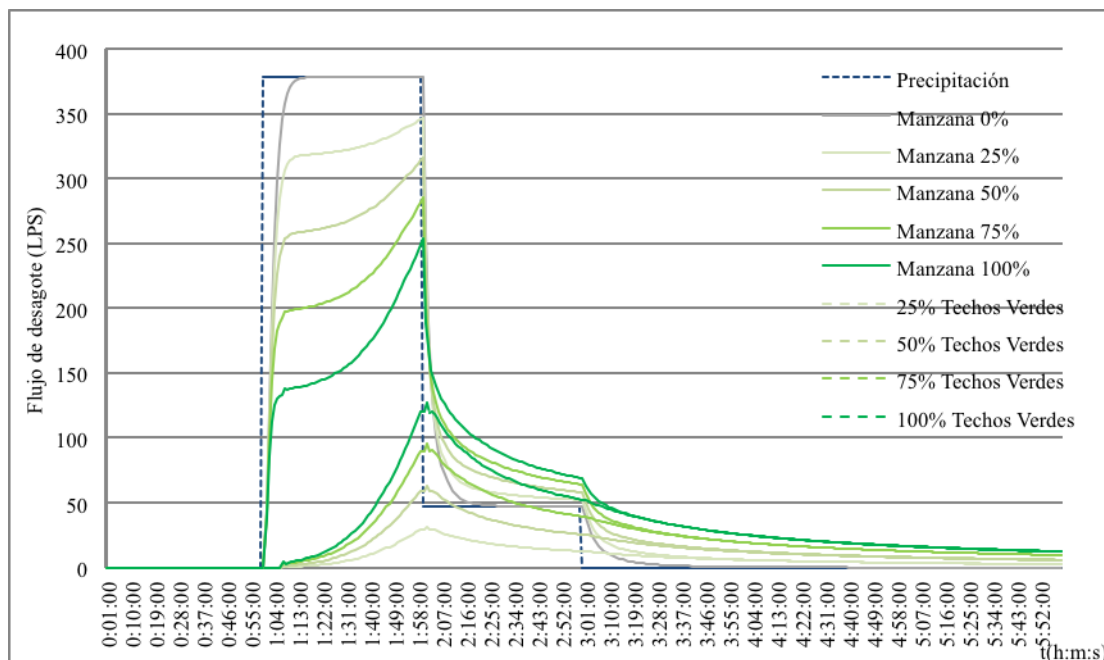


Figura 81: flujo de desagote de manzana 1 contra flujos de techos verdes

Para las lluvias de mayor intensidad se simularon 3 cuadras en distintos barrios de capital uno en una zona propensa a inundaciones en la Avenida Cabildo y otro en una zona residencial ubicado a 12 cuadras del primero en dirección opuesta al río. Se realizaron comparaciones entre las 3 zonas.

Modelo d) Se corrieron dos simulaciones de 90mm en 2 horas, la primera con una intensidad de 45 mm/h y la segunda con intensidades de 80 mm/h y 10 mm/h.

Las simulaciones se realizaron entre las calles Roosevelt y Blanco de escalada y Av. Cabildo y Ciudad de la Paz (Fig. 82), una zona que nuevamente tiene escasas zonas permeables pero que tiene un menor porcentaje de techo disponible que en la zona de microcentro.



Figura 82: entre Roosevelt y Blanco de escalada y Av. Cabildo y Ciudad de la Paz

El espacio disponible para techos verdes se puede apreciar en la tabla XXIV, a la que nuevamente se le aplicó un factor de ocupación del techo no disponible para cubierta viva de 15%, el área total del barrio es de 34.193 m<sup>2</sup>.

Tabla XXIV

Manzana	Área (m <sup>2</sup> )	Superficie Techos	Espacio disponible en techos
1	10.197	49,88%	42,40%
2	10.712	60,38%	51,32%
3	13.284	60,95%	51,81%

- Intensidad de precipitación 45 mm/h

Siguiendo el mismo método utilizado en la anterior simulación se obtuvieron los resultados que se pueden apreciar en las Tablas XXV y XXVI. Se producen menores retenciones que en el caso de microcentro que viene dado por el menor espacio disponible para techos verdes, sucediendo lo mismo en el caso de la reducción del pico de flujo desagotado.

