

## **RELACIÓN ENTRE CARGAS DE SEDIMENTOS ACUMULADOS EN TIEMPO SECO Y CARGA DE LAVADO**

**(\*) Mendez, Guillermo José;(\*\*) Orfeo, Oscar; (\*) Depettris, Carlos Alberto; (\*) Pilar Jorge Víctor; (\*) Ruberto, Alejandro Ricardo**

(\*) Universidad Nacional Del Nordeste, Facultad de Ingeniería, Departamento de Hidráulica

(\*\*) Centro de Ecología Aplicada del Litoral - CONICET, Republica Argentina

Av. Las Heras 727 (CPA H3500COI). TE (0362) - 4427006. Interno 142

Correo electrónico: guillermojosemendez@hotmail.com

Palabras claves: SWMM, polución, escorrentía urbana

Unos de los poluentes más importantes, arrastrados por la escorrentía urbana son los sedimentos. Es difícil identificar las fuentes de generación de sedimentos, sin embargo se sabe que la carga de lavado de la escorrentía urbana está influenciada por la carga de sedimentos acumulados en las superficies impermeables y la erosión de suelo de zonas permeables. Estas dos fuentes tienen respuestas distintas, dado que, el escurrimiento superficial sobre áreas permeables comienza solo después que el suelo se encuentra saturado por el agua. Por su parte, la carga de sedimentos acumulados en superficies impermeables tendrá una respuesta inmediata, ya que, se acumula principalmente en las cunetas. Sendas fuentes tienen factores estacionales distintos que las influyen y, por tanto, intervienen de manera variable en la carga de lavado. Entonces, es fundamental, conocer las relaciones que existen entre estas dos fuentes para predecir la carga de lavado de la escorrentía urbana. Como estudio de caso se adoptó la microcuenca perteneciente a los sumideros ubicados en la intercepción de la calle San Lorenzo y avenida Castelli. Considerando al eje de la calle San Lorenzo como divisoria de aguas, puede asumirse que a sendos sumideros descargan dos cuencas bien diferenciadas. La cuenca de la margen izquierda, donde se construyeron tres torres de vivienda durante la etapa de recolección de datos de campo presenta menor grado de impermeabilidad que la opuesta. A partir de esta diferencia, se analizaron ambas áreas de aporte por separado y se estudió la influencia de la carga de sedimentos acumulados en calles mediante el modelo SWMM. Al analizar los eventos, a los que han sido posible medir los picos de hidrograma y polutograma, en relación al tiempo transcurrido desde su inicio, es posible aceptar que las cuencas presentan un comportamiento marcadamente diferente. En la mayoría de los casos, en la cuenca de la margen derecha, se registraron los picos de los polutogramas antes que los del hidrograma, en tanto que en la cuenca de la margen izquierda esta situación fue inversa. Esto se debe a la influencia de las áreas de suelo descubierto en la cuenca de la margen izquierda.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua es el resultado de un manejo negligente del recurso hídrico. En el caso de la escorrentía urbana, esta negligencia se refleja en 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 poluentes depositados en superficies impermeable y un marcado aumento de las tasas de erosión del suelo.

Según Mazza et al (2004) los contaminantes y sus concentraciones son función de: el grado de urbanización, el tipo de uso del suelo, la densidad del tráfico automotor, la población animal y el grado de contaminación atmosférica inmediatamente antes de la lluvia.

Unos de los poluentes más importantes, arrastrados por la escorrentía urbana, son los sedimentos. Estos generan depósitos que obstruyen los conductos del sistema mayor, aumentan la turbidez del agua y cambian el lecho del cuerpo receptor reduciendo su capacidad de flujo. 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).

