

Drenaje de aguas lluvia urbanas en zonas semiáridas

ARQ
 64

La urbanización progresiva del suelo se relaciona con muchos conflictos del hábitat contemporáneo. Las inundaciones, agravadas por la incapacidad de los suelos pavimentados para absorber las lluvias, son un ejemplo potente de esta interacción. En el contexto de la aridez santiaguina, los temas de erosión, riqueza del suelo y napas subterráneas están directamente vinculados a la expansión urbana; nuevos paradigmas al respecto plantean salidas a estos problemas.

Palabras clave: Hidrología - zonas áridas, recursos hídricos, agua, aguas lluvia, urbanización de bajo impacto, drenaje urbano, escurrimientos, inundaciones.

Many contemporary habitat conflicts are related to the progressive urbanization of land. Flooding aggravated by the inability of paved-over soils to absorb rain is a powerful example of this interaction. The issues of erosion, soil richness and the water table are directly linked to urban expansion in the context of the aridity of the Santiago region. New paradigms propose solutions to these problems.

Key words: Hydrology - arid zones, water resources, water, rain water, low-impact urbanization, urban drainage, run-off, flooding.

Hidrología de las zonas áridas

Las zonas áridas se caracterizan por su escasa precipitación, acumulada en unas pocas tormentas al año (generalmente cortas, intensas y concentradas en una época). El norte y parte de la zona central de Chile son un buen ejemplo de comportamiento de zonas áridas y semiáridas, con promedios anuales de precipitación inferiores a 300 mm y una gran variación temporal y espacial (fig. 1 y 2); la evaporación es importante, existiendo muchos cauces esporádicos (fig. 3) (Fernández, 1997). Sólo algunas tormentas anuales generan escurrimiento de importancia, (figs. 4 y 5), de manera que los cauces menores tienen muy poco uso como elementos de drenaje de aguas lluvia; como son diseñados para hacerse cargo de grandes tormentas, su empleo a plena capacidad es aún menor (Montt et al., 2003). Debido a la falta de humedad habitual, las cuencas de las zonas áridas tienen una gran capacidad de infiltración en las primeras capas del suelo, pero por la falta de humedad (acompañada de escasa vegetación) los suelos pueden ser extremadamente vulnerables a la erosión.

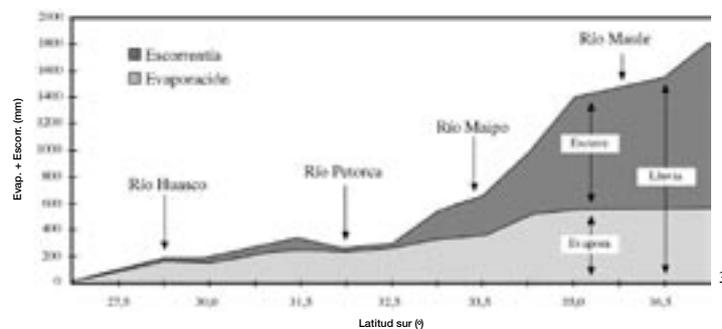
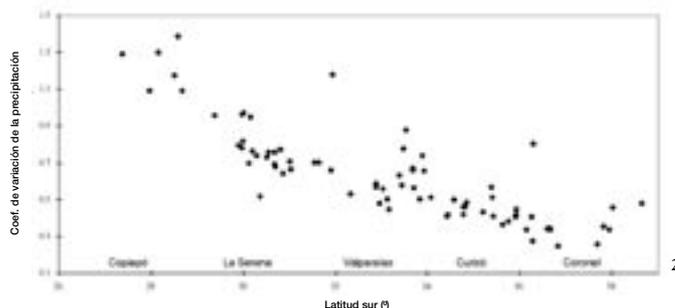
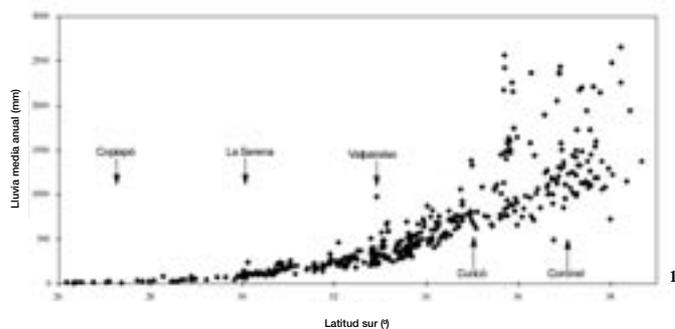
Efectos de la urbanización

