

REDUCCIÓN DE RIESGO DE INUNDACIÓN URBANA MEDIANTE INCREMENTO DE ÁREAS VERDES.

Zimmermann, Erik⁽¹⁾ y Laura Bracalenti⁽²⁾

⁽¹⁾Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, CONICET. ⁽²⁾ Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño, UNR. Rosario, Argentina. E-mail: erikz@fceia.unr.edu.ar

Riobamba 245 bis. 2000 Rosario. TeleFax 0341-4808541

RESUMEN

Se describen efectos producidos por el incremento de las áreas verdes en espacios urbanos y periurbanos, como techos verdes, agricultura y silvicultura. Como efectos positivos que tienden a capturar el escurrimiento y mejorar el funcionamiento de la infraestructura de drenaje pluvial se reconocen los incrementos de la capacidad de interceptación y de la capacidad de almacenamiento e infiltración en el suelo.

Se presenta un método simple para estimar un indicador, basado en el coeficiente de escurrimiento del método racional, que permita cuantificar la magnitud del impacto de áreas verdes en el escurrimiento pluvial de una cuenca urbana.

Finalmente, se propone una metodología para relacionar cambios en el indicador, conforme a diversos escenarios futuros de uso del suelo, con modificaciones del riesgo de inundaciones. Esta relación permite detectar que los pequeños aumentos de zonas verdes en los sistemas urbanos reducen significativamente el riesgo de inundaciones.

INTRODUCCIÓN

La escorrentía superficial constituye un componente del ciclo hidrológico que provoca alto impacto en las zonas urbanas. Para su evaluación se deben considerar las entradas por precipitación, los procesos de intercepción de la lluvia por parte del follaje y su infiltración en las áreas permeables. En función de cómo se den estos procesos resultarán los volúmenes de agua almacenados en el suelo que permitirán, luego, la evapotranspiración y la recarga de acuíferos.

En las ciudades, el aumento sostenido del exceso de precipitación -o precipitación efectiva- debido a la creciente impermeabilización del suelo, se ha convertido en una preocupación ambiental seria a la que se suma el incremento de las lluvias anuales, en determinadas áreas, debido a las consecuencias del calentamiento global.

La inundación repentina en estas áreas ante lluvias intensas por sobrecarga de los sistemas de drenaje, constituye un problema recurrente con impactos negativos de gran importancia social y económica. Pueden citarse las sucesivas inundaciones de barrios de la ciudad de Rosario provocados por los desbordes del arroyo Ludueña, tales como Empalme Graneros (1986), Nuevo Alberdi (2007), Fisherton (2012), etc.

Ante el aumento de la pavimentación y de las lluvias, el hidrograma de crecida en cuencas en proceso de urbanización se va modificando, presentando caudales pico más altos y tiempos de ascenso más cortos a medida que la impermeabilización del suelo aumenta. Las condiciones en base a las cuales se han diseñado los distintos elementos de la red de drenaje urbano (hidrograma de proyecto) se modifican significativamente debido a la impermeabilización del suelo, implicando un desajuste entre las demandas y la capacidad de respuesta del sistema. Frente a las tendencias crecientes de los procesos de urbanización, este problema se tornará más complejo y difícil de resolver si no se toman medidas inmediatas que puedan desarrollarse paralelamente a los mencionados procesos de pavimentación y edificación.

Dado que además, en estas áreas urbanas la adecuación necesaria de la infraestructura pluvial - conforme aumentan las precipitaciones y la impermeabilización- demanda grandes inversiones e intervenciones muchas veces inviables en sectores con alta densidad edilicia, es prioritario definir estrategias sinérgicas de solución -para éste y otros problemas ambientales asociados- que permitan reducir los volúmenes de salida por escorrentía a través de incrementar el agua interceptada, la absorbida por el soporte edáfico y la almacenada en receptáculos de diverso tipo.

Planificar y diseñar ciudades con mayores superficies permeables para reducir y retardar el volumen de agua a derivar a la red de drenaje, es una alternativa que puede implicar, además, otros muchos efectos positivos. Es un hecho probado que, frente a los conflictos que plantea el crecimiento urbano y la incertidumbre que genera el cambio climático, preservar áreas verdes en cantidad, calidad y conectividad adecuadas, es un modo de garantizar la prestación de servicios ecosistémicos indispensables para la vida en las ciudades.

