

MODELO DE ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS EN UNA CALLE DE RESISTENCIA

Mendez, Guillermo José; Depettris, Carlos Alberto; Pilar Jorge Víctor; Kutnich, Edgardo Javier; Gómez, Marcelo Justo Manuel

Universidad Nacional Del Nordeste, Facultad de Ingeniería, Departamento de Hidráulica
Av. Las Heras 727 (CPA H3500COI). TE (0362) - 4427006. Interno 142
Correo+ electrónico: guillermojosemendez@hotmail.com

RESUMEN

Palabras claves: escorrentía urbana, polución, llanura

En tiempo seco (sin lluvia), las calles son depositarias de una mezcla de sedimentos que pueden ser provenientes de fuentes locales, o bien ser importadas de áreas más o menos alejadas. Durante una lluvia, esos sedimentos son susceptibles de ser transportados en los inicios de la escorrentía, generándose así mayores concentraciones de sólidos suspendidos en los intervalos de tiempo iniciales de la precipitación (primer flujo). Ante la carencia de datos y las dificultades inherentes a su recolección, el uso de curvas de regresión que relacionan la carga de sedimentos con el tiempo seco transcurrido es fundamental para alcanzar el diseño de un modelo de calidad de aguas pluviales urbanas. En el presente trabajo se detalla la metodología utilizada y los resultados obtenidos para el ajuste de un modelo de acumulación de sedimentos en tiempo seco en una calle de la ciudad de Resistencia. El monitoreo se realizó en las cunetas, dado que ahí se considera que se acumula el 90% de los sedimentos de la calle. Las muestras se recolectaron diariamente, durante 35 días, en tres cuadras de la calle San Lorenzo, tomando muestras de 6 puntos distintos. A su vez, se recolectaron dos tipos de muestras, correspondiendo la primera a la aspirada directamente sobre la superficie de muestreo, denominada “carga libre” (CL). Seguidamente, la misma superficie fue barrida con un cepillo de fibras, para que los sedimentos adheridos a la misma estuvieran disponibles para ser aspirados, obteniéndose así la llamada “carga fija” (CF). La “carga total” (CT) depositada sobre la superficie estuvo constituida por la suma de la CL y la CF. Las CT presentaron un crecimiento exponencial con el tiempo seco y valores de saturación de 600 g/m^2 . Se registraron valores de CT ostensiblemente altos, luego de las precipitaciones. Es posible constatar que la zona de estudio tiene tendencia a alcanzar valores elevados de acumulación de sedimentos, si se la compara con cuencas de uso residencial en otras ciudades del mundo, pero no mayor a lo indicado para zonas de viviendas multifamiliares de Chicago (Estados Unidos), que presenta mayor densidad de población que las zonas residenciales tradicionales de otros países desarrollados.

INTRODUCCIÓN

Uno de los contaminantes más importantes, arrastrados por la escorrentía urbana, son los sedimentos. Estos generan depósitos que obstruyen los conductos del sistema menor, 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, amoníaco, 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. Ante la complejidad de los fenómenos que originan los sedimentos transportados y el efecto que estos producen en el medio ambiente, es fundamental contar con un mayor conocimiento en la materia, datos confiables y una adecuada interpretación.

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 locales, o bien importadas de áreas lejanas. Esos sedimentos son originados por la pérdida de suelo natural, la abrasión y desgaste generado por de los vehículos, la basura acumulada en las veredas, los desperdicios orgánicos de aves y animales domésticos y los materiales de construcción (Figura 1).

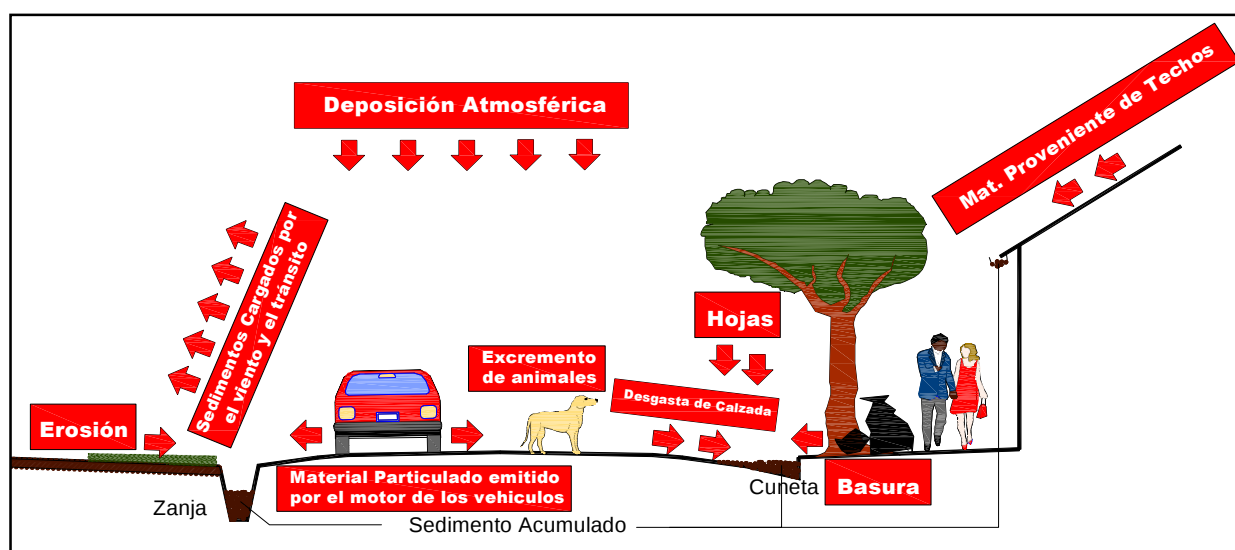


Figura 1. Fuentes de sedimentos en áreas urbanas (Taylor, 2007 apud Poleto 2008)