La urbanización tiene gran potencial para afectar las condiciones naturales de una cuenca y su ciclo

hidrológico, modificando los ambientes naturales, impermeabilizando y compactando el suelo, alterando las vías naturales de drenaje y aumentando la cantidad y concentración de contaminantes en el agua. Si no se pone especial cuidado en lograr soluciones sustentables, las crecidas son cada vez mayores, más violentas y más contaminadas (fig. 6), y las aguas lluvia provocan daños por inundaciones incluso durante pequeñas tormentas, como ha ocurrido en Santiago y otras ciudades de Chile durante las últimas décadas (MOPTT, 2003). Al urbanizarse una cuenca aumentan la frecuencia y la magnitud de los caudales de crecidas, como resultado de la mayor proporción de áreas impermeables y también debido a la modificación del patrón de drenaje, el que es reemplazado por una serie de elementos que evacúan el agua caída con mayor rapidez, como cunetas y colectores (fig. 7) (Leopold, 1960).

Nuevo paradigma para el drenaje urbano

En los últimos cien años las soluciones técnicas a los problemas de aguas lluvia urbanas han evolucionado dramáticamente. A principios del siglo XX no se hacía distinción entre las aguas lluvia y las aguas servidas, de manera que la solución consistía en desprenderse de ellas rápidamente, capturándolas



y evacuándolas hacia aguas abajo. En muchos casos se desarrollaron soluciones combinadas, mezclando las aguas lluvia y las servidas en el mismo sistema de evacuación. Este enfoque alentó las soluciones basadas en colectores enterrados que permiten el aprovechamiento de la superficie del terreno para otros fines. Así se solucionó simultáneamente la evacuación de aguas servidas y aguas lluvia del centro de Santiago (fig. 8), como uno de los proyectos del centenario de la República (Bertrand, 1908). Este enfoque, orientado a combatir los síntomas y no las causas, fracasó con el crecimiento de las ciudades, generando grandes problemas aguas abajo de ellas, con muchas soluciones obsoletas e incapaces de hacerse cargo del crecimiento urbano, ni de la contaminación de las aguas lluvia y dificultando el tratamiento de las aguas servidas.

Durante la segunda mitad del siglo XX, muchas ciudades de gran desarrollo reconocieron la necesidad de cambiar el paradigma del drenaje urbano y propusieron un nuevo enfoque, que considera las aguas lluvia como un recurso urbano y enfrenta las causas de los problemas más que los síntomas. Este punto de vista reconoce que es necesario controlar el volumen, los caudales máximos y la contaminación en la fuente, minimizando el cambio hidrológico

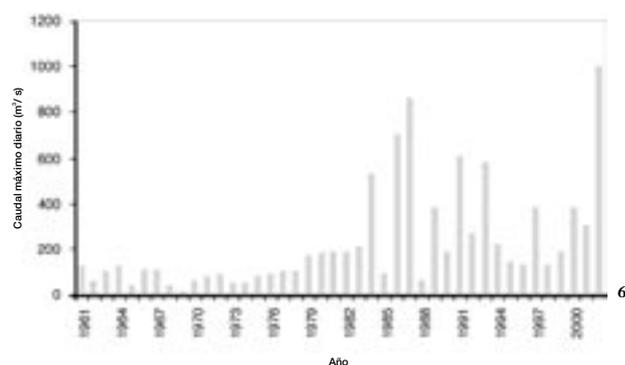
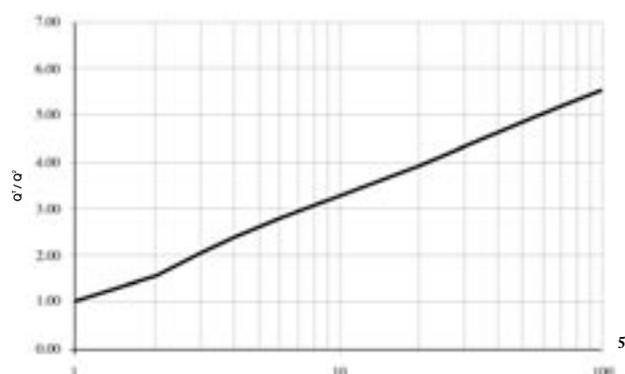
y las externalidades negativas del proceso de urbanización. Para ello se desarrollaron nuevas estrategias conocidas en EE.UU. como *BMP, Best Management Practices* (Urbanas y Stahre, 1993), en Francia como *Techniques Alternatives* (Chocat, 1992), o *Técnicas de Gestión de Escurrimientos Urbanos, TGEU*. En Chile se conocen como *Técnicas Alternativas*, (MINVU DICTUC, 1996). Estas estrategias apuntan a la captura de un volumen de agua lluvia para su tratamiento, en el mismo lugar en que se generan, junto a la aplicación de técnicas y obras que permiten y facilitan la infiltración y el almacenamiento (fig. 9).

