



# IX Congreso de la IV Región de AIDIS

Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay



## X Congreso Paraguayo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

30-31 de Agosto y 1 de Septiembre 2017 - Asunción, Paraguay

### MITIGACIÓN DE IMPACTOS GENERADOS POR LA APLICACIÓN DE MEDIDAS NO-ESTRUCTURALES EN LA CALIDAD DE LA ESCORRENTÍA URBANA DE RESISTENCIA (CHACO)

Guillermo José Mendez <sup>1\*</sup>, Marcelo Justo Manuel Gómez <sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Grupo de investigación del Departamento de Hidráulica - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Nordeste

\*Av. Las Heras 727. Resistencia. Chaco. 3500. Argentina. Email: guillermojosemendez@hotmail.com

#### Resumen

El sector sur de la ciudad de Resistencia (Chaco - Argentina) descarga los efluentes pluviales al canal de la Av. Soberanía, donde se observa la acumulación de sedimentos que reducen su capacidad de flujo, provocada principalmente por la calidad de la escorrentía urbana y las bajas pendientes topográficas.

En el presente documento se realizó un estudio sobre el aporte de sedimentos de la cuenca de la avenida Las Heras, de 119 ha de superficie, al canal de la avenida Soberanía. El estudio implicó un análisis comparativo de dichos aportes bajo dos escenarios distintos, a lo largo de tres años hidrológicos (2007/08; 2008/09 y 2009/10). El primer escenario representó la situación actual (sin ninguna estrategia de limpieza de barrido de calles), y el segundo implicó la aplicación de estrategias que optimizarían el barrido de calles.

El análisis de los distintos escenarios se realizó mediante un modelo de calidad de agua, diseñado bajo el programa Stormwater Management Model (SWMM).

La metodología planteada permitió cuantificar el impacto que tendrá la aplicación de medidas no estructurales sobre la calidad de la escorrentía urbana y los costos de mantenimiento del sistema de macrodrenaje de Resistencia

**Palabras Clave:** Drenaje Urbano; SWMM, Calidad de Agua

#### Abstract

The south part of Resistencia city (Chaco - Argentina) discharge its pluvial effluents to the channel of Soberania Avenue, where accumulations of sediments are observed and reduce the capacity of flow. This is mainly caused by the urban runoff quality and the low topographic slopes.

A study about the sediments supply of the Las Heras basin, with an area of 119 has, to the channel of Soberania Avenue was made in the present document. The study involved a comparative analysis of those supply in two different scenarios, during three hydrological years ((2007/08; 2008/09 y 2009/10). The first one represented the current situation (without any strategy about street sweeping or the application of any low impact policy) and, the second one, involved the application of some strategies which improve the street sweeping.

The analysis of the different scenario was made by a water quality model, designed by the Stormwater Management Model (SWMM) program.

The methodology allowed to quantify the impact of the application of non-structural measures on the quality of urban runoff and maintenance costs of the macro-drainage system of Resistencia city.

**Keywords:** Urban drainage; SWMM, Water quality

#### Introducción

El manejo negligente del desarrollo urbano conlleva a la ocupación de áreas naturalmente inundables, el crecimiento no controlado de superficies impermeables y la falta de espacio para el manejo eficiente de las aguas pluviales. La impermeabilización de la superficie de la cuenca genera mayores caudales picos y un aumento del volumen total de la escorrentía, con la consecuente mayor efectividad en el lavado de los contaminantes depositados en superficies impermeable y un marcado aumento de las tasas de erosión del suelo. En tanto que la



# IX Congreso de la IV Región de AIDIS

Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay



## X Congreso Paraguayo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

30-31 de Agosto y 1 de Septiembre 2017 - Asunción, Paraguay

ocupación de áreas ribereñas y la falta de espacio para el manejo de aguas pluviales, ubican a muchas cuencas urbanas en situación de potencial anegamiento y a la exposición de sus pobladores a aguas contaminadas.