Durante una lluvia, los sedimentos acumulados en las calles son susceptibles de ser transportados en los inicios de la escorrentía, generándose así mayores concentraciones de sólidos suspendidos en los intervalos iniciales de la precipitación (primer flujo).

Este fenómeno es interpretado por los modelos de calidad de agua en el drenaje urbano, tal el caso programa Stormwater Management Model (SWMM), de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos. En su versión 5.0, de distribución gratuita, la acumulación y arrastre de contaminantes (como por ejemplo los sedimentos) se determina a partir de los usos de suelo asignados a estas últimas. De esa manera, los usos de suelo pueden ser asignados por categorías, de acuerdo a las 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):

- acumulación de contaminantes;
- arrastre de sedimentos;
- limpieza de calles.

Duncan (1995) concluye que la acumulación de sedimentos en superficies impermeables puede ser descripta como un proceso de equilibrio, dado que el proceso de acumulación está influenciado por el viento natural y el viento inducido por el tráfico de vehículos, y es, sobre todo, un proceso típico de tiempos secos. Sin embargo, los modelos de acumulación de sedimentos disponibles en el SWMM utilizan como única variable el tiempo seco transcurrido y omiten variables como velocidad del viento o de los vehículos. Entonces, los modelos de acumulación utilizados por ese programa son: potencial (Ec. 1), exponencial (Ec. 2) y de saturación o Michaelis–Menton (Ec. 3).

$$B = \text{Min}(C_1, C_2 \cdot t^{C_3}) \quad (1)$$

donde: B es la acumulación de contaminantes, C_1 es la acumulación máxima posible (masa por unidad de área), C_2 es la constante de crecimiento del contaminante acumulado y C_3 es el exponente del tiempo.

$$B = C_1(1 - e^{C_2 \cdot t}) \quad (2)$$

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).

$$B = \frac{C_1 \cdot t}{C_2 + t} \quad (3)$$

donde C_1 es la acumulación máxima posible (masa por unidad de área) y C_2 es la constante de semisaturación (número de días necesario para alcanzar la mitad de la máxima acumulación posible).

El programa SWMM, en su versión 5.0, no considera todos los modelos de acumulación utilizados por los distintos investigadores. En efecto, Huber (1986) indica que, además de los modelos indicados en las Ecuaciones 1, 2 y 3, debe incluirse un modelo lineal que considere a la acumulación de sedimentos directamente proporcional al tiempo seco antecedente (Figura 2).

La acumulación de sedimentos puede expresarse en unidades de masa/día/área, masa/día/longitud de cuneta, o simplemente masa/día y las ecuaciones que la interpreta puede ser lineales, potenciales, exponenciales, entre otras.

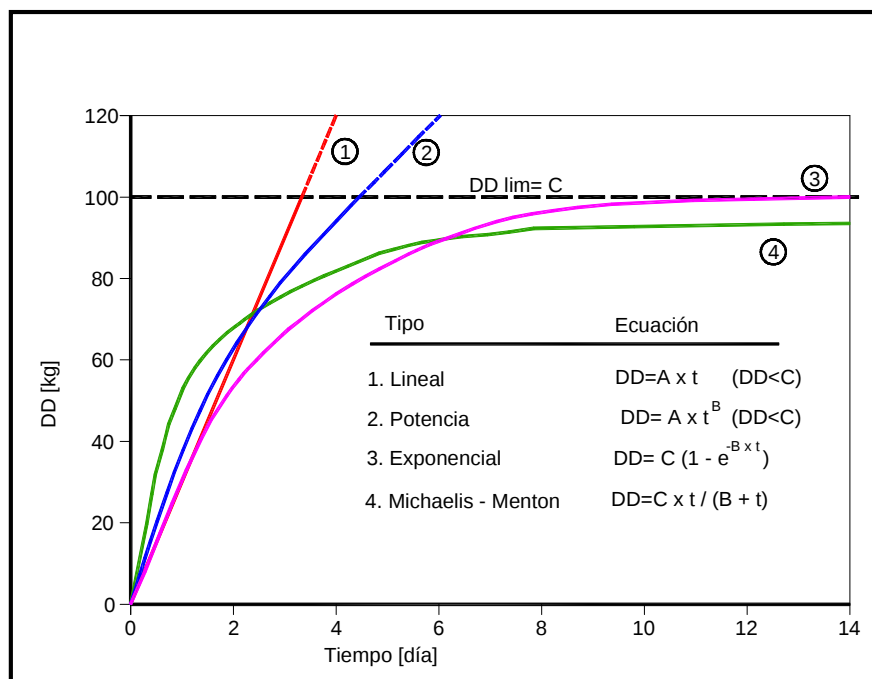


Figura 2. Modelos de Acumulación de Sedimentos (Huber y Dickinson, 1988)