Tabla XXV

		Precipitación		Retención							
		0% Verde		25% Verde		50% Verde		75% Verde		100% Verde	
		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Manzanas	1	89.77	3.36	3.74%	6.73	7.48%	10.08	11.21%	13.44	14.94%	
	2	89.93	4.04	4.50%	8.13	9.05%	12.15	13.52%	16.2	18.03%	
	3	89.93	4.06	4.52%	8.18	9.10%	12.27	13.65%	16.38	18.23%	

Tabla XXVI

	Pico de desagote	Reducción									
		0% Verde		25% Verde		50% Verde		75% Verde		100% Verde	
		LPS	LPS	%	LPS	%	LPS	%	LPS	%	
<b>Manzanas</b>	<b>1</b>	127.45	3.11	2.44%	6.21	4.87%	9.32	7.31%	12.43	9.75%	
	<b>2</b>	133.87	3.95	2.95%	7.9	5.90%	11.84	8.84%	15.79	11.80%	
	<b>3</b>	166.02	4.93	2.97%	9.88	5.95%	14.82	8.93%	19.77	11.91%	

En la Figura 83 se puede ver el mismo comportamiento respecto de los techos verdes, variando los caudales a partir de la disponibilidad de techos verdes.

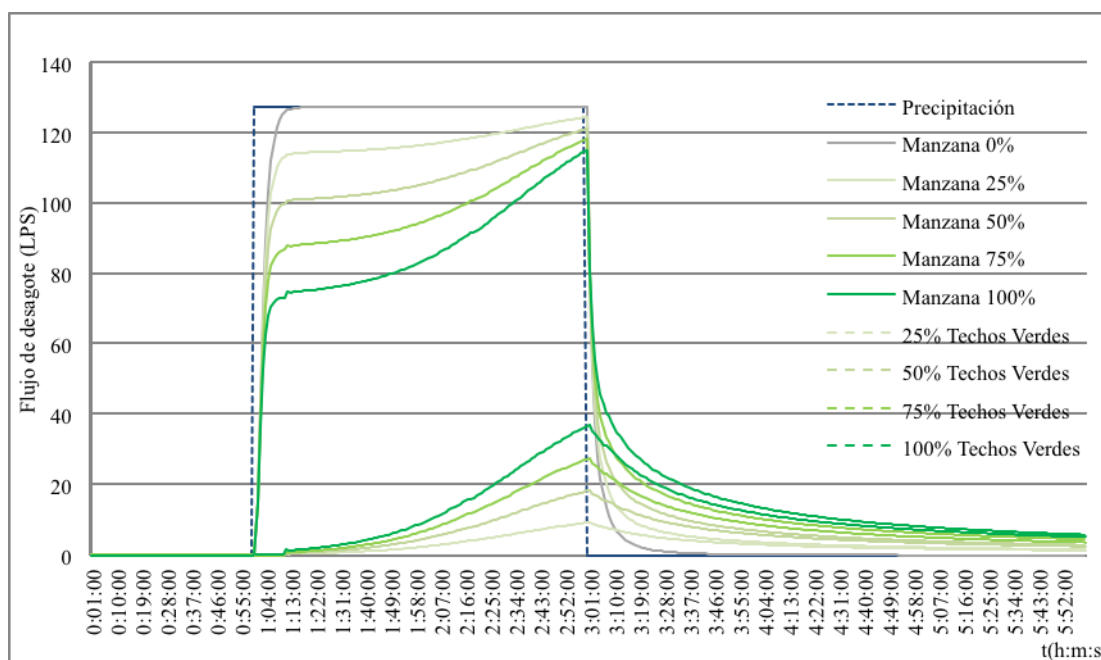


Figura 83: flujo de desagote de manzana 1 contra flujos de techos verdes

- Intensidades de precipitación 80 mm/h y 10 mm/h

Nuevamente entre ambas lluvias hay pequeñas diferencias de retención (ver Tabla XXVII) pero importantes desde el punto de vista de la reducción pasando en el caso de la manzana 3 de 19,77 a 77,6 LPS (ver Tabla XXVII).