De hecho, existe la tendencia en países que han alcanzado un alto grado de urbanización y desarrollo, no sólo a preservar, sino también a recuperar los espacios de la "infraestructura verde" o sistema espacial formado por relictos de naturaleza (bosques, pastizales, cuerpos de agua con poca

incidencia antrópica, etc.), o creados (agroecosistemas, parques, plazas, paseos y otros espacios con cobertura vegetal), que hacen posible y mejor la vida en las ciudades

Caso de la ciudad de Rosario

Los sectores ubicados al norte de la ciudad se encuentran afectados por frecuentes desbordes del arroyo Ludueña, y sus afluentes, los canales Salvat e Ibarlucea. La cuenca de aporte del mencionado arroyo se ubica al norte y al oeste del distrito y abarca un área de 700 km².

Existen evidencias físicas que indican que el nivel de protección ante inundaciones ha descendido respecto a lo que fuera previsto en los años 1986-88 como criterio de diseño para eventos de recurrencia de $R = 100$ años. La conjunción de factores tales como importantes procesos de urbanización, canalizaciones (planificadas y clandestinas) rurales y urbanas, drenaje de bajos naturales, y modificaciones en las prácticas de uso de las tierras rurales, están produciendo un paulatino aumento de los caudales máximos de escurrimiento superficial como así también del volumen de escurrimiento para lluvias de igual magnitud. En este sentido existen trabajos antecedentes que pusieron de manifiesto estos efectos (Zimmermann et al. 2001, Riccardi et al. 2008). Desde otra perspectiva, el proceso puede verse como una disminución del nivel de protección ante inundaciones en diversos sectores de la cuenca hidrográfica pero con mayor impacto en las zonas urbanas cuenca abajo donde las permanencias de las inundaciones son de mayor tiempo que en sectores de la cuenca media y alta.

Una de las mayores evidencias indicadoras de este sistemático incremento de caudales son los sucesivos aumentos de la capacidad necesaria de descarga del arroyo Ludueña en el río Paraná que debieron y deberán llevarse cabo para mitigar inundaciones:

- en la década del 40 se necesitaron 23 m² de sección transversal de conducciones cerradas para entubar, en aproximadamente 1400 m, el caudal de diseño del arroyo (caudal aproximado de diseño 100 m³/s)
- en la década del 60 se debió incrementar a 36 m² la capacidad de las conducciones debido a inundaciones con fuerte impacto en el barrio de Empalme Graneros de Rosario (caudal aproximado de diseño 150 m³/s)
- a partir de las inundaciones de 1986 con severos impactos en barrios del oeste de la ciudad de Rosario, se proyectó elevar a 73 m² la capacidad de las conducciones cerradas con el agregado de una presa de retención para laminar el caudal máximo proveniente de casi un 60 % del área de la cuenca (caudal aproximado de diseño 300 m³/s)
- en el año 2007 de haber estado construidas todas las obras, la capacidad proyectada en 1986/88 hubiera sido levemente superada con un caudal aproximado de 310 m³/s

A partir de 2008 se comenzaron a detectar nuevas urbanizaciones, barrios cerrados y abiertos, estos últimos de libre acceso lo cual implica la apertura de calles en predios antes utilizados para las actividades agrícola-ganaderas sin la instalación de cercos perimetrales. Los barrios abiertos son desarrollados por emprendedores inmobiliarios pero, en algún momento, pasan a depender respecto a las tareas de mantenimiento de las respectivas Comunas o Municipios. El incremento de la superficie a urbanizar solicitada año a año puede resumirse en la Tabla 1 (Dirección Provincial de Protección Urbana Contra Inundaciones, 2012).

Si se compara esta superficie futura a urbanizar (oficialmente declarada) con la actualmente urbanizada en la cuenca, que es de 4920 hectáreas, resulta que se está planteando un incremento para el Gran Rosario de un 76% en el mediano plazo.

Tabla 1. Evolución de las Solicitudes de Urbanización en Superficie a Urbanizar.

AÑO	SUPERFICIE (has)	SUPERFICIE ACUMULADA (has)
2008	206	206
2009	1170	1376
2010	1079	2455
2011	840	3295
OTROS	420	3715

El hecho es que el impacto presente y futuro de este incremento de la impermeabilización será muy dificultoso (además de injusto) de absorber mediante obras de infraestructura urbana debido a la densidad edilicia de los sectores que afectarían.

