

**Raquel Perahia**  
**Tito Lasanta**

**Manejo Sustentable  
del  
Agua de Lluvia**

**UTN | FRGP**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL GENERAL PACHECO

**CiN REUN**

Red de Editoriales  
de Universidades Nacionales  
de la Argentina



Libro  
Universitario  
Argentino



**Raquel Perahia  
Tito Lasanta**

**Manejo  
Sustentable  
del  
Agua de Lluvia**

**Año 2020**

Perahia, Raquel- Lasanta, Tito

Manejo sustentable del agua de lluvia / Raquel Perahia ; Tito Ignacio Lasanta ; editado por Fernando Cejas. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2020.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4998-47-7

1. Lluvia. 2. Desarrollo Sustentable. 3. Centros de Investigación. I. Lasanta, Tito Ignacio. II. Cejas, Fernando, ed. III. Título.

CDD 577.6

Diseño de interior y tapa: Fernando Cejas, Carlos Busqued



**Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina**

**Rector:** Ing. Hector Eduardo Aiassa

**Vicerrector:** Ing. Haroldo Avetta

**Secretaria Académica:** Ing. Liliana Raquel Cuenca Pletsch



**Facultad Regional General Pacheco**

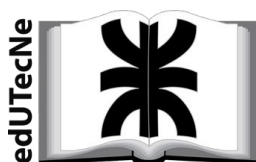
**Decano** Ing. Jose Luis Garcia

**Vicedecano** Ing. Ricardo H. Crivicich,

**Secretario de Ciencia y Tecnologia** Dr. Adrian M. Canzian

**Director del Departamento de Ingenieria Mecanica** Dr Ing Gustavo Cazzola

**Director del Departamento de Civil** Ing Enrique H. Vera



**edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional**

**Coordinador General a cargo:** Fernando H. Cejas

**Área de edición y publicación:** Carlos Busqued

**Director Colección Energías Renovables, Uso Racional de Energía,**

**Ambiente:** Dr. Jaime Moragues.

Queda hecho el depósito que marca la Ley N° 11.723

© edUTecNe, 2020

Sarmiento 440, Piso 6 (C1041AAJ) Buenos Aires, República Argentina

Publicado Argentina – Published in Argentina



ISBN 978-987-4998-47-7



*Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.*

		Contenido
Nota preliminar.....		3
La Situación.....		4
Qué nos propusimos .....		5
La Problemática en cuestión .....		6
El Área Metropolitana de Buenos Aires.....		7
Las Lluvias y el riesgo de inundaciones .....		8
El Área metropolitana de Buenos Aires y la vulnerabilidad hídrica.....		9
Las medidas de mitigación con control temprano.....		10
Las medidas estructurales y la normativa urbana .....		12
Los Sistemas de drenaje urbano sustentable y las medidas preventivas:.....		13
Las cubiertas naturadas .....		13
Consideraciones:.....		15
Los Dispositivos de Mitigación .....		16
Los pequeños reservorios y el modelo de análisis dimensional .....		16
Los depósitos y las descargas pluviales .....		17
Los techos verdes o cubiertas naturadas .....		18
El Trabajo en Laboratorio.....		19
Ensayos y especificaciones técnicas.....		20
Las cubiertas naturadas .....		22
Sustratos para techos verdes.....		24
En Síntesis.....		28
Bibliografía .....		29
Anexo.....		32
Antecedentes académicos en el tema.....		34
Proyectos de investigación concluidos.....		34

## Nota preliminar

La presente publicación es el resultado del desarrollo del proyecto de investigación dedicado al estudio del manejo de los excedentes pluviales en el Área Metropolitana de Buenos Aires, PID 4725, homologado por el rectorado de la UTN y radicado en los departamentos de Ingeniería Civil e Ingeniería Mecánica de la UTNFRGP, instalada en General Pacheco, provincia de Buenos Aires, Argentina.

Estudia la retención del agua de lluvia en diferentes dispositivos, con énfasis en techos con vegetación, denominados cubiertas naturadas, con la particularidad de que para todos ellos el agua de lluvia debe ser retenida donde cae, es decir a nivel parcelario.

La intención de este documento es la de acercar el contenido del trabajo a un público amplio y mostrar aspectos de interés, fundamentalmente en la etapa de preparación de dispositivos y ejecución de los ensayos.

El trabajo presenta una revisión sobre los alcances en el tema y recurre a la aplicación de planteos teóricos con aplicación de programas de computación, así como la ejecución de ensayos en laboratorio. Se ha utilizado el laboratorio de hidrología radicado en la UTNFRGP, que cuenta con equipamiento para registrar niveles de infiltración y para simular eventos de tormenta, entre otras mediciones.

El trabajo no habría alcanzado el presente nivel de desarrollo sin la participación de maestrandos, alumnos y becarios, que han llegado a la meta de recibir su diploma de Ingeniero, o están a punto de cruzarla.

Nuestro agradecimiento a todos ellos, en particular a quienes colaboraron en esta publicación:

***Luciano Arbore***  
***Pablo Taroni***  
***Alejandro Shianca***  
***Hernan Bee***  
***Leila Toviani***

Esperamos, amable lector, que esta trabajo este a la altura de sus expectativas. A los efectos de ilustrar la presentación inicial del PID se reseñan sus principales elementos.

## La Situación

La problemática hídrica en el Área Metropolitana Buenos Aires, es compleja y se acrecienta con la forma no controlada de ocupación del territorio para usos urbanos y el cambio climático aumentando los riesgos de inundaciones y anegamientos.

Con la impermeabilización progresiva del suelo el agua, que no se infiltra en el terreno, se desliza en superficie y llega rápidamente a los puntos más bajos produciendo muchas veces anegamientos.

La/s canalización/es no pueden absorber la totalidad del caudal y si hubiera que dimensionar el sistema pluvial para evacuar los caudales previsibles sería con un costo excesivo de infraestructura urbana. Las soluciones tradicionales muestran, en este caso, los límites de su eficacia, por ello se buscan nuevos recursos avanzando en una gestión del agua de lluvia sin caños, que se pueda ejecutar en forma individual, buscando stockear momentáneamente el excedente del caudal, aumentar el tiempo de concentración, y/o infiltrarlo en el suelo (terreno).

En paralelo es escaso el conocimiento sobre los parámetros hidrológicos y morfológicos que afectan significativamente los cálculos y los modelos que permiten simular y resolver problemáticas hídricas, y en qué forma los fenómenos extremos en los ciclos climáticos los afectan.

Estos análisis se deben relacionar con las diversas tipologías de urbanización a fin de evaluar y proponer de las mejores respuestas de prevención/atenuación avanzando hacia soluciones sustentables.

Las experiencias realizadas con dispositivos de mitigación de los efectos de las lluvias tienen un alcance que se limita al área, superficie y morfología en el que han sido aplicados. En general carecen de un estudio previo teórico sobre su efecto ante diferentes patrones de precipitación

## Qué nos propusimos

- Desarrollar e incorporar estrategias de mitigación y adaptación a los potenciales impactos que los excesos hídricos producen en la ciudad y su población elaborando propuestas de retención / regulación a fin de maximizar la retención del agua de lluvia.
- Destacar la eficiencia de los techos verdes en el control de lluvias
- Simular con diversas características de ocupación del espacio urbano las condiciones reales de escurrimiento en el área y el balance hídrico, tendientes a evaluar el impacto de las propuestas de mitigación.
- Completar el análisis considerando precipitaciones con distintas funciones de densidad de probabilidad, riesgos y situación de vulnerabilidad.
- Utilizar los beneficios y facilidades de la Estación Hidrológica Experimental, así como convenios que están en vigencia de la Estación Hidrológica con el Instituto Nacional del Agua y el Servicio Meteorológico Nacional, en la obtención de los datos para el proyecto.
- Transferir las conclusiones y recomendaciones que se obtengan de la investigación.

## El camino elegido

- Características del territorio y composición del suelo
- Análisis de la influencia de la vegetación, del suelo y de la acción humana en la escorrentía superficial.
- Determinación de valores de evapotranspiración potencial y uso consuntivo
- Propuestas de alternativas de atenuación del efecto de las lluvias (tanques, receptáculos, cubiertas verdes)
- Desarrollo mediante análisis teórico, cálculo y validación de combinaciones de alternativas de retención y determinación de Hidrogramas resultantes de las lluvias que pasaron por la instalación
- Depuración de los hidrogramas dependiendo de las condiciones geomorfológicas del territorio
- Validación de los resultados con los datos del LISIMETRO del Laboratorio
- Análisis de las respuestas de cada dispositivo para cada patrón de lluvia
- Determinación de las alternativas más efectivas
- Difusión de conclusiones/recomendaciones de mejores prácticas para su implementación.

## La Problemática en cuestión

En las últimas décadas la intensificación del proceso de suburbanización, la constante modificación de las condiciones de impermeabilización del terreno, la reducción de espacios libres y verdes, la remoción de la cobertura vegetal y edáfica, sin el adecuado manejo de las aguas superficiales, y una creciente intensidad del uso del suelo, aumentó el proceso de antropización en las ciudades con fuerte compromiso del medio ambiente.



*Figura 6: Rio Reconquista (AMBA)*

*Fuente: <https://www.diariopopular.com.ar/noroeste/denuncian-pocos-cuidados-el-rio-reconquista-n277534>*

Acompañan a esta transformación producto de la expansión urbana descontrolada, los efectos del cambio climático y el aumento sostenido del exceso de precipitación o precipitación efectiva, que agregado a la creciente impermeabilización de las áreas urbanas, se ha convertido en una preocupación ambiental seria (Forrester et al., 2006).

La relevancia de esta tendencia queda manifiesta ante el aumento del nivel de urbanización, que según predicciones de Naciones Unidas (1999), se incrementaría, para América Latina, del 71% actual hasta 81% en el 2025.