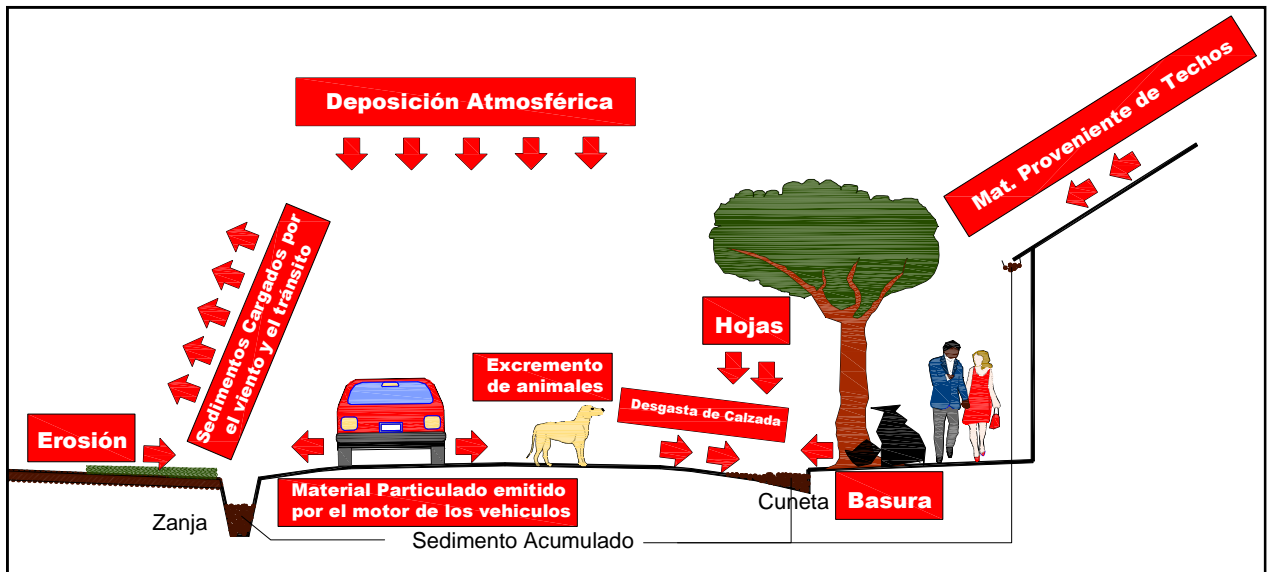
La ciudad de Resistencia, no escapa a la problemática enunciada precedentemente. En el sector sur de esta ciudad, donde los efluentes pluviales son transportados por conductos cerrados y cuneteos hacia el canal de la Av. Soberanía, el sistema presenta deposición de sedimentos en los conductos y en el mencionado canal, generando la reducción en su capacidad de flujo.

Las fuentes de sedimentos transportados por la escorrentía urbana son diversas, es por ello que es conveniente considerarlas a partir de las características del área donde se hallan depositadas. A saber:

- i) **zonas de suelo descubierto (áreas permeables)**, que son erosionadas por el impacto de las gotas de lluvia y el efecto de corte generado por la escorrentía;
- ii) **zonas de suelo impermeable**, pueden ser de fuentes difusas (principalmente por deposiciones atmosféricas y emanaciones de vehículos) o concentradas (generadas por actividades, tales como construcciones civiles, industrias y limpieza de jardines)

Las áreas de suelo descubierto son una fuente infinita de sedimentos para el drenaje urbano pero su tiempo de respuesta es apreciablemente mayor a los sedimentos acumulados en áreas impermeables. Esto último se explica considerando que el escurrimiento superficial sobre áreas permeables comienza solo después que el suelo se encuentra saturado, lo que significa que el nuevo suministro de sedimentos alcanza la superficie del asfalto un tiempo considerablemente después de iniciada la precipitación (Deletic, 1998).

Respecto a las áreas impermeables, se destaca que las calles son una fuente crítica de acumulación de sedimentos, ya que, en tiempo seco (sin lluvia) son depositarias de una gran y compleja mezcla de sedimentos que pueden ser provenientes de fuentes comunes en esos lugares o bien importadas de áreas muy lejanas. Estos sedimentos son originados por la pérdida de suelo natural, la abrasión y desgaste de los vehículos, la basura acumulada en las veredas, los desperdicios orgánicos de aves y animales domésticos y los materiales de construcción (Figura 1).



**Figura 1.** Fuentes de sedimentos en áreas urbanas (Taylor, 2007 apud Poletto 2008)

La remoción de estos sedimentos depende del volumen total de escorrentía o de la precipitación efectiva, en tanto que la cantidad de sedimentos susceptibles de ser transportados depende del tiempo de acumulación generado en días sin lluvia.

En algunas cuencas urbanas es usual que se registre el fenómeno del primer flujo, donde se observan las mayores concentraciones de poluentes durante la primera parte de los escurrimientos generado por cualquier precipitación. El conocimiento del mismo es fundamental para el diseño de unidades de tratamiento de efluentes pluviales o de sistemas combinados de efluente cloacal y pluvial.

Considerando las particularidades que diferencian las distintas fuentes de sedimento, es evidente que las áreas de suelo impermeables son, en la mayoría de los casos, las que generan tal fenómeno. Por tanto, el estudio de los sedimentos acumulados en tiempo seco en las calles y su relación con la carga de lavado es fundamental para interpretar, diseñar y calibrar un modelo de calidad de efluentes pluviales.

El presente estudio comprende un análisis de los procesos de generación y transporte de sedimentos en la ciudad de Resistencia tomando como estudio de caso una microcuenca representativa del conjunto, ubicada del Sector Sur de la ciudad. Para ello se realizaron mediciones sistematizadas a fin de determinar las cargas de sedimentos acumulados en tiempo seco y las transportadas por la escorrentía urbana durante las precipitaciones. A partir de los datos recolectados fue posible realizar una interpretación de los fenómenos y aportar una crítica a los modelos utilizados mundialmente para predecir las concentraciones de sedimentos en el efluente pluvial.

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.

