

EL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES EN MEDIOS URBANOS: EL CASO DE SANT CUGAT DEL VALLÈS (BARCELONA)

Laia DOMÈNECH PRETUS*, David SAURÍ PUJOL** y Bibiana CATALÁN BIEL**

* Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals – Universidad Autónoma de Barcelona

** Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Barcelona

RESUMEN

En un contexto de escasez hídrica como la que afecta a buena parte del estado español, la búsqueda de alternativas para cubrir la demanda creciente de agua es una tarea compleja pero urgente. Una de las alternativas que, poco a poco, está ganando importancia a nivel local es el aprovechamiento o recuperación del agua que precipita sobre las cubiertas de los edificios. Estas aguas pluviales pueden utilizarse para aquellos usos domésticos que no requieren de la calidad del agua potable (riego del jardín, descarga del inodoro, etc). En este trabajo se evalúa la cantidad de agua recuperable en una ciudad residencial como Sant Cugat del Vallès a partir del estudio de las precipitaciones y de las variables que determinan la generación de escorrentía superficial. El agua de lluvia que precipita sobre los espacios edificados del municipio y que podría ser directamente recuperada y utilizada asciende a 1 hm³/año aproximadamente, un 20% del total de agua consumida por el sector doméstico en esta ciudad.

Palabras clave: aguas pluviales, consumo de agua, urbanización, Sant Cugat del Vallès (Barcelona)

ABSTRACT

In a water scarcity context, research to find sustainable ways of covering increasing water demand is gaining momentum in Spain. One of the alternatives gradually acknowledged as significant is rainwater harvesting, i.e. the collection of roof runoff from dwellings to be used in households for functions that do not require drinking water quality (garden irrigation, toilet flushing, etc.).

The precipitation regime and other variables determining runoff generation are analyzed to estimate the volume of water that can be collected in a residential town such as Sant Cugat del Vallès, near Barcelona. The amount of rainwater that can be recovered and reused from roofs is estimated in about 1 hm³/year or 20 percent of total annual residential water consumption in this city.

Key words: rainwater harvesting, water consumption, urbanization, Sant Cugat del Vallès (Barcelona)

1. INTRODUCCIÓN

En un territorio con aglomeraciones urbanas muy destacables, como es el caso de la Región Metropolitana de Barcelona (RMB), dos factores determinan en gran medida la disponibilidad local de agua: las precipitaciones y la gestión de las fuentes de agua disponibles.

El régimen de precipitaciones del contexto mediterráneo no garantiza la entrada de suficiente agua al sistema como para poder cubrir las necesidades crecientes de su población sin una planificación adecuada de estos recursos (WAINWRIGHT y THORNES, 2004). En España, las precipitaciones presentan una elevada variabilidad tanto interanual como intranual, con volúmenes anuales promedio bastante modestos. Así, tres cuartas partes de la superficie del estado no supera los 700mm de precipitación media anual (MARTÍN VIDE, 1994). Asimismo, la gestión del agua en la región se encuentra mediatizada por la irregular distribución estacional de la precipitación, caracterizada por la ocurrencia ocasional de episodios torrenciales y marcados períodos de sequía.

La estrategia desarrollada para garantizar el suministro de agua en España ha consistido tradicionalmente en implantar el denominado “paradigma hidráulico” bajo el que embalses y trasvases han sido considerados como elementos esenciales para superar la escasez del agua y garantizar el desarrollo económico (SAURÍ y DEL MORAL, 2000). Sin embargo, a partir de la derogación del trasvase del Ebro previsto en el Plan Hidrológico Nacional del 2001, el uso de recursos alternativos y la denominada gestión de la demanda ha empezado a cobrar fuerza con una apuesta por la conservación y un uso más eficiente de las fuentes de agua disponibles, hecho al que no es ajena la Directiva Marco del Agua aprobada por la Unión Europea el año 2000. En este nuevo contexto, fuentes alternativas como la recuperación del agua de la lluvia y la reutilización de las aguas grises o las aguas regeneradas adquieren un mayor protagonismo, permitiendo, en principio, avanzar hacia una gestión más sostenible de nuestros recursos hídricos.