En la Región Metropolitana de Buenos Aires el crecimiento del suburbio, alteró el sistema natural y los escurrimientos hídricos al modificarse o eliminarse definitivamente el potencial de infiltración de los excedentes pluviales producto de la impermeabilización desmedida y no controlada del territorio. En la figura 6 se puede apreciar el Rio Reconquista en su cuenca media (AMBA).

A esto se suma el crecimiento de los asentamientos irregulares, destinados a los sectores más pobres que ocupan suelos nos aptos y con graves problemas de saneamiento, la deficiencia, obsolescencia y/o ausencia de infraestructura de servicios con escaso mantenimiento del sistema así como la predominancia en el diseño conforme al criterio tradicional de evacuación del agua de lluvia caída "lo más pronto posible" y al exiguo empleo de dispositivos de retención y detención de este volumen, especialmente en construcciones privadas y públicas seriamente impermeabilizadas,

También se suma la falta de manejo escala local, de los excesos pluviales y de planes de contingencia, frente a desastres provocados por tormentas extremas y el exiguo empleo de medidas de prevención y/o mitigación, integradas a las normas de ordenamiento urbano territorial vigentes.

Por ello, asumiendo que el territorio se puede inundar, que es vulnerable, es conveniente controlar esa inundación a través de una gestión integrada del agua de lluvia, realizada in situ, adecuada a los cambiantes períodos de lluvia.



## El Área Metropolitana de Buenos Aires

En nuestro país el AMBA también manifiesta esa situación pues el crecimiento del suburbio metropolitano, alteró el sistema natural y los escurrimientos hídricos al modificarse o eliminarse definitivamente el potencial de infiltración de los excedentes pluviales producto de la impermeabilización desmedida y no controlada del territorio.

Por ello basados en experiencias exitosas,

Nos propusimos orientar nuestra investigación conforme a ciertos criterios que aquí se enuncian



*Figura 7: El AMBA y la RMBA*

*Fuente: Observatorio Metropolitano*

- a) Gestionar la lluvia allí donde cae (in situ), también denominada gestión en origen, para regular/evitar el desplazamiento en superficie, reduciendo los costos de transporte y evacuación. Además estas acciones pueden ser ejecutadas en las parcelas por los privados, y/o en el espacio público por el municipio.
- b) Recomendar la reducción de los volúmenes y el caudal arrojados a la red y al medio natural limitando la impermeabilización del suelo y favoreciendo la infiltración a través de suelo permeable, la ubicación de pozos de infiltración por particulares y otras soluciones integradas bajo la denominación de SDUS.
- c) Favorecer la evaporación a través del aumento de los espacios verdes y techos verdes cuya disipación contribuye a reducir la temperatura en los centros urbanos en el verano.
- d) Sensibilizar e involucrar los diferentes actores en el territorio.

En la figura 2 se puede observar el área del AMBA.

En resumen, el desarrollo del PID se basó en

- Analizar el régimen de lluvias utilizando las instalaciones del laboratorio de Hidráulica e Hidrología que dirige el Ingeniero Lasanta.
- Estudiar las características físicas del territorio, cuando ambas integradas, aumentan el riesgo de inundaciones;
- Revisar las medidas de mitigación/atenuación/control temprano de fácil y/o posible implementación a fin de seleccionar las potenciales soluciones.

## Las lluvias y el riesgo de inundaciones

Aun cuando existen diversas causas que provocan el deterioro ambiental de la RMBA, en este proyecto nos focalizamos en las dos variables con mayor vinculación con las alternativas de atenuación de riesgos de inundaciones y/o de mitigación temprana, que requieren reconocer, como sus principales causas, los patrones de precipitaciones y las funciones de densidad de probabilidades de las lluvias, a fin de seleccionar la instalación de retención o medidas de control adecuados al régimen de lluvias.

Por ello los diversos paradigmas de las tormentas y el análisis de sus parámetros deben ser considerados al analizar las mejores soluciones o combinación de soluciones en las instalaciones de retención temprana del agua de lluvia, a los efectos de evitar/minimizar el hidrograma de escurrimiento y las posibles inundaciones.

Con este objetivo se analizara el régimen pluvial, según los siguientes patrones;

- a) modelos de valores extremos de precipitaciones/ para pronosticar sus efectos devastadores (más riesgosos) mediante la aplicación de funciones de densidad extremas. Ante este tipo de hidrograma se obtendrían las precipitaciones que deberán ser encauzadas por estructuras de drenaje bajo la premisa que si esa estructura soporta ese valor extremo soportará los subsiguientes.
- b) patrones de precipitaciones que no generan la vulnerabilidad de los valores extremos pero que poseen, por debajo de un determinado umbral recurrente, pulsos de precipitaciones excedentes que acumulan sus efectos produciendo inundaciones de amplia extensión territorial.
- c) Disparidad en la distribución temporal y territorial de las lluvias, que podría aumentar su efecto no deseado.



*Figura 8: Inundaciones en el AMBA.*

[https://infocielo.com/nota/91127/zabaleta\\_presento\\_el\\_comite\\_de\\_emergencias\\_municipal\\_para\\_optimizar\\_la\\_respuesta\\_a\\_temporales/](https://infocielo.com/nota/91127/zabaleta_presento_el_comite_de_emergencias_municipal_para_optimizar_la_respuesta_a_temporales/)

Los conflictos derivados de esa desmedida expansión sobre el ecosistema complejo de su territorio, y los riesgos de inundaciones y anegamientos emergentes de esta situación, aumentan en relación a las características propias de los modelos de lluvia-caudal (objeto de este PID) situación agravada por efecto de los cambios climáticos, que acentuaron la tendencia a incrementar la frecuencia de las tormentas severas de modo que los hidrogramas de lluvias presentan mayores valores de lluvias y picos de precipitaciones más extremos y con mayor concentración temporal. En la figura 3 se pueden observar las inundaciones en el AMBA.

## El Área metropolitana de Buenos Aires y la vulnerabilidad hídrica

El actual régimen de lluvias afecta el hábitat metropolitano que se manifiesta con altos riesgos ambientales, incremento de la vulnerabilidad y riesgo de la población y el territorio que se incrementa en las últimas décadas con

- ❖ la modificación progresiva del sistema natural, producto de la expansión descontrolada de las áreas urbanizadas que adopta los últimos años formas aisladas y segregadas de la trama urbana y ajenas al planeamiento urbano,



*Figura 9. LA OLLA asentamiento en el Partido de San Miguel a orillas del Reconquista . Fuente Elaboración propia*

- ❖ el crecimiento de los asentamientos irregulares, destinados a los sectores más pobres que ocupan suelos nos aptos y con graves problemas de saneamiento,
- ❖ la deficiencia, obsolescencia y/o ausencia de infraestructura de servicios con escaso mantenimiento del sistema así como la predominancia en el diseño conforme al criterio tradicional de evacuación del agua de lluvia caída “lo más pronto posible”.
- ❖ finalmente la falta de manejo y gestión de los excesos pluviales a escala local, más la falta de planes de contingencia frente a desastres provocados por eventos de tormenta extremos y el exiguo empleo de medidas de prevención y/o mitigación sumadas a la escasa regulación y normas de ordenamiento territorial.

En base a los datos de lluvia y conforme a algunas características urbanas prototípicas de la RMBA se propondrán alternativas de atenuación analizando las respuestas de cada dispositivo para cada lluvia (extrema y otras) a fin de evaluar cual/les alternativas dentro del amplio espectro de posibilidades, resultan más eficientes para elaborar las recomendaciones pertinentes. En la figura 4 se puede observar la urbanización no planificada.

Nos concentramos en los sectores amanzanados y subdivididos en parcelas con viviendas individuales, por ser la modalidad más frecuente y extendida de ocupación residencial del territorio metropolitano

Por otra parte facilita la implementación del control individual, a escala parcelaria, de modo que los resultados de este PID pueden transferirse a la población, a las asociaciones profesionales y a las autoridades locales (municipios).

## Las medidas de mitigación con control temprano

Existe un amplio espectro de soluciones que permiten encarar el planeamiento, diseño y gestión de aguas pluviales dando tanta importancia a los aspectos medioambientales y sociales como a los hidrológicos e hidrogeológicos y que pueden implementarse a escala parcelaria. Estas soluciones se agrupan bajo la denominación SUDS (Sistemas Urbanos de Diseño Sostenible), sistemas que encaran alternativas sustentables que permitan el escurrimiento, absorción, o retardo de las aguas en llegar a los sistemas de drenaje, mejorando la integración entre lo antrópico y lo natural.

Perales Momparler et al. (2008), proponen como una alternativa a los manejos tradicionales, lo *Sustainable Drainage Systems* (SuDS) que *entre sus objetivos se propone el de reducir volúmenes de escorrentía y caudales pico, procedentes de las zonas urbanizadas, mediante elementos de retención y menos áreas impermeables.*

Woods-Ballard et al. (2007), mencionan que los Sustainable Drainage Systems (SuDS) que se conocen colectivamente en castellano como Sistemas de drenaje Sostenible, son sistemas de drenaje compatibles con el concepto de desarrollo sostenible, Estos sistemas están diseñados para gestionar los riesgos ambientales resultantes de escorrentía urbana y contribuir siempre que sea posible a la mejora ambiental.

