

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN ESPACIAL DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS EN UNA MICROCUENCA URBANA: MÉTODO DEL ÍNDICE DE ACUMULACIÓN

(*) 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

RESUMEN

Palabras claves: usos de suelo, polución, escorrentía, microcuenca urbana

La carga de sedimento arrastrada por la escorrentía urbana es producto de la erosión de suelo desprotegido y del lavado de sedimentos acumulados en superficies impermeables durante un tiempo seco. En una microcuenca urbana, las cunetas de las calles son las zonas de menor energía del sistema mayor, conformando franjas de acumulación potencial de sedimentos. Por otra parte, en una misma microcuenca existen distintos usos de suelos y calles con diferente tránsito vehicular, por lo que, se puede sostener que existen puntos que son potencialmente capaces de acumular mayor cantidad de sedimentos que otros. Aquí se analiza la variabilidad espacial de los sedimentos acumulados en una calle y sus factores condicionantes. Se tomó como estudio de caso una microcuenca del sector sur de la ciudad de Resistencia (Chaco, Argentina). Las muestras de sedimentos acumulados en tiempo seco se recolectaron diariamente durante 35 días, en tres cuadras de la calle San Lorenzo. La ubicación de los puntos de muestreo fue elegida al azar. Cada punto de muestreo fue georeferenciado con la utilización de un receptor GPS. Se recolectaron dos tipos de muestras: "carga libre" (CL) y "carga fija" (CF). La "carga total" (CT) depositada sobre la superficie estuvo constituida por la suma de la CL y la CF. Se adimensionalizaron las tres variables, es decir CL, CF y CT, mediante la relación de éstas con el promedio diario de cada tipo de muestra, obteniendo los denominados "Índice de acumulación" (IA). Los valores de IA fueron agrupados, según su ubicación, en franjas de 35 m a lo largo de la calle San Lorenzo, obteniendo los promedios de cada franja categorizada. La discriminación entre CF y CL resulto particularmente útil para detectar el origen de los sedimentos analizados. Fue posible comprobar que ciertas prácticas desarrolladas por el Hombre determinan la frecuencia e intensidad de los procesos de transporte y acumulación de sedimentos. Se asume que un adecuado control de algunos hábitos culturales ayudaría a minimizar el efecto negativo de la acumulación sedimentaria en microcuencas urbanas

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua en áreas urbanas, particularmente de los efluentes pluviales, es un tema que ha ganado importancia en los últimos años. Esto se debe a dos motivos: i) las ciudades albergan el 50% de la población mundial estimándose que alcanzará el 70% a mediados del presente siglo (Niemcynowicz, 1996 apud Maksimovic, 2001); ii) las actividades humanas generan gran cantidad de contaminantes, que se depositan en la superficie de calles, veredas y techos de los edificios siendo lavados por las lluvias y acumulados por la escorrentía urbana, lo que motiva sus altas concentraciones de contaminantes en el efluente pluvial.

En consecuencia una porción cada vez mayor de la población urbana está expuesta periódicamente a aguas que generan un impacto visual negativo, degradación del cuerpo receptor, efectos acumulativos tóxicos sobre plantas y animales y presencia de microorganismos indeseables potencialmente peligrosos.

Para alcanzar un desarrollo sustentable a nivel mundial, los roles del drenaje urbano han cambiado y ahora además de proporcionar protección frente a las inundaciones, debe permitir el control de contaminantes y otorgar al efluente pluvial características que contribuyan a desarrollar un ambiente urbano ameno.

Los contaminantes presentes en la escorrentía urbana son: sedimentos, sustancias que demandan oxígeno para degradarse, nutrientes (nitratos y fósforo), metales pesados, pesticidas, grasas y aceites, bacterias y virus, ácidos y bases, sustancias húmicas precursoras de trihalometanos, gases malolientes, cloruros y sodios, etc (Jiménez Gallardo, 1999), estando los primeros entre los más importantes.

Los sedimentos 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 almacenamiento y flujo y afectando su vida acuática. Además, la fracción más fina de los sedimentos ($< 4 \mu\text{m}$) es susceptible de transportar contaminantes adsorbidos tales como metales pesados, amoníaco, fertilizantes, pesticidas y policlorobifenilos (PCBs), entre otros. (Porto, 2001). Es decir, que los problemas generados por los sedimentos no solo atañen a la calidad del agua sino que conllevan a pérdidas de suelo y afectación del sistema de conductos del drenaje, por lo que el abordaje de su problemática exige un enfoque mixto, en el que intervienen, entre otras disciplinas, la sedimentología y la hidrología.

Las calles son una zona crítica de recepción de sedimentos, ya que en tiempo seco (sin lluvia) acumulan una significativa y compleja mezcla de sedimentos que pueden provenir de fuentes locales o bien ser importadas de áreas 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 (Poletto, 2008).