Tabla XXVI

	Precipitación	Retención									
		0% Verde		25% Verde		50% Verde		75% Verde		100% Verde	
		mm	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
<b>Manzanas</b>	<b>1</b>	89.96	3.12	3.47%	6.25	6.95%	9.37	10.42%	12.49	13.88%	
	<b>2</b>	89.91	3.79	4.22%	7.57	8.42%	11.33	12.60%	15.14	16.84%	
	<b>3</b>	89.91	3.78	4.20%	7.6	8.45%	11.41	12.69%	15.23	16.94%	



Tabla XXVII

		Pico de desagote	Reducción							
		0% Verde	25% Verde		50% Verde		75% Verde		100% Verde	
		LPS	LPS	%	LPS	%	LPS	%	LPS	%
<b>Manzanas</b>	<b>1</b>	226.54	12.19	5.38%	24.39	10.77%	36.59	16.15%	48.78	21.53%
	<b>2</b>	237.9	15.5	6.52%	31.01	13.03%	46.5	19.55%	62.03	26.07%
	<b>3</b>	295.05	19.35	6.56%	38.77	13.14%	58.18	19.72%	77.6	26.30%

En este caso, al comparar con los resultados de microcentro se puede apreciar un menor caudal desagotado (Fig. 84) por las manzanas que tiene que ver con un menor área de estudio y un menor espacio para la ocupación de cubiertas verdes.

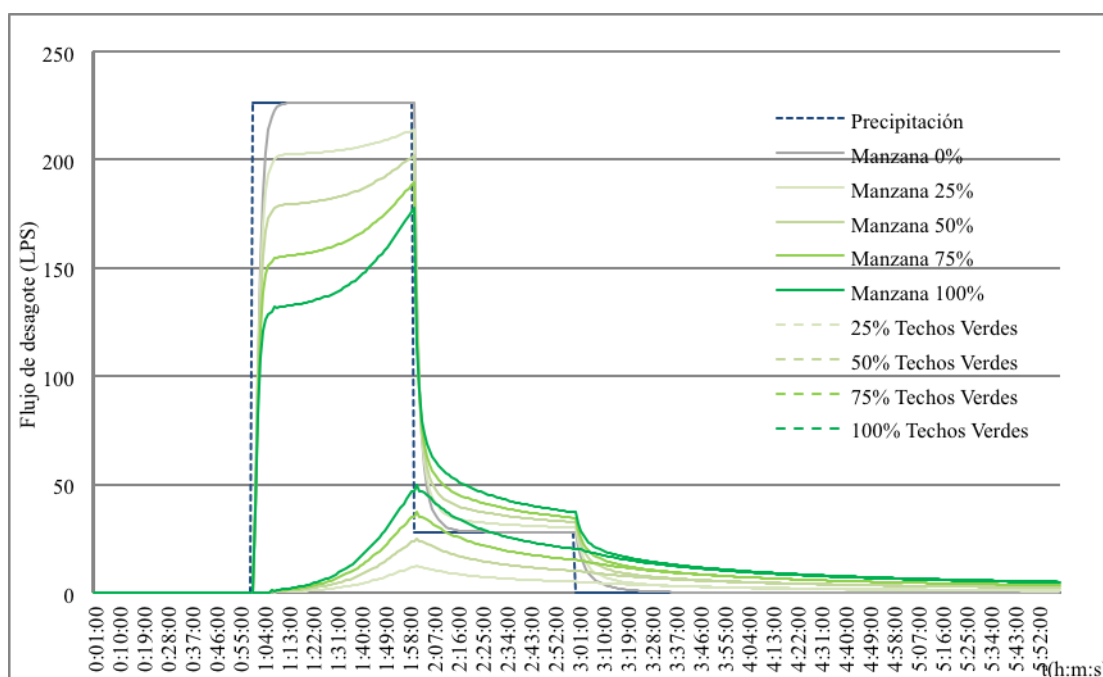


Figura 84: flujo de desagote de manzana 1 contra flujos de techos verdes

Modelo e) Se corrieron dos simulaciones de 90mm en 2 horas, la primera con una intensidad de 45 mm/h y la segunda con intensidades de 80 mm/h y 10 mm/h.

Las simulaciones se realizaron entre las calles Dr. Rómulo Naón y Roque Pérez e Iberá y Quesada (Fig. 85), una zona residencial que presenta mayor cantidad de zonas permeables y menor cantidad de techos disponibles para aplicar cubiertas verdes.



Figura 85: entre Dr. Rómulo Naón y Roque Pérez e Iberá y Quesada

El espacio disponible para techos verdes se puede apreciar en la tabla XXVIII, a la que nuevamente se le aplicó un factor de ocupación del techo no disponible para cubierta viva de 15%, el área total del barrio es de 33.674 m<sup>2</sup>, contando con 14,3%, 16,01% y 12,2% de zonas permeables.

