

Importancia de la redundancia y la sostenibilidad de los sistemas urbanos de drenaje (SUD) ante la intervención del paisaje urbano

O. Palmett-Plata^{1*}; V. Fajardo Castaño²; J. F. Flórez Rendón²; K. T. Rueda Mejía²; N. M. Solano González² y K. Urrego Castrillón²

¹ Facultad de Arquitectura e Ingeniería. Carrera 78, N° 65–46, Medellín, Colombia. ² Estudiantes del Programa de Arquitectura en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.

* Autor de correspondencia: olgalicia.palmett@colmayor.edu.co

RESUMEN

Mediante un ejercicio de proyecto investigativo de aula con los estudiantes de arquitectura en la optativa de paisaje (nivel VII), se quiso conocer de qué manera se pueden cuantificar los aspectos que determinan la redundancia de los sistemas de drenaje urbano, para constatar que tanta coincidencia puede haber con lo percibido y cómo contribuyen estos datos a la implementación de paisajes más sostenibles. Para llevar a cabo esta constatación se ha utilizado el método racional, con el cual se espera cuantificar y analizar la calidad de los elementos constitutivos del sistema urbano de drenaje (en adelante SUD) de dos zonas urbanas de la ciudad de Medellín. Diagnosticar el estado de la redundancia de los SUD ante los eventos pluviales, permitió suponer cuál sería la mejor forma de intervenir el paisaje y asegurar que tan pertinente o no podría ser dicha intervención a corto, mediano y largo plazo, reforzando de cierta manera, la funcionalidad del paisaje y sus elementos destacando así, la importancia que tiene la redundancia y la sostenibilidad de los sistemas urbanos de drenaje sostenibles (en adelante SUDS) en el diseño, intervención y la conservación del paisaje. Consideramos de interés los resultados obtenidos por que aporta a la desmitificación del paisaje como estructura estética en su acepción más reconocida, así como el reconocimiento y potencialidad de la gran utilidad del paisaje en complemento con la estructura urbana, el cual debemos potenciar en el diseño de paisajes.

Palabras clave: paisajismo, paisaje útil, sistema urbano de drenaje sostenible, método racional.

ABSTRACT

Through an exercise in a classroom research project with students of architecture in the landscape option (level VII), we wanted to know how to quantify the aspects that determine the redundancy of urban drainage systems, to see how much coincidence they have with the perceived and how this data contributes to the implementation of more sustainable landscapes. To carry out this observation, the rational method has been used, with which it is expected to quantify and analyze the quality of the constituent elements of the urban drainage system (hereinafter SUD) of two urban areas of the city of Medellín. Diagnosing the state of the redundancy of the SUDs before the rainy events, allowed to suppose which would be the best way to intervene the landscape and how that so pertinent or could not be said intervention in the short, medium and long term, reinforcing in a certain way, the functionality of the landscape and its elements highlighting the importance of the redundancy and sustainability of sustainable urban drainage systems (hereinafter SUDS) in the design, intervention and conservation of the landscape. We consider of interest the results obtained because it contributes to the demystification of the landscape as an aesthetic structure in its most recognized meaning, as well as the recognition and potentiality of the great utility of the landscape in addition to the urban structure, which we must promote in the design of landscapes.

Key-words: Landscaping, useful landscape, urban drainage system sustainable, rational method.

INTRODUCCIÓN

El paisajismo es una actividad que últimamente se ha vuelto objeto de preocupación cuando se remite al paisaje urbano en especial, debido a la intervención humana que interfiere en la ciudad y el paisaje, dando como resultado lo que Santos y Ganges (2002) llama, paisaje humanizado. Ya que el paisajismo tiene la posibilidad de destacar y/o modificar el impacto visual y los valores del paisaje, se puede asegurar que el paisajismo pretende mostrar la función integral del paisaje a partir de sus valores ecológico/ambiental, cultural/patrimonial y visual/estético. Adicional a esto hay que incluir que el paisajismo en su preocupa-

ción más profunda (Rico, 2004), lo que busca es la protección visual del paisaje, en donde, es prioritario establecer la utilidad del paisaje en complemento con las otras funciones de los elementos urbanos. El paisaje útil (Rico, 2004), por lo tanto, es lo que el paisajismo saca a relucir en la superposición de usos y combinaciones que se pueden establecer entre los sistemas urbanos de drenaje (SUD) convencional y los SUD sostenibles (SUDS), por tal razón se pretende evaluar y/o cuantificar el funcionamiento del SUD convencional de dos sectores de la ciudad de Medellín y experimentar teóricamente la posibilidad y

conveniencia de combinar éste con alguno de los sistemas urbanos de drenaje sostenible, probando con ello la posibilidad y optimización del SUD a corto plazo, de acuerdo al comportamiento ante la demanda de los eventos pluviales, y los aportes a la redundancia y sostenibilidad de los SUD.