Los mismos autores, los clasifican en:

- 1) *Filterstrips*: son áreas de hierba u otra vegetación densa que tratan la escorrentía de áreas impermeables adyacentes.
- 2) *Swales*: son canales amplios, poco profundos cubiertos por hierba u otra vegetación adecuada. Están diseñados para transportar o almacenar el escurrimiento y pueden, si lo permiten las condiciones del suelo, infiltrar el agua en el suelo.
- 3) *Infiltrationbasins*: son depresiones en la superficie que están diseñadas para almacenar el escurrimiento e infiltrar el agua. También pueden ser parquizados y aportar servicios (ambientales y estéticos) a la sociedad.
- 4) *Wetponds*: son depresiones, pero con agua permanente, que permiten el tratamiento de calidad de agua. Ofrecen almacenamiento temporal para lluvia adicional por encima del nivel de agua permanente. También brindan servicios ecosistémicos sociales y a la vida silvestre. En la figura 5 se pueden apreciar los wetponds.



*Figura 10: Wetponds*

*Fuente: <https://www.toronto.ca/services-payments/water-environment/managing-rain-melted-snow/what-the-city-is-doing-stormwater-management-projects/other-stormwater-management-projects/stormwater-ponds/>*

- 5) *Extended detention basins*: o cuencas de captura se encuentran normalmente secas, aunque tienen pequeñas piscinas permanentes en la entrada y salida. Están diseñados para detener a un cierto volumen de escurrimiento, así como proporcionar tratamiento de calidad del agua.
- 6) *Constructed wetlands*: son estanques con áreas poco profundas y vegetación de humedales para mejorar la eliminación de contaminantes y mejorar el hábitat de vida silvestre.
- 7) *Filterdrains and perforated pipes*: son zanjas que se llenan con material permeable. El agua superficial fluye desde el borde del pavimento, se filtra y transmite a otras partes del sitio. Un tubo perforado o ranurado puede construirse en la base de la zanja para recoger y transmitir el agua.
- 8) *Infiltration devices*: dispositivos de infiltración que se diseñan para almacenar temporalmente la escorrentía de un sector y dejar que se infiltre en el suelo.
- 9) *Pervious surfaces*: Estas superficies permeables, permiten que el agua de lluvia se infiltre a través de la superficie hacia una capa subyacente de almacenamiento, donde el agua se almacena antes de la infiltración en el suelo, lo que permite reutilizar, o liberar el agua superficial almacenada.
- 10) *Green roofs*: los techos verdes son sistemas que cubren el techo de un edificio con vegetación. Se colocan sobre una capa de drenaje, con otras capas de protección, impermeabilización y aislamiento. En la figura 6 se pueden observar los Green Roofs.



Figura 11: Green Roofs

Fuente: <https://www.museosdetenerife.org/muna-museo-de-naturaleza-y-arqueologia/evento/5335>

## Las medidas estructurales y la normativa urbana

En Europa, varios países y regiones han elevado esta estrategia a normativa urbana. En Dinamarca se estableció “el drenaje local del agua de lluvia”, mientras que en Suecia se impuso “la disposición local de aguas de lluvias”. Ambas entrañan una misma y única idea: cada predio, lote o parcela debe gestionar sus aguas pluviales in situ. O sea que gran parte de las aguas pluviales urbanas se gestiona en suelos de propiedad privada, y esa gestión es responsabilidad exclusiva de sus propietarios. Las autoridades de las ciudades danesas y suecas exigen que los proyectos, sean arquitectónicos o urbanos, cuenten con los sistemas necesarios para la gestión in situ del recurso pluvial. Así, se evitan excedentes en el sistema y el volumen de las escorrentías pluviales se minimiza significativamente.

Para lograr tales objetivos, en Copenhague se admiten tres alternativas:

- Generar superficies permeables en los proyectos que permitan que el agua de lluvia se infiltre al subsuelo directamente en la parcela;
- Ralentizarla o retenerla mediante techos verdes; y
- Almacenarla en tanques para aguas de lluvia con el fin de usarla posteriormente en labores domésticas no potables.

En Estocolmo se manejan estrategias similares, aunque con algunas variaciones. Estas políticas públicas, además de disminuir las escorrentías y, en consecuencia, minimizar el riesgo de inundación, logran otros objetivos: i) reducen la carga de los sistemas de alcantarillado; ii) disminuyen el volumen de residuos líquidos que llega a las plantas de tratamiento; iii) contribuyen en la conservación del nivel freático; y iv) reducen el índice de impermeabilización del suelo, mejorando el drenaje, la percolación y la infiltración de las aguas lluvias al subsuelo, y fortaleciendo el ciclo natural del agua.

En Bélgica sucede algo similar y al igual que en Dinamarca y Suecia, imponen normativas de estricto cumplimiento para regular con precisión su gestión in situ. La escorrentía de aguas pluviales generada por todas las superficies impermeables debe ser recogida y llevada a un tanque, un campo de infiltración o en su defecto, al sistema de alcantarillado público. En el caso de nuevas construcciones, se impone la instalación de un tanque, con el fin de evitar la sobrecarga del sistema de la red de drenaje. El tamaño mínimo de este tanque es de 33 litros por m<sup>2</sup> de superficie cubierta (Región de Bruxelles-Capitale).

En Lyon, Francia, —junto con otras nueve urbes europeas— a partir del proyecto Aqua ADD, se tiene por objetivo valorar las aguas pluviales (y otras aguas urbanas) y se le otorga a esta meta el estatus de determinante fundamental para el diseño de las ciudades. Por tanto, el reglamento de servicios públicos de la comunidad urbana de Lyon, que rige desde el 2004, especifica la obligación del propietario de cada predio de gestionar las aguas pluviales que le corresponden; las condiciones para admitir en la red pública alguna porción de las aguas pluviales; y el control que la administración local realizará a los diseños con el fin de proteger la red pública de descargas pluviales no autorizadas. Se establece claramente que la gestión de las aguas pluviales debe ser enteramente resuelta por el diseñador de cada proyecto, y que está prohibida su descarga en el sistema de alcantarillado.

Finalmente, cabe destacar la legislación suiza, puesto que no surgió en la última década, como en Suecia, Dinamarca, Bélgica o el Grand Lyon, sino que se remonta a mediados del siglo pasado. Se inició en 1961, y luego se elaboró una regulación de actualización acorde en 1991 y en 1998. Una particularidad propia y destacable de esta normativa es su amplia visión, pues además de exigir la gestión in situ de las aguas pluviales —como el caso danés y el sueco— recomiendan su integración como elemento clave para el diseño del paisaje de la ciudad. Una legislación que exige al arquitecto establecer áreas permeables en cada proyecto, que facilite la percolación e infiltración de las escorrentías pluviales al subsuelo. Si las áreas de infiltración son insuficientes, se debe contar con tanques para que la retengan.

En la literatura consultada se plantean como integrantes de los SDUS las medidas preventivas, las medidas estructurales y no estructurales que incluye la educación y programas de participación ciudadana.

## **Los Sistemas de drenaje urbano sustentable y las medidas preventivas:**

### **Las cubiertas naturadas**

Entre las medidas preventivas y no estructuradas de los SDUS analizamos las cubiertas naturadas, más conocidas como techos verdes, solución que promueve la nueva legislación— *La implementación de cubiertas verdes o naturadas en terrazas de edificios y casas es una de las prácticas que ayudan a disminuir el factor de escurrimiento* (Uhlet al., 2003).

Existen en la bibliografía distintas acepciones sobre qué se considera una cubierta vegetada. Una de las más abarcativas es la elaborada por Osmundson (1999), que la define como *cualquier espacio abierto, plantado, realizado para proveer disfrute humano o una mejora ambiental, que se encuentra separado del suelo por un edificio u otra estructura y que puede estar debajo, a la misma altura o por encima del nivel del suelo*.

Una “cubierta naturada o techo verde” involucra la construcción de espacios verdes “contenidos” encima de una estructura hecha por el hombre, de allí surge la posibilidad de incorporar el verde en altura como una variable ambiental (Rueda, S, 2007).

Generalmente las cubiertas vegetales se dividen entre cubiertas extensivas e intensivas. Las extensivas son cubiertas verdes que requieren un mantenimiento mínimo o inexistente. Consisten en un pequeño espesor de suelo, de como mínimo unos 76 mm pero que no supera los 12 cm, y en el que predomina el contenido mineral. Las variedades de plantas quedan restringidas a herbáceas, musgos y plantas crasas tipo Sedum. Estas plantas deben ser resistentes a condiciones climáticas duras, como sequías, fuertes vientos, lluvias intensas o heladas.

En nuestro análisis/ejemplo nos referiremos a las cubiertas de tipo extensivo dado que se estima que el 80 % de los techos verdes en el mundo tienen esas características. También en la CABA los techos, que potencialmente son susceptibles de recibir este tipo de cubierta verde, son techos planos, en gran parte contruidos en hormigón.



*Figura 12: Planta Crassas tipo Sedum*

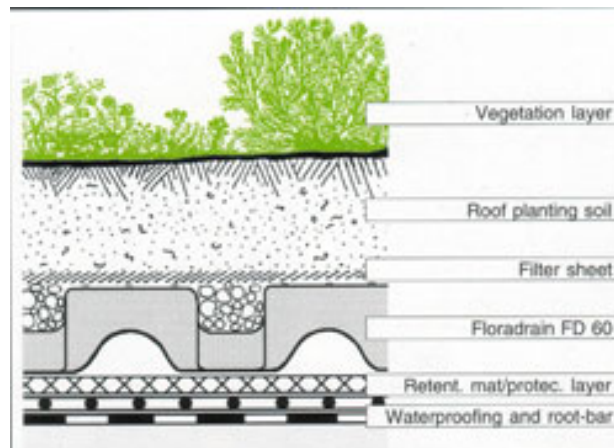
*Fuente: <http://tuksido-arquitectura.blogspot.com/2011/10/arquitectura-ecologica.html>*

A escala edilicia, por su alta eficacia en la protección superficial contra los rayos ultra-violeta (UV), las terrazas verdes mejoran la aislación térmica edilicia, reducen las grandes fluctuaciones diarias y estacionales de temperatura superficial y estructural, extendiendo la vida media de la cubierta entre 10 y 15 años y disminuyendo los costos asociados al mantenimiento y a la sustitución. En la figura 7 se pueden apreciar una planta Crassas tipo Sedum.