Tabla XXVIII

Manzana	Área (m <sup>2</sup> )	Superficie Techos	Espacio disponible en techos
1	11.187	39,50%	33,58%
2	11.413	36,97%	31,42%
3	11.074	35,43%	30,12%

Se pueden observar disminuciones en la retención (ver Tabla XXIX) producto de la menor zona disponible para colocar techos verdes, ocurriendo lo mismo respecto del pico de flujo desagotado (ver Tabla XXX).

Tabla XXIX

		Precipitación		Retención							
		0% Verde		25% Verde		50% Verde		75% Verde		100% Verde	
		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Manzanas	1	83.69	3.07%	2.57	3.07%	5.13	6.13%	7.68	9.18%	10.19	12.18%
	2	83.86	4.04%	3.39	4.04%	5.76	6.87%	8.11	9.67%	10.44	12.45%
	3	85.07	2.75%	2.34	2.75%	4.67	5.49%	7	8.23%	9.18	10.79%

Tabla XXX

Manzanas		Pico de desagote	Reducción							
		0% Verde	25% Verde		50% Verde		75% Verde		100% Verde	
		LPS	LPS	%	LPS	%	LPS	%	LPS	%
1	1	133.01	2.6	1.95%	5.19	3.90%	7.56	5.68%	10.31	7.75%
	2	134.79	2.46	1.83%	4.91	3.64%	7.33	5.44%	9.73	7.22%
	3	133.13	2.34	1.76%	4.68	3.52%	7.01	5.27%	9.19	6.90%

La mayor diferencia con los otros barrios se nota en la capacidad de absorción de este barrio al nunca alcanzar el pico de lluvia con 0% de techos verdes (Fig. 86). Las cubiertas vivas nuevamente tienen el mismo rendimiento reteniendo y desagotando a lo largo de varias horas el agua de lluvia.