## MODELOS DE CALIDAD DE AGUAS

La mayoría de los modelos simulan el transporte de sólidos en suspensión a partir de la

Ecuación 1:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -k \cdot R \cdot P \quad (1)$$

donde : P es la cantidad total de sólidos que permanecen en la cuenca después de un período t de lluvia; k es un coeficiente empírico y R es la tasa de escurrimiento.

Según Mazza *et al* (2004) la Ec 1 asume varias condiciones:

- la cantidad de poluentes que pueden removerse durante un evento de lluvia es dependiente de la duración de la lluvia y de la cantidad inicial disponible;
- ningún poluyente decae debido a los cambios químicos o la degradación biológica;
- durante el proceso de escurrimiento las cantidades de poluentes que percolan en el suelo no son significativas;
- en tormentas de baja intensidad la mayoría de la masa de sólidos en una cuenca urbana no puede transportarse por la insuficiente energía en el escurrimiento;

Además de las condiciones planteadas por Mazza debe agregarse que la Ec 1 considera un número finito de poluentes.

El programa Stormwater Management Model (SWMM) de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos, es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones. Según la clasificación dada por Riccardi (2004) este modelo puede ser categorizado como de tercera aproximación, dado que puede ser utilizado para un periodo extendido de tiempo. El programa permite calcular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada. Este programa es el de mayor difusión y uso a nivel mundial por su simplicidad, entorno amigable y ser gratuito.

En el programa SWMM la acumulación y arrastre de poluentes (como por ejemplo los sedimentos) desde las áreas de las cuencas se determina a partir de los usos de suelo asignados a estas últimas. Así, los usos de suelo pueden ser asignados por categorías de actividades desarrolladas (residencial, comercial, etc.) o bien por características de la superficie (césped, pavimento, etc.), Los procesos que definen cada uso de suelo son (Rossman, 2010): i) acumulación de contaminantes; ii) arrastre de sedimentos; iii) limpieza de calles.

Los modelos de acumulación utilizados por el programa son: potencial, exponencial y de saturación (Huber y Dickinson, 1988). En tanto que consta de tres opciones para representar el proceso de lavado de cada poluyente y uso de suelo: i) concentración media del evento (EMC), ii) curva de relación entre caudales líquidos y carga de poluyente y iii) función exponencial.

La función EMC asume que cada poluyente tiene una concentración constante en la escorrentía durante toda la simulación. Los resultados arrojados de concentraciones de poluentes, para un mismo uso de suelo, serán siempre constantes durante toda la escorrentía.

La función de curva de relación (Ecuación 2) determina las cargas de lavado a partir de una relación que considera únicamente la escorrentía (o caudal líquido), sin considerar las condiciones antecedente ni la disponibilidad de sedimentos susceptibles de ser transportados en la cuenca. Debido a esto tiende a dar valores de carga de poluentes mayores a los reales en la curva descendente del hidrograma generado por un evento analizado, estos errores son usuales en cuencas donde los sedimentos son lavados al inicio de la precipitación (Gironás et al, 2009). Por esta misma

razón, puede dar valores menores en el inicio de la precipitación ya que descarta el fenómeno de primer flujo.

$$Q_s = C_1 \cdot Q^{C_2} \quad (2)$$

donde:  $Q_s$  es el caudal sólido o carga de lavado;  $Q$  es el caudal o descarga líquida;  $C_1$  es el coeficiente de arrastre y  $C_2$  es el exponente de arrastre.

La curva exponencial (Ec. 3) 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 poluente acumulada sobre la superficie de la cuenca.

$$Q_s = C_1 \cdot q^{C_2} \cdot B \quad (3)$$

donde:  $q$  es la escorrentía por unidad de área y  $B$  es la acumulación de poluente en masa por unidad de área.

Según Vanoni (1975) *apud* Gironás (2009), de acuerdo a la teoría de transporte de sedimentos, los valores  $C_2$  (Ec. 2 y Ec. 3) varían de 1,1 a 2,6; frecuentemente cercanos a 2.

Los valores del coeficiente de arrastre  $C_1$  son más difíciles de inferir, debido a que estos pueden variar en números de 3 a 4 órdenes de magnitud, por tanto es necesaria la calibración previa del modelo a fin de obtener resultados confiables.