Los datos referentes a las tasas de generación de sedimentos en áreas urbanas son exiguos. Esto se debe a la complejidad del fenómeno y, especialmente a que su variabilidad depende de los usos y costumbres de las personas que viven en esos lugares.

La mayoría de las investigaciones indican que la mayor cantidad de sedimentos acumulados en las calles depende del uso de la cuenca. En efecto, Sartor y Boyd (1972), a partir de un estudio realizado en 8 ciudades de EEUU donde se tomaron muestras de acumulación sedimentaria en las

calles, encontraron diferencias significativas para cuencas de uso residencial, industrial y comercial (Figura 1).

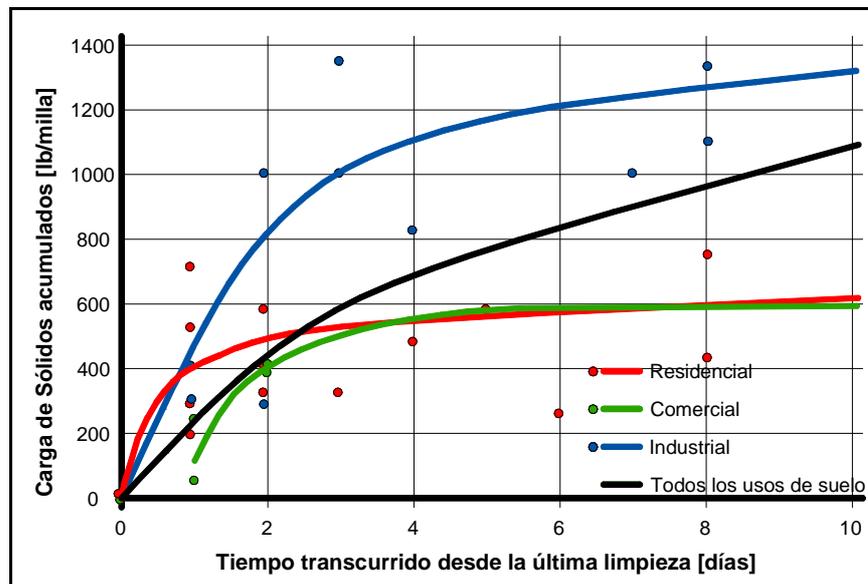


Figura 1. Acumulación No lineal de Sólidos en calles (Sartor y Boyd, 1972)

Sin embargo, dentro de una misma cuenca existe una marcada variabilidad en el fenómeno de acumulación de sedimentos. Sartor y Boyd (1972) apud Deletic et al (1997) indican que el 78% del material acumulado en calles 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, ya sea por impacto directo como por las corrientes de aire generadas; además, del efecto de barrera realizado por el cordón (Figura 2). Es por esta razón que la mayoría de los monitoreos realizados en calles, en distintas partes del mundo, se limita a las cunetas.

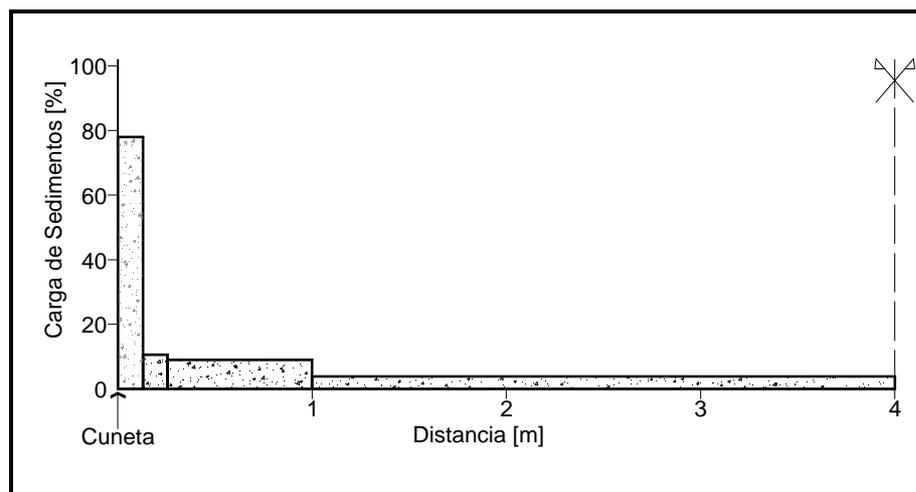


Figura 2. Distribución Espacial de los Sedimentos en una calle residencial (Sartor, 1972)

Zafra Mejia et al (2009) indica que la distribución de la carga total de sedimento a lo largo de la vía no es uniforme y se encuentra influenciada por la existencia de barreras naturales (senda de vegetación) o artificiales (bordillo). A esto debe agregarse la variabilidad que puede existir por la cercanía de distintas fuentes de sedimentos (e.g. construcciones civiles, calles de tierra, etc.).