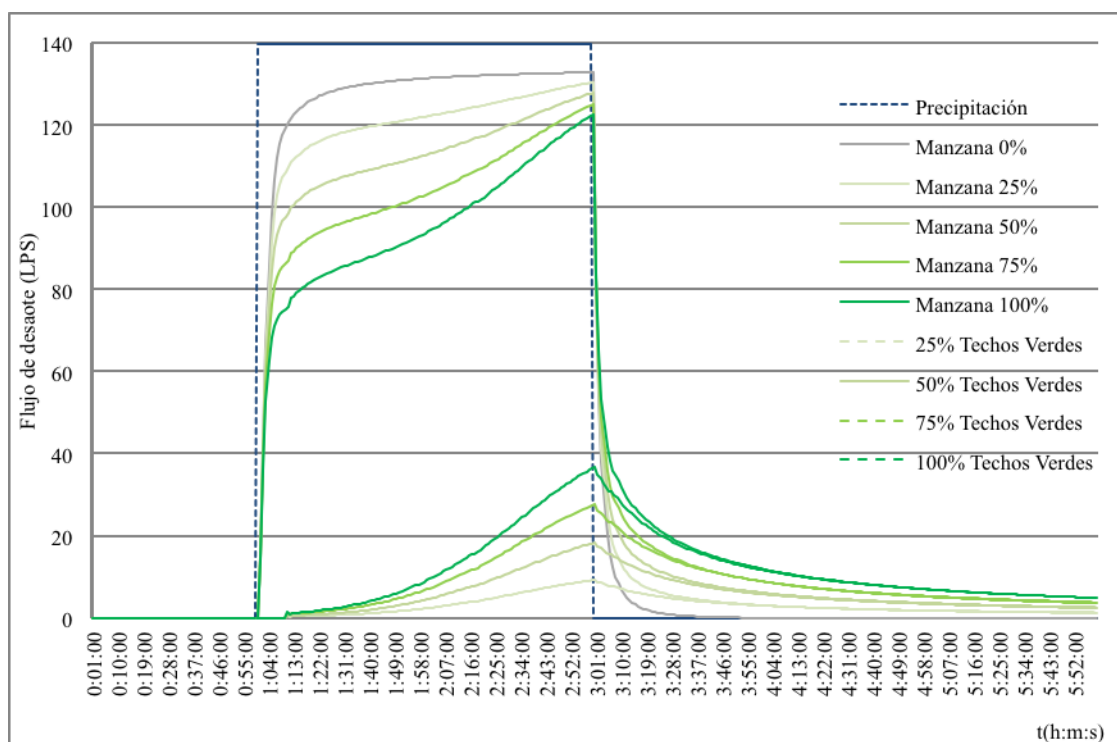


Figura 86: flujo de desagote de manzana 1 contra flujos de techos verdes

- Intensidades de precipitación 80 mm/h y 10 mm/h

Entre ambas lluvias hay pequeñas diferencias de retención (ver Tabla XXXI) pero importantes desde el punto de vista de la reducción pasando en el caso de la manzana 1 de 10,31 a 41,73 LPS (ver Tabla XXXII).

Tabla XXXI

		Precipitación		Retención							
		0% Verde		25% Verde		50% Verde		75% Verde		100% Verde	
		mm	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
Manzanas	1	83.69	2.39	2.84%	4.78	5.68%	7.14	8.48%	9.48	11.26%	
	2	83.86	2.22	2.66%	4.42	5.30%	6.61	7.92%	8.78	10.52%	
	3	85.07	2.17	2.54%	4.34	5.08%	6.5	7.60%	8.53	9.98%	

Tabla XXXII

		Pico de desagote		Reducción							
		0% Verde		25% Verde		50% Verde		75% Verde		100% Verde	
		LPS	LPS	%	LPS	%	LPS	%	LPS	%	
Manzanas	1	133.01	10.44	4.35%	20.91	8.72%	31.34	13.07%	41.73	17.40%	
	2	134.79	9.95	4.09%	19.9	8.18%	29.81	12.25%	39.69	16.31%	
	3	133.13	9.33	3.90%	18.67	7.80%	27.99	11.69%	37.11	15.50%	

Nuevamente la mayor diferencia con los otros barrios se nota en la capacidad de absorción de este barrio al nunca alcanzar el pico de lluvia con 0% de techos verdes (Fig. 87). Las cubiertas vivas nuevamente tienen el mismo rendimiento reteniendo y desagotando a lo largo de varias horas el agua de lluvia.