Por su parte, Sartor *et al* (1972) apud Deletic (1998), sugieren una variante en la relación exponencial ya planteada, (Ecuación 4).

$$M(T) = M_0 \cdot (1 - e^{-k \cdot (t_{\text{seco}} + t')}) \quad (4)$$

donde M [g/m^2] es la acumulación de sólidos disponibles en la superficie, T [días] es el tiempo transcurrido desde el inicio de la primera lluvia en la serie, t_{seco} es el período de tiempo sin precipitaciones (tiempo seco) precedente al instante analizado, y t' [días] es el tiempo virtual.

El tiempo virtual es calculado asumiendo que la deposición de sedimentos es cero a t' días antes del inicio de la precipitación antecedente (Figura 3). Hay dos parámetros de calibración en la Ecuación 4, que deben ser determinados para cada cuenca en particular: M_0 [g/m^2], que es la máxima cantidad de sedimentos que se pueden acumular en la superficie, y k [día^{-1}], la constante de acumulación.

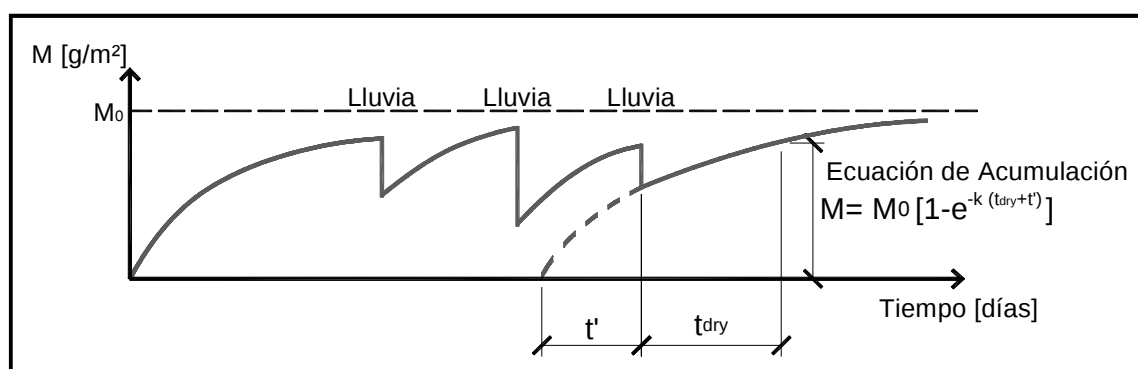


Figura 3. Concepto del Proceso de Acumulación de Sedimentos (Maksimovic, 2001)

Jimenez Gallardo (1999) indica que uno de los primeros estudios de acumulación de “polvo y suciedad” fue realizado por la American Public Works Association (APWA) en 1969, donde se

monitorearon cunetas dentro de cuencas urbanas con distintos usos de suelo. Se demostró, en ese caso, que la acumulación era lineal con el tiempo.

Zafra Majía (2009), monitoreó la acumulación de sedimentos en dos calles de la ciudad de Torrelavega, al norte de España, durante un período de 65 días, ubicadas en cuencas residenciales de distinta densidad de población. En ambas calles se registró una acumulación lineal, sin encontrarse un valor máximo de equilibrio (Tabla 1).

Tabla 1. Acumulación lineal adoptada en Estados Unidos y España

Ciudad	Uso de Suelo	Polvo y Suciedad Acumulada
Chicago (Estados Unidos)	Residencial – Unifamiliar	10,42 g/m.día
	Residencial – Multifamiliar	34,23 g/m.día
	Comercial	49,11 g/m.día
	Industrial	68,46 g/m.día
	Sin Desarrollar o parques	22,32 g/m.día
Torrelavega (España)	Residencial (Densidad Baja)	1,64 g/m ² .día
	Residencial (Densidad Alta)	2,53 g/m ² .día

Algunos investigadores han optado por el modelo del tipo exponencial, tal es el caso de Deletic et al (1997), que estudiaron la acumulación de sedimentos en calles de Dundee (Escocia), Belgrado (Rep. Serbia) y Lund (Suecia).

Por su parte, Dotto (2006), que investigó la acumulación de sedimentos en dos cuencas de la ciudad de Santa María, en el estado de Río Grande do Sul (Brasil), optó por el mismo modelo de acumulación. En la Tabla 2 se detallan los parámetros de ajuste utilizados por ambos investigadores.