La redundancia de un SUD hace referencia a la capacidad hidráulica el cual tiene relación con el caudal o cantidad de agua que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación (Ministerio de vivienda, 2012). La redundancia es un parámetro diseñado a propósito dentro de los SUD para que puedan funcionar en óptimas condiciones, en el caso de ser sometidos a interrupciones, presiones extremas o aumentos repentinos en la demanda de captación y conducción de aguas lluvias. Cuando se habla de redundancia se está hablando de una capacidad extra que puede soportar el sistema como respaldo a su funcionamiento en condiciones extremas.

Actualmente y debido a la fuerte urbanización e impermeabilización de zonas en la ciudad, la capacidad hidráulica de los SUD se ha visto colapsado, ya que la redundancia no ha podido absor-

ber la demanda a la cual ha sido sometido el sistema, por lo que cada vez, y con mayor frecuencia, se presentan las inundaciones y eventos de riesgo por lluvias en sectores urbanos (Karamouz et al., 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Características Cuenca Urbana 1: “La cuenca es la unidad de análisis por excelencia de todos los fenómenos que tienen que ver con el agua y, por supuesto, de todos los relacionados con el territorio y su relación con el agua” (Brailovsky, 2010).

Como primera cuenca urbana fue seleccionado el sector aledaño a la ronda de la quebrada la Picacha, se ha escogido una micro-cuenca ubicada en el sector del barrio Malibú, y la intersección de la Av. Bolivariana y Circular 1° (Fig. 1). En la ronda La Picacha están localizados las siguientes veredas y barrios: Vereda Aguas Frías, Las Violetas, Las Mercedes, La Castellana, Miravalle, Belén, Rosales, Fátima, El Nogal, Laureles, Bolivariana, Simón Bolívar, San Joaquín, Conquistadores y Vereda San Pablo.

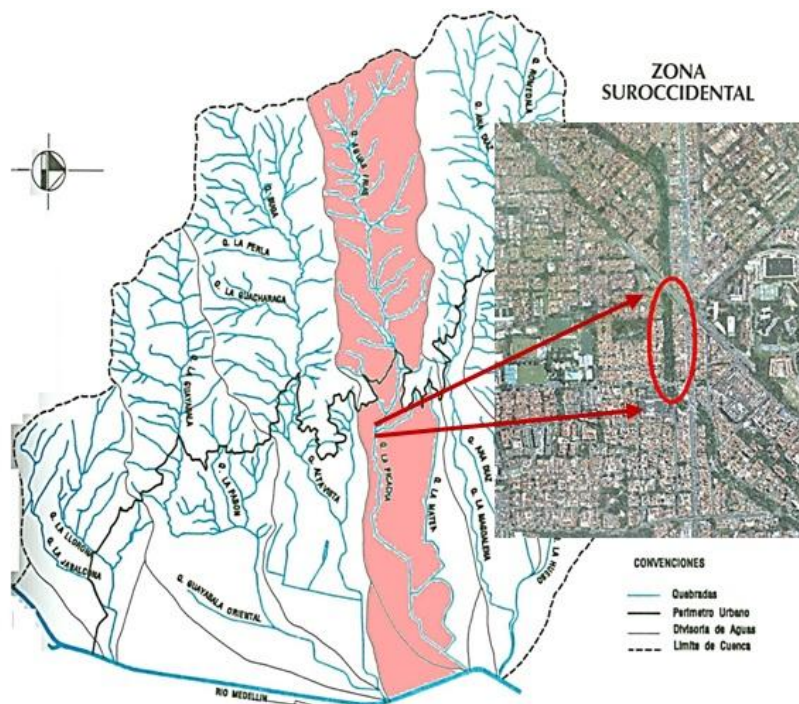


Figura 1. Ronda de la Quebrada La Picacha y micro-cuenca seleccionada para estudio. Modificada por los autores.

La quebrada la Picacha en la zona rural toma el nombre de quebrada Aguas Frías, la cual nace en la divisoria de aguas de la cuchilla El Barcino en la cota 2440 y desemboca al río Medellín en la cota 1485 con una longitud de 10,7 km. En el sector urbano, la quebrada circula por un canal artificial construido en hormigón de forma triangular y estrecha (Fig. 2 y 3), el cual produce altas velocidades de flujo que ha generado desprendimiento de material de las paredes y el fondo del canal. En cuanto a la vegetación, se observa la presencia de pastos bajos y algunos árboles y arbustos alrededor (Fig. 4). La superficie de esta microcuenca urbana está formada por planos de variada inclinación, como techos y/o cubiertas, terrazas, azoteas, aceras, calles y zonas ajardinadas (Fig. 4), los cuales han sido considerados unidades de paisaje para el presente estudio.



Figura 2. Cauce y canal Quebrada La Picacha antes de desembocar al Río Aburrá-Medellín. Fuente: V. Fajardo Castaño y J. Flórez Rendón.