En esta comunicación, nos ocupamos del caso específico del aprovechamiento del agua de lluvia en la Región Metropolitana de Barcelona (RMB). Por este aprovechamiento se entiende la captación en depósitos y posterior empleo en usos no potables de aquella fracción de la precipitación que, al entrar en contacto con superficies impermeabilizadas se convierte en escorrentía superficial. Recuperar el agua de la lluvia significa aprovechar el agua que precipita en el mismo lugar donde se genera. Ello puede derivar en beneficios ambientales, sociales y económicos como se detallará más adelante. El presente trabajo determina el volumen de agua pluvial recuperable en Sant Cugat del Vallès, uno de los municipios de mayor crecimiento demográfico y urbanístico de la RMB y evalúa el potencial de este recurso para el citado municipio que, por otra parte, ha sido uno de los primeros de España en aprobar una ordenanza municipal sobre ahorro de agua que, entre otras acciones, promueve el aprovechamiento de aguas pluviales.

1.2. Nuevos modelos de urbanización y consumo de agua: Sant Cugat del Vallès

Desde principios de la década de 1980 aproximadamente, Barcelona y su denso entorno más inmediato, vienen conociendo un cierto declive demográfico, mientras que la población de los núcleos más periféricos de la región urbana tiende a aumentar, normalmente bajo un tipo de urbanismo basado en la dispersión y no en la compacidad

(SAURÍ, 2003). Sant Cugat del Vallès, por ejemplo, ha pasado de contar con unos 30.000 habitantes a principios de la década de 1980 a más de 70.000 habitantes en el año 2005 (IDESCAT, 2006).

Debido a la proliferación del urbanismo disperso, con numerosos jardines y piscinas privadas, Sant Cugat del Vallès se ha convertido en uno de los mayores consumidores de agua por habitante de la RMB. Entre 1993 y 2000, el municipio ocupó el segundo lugar de la RMB en términos de nuevas hectáreas urbanizadas. No obstante, en los últimos años se ha controlado el crecimiento de las urbanizaciones menos densas y se ha promovido la construcción de complejos plurifamiliares con jardín y piscina comunitarios (CATALÁN, 2005).

En el año 2001 la diagnosis ambiental llevada a cabo dentro del proceso de Agenda 21 del municipio detectó que Sant Cugat del Vallès consumía unos 271 l.p.d. (litros/persona/día) de agua; esto es, aproximadamente el doble que la ciudad de Barcelona. El Plan de Acción de la Agenda 21 municipal proponía la redacción de una ordenanza para el ahorro de agua, de manera que en el 2002 Sant Cugat del Vallès se convirtió en el primer municipio catalán en fomentar el uso sostenible de agua mediante una regulación específica. Una de las medidas previstas en la ordenanza es el aprovechamiento del agua de la lluvia para aquellos edificios con espacios de más de 1000 m² no pavimentados susceptibles de ser regados

2. MÉTODOS Y RESULTADOS

2.1. La producción de escorrentía superficial: contrastes

El agua de la lluvia sigue diferentes caminos en entrar en contacto con la superficie terrestre: puede infiltrarse en el subsuelo, evaporarse, quedar retenida por la vegetación y evapotranspirarse o convertirse en escorrentía superficial. Nuestro trabajo se centra en la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía superficial. Esta fracción es especialmente destacable en medio urbano donde la impermeabilización del suelo provoca el aumento de volumen de los picos de descarga (BURNS *et al*, 2005) y a menudo deriva en problemas de inundaciones y contaminación (MENTENS *et al*, 2005).