Tabla 2. Acumulación exponencial en Escocia, Rep. Serbia, Suecia y Brasil

Investigador	Ubicación	Uso de Suelo	M ₀ [g/m ²]	K [1/día]
Deletic (1997 y 2000)	Dundee, Escocia	Residencial (Estacionamiento)	27	0,015
		Comercial (Tránsito de vehículo alto)	100	0,100
	Belgrado, Rep. Serbia	Residencial (Tránsito de vehículo medio)	10	0,045
	Lund, Suecia	Residencial (Estacionamiento)	18	0,015
Dotto (2006)	Santa María, Brasil	Residencial (Tránsito de vehículos alto)	140	0,200
		Residencial (Tránsito de vehículos bajo)	160	0,180

Sartor y Boyd (1972), apud Deletic et al (1997), indican que el 78% del material se ubica dentro de los 15,2 cm medidos desde la cuneta y el 95% en los primeros 91,50 cm. Esto es atribuible al tránsito vehicular, por impacto directo y por las corrientes de aire generadas y por el efecto de barrera realizada por el cordón (Figura 4). Es por esta razón que se focalizan en las cunetas y sus adyacencias la mayoría de los monitoreos, realizados en calles de las distintas ciudades del mundo.

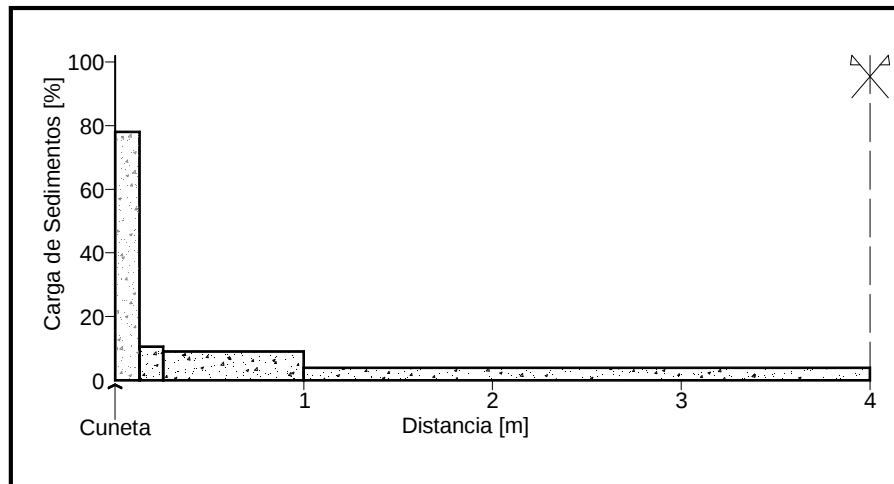


Figura 4. Distribución Espacial de los Sedimentos en una calle residencial (Sartor, 1974)

Los objetivos del presente trabajo fueron: i) cuantificar la cantidad de sedimentos acumulados en tiempo seco en cunetas de una calle pavimentada de la ciudad de Resistencia; ii) ajustar un modelo que interprete este fenómeno y iii) conocer y analizar las variables que intervienen en el proceso de acumulación, tales como la velocidad del viento y barrido de calles.

METODOLOGÍA

Para el monitoreo de sedimentos en tiempo seco se utilizó la metodología planteada por Vaze y Chiew (2002), desarrollada en un estudio en el que se evaluó la acumulación de contaminantes en una carretera urbana en Melbourne (Australia), que fue replicada por Dotto (2006) y Gomes (2008) en Santa María, Brasil y Zafra Mejía et al (2009) en la ciudad de Torrelavega (Cantabria), España.

Las muestras de sedimentos se tomaron en días de tiempo seco, a un costado de la cuneta, a la misma hora y durante un período de 35 días. La superficie de muestreo fue de $0,49 \text{ m}^2$ ($0,70 \text{ m} \times 0,70 \text{ m}$). Las dimensiones del área de muestreo se garantizaron colocando sobre la superficie un marco fijo, de dimensiones internas idénticas a las detalladas. En la recolección del sedimento se utilizó una aspiradora de polvo de 90w de potencia.

El monitoreo se realizó diariamente, en tres cuadras de la calle San Lorenzo de la ciudad de Resistencia (Figura 5), tanto en margen derecha como izquierda; es decir, diariamente se tomaron muestras de 6 puntos distintos. La ubicación de estos fue elegida al azar. Cada punto de muestreo fue georeferenciado con la utilización de un receptor GPS.