El desarrollo urbano no puede continuar sin la búsqueda de la sustentabilidad del espacio luego de ocurrida la ocupación por parte de la población. Al efecto, se entiende como “desarrollo sustentable” a aquel que "satisface las necesidades y aspiraciones de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras" (Organización de Naciones Unidas, World Commission on Environment and Development - WCED, 1987). Una definición alternativa (International Union for Conservation of Nature – IUCN, United Nations Environment Programme – UNEP, World Wide Fund for Nature- WWFN, 1991) afirma que el desarrollo sustentable es aquella que "mejora la calidad de la vida humana dentro de la capacidad de sostenimiento de los ecosistemas que lo sustentan", Los servicios sustentables tienen que ser ambientalmente amigables, socialmente aceptables y financieramente viables (Butler y Maksimovic, 1999).

Bajo esos conceptos, el drenaje debe incorporarse dentro de proyectos integrados de infraestructura urbana, cubriendo no solo problemas de mitigación de las inundaciones sino también aquellos referidos a la reducción de peligros contra la salud (calidad del agua) y problemas de un ambiente urbano ameno y gestión del recurso (Maksimovic, 2001). La evolución del drenaje urbano tiene como objetivo el cuidado de la cantidad y calidad del escurrimiento, basado en técnicas de control de fuente, que incluyen el almacenamiento, e infiltración mediante un “tratamiento secuencial” (Figura 1).

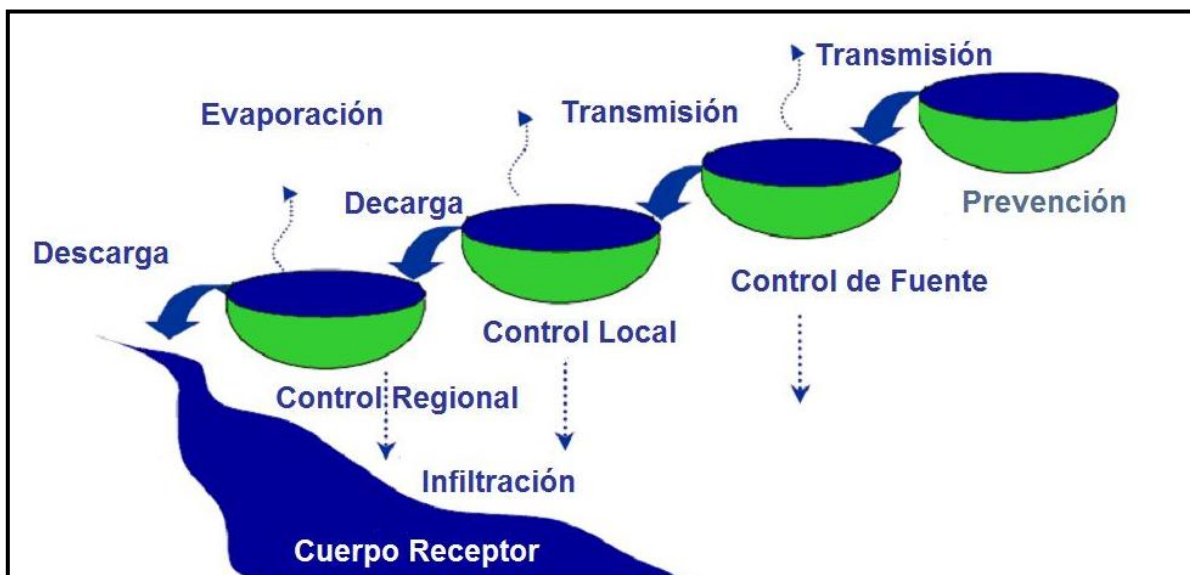


Figura 1. Tren de gestión de Drenaje superficial – Probable solución sustentable (Maksimovic, 2001).