Hoy en día, las soluciones para las aguas lluvia ponen el acento en el diseño de las urbanizaciones, con énfasis en lo que se conoce como *urbanizaciones de bajo impacto*, uniendo aspectos hidrológicos y ambientales (Prince George's County, Maryland, 1999); en este esquema, las áreas verdes juegan un papel fundamental (Arendt 1996,1999). Desde el punto de vista hidrológico, se trata de minimizar la generación de escorrentía urbana, disminuyendo la impermeabilización, favoreciendo la infiltración y el almacenamiento; mantener y potenciar la red de drenaje natural, mediante la conservación de cauces y humedales, y favorecer la captura y almacenamiento de agua para minimizar la

contaminación del escurrimiento superficial y disminuir el impacto sobre los medios acuáticos receptores. Este enfoque también considera la construcción de obras del tipo de las desarrolladas para las TGEU, pero mucho más pequeñas y distribuidas en los barrios.

Vías naturales de drenaje urbano de aguas lluvia

Uno de los aspectos clave de las urbanizaciones de bajo impacto es la mantención y uso de los cauces naturales, de manera que no sólo cumplan con su función habitual de drenaje y almacenamiento temporal de las aguas lluvia, si no que también se incorporen como infraestructura urbana de uso público: como parque, área de recreación, o reserva paisajística. Esto tiene dos consecuencias importantes: por una parte, disminuye dramáticamente el costo del sistema de drenaje, al hacer innecesaria la construcción de grandes colectores, que son los elementos más caros de la red de drenaje. Además, las áreas verdes necesarias en toda urbanización tienen su lugar predilecto en los cauces naturales y los humedales, ya que en ellos es donde mejor se desarrolla la vegetación nativa, presentan continuidad espacial como unidades reconocibles y son los lugares más difíciles de urbanizar. A lo anterior, hay que agregar que los



- Según los registros de estaciones pluviométricas, de norte a sur la precipitación anual va desde un promedio de 10 mm en Copiapó hasta más de 3.000 mm en el bosque valdiviano. Al norte del paralelo 33°S se trata de zonas semiáridas y áridas
- La variabilidad temporal de las precipitaciones en la zona semiárida es muy alta. En La Serena el año más seco registra sólo 4 mm y el más húmedo 307 mm, para un promedio anual de 98 mm. En Osorno, para un promedio de 1.433 mm anuales, el año más seco registra 1.054 mm y el más húmedo 1.879 mm
- La precipitación total sobre una cuenca se reparte entre escurrimiento y evapotranspiración. En las zonas áridas sólo un pequeño porcentaje de la lluvia escurre por los cauces y la gran mayoría se evapora
- En una zona semiárida como Santiago ocurren en promedio 8 tormentas menores a 5 mm, 4 con aportes entre 5 y 19 mm, 4 entre 10 y 20 mm y sólo 5 mayores a 20 mm
- En Santiago, el caudal de la crecida que ocurre en promedio una vez cada 10 años es más de tres veces mayor que la que ocurre todos los años, y la que ocurre al menos una vez cada 100 años –utilizada para el diseño de este tipo de obras– es 5,5 veces mayor que la crecida media anual
- El caudal de crecidas máximas anuales en el río Mapocho aguas abajo de la ciudad de Santiago (en el área de Maipú) ha aumentado apreciablemente como consecuencia de la expansión urbana de la ciudad y el drenaje de las aguas lluvia

colectores abiertos, sean cauces naturales o canales urbanos, son muy eficientes y versátiles para conducir grandes caudales, al contrario de lo que ocurre con los colectores cerrados que tienen una capacidad fija y que deben ser diseñados para las condiciones de crecidas extremas, lo que significa un gran tamaño para una obra de uso esporádico (figs. 10 y 11).

