

## **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN DESAGÜES PLUVIALES**

**Jorge COLLINS, Graciela BERNAL, José MACOR**  
**Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral**  
**Centro Regional Litoral – Instituto Nacional del Agua**  
**Patricio Cullen 6161 - Santa Fe (3000) Te: (0342) 4605910 Fax: (0342) 4604540**  
[jorgecollins@ina.gov.ar](mailto:jorgecollins@ina.gov.ar)

### **RESUMEN**

Se evalúa la calidad del agua producida por los desagües pluviales que impactan en los ambientes acuáticos colindantes a las áreas urbanas. Se desarrolla en la cuenca urbana experimental Guadalupe Oeste de la ciudad de Santa Fe, donde los vertidos pluviales descargan en un reservorio que finalmente desagua en la laguna Setúbal.

Se miden los procesos de precipitación – escorrentía en forma continua y se muestrea discontinuamente las descargas pluviales, donde se realizan bioensayos de toxicidad y determinaciones de PH, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales, fijos y volátiles, nitritos, nitratos, fósforo, cromo y plomo. Se utiliza el modelo de simulación SWMM para representar el proceso de escorrentía y para analizar el fenómeno de concentración de material producido por el movimiento urbano y posterior lavado del mismo por efecto de la precipitación representada a través de las determinaciones medidas. Se analiza el comportamiento de los parámetros de las ecuaciones que representan dichos procesos.

Esta simulación de la calidad del escurrimiento urbano presenta gran incertidumbre tanto por la problemática en la adquisición de datos físico químico y biológico, como por la representación del proceso físico.

Los resultados obtenidos son indicativos de los procesos generados y sirven para el diseño de reservorios temporales capaces de minimizar la carga contaminante que impacta en el receptor final.

**Palabras claves:** Hidrología Urbana – Calidad del Agua

# EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN DESAGÜES PLUVIALES

## INTRODUCCIÓN

El proceso de urbanización produce modificaciones en la cantidad y calidad del agua de escorrentía producida en una cuenca; pudiendo observarse rápidamente, al comparar los hidrogramas generados y la calidad del agua superficial antes y después de producido los cambios.

La aparición de calles, pavimentos, techos, estacionamientos, veredas, patios impermeables, conductos, cordones etc., modifican las condiciones naturales de infiltración, percolación, escorrentía, produciendo incrementos de los caudales picos, del volumen de escorrentía, del tiempo de concentración, de la velocidad del escurrimiento, incrementando la frecuencia de inundación y de la calidad del agua producida por el lavado de nutrientes sobre la superficie de una cuenca a partir del agua precipitada.

Este trabajo se desarrolla dentro de un proyecto de investigación, financiado por la Universidad Nacional del Litoral a través de los programas de investigación y desarrollo CAI+D “Evaluación del impacto ambiental producido por los desagües pluviales en los ambientes acuáticos colindantes a las ciudades”.

Se evalúa la calidad del agua de los desagües pluviales urbanos de la ciudad de Santa Fe en la cuenca experimental Guadalupe Oeste y su impacto en los ambientes acuáticos receptores – Laguna Setúbal.

Los objetivos específicos son:

- Analizar la calidad físico-química y biológica de los desagües pluviales, del reservorio de almacenamiento y del receptor final de la cuenca experimental.
- Modelar los parámetros físico-químicos y biológicos en función de la variación del régimen pluvial en el área de drenaje pluvial y en el reservorio.
- Evaluar medidas estructurales y no estructurales que disminuyan el impacto ambiental del área urbana sobre los reservorios de almacenamiento.

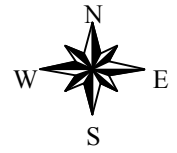
El ecosistema acuático receptor es particularmente susceptible al impacto de la urbanización. La masa de agua proveniente del escurrimiento natural y de las condiciones físico química generadas por el canal reduce el valor del “hábitat de la corriente”. Dietemann, Ragan and Bietemann, Klein, MWCOG y otros han trabajado sobre la diversidad y abundancia en el tiempo en las corrientes urbanizadas. Cada uno de los estudios ha mostrado que las comunidades ictícolas disminuyen en su diversidad y aumentan su composición con aquellas que son más tolerantes al igual que los insectos. Los cambios en los caudales picos, tiempos, frecuencias y en la temperatura del agua, en los niveles de oxígeno, en el contenido de sedimentos y trazadores metálicos generados a partir de una urbanización producen una degradación y modificación en el ecosistema urbano.

Las actividades del hombre sobre la cuenca provoca un sin número de tóxicos y otros elementos que deterioran la calidad del medio ambiente. Muchos son procesados y transformados en sustancias relativamente inocuas antes de que lleguen a los sistemas naturales. Sin embargo sustancias producidas en los domicilios y en la vía pública son eliminados a través de los desagües pluviales de manera constante o durante los eventos de lluvia siendo los ambientes acuáticos los receptores finales. Esta eliminación ocurre de manera clandestina o por el lavado que realiza el agua de las precipitaciones sobre las superficies impermeables y permeables de la ciudad. De esta manera los ambientes acuáticos sufren el impacto de contaminantes de diversos orígenes, los cuales se ven afectados aún más cuando su actividad aumenta.