Aun cuando los materiales específicos pueden variar según el proyecto, sus componentes básicos son los mismos

1. Una membrana impermeable (o aislación hidrófuga) que impide el paso de la humedad al interior del edificio
2. Una barrera anti-raíz que controla el paso de las raíces que podrían perforar la capa protectora impermeable.
3. Un sistema de drenaje o capa de retención y drenaje que facilita el escurrimiento del agua sobrante hacia los desagües, evitando el encharcamiento en superficie y la falta de oxígeno en el suelo.
4. Una capa de filtración o filtro de tela que contiene/mantiene en su lugar el sustrato y protege el drenaje de la presión ejercida por las capas superiores.
5. Un sustrato de crecimiento que brinda soporte físico a la vegetación y proporciona los nutrientes de agua y oxígeno necesarios para su desarrollo. Esta es la capa de mayor impacto en el peso total de la cubierta verde
6. Una cubierta vegetal o selección de plantas adaptadas a las condiciones físicas y micro climáticas en las que deberán crecer.





*Figura 13: Paquete Verde.*

*Fuente: <http://tuksido-arquitectura.blogspot.com/2011/10/arquitectura-ecologica.html>*

Dado que la instalación de la cubierta verde debería tender a conseguir un acercamiento al concepto de “ciudad sustentable”, es necesario asegurar no solo la instalación de la cubierta, sino su viabilidad desde el punto de vista de su materialización. En la figura 8 se puede observar un Paquete Verde.

En este sentido, uno de los atributos fundamentales a considerar en la cubierta es su característica portante diferente en el hormigón, el acero, los cerámicos portante, madera y tejas,.....otros que según su naturaleza y condiciones técnicas soportan cargas y permiten funciones diferentes.

### **Consideraciones:**

Se ha expuesto hasta aquí una defensa del rol de las cubiertas naturadas para el control/reducción de las inundaciones. Es momento de validar esas expresiones. Por un lado hemos recurrido a herramientas de cálculo para evaluar la eficiencia de otros dispositivos de mitigación, aplicados a nivel parcelario.

Consideramos los detalles/aspectos técnicos de tanques de mitigación, y luego de depósitos incorporados al drenaje pluvial.

Posteriormente, hemos desarrollado ensayos de laboratorio, preparando paquetes verdes similares a las cubiertas naturadas, sometidos a lluvias mediante el simulador, conforme a la metodología propuesta.

## Los Dispositivos de Mitigación

### Los pequeños reservorios y el modelo de análisis dimensional

El primer dato con el que debemos contar para realizar la simulación es la geotopografía de la cuenca, con la que el programa obtendrá los diferentes niveles de esta y así podrá determinar en qué momento llegará el fluido.

El segundo dato de importancia, el hidrograma de la cuenca, permite determinar las intensidades de lluvia en un tiempo determinado y con ello el programa generará los caudales de simulación.

Una vez ingresados estos datos se correrá el programa y se obtendrá la correspondiente simulación del flujo.

Se busca comparar los procesos con y sin reservorio, cuyos resultados nos darán cuenta de la eficiencia del método utilizado.

La forma propuesta será cúbica y las dimensiones del reservorio serán de 5x5 m de lados y de 2 m de altura, en una primera prueba. Luego se perfeccionará de acuerdo al análisis formal que se llevó a cabo en otra línea de trabajo. Se colocarán 20 reservorios por manzana, lo que nos da un total de 1000 m<sup>3</sup> por manzana. Para facilitar el cálculo, dado que la cuenca es extensa, colocaremos un solo reservorio de 22x23 m.

Como primera instancia, buscamos los centros urbanos más susceptibles a inundación que se encuentran sobre la cuenca.

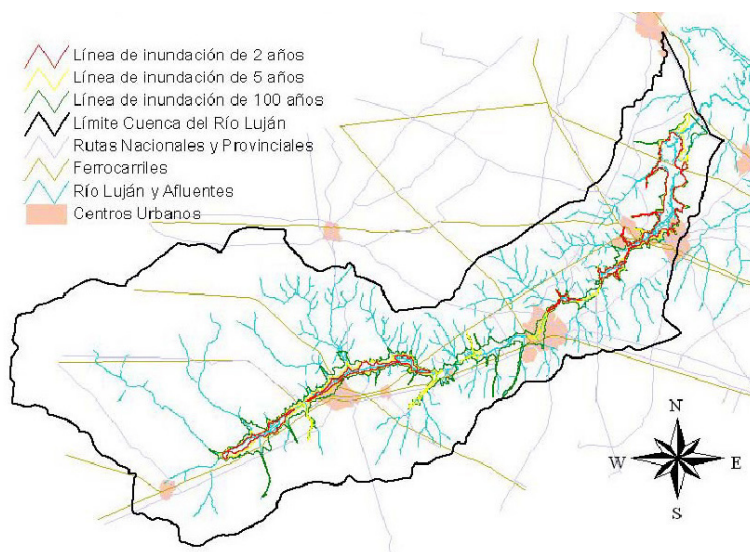


Figura 14: Mapa Riesgos de peligro de inundaciones.

Fuente: <http://www.delriolujan.com.ar/estudioina2.html>

Este es el caso de las ciudades de Pilar, entre otras, que se ve afectada por las inundaciones de baja, media y alta recurrencia (2, 5 y 100 años). En la figura 16 se puede observar el mapa de riesgos de peligro de inundaciones. La misma está ubicada en la subcuenca C como se muestra en la siguiente imagen



Figura 14\_1: Sub cuencas del sistema Río Luján- Identificación de zonas de peligro hídrico ciudad de Pilar- <http://www.delriolujan.com.ar/estudioina2.html>

## Los depósitos y las descargas pluviales

Se ha recurrido al análisis dimensional para un reservorio cilíndrico horizontal, análisis que se comprueba que el análisis a través del Teorema Pi de Buckingham es sumamente útil para poder extrapolar los resultados a cualquier reservorio. Aún más importante resulta el concepto de que, al variar los números adimensionales o Pi, se puede obtener el comportamiento hidráulico de los tanques (capacidad de atenuación y retardo)

En segundo lugar, y como se mencionó anteriormente, se llega al resultado que pueden llevarse a cabo experiencias utilizando solamente tres números adimensionales, a saber:

$$\pi_1 = \frac{Q_s}{Q_e} : \text{"Relación entre caudales de entrada y salida"}, \quad \pi_2 = \frac{L}{D} : \text{"Esbeltez del reservorio"},$$

$$\pi_3 = \frac{d}{D} : \text{"Orificiorelativo"}$$

De esta manera, será necesario efectuar los siguientes ensayos, para un caudal de entrada constante y con una escala del modelo ya definido:

- Variando la Esbeltez del reservorio, o sea, la longitud del cilindro sobre su diámetro, el cual depende de la escala a utilizar y el prototipo real.
- Variando el Orificio relativo del reservorio, lo que implica cambiar el diámetro del orificio de descarga.
- En ambos casos, la variable a medir resultará el caudal de salida, el cual determinará la Atenuación y el Retardo que producen los diferentes modelos.

Con este par de ensayos, podrán encontrarse los diferentes comportamientos hidráulicos de los modelos, para luego seleccionar el que mejor se adapte a nuestras condiciones y, finalmente, construir el prototipo real.

Es importante señalar que, para que los ensayos en los modelos sean válidos, deberá existir semejanza geométrica y dinámica entre prototipo real y modelo. La semejanza geométrica viene dada por la escala a utilizar, la cual debe ser definida en función de la capacidad de construcción y espacio para ensayar que se disponga. Por otro lado, la semejanza dinámica se cumple cuando los números adimensionales del prototipo real y el modelo sean iguales.

## Los techos verdes o cubiertas naturadas

Tratemos ahora en detalle el tema de los techos verdes.

Para nuestro análisis de laboratorio se seleccionó una mezcla de suelos y una cubierta vegetal que, fue sometida a lluvias de diversa intensidad de precipitaciones verificando su comportamiento a través de simuladores de lluvia. Las intensidades de precipitación seleccionadas fueron de 60-100-120 mm/h

Las combinaciones de materiales para el sustrato y la altura del mismo se escogieron en base a la bibliografía analizada.

Esa bibliografía recomienda utilizar sustratos que químicamente tengan bajo contenido de sales y un pH levemente ácido, y que físicamente se caractericen por tener buen drenaje, ser livianos y con poca materia orgánica. En la composición del sustrato se aconseja el uso de hasta un 80% de materiales inorgánicos como piedra pómez, zeolita, vermiculita y perlita, mezclado con un 20% como máximo, de materiales orgánicos como turba o compost.<sup>1</sup>

En el campus de la Universidad Tecnológica Nacional Regional Pacheco, ubicado en el Partido de Tigre, Provincia de Buenos Aires, se determinó la capacidad de retención hídrica (en forma indirecta a partir de la medición de agua percolada), ante cada una de las lluvias simuladas en el periodo considerado. El ensayo se llevó a cabo durante un periodo de 8 meses. Se analizaron dos combinaciones de sustratos sometiéndolas a lluvias de diversa intensidad de precipitaciones verificando su comportamiento a través de simuladores de lluvia que permite cuantificar la escorrentía, infiltración y pérdida de suelo generados por una regadera de lluvia ajustable a la intensidad sobre un área de prueba definida.

Para la ponderación de la infiltración se utilizaron lisímetros de 1m<sup>2</sup> que son dispositivos provistos de un sistema que al recibir lluvia natural o de riego miden la percolación cuyas mediciones permiten determinar la capacidad de retención hídrica de la muestra valores que sirvieron como complemento del cálculo teórico de infiltración.