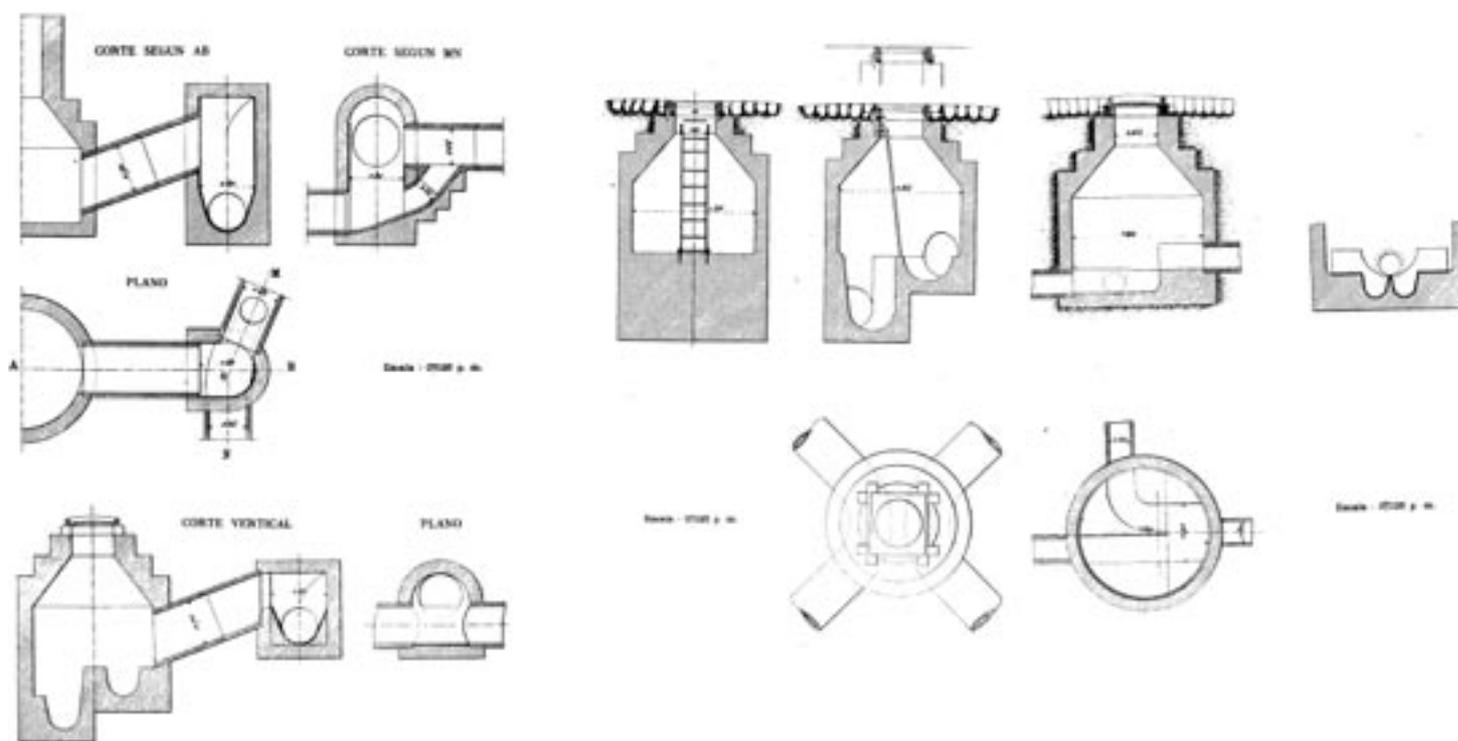
Las quebradas naturales se pueden incorporar a las urbanizaciones como parques - cauce o parques - inundables. Es decir, corresponden a áreas verdes multifuncionales; sin lluvias son una zona de esparcimiento con valor paisajístico, entregando importantes beneficios sociales, mientras que durante las tormentas se comportan como un cauce urbano de drenaje. Hunter (1994) hace notar que como resultado de la aplicación de este tipo de criterios en la planificación y el diseño urbano, más del 95% de los colectores principales de la red de drenaje de aguas lluvia de Denver, EE.UU., está formada por cauces naturales o canales abiertos, especialmente acondicionados para esos efectos.