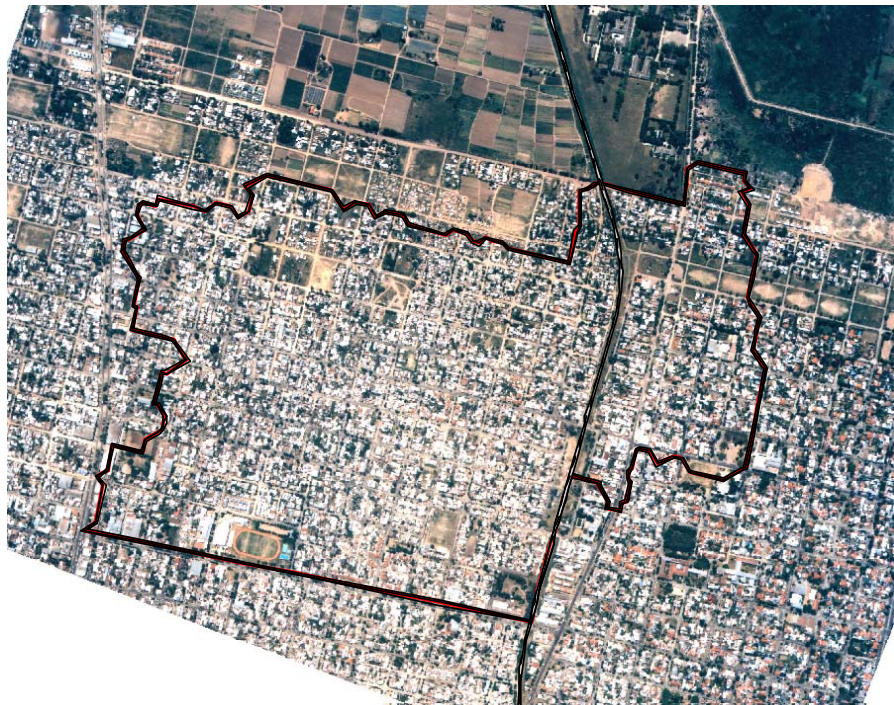
### **Ubicación del área de estudio**

La cuenca urbana experimental Guadalupe Oeste se encuentra al noreste de la ciudad de Santa Fe, con una superficie aproximada de 200 ha., está ocupada por viviendas familiares, talleres y depósitos que cubren grandes superficies impermeables. (Fig. 1 Ubicación del Área de Estudio)

*Fig. 1 Ubicación del Área de Estudio*



**Monitoreo**



En la cuenca se realiza en forma permanente el registro de niveles en conducto a la salida de la cuenca y de precipitación a través de un pluviógrafo.

Se han realizado muestreos de agua a la salida de la cuenca en la estación de medición de niveles y caudales y a la salida del cuenco de detención transitoria aguas abajo de la misma, antes de su descarga final en la laguna Setúbal y en la laguna Setúbal propiamente dicha. Las tomas de agua pluvial, se hicieron para 7 tormentas en diferentes estaciones del año en los años 2002/2003/2004, donde se han determinados parámetros físico-químicos y se han realizado ensayos de toxicidad aguda, de fitoplancton y zooplancton.

Las determinaciones físico-químicas son de temperatura, conductividad, PH, oxígeno disuelto, sólido totales, sólidos fijos, sólidos volátiles, nitrito, nitrato, fósforo (como ortofosfato) realizados en el Laboratorio de Química y Ambiente de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas y las determinaciones de cromo y plomo en el INTEC (Conicet).

Los tests de toxicidad aguda, de fitoplancton y zooplancton se realizaron en el laboratorio de bioensayos del Instituto Nacional de Limnología (INALI- Conicet). Los test de toxicidad se realizaron a las 72 hs. con procedimientos protocolizados por EPA a partir de neonatos de 24 hs de *Daphnia magna* siguiendo el protocolo establecido para D.M (ISO 6341).

Para cada tormenta se hicieron diferentes muestreos a distintos tiempos mientras transcurre el hidrograma de salida y antes y después de producida la tormenta, a los efectos de determinar la variación de cada elemento estudiado.

## METODOLOGÍA

La generación de poluentes de un área impermeable puede ser modelado como un proceso de concentración **“Build up”** del mismo producido en los períodos de sequía, que luego será lavado o retirado de la cuenca, en un proceso denominado de lavado **“Wash off”** del sedimento y de los contaminantes acumulados durante los eventos lluviosos.

Esta aplicación es estrictamente limitada a pequeñas áreas impermeables donde el aporte de poluentes es finito y esta limitado al material existente sobre la superficie de la cuenca. La polución originaria de superficies permeables, tales como suelos erodados, no pueden ser modelados usando un algoritmo exponencial de lavado porque el aporte de sedimentos puede ser ilimitado. La función de lavado para este caso, puede ser ajustada entonces, a una función de la intensidad de la tormenta y no del volumen de escorrentía.

El algoritmo aplicado resulta una relación exponencial entre el lavado de poluentes y el volumen de escorrentía. Estas funciones son las expresadas por modelos matemáticos como el SWMM.

Metcalf y Eddy Inc. et al. (1971) propuso que la tasa de poluentes o sedimentos de lavado de una área impermeable es proporcional a la masa del poluentes presente

$$dP/dt = -kP$$

Dónde:

P: masa de poluentes presente sobre la superficie impermeable que es disponible para el lavado (kg).

t: tiempo desde el comienzo de la tormenta (s)

k: coeficiente de decaimiento ( $s^{-1}$ )

k puede asumirse como una tasa de escorrentía r en función del tiempo y puede variar a partir de cada tormenta (mm/s).

w coeficiente de lavado empírico ( $mm^{-1}$ )

Integrando:

$$P = P_0 \exp(-w R)$$

Dónde:

$P_0$  = masa de poluentes al comienzo de la tormenta (kg)

$R = \int r dt$  escurrentía acumulada desde el inicio de la tormenta (mm).