La percolación es considerada una fase importante del ciclo hidrológico que ocurre en la descarga del agua subterránea y en la descarga del agua hacia los cauces naturales.

El ensayo consiste en cubrir el suelo con 25 cm de agua, dejar que el agua se infiltre en el suelo durante 10 minutos, reponer luego el agua y repetir la experiencia hasta un total de tres repeticiones.



*Figura 15: Lisímetros experimental. Estación Hidrológica experimental, Facultad Regional General Pacheco (UTN).*

<sup>1</sup> Catálogo de plantas para techos verdes, Soto y otros, INTA

El sobrepeso que las cubiertas verdes generan en la edificación, tema relevante para su instalación, varía según sean sus características, particularmente cuando consideramos su peso en húmedo (sustrato saturado). Por ejemplo: una cubierta intensiva que pesa 210 kg/m<sup>2</sup> en seco, puede llegar a pesar 325 kg/m<sup>2</sup> en húmedo, y las cubiertas extensivas que son generalmente inaccesibles y pesan de 80 kg/m<sup>2</sup> a 120 kg/m<sup>2</sup> en seco, pasan a 140 kg/m<sup>2</sup> a 220 kg/m<sup>2</sup> en húmedo.

El gobierno de la Ciudad de Buenos Aires recomienda que en un edificio construido de características tradicionales, el peso total de la cubierta a instalar deberá ser igual o menor a 180 kg/m<sup>2</sup> con sustrato húmedo (CABA 2012).

## El Trabajo en Laboratorio

Para nuestro análisis de laboratorio se seleccionó una mezcla de suelos y una cubierta vegetal que, fue sometida a lluvias de diversa intensidad verificando su comportamiento a través del simulador de lluvia.

El simulador de lluvia es un equipo con el que contábamos previamente el cual está compuesto de las siguientes partes.

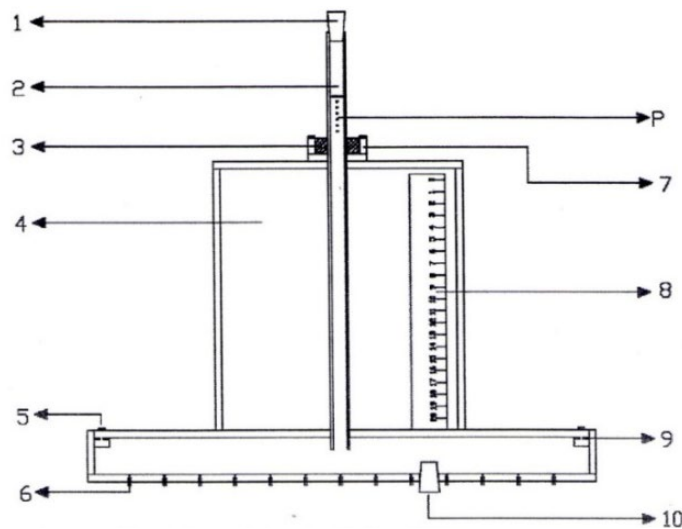


Figura 16: Esquema del simulador de lluvia (Monge, 2007)

<http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/02/00232-folletosimuladordelluvia.pdf>

Una regadera con un regulador de presión interno (Principio de la botella de Mariotte: este principio trabaja usando la gravedad, presión según el nivel de referencia y la presión total en dos puntos diferentes de la botella o reservorio) para generar una lluvia uniforme en tiempo y espacio.

Un soporte ajustable de aluminio para la regadera.

Un armazón de acrílico para el terreno, el cual es puesto sobre el suelo y previene los movimientos laterales del agua que van del área de prueba a los alrededores del suelo.

## Ensayos y especificaciones técnicas

- La regadera consiste en un reservorio cúbico calibrado (4) con una capacidad aproximada de 13 litros, la cual tiene una conexión con la cabecera de la regadera.
- El nivel del agua puede ser leído sobre la regla de lectura en el reservorio cúbico (8). El agua sale por la cabecera de la regadera a través de 169 capilares (6). La columna de presión, la temperatura, el largo y diámetro interno de los capilares determina la intensidad de lluvia. La columna de presión sobre los capilares puede incrementarse o disminuirse por el movimiento hacia arriba o hacia abajo del tubo de aireación (2). La magnitud de esta regulación de la columna de presión es suficiente para corregir la influencia de la viscosidad del agua usada sobre el rango de descarga de los capilares. Esto quiere decir que el control de intensidad es requerido para tener una lluvia uniforme. La parte baja de los capilares son pequeños pedazos de tubo de tygon (6). El diámetro interno y externo de este tubo controla el tamaño y la frecuencia de la gota. La regadera debe ser llenada a través de la abertura de llenado, la cual se cierra por medio de un tapón (10).
- El soporte ajustable (B), figura 2, es utilizado para posicionar el nivel y la altura de la regadera. Dos niveles (14) y cuatro gazas (16) son utilizados para el nivel de soporte sobre el cual la regadera es puesta. Las patas ajustables de aluminio son colocadas sobre el armazón del terreno.
- El armazón del terreno (C) de material acrílico es fijado sobre el suelo enterrándolo unos centímetros. El armazón tiene la intención de prevenir los movimientos laterales del agua, que van del área de prueba a los alrededores del suelo.
- La canaleta (17) es instalada sobre la parte baja de área de prueba para recolectar la escorrentía y sedimentos en la caja de recolección de la muestra (18).
- Tanque de almacenamiento de agua (12) Este tanque tiene un contenido de 19 litros y se utiliza para llenar la regadera.
- La Manguera (13) Esta une el tanque con la regadera para su llenado.
- La Caja de recolección de muestras (18) Materiales de muestra son recolectados en un reservorio de plástico para almacenar y transportar las muestras.

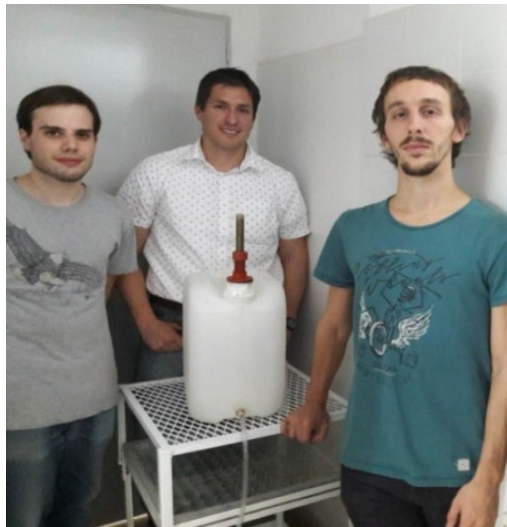


*Figura 17: Instalación del simulador de lluvia en el campo (Monge, 2007)*

<http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/02/00232-folletosimuladordelluvia.pdf>

Las especificaciones del simulador de lluvia están dadas a continuación:

- La regadera es cuadrada y tiene un lado de 432 mm para llegar a tener una superficie de área de prueba de 0,1600 m<sup>2</sup>, además, está formada por dos prismas, uno de 42 cm x 42 cm x 2,5 cm en su parte inferior y el superior de 20 cm x 20 cm x 22 cm con un volumen total de 13,21 litros de agua y un volumen efectivo (agua útil para realizar las simulaciones) de 7,60 litros de agua para la mayor intensidad y de 10,65 litros de agua para la menor intensidad de lluvia simulada.
- Cuenta con un total de 169 capilares, cada uno con un largo de 6 mm aproximadamente, un diámetro interno de 0,8 mm, diámetro externo de 2,4 mm y su material es de tygon. Los capilares producen gotas de 4,4 ml de diámetro con una masa de 0,0446 gramos.
- La magnitud de la lluvia simulada está en función de la intensidad de lluvia que se calibre y la duración de la simulación,
- El armazón del terreno (C) está hecho en material acrílico, permitiendo delimitar el área de superficie para evitar que aguas externas a la simulación entren en el área de estudio o para que el agua de lluvia simulada no salga del área de prueba y así poder contabilizar mejor el agua infiltrada y el agua escurrida.



*Figura 18: Autores del simulador de lluvia. Mari Jaime y Torrano David*

En la figura se observa el simulador ejecutado en el laboratorio de la UTNFRGP y sus autores. Mesa de pruebas utilizada para los ensayos:

Esta mesa fue confeccionada en madera y se tuvo en cuenta las dimensiones del simulador para evitar así los efectos de borde que se puedan ocasionar. En particular se ensayaron varios tipos de suelos hasta llegar al más adecuado para poder ser utilizado en cubiertas existentes o nuevas.



*Figura 19: Operación del simulador: llenado, revisión y puesta en marcha de la simulación (Monge, 2007)*

<http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/02/00232-folletosimuladordelluvia.pdf>

## Las cubiertas naturadas

Se comenzó evaluando distinto tipo de especies vegetales teniendo en cuenta su resistencia al poco mantenimiento que estas van a recibir. También se evaluó que las especies no sean exóticas o de alto costo comercial.

En cuanto a la selección de especies, los resultados revelan que si bien el mejor género apto para estos ecosistemas es el Sedum aunque no es el único.

En viveros de la zona se pudo conseguir tres especies de esta planta el Sedum Mexicanum, Sedum Kamtschaticum y el Sedum Anglicum.

Los primeros ensayos arrojaron algunos resultados importantes que nos permitieron seguir avanzando en el tema.



*Figura 20: Sedum Mexicanum.*

Distribución: Costa Rica, Guatemala, México.

Crecimiento y colonización: baja colonización por medio del crecimiento de la mata. Su crecimiento es rápido con buen comportamiento en condiciones de altas temperaturas. Se presenta como una especie primavera-estival con su tasa de máximo crecimiento durante el



verano. Durante el invierno, en general, mantiene la masa verde y en algunos casos puede verse reducido su tamaño, pero no desaparece.