La topografía de la cuenca urbana la Picacha, es irregular y con pendiente longitudinal variable entre el 35% en la parte alta y del 7% en la zona ur-

baña, cerca de su desembocadura en el río Aburrá. La variación altitudinal de la cuenca es de 2.540 msnm al occidente en el sector del Cerro El Barcino y los 1.464 msnm en la desembocadura en el río Aburrá (Corantioquia, 2011).

La Quebrada La Picacha presenta desbordamiento en el área de estudio cuando ocurren grandes precipitaciones. Gran parte de su recorrido es en el valle y hay ciertos puntos donde el caudal excede la capacidad del canal, generando así, dicho desbordamiento, como se muestra en las siguientes imágenes de forma comparativa (Fig. 5).

En la Figura 5 se puede observar el SUD que sirve al sector para la recolección de aguas lluvias, el cual es considerado convencional en el diagnóstico realizado de la zona y cuenta con tuberías internas y/o cerradas que desembocan en el canal de la quebrada. También puede observarse que los parámetros de diseño no son los adecuados, ya que la recomendación es que "los canales revestidos deben diseñarse en forma tal que los colectores marginales descarguen por encima de las aguas máximas del canal" (Ministerio de Vivienda, 2012), y vemos como la boca de la tubería está a nivel del cauce de la quebrada.

Una característica importante a tener en cuenta es el comportamiento de la lluvia en la zona de estudio, el cual se analizó de acuerdo a la zonificación visual realizada de áreas impermeables y áreas permeables de las unidades de paisaje. El área total de estudio de la cuenca 1, se calculó en 2.256 m², en la cual se diferencian zonas impermeables como las vías, los andenes, las paredes laterales del canal y techos para un área aproximada de 950 m² equivalentes a un 42,1% del área total y un área permeable de 1.306 m² contemplada con las zonas verdes, jardines, y el mismo cauce de la quebrada, equivalente a un 57,9% del área total de la zona de estudio o cuenca (Tabla 1).

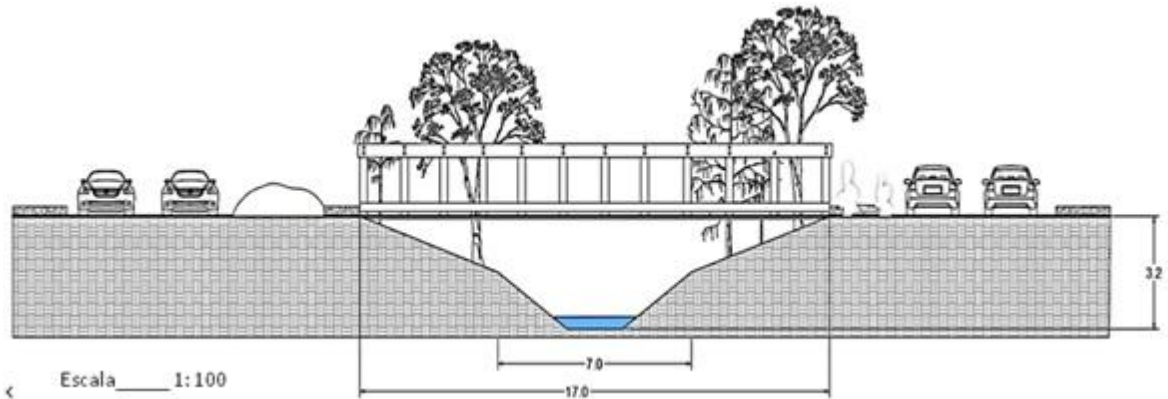


Figura 3. Sección Transversal Cuenca y Canal Quebrada La Picacha. Elaboración: V. Fajardo Castaño y J. Flórez Rendón.



Figura 4. Paisajismo alrededores de la quebrada la Picacha en el sector del Barrio Malibú. Fuente: V. Fajardo Castaño y J. Flórez Rendón.



Figura 5. Cauce Quebrada La Picacha en estado normal (izquierda). Fuente: V. Fajardo Castaño y J. Flórez Rendón. Cauce Quebrada La Picacha en evento pluvial (derecha). Fuente: <https://twitter.com/anfejara/status/148513590750621696/photo/1>.

Tabla 1. Zonificación de la Cuenca Urbana 1 La Picacha.

Zonificación Cuenca Urbana 1- La Picacha			
	Unidades de Paisaje	Área en m²	Porcentaje
Zona Impermeable	Vías, andenes, las paredes laterales del cauce y techos.	950	42,1%
Zona Permeable	Zonas verdes, separadores, jardines. (Sumideros)	1.035 +(271)	57,9%
Área Total	Cuenca Urbana 1- La Picacha	2.256	100%

Características Cuenca Urbana 2: La segunda cuenca urbana es tomada de la zona centro-oriental de Medellín, en la quebrada Santa Elena (Fig. 6), en donde la quebrada es canalizada y cubierta para dar lugar a la Avenida la Playa, una de las más concurridas vías del centro de Medellín (Fig. 7).