Esta ecuación representa una forma exponencial de la ecuación de lavado, como expresión de exportación de partículas de poluentes y sedimentos en pequeñas cuencas impermeables (Sartor y Boyd 1972).

Los parámetros  $w$  y  $P_0$  deben ser estimados donde:

- $w$  es empírico sin un significado físico, donde originalmente era un valor de  $0.18 \text{ mm}^{-1}$  que corresponde al 90% de poluentes que esta siendo lavado a partir de la primera mitad de pulgada de escurrentía (Metcalf y Eddy Inc. Et al. 1971). Luego se ha visto que  $w$  depende de la cuenca específica (pendiente de la cuenca, área e intensidad de la lluvia) y varía con el tipo de poluente.
- $P_0$  es la masa de poluente al comienzo de la tormenta, dependiente de la tasa de acumulación de poluentes (kg/día), del número de días antecedentes como así también de la tasa residual de la tormenta previa.

Entonces las estimaciones de  $w$  y  $P_0$  pueden ser obtenidas a través del modelo de calibración del SWMM o por el análisis de eventos individuales.

Otra forma de estimar el lavado de una cuenca urbana resulta de reformular la ecuación de lavado en términos de concentración en vez de masa, donde valores de  $w$  y  $P_0$  pueden ser determinados analíticamente (Robert Millar 1999) a partir de muestreos de agua y de la estimación de la escurrentía a la salida de la cuenca.

Por definición la concentración de poluentes en la escurrentía  $C$  (mg/l) es igual a la masa de poluentes exportado de la cuenca ( $-dP$ ) dividido por el volumen de escurrentía a la salida de la cuenca ( $dV$ ). El signo negativo de  $dP$  corresponde a la masa residual de poluentes sobre la superficie de la cuenca.

$$C = -dP/dV = -dP/dR$$

Donde:

A: Área impermeable de la cuenca ( $\text{Km}^2$ )

A  $dR$ : volumen de escurrentía generado en un intervalo de tiempo  $dt$ .

$C$  representa la concentración media de poluentes en un volumen de escurrentía  $dV$ . En el límite  $dV$  se aproxima a cero,  $C$  se aproxima a la concentración instantánea.

Diferenciando y sustituyendo:

$$C = C_0 \exp(-wR)$$

$C_0$  es la concentración de poluentes al comienzo de la tormenta:

$$C_0 = w P_0 / A$$

Esta es otra forma alternativa de la misma ecuación de lavado.

La concentración medida de sedimentos o de poluentes puede ser ploteada con la altura de escurrentía y ajustada a una curva exponencial con los datos. Los valores de  $w$  y  $C_0$  pueden ser obtenidos directamente de la ecuación exponencial ajustada.

## RESULTADOS

Se realizaron las calibraciones de los diferentes muestreos a partir de la función exponencial decreciente, que representa el efecto de lavado “Wash off”.

Se presentan los ajustes obtenidos de los eventos de fecha 19/11/2002 y 3-4/09/2003 de los siguientes parámetros a modo de ejemplos en las Figuras 2 al 9