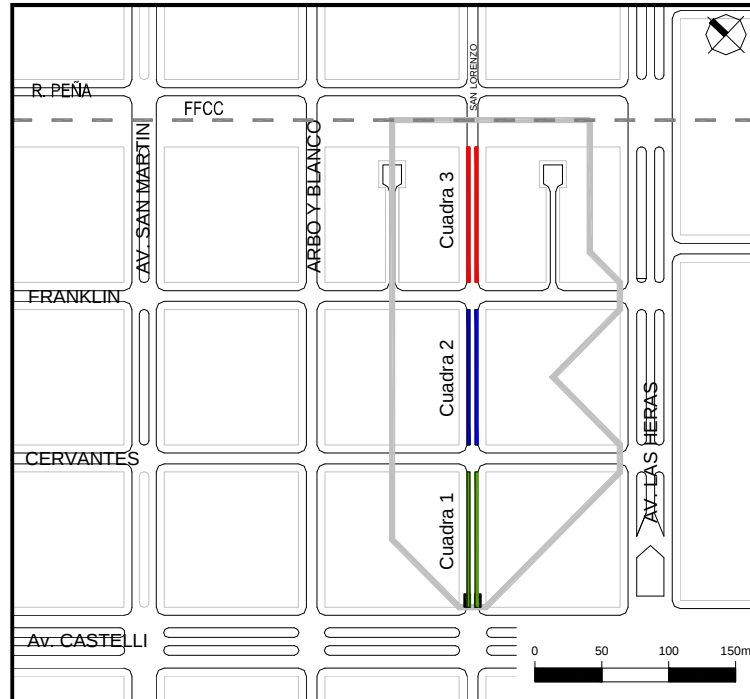


Figura 5. Sitios de monitoreo durante tiempo seco

Se recolectaron dos tipos de muestras. La primera muestra correspondió a la aspirada directamente sobre la superficie de muestreo, la cual se denomina “carga libre” (CL) y que corresponde al sedimento con menor tiempo de residencia (Fig 4.a). Seguidamente, la misma superficie fue barrida con un cepillo de fibras para que los sedimentos adheridos a la misma estuvieran disponibles para ser aspirados (Fig 4.b). Al sedimento recolectado después del barrido se lo denomina “carga fija” (CF), que es el sedimento con mayor tiempo de residencia (Fig 4.c). La superficie de muestreo fue barrida de forma ligera, para evitar el desprendimiento de partículas pertenecientes al pavimento, tratando de aplicar el mismo esfuerzo sobre el cepillo durante todo el período de muestreo. La “carga total” (CT) depositada sobre la superficie estuvo constituida por la suma de la CL y la CF. Durante la campaña de recolección de muestras se evitó repetir los lugares de muestreo.

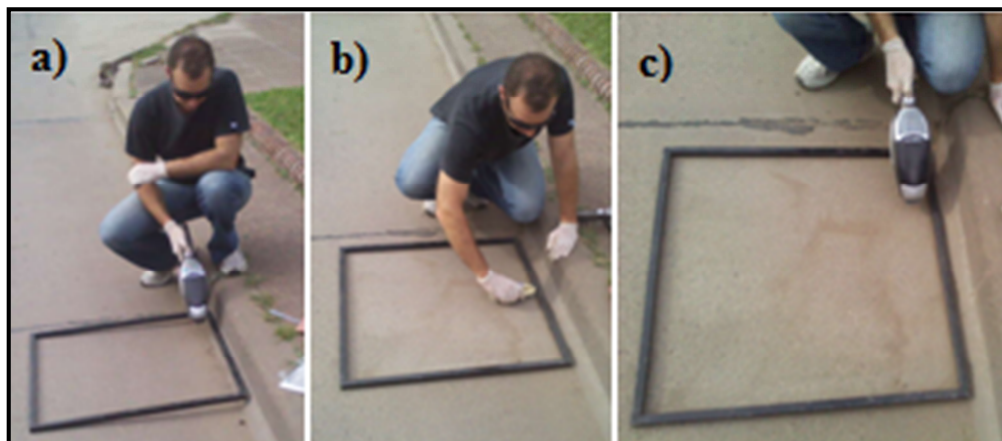


Figura 6. Área de muestreo aislada por marco metálico
(a) aspirada, (b) levemente cepillada y (c) aspirada nuevamente

El monitoreo de sedimentos en las cunetas de la calle San Lorenzo se realizó durante los período comprendido entre el 30/05/2011 y el 23/06/2011. Los días de lluvia no se realizaron mediciones, por lo que el tiempo efectivo de monitoreo fue de 30 días (Tabla 3).

Tabla 3. Periodo de monitoreo realizado en Tiempo Seco

Desde	Hasta	Clima	Total Precipitado
30/05/2011	02/06/2011	Tiempo Seco	---
03/06/2011	03/06/2011	Lluvia	1,5mm
04/06/2011	06/06/2011	Tiempo Seco	---
07/06/2011	07/06/2011	Lluvia	14,5mm
08/06/2011	20/06/2011	Tiempo Seco	---
21/06/2011	23/06/2011	Lluvia	21,1mm
23/06/2011	03/07/2011	Tiempo Seco	---

Las muestras recolectadas fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, donde fueron pesadas y luego secadas en estufa a 100°C durante 24hs. Cada muestra fue pesada inmediatamente después de salida de la estufa. De esta manera se obtuvo el peso seco de cada una, así como su contenido de humedad.

Durante toda la campaña se recolectaron 357 muestras, lo que representó un total 17,97 kg de sedimento seco. Con los datos obtenidos fue posible determinar el aumento diario de la carga de sedimentos acumulado en las cunetas durante tiempo seco. Ello permitió adoptar y calibrar un modelo que interprete el proceso de acumulación de sedimentos y evaluar el efecto de la lluvia y la eficacia de la limpieza de las calles para la remoción de sedimentos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se observó que la distribución espacial de la carga de sedimentos en las tres cuerdas monitoreadas no es homogénea. Ante la aleatoriedad adoptada para la elección de los puntos de medición, no fue posible interpretar una tendencia en la evolución de la carga de sedimentos con respecto al tiempo seco antecedente. Por tal motivo, se recurrió al uso de los promedios de las cargas totales de los seis puntos diarios, con lo que se pretendió morigerar las variaciones espaciales.