ESTRATEGIAS AFUP

La agricultura y la forestación urbana y periurbana (AFUP) implica una estrategia adecuada para la planificación de interfases periurbanas y el aprovechamiento de espacios vacantes intraurbanos, porque posibilitan la producción de alimentos sanos cerca de los espacios de consumo, trabajo genuino y espacios verdes diversos que garanticen una mejor calidad ambiental al futuro intraurbano.

Desde un punto de vista hidrológico, estos espacios verdes fomentan la infiltración y almacenamiento de agua de lluvia. Esto implica mantener la porosidad del suelo natural, aumentar la cubierta vegetal, especialmente en las zonas inundables para protegerlas de posibles urbanizaciones.

A través de la recuperación de suelos degradados compactados y puestos en producción agroecológica, se mejora significativamente sus propiedades básicas, tales como capacidad de infiltración e intercepción. Para favorecer la infiltración, la superficie pavimentada de calles, veredas, espacios públicos y techos de viviendas pueden convertirse a superficies verdes ("terrazas vegetadas" o "techos verdes").

Un "techo vegetado" consiste en la construcción de espacios verdes "contenidos" por encima de una estructura hecha por el hombre . Este espacio verde puede estar sobre o por debajo del nivel del suelo , pero en todos los casos , la vegetación no es nativa. La capacidad de retención de las cubiertas verdes puede dar lugar a cambios en los procesos hidrológicos. P. ej. Reducción de la escorrentía por la retención de la lluvia. La diferencia entre la humedad volumétrica inicial del sustrato y la que corresponde a la capacidad de campo se retiene en el medio poroso y luego regresa a la atmósfera mediante evapotranspiración. Experiencias realizadas por la EPA muestran que en modelos experimentales la precipitación anual capturada es de alrededor del 50 % al 95 % en la temporada de verano. Resultados experimentales muestran también una reducción de caudales pico de la escorrentía de aproximadamente el 50 % (EPA 2009).

MODELOS E INDICADORES PARA MEDIR IMPACTO POTENCIAL SOBRE EL ESCURRIMIENTO

Una metodología sencilla, que se puede utilizar para estimar el impacto de AFUP en la escorrentía urbana, consiste en la aplicación de la, actualmente utilizada, fórmula racional.

El método racional fue desarrollado por Mulvaney (1850), el cual describe por primera vez el concepto de tiempo de concentración. La idea fundamental introducida por Mulvaney fue la siguiente: dada una cuenca de área A con un tiempo de concentración TC , si se produce una lluvia P con duración $D = TC$ el caudal generado en el punto de salida será el máximo ya que estará aportando toda la cuenca.

El método plantea una proporcionalidad entre el caudal máximo y la intensidad de lluvia y puede expresarse como:

$$Q = C_u \cdot C \cdot i \cdot A \quad (1)$$

donde: Q es el caudal de diseño (L^3 / T), C_u es el coeficiente de conversión de unidades, C es el coeficiente de escurrimiento (adimensional), i es la intensidad de la precipitación de diseño (L / T), y A es el área de drenaje de cuencas (L^2). El coeficiente de conversión de unidades, C_u , es necesario porque el producto iA , mientras que tiene unidades de L^3 / T , no es una unidad estándar en el sistema de unidades tradicionales.

El coeficiente de escurrimiento, C , es la variable que presenta mayor incertidumbre en su determinación, y representa una relación adimensional entre la lámina de escorrentía superficial generada por una determinada cuenca y la lámina de la precipitación. El coeficiente de escorrentía varía con la pendiente, condiciones de la superficie y de la cubierta vegetal y el tipo de suelo hidrológico. Las superficies que son relativamente impermeables como las calles y plazas de aparcamiento tienen coeficientes de escorrentía se aproximan uno. Las superficies con vegetación para interceptar la escorrentía superficial y las que permiten la infiltración de las precipitaciones tienen coeficientes de escorrentía más bajas (cercanas a 0). Todos los demás factores son iguales, una zona con una mayor pendiente tendrán más escorrentía de aguas pluviales y así un coeficiente de escorrentía más alto que una zona con una pendiente inferior. Los suelos que tienen un alto contenido de arcilla no permiten mucha infiltración y por lo tanto tienen coeficientes relativamente altos de escurrimiento, mientras que los suelos con alto contenido de arena tienen mayores tasas de infiltración y bajos coeficientes de escorrentía.