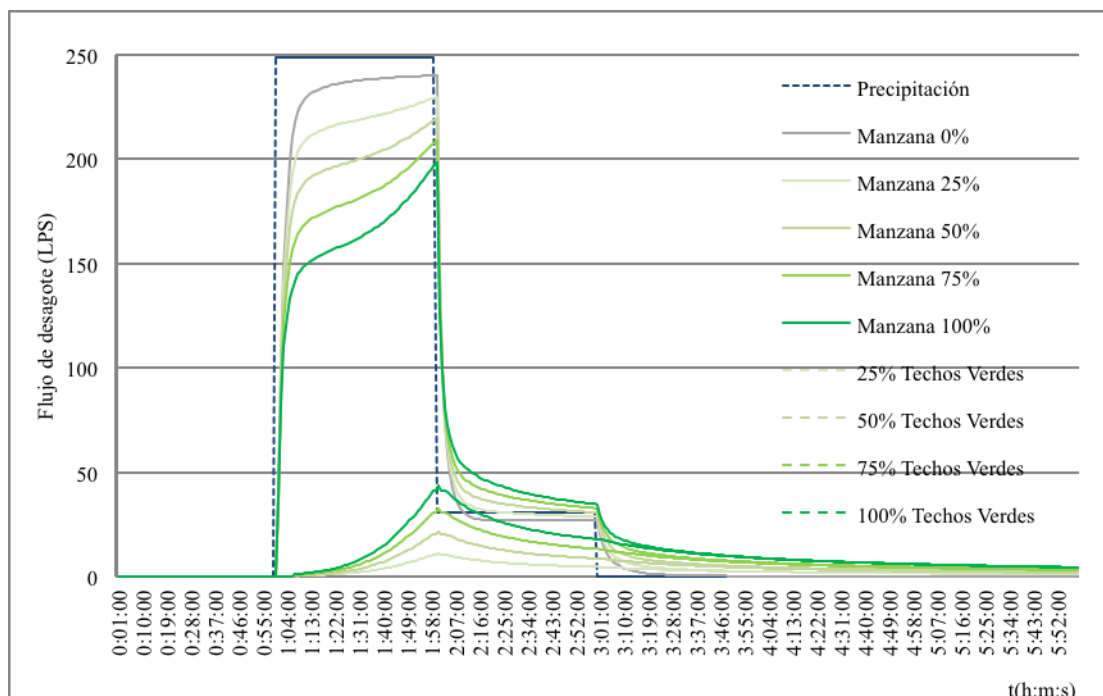


Figura 87: flujo de desagote de manzana 1 contra flujos de techos verdes

## Conclusiones

En el transcurso de la tesis a través del marco teórico, apoyado por el ensayo de lluvia en los módulos de techo vivo y en el punto final por la simulaciones, hemos demostrado la importancia de los techos verdes desde el punto de vista de retención de agua de lluvia y lenta liberación posterior, como de reductor en el pico de flujo de agua desagotada por el techo.

Cabe destacar que los techos no solo proporcionan esos beneficios como medida de protección contra la lluvia sino que reducen la temperatura ambiente por las acciones de la vegetación y, a su vez, el efecto isla calor. El efecto isla calor es reducido por la acción del techo verde que permite disminuir hasta en un 75% la demanda energética para acondicionar una vivienda de 1 piso en verano y, a raíz de lo mencionado anteriormente, al tener una menor capacidad instalada de equipos de aire acondicionado, al enviar menos calor al ambiente. Además, cuando se disminuye el efecto isla calor en un 1°C de temperatura ambiente, la demanda de electricidad cae en 2-3.33%. Amortiguan el pH de la lluvia ácida (cuando se presenta en CABA) y, al disminuir la temperatura ambiente reducen la producción de smog (dependiente de ésta). Por su parte, aportan espacios verdes que filtran partículas de metales pesados. Por último, pero no menor, extienden la vida útil de un techo hasta los 100 años, haciendo el mismo, más sustentable y económico.

El techo verde proporciona una gran capacidad de retención (un promedio de 13 estudios da un 56% anual) y de evaporación del agua de lluvia. Una vez que se produjo la precipitación, el agua tiene tres formas de dejar el sustrato por evapotranspiración, por evaporación del propio sustrato y por un desagote lento que puede durar hasta 12 horas en empezar a producirse. Estas tres formas proporcionan a las cubiertas verdes una ventaja neta contra los techos comunes de membrana asfáltica e incluso techos con sustrato. Es de vital importancia resaltar que utilizando los techos verdes se está atacando y remediando la causa en el origen, mientras que los métodos convencionales al recibir toda el agua de precipitación están lidiando con las consecuencias de la misma.

La situación actual ocasiona que un gran porcentaje del caudal de lluvia sea derivado a los sistemas de desagües pluviales y cloacales de la ciudad, desbordándolos, siendo el máximo responsable de las grandes inundaciones. Si la gran mayoría del agua retenida es evaporada por la vegetación y el sustrato, esa cantidad de agua nunca llega



a los sistemas de desagües ayudando a no desbordarlos y disminuyendo los graves perjuicios ambientales por arrastre de elementos contaminantes y por desborde del tratamiento de aguas.

Por otra parte las cubiertas vivas además reducen el pico de flujo desagotado por el techo (estudios muestran reducciones de un 25% contra techos de membrana asfáltica y entre un 45% y un 57% contra el pico de lluvia) y además lo retrasan, lo que permite que en el pico máximo de intensidad de la precipitación no descargue toda el agua en el mismo momento.

Los ensayos realizados en los techos verdes simulando una lluvia de 15 mm en aproximadamente 10 minutos dieron resultados similares tanto desde el punto de vista de retención como de reducción y retraso del pico de flujo desagotado. El módulo de 5° retuvo un 77,82% del agua durante el ensayo mientras que un 60,12% en los 20 minutos siguientes. Por su parte el módulo de 40° retuvo 66,08% durante la lluvia y, un 49,89% en los 20 minutos siguientes. La reducción en el pico de flujo desagotado fue del 54,52% respecto del pico de intensidad de la precipitación en el caso del módulo de 5°, mientras que en el módulo con mayor inclinación alcanzó una reducción de 33,13%. Por último, se produjeron retardos en el inicio del desagote de 4,5 minutos en el primer módulo y de 3,5 minutos en el segundo, marcadamente menor, como era de esperarse por la inclinación.

Las simulaciones en 3 barrios de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires dieron resultados acordes a los expresados tanto por el marco teórico como por los ensayos realizados. Simulando precipitaciones de 10 y 20 mm para las manzanas elegidas de microcentro, los techos verdes pudieron retener el agua de lluvia en su totalidad, por lo tanto, reduciendo el agua de lluvia desagotada en el mismo porcentaje de cubiertas verdes.