En la Figura 7, que muestra la variación de los promedios diarios de CT durante los días de monitoreo, se puede observar que las mayores tasas de crecimiento se registran después de las precipitaciones, con tendencia a ir decreciendo a medida que pasa el tiempo. Por tal motivo se optó por un modelo de tipo exponencial (Ec. 2), en concordancia con lo indicado por Gironás (2009), que considera que, aún cuando la mayoría de los datos disponible en la literatura indican un acumulación de tipo lineal, se observa que tal presunción no es siempre verdad, dado que la tasa de acumulación diaria tiende a decrecer con el tiempo seco.

Los valores de cargas totales medidos, ostensiblemente mayores luego de las precipitaciones, contradicen lo indicado por la bibliografía especializada. Por ejemplo Vaze y Chiew (2002) apud Dotto (2006) indican que existe una reducción del 40% de las cargas acumuladas luego de eventos significativos de precipitación.

Por tal motivo, para el ajuste del modelo de acumulación, no se incluyeron los valores promedios de cargas totales que fueron afectados por las precipitaciones, teniendo en cuenta que ninguno de los modelos de acumulación mencionados incluye tal fenómeno. A partir de lo expuesto se realizó el ajuste del modelo de acumulación mediante el método de los mínimos cuadrados, que considera que el mejor ajuste es aquel que minimiza la suma de las desviaciones al cuadrado de los valores observados respecto a los predichos por el modelo. En tal sentido, los valores de

coeficientes y exponente de acumulación adoptados son los detallados en Tabla 4, en tanto que el valor de R^2 obtenido indica un grado de ajuste del modelo aceptable.

Tabla 4. Parámetros de Ajuste del modelo adoptado

C_1	C_2	R^2
600 g/m ²	0,05	70,73%

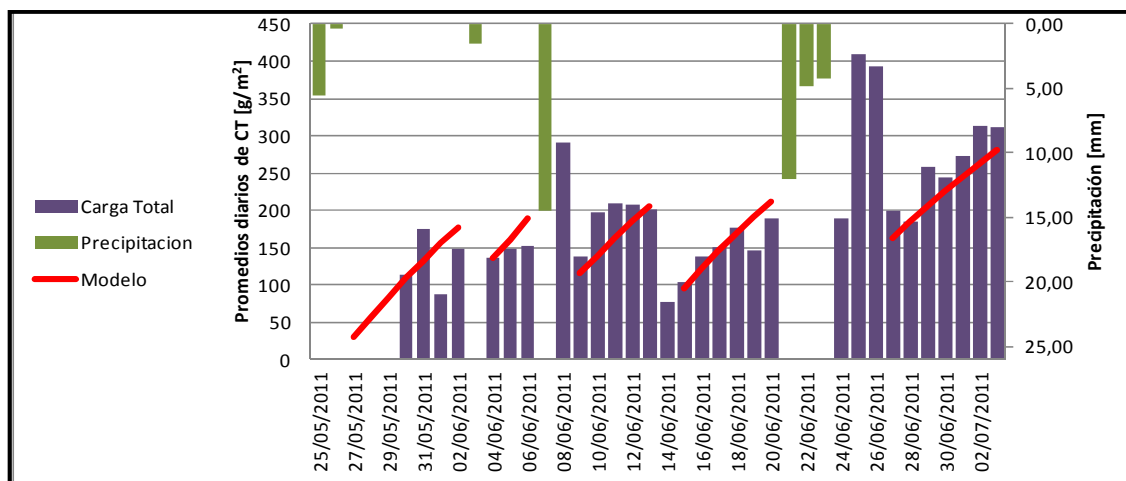


Figura 7. Modelo de acumulación adoptado

Durante las mediciones en tiempo seco, el servicio de limpieza de calles de la ciudad de Resistencia realizó 4 veces el barrido de las cunetas de la calle San Lorenzo, los días 01/06/11, 09/06/11, 14/06/11 y 27/06/11. El procedimiento usado para limpieza de la vía es el barrido manual de las cunetas. El efecto de las esa limpieza es visiblemente notorio en la carga totales (Figura 7). En forma aproximada, es posible estimar la eficiencia en la remoción de sedimentos mediante la relación entre los valores promedio de cargas totales del día en que se realizó el barrido y su precedente (Tabla 5).

Tabla 5. Eficiencia del barrido de calles en la microcuenca de estudio

Fecha de Limpieza	Promedio diario de Cargas Totales [g/m ²]		Eficiencia	Promedio
	Día del Barrido	Día Antecedente		
01/06/2011	86,8	174,0	49,9%	46,7 %
09/06/2011	138,6	290,3	47,7%	
14/06/2011	78,0	201,5	38,7%	
27/06/2011	199,1	393,6	50,6%	

Considerando el modelo ajustado, se realizó una comparación entre las cargas de sedimentos acumuladas bajo una situación con y sin barrido, con las eficiencias y frecuencias detectadas en la microcuenca de estudio (Figura 8).

Al efecto, se puede observar que de existir un periodo de tiempo de hasta 15 días sin lluvias, en una situación sin barrido las cargas totales acumuladas en las cunetas ascendería a 317 g/m², en tanto que, considerando 2 barridos por semana, la misma variable ascendería a 183 g/m².