La Avenida la Playa se encuentra rodeada por una zona altamente urbanizada, con preponderancia de actividades comerciales y un sector con escasa vegetación y zonas permeables, como se puede observar en la planimetría de la Figura 8. Presenta una topografía de escasa pendiente, por lo que se dificulta el escurrimiento efectivo de la zona (Fig. 9).

El SUD instalado y en funcionamiento en esta cuenca cuenta con un número considerable de sumideros, sin embargo, el alto flujo peatonal con su producción de residuos, así como la descarga de aguas lluvias de los techos de los edificios aledaños y de las vías, que de igual forma arrastran residuos obstruyendo las rejillas de los sumideros disminuyen la captación de agua y, por lo tanto, el óptimo rendimiento funcional del SUD.

“Las inundaciones están íntimamente relacionadas con dos variables: la cantidad e intensidad de las precipitaciones y la escorrentía” (Keller, 1996),

que combinados con la capacidad hidráulica de diseño del sistema urbano de drenaje, el cual muestra claramente una deficiencia funcional, sin embargo, no basados solo en las evidencias, se busca confirmar dichos sucesos con los cálculos cuantitativos a partir del método racional.

“Como la escorrentía causa los mayores problemas en el manejo de cuencas, es en esta parte del ciclo hidrológico en la cual se debe intervenir activamente para evitar que el agua ocasione graves daños dentro del territorio” (Gaspari et al, 2007).

"Los casos urbanos ejemplifican que en las cuencas pequeñas, las que están conformadas por pocos kilómetros cuadrados, la magnitud y frecuencia de las inundaciones están fuertemente reguladas por el uso del suelo; la correlación que se verifica es un aumento del volumen de excedentes hídricos superficiales (por incremento del coeficiente de escorrentía), en función del porcentaje de suelo urbano que está cubierto por techos, pavimentos y cemento—la cubierta impermeable—y el porcentaje de área servida por drenajes pluviales" (Leopold, en Kreimer, 2001).

La zonificación de esta cuenca se puede observar en la Tabla 2.

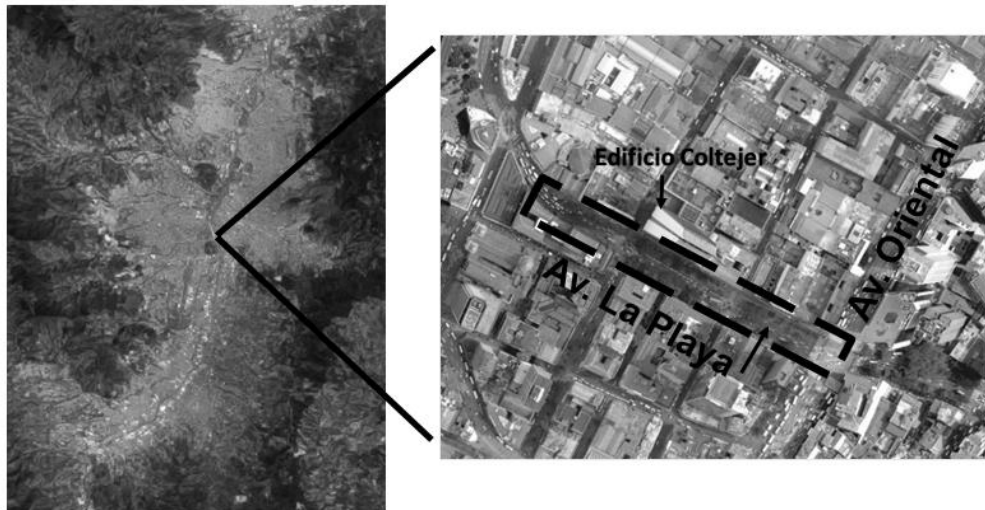


Figura 6. Cuenca Quebrada Santa Elena (izquierda). Micro-cuenca, zona de estudio (derecha). Fuente: http://190.14.231.74/MAPGISV5_WEB/mapa.jsp?aplicacion=0

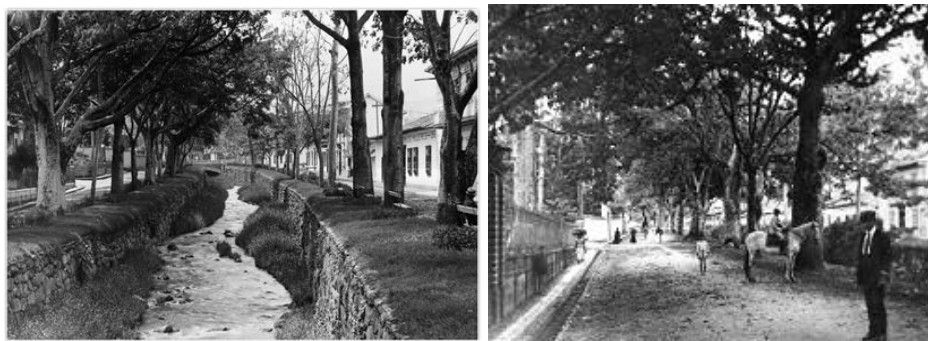


Figura 7. Quebrada Santa Elena en 1982 (izquierda) y en 1942 (derecha).