Comportamiento en comunidad: coloniza espacios sin necesidad de interacción con otras plantas. Sirve de microclimas para otras, permitiendo crear ambientes favorables que mejoran la supervivencia de otras especies. Las flores son amarillas y se elevan por encima de la mata verde. Es muy rustica y no presenta mortandad frecuente. Soporta condiciones extremas de sequía. Ante la falta de nutrientes muestra rápidamente un color amarillamiento en el follaje.



*Figura 21: Sedum Kamtschaticum.*  
Distribución: Montes Urales - Mongolia.

Crecimiento y colonización: no presenta capacidad de colonización. Su crecimiento es lento. Durante el otoño las hojas se tornan rojizas previo a la caída de las mismas hacia el invierno. Esto provoca la reducción de la superficie verde cubierta por esta especie, ya que las plantas se mantienen arrosadas hasta el inicio de primavera cuando rebrotan rápidamente. En comunidad sirve de microclimas para otras plantas. Permite crear ambientes favorables que mejore la supervivencia de otras especies durante el verano. Su floración es en primavera temprana.

Su porte es semi-erecto. La rusticidad es alta ya que no presenta mortandad frecuente. Soporta condiciones extremas de sequía. No presenta cambios fisiológicos ante la falta de nutrientes. Ante condiciones de alta humedad puede ser susceptible a hongos.



*Figura 22: Sedum Anglicum.*

## Sustratos para techos verdes

En los denominados techos verdes se debe utilizar un sustrato que químicamente tenga bajo contenido de sales y un pH levemente ácido, y que físicamente se caracterice por tener buen drenaje, ser liviano y con poca materia orgánica. De ninguna manera se debe utilizar tierra, debido a que ésta presenta propiedades físicas no adecuadas como baja permeabilidad, alta retención de agua, pero con poca disponibilidad para las plantas y un peso elevado. Además, la tierra mediante su lixiviación podría provocar interferencias en los desagües pluviales. Es importante destacar que la utilización de un sustrato con adecuadas propiedades físicas y químicas permitirá manejar mejor las comunidades vegetales mediante el suministro de nutrientes en forma controlada, logrando que sólo se desarrollen especies deseadas. En la composición del sustrato se aconseja la utilización de hasta un 80% de materiales inorgánicos como piedra pómez, vermiculita y perlita, mezclado con un 20% como máximo, de materiales orgánicos como turba o compost. Esto se debe a que un sustrato a base de compuestos inorgánicos permitirá que la profundidad no varíe, el drenaje sea el correcto, se mantenga estable a través de los años y que mediante un manejo nutricional adecuado se logre tener control sobre la comunidad vegetal deseada.



*Figura 24: Simulador de Lluvias*

Para nuestro análisis de laboratorio se seleccionó una mezcla de suelos y una cubierta vegetal en base a la bibliografía, fue sometida a lluvias de diversa intensidad de precipitaciones verificando su comportamiento a través de simuladores de lluvia.

Para realizar el ensayo se procede a: Armar el paquete sobre la mesa de pruebas y prepara la regadera. Durante el ensayo se debe prestar atención al caudal de salida del tanque, tiempo del ensayo, y al retardo hidráulico presentado por el paquete.



*Figura 25: Simulador de Lluvias*

Para generar una lluvia de 50mm/h con las condiciones del simulador se abre la llave de paso en 1/8 de vuelta. La forma más simple de medir el caudal de salida es utilizando un pluviómetro debajo de la regadera. Se cronometra el rezago hidráulico, considerándolo desde el momento en que la primera gota llega al paquete hasta que se observa la primera gota que atraviesa el paquete.

El agua total utilizada en el ensayo se mide directamente desde el tanque de reserva, midiendo la diferencia de nivel en el mismo entre el momento en que es constante la precipitación en el paquete y en el que se hace constante el escurrimiento a través del mismo.

El ensayo tiene un tiempo de duración tal que se asegure caudal de entrada y salida constante del paquete analizado. En esta situación consideramos que el paquete se encuentra saturado por lo que se comporta como no absorbente.

El arrastre de los materiales finos del paquete se mide recolectando los mismos en un recipiente ubicado por debajo de la mesa de pruebas. Los mismos se secan a estufa y se pesan.

Paralelamente se toma registro de la temperatura, la humedad y presión en el día y hora del ensayo.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes luego de adoptar los siguientes paquetes para su estudio:

**El Paquete 1** se compone de:

- Piedra partida (Capa de drenaje 60mm)
- Arena de río (Sustrato 50mm)
- Panes de pasto con suelo arcilloso (40mm)
- Espesor total del paquete 150mm
- Peso saturado 145Kg/m<sup>2</sup>
- Retardo hidráulico 5´
- Volumen de agua absorbido 19,4 l/m<sup>2</sup>
- Pérdida de finos: 50g

Se utilizó piedra partida porque es un material de fácil obtención y tiene buenas características drenantes dada su granulometría.

Para este paquete ensayado se utilizaron panes de pasto cortados directamente sobre el terreno natural en las inmediaciones del laboratorio de hidrología. Los panes de pasto en conjunto con el sustrato utilizado no presentaron un comportamiento satisfactorio marchitándose al cabo de pocas semanas.

Este paquete presenta un retardo hidráulico considerable y buen volumen absorbido, pero con un peso saturado alto que afecta la resistencia de la cubierta.

Boussetot, et al. (3), sostienen que las especies suculentas (crasas), como grupo (entre las que se encuentra el género Sedum), mantienen follaje viable cinco veces más que las especies herbáceas. Por eso, sostienen, no sólo son especies con más probabilidades de supervivencia durante períodos de sequía, sino que estas especies son más propensas a reanudar un crecimiento temprano luego de un período de falta de agua.

Por ello se recurrió en el paquete 2 al uso de Sedum.

**El Paquete 2** se compone de:

- Canto rodado (Capa de drenaje 50mm)
- Arena de río (Sustrato 40mm)
- Panes de pasto con suelo arcilloso (30mm)
- Espesor total del paquete 120mm
- Peso saturado 115Kg/m<sup>2</sup>
- Retardo hidráulico 3,5´
- Volumen de agua absorbido 15 l/m<sup>2</sup>
- Perdida de finos: 45g

Se utilizó canto rodado porque es un material de fácil obtención y tiene buenas características drenantes como la piedra partida, y queríamos compararlos.

Para este paquete ensayado se utilizaron panes de pasto cortados directamente sobre el terreno natural en las inmediaciones del laboratorio de hidrología. Los panes de pasto en conjunto con el sustrato utilizado no presentaron un comportamiento satisfactorio marchitándose al cabo de pocas semanas.

Este paquete presenta un retardo hidráulico considerable menor y escaso volumen absorbido considerando su peso.

**El Paquete 3** se compone de:

Se reensayo el paquete N°2 luego de que se marchito la cubierta vegetal.

- Canto rodado (Capa de drenaje 50mm)
- Arena de río (Sustrato 40mm)
- Panes de pasto secos (25mm)
- Espesor total del paquete 115mm
- Peso saturado 115Kg/m<sup>2</sup>
- Retardo hidráulico 3´
- Volumen de agua absorbido 12 l/m<sup>2</sup>
- Perdida de finos: 10g

Los panes de pasto en conjunto con el sustrato utilizado no presentaron un comportamiento satisfactorio marchitándose al cabo de pocas semanas. Se realizó el ensayo en estas condiciones para determinar si la perdida de vegetación resultaba significativa. En base a los datos mencionados se concluye que la perdida en la cubierta vegetal tiene un impacto importante tanto en el retardo hidráulico como en el volumen de agua absorbido.

**El Paquete 4** se compone de:

- Piedra pómez (Capa de drenaje 60mm)
- Compost orgánico (40mm)
- Plantines de Sedum
- Perdida de finos: No apreciable

El tamaño y la estructura de las plantas influyen en la cantidad de escorrentía y la cobertura es determinante en la reducción del escurrimiento. Se utilizó piedra pómez como capa de drenaje dado que se la presenta como el material óptimo en la bibliografía de “Catalogo de plantas para techos verdes” por su bajo peso y capacidad absorbente.

Se utilizaron diferentes especies de Sedum con el fin de determinar cuál presenta mejor adaptación.

Las especies probadas fueron:

- Espesor total del paquete 100mm
- Peso saturado 60Kg/m<sup>2</sup>
- Retardo hidráulico 2´
- Volumen de agua absorbido 15,6 l/m<sup>2</sup>

Este paquete con un espesor total de 100mm tiene un peso de tan solo 60Kg/m<sup>2</sup> que resulta muy inferior al paquete 1.

Además, presenta un retardo hidráulico de 2 significativamente menor a los 5 del paquete 1.

Pese a esto, el volumen absorbido de agua con respecto a su peso saturado es muy bueno.

**El Paquete 5** se compone de:

(45% área verde)

- Piedra pómez (Capa de drenaje 50mm)
- Compost orgánico (60mm)
- Plantines de Sedum

Se utilizaron diferentes especies de Sedum con el fin de determinar cuál presenta mejor adaptación. Las especies probadas fueron:

- Espesor total del paquete 110mm
- Peso saturado 60Kg/m<sup>2</sup>
- Retardo hidráulico 2´
- Volumen de agua absorbido 19,6 l/m<sup>2</sup>
- Pérdida de finos: No apreciable

Este paquete con un espesor total de 100mm tiene un peso de tan solo 60Kg/m<sup>2</sup> que resulta muy inferior al paquete 1.

Además presenta un retardo hidráulico de 2 significativamente menor a los 5 del paquete 1.