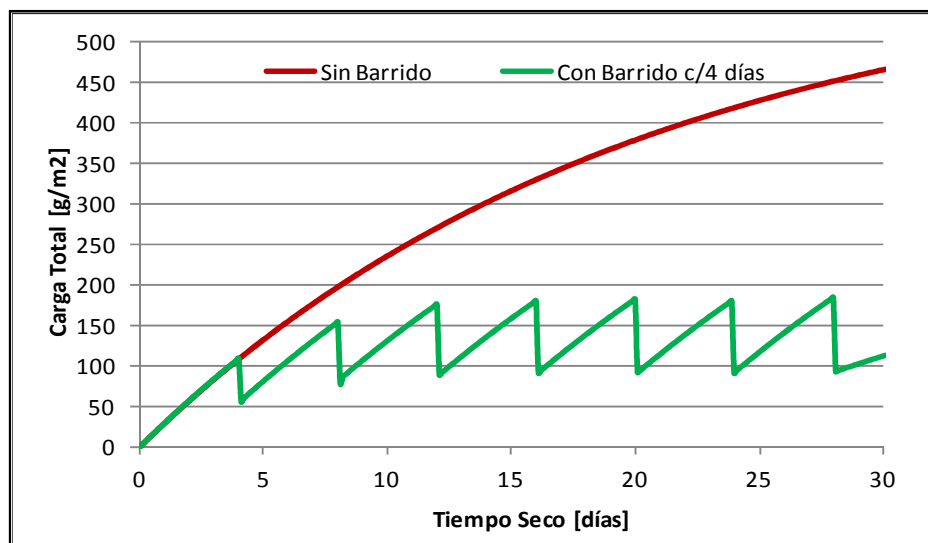


Figura 8. Cantidad de sedimentos acumulados en situaciones Sin barrido y Con barrido.

También se analizó el efecto de la velocidad viento en el promedio diario de las cargas libres, fijas y totales. Se utilizó como dato el registro dado por anemómetro de la estación meteorológica automática de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, ubicada a 200m de la microcuenca de estudio.

En tal sentido, las velocidades del viento durante el período de mediciones rondaron entre los 0,45 km/h y 4,53 km/h con un promedio de 1,62 km/h. Los días que registraron mayores velocidades fueron los días 15 y 16 de junio de 2011, en tanto que los días 31/05/11, 10/06/11 y 11/06/11 registraron las menores velocidades de viento. La dirección predominante del viento fue del este.

Las cargas fijas no fueron afectadas por la velocidad del viento. En tanto que las cargas libres tienden a disminuir con el aumento de la velocidad, aunque para velocidades menores a 2 km/h parecen no verse afectadas por esta variable (Figura 9). De todas maneras, el grado de afectación es muy leve si se lo compara con el efecto de la limpieza de calles respecto a las cargas totales.

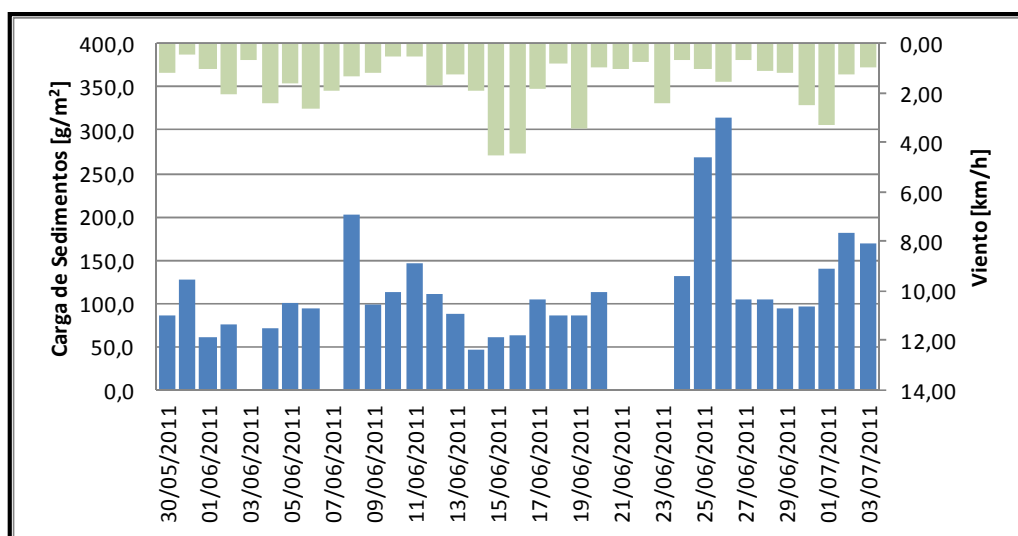


Figura 9. Carga Libre y Velocidad del viento

CONCLUSIONES

Los valores de CT ostensiblemente mayores a sus pares muestrales luego de las precipitaciones pueden deberse a la importación de sedimentos de zonas aledañas, principalmente de suelo de calles de tierra que son transportados a la microcuenca adherido a las ruedas de los vehículos. Esto explica que el valor promedio más alto de cargas totales registrado (408g/m^2 del 25/06/2011) se observa dos días de después de las precipitaciones.

Los porcentajes de eficiencia de remoción obtenidos están en concordancia con lo indicado por Temprano González (1996), que sostiene que el 50% del peso total de la suciedad acumulada puede eliminarse mediante el barrido manual y el 93% por aspiración.