Figura 8. Alzado y Planimetría Avenida la Playa. Zona céntrica de Medellín. Modificado a partir del Plano SIGMA (alcaldía de Medellín).



Figura 9. Avenida la Playa a la altura con el pasaje Junín, en plena inundación.

Tabla 2. Zonificación de la Cuenca Urbana 2 Avenida la Playa.

Zonificación Cuenca Urbana 2- Avenida la Playa			
	Unidades de Paisaje	Área en m²	Porcentaje
Zona Impermeable	Vías, andenes y techos	7.400	99,16
Zona Permeable	Zonas verdes, separadores, jardines. (sumideros)	50,24 (+11,76)	0,84
Área Total	Cuenca Urbana 2- Avenida la Playa	7.462	100

La mayoría de nuestras ciudades en Colombia, así como muchas en el mundo, tienen en funcionamiento sistemas urbanos de drenaje construidos hace ya varios años, los cuales fueron proyectados en su momento, para un funcionamiento óptimo, que lógicamente, hoy pueden resultar insuficientes u obsoletos al no lograr cumplir a cabalidad su función, debido a que el crecimiento urbano rebasa hoy las metas para los cuales fueron diseñados. Esta deficiencia se puede estar presentando de forma evidente, que sería totalmente lamentable, o puede estar dando señales que debemos saber leer de forma precisa, para actuar diligentemente.

En estos casos, se considera importante conocer la redundancia de los sistemas urbanos de drenaje, en la medida en que se pueden diagnosticar futuras fallas, debilidades o saturaciones, antes de que presente evidencia. Esto permite adelantarse a aliviar las cargas que debe soportar el sistema urbano de drenaje, adicionando complementos que permitan reducir los volúmenes de escorrentía y caudales pluviales procedentes de zonas urbanizadas con alta impermeabilidad o escaso tratamiento de las aguas lluvias. Esto minimiza los costos de un cambio radical en la in-

fraestructura de drenaje urbano, reduce los tiempos de acción efectiva y mejora el entorno y la calidad visual del paisaje.

Metodología y uso del método racional: Para el cálculo de los modelos hidrológico e hidráulico de las cuencas urbanas 1 y 2, se utilizó el método racional. "El método racional es un modelo empírico simple que puede utilizarse para el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias que tengan áreas relativamente pequeñas" (Ministerio de Vivienda, 2012). Las áreas para utilizar este método no deben sobrepasar los 13 km. Esto permitió calcular la redundancia de los SUDs y justificar el comportamiento ante eventos pluviales.

A partir del método racional se calculan los caudales pico de aguas lluvias de las dos cuencas urbanas en estudio, utilizando la precipitación y el coeficiente de impermeabilidad o permeabilidad del suelo, permitiendo conocer el coeficiente de escorrentía.

Para avanzar en los cálculos fue preciso establecer unas suposiciones junto al uso de datos experimentales previos, consignados en tablas estándar que han realizado investigadores expertos en el tema, lo cual permitió obtener unos datos acep-

tables en el uso del método para establecer el contraste con lo observado.

El cálculo del coeficiente de escorrentía a partir del método racional, requirió el producto de los datos en los usos del suelo, tipo de suelo y la pendiente del terreno. Estos datos ya no tomados desde la observancia, sino basados en estudios científicos del suelo y acomodando sus resultados a las tablas experimentales lo que condujo a datos más precisos.

El coeficiente de escorrentía necesario para calcular el caudal pico, expresa la relación existente entre la escorrentía superficial y la precipitación total (Tabla 3), teniendo en cuenta el comportamiento del suelo en el proceso de infiltración de la precipitación y la producción de escorrentía superficial.

En la Tabla 3 se puede observar la diferenciación en los coeficientes de escorrentía en las cuencas urbanas 1 y 2. Mostrando una clara tendencia a producirse mayor escorrentía en la cuenca urbana 2, reafirmando con estos datos cuantitativos, lo observado. Cuando el coeficiente de escorrentía tiende a 1 (su máximo valor), indica que será mayor la producción de escorrentía, es decir, que del total de la precipitación, habrá una cantidad de agua lluvia que no será infiltrada en el terreno, y que se convierte en caudal superficial o escorrentía, presentando una condición contraria

cuando el valor resultado se aleja de 1 o tiende a 0; fenómeno que se evidencia en la realidad, observando el tipo de suelo predominante en el área de estudio y su coeficiente de impermeabilidad.