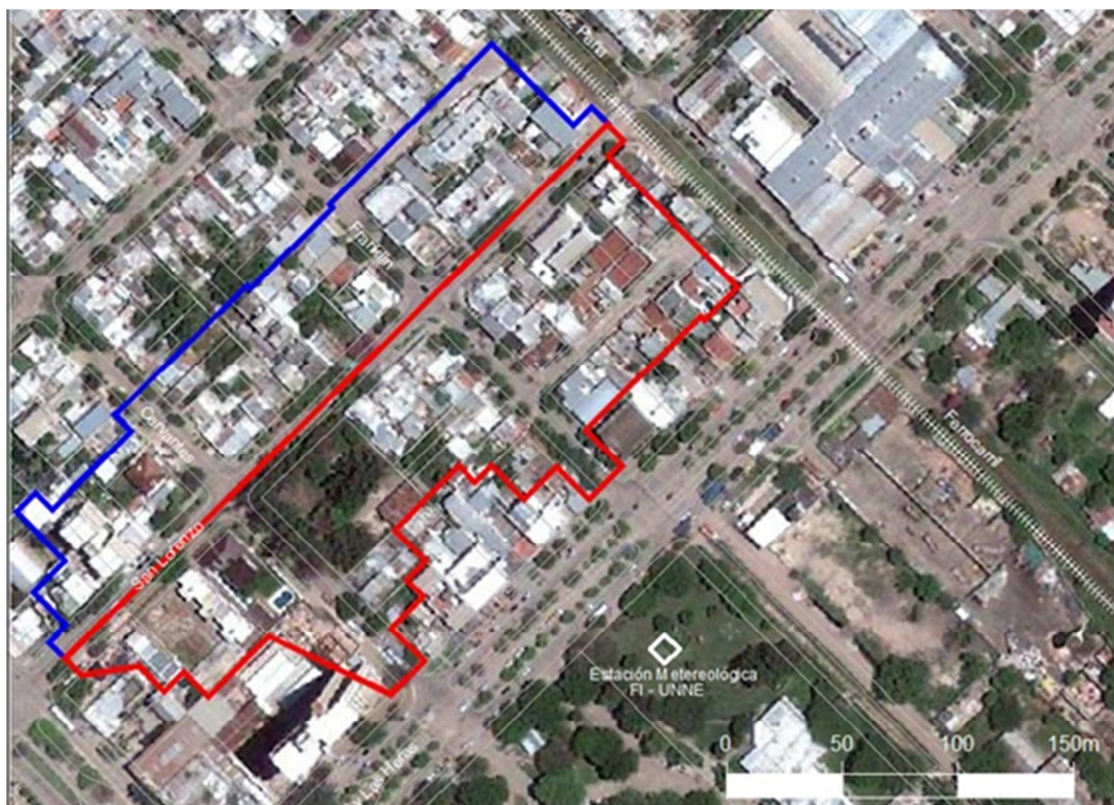
La curva exponencial (Ec 3) es el único modelo de lavado, disponible en el programa SWMM, que considera que dicho fenómeno depende de un proceso previo de concentración “Build up” del mismo poluente producido en los períodos de sequía.

Collins et al (2005) sostienen que esta aplicación es estrictamente limitada a pequeñas áreas impermeables donde el aporte de poluentes es finito y está 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. 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.

## AREA DE ESTUDIO

La microcuenca de estudio es la perteneciente a los sumideros ubicados en la calle San Lorenzo, aguas arriba de su intersección con la avenida Castelli (Fig. 4.3) estudiada por Depettris et al (2009).

Las bocas de tormenta, a las que aporta la cuenca de estudio, están ubicados sobre las márgenes derecha e izquierda de la calle San Lorenzo. Considerando al eje de dicha calle como divisoria de aguas, puede asumirse que a sendos sumideros descargan dos cuencas bien diferenciadas.



**Figura 2.** Imagen Satelital de la microcuenca de estudio.

(Ref: línea azul: límite de cuenca de margen derecho; línea roja: límite de cuenca de margen izquierdo)

## DATOS UTILIZADOS

Se contaron con datos de concentraciones de sólidos suspendidos y caudal líquido de nueve (9) eventos registrados en un periodo que duró desde septiembre de 2009 a marzo de 2010. Estos eventos corresponden a las precipitaciones acaecidas los días 03/09/2009, 14/10/2009, 06/11/2009, 20/11/2009, 08/02/2010, 15/02/2010, 22/02/2010, 03/03/2010 y 19/03/2010 y que por simplicidad se denominaran a continuación evento 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 respectivamente (Mendez, et al 2010b).

También se recurrió a datos de sedimentos acumulados en tiempo seco recolectados, en tres cuadras de la calle San Lorenzo durante de 35 días consecutivos en un período comprendido desde el 30/05/2011 al 23/06/2011.

Se utilizaron datos de precipitación registrados cada 15 minutos registrados por el pluviógrafo de la Administración Provincial del Agua – Chaco (APA), instalado en cercanías a la laguna “Los Lirios”, ubicada a unos 2 km al este de la microcuenca estudiada. Además se utilizaron datos de evaporación diarias registrados en el tanque de la Estación Meteorológica de Capacitación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), ubicada a 300m de la microcuenca (Figura 2).

## CALIBRACIÓN DEL MODELO

Todos los modelos que interpretan el arrastre de sedimentos por la escorrentía urbana tienen como variable explicativa al caudal líquido. Por tanto, para interpretar y ajustar un modelo que

explique el arrastre de sedimentos es fundamental obtener esta variable en un periodo continuo y extendido de tiempo, dado que los volúmenes de escurrimientos precedentes a una precipitación cualquiera inciden en la cantidad de sedimentos acumulados en superficies impermeables. Esto es solo posible mediante un modelo de transformación lluvia caudal, como SWMM, calibrado mediante los nueve (9) eventos registrados.