El presente estudio tuvo como objetivo estudiar la variabilidad espacial de la acumulación de sedimentos en una microcuenca de la ciudad de Resistencia (capital de la provincia del Chaco) y las causas que provocan tal fenómeno, sobre la hipótesis que las prácticas urbanas influyen directamente en las características y magnitud del proceso de polución.

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), lo que fue replicado 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 sedimento 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 tuvo un área de 0,49 m² (0,70 m x 0,70m). Las dimensiones del área de muestreo se garantizaron colocando sobre la superficie un marco con las dimensiones internas señaladas. 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 3), tanto en margen derecha como izquierda. Es decir, diariamente se tomaron muestras en 6 puntos distintos. La ubicación de estos fue elegida al azar. Cada punto de muestreo fue georeferenciado con la utilización de un receptor GPS.

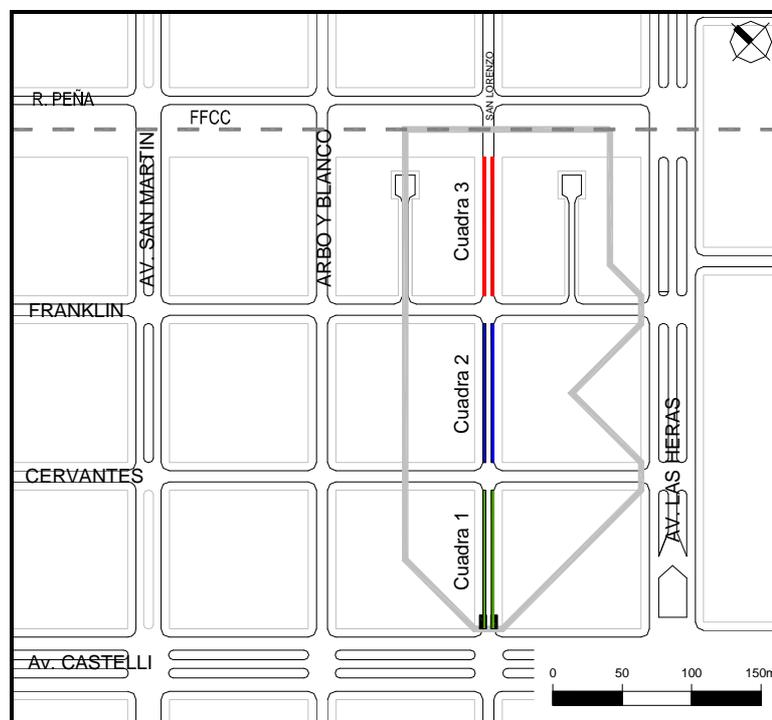


Figura 3. Sitios de monitoreo durante tiempo seco

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.

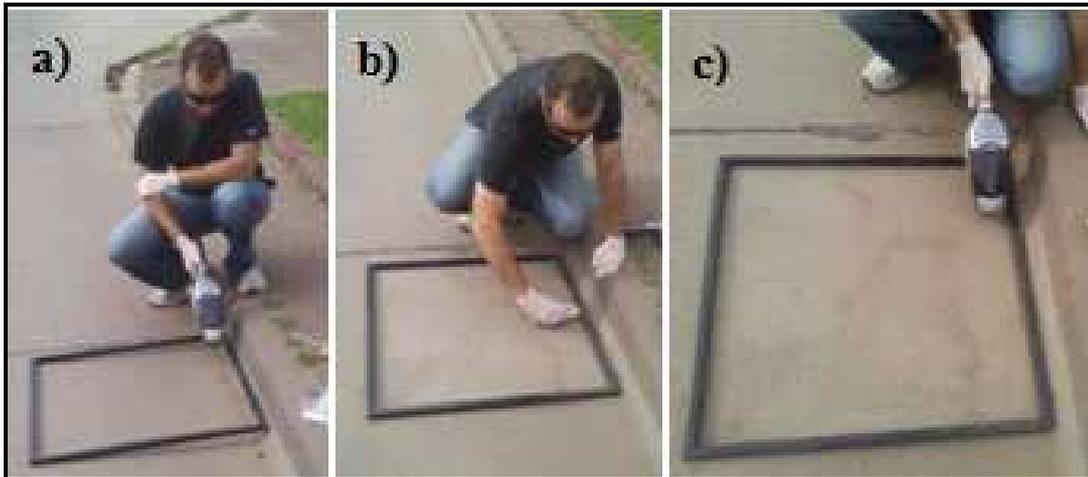


Figura 4. Área de muestreo aislada por marco metálico
(a) aspirada, (b) levemente cepillada y (c) aspirada nuevamente