Sin embargo existen muy pocos datos referidos a la calidad del efluente pluvial y sus más frecuentes contaminantes. Al respecto, unos de los contaminantes más importantes son los sedimentos. Estos, transportados por el drenaje urbano, generan depósitos que obstruyen los conductos del sistema mayor, aumentan la turbidez del agua, cambian el lecho del cuerpo receptor reduciendo su capacidad de flujo y afectando la vida acuática de este. Además la fracción más fina de los sedimentos es susceptible de transportar contaminantes adsorbidos tales como metales pesados, amonio, fertilizantes, pesticidas y policlorobifenilos (PCBs), entre otros. (Porto, 2001). Es decir, que los problemas generados por los sedimentos no solo atañen la calidad del agua sino que conllevan pérdidas de suelo y afectación del sistema de conductos del drenaje.

Dada la complejidad del proceso de erosión urbana es difícil identificar las fuentes de generación de sedimentos. En efecto, el ambiente urbano crea una gran y compleja mezcla de sedimentos que pueden ser provenientes de las



# IX Congreso de la IV Región de AIDIS

Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay



## X Congreso Paraguayo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

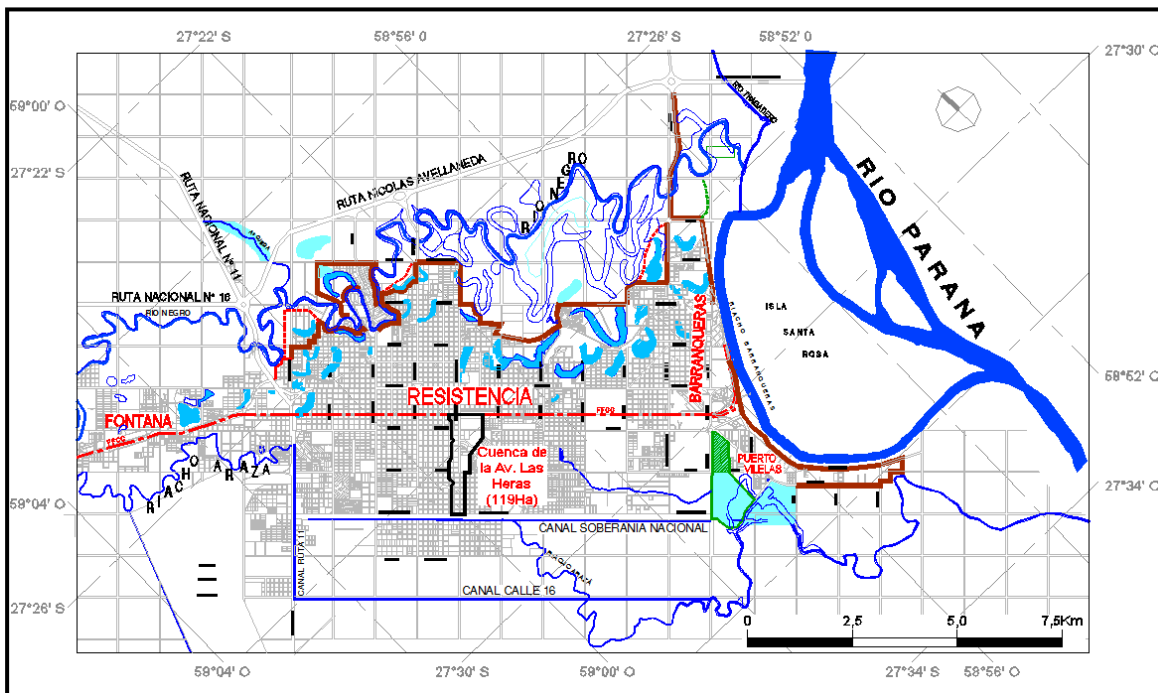
30-31 de Agosto y 1 de Septiembre 2017 - Asunción, Paraguay

cercanías, o bien ser importados de otras áreas próximas, o inclusive lejanas. Además, los materiales de construcciones civiles son fuentes importantes de sedimentos urbanos: estudios demostraron que altas concentraciones de calcio en lagos son debidas a este tipo de sedimento (Poletto et al, 2008). La escorrentía genera fuerzas que pueden provocar el arrastre de sedimentos acumulados en calles y zonas con suelo desprotegido, y los transportan a los conductos del sistema menor del drenaje urbano.