El inicio del periodo elegido coincide con un periodo seco. Luego 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, 2010a).

Para la calibración del modelo de transformación de lluvia – caudal se determinó el porcentaje de área permeable de cada subcuenca mediante imagen satelital corroboradas por inspecciones oculares a la zona de estudio. La infiltración dentro de suelos permeables se describió usando el modelo de Hoton por su simplicidad y por ser apto para una simulación extendida de tiempo.

El ajuste del modelo se realizó en forma manual, variando un parámetro por vez, buscando que los valores de tiempo al pico, caudales pico y la forma de los hidrogramas arrojados por el modelo coincidan con los hidrogramas medidos. Se utilizó el método de regresión lineal alcanzándose valores de  $R^2$  de 93% y 88% para la cuenca del margen derecho e izquierdo, respectivamente. Así, se ajustaron los parámetros indicados en Tabla 1.

**Tabla 1.** Parámetros calibrados del modelo de transformación lluvia – caudal

Id	Denominación	Unidad	Cuenca	
			Derecha	Izquierda
w	Ancho característico de flujo	[m]	38,00	52,00
i	Pendiente media de la superficie	[%]	0,50	0,50
$A_{i\ S/A}$	Porcentaje de área impermeable sin almacenamiento	[%]	35	35
$n_i$	Coefficiente de Manning para áreas impermeables	[---]	0,015	0,015
$n_p$	Coefficiente de Manning para áreas permeables	[---]	0,150	0,150
$d_i$	Almacenamiento en depresión en áreas impermeables	[mm]	7,00	7,00
$d_p$	Almacenamiento en depresión en áreas permeables	[mm]	12,00	12,00
$f_0$	Tasa de Infiltración Máxima	[mm/h]	85	85
$f_c$	Tasa de Infiltración Mínima	[mm/h]	12	12
K	Constante de Disminución	[1/h]	8	8
ts	Tiempo de Secado	[días]	4	4

Para la calibración del modelo de calidad de agua, en primera instancia, se definió el poluente como TSS (Total de Sólidos Suspendidos).

En cuanto al arrastre de sedimento se utilizaron dos modelos suministrados por el SWMM: i) de relación de caudales (RC) y ii) curva exponencial (EXP); detallados en las Ec 2 y 3 respectivamente. Los resultados obtenidos del modelo fueron comparados con los datos de campo recolectados en el monitoreo hidrosedimentológico.

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 misma y ser las calles la primera en aportar escorrentía a los sumideros, estos sedimentos son 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.

Se definieron los usos de suelo en las subcuencas, a fin de considerar la variación espacial del poluente en las tasas de acumulación y lavado, como así también, el efecto de la limpieza de calles en las subcuencas. Así se utilizaron seis usos de suelos indicados en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Usos de Suelos utilizadas en el modelo de calidad de aguas

Designación	Modelo de lavado Usado
Baja	Curva exponencial (EXP)
Media	
Alta	
Muy Alta	
RCD	Relación de Caudales (RC)
RCI	

Los usos de suelo designados como RCD y RCI son curvas de relación de caudales de las cuencas Derecha e Izquierda respectivamente.

Para el ajuste del modelo de calidad de aguas se consideraron tres eventos de los nueve monitoreados. Los eventos elegidos fueron: 1 (03/09/2009), 4 (20/11/2009) y 5 (08/02/2010). Se excluyeron del análisis los eventos 3 (06/11/2009) y 6 (15/02/2010). Los eventos restantes (2; 7; 8 y 9) se utilizaron para la validación del modelo.

Los usos de suelo que utilizaron el modelo de lavado tipo exponencial (EXP) se ajustaron en concordancia con el análisis de variabilidad espacial. Así, la función de acumulación requerida en este modelo de lavado fue del tipo exponencial (Ec. 4).

$$B = C_1(1 - e^{C_3 \cdot t}) \quad (4)$$

donde  $C_1$  es la acumulación máxima posible (masa por unidad de área) y  $C_2$  es la constante de crecimiento del contaminante acumulado (1/día). En la Tabla 3, se indica los valores  $C_1$  y  $C_3$  adoptados para cada uso de suelo.

**Tabla 3.** Valores de Coeficientes y exponentes de acumulación utilizados

Usos de Suelo	$C_1$	$C_2$
	[kg/ha]	[---]
Bajo	3000	0,05
Medio	6000	0,05
Alto	9000	0,05
Muy Alto	12.000	0,05



Los parámetros de arrastre, de los usos de suelo indicados en Tabla 3, fueron usados para el ajuste del modelo (Tabla 4). A fin de simplificar el modelo se utilizó los mismos valores para los mencionados usos de suelo.