- Sólidos Totales
- Conductividad
- Nitrato
- Toxicidad

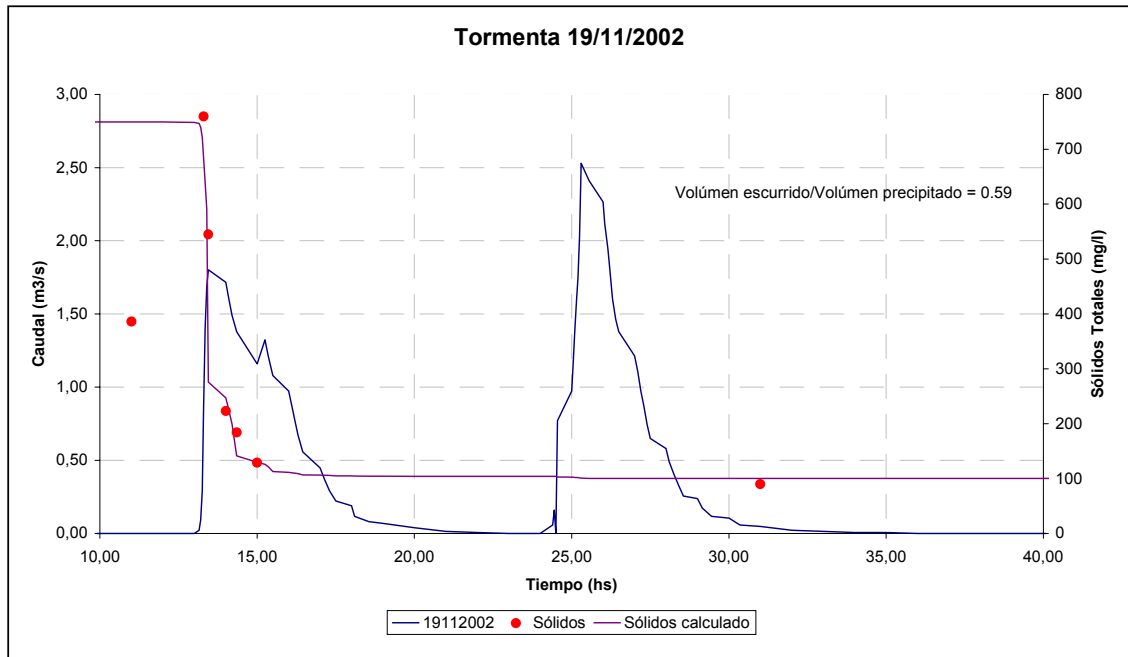


Fig 2 Tormenta del 19/11/2002 Parámetro evaluado – Sólidos Totales

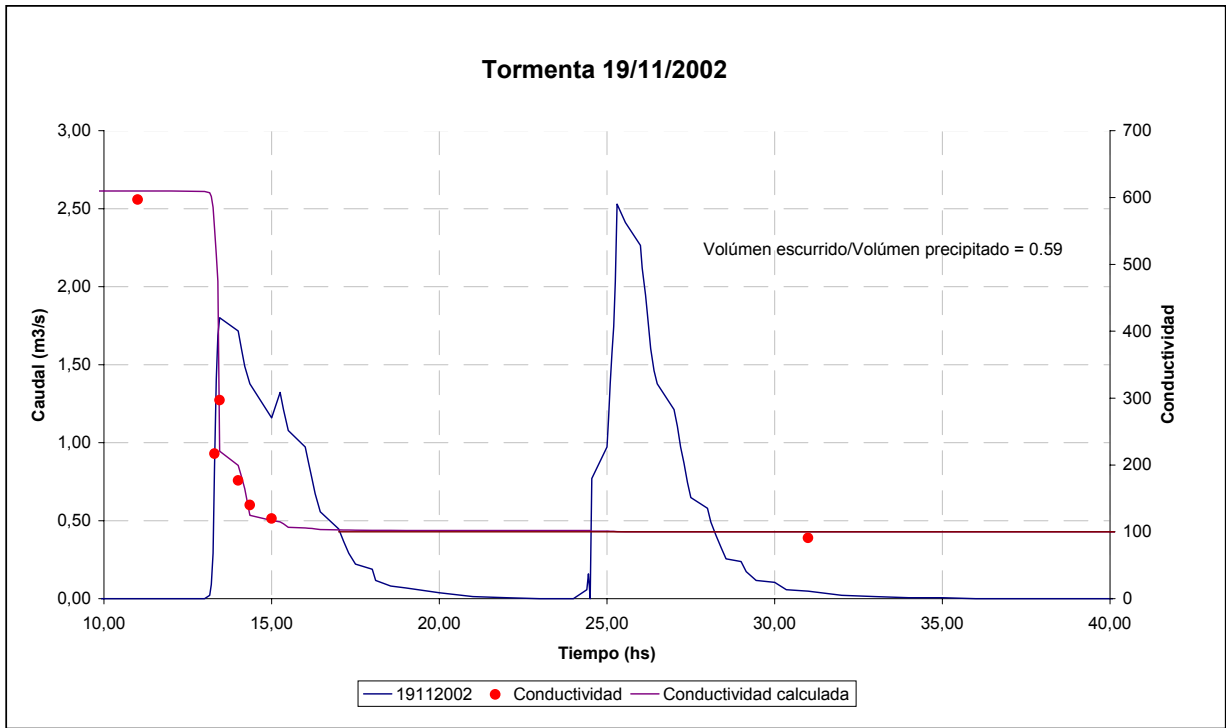