Los datos de precipitaciones para Sant Cugat del Vallès se han obtenido del Atlas Climático Digital de Cataluña (ACDC). Los valores medios de precipitación anual y mensual han sido interpolados con un modelo que combina la regresión múltiple y el uso de Sistemas de Información Geográfica, obteniendo valores de precipitación con una resolución espacial de 180 metros. Las variables utilizadas en la regresión múltiple para la precipitación han sido la altitud, la latitud, la continentalidad y la nubosidad, con correlaciones de entre 0.60 y 0.91 (NINYEROLA *et al*, 2000). La figura 1 muestra la distribución de la precipitación en Sant Cugat del Vallès según el ACDC. Puede observarse como la mayor parte del municipio registra valores entre los 600-700 mm de precipitación anual y como los mayores valores de precipitación se registran en el sector sur del municipio donde se encuentra la Sierra de Collserola, con un ambiente más húmedo y fresco.

Los datos de precipitación se han combinado con el Mapa de Cubiertas del Suelo de Cataluña (MCSC) utilizando el software Miramón. Se han analizado únicamente aquellas categorías que afectan en mayor grado la producción de escorrentía superficial,

es decir, aquellas asociadas al fenómeno de la urbanización (Tabla 1). Como es sabido, la pérdida de cubierta vegetal y la sustitución de superficies permeables por superficies impermeables aumentan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía superficial. La relación existente entre el volumen de agua que precipita y el volumen de escorrentía superficial producido se puede expresar mediante un coeficiente de escorrentía, con un valor que dependerá del tipo de cubierta que presente el suelo.