Para conocer los datos de precipitación, se usaron los arrojados por las estaciones pluviométricas más cercanas a cada una de las cuencas urbanas seleccionadas y definiendo una lluvia uniformemente distribuida en toda el área de drenaje, con una intensidad constante durante un período de tiempo por lo menos igual al tiempo de concentración, sobre todo, teniendo en cuenta períodos de tiempo relativamente cortos (Estaciones Meteorológicas, 2017)

Por lo tanto, el escurrimiento, producto de la precipitación total ante el comportamiento del suelo y el coeficiente de escorrentía arrojado, es la escorrentía superficial real que se presenta en la zona. Por ejemplo, interpretando los resultados mostrados en la Tabla 4, en la cuenca urbana 1, con coeficiente de escorrentía 0,4, de los 1500 a 2000 mm/h de precipitación, se produce una escorrentía superficial de 600 a 800 mm/h, es decir, que del 100% de la precipitación, solo hay un 40% de agua lluvia no infiltrada y se presenta un 60% de agua lluvia infiltrada en el terreno y/o recogida por los sumideros.

Tabla 3. Datos para cálculo de coeficiente de escorrentía.

Coeficiente de Escorrentía es igual a $C = Ts \cdot Us \cdot Pt$				
Cuenca	Tipo de Suelo (Ts)	Usos del Suelo (Us)	Pendiente del terreno (Pt) %	Coeficiente de Escorrentía (C)
Cuenca Urbana 1 La Picacha	Permeable (terreno arenoso, ceniza volcánica, pómez) 1,0	Zonas de vivienda y negocios 0,20	5,1 a 10%= 2	0,4
Cuenca urbana 2 Av. La Playa	Impermeable (terreno arcilloso, limoso, marga) 1,5	Casco Urbano 0,40	0,0 a 3,0%= 1	0,6

Tabla 4. Datos para cálculo de escorrentía superficial.

Escurrimento o Escorrentía es igual a $E = P \cdot C$			
Cuenca	Precipitación (mm/h) P	Coeficiente de Escorrentía C	Escurrimento o Escorrentía o Caudal superficial - (mm/h) E
Cuenca Urbana 1 La Picacha	Entre 1500-2000	0,4	600 a 800
Cuenca Urbana 2 Av. La Playa	Entre 1500-2000	0,6	900 a 1.200

Debido a lo anterior, la cuenca urbana 1 presenta un mejor comportamiento del SUD, frente a las condiciones del terreno, que las presentadas en la cuenca urbana 2, con un porcentaje bastante alto de escorrentía, equivalente al 60% de la precipitación no infiltrada ni recogida por sumideros, en conjunto.

Al querer tener más detalle del agua de lluvia infiltrada y/o recogida, se discriminó la cantidad de fluido infiltrado por la zona permeable y el recogido por los sumideros del SUD. Esto permitió determinar la función que cumple el SUD en relación a la demanda de la precipitación y el escurrimiento producido.

Una vez calculada la escorrentía superficial, se procede a realizar el cálculo del caudal punta de las cuencas urbanas, igualmente mediante el método racional, en el cual tenemos que, el caudal punta es igual al producto de la intensidad de la lluvia en un tiempo determinado (I), el coeficiente de escorrentía (C) y la superficie de la cuenca (A), todo esto dividido por 360 como constante del sistema, propuesto por el método racional.

RESULTADOS

La interpretación de los datos obtenidos y mostrados en la Tabla 5, determina que la cuenca urbana 1 debería soportar un caudal máximo de $1.253 \text{ m}^3/\text{s}$ de lluvia en los 2.256 m^2 , equivalente a un caudal punta de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ por cada m^2 , una demanda baja comparada con la enfrentada por la cuenca urbana 2. Ésta debería soportar un caudal máximo de $21.764 \text{ m}^3/\text{s}$ de lluvia por 7.462 m^2 , equivalentes a $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ por cada m^2 , lo que permite determinar el diseño del sistema urbano de drenaje para cada una de las cuencas en función de su complementariedad con sistemas naturales de absorción de aguas lluvias. Por lo tanto, el SUD de la cuenca urbana 1 tiene mayor redundancia y una mejor función del SUD en complemento con los sistemas naturales implícitos en la cuenca. No siendo así en el SUD de la cuenca urbana 2, el cual presenta una redundancia limitada y menor a la demanda con una escasa contribución de los sistemas naturales existentes en la cuenca.

En la cuenca urbana 1 que cuenta con un área total de 2.256 m^2 , sólo 1.306 m^2 de su área ejerce la tarea de infiltración-retención, distribuida entre la zona permeable con una infiltración de 1.110

mm/h de los 1400 mm/h promedio de precipitación y una retención de 290 mm/h ejercida por los sumideros de la zona. Aquí la función de las zonas permeables es fundamental y totalmente dinámica y natural. Sin embargo, teniendo en cuenta el total de la escorrentía subterránea o infiltrada, el sistema permeable está cercano a llegar a su punto de saturación lo que genera una alerta de vulnerabilidad del sistema, lo cual se alivia con una contribución del SUDS para repartir las funciones de infiltración y retención de forma más equitativa. Así las zonas permeable y de sumideros contarían con una redundancia y/o reserva en su funcionamiento mucho más eficiente. Los alivios conceptuales sugeridos en la cuenca urbana 1, según la simulación experimental, han sido techos verdes, vegetalización del canal de la quebrada, instalación de pisos permeables en andenes y aumento de zanjas de infiltración.