Este coeficiente se puede cuantificar en términos de tipo de suelo, pendiente topográfica y el tipo de cobertura. En el caso de que haya heterogeneidades en dichos parámetros, debe ser estimado mediante áreas de ponderación un valor representativo del coeficiente de escurrimiento. En este caso un C compuesto se puede definir como:

$$C_c = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i} \quad (2)$$

donde C_c es el coeficiente de escorrentía compuesto, C_i son los coeficientes de escorrentía de áreas homogéneas y A_i son áreas individuales con C homogéneo. Esta información se puede estimar mediante imágenes satelitales, cartografía de suelos y modelos digitales del terreno.

La intensidad media máxima, i , se determina a partir de curvas Intensidad-Duración-Recurrencia (IDR) construidas con datos medidos en el sitio en estudio. Con dichas curvas se adopta una

duración de diseño igual al tiempo de concentración de la cuenca y para una recurrencia especificada se obtiene la intensidad media máxima.

El tiempo de concentración de una cuenca, t_c , se define como el tiempo que demora el sector más alejado de la cuenca en aportar a la sección de salida. El tiempo de concentración se calcula como la suma de los tiempos de escurrimiento mantiforme (no encauzado) y el tiempo de flujo canalizado (encauzado). Pueden existir varios recorridos posibles de flujo par a las diferentes áreas drenadas, el mayor tiempo de concentración de todos los tiempos, para los diferentes recorridos, es el tiempo de concentración crítico a adoptar para el área drenada.

Indicador para la evaluación de impactos

Teniendo en cuenta la descripción anterior, un indicador que permita evaluar el impacto de las zonas verdes en una urbanización determinada sería la variación del coeficiente de escorrentía. En consecuencia, la ecuación racional podría ser una herramienta útil para evaluar los diferentes escenarios, por ejemplo, la comparación de antes y después de cambios de usos de suelo. Podemos comparar situaciones con y sin AFUP, evaluando el impacto relativo entre ellos.

Los datos recogidos podrían ser utilizados para calcular la reducción en la escorrentía debido a una mayor ocupación de áreas AFUP en las cuencas urbanas. Se propone medir la "reducción en el coeficiente de escorrentía (ΔC) para el seguimiento de los impactos a nivel urbano (Zimmermann y Bracalenti 2012). Valores ΔC negativos para cualquier período de tiempo indican una disminución neta de la escorrentía (y consecuente reducción de riesgo de inundación), provocado por un aumento en la infiltración/ almacenamiento de la precipitación en esa superficie urbana. El indicador ΔC , en términos porcentuales, se puede calcular la de la siguiente manera:

$$\Delta C = 200 \frac{C_{t+1} - C_t}{C_{t+1} + C_t} \quad (3)$$

donde C_{t+1} = es el coeficiente de escurrimiento para escenarios futuros (hipotéticos) y C_t = el coeficiente para un escenario actual.

Escenarios a considerar

Escenario actual (línea de base).

Este estudio se realiza a través de la lectura de imágenes aéreas y/o satelitarias de buena resolución, verificando en campo las clases detectadas de acuerdo a parámetros preestablecidos. Las clases se definen considerando las características de uso, morfología y materialidad, en base a las cuales se les asignará un coeficiente de escorrentía (C).

Escenarios Hipotéticos

La información construida para el análisis del Escenario Actual es aplicable al análisis de los escenarios hipotéticos, variando los coeficientes de escorrentía según el tipo de cobertura planteada. Se construirán cartografías representativas de estos escenarios utilizando una representación que sistematice las diferentes clases de cobertura planteadas.

Escenario Hipotético 1

Considerando edificada la actual superficie “urbanizable” de acuerdo a índices máximos permitidos por normativa actual y diferentes coberturas verdes en las áreas “no urbanizables”.

Pueden definirse dos sub-escenarios posibles para las áreas “urbanizables”:

- 1) Sin terrazas vegetadas ni veredas que incorporen el verde;
- 2) Con terrazas vegetadas y veredas que incorporen el verde

Pueden definirse dos sub-escenarios posibles para las áreas “no urbanizables”:

- 1) Considerando usos y coberturas verdes actualmente existentes;
- 2) Considerando usos y coberturas AFUP (espacios verdes públicos, áreas inundables, laterales de carreteras y ferrocarriles).