Fig 3 Tormenta del 19/11/2002 Parámetro evaluado – Conductividad

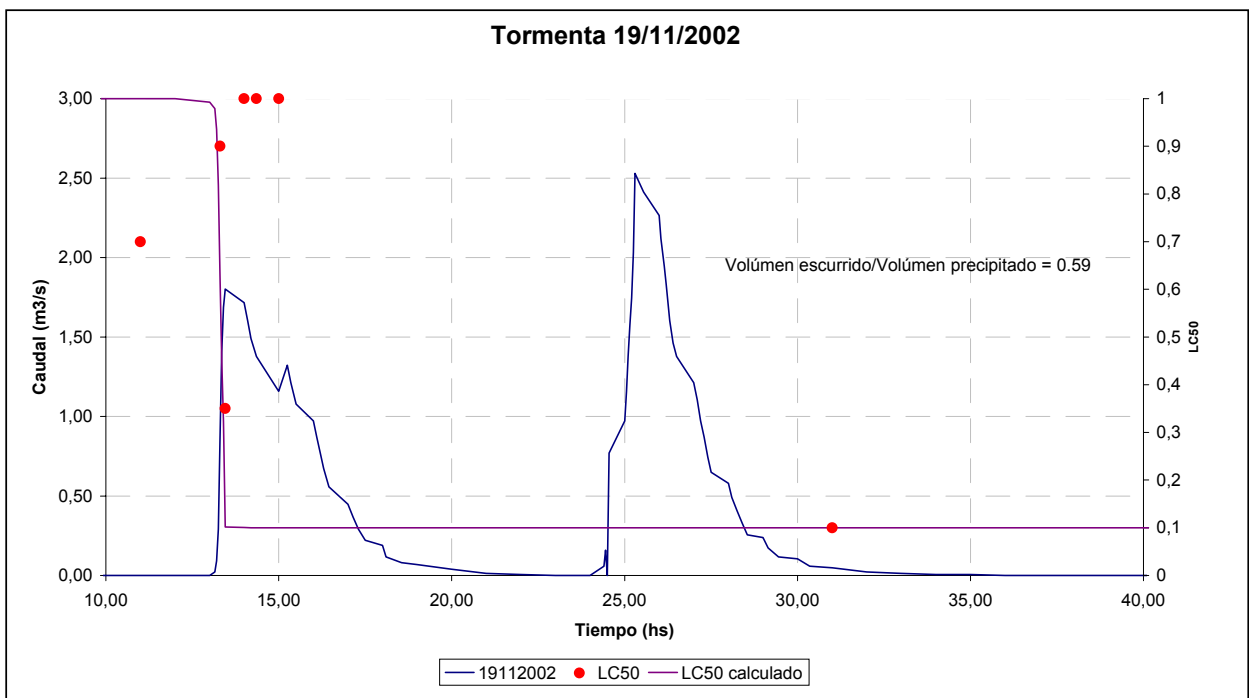
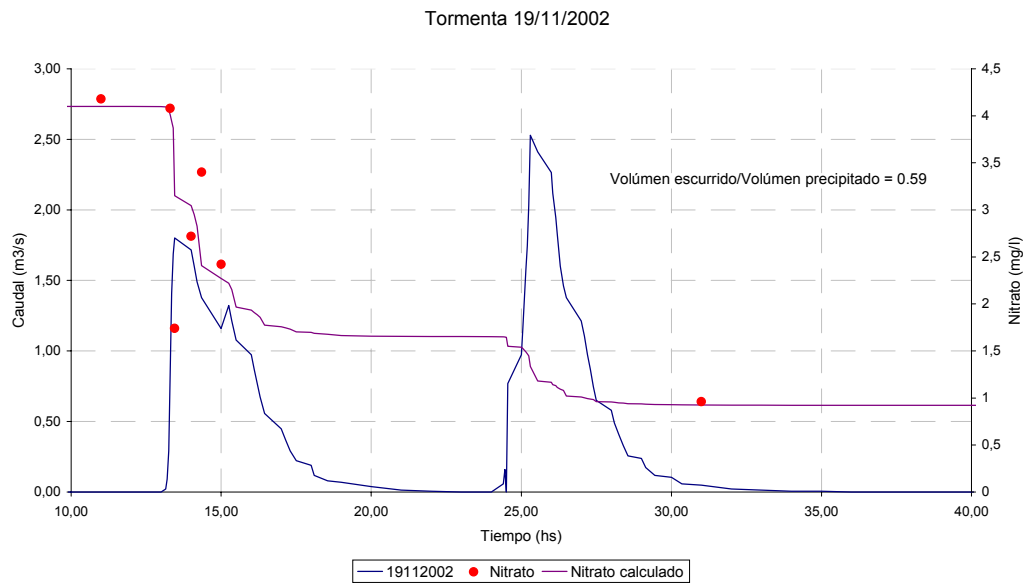
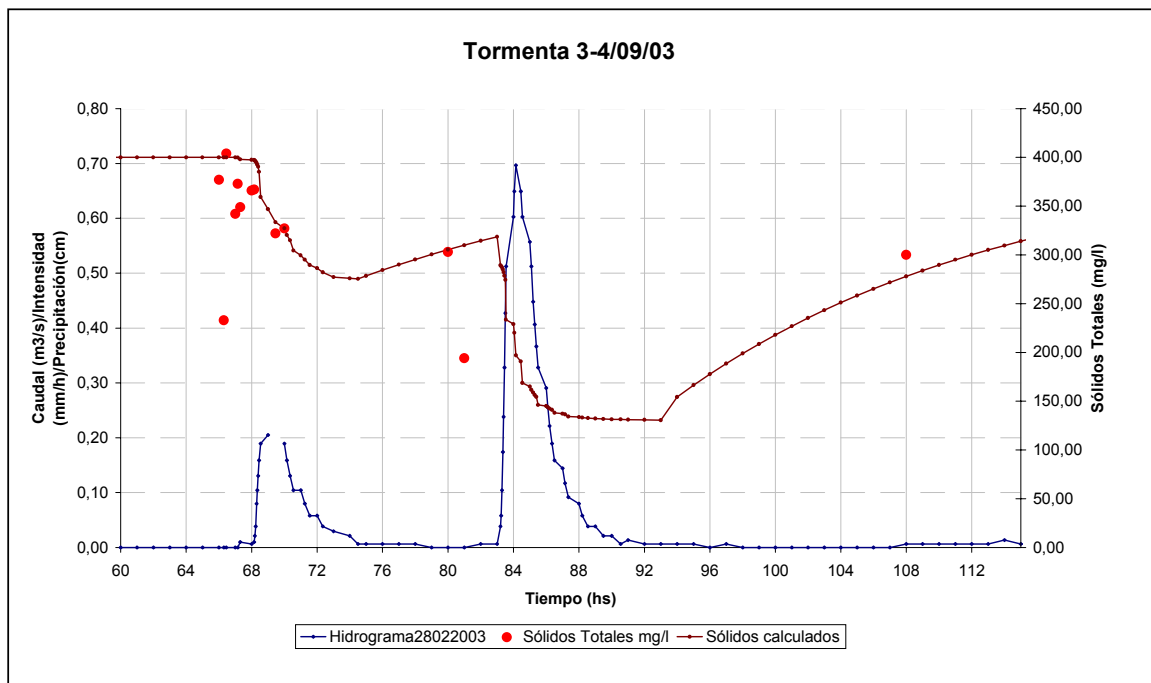