La solución típica para un parque inundable comúnmente incluye dos partes: un canal de flujos bajos y una zona de inundación (fig.12); este diseño está especialmente orientado al drenaje de aguas lluvia, que presenta una gran variación de caudales

y un funcionamiento intermitente. El canal de flujos bajos tiene como objeto conducir los caudales producidos por las lluvias frecuentes; se trata de un canal pequeño que necesita protección para evitar la erosión, construyéndose en hormigón, mampostería o enrocado. En zonas áridas este canal estará la mayor parte del tiempo seco, por lo que es importante que también sea atractivo en esas condiciones, teniendo vegetación especial en su interior y cuidando la seguridad de las personas (fig. 13). El área de inundación tiene por objeto controlar las grandes crecidas, pero además durante los días sin lluvia debe ser un área verde y de recreación útil y amigable (MINVU-PUC, 1996); por tratarse de canales de baja velocidad y pequeña pendiente longitudinal, muchas veces requieren de disipadores de energía, los que también tienen un diseño especial. Estos cauces presentan un diseño especialmente cuidado para incorporarse a la ciudad, y están muy lejos de ser los típicos canales de riego que aparecen en las ciudades de la zona central de Chile cuando se urbanizan terrenos agrícolas. ARQ

Bibliografía: Arendt, R. G.; *Conservation Design for Subdivisions. A Practical Guide to Creating Open Space Networks*. Island Press, Washington D.C., 1996. / Arendt, R. G.; *Growing Greener. Putting Conservation into Local Plans and Ordinances*. Island Press, Washington

D.C., 1999. / Bertrand, A.; *Alcantarillado de Santiago actualmente en construcción. Memoria*. Ministerio del Interior del Gobierno de Chile, Santiago, 1908. / Chocat, B.; *Encyclopedie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*. Techniques et Documentations, Paris, 1997. / Department of Environmental Resources, Prince George's County; "Low-Impact Development Design Strategies. An Integrated Design Approach", Prince George's County, Maryland, 1999. www.lowimpactdevelopment.org / Fernández, B.; "Los esquivos recursos hídricos de la zona central de Chile", *Revista Universitaria*, n° 56, pp. 39-44, 1997. / Leopold, L.B.; *Hydrology of Urban Land Planning, a Guidebook on the Hydrology Effects of Urban Land Use*. Circ. U.S.G.S., 1968. / MINVU y DICTUC; *Manual de Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Guía de Diseño*. Ministerio de la Vivienda y el Urbanismo del Gobierno de Chile, Santiago, 1996. / Montt, J.P., Rivera, P. y Fernández, B.; "Distribución probabilística de la precipitación y su relación con la eficacia de obras de infiltración y tratamiento de aguas lluvias". XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, 2003. www.ing.puc.cl/~sochid/marco.htm / Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Telecomunicaciones; *Proyecto de ley de aguas lluvias*. Presentación en Seminario "¿Quién debe pagar las aguas lluvias?", Cámara de Diputados de Chile, 2003. www.moptt.gov.cl/discursos/031110-sub-p1.pdf / Urban Drainage and Flood Control District; *Urban Storm Drainage Criteria Manual*, Vol. 1 y 2. UDFCD, Denver, 2001. / Urbonas, B., y Stahre, P.; *Stormwater: Best Management Practices and Detention for Water Quality, Drainage and CSO Management*. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1993.