Al realizar las simulaciones sobre los 3 barrios con las lluvias características que presentan el problema de las inundaciones en CABA, los techos verdes tuvieron buenos rendimientos reteniendo entre 29,6 (lluvia más intensa) y 31,88mm de lluvia, lo que representaba una reducción promedio para el caso de 100% de ocupación de techos verdes de 19,8 mm en microcentro, de 15,34 mm en Cabildo y de 9,94 mm en Iberá para la lluvia de menor intensidad (45mm/h). Por su parte, en la lluvia de mayor intensidad (80 y 10 mm/h) las reducciones promedio fueron de 18,42 mm, 14,29 mm y 8,93 mm respectivamente. Cabe destacar que en Iberá además se tiene el mayor

porcentaje de terreno permeable siendo las infiltraciones de 5,79 y 5,85 mm en la primera y segunda simulación, lo que hace que supere en el total la reducción e infiltración del área de Cabildo.

Mientras que las reducciones en el pico de flujo desagotado en la precipitación menos intensa fueron de 31,59 LPS en microcentro, de 15,99 LPS en Cabildo y de 9,74 LPS en Iberá, en la lluvia más intensa las reducciones fueron mayores de 124,03 LPS, 62,8 LPS y 39,51 LPS respectivamente.

Si los techos verdes se instalaran en su totalidad en los barrios mencionados se estaría reduciendo en un 20% el problema de barrios como el de microcentro mientras que un 15% en zonas como las de Cabildo e Iberá para el caso de lluvias torrenciales, disminuyendo prácticamente en forma lineal respecto de los otros porcentajes de ocupación de techos verdes.

Siendo que los techos vivos permiten una instalación más flexible que obras de infraestructura para control de agua de lluvia convencionales, que retienen cerca de un 56% anual del agua de lluvia (agua que no llega al sistema de desagüe) y que retardan su desagote, que reducen el pico de flujo de agua desagotada, sumando el importante beneficio económico al reducir la demanda energética en verano y del efecto isla calor, que reducen el smog (dependiente de la temperatura), que filtran los metales pesados, que amortiguan el pH de lluvias ácidas, que aportan espacios verdes a la ciudad y que extienden la vida útil del techo, creemos que los techos verdes harían un aporte significativo como medida para reducir los efectos de lluvias importantes, ya que a su vez, estarían enmendando y remediando las demás variables mencionadas.

## Bibliografía

Akbari H. *Energy saving potentials and air quality benefits of urban heat island mitigation* [en línea]. EPA Science Corner. 2005. [consulta 05 jun 2013] < <http://www.epa.gov/heatisland/resources/reports.htm>>

Berghage, R. *Green roofs for stormwater control* [en línea]. EPA [consulta 20 mar 2013] < <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P1003704.PDF>> p. 4-5, 4-5, 4-5, 5-10, 5-11, 3-6, 3-8, 5-2, 3-13

BUENOS AIRES CIUDAD [en línea]. *Medio ambiente*. [consulta 10 ago 2013]. <[http://www.buenosaires.gob.ar/areas/hacienda/sis\\_estadistico/areas\\_tematicas/medio\\_ambiente/?menu\\_id=31290](http://www.buenosaires.gob.ar/areas/hacienda/sis_estadistico/areas_tematicas/medio_ambiente/?menu_id=31290)>

City of Portland. *Cost benefits evaluation of ecoroofs* [en línea]. Bureau of environmental services. 2008 [consulta 09 sep 2013] < <https://www.portlandoregon.gov/bes/article/261053>>

City of San Diego. *Rain barrel downspout disconnect* [en línea]. Stormwater department. 2010 [consulta 08 ago 2013] < <http://www.sandiego.gov/thinkblue/pdf/rainbarrelfinalreport.pdf>>

DISTRICT OF COLUMBIA WATER AND SEWER AUTHORITY [en línea]. [consulta 15 jun 2013]. < <http://www.dcwater.com/customercare/iab.cfm>>

EPA HEAT ISLAND EFFECT [en línea]. [consulta 12 may 2013] <<http://www.epa.gov/heatisland/impacts/index.htm>>

EPA. *Cooling summertime temperatures* [en línea]. Sep 2003 [consulta 12 may 2013]. < <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/HIRIbrochure.pdf>>