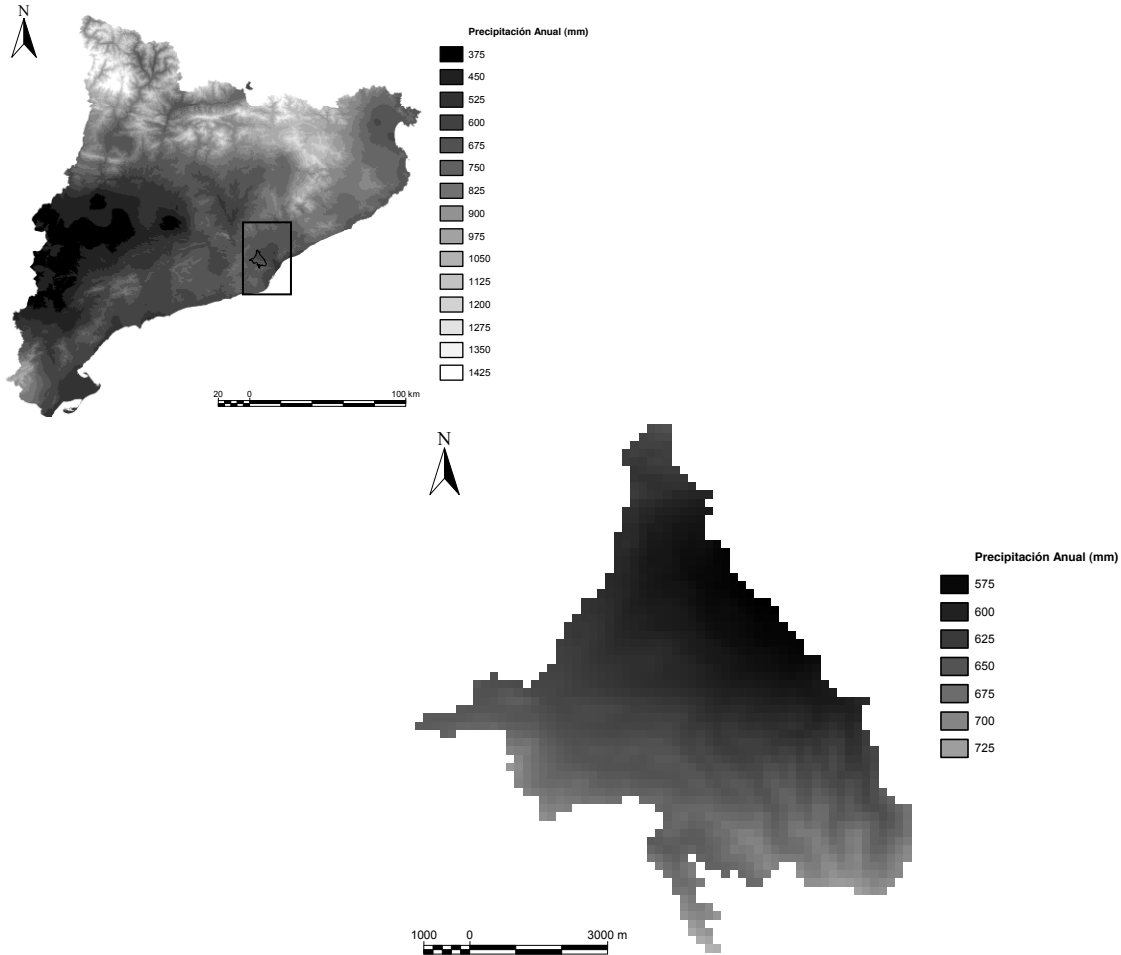


Fig. 1: Distribución de la precipitación anual según el ACDC en Cataluña (izquierda) y en Sant Cugat del Vallès (derecha). Fuente: ACDC.

Una vez combinados los datos de precipitación y los de cubiertas del suelo, se ha obtenido el volumen de escorrentía superficial (V_{es}). Este es el producto de la precipitación media anual (P_m) por el área de cada categoría (A_i) y el coeficiente de escorrentía (ψ_i) calculado por la American Society of Civil Engineers (ASCE), (1).

$$V_{es} = P_m \cdot A_i \cdot \psi_i \quad (1)$$

Así y según los datos anteriores, el volumen de agua convertida anualmente en escorrentía superficial en Sant Cugat del Vallès puede estimarse entre los 3,67 y los 5,57 hm³. Esta agua se deriva hacia el sistema de alcantarillado de la ciudad donde se mezcla con las aguas residuales para dirigirse posteriormente hacia la depuración. De

esta forma por la ciudad circula una cantidad nada despreciable de agua que no llega a cumplir ninguna función dentro del ciclo hidrológico urbano al contrario, puede generar impactos ambientales y socioeconómicos negativos como inundaciones en puntos localizados.

Categoría del MCSC (2000)	Coefficiente escorrentía ASCE (1970)	Escorrentía superficial (m ³)
Autopistas y autovías	0,7-0,95	311,34 - 422,53
Carreteras	0,7-0,95	205,37 - 278,71
Cementerios	0,1-0,25	1,66 - 4,16
Granjas	0,25-0,4	0,77 - 1,23
Suelo improductivo	0,6-0,75	39,83 - 119,49
Urbanizado residencial compacto	0,3-0,5	1161,64 - 1452,05
Urbanizado residencial difuso	0,2-0,35	1367,07 - 2278,46
Vías de ferrocarril	0,2-0,35	29,45 - 51,54
Zonas deportivas y de ocio	0,2-0,35	44,95 - 78,66
Zonas industriales y comerciales	0,5-0,8	393,82 - 630,11
Zonas verdes urbanas	0,1-0,25	65,48 - 163,70
Zonas verdes viarias	0,2-0,35	52,43 - 91,75
TOTAL		3673,80 - 5572,38

Tabla 1: VOLÚMENES DE AGUA ANUALES TRANSFORMADOS EN ESCORRENTÍA SUPERFICIAL. SANT CUGAT DEL VALLÈS.

Fuente: Elaboración propia

2.2. Precipitación sobre edificaciones: agua accesible

Parte de la escorrentía generada, especialmente aquella que precipita sobre tejados y terrazas, podría ser aprovechada con relativa facilidad. Este volumen de agua (V_{ed}) se ha estimado a través de la combinación del mapa de precipitaciones del ACDC y de la capa de edificación de la base topográfica 1:5000 del Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC). Se ha asumido que la delimitación de la superficie edificada (A_{ed}) llevada a cabo a partir de la interpretación de fotografías aéreas sirve como buena aproximación para establecer la superficie de cubiertas del municipio. En el caso de Sant Cugat, esta superficie se ha estimado en 222,35 ha (un 4,6% de la superficie del municipio).

Sin embargo, no toda esta superficie puede contribuir eficientemente a la recogida de escorrentía superficial. Variables como los materiales y el diseño de la superficie de captación o la tasa de evaporación modificarán esta cantidad. Así, para determinar el área efectiva (A_{ef}) se ha utilizado un coeficiente de escorrentía medio (ψ_m) de 0.75 (MIKKELSEN *et al*, 1999).