Escenario Hipotético 2

Considerando edificada la totalidad del área estudiada (áreas “urbanas”, “urbanizables” y “no urbanizables”) de acuerdo a índices máximos permitidos por normativa actual; a excepción de las áreas verdes públicas previstas por Código Urbano y Reglamento de edificación y las áreas de libre escurrimiento fijadas por normativa de inundación (si existiesen cursos de agua en el área estudiada).

RELACIÓN ENTRE LA REDUCCIÓN DE C Y LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN

Las áreas verdes urbanas mejoran el aire, el agua y los recursos del suelo al absorber contaminantes del aire, incrementar las áreas de captación y almacenamiento de agua y estabilizar los suelos. Los bosques urbanos actúan como amortiguadores de la temperatura --al dar sombra en el verano y detener el viento en el invierno-- además de reducir la contaminación por ruido y los niveles de CO₂ y proporcionar hábitat para la fauna silvestre. Los beneficios económicos incluyen madera y productos agrícolas, así como una variedad de productos forestales no maderables, tales como artículos artesanales y miel de abejas. Además de éstos servicios ambientales que brindan los espacios verdes, desde un punto de vista específicamente hidrológico y de la protección de inundaciones, es interesante analizar en qué grado generan el beneficio, es decir, cuantificar el beneficio.

Es importante definir la magnitud que reduciría el riesgo de inundación a partir de un incremento de la permeabilidad de la superficie urbana al incorporar más espacios “verdes”.

Usando la ecuación racional, el caudal de diseño para un espacio sin AFUP, en el tiempo t (escenario actual, por ejemplo) puede cuantificarse como:

$$Q_t = C_u \cdot C_t \cdot i_t \cdot A \quad (4)$$

donde Q_t es el caudal de diseño, C_t es el coeficiente de escorrentía e i_t es la intensidad de la lluvia de diseño, todas las variables en el tiempo t. El resto de variables se definió antes. La intensidad i_t tiene una duración equivalente al tiempo de concentración (T_c) de la cuenca, en el tiempo t.

Incluyendo áreas verdes por actividades AFUP (escenario hipotético, por ejemplo), en el tiempo t +1, el caudal de diseño será:

$$Q_{t+1} = C_u \cdot C_{t+1} \cdot i_{t+1} \cdot A \quad (5)$$

En este caso, la intensidad de lluvia tiene una duración equivalente al tiempo de concentración de la cuenca en el tiempo $t + 1$. Incluyendo las zonas verdes, el T_c será mayor que el mismo en situación sin AFUP. Despreciando esta situación, el caudal de diseño en la situación con AFUP será menor que el que corresponde al momento t , debido a que el coeficiente de escorrentía C_{t+1} será menor que C_t . En la situación en el tiempo t , la intensidad de lluvia, se corresponde con un nivel de protección determinado (período de retorno T_t). De acuerdo con Kieffer y Chu (citado por Chow et al. 1988), en el marco de un modelo empírico que ajusta una curva IDR, la intensidad de lluvia se puede expresarse como:

$$i = \frac{g \cdot T^m}{d^e + f} \quad (6)$$

donde T es el período de retorno, d es la duración y g , m , e y f son constantes que dependen de las características geográficas locales.

Podría pensarse la situación siguiente: Con la infraestructura de drenaje actual, supuestamente diseñada para el caudal Q_t , ¿en que magnitud se reduce el riesgo de inundaciones urbanas (se reduce en probabilidad de excedencia P , o aumenta el período de retorno T) ante el aumento de áreas verdes y la consecuente disminución del coeficiente de escorrentía C_{t+1} ?

En virtud de las consideraciones anteriores, podemos decir que:

$$Q_t = C_u \cdot C_{t+1} \cdot i'_{t+1} \cdot A \quad (7)$$

donde i'_{t+1} es la intensidad de la lluvia, asociada a un período de retorno T_{t+1} que en la nueva situación $t+1$ genera la descarga Q_t .