EPA. *Rainwater harvesting conservation, credit, codes and cost* [en línea]. 2013 [consulta 11 ago 2013] p. 23, 12, 7, 8 < <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/HIRIbrochure.pdf>>

EPA. *Reducing stormwater costs through low impact development* [en línea]. 2002 [consulta 23 ago 2013]. p.12 < [http://water.epa.gov/polwaste/green/upload/2008\\_01\\_02\\_NPS\\_lid\\_costs07uments\\_reducingstormwatercosts-2.pdf](http://water.epa.gov/polwaste/green/upload/2008_01_02_NPS_lid_costs07uments_reducingstormwatercosts-2.pdf)>

EPA. *The clean water and drinking water infrastructure gap analysis* [en línea]. 2002 [consulta 06 ene 2014]. p.21 < <http://www.epa.gov/ogwdw/gapreport.pdf>>

Givoni. Climograma de givoni [en línea]. < [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Climograma\\_de\\_givoni\\_argentina.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Climograma_de_givoni_argentina.png)>

Gregoire B. Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. *Ecological engineering* [en línea]. Mar 2011 [consulta 15 oct 2013]. p. 964 <[http://clear.uconn.edu/projects/TMDL/library/papers/Gregoire-Clausen\\_2011.pdf](http://clear.uconn.edu/projects/TMDL/library/papers/Gregoire-Clausen_2011.pdf)>

Liu K, Baskaran B. *Thermal performance of green roofs through field evaluation* [en línea]. National Research Council Canada. 2003 [consulta 20 nov 2013] <<http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc46412/nrcc46412.pdf>>

Minke, G. *Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos*. Fin del siglo. 2004. p. 16, 12, 12, 15, 10, 20

New York City, *Water matters a design manual for water conservation in buildings* [en línea]. Departamento de diseño y construcción. [consulta 10 mar 2013]. p. 24, 25, 154. <[http://www.nyc.gov/html/ddc/downloads/pdf/pubs/water\\_matters.pdf](http://www.nyc.gov/html/ddc/downloads/pdf/pubs/water_matters.pdf)>

NRDC. *Rooftops to rivers* [en línea]. 2006 [consulta 15 mar 2013]. p. 3, 4 <<https://www.nrdc.org/water/pollution/rooftops/rooftops.pdf>>

Palla, A. Hydrologic restoration in urban environment using green roofs [en línea]. *Water journal*. 9 abril 2010[consulta 25 nov 2013] <<http://www.mdpi.com/2073-4441/2/2/140>>

Scholz-Barth, K. *Green roofs: stormwater management from the top down* [en línea]. 2001 [consulta 28 abr 2013] <<http://www.greenroofs.com/pdfs/archives-katrin.pdf>>

Stovin, K. The potential of green roofs to manage urban stormwater. *Water and environmental journal* [en línea]. 2009 [consulta 20 nov 2013]. p. 193. <<http://copenhagenwater.files.wordpress.com/2013/11/green-roofs-and-urban-stormwater-mgmt.pdf>> ISSN 1747-6585

TSH. *Green roofs feasibility study and city wide implementation plan* [en línea]. City of Waterloo. 2005 [consulta 20 ago 2013]. p.20 <[http://www.waterloo.ca/en/contentresources/resources/living/green\\_roof\\_feasibility\\_study.pdf](http://www.waterloo.ca/en/contentresources/resources/living/green_roof_feasibility_study.pdf)>

Van Woert, N. *Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope and Media Depth* [en línea]. Universidad de Michigan, Departamento de Horticultura. 2005 [consulta 07 may 2013] <[http://www.researchgate.net/profile/Rodney\\_Fernandez/publication/7852212\\_Green\\_roof\\_stormwater\\_retention\\_effects\\_of\\_roof\\_surface\\_slope\\_and\\_media\\_depth/file/32bfe513f4a677ef64.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Rodney_Fernandez/publication/7852212_Green_roof_stormwater_retention_effects_of_roof_surface_slope_and_media_depth/file/32bfe513f4a677ef64.pdf)>

Wolverton, B.. *Interior Landscape Plants For Indoor Air Pollution Abatement* (1989) [en línea]. Science and technology laboratory [consulta 21 nov 2013] p.12 <<http://maison-orion.com/media/1837156-NASA-Indoor-Plants.pdf>>