El caso de la cuenca urbana 2 es diferente, aunque el análisis realizado haya llevado el mismo procedimiento utilizado para la cuenca urbana 1. La cuenca urbana 2 de sus 7.462 m^2 de área total, solo 62 m^2 cumplen la función de infiltración y retención. De los 2.000 mm/h de precipitación, solo 700 mm/h en promedio es infiltrado y retenido. Discriminando lo anterior y detallado en la Tabla 6, en la cuenca urbana 2, la infiltración en la zona permeable es de 567.23 mm/h y la retención por los sumideros es de 132.77 mm/h . Sistema que se encuentra colapsado en su funcionamiento, tanto en la zona permeable y natural como en la zona de desagües por sumideros.

Los alivios conceptuales sugeridos en la cuenca urbana 2 según la simulación experimental, han sido techos y terrazas verdes, andenes con rejillas para la retención y conducción de los pluviales hacia la quebrada Santa Helena, el aumento de jardines y balcones vegetados en la zona urbana y la instalación de andenes semi-permeables. Hemos denominado alivios conceptuales a los complementos e instalaciones de estructuras vivas, dinámicas o geoestructuras, como son los sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS), en este caso, es una aplicación teórica simplemente, debido al ejercicio académico en el cual estamos haciendo la experimentación. Pero lo normal sería que las intervenciones e implementaciones de estas estructuras dinámicas fueran reales, y lo que busca el ejercicio académico es preparar al futuro arquitecto en conocer la

capacidad de diseño de un sistema de drenaje urbano (redundancia) y tener en cuenta elementos y materiales vivos en la solución de los problemas constructivos que conversen con la arqui-

tectura y la calidad del paisaje, haciendo realidad una convivencia más amable con la naturaleza.

Tabla 5. Datos para cálculo de caudal máximo o punta.

Caudal Punta es igual a $Q = C \cdot I \cdot A / 360$					
Cuenca	Estación Pluviométrica	Intensidad de la lluvia (mm/h)	Coefficiente de Escorrentía	Superficie de la Cuenca m ²	Caudal Punta (m ³ /s)
Cuenca Urbana 1 La Picacha	Laureles-Medellín Cód. 27011270	1500-2000	0,4	2.256	3.760 a 5.013 1.253 promedio
Cuenca Urbana 2 Av. La Playa	Santa Elena Cód. 27010810	1500-2000	0,6	7.462	18.655 a 24.873 21.764 promedio

Tabla 6. Datos para cálculo de escorrentía subterránea por infiltración y retención.

Porcentaje de infiltración y retención de escorrentía subterránea			
Cuenca	Escorrentía subterránea (mm/h)	Zona permeable (Infiltración - mm/h)	Sumideros (Retención - mm/h)
Cuenca Urbana 1 La Picacha	1200 - 1600 (1400 promedio)	En 1.035 m ² Infiltración de 1.110 mm/h	En 271m ² Retención de 290 mm/h
Cuenca Urbana 2 Av. La Playa	600 - 800 (700 promedio)	En 50,24 m ² Infiltración de 567,23 mm/h	En 11,76 m ² Retención de 132, mm/h

Implementar complementos al SUD convencional que le aporten sostenibilidad y eficiencia a partir de sistemas estructurales vivos, es decir, que contengan vegetación adecuada y superficies vegetadas con funciones ambientales, ecológicas y sobretodo de drenaje natural, hace posible que el paisaje tenga una función de utilidad (Rico, 2004), en cuanto a la planeación urbana y el desempeño de los SUDs, los cuales deben ser proyectados con mayor eficiencia y capacidad, es decir, mayor redundancia, capaces de soportar los avances acelerados de la urbanización.

De igual manera, realizar esta reflexión y cálculo experimental desde la academia, sobre la redundancia de los SUD convencionales, a partir del método racional, es entrar en el campo de la planeación urbana establecida y por establecer, lo cual devela la urgencia de una actualización en los SUD de nuestras ciudades y una transformación cultural en el manejo de los residuos, el tratamiento de las aguas lluvia, la conservación y promoción de las zonas permeables y el uso de la vegetación no solo con fines ornamentales, sino funcionales en el logro de sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS).