Pese a esto, el volumen absorbido de agua con respecto a su peso saturado es muy bueno.

Para estos sistemas estudiados, el paquete de mejores prestaciones técnicas es el N°5 por que tiene un peso bajo y buena capacidad de retención. La incorporación de Sedum como cubierta vegetal presenta las mejores prestaciones.

En síntesis y en base a la bibliografía estudiada y las pruebas realizadas en el laboratorio señalan que los paquetes confeccionados mayormente por componentes inorgánicos en la capa de drenaje y un sustrato delgado, pero muy rico en nutrientes como el compost, presenta las mejores prestaciones; esta selección, con un muy bajo peso saturado, posee muy buena capacidad de absorción de agua. A esto se suma que manifiesta mejores condiciones de supervivencia para la cubierta vegetal.

**En Síntesis**

La gestión in situ del agua de lluvia, también denominada gestión en origen (en la fuente), permite organizar localmente su desplazamiento en superficie reduciendo los costos de transporte y de evacuación.<sup>2</sup> En la práctica se puede ejecutar en las parcelas por los privados, o en el espacio público por el municipio.

Por su parte los techos verdes de tipo extensivo, sometidos a la precipitación de diseño adoptada, sobre la base de curvas intensidad – duración – recurrencia elaboradas con datos locales, han demostrado ser apropiados para reemplazar la falta de espacios verdes y libres no construidos, necesarios en el amanzanamiento de las ciudades, ya que compensaran, en parte, los efectos adversos de la impermeabilización provocada por la superficie construida.

Esta solución se presenta como muy apropiada para la mitigación de inundaciones urbanas, dado que el agua de los desagües pluviales sería significativamente menor y su ejecución permite involucrar a los diferentes actores en el territorio (inmobiliarias, arquitectos, ingenieros, empresas, particulares).

## Bibliografía

- Barros, V. 2006. "El Cambio climático Global". 2ª edición 2006. Ed, Libros del Zorzal, Buenos Aires.
- Barros, V. 2004. "Tendencias climáticas en la Argentina: precipitación". Proyecto Agenda Ambiental Regional.
- Bronson, R, *investigación de operaciones*, (MC. GRAW HILL, 1996)
- Cedergreenwiley; H, *Seepage, drainage, and flow net* (Ed. INTERSCIENCE, 1988).
- Cedergreenwiley; H, *Seepage, drainage, and flow net* (Ed. INTERSCIENCE, 1988).
- CIRIA C523 (2001) *Sustainable urban drainage systems, best practice manual for England, Scotland, Wales and Northern Ireland*. Construction Industry Research and Information Association. Londres, RU. 131 pp.
- Custodio, E, "*Hidrología subterránea*", (Ed OMEGA, 1983).
- Cubiertas verdes en edificios públicos informe técnico gobierno de la ciudad Agencia de protección ambiental CABA 2012.
- EPA. 1999. "*Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices*". Office of Water, United States Environmental Protection Agency. Washington DC, EEUU. EPA-821-R-99-012. 210 págs.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (2016). *Case study the economics of managing heavy rains and storm water in Copenhagen – The Cloudburst Management Plan*. Disponible en <http://www.Climate.adapt-eea.europa.eu/metadata/case-studies/the-economics-of-managing-heavy-rains-and-stormwater-in-copenhagen-2013-the-cloudbursts-Management-Plan>.
- Gómez M, Sánchez H, Dolz J, López R, Nania L, Cabrera E, Espert V, García-Serra J, Malgrat P, Puertas J (2004) *Curso de Hidrología Urbana*. 5ª ed. Universitat Politècnica de Catalunya, España. 389 pp.
- Haestad Methods Engineering (2002). *Computer Applications in Hydraulic Engineering*. (2ª Ed.). Waterbury: Haestad Press.
- Hough, M. 1998. "*Naturaleza en las ciudades - Barcelona*". Editorial Gustavo Gili. ISBN 84 252 1632 X.
- IBGE (Institut Bruxellois Pour La Gestion De L'Environnement) – Bruxelles Environnement. 2010. "*Gerer les Eaux Pluviales sur la Parcelle*". [http://app.bruxellesenvironnement.be/guide\\_batiment\\_durable/docs/EAU01\\_FR.pdf](http://app.bruxellesenvironnement.be/guide_batiment_durable/docs/EAU01_FR.pdf). 26 Pp.
- Kellagher, r.; Martin, P.; Jefferies, C.; Bray, R. and Shaffer, P.(2007). *The SUDS manual* (Vol. 697). London: 599 Pp.
- Kóvacs, G. (1987), Hydrologic analyses and Forecasts. En Starosolszky, O. (Ed.). *Applied Surface Hydrology* (p. 384 -629). Colorado: Water Resources Publication.
- Lasanta, T., Tomas, J. (2005). *La estación hidrológica experimental. Un soporte didáctico en Educación universitaria en hidrología*. En XX Congreso Nacional del Agua. *Libro de Resúmenes*. Mendoza: CONAGUA 05.
- Lajos, I (1972) "*Hydraulics models*" VITUKI.
- Lasanta, Tito; Vitale, Blanca; Benegas, Miguel; Gotelli, Juan; Vergara Medina, Victoria; Bisagno, Leire; Sasso, Sebastián. (2007). Influencia del árbol araucaria angustifolia en la retención superficial. V Congreso Argentino De Hidrogeología. III Seminario Hispano-Latinoamericano de temas Actuales de la Hidrología 16 al 19 de octubre de 2007. ISBN: 978-987-23936-3-2

- Lasanta Tito (2007). "acciones de vinculación y transferencia del proyecto i+d, con énfasis en el programa de registro de variables hidrológicas en la cuenca del río reconquista, con participación de una red de actores sociales". Jornadas 2007 de Ciencia y Tecnología. Facultad Regional General Pacheco, UTN
- Meyer, Maia; Perahia, Raquel; Rosatto, Héctor; Moyano, Gabriela; Gamboa, Paula; Laureda, Daniel; Waslavsky, Agustina y Alan Groisman. (2017). "*Cubiertas Vegetadas: Captación y Retención de Precipitaciones en CABA*". Congreso Aguas, Ambiente y Energías (2017), Mendoza - Argentina.
- Momparler, S. P., & Andrés-Doménech, I. 2008. *Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia*". Revista Técnica de Medio Ambiente. C&M Publicaciones, 124, 92-104.
- Perahia,R; Héctor Rosatto; Maia Meyer; Agustina Waslavsky; Alan Groisman; Gabriela Moyano y HernanBeé. (2017). "*El Manejo del agua de lluvia a nivel de Parcela. Compartiendo experiencias en Ciudades Europeas*". Congreso Aguas, Ambiente y Energías 2017, Mendoza – Argentina.
- Perahia, R; Lasanta, T. (2007). la vulnerabilidad ambiental en el área metropolitana de Buenos Aires. consecuencias en la dinámica hídrica por alteración antrópica. Publicación FRGP – UNGS
- Perahia,R. Capítulo de Libro: Costas y Cuencas de la Region Metropolitana. Observatorio Metropolitano CPAU CABA. *Paisajes hídricos*. ISBN 978-987-9210-34-5 octubre 2017. Perahia,R;Rosatto,H;Meyer,M; Waslavsky,A;Viceconte,F;Laureda,D;Gamboa,P; Moyano,G.. (2016). *Drenajes urbanos, propuestas locales sustentables*. Publicado en el Libro Electrónico en CD-Rom, de Compilación Científica: "Planificación Territorial, Desarrollo Sustentable y Geodiversidad. (p1264-1274). Editores: 525 Aniversario del Encuentro entre Dos Mundos Huelva-América - Servicio de Publicaciones de la Exma. Diputación de Huelva, © Juan Antonio Márquez Domínguez, Perú. ISBN: 978-84-8163-557-7.
- Perales Momparler, S., Doménech A. &Fernández Escalante I., 2008. *Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en la hidrogeología urbana*. I+D+i del Grupo TRAGSA Madrid. IX Simposio de Hidrogeología. AIH. Elche, Valencia, España.12 Pp. Disponible en: <http://www.dina-mar.es/pdf/6-if-suds-2.pdf>.
- Rosatto, Héctor; Meyer, Maia; Laureda, Daniel; Cazorla, Laura; Barrera, Daniel; Gamboa, Paula, Villalba, Gustavo; Bargiela, Martha; Pruzzo, Laura; Rodríguez Plaza, Luis; Mazzeo, Nadia; Caso, Cesar; Rocca, Carlos; Hashimoto Patricia; Kohan, Diana y Quaintenne, Elina. (2013). "*Eficiencia en la retención del agua de lluvia de Cubiertas Vegetadas de tipo "Extensivo" e "Intensivo"*". Revista FCA UNCuyo (ISI INDEX). ISSN: 0370 - 4661. Tomo XLV. Issue 1, Editorial: Centro de Ediciones Académicas, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Pag. 169 – 183.
- Rueda Salvador Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. Director Salvador Rueda. *Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla* Febrero 2008.
- TRAPOTE JAUME, A .(2016) *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Implicaciones Hidrológico-Hidráulicas y Ambientales*. En Governança Transnacional e Sustentabilidade en, Vol. 2.: Estudios aplicados a los Objetivos do Desenvolvimento Sustentable. Pp. 139-160. Coordinador Real Ferrer G. 588 Pag. Tot. ISBN: 978-85-8498-144-1.