Por tanto, el volumen recuperable de agua de lluvia de las cubiertas se obtendría a partir de la siguiente ecuación (2):

$$V_{ed} = P_m \cdot \psi_m \cdot A_{ed} = P_m \cdot A_{ef} \quad (2)$$

Hasta 1 hm³/año de agua es potencialmente recuperable especialmente para aquellos usos que no requieren de la calidad de agua potable (tabla 2). Un estudio llevado a cabo en la RMB estima que en edificaciones unifamiliares, un 57% del agua consumida se

destina al regadío del jardín, la descarga del inodoro y la lavadora (DOMENE y SAURÍ, 2006). En el caso de los edificios plurifamiliares este valor es menor ya que se destina una menor cantidad de agua al riego del jardín.

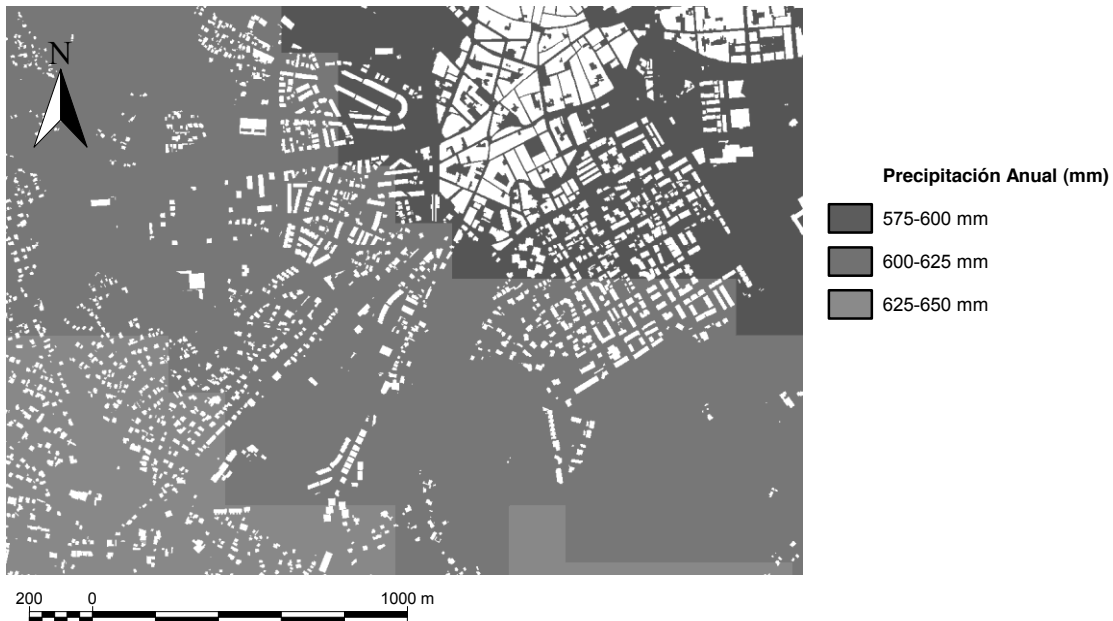


Fig. 2: Detalle de la combinación analítica de la precipitación media anual del ACDC y de la capa de edificación de la base topográfica 1:5000 del ICC en Sant Cugat del Vallès.

Fuente: Elaboración propia

Categoría	Superficie de cubierta (ha)	Consumo doméstico (2004) $\text{hm}^3/\text{año}$	$P_m \cdot A_e$ $\text{hm}^3/\text{año}$	$P_m \cdot A_e \cdot \psi_m$ $\text{hm}^3/\text{año}$	Porcentaje sustitución (%)
Edificado	222.35	5,02	1,33	1,00	19,89

Tabla 2. VOLUMEN DE AGUA POTENCIAL RECUPERABLE SEGÚN SUPERFICIE DE CUBIERTAS Y COMPARACIÓN CON EL CONSUMO DOMÉSTICO DE SANT CUGAT DEL VALLÈS. Fuente: Ayuntamiento de Sant Cugat del Vallès y elaboración propia