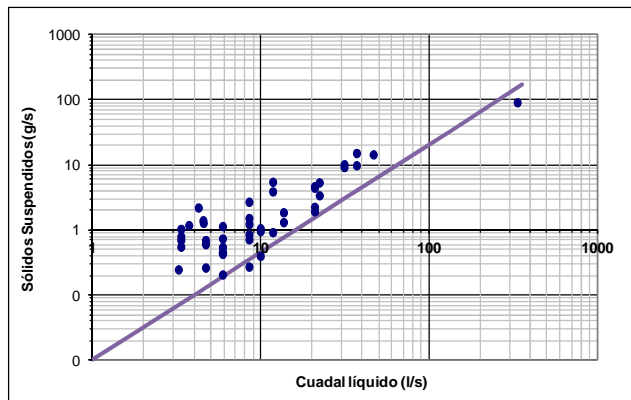
**Tabla 4.** Coeficiente y exponente de arrastre usados en los usos de suelo Baja, Media, Alta y Muy Alta

Designación	Unidad	Valor
C1	$[\text{mm}^{2,20} / \text{h}^{3,20}]$	0,03
C2	[---]	2,20

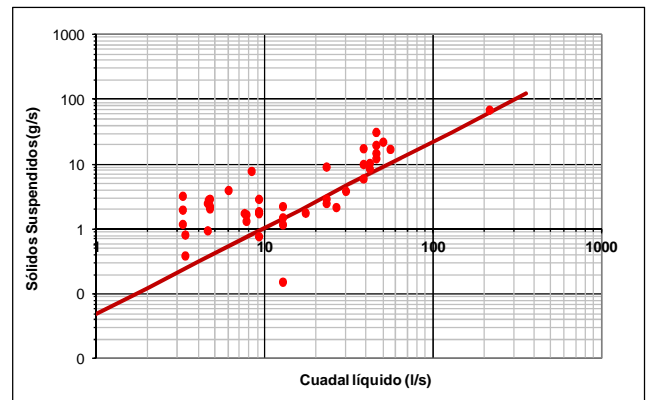
Los valores de  $C_1$  y  $C_2$ , indicado en Tabla 4, concuerdan con los valores sugeridos por Gironás (2009) para áreas comerciales o residenciales densamente pobladas, quien utiliza valores  $C_1=40 \text{ in}^{C_2/h^{C_2+1}}$  y  $C_2=2,20$ .

Se utilizó una eficiencia en la limpieza de calles de 50%, adoptada a partir de los resultados obtenidos en el monitoreo de sedimentos en tiempo seco, la frecuencia de la limpieza fue de 4 días.

El trazado de la curva de relación estuvo ceñido a determinar el límite inferior de la nube de puntos generada de la relación de caudales líquidos y sólidos obtenidos en el monitoreo hidrosedimentológico (Figura 2 y 3).



**Figura 3.** Curva de relación utilizada en para uso de suelo RCD (Cuenca Derecha).



**Figura 4.** Curva de relación utilizada en para uso de suelo RCI (Cuenca Izquierda).

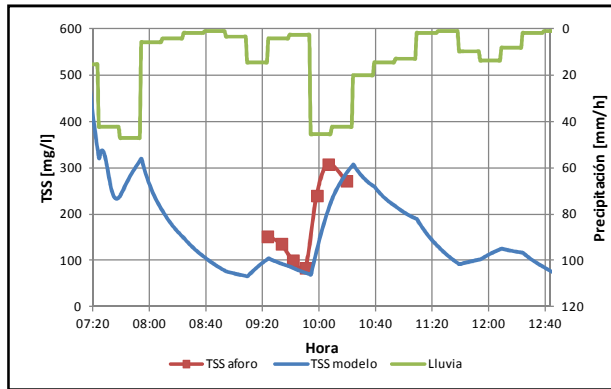
Los usos de suelo, designados como RCD y RCI, se ajustaron mediante  $C_1$  y  $C_2$  (Ec. 2). Los valores adoptados de estos parámetros son indicados en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Coeficiente y exponente de lavado usados en RCD y RCI

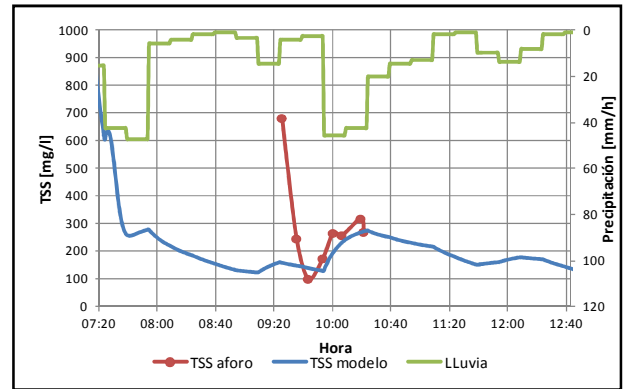
Designación	RCD	RCI
C1	$10 \text{ mg} \cdot \text{s}^{0,66} \cdot \text{l}^{-1,66}$	$50 \text{ mg} \cdot \text{s}^{0,33} \cdot \text{l}^{-1,33}$
C2	1,66	1,33