Igualando las ecuaciones (5) y (7) y teniendo en cuenta la ecuación (6), se tiene:

$$Q_t = C_u \cdot C_{t+1} \frac{g T_{t+1}^m}{d^e + f} \cdot A = C_u \cdot C_t \frac{g T_t^m}{d^e + f} \cdot A \quad (8)$$

Simplificando términos de la igualdad, tenemos:

$$\left(\frac{C_{t+1}}{C_t} \right)^{1/m} = \frac{T_t}{T_{t+1}} = \frac{P_{t+1}}{P_t} \quad (9)$$

donde P_t y P_{t+1} son las probabilidades de excedencia de la intensidad de lluvia en las situaciones t y $t+1$, respectivamente. Si graficamos la ecuación (9), se tiene (Fig. 1):

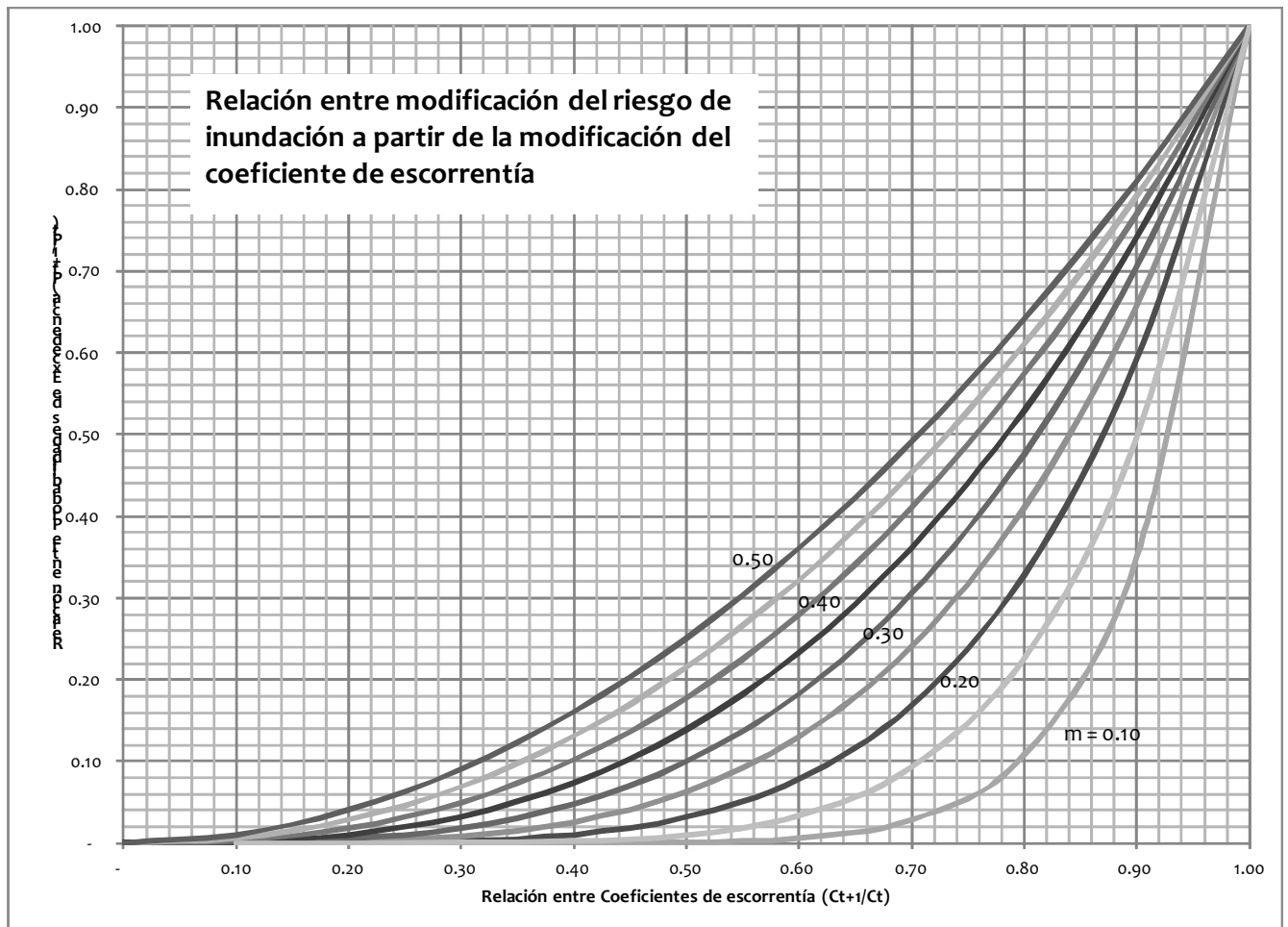


Figura 1. Relación entre cambios del riesgo de inundación y cambios del coeficiente de escorrentía.