- Uhl M., L. Schiedt, G. Mann, M. Henneberg. (2003). "Long-term study of rainfall runoff from green roofs" [Langzeitstudie zum Abflussverhalten begrünter Dächer]. *Wasser und Boden*, 55 3: 28-36.
- Vitale, Blanca R.; Lasanta, Tito I. (2007). Modelado bayesiano de procesos estocásticos de eventos climáticos puntuales mediante aproximaciones estadísticas. Validación en el área metropolitana de Buenos Aires. XXII Jornadas Nacionales de Docentes de Matemática de Facultades de Ciencias Económicas y Afines. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Septiembre de 2007- ISBN 978-987-675-059-3
- Vitale, Blanca R.; Lasanta, Tito I. (2007). Modelado bayesiano de procesos estocásticos de eventos climáticos puntuales mediante aproximaciones estadísticas. 8° Jornadas actuariales. FCE-UBA
- ZAVOIANU, I., *Morphometry of drainage basins*,. (Ed. ELSEVIER, 1985).
- Construcción sustentable. Del gris al verde .Promoción de cubiertas verdes en CABA [https://www.estatico.buenosaires.gov.ar/areas/med.../apra/.../cubiertas\\_verdes.pdf](https://www.estatico.buenosaires.gov.ar/areas/med.../apra/.../cubiertas_verdes.pdf) **[PDF]Cubiertas verdes en la ciudad de Buenos Aires** [https://www.inti.gob.ar/renova/erUP/.../INF\\_CUBIERTAS\\_VERDES.p...](https://www.inti.gob.ar/renova/erUP/.../INF_CUBIERTAS_VERDES.p...)

En 2003, la Facultad Regional General Pacheco (UTN), instaló la Estación Hidrológica Experimental del Departamento de Ingeniería Civil, que dirige el Ing. Lasanta, con el fin de aportar registros sistemáticos confiables, de todas las variables hidrológicas involucradas en proyectos hidráulicos, para el manejo de los excedentes hídricos.



*Figura1: Facultad Regional General Pacheco (UTN)*

La instalación de la estación cumple con el grado de desarrollo y utilización pautado con la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU). En la figura 9 se puede observar la Facultad Regional General Pacheco (UTN).

Los trabajos vinculados con la obtención de datos comenzaron en el mes de diciembre de 2003 y las tareas se desarrollan ininterrumpidamente desde octubre de 2004 hasta la fecha, con las limitaciones propias del entorno de trabajo que desde el inicio, tiene recursos limitados.

En esos años se desarrolló un CONVENIO de intercambio académico y asistencia tecnológica y científica en el área de Hidrología, con el INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA que contribuye al avance del conocimiento del balance hídrico local y que permitió la adquisición de instrumental de medición, a utilizar para encarar la problemática que se propone abordar en la presente investigación.

También se encuentra VIGENTE el convenio con el Servicio Meteorológico Nacional, para el intercambio de datos y para la asistencia tecnológica y científica.

En relación con el equipamiento en 2008 se solicitó y obtuvo, por antecedentes y en quinto lugar por orden de mérito, fondos del Concurso de Equipamiento 2007 de la Secretaría de Ciencia y Tecnología del Rectorado de la UTN que permitieron mejorar el equipamiento de la Estación Hidrológica Experimental.

En la TABLA 1 se brinda información sobre el equipamiento ya instalado, obtenido con el aporte de fondos propios, del Prometí, y del INA que servirán para obtener los parámetros hídricos a desarrollar en el PID propuesto.



Figura 2: Laboratorio de Hidrología, Facultad Regional General Pacheco (UTN)

EQUIPAMIENTO EXISTENTE EN EL LABORATORIO
2 PLUVIÓMETROS TIPO S.I.A.P
TANQUE EVAPORÍMETRO TIPO A
4 LISÍMETROS A DIFERENTES PROFUNDIDADES
ABRIGO METEOROLÓGICO DE STEVENSON
TERMÓGRAFO BIMETÁLICO
LIMNÍGRAFO PARA EL REGISTRO MECÁNICO CONTÍNUO DE NIVELES FREATIMÉTRICOS
PLUVIÓGRAFO DEL TIPO DE FLOTADOR, S.I.A.P.
LIMNIGRAFO PARA REGISTRO DE INPUT
LIMNIGRAFO PARA REGISTRO DE OUTPUT
EQUIPO HEATHKIT-DIGITAL WEATHER COMPUTER
DOS SENSORES DE TEMPERATURA
MEDIDOR DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO
SENSOR PARA REGISTRO DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA
SENSOR PARA REGISTRO DE SENSACIÓN TÉRMICA
ESTACION METEOROLOGICA TFA MATRIX DIGITAL
PLUVIOGRAFO DE CANGILON
SENSOR PARA REGISTRO DE HUMEDAD
SENSOR PARA REGISTRO DE TEMPERATURA EXTERNA
SENSOR PARA REGISTRO DE TEMPERATURA INTERNA
SENSOR PARA REGISTRO DE PRESION
SENSOR PARA REGISTRO DE SENSACION TERMICA
SENSOR PARA REGISTRO DE DIRECCION Y VELOCIDAD DEL VIENTO
BAROMETRO
PERFORACION PROSPECCION ACUIFERO PAMPEANO
PERFORACION PROSPECCION ACUIFERO PUELCHES

Tabla 1: Equipamiento instalado

### Antecedentes académicos en el tema

El grupo de trabajo presenta antecedentes en estudios de los ítems 2.1 (régimen de lluvias) al analizar el escurrimiento superficial e infiltración, tanto en la determinación de parámetros como en el análisis comparativo de fórmulas de uso habitual en su determinación así como en el ítem 2.1 (el territorio y los riesgos de las inundaciones). Se hace una breve reseña de los antecedentes académicos cuyos resultados y publicaciones se sintetizan en los curriculum adjuntos.



*Figura 3: Pluviografo. Estación Hidrológica Experimental, Facultad Regional General Pacheco (UTN).*

### Proyectos de investigación concluidos.

- Proyecto Ubacyt 20020130100752BA: Perahia, Codirectora Cubiertas naturadas: un aporte al estudio de sustratos, vegetación, disminución del escurrimiento, calidad del agua drenada y el desarrollo de un indicador de sustentabilidad urbana. AGR/UBA 2014/2017
- Proyecto Internacional (Convenio Prosul – Edital N° 011) Perahia Investigador Principal Proyecto “Transformaciones socio-territoriales de las grandes áreas metropolitanas de América Latina. Una visión comparada de Buenos Aires, Santiago de Chile y Sao Paulo. Fases I y II. Aprobado y financiado por el CNPq (Brasil).financiada con fondos del CNPQ (equivalente al Conicet de Brasil). Duración: 2007/2008 y 2009-2011. Con financiación internacional. El Ing. Lasanta fue invitado a participar de la publicación final del libro que resume este proyecto concluido en octubre 2008.



*Figura4: Estación Automática. Laboratorio de Hidrología, Facultad Regional General Pacheco (UTN)*

- Proyecto “Investigación de subcuencas del Río Reconquista, para la determinación de variables hidrológicas y morfológicas para el control de escurrimientos hídricos”. PID EAPRGP345T. (UTNFRGP) acreditado por el CS de la UTN. Director: Tito Lasanta, Asesora: Raquel Perahia. Periodo: 2007-2009. Disposición SCYT nº 123/07. Con Becarios de Investigación para este proyecto.
- Producción de 18 boletines de investigación realizados por Lasanta T con carácter de avances de la investigación, años 2007, 2008 y 2009
- Informe presentación en Simposio realizado en **Paysandú**: Durante los días 5, 6 y 7 de junio de 2019 hemos participado del VI Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica. El mismo fue realizado en la cabecera del Puente Internacional General Artigas, Paysandú, República Oriental del Uruguay.
- Los integrantes del grupo de trabajo realizaron la exposición del proyecto de investigación: “DISPOSITIVOS DE ATENUACION TEMPRANA EN LOS PROCESOS DE TRANSFORMACION LLUVIA - CAUDAL EN EL TERRITORIO DE LA RMBA”, perteneciente a las carreras de Ingeniería Mecánica y Civil. Siendo Director del Proyecto el Ing. Tito Ignacio Lasanta y Co-Directora la Arq. Raquel Perahia.
- Se cumplieron con los requerimientos solicitados por el comité organizador del Simposio en cuanto a la presentación. Por lo que agradecieron tanto el tiempo de exposición como el tiempo dedicado a la responder consultas.
- Podemos concluir que ha sido una muy buena experiencia para los integrantes del proyecto, ya que se ha trabajado durante un año para poder llevar a cabo la exposición en el Simposio de forma satisfactoria. Incentivando el trabajo en grupo, vinculando dos departamentos de la casa de estudio.
- Es importante agradecer la buena predisposición por parte de los departamentos para poder llevar a cabo la publicación y exposición en el Simposio.



*Figura 5: Comisión Administradora del Río Uruguay, Paysandú. Fuente elaboración propia*

# Manejo Sustentable del Agua de Lluvia

La problemática de las inundaciones es de total vigencia en la sociedad actual dadas las dificultades en el territorio que genera, no solo durante la precipitación, sino a posteriori, incrementando el riesgo y la vulnerabilidad de la población.

En el Área Metropolitana de Buenos Aires, la desmedida expansión urbana incrementó las superficies impermeables, modificó el sistema natural y los escurrimientos hídricos, aumentando los problemas de anegamiento.

Ante las lluvias torrenciales, los sistemas de desagüe pluvial colapsan dada la gran cantidad de agua que reciben en un tiempo muy corto. No pueden absorber ese caudal de agua y si hubiera que dimensiona ese sistema para evacuar los caudales previsibles, sería con un costo excesivo de infraestructura urbana. Por ello se avanza en la gestión del agua de lluvia, sin caños, factible de ejecutar en forma individual.

A fin de compartir los resultados del proyecto (PID) para maximizar la retención del agua de lluvia y con ello reducir situaciones no deseadas de anegamiento, se describen algunas soluciones sustentables para la atenuación temprana de los excesos hídricos, como el de las cubiertas naturadas o techos verdes, solución adoptada por diversas ciudades.