Se determinó el  $R^2$  de todas las modelaciones realizadas. Los valores de los parámetros ajuste, indicados en Tabla 4 y 5, fueron aquellos que dieron el  $R^2$  más cercano a 1 para ambas cuencas, siendo estos de 66,4% y 50,3% para la cuenca del margen derecho e izquierdo respectivamente

En las Figuras 5 y 6 se indican los polutogramas de la cuenca Derecha e Izquierda, respectivamente, medidos y modelados de los eventos del evento 4 usado para la calibración del modelo.



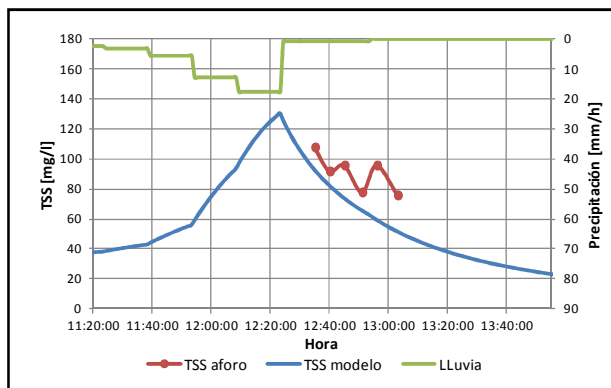
**Figura 5.** Polutograma medidos y modelados del Evento 4 - Derecha



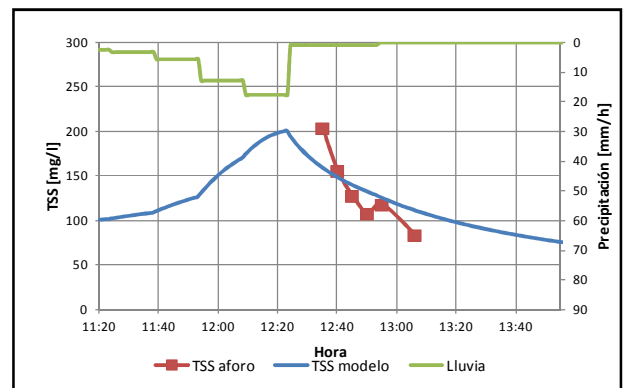
**Figura 6.** Polutograma medidos y modelados del Evento 4 - Izquierda

## VALIDACIÓN DEL MODELO

Los eventos 2; 7; 8 y 9 se utilizaron para la validación del modelo. Fue posible constatar que el único evento que valida el modelo planteado es el evento 7 (Figuras 7 y 8).



**Figura 7.** Polutograma medidos y modelados del Evento 7 - Derecha



**Figura 8.** Polutograma medidos y modelados del Evento 7 - Izquierda

Esto puede deberse a dos causas: i) el modelo no es capaz de reproducir, en una simulación extendida de tiempo, las condiciones de acumulación de sedimentos en cunetas previas a ciertos eventos; ii) no considera el aporte de aéreas permeables.

En efecto, el modelo puede no determinar con precisión las condiciones de acumulación previa al evento 2 (14/10/2009) dado que en los días 28/09/2009 y 06/10/2009 se registraron precipitaciones de 10 mm con intensidad máxima de 12mm/h y 1mm con intensidad máxima de 0,80mm/h.

Tal lo observado en el monitoreo en tiempo seco, las cantidades de sedimentos acumulados pueden aumentar con precipitaciones de baja intensidad y significativa duración, dado que, estas propician la importación de sedimentos de calles de tierra. Esto último afecta el equilibrio dinámico planteado por Duncan (1995) y se extienden a lo largo del tiempo si se considera que la eficiencia de remoción de sedimentos en la limpieza es constante.

El modelo tampoco interpreta con precisión la cantidad de sedimentos acumulados previamente al evento 9 donde se realizaron trabajos de movimientos de suelo en las torres de viviendas ubicadas en la esquina de Av Las Heras y Cervantes. Esto generó un aumento en la cantidad de sedimentos acumulados que, como es de esperar, no es tenido en cuenta por el modelo.

También fue posible verificar que la modelación sugerida para la cuenca Izquierda es mas imprecisa que la Derecha. La particularidad que distingue los resultados de modelación de la cuenca izquierda respecto a la cuenca Derecha es la mayor frecuencia con que los picos de polutogramas ocurren antes a los del hidrograma dada por la incidencia de áreas de suelo permeable.