En este artículo son investigados dos aspectos importantes: (1) la tasa anual de sedimento que genera una cuenca del sector sur de la ciudad de Resistencia durante los 3 años y (2) la afectación que se genera realizar una apropiada estrategia de barrido de calles sobre dichas tasas. Un mejor entendimiento de estos aspectos será un subsidio importante que ayudará a conocer la calidad de la escorrentía urbana y propiciará un mejor diseño de sistemas de drenaje en áreas de llanura.

### Material y Metodología

Se adoptó como área de estudio la a la cuenca de la Avenida Las Heras. Su superficie total es de 119 ha, presenta pendiente muy baja (menor al 0,1%) y descarga mediante conductos cerrados y abiertos al canal de Av. Soberanía Nacional (Figura 2), emisario receptor y conductor de todas las descargas de dicho sector de la ciudad (CFI - AFIN, 1995).



**Figura 2.** Ubicación de la cuenca de Av. Las Heras.

La determinación de los caudales líquidos se realizó mediante un modelo de transformación lluvia – escorrentía, utilizando el programa SWMM (Stormwater Management Model), versión 5.0, de la EPA (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos.

El periodo de análisis correspondió a los años hidrológicos 2007/08, 2008/09 y 2009/10. En la región, los años hidrológicos se inician en el mes de septiembre y finalizan en el mes de agosto del año calendario siguiente. La ciudad de Resistencia presenta una precipitación anual media de 1350mm (APA-AFIN, 2001), en tanto que la precipitación diaria máxima media anual es de 116,8mm (Mendez et al, 2009). Los dos primeros años de análisis coincidieron con un periodo seco, con precipitaciones anuales por debajo de la media (Tabla 1), en tanto que en



# IX Congreso de la IV Región de AIDIS

Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay



## X Congreso Paraguayo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

30-31 de Agosto y 1 de Septiembre 2017 - Asunción, Paraguay

el último año esta situación se revirtió a partir de noviembre del 2010, cuando precipitaron 351mm en 7 días, evento que se estima tiene un tiempo de recurrencia de 20 años (Mendez et al, 2011).

**Tabla 1.** Precipitaciones Anuales y máximas diarias anuales del periodo de análisis y sus correspondientes tiempos de recurrencia de excedencia.

Año	Panual [mm]	Tiempo de Recurrencia [años]	Pmax [mm]	Fecha	Tiempo de Recurrencia [años]
2007/2008	870	0.9	82.5	27/12/2007	1.2
2008/2009	935	0.9	86.5	05/02/2009	1.3
2009/2010	1347.3	2,3	155	19/01/2010	6.6

Para el modelo de calidad de aguas se utilizaron dos expresiones suministradas por el SWMM, la de relación de caudales (RC) y la curva exponencial (EXP) detallados en las Ecuaciones 1 y 2, respectivamente, que fueron ajustadas por Mendez et al (2013.a).

$$Q_s = 0,10 \cdot Q^{1,66} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$Q_s = 0,03 \cdot q^{2,20} \cdot B \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

Qs: Caudal sólido o carga de lavado (g/s);

Q: Caudal o Descarga líquida;

q: escorrentía por unidad de área

B: acumulación de contaminante en masa por unidad de área, que puede ser expresado por la Ecuación 3 ajustada por Mendez et al (2013.b).

$$B = 600 \frac{g}{m^2} \cdot (1 - e^{-0,05 \cdot t}) \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

t: tiempo en días desde la última precipitación.

La curva exponencial (Ec. 2) difiere de la curva de relación en que considera a la carga de lavado afectada no solamente a la escorrentía sino también a la cantidad de contaminante acumulada sobre la superficie de la cuenca. La utilización de estos dos modelos obedece a los siguientes aspectos destacados:

- La relación de caudales (RC) al no considerar la acumulación de sedimentos en tiempo seco puede dar valores menores de concentraciones de sedimentos al inicio de la precipitación, es decir, descarta la presencia de un fenómeno de primer flujo.
- La curva exponencial, al considerar un aporte de contaminantes finito, puede dar valores menores a los registrados de concentraciones de sedimentos en la curva de recesión del hidrograma o iguales a cero en ciertos eventos que se registraron luego de intensas precipitaciones.