Fig 4 Tormenta del 19/11/2002 Parámetro evaluado – LC50





*Fig 5 Tormenta del 19/11/2002 Parámetro evaluado – Nitratos*



*Fig 6 Tormenta del 3 al 4/09/2003 Parámetro evaluado – Sólidos Totales*

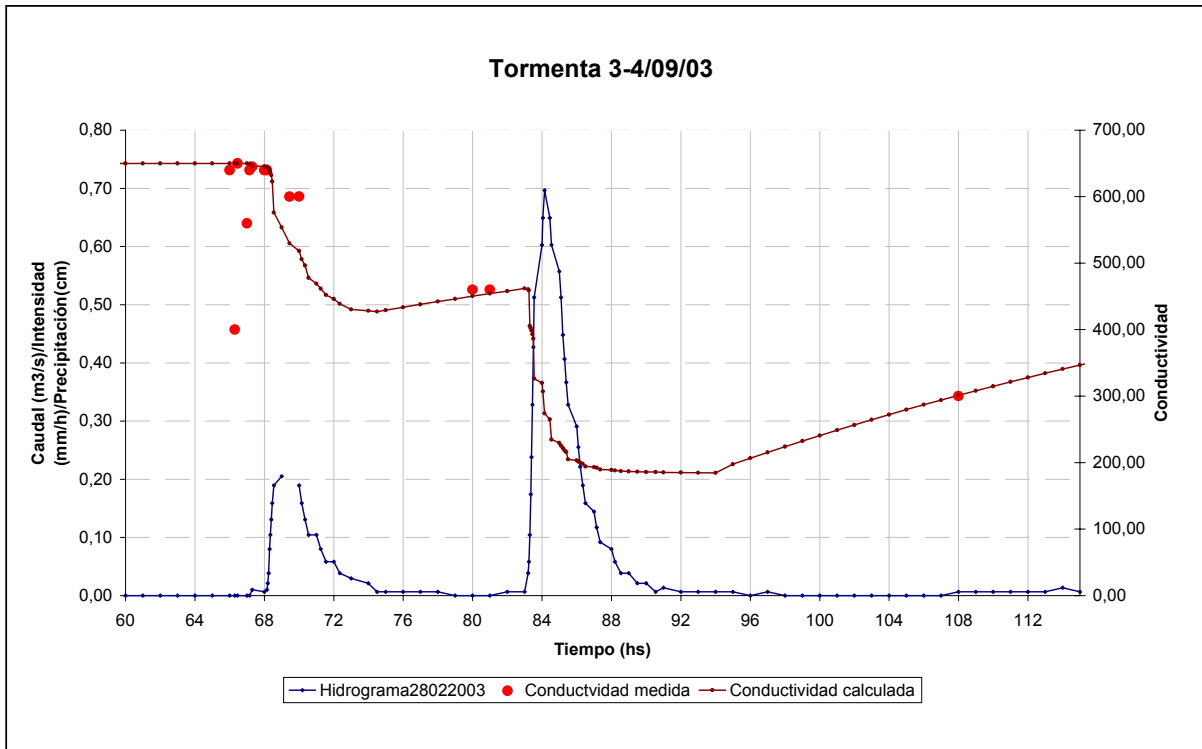


Fig 7 Tormenta del 3 al 4/09/2003 Parámetro evaluado – Conductividad

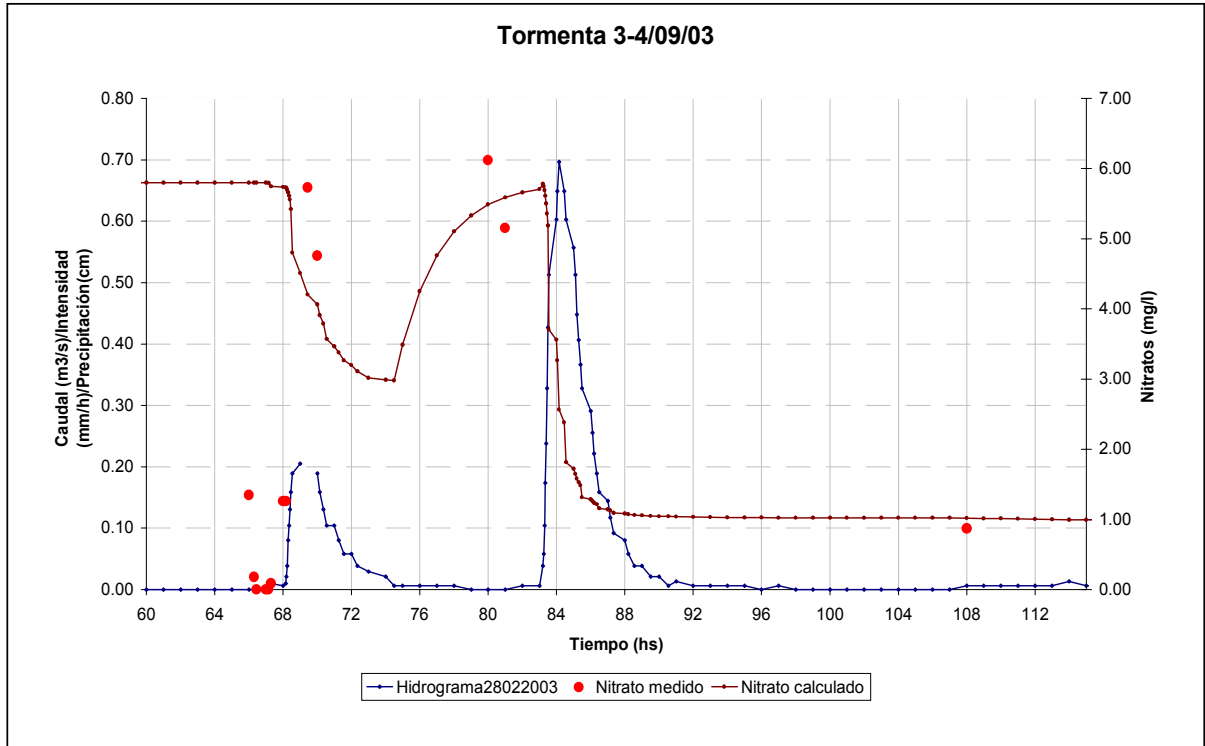


Fig 8 Tormenta del 3 al 4/09/2003 Parámetro evaluado – Nitratos

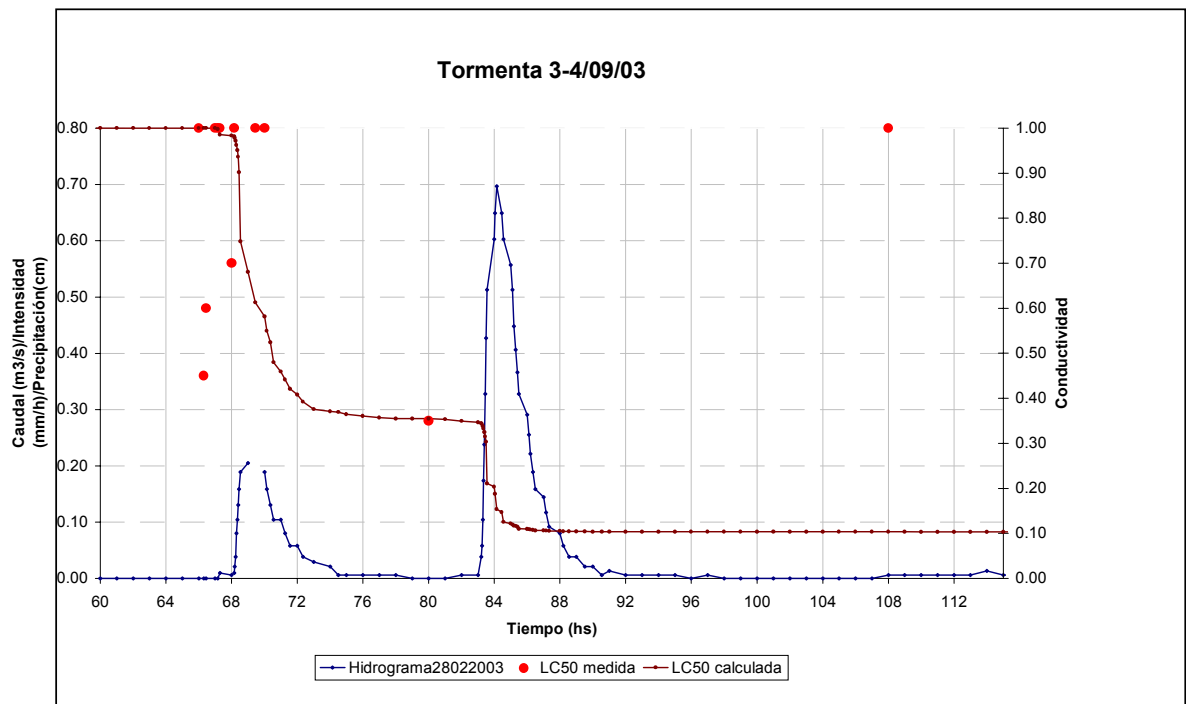


Fig 9 Tormenta del 3 al 4/09/2003 Parámetro evaluado – LC50

### Rango de variación de los parámetros de lavado

Se muestra en la tabla 1 los parámetros característicos obtenidos al analizar los eventos muestreados y en la figuras 10 y 11 la curva exponencial decreciente de lavado para las determinaciones de sólidos totales y conductividad:

	w (mm <sup>-1</sup> )		C inicial (mg/l)		C final(mg/l)	
Conductividad	0.21	0.23	600	650	100	150
Sólidos totales	0.2	0.25	400	800	100	150
Nitratos	0.1	0.2	4.1	5.7	0.5	0.7
LC 50	0.9	1	1	1	0	0