## CONCLUSIONES

El modelo de calidad de agua, diseñado bajo el programa Stormwater Management Model (SWMM), se planteó considerando dos fuentes de sedimentos, conforme lo señalan algunos antecedentes. Una fuente finita, que corresponde al sedimento acumulado en las calles de la microcuenca de estudio y, la restante, correspondió a una fuente infinita de sedimentos en las puede incluirse, entre otras, la proveniente de la erosión del suelo permeable. Así, se analizó el aporte de ambas fuentes a la escorrentía urbana considerando como variable de salida del modelo a la concentración de sólidos suspendidos (TSS).

El modelo, así planteado, fue calibrado y validado con resultados dispares para la cuenca del margen derecho y del izquierdo. En efecto, la cuenca del margen derecho presentó un ajuste del modelo y semejanzas entre los polutogramas medidos y modelados aceptables, a diferencia de la cuenca del margen izquierdo.

Estas diferencias radican en la influencia de áreas de suelo descubierto en la cuenca del margen izquierdo, ya que, aún cuando el modelo plantea el aporte de sedimentos dado, entre otras fuentes, por la erosión de suelo; esto se realiza mediante una correlación positiva entre los caudales líquidos y la carga de sedimentos transportados. Es decir, que no es posible considerar bajo estas condiciones el retardo del pico del polutograma respecto al hidrograma registrado habitualmente, por las razones ya expuestas, en la cuenca del margen izquierdo.

No obstante el aceptable ajuste del modelo en la cuenca del margen derecho, debe destacarse que el mismo puede no determinar con precisión las condiciones de acumulación previas a precipitaciones de baja intensidad y larga duración. Tal lo observado en el monitoreo en tiempo seco, las cantidades de sedimentos acumulados pueden aumentar con este tipo de precipitaciones, dado que, estas propician la importación de sedimentos de calles de tierra. Esto último afecta el equilibrio dinámico que plantean algunos antecedentes y se extienden con el transcurso del tiempo seco, considerando que la eficiencia de la limpieza es siempre constante.

El fenómeno expresado en el párrafo anterior contradice lo indicado por la bibliografía especializada y no es considerado en ninguno de los modelos de acumulación utilizados a nivel mundial, constituyendo una marcada debilidad en la calidad de las predicciones obtenidas por este procedimiento.

El presente estudio no contó con mediciones que permitan cuantificar el fenómeno del primer flujo, dado que éste se registra en los inicios del escurrimiento y es indispensable un equipo recolector de muestras automático. Sin embargo, es verosímil considerar que el primer flujo está

influenciado por la cantidad de sedimentos disponibles en la calle y, por tanto, es posible que el fenómeno se produzca en eventos que se registren un par de días después de acaecidas precipitaciones de baja intensidad y larga duración, según lo expresado precedentemente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Collins, J.; et al (2005)** “Evaluación de la calidad del agua en desagües pluviales”. In: XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza.
- Deletic, A.** (1998) “*The First Flush Load of Urban Surface runoff*”. Water Resource, (32). 2462-2470.
- Depettris, C.A.; et al (2009)** “Hidrología urbana: instrumentación y evaluación del escurrimiento superficial en una microcuenca de Resistencia, Chaco”. In: XXII Congreso Nacional del Agua, Trelew, Argentina.
- Duncan, H.P.** (1995) “*A Review of Urban Stormwater Quality Processes*”. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology: Report no 95/9.
- Gironás, L.; et al (2009)** “*Storm Water Management Mode -I Applications Manual*”. Department of Civil and Environmental Engineering Colorado State University. Fort Collins.
- Mazza, J.A.; et al (2004)** “*Informe Técnico del Proyecto: Simulación matemática de la cantidad y calidad del escurrimiento pluvial en un área urbana de Mendoza*”. ANPCyT - FONCyT (PICT98 13-04120).
- Mendez, G.J.; et al (2010 a).** “*Regionalización de Precipitaciones Máximas Acumuladas de 7, 15 y 30 días para las Provincias de Chaco y Formosa*”. In: I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. Azul, Argentina.
- Mendez, G.J.; et al (2010 b)** “Curva Clave de Sedimentos de una Microcuenca en Resistencia – Chaco - Argentina”. In: XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Punta del Este, Uruguay.
- 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. 2001. Cap. 4. p.103-121.
- Riccardi, G. (2004)** Apuntes del Curso Hidrología en Medios Antropizados de la Maestría en Recursos Hídricos de Llanura, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina.
- Rossman L.** (2010) “*Storm Water Management Model – User’s Manual (Version 5.0)*”. Water Supply and Water Resources Divison. National Risk Management Research Laboratory. Cincinnati
- Taylor, K.** (2007) “*Environments Sedimentology*” Blackwell Publishing Ltd. UK. In: **Poleto, C.** (2008). “*Ambiente Sedimentos*”. Associacao Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre.
- Vanoni, V.A.** (1975) “*Sedimentation Engineering*”. Ed. ASCE, Nueva York. In: **Gironás, L.; et al (2009)** “*Storm Water Management Mode -I Applications Manual*”. Department of Civil and Environmental Engineering Colorado State University. Fort Collins.