De esta manera, con la curva exponencial (EXP) se analiza el proceso de lavado de sedimentos acumulados en superficies impermeables que, al no estar estos adheridos a la superficie impermeable y ser esta última la primera en generar escorrentía en una precipitación cualquiera, es la fuente generadora de los altos valores de concentración en los albores de ciertas precipitaciones. Pero también, con la relación de caudales (RC) se considera el aporte de otras fuentes como lavado de suelos permeables.



# IX Congreso de la IV Región de AIDIS

Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay



## X Congreso Paraguayo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

30-31 de Agosto y 1 de Septiembre 2017 - Asunción, Paraguay

Así se supone que el aporte de la fuente finita es considerable solo en precipitaciones que generan bajo volumen de escurrimiento o en el inicio del escurrimiento de precipitaciones de fuerte intensidad y considerable duración. Por el contrario, el aporte de la fuente infinita es solo importante en condiciones de altos volúmenes de escurrimiento y despreciable en los albores del escurrimiento generado por cualquier precipitación.

La cuenca presenta un barrido manual con frecuencia de 50% de remoción obtenidos por Mendez et al (2013.b) y en concordancia con lo obtenido en cuencas urbanas españolas por Temprano González (1996).

En virtud de realizar un análisis comparativo que permita establecer el impacto de la aplicación de medidas no estructurales en el drenaje urbano se elaboraron dos escenarios: i) el primero denominado "Situación Actual" el cual se consideró como línea de base comparativa; ii) el segundo denominado "Con Estrategia de Barrido", el cual se consideró la aplicación de un barrido manual en las cunetas de calles después acaecida una precipitación.

La estrategia de barrido aplicada en el segundo escenario, obedece a las mayores cantidades de sedimentos considerablemente mayores a sus pares muestrales luego de una precipitación, observados por Mendez et al (2013.b), tal como puede observarse en la Figura 3.

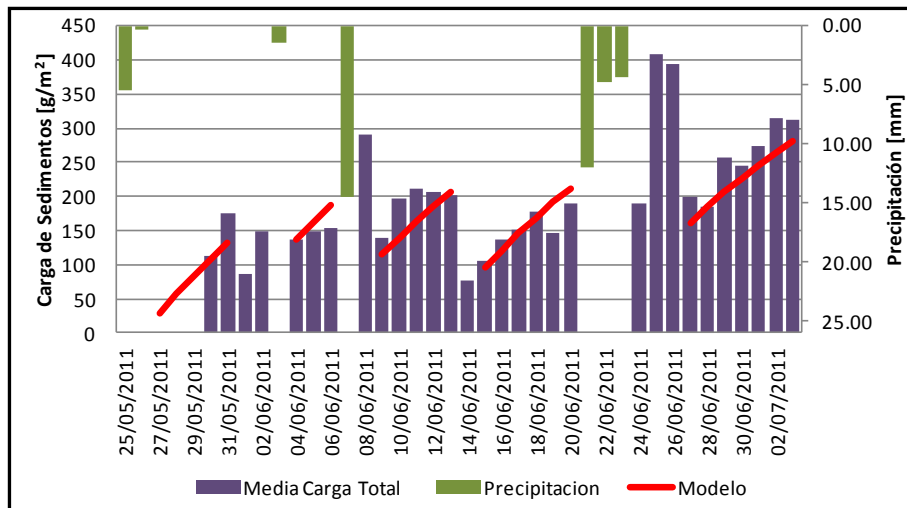


Figura 3. Carga de sedimentos acumulados en una calle de Resistencia (Mendez et al, 2013)

### Conclusiones

La metodología adoptada ha resultado eficiente, sencilla y de bajo costo para obtener tasas anuales de descarga sólida de sedimentos por parte de la cuenca de las Avenida Las Heras, a lo largo de los años hidrológicos 2007/08, 2008/09 y 2009/10, al canal de la Avenida Soberanía y el impacto que generarían sobre dichas tasas la aplicación de una correcta estrategia de barrido de calles y la aplicación de medidas no estructurales a nivel de lote.