DISCUSIÓN

En primera instancia vemos en los ejemplos anteriores, el uso simple en la aplicación del Método Racional, de allí su extendido uso para realizar cálculos cuantitativos de fácil interpretación, bajo un diseño teórico controlado. Con este método y los ejemplos tomados para su aplicación, los estudiantes han podido comprender mejor el funcionamiento de los SUD y el comportamiento de las diferentes zonas permeables e impermeables ante pluviales de una forma cuantitativa. De igual manera, han podido realizar una adecuada interpretación de los resultados cuantitativos, apoyados en las percepciones previas con los eventos pluviales reales.

La filosofía de los SUDS consiste en reproducir, de la manera más fiel posible, los procedimientos y funcionamientos naturales, es decir, en este caso, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana. Su objetivo es minimizar los impactos del desarrollo urbanístico en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía producida, así como maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de la actuación de los SUD y los SUDS.

La necesidad de afrontar la gestión de las aguas pluviales desde una perspectiva diferente a la convencional, que combine aspectos hidrológicos, medioambientales y sociales, está llevando a un rápido aumento a nivel mundial del uso de los SUDS.

Los SUDS engloban un amplio espectro de soluciones que permiten afrontar el planeamiento, diseño y gestión de aguas pluviales dando tanta importancia a los aspectos medioambientales, sociales y paisajísticos como a los hidrológicos e hidráulicos.

La experimentación en la cuantificación de datos haciendo uso del método racional permitió a los estudiantes contrastar lo percibido con datos más confiables a nivel cuantitativo. De igual manera reafirma el criterio del futuro profesional de arquitectura, al confiar y poder medir los datos observados para no actuar y llegar a diseñar y/o sugerir sobre la base de una mirada empírica o en muchos casos simplemente estética. Esto hace que el trabajo aplicado en diseño del paisaje no sea solo de intervención estética, sino que le imprime la seriedad que debe llevar un diseño de índole más funcional y contextualizado, de gran contribución a la sostenibilidad del paisaje, el medio ambiente y la planeación urbana.

El dato de la redundancia no solo es un dato cuantitativo que se traduce en capacidad o debilidad del sistema en su función de drenaje y/o evacuación de las aguas lluvia, es un dato que permite por un lado, establecer la calidad y capacidad de los complementos y/o alivios a acompañar la función de drenaje, como una forma rápida e inmediata de proceder ante la falencia, pero más allá de la inmediatez, el dato de la redundancia pone en alerta la planeación urbana y el rediseño de los sistemas urbanos de drenaje proyectados para soportar diseños arquitectónicos cada vez más impermeables e inconscientes del equilibrio que se debe promover como forma sostenible de habitar nuestros territorios. Por tanto, no sólo plantea interrogantes a la planeación urbana, sino a los diseños de sistemas de drenaje y su capacidad limitada, al desequilibrio cada vez más grande, entre lo antrópico y lo natural y a la forma de vida que estamos llevando, cada vez más inconsciente con el medio ambiente, más artificial y desmedida en los consumos de toda índole.

La redundancia más allá de mostrar la capacidad de un sistema urbano de drenaje convencional,

se podría decir haciendo una analogía, es un dato que mide la capacidad del ser humano para acomodarse con la naturaleza, lo cual está mostrando valores cada vez más bajos y menos esperados. Que sea pues, el dato de la redundancia de los sistemas urbanos de drenaje convencional, un pretexto para incluir en las ciudades más infraestructura verde en donde los procesos naturales le den paso a funciones como la gestión del agua de lluvia y la creación de espacios públicos con ambientes lúdicos, recreativos, más saludables.

BIBLIOGRAFÍA

- Brailovsky, A. 2010. Buenos Aires, ciudad inundable. 1ª Ed. Le Monde Diplomatique, Argentina. 225 pp.
- Estaciones meteorológicas de algunos municipios de Antioquia. 2017.
- Gaspari, F.J., Senisterra, G.E. y Marlats, R.M. 2007. Relación precipitación-escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXIX: 21-28.
- Karamouz, M., Hosseinpour, A. y Nazif, S. 2011. Improvement of urban drainage system performance under climate change impact: case study. Journal of Hydrologic Engineering 16(5): 395-412.
- Keller, E. 1996. Environmental Geology. Prentice hall, Inc. New Jersey, New York.
- Kreimer A., Kullock D., Valdés, J. 2001. Disaster Risk Management Series, Inundaciones en el área metropolitana de Buenos Aires. 1ª Ed, EEUU, Ed. Castellano, Pierini M. y Barahona-Strittmatter A.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 2012. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO D. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias. -- 2da. Ed. / Vice-ministerio de Agua y Saneamiento Básico (Ed.); Universidad de los Andes. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados -CIACUA (consultor). Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 282 pp.
- Rico, J. C. 2004. El paisajismo del siglo XXI. Entre la ecología, la técnica y la plástica. Silex ediciones. Alcalá, Madrid.
- Santos y Ganges, L. 2002. Las nociones de paisaje y sus implicaciones en la ordenación. Revista Ciudades 7: 41-68.