Si se considera los efectos que los sedimentos acumulados en la calle tienen en la escorrentía urbana es posible indicar que la limpieza de calles es un método formidable para el control de sólidos en el drenaje urbano. Esto demuestra que el barrido de calles es una necesidad que va mucho más allá de lo estético, ya que controla las características del transporte de sedimentos en ambientes urbanos. En forma complementaria, se destaca la influencia que tienen las calles de tierra en la eficiencia del sistema de drenaje urbano.

Es posible constatar que la zona de estudio tiene tendencia a altos valores de acumulación de sedimentos si se la compara con cuencas de uso residencial en otras ciudades del mundo, pero no mayor a lo indicado para zonas de vivienda multifamiliar de Chicago, que presenta mayor densidad de población que las zonas residenciales tradicionales de los países desarrollados (Figura 10).

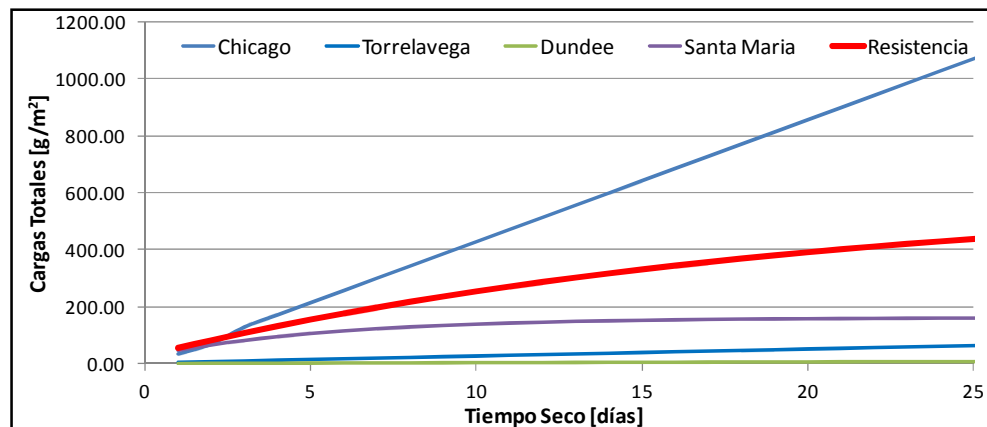


Figura 10. Comparación de los resultados obtenidos con otros modelo de acumulación ajustados en distintas ciudades del mundo.

En la Argentina la tendencia de la urbanización es de crear zonas densamente pobladas análogas a los barrios de vivienda multifamiliar ya indicados. Es posible, entonces, que los valores de acumulación tiendan a aumentar con el aumento de la densidad de la población.

A diferencia de las ciudades como Chicago, Dundee, Santa María y Torrelavega; Resistencia se encuentra en una llanura. Por tanto, posiblemente la topografía tan plana de la ciudad sea un factor que conspira contra la movilidad horizontal de los sedimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Deletic, A.; et al** (1997) “*Modelling of storm wash-off of suspended solids from impervious surfaces*”. Journal of Hydraulic Research. n. 35. p. 99-118.
- Dotto, C.B.S.** (2006) “*Avaliacao e Balanco de Sedimentos em Superfícies Asfálticas em Area Urbana de Santa Maria*” – RS. UFSM. Dissertação de Mestrado, Programa de Pos- Graduacao em Engenharia Civil. Santa Maria.
- 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.
- Gomes, A.P.** (2008) “*Acumulação e Transporte de Sedimentos na Microdrenagem: Monitoramento e Modelagem*”. Dissertacao de Mestrado, Programa de Pos- Graduacao em Engenharia Civil. Santa Maria.
- Huber, W.C.** (1986). “*Modeling of urban runoff quality: State of the art, Urban runoff quality enhancement technology. Proceedings of an Engineering Foundation Conference*”. Publish by the American Society of Civil Engineers. . p. 34-48. In: **Huber, W.C.; Dickinson, R.E.** (1988) “*Stormwater management model Version 4, User's Manual*” EPA-600/3-88-001a. Athens (GA): US EPA.
- Jiménez – Gallardo, B.R.** (1999) “*Contaminación por Escorrentía Urbana*”. Colegio de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.
- 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.
- 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
- Sartor, J.D.; Boyd, G.B.** (1972). “*Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants*” USA. EPA Report, EPA-R2-72-081. In: Deletic A.; et al (1997) “*Modelling of storm wash-off of suspended solids from impervious surfaces*” Journal of Hydraulic Research. n. 35, p. 99-1180.
- Taylor, K.** (2007) “*Environments Sedimentology*” Blackwell Publishing Ltd. UK. In: **Poleto, C.** (2008). “*Ambiente Sedimentos*”. Associacao Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre.
- Temprano González, J.; et al** (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.
- Vaze, J.; Chiew, F.H.S.** (2002) “*Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface*”. Journal of Urban Water. Elsevier Science. n. 4. p. 379-389.
- Zafra Mejía C.A.; et al** (2009) “*Evaluación de la contaminación por escorrentía urbana: sedimentos depositados sobre la superficie de una vía*” Ingeniería e Investigación. Vol. 29. n. 1. p. 101-108. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.