Si se relaciona mensualmente el volumen de agua que precipita sobre la superficie edificada con el agua consumida en Sant Cugat del Vallès durante el año 2004, se observa que la recogida del agua de la lluvia podría llegar a cubrir al menos durante la mitad del año el 20% de la demanda de agua del sector doméstico (figura 3). Teniendo en cuenta que Sant Cugat del Vallès consume agua muy por encima de la media de la RMB este valor no es nada despreciable. Por tanto, no resultaría extraño que en otras poblaciones de la RMB se pudiera llegar a cubrir el 40% de la demanda doméstica con el aprovechamiento del agua de la lluvia.

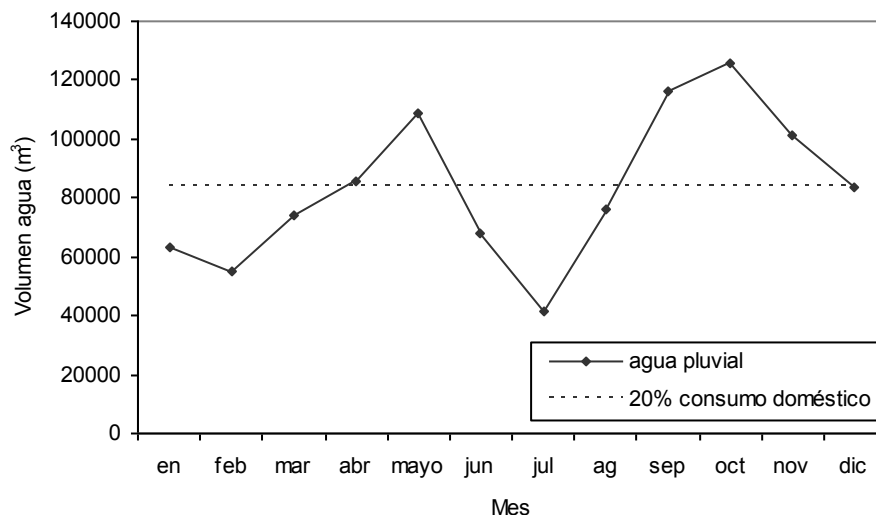


Fig. 3: Estimación del volumen mensual de agua que es potencialmente recuperable en relación al 20 % del consumo doméstico de Sant Cugat del Vallès. Fuente: Ayuntamiento de Sant Cugat del Vallès y elaboración propia

2.3. Variables que determinan la eficiencia del sistema: precipitación y consumo

El régimen de precipitaciones y las características del consumo en cantidad y calidad determinan de forma directa el agua disponible en el sistema de recuperación de aguas pluviales. La distribución irregular de las precipitaciones en el clima mediterráneo añade ciertas limitaciones al sistema. En las estaciones más lluviosas, otoño y primavera, las garantías de disponer de agua en el depósito son elevadas; en cambio en invierno y especialmente en verano, las entradas al sistema son escasas y por tanto aumenta la dependencia de la capacidad de almacenamiento del depósito o de la red de suministro de agua convencional.