7 Diseño de cámara de vista en el proyecto de alcantarillado de Santiago de 1908. Obra típica de una red de colectores unitarios subterráneos

8 Utilización de áreas verdes para estanques de almacenamiento temporal de aguas lluvia en una urbanización

9 La vegetación es un elemento fundamental en un cauce urbano. Puede cubrir la zona de inundación para evitar la erosión del suelo durante las grandes crecidas y conformar a la vez un área atractiva para recreación o paisajismo en tiempo seco. En zonas áridas también puede colocarse vegetación en el interior del cauce de flujos bajos

10 Las obras destinadas a la disipación de energía deben considerar en el diseño la seguridad de las personas y su incorporación en las zonas urbanas

11 El diseño típico de un canal de drenaje de aguas lluvias considera velocidades máximas de 1,5 m/s, alturas de agua que no sobrepasen el 1,2 m como máximo y estrictas condiciones de escurrimiento de río

12 Los caudales máximos de crecidas de aguas lluvia urbanas aumentan por la impermeabilización del terreno y por la colocación de colectores, como se ha comprobado en Washington D.C. (Leopold, 1968)

13 La capacidad máxima de conducción de un colector cerrado –tuberías– sólo se puede aumentar en una pequeña fracción aumentando la presión. En contraste la capacidad de conducción de colectores abiertos, canales, puede aumentar en cantidades significativas utilizando las áreas inundables

14 La proporción del tiempo que un colector de aguas lluvias es utilizado en las condiciones de diseño es muy baja. Si no existen otros usos previstos puede llegarse al extremo de ser usado a plena capacidad sólo un día en 100 años. El parque estará sometido a distintas frecuencias de inundación; la parte más baja se inundará entre 5 y 20 días al año mientras las partes altas pueden pasar varios años sin inundarse



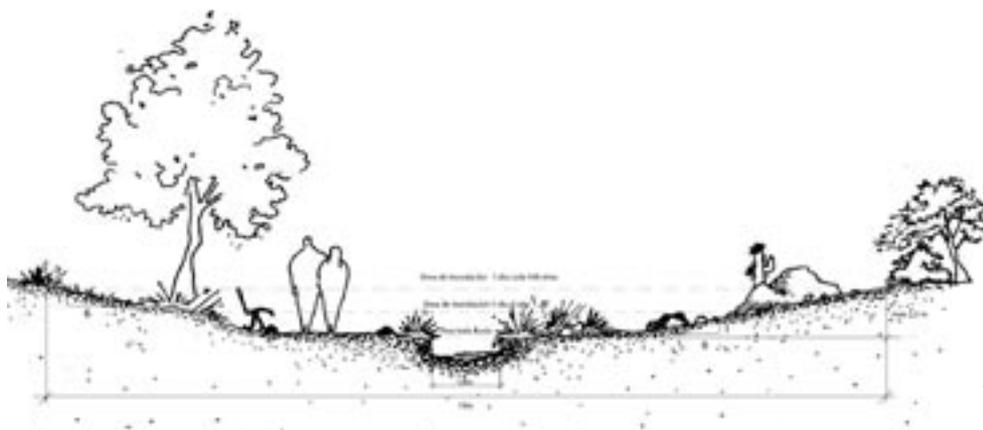
8



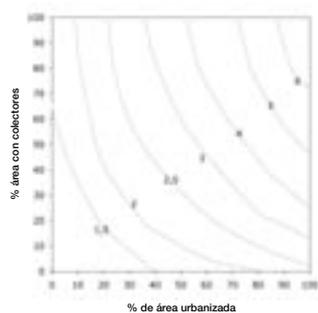
9



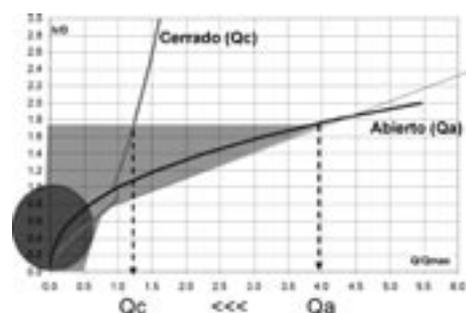
10



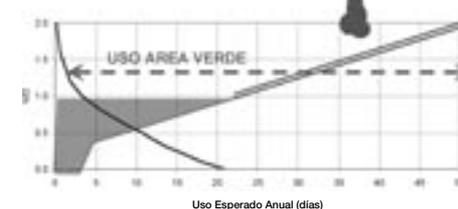
11



12



13



14