Tabla 1 Rango de variación de los parámetros de lavado

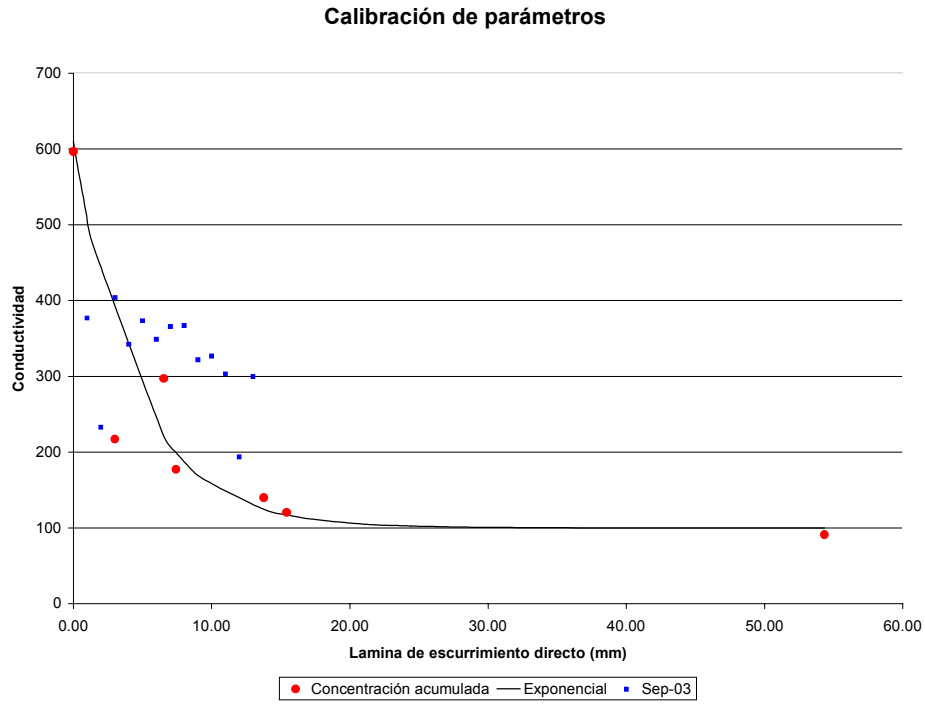


Figura 10 Curva exponencial decreciente de Conductividad – lámina acumulada de escurrimiento directo

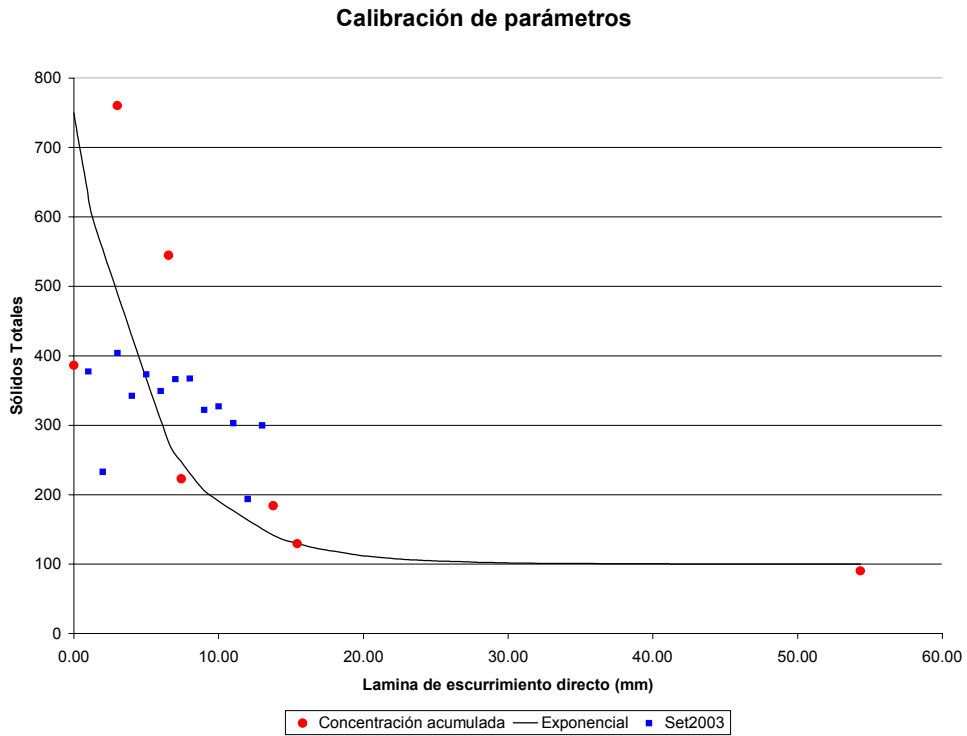


Figura 11 Curva exponencial decreciente de la concentración de Sólidos totales – lámina acumulada de escurrimiento directo

## CONCLUSIONES

Se ha analizado y validado un método generalmente usado para la determinación del volumen de poluentes que puede descargar una cuenca urbana sobre un receptor final a partir de la estimación sencilla de parámetros para cada elemento contaminante. De los resultados generales obtenidos:

- Se puede observar una concentración máxima inicial, mínima final característica de la cuenca.
- Se puede establecer los rangos de variación de los parámetros de la función exponencial a partir del ajuste de la lámina de escorrentía con la concentración del elemento a determinar
- Se obtiene un mejor ajuste de la función de lavado cuando se desea representar los elementos que son conservativos.

## BIBLIOGRAFÍA

**APHA, AWWA, WPCF** . Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 1992.

**Metcalf and Eddy Inc.** University of Florida and Water Resources Engineers. Storm Water Management. Model. Volumen 1. EPA. Washington D.C. 1971.

**Millar Robert G.** *Analytical Determination of Pollutant Wash-Off Parameters*. Journal of Environmental Engineering. October 1999

**USEPA** Water Systems Models Hydrology. A guide to the rain, temperature and runoff modules of the USEPA - SWMM4 June 2000.