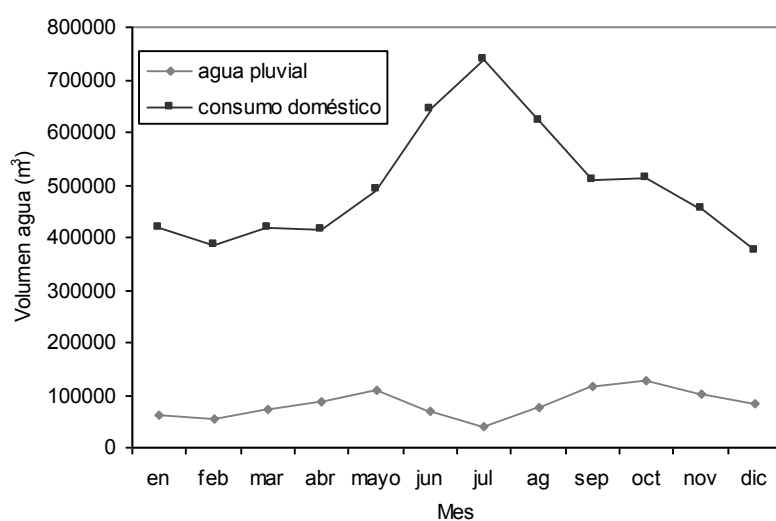


Fig. 4: Distribución mensual del potencial de recogida de aguas pluviales y del consumo doméstico en Sant Cugat del Vallès. Fuente: Ayuntamiento de Sant Cugat del Vallès y elaboración propia

Por otro lado, durante las lluvias torrenciales propias del clima mediterráneo o simplemente en aquellos períodos más lluviosos del año puede producirse otro fenómeno que resta efectividad al sistema, como es la rápida saturación del depósito, obligando a redireccionar parte del agua que precipita. Así, el nivel de consumo es una variable que también afecta la cantidad de agua recuperable ya que determina la existencia de espacio libre en el depósito. Es importante señalar que durante los meses del período estival se produce una mayor demanda de agua, especialmente por lo que se refiere al riego del jardín y uso de piscinas, y precisamente estos meses corresponden al período con menores entradas al sistema (fig. 4).

3. DISCUSIÓN

El crecimiento de las ciudades europeas se acompañó durante el siglo XIX por el desarrollo de sistemas de alcantarillado que permitían drenar y evacuar conjuntamente el agua de la lluvia y las aguas residuales. Estos sistemas fueron desarrollados principalmente en ciudades con climas húmedos. Más tarde, muchas ciudades de países con climas más áridos cometieron el error de copiar este tipo de tecnología (NIEMEZYNOWIEZ, 1999). Efectivamente, en aglomeraciones urbanas como la RMB donde el agua se presenta como un recurso escaso, no se ha previsto históricamente el aprovechamiento del agua de la lluvia y se ha optado por deshacerse de este recurso lo más rápidamente posible a través de alcantarillas y colectores. Sin embargo, durante los últimos años, esta situación empieza a cambiar y así la propia ciudad de Barcelona ha construido un número significativo de depósitos subterráneos para almacenar las aguas pluviales. Con ello se pretende evitar la inundabilidad de ciertas áreas urbanas y mejorar la calidad del agua en las playas.

Para el caso de Sant Cugat del Vallès, hemos estimado que anualmente se generan entre 3,67 y 5,57 hm³ de escorrentía superficial en el ámbito urbano. Esta escorrentía necesita ser gestionada correctamente si se quiere avanzar hacia un desarrollo urbano sostenible. En este sentido, en los últimos años se han desarrollado, especialmente en países anglosajones, las denominadas *Mejores Prácticas de Gestión* que incluyen, entre otros, depósitos de retención, pozos de infiltración, pavimentos permeables, tejados verdes y ciertamente la recuperación del agua de la lluvia para usos no potables. En Sant Cugat del Vallès, la recuperación de 1 hm³ de agua permitiría reducir la presión ejercida sobre las fuentes externas de agua que abastecen el municipio al reducirse en la misma proporción la demanda de la red convencional. Por otro lado y en relación al riesgo de inundaciones, una aplicación extensiva de sistemas de reutilización de aguas pluviales puede amortiguar los picos de descarga en episodios de precipitación intensos y traducirse en una menor sobrecarga de la red de alcantarillado (VAES y BERLAMONT, 1999; HERMAN y SCHMIDA, 1999). Esta disminución del caudal también se puede traducir en una reducción de los costes de operación en las estaciones depuradoras receptoras del agua pluvial.