Mediante pasos algebraicos se puede demostrar que:

$$\frac{C_{t+1}}{C_t} = \frac{200 + \Delta C}{200 - \Delta C} \quad (10)$$

Por ejemplo, el ajuste de la ecuación 6 para los datos de lluvia de la ciudad de Rosario (Argentina, 32 ° 57 'S, 60 ° 41' W), es $m = 0,122$. El promedio regional del parámetro m es 0.18 (Zimmermann 2013). Utilizando la Figura 1, una pequeña reducción del coeficiente de escorrentía del 5 % provocaría una reducción de probabilidad de 30 % ($P_{t+1} / P_t = 0,70$). Ampliando el ejemplo, puede interpretarse como: dados, en el diseño urbano de drenaje, una probabilidad de excedencia del 20 % (tiempo de retorno de 5 años), con una reducción del coeficiente de escorrentía del 5%, el nivel de protección alcanzaría el valor $0,70 * 20 \% = 14 \%$ de probabilidad de excedencia (nuevo tiempo de retorno aproximado 7 años).

CONCLUSIONES

Se analizan los efectos potenciales sobre el drenaje de aguas pluviales urbanas y suburbanas a través de la ocupación del territorio con actividades de agricultura orgánica, silvicultura y techos vegetados. La reducción de la escorrentía se debe a diferentes mecanismos de captura entre los que se incluyen: el aumento de la infiltración en el suelo recuperado, el aumento de la interceptación causado por el aumento de la cubierta vegetal, retención y posterior evapotranspiración, de lluvia captada por techos verdes.

En términos generales, se espera una reducción de la escorrentía pluvial urbana, lo que resulta en mejoras sustanciales en el sistema de drenaje, cuya infraestructura es muy difícil y onerosa de modificar.

Se propone un indicador, basado en el coeficiente de escurrimiento del método racional, para estimar el impacto en el drenaje pluvial ante cambios de uso del suelo, en particular, la reducción del mismo mediante un incremento de las áreas verdes.

Finalmente, se presenta una metodología para relacionar los cambios en el indicador propuesto con los consecuentes cambios en el riesgo de inundación. Esta última relación permite detectar que pequeños aumentos de zonas verdes en los sistemas urbanos reducen significativamente el riesgo de inundaciones.

REFERENCIAS

- Chow , Ven Te, David R. Maidment , y Larry W. Mays (1988). Applied Hydrology. McGraw -Hill.
- Dirección Provincial de Protección Urbana Contra Inundaciones (2012). Informe interno período 2008-2011. Secretaría de Aguas, MASPyMA, Rosario, Provincia de Santa Fe, Argentina.
- EPA - Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2009) Azoteas Verdes para el Control de la escorrentía de aguas pluviales . EPA/600/R-09/026 | febrero 2009 | [www.epa.gov / ord](http://www.epa.gov/ord)
- Riccardi G., Zimmermann E., Basile P., Stenta H., Scuderi C., Garcia M. y Rentería J. , (2008), "Implementación de Un Modelo De Escurrimiento Superficial en Cuencas del Sur de la provincia De Santa Fe, Argentina". XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia. 15 pags.
- Zimmermann, E., Basile Pedro A. y Riccardi Gerardo A. (2001) "Análisis de la Modificación en la Respuesta Hidrológica del Sistema del Arroyo Ludueña Provocada por Cambios en el Uso del Suelo". Seminario Internacional Sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas (SIMICH 2001). Rosario.
- Zimmermann, Erik y Laura Bracalenti (2012). Escorrentías pluviales y Regulación del Suelo en el municipio de Rosario. VI Jornadas de Ciencia y Tecnología 2012. Secretaría de Ciencia y Técnica. Universidad Nacional de Rosario.
- Zimmermann Erik (2013) Ajuste de funciones empíricas a las IDR Regionales. Comunicación personal. Departamento de Hidráulica. FCEIA. UNR.