Cabe mencionar que, como medidas aisladas o en el marco de un plan de desarrollo urbano de bajo impacto, muchas ciudades en el mundo, han desarrollado medidas no estructurales que buscan mitigar los impactos provocados por la urbanización en las aguas pluviales. El éxito de tales medidas solo pudo valorarse en el grado de aplicación de las mismas, asociadas a la aceptación ciudadana.

Por tanto es recomendable el desarrollo de incentivos y sanciones de tipo económico como medidas de control y aplicación de planes de desarrollo urbano de bajo impacto en lo referido al drenaje urbano.

### Referencias Bibliográficas



# IX Congreso de la IV Región de AIDIS

Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay



## X Congreso Paraguayo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

30-31 de Agosto y 1 de Septiembre 2017 - Asunción, Paraguay

- Administración Provincial del Agua (APA) – Asociación de Apoyo a la Facultad de Ingeniería de la UNNE (AFIN). (2001). Línea de ribera de lagunas ubicadas en el sistema Hídrico del río Negro. Informe final. Resistencia, Argentina.
- Butler D., Maksimovic C. (1999). Urban Water Management; Challenges for the next Millennium. Progress in Environmental Sciences, (1) 3. 213-235.
- Consejo Federal de Inversiones (CFI), Asociación de Apoyo a la Facultad de Ingeniería de la UNNE (AFIN). (1995). Estudio de los desagües pluviales del sector sur de Resistencia. Resistencia. Argentina.
- IUCN, UNEP, WWF. (1991). Caring for the Earth. A Strategy for Sustainable Living. Gland, Switzerland.
- Maksimovic C. (2001). Urban drainage in specific climates, Vol. 1, International Hydrological Programme. Paris.
- Mendez, G. J., Oscar, O., Depettris, C.A. & Ruberto, A. R.. (2013.a). Relación entre Cargas de Sedimentos Acumulados en Tiempo Seco y Carga de Lavado. XXIV Congreso Nacional del Agua, Argentina. San Juan, Argentina.
- Mendez, G. J., Depettris, C. A., Pilar, J. V., Kutnich, E.J. & Gomez, M.J.M. (2013.b). Modelo de Acumulación de Sedimentos en una Calle de Resistencia. XXIV Congreso Nacional del Agua, Argentina. San Juan, Argentina.
- Mendez, G. J., Ruberto, A. R., Pilar, J. V., & Depettris, C. A. (2011). Regionalización de Precipitaciones Máximas Acumuladas de 7, 15 y 30 días para las Provincias de Chaco y Formosa. Revista ASAGAI, (26), 71-78. A. (mayo de 2011). Regionalización de Precipitaciones.
- Mendez, G. J., Ruberto, A. R., & Pilar, J. V. (2009). Regionalización de precipitaciones para las provincias de Chaco, Formosa y Santiago del Estero. XXII Congreso Nacional del Agua, Argentina. Trelew (Chubut), Argentina.
- Poleto C., Zuleica, C.C. (2008). Polucao Difusa de Sedimentos en Bacias Urbanas. In: Poleto C. Ambiente Sedimentos, Associacao Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 193-227.
- Porto M.F.A. (2001). Water quality of overland flow in urban areas. In: Maksimovic C (ed) Urban drainage in specific climates, Vol. 1, International Hydrological Programme. Paris, 103 - 121.
- Temprano González J., Cervigni M., Suárez López J., Tejero Monzón J.I. (1996). Contaminacion en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia: control en origen. Ciencia y Técnica de la Ingeniería Civil, Revista de Obras Públicas N°3352.
- World Commission on Environment and Development. (1987). Our Common Future. Oxford University Press, Oxford.