El agua potencialmente recuperable puede llegar a cubrir prácticamente el 20% del consumo doméstico del municipio. La instalación de este tipo de sistemas se presenta especialmente interesante para aquellos usuarios que disponen de jardín ya que puede suponer un ahorro económico notable, especialmente para aquellos usuarios penalizados por consumir elevados volúmenes de agua. Cualquier sistema de abastecimiento de una ciudad depende del régimen de precipitaciones pero en el caso del aprovechamiento de

las aguas pluviales la dependencia es más clara y directa. Un episodio de precipitación se traduce en un cambio en el volumen almacenado. Análogamente el consumo de agua del depósito también se hace más evidente. Este tipo de sistemas también puede favorecer un consumo de agua más racional ya que el usuario es más consciente de la cantidad de agua que gasta.

4. CONCLUSIONES

El agua de la lluvia no se ha considerado como un recurso útil en el medio urbano, sino más bien como un riesgo. Para alcanzar un uso más sostenible del agua pluvial disponible sería muy interesante trabajar por un cambio de esta concepción y que las aguas pluviales se convirtieran en aguas valorizables como recurso. Con esta finalidad, varios municipios de la RMB han aprobado recientemente ordenanzas municipales de ahorro de agua donde se contempla la recuperación de las aguas pluviales. Como hemos intentado mostrar para el caso de Sant Cugat, se trata de unos volúmenes en absoluto despreciables que, junto con otras medidas de gestión de la demanda y uso de otros recursos alternativos, podrían orientar de una manera más sostenible nuestra actitud hacia este bien tanpreciado.

5. REFERENCIAS

- BURNS, D. *et al.* (2005). "Effects of suburban development on runoff generation in the Croton River basin, New York, USA." *Journal of Hydrology*, 266-281.
- CATALÁN, B. (2005). *Creixement i caracterització dels usos del sòl urbans a la Regió Metropolitana de Barcelona. El cas de Sant Cugat del Vallès*. Memoria de Recerca. Universitat Autònoma de Barcelona.
- DOMENE, E. y SAURÍ, D. (2006). "Urbanization and water consumption: Influencing factors in the Metropolitan Region of Barcelona." *Urban Studies* (en prensa).
- IDESCAT (2006). *Padró municipal d'habitants*. On-line: <http://www.idescat.net/territ>
- HERMAN, T. y SCHMIDA, U. (1999). "Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects." *Urban Water*, 307-316.
- MARTÍN VIDE, J. (1994). "Diez características de la pluviometría española decisivas en el control de la demanda y el uso del agua." *Boletín de la A.G.E.* Nº 18, pp 9-16.
- MENTENS, J. *et al* (2005). "Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century." *Landscape and Urban Planning* (en prensa).
- MIKKELSEN *et al* (1999). "Collected rainfall as a water source in Danish households – what is the potential and what are the costs?" *Water Science and Technology*. Vol. 39, nº5, pp. 49-56.
- NIEMEZYNOWIEZ, J. (1999). "Urban hydrology and water management –present and future challenges." *Urban Water* 1, 1-14.
- NINYEROLA *et al* (2000). "A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques." *International Journal of Climatology*, 20, 1823-1841.
- SAURÍ, D. (2003). "Lights and shadows of urban water demand management: the case of the Metropolitan Region of Barcelona." *European Planning Studies*, vol. 11, nº 3.
- SAURÍ, D. y DEL MORAL, L. (2001). "Recent developments in Spanish water policy. Alternatives and conflicts and the end of the hydraulic edge." *Geoforum* 32 (2001) 351-362.

VAES, G. y BERLAMONT, J. (1999). "The impact of rainwater reuse on CSO emissions." *Water Science and Technology*. Vol. 39. Nº 5 pp. 57-64.

WAINWRIGHT, J. Y THORNES, J. (Eds.) (2004). *Environmental issues in the Mediterranean. Processes and perspectives from the past and present*. Routledge studies in physical geography and environment. pp 10-11.

6. CARTOGRAFÍA UTILIZADA

Atlas Climático Digital de Cataluña (ACDC), (2001). Universidad Autónoma de Barcelona. <http://www.uab.es/atles-climatic/>

Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (MCSC), 2ª edición (2000-2003). CREAM y Generalitat de Catalunya. <http://www.cream.uab.es/mcsc/>

Base Topogràfica 1:5000 v2.0 (BT-5M), (2001). Instituto Cartogràfic de Catalunya.