Se realizó un análisis de la variabilidad espacial del fenómeno, considerando que las cargas de sedimentos tienden a aumentar con el transcurso del período sin lluvias. Posteriormente, se adimensionalizaron los tres valores obtenidos de cada punto de muestreo (CL, CF y CT) mediante la relación de estos con el promedio diario de cada tipo de muestra, A esos valores adimensionalizados se los denominó “índice de acumulación” (Ecuación 1).

$$I_A = \frac{B_{ij}}{Bm_i} \quad (1)$$

donde:

- I_A : índice de acumulación;
- B : carga de sedimentos libre, fija o total, registrada en un punto j durante el día i (g/m^2);
- Bm_i : carga media de sedimentos libre, fija o total, registrada durante el día (g/m^2);

Los índices de acumulación fueron agrupados, según su ubicación, en franjas a lo largo de la calle San Lorenzo (Figura 5), en sus márgenes izquierda y derecha y luego se calcularon los promedios de cada franja.

Todas las franjas tuvieron largos de 35 m, de manera que cada cuadra contara con tres franjas por lado. Además la longitud adoptada permitió contar con un número de mediciones por franja aceptable para realizar un análisis estadístico.

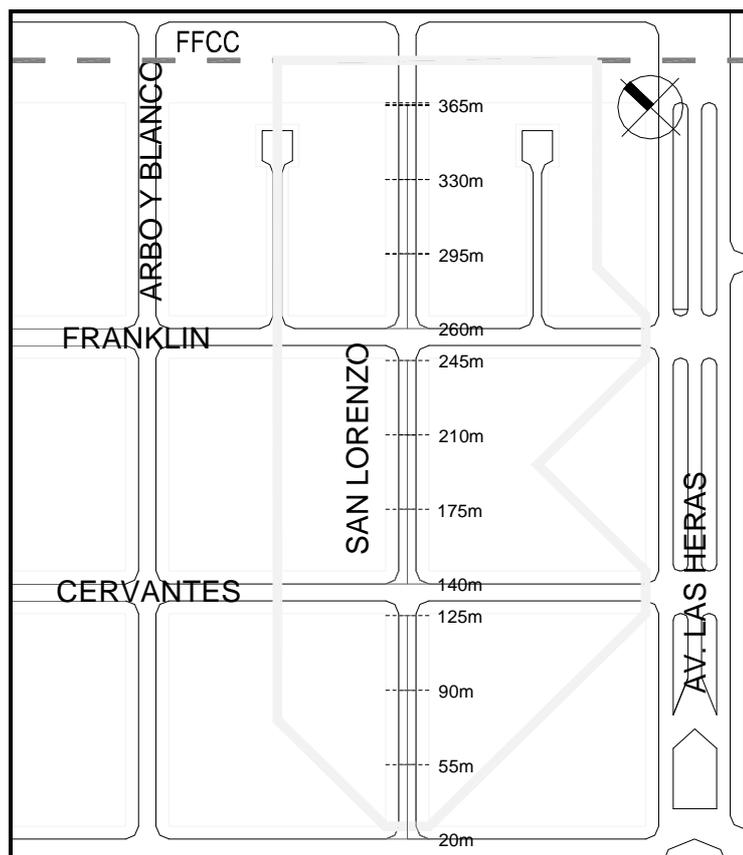


Figura 5. Franjas en que se agruparon los IA para su análisis

Luego los promedios de los índices de acumulación fueron categorizados (Tabla 1).

Tabla 1. Categorización de IA utilizada

IA	Acumulación de Sedimentos
0,25 a 0,75	Baja
0,75 a 1,25	Media
1,25 a 1,75	Alta
Mayores a 1,75	Muy Alta

Con los resultados obtenidos fue posible detectar las zonas de mayor acumulación de carga de sedimentos, para luego analizar las causas de esas particularidades.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En cada franja de 35 m (Figura 5) se realizaron entre 5 y 15 mediciones, por lo que se pudieron determinar algunos parámetros estadísticos descriptivos de los IA para CL, CF y CT (Tablas 2, 3 y 4 respectivamente), para margen derecha y para margen izquierda (Tablas 5, 6 y 7).

Tabla 2. Parámetros estadísticos de IA – CL – Margen Derecha

Ubicación	N	Media	Desvío Estándar	Mínimo	Máximo	Primer Cuartil	Mediana	Tercer Cuartil
20 a 55	9	0,83	0,51	0,276	1,674	0,38	0,813	1,292
55 a 90	10	0,83	0,53	0,28	1,624	0,343	0,635	1,361
90 a 125	11	0,73	0,35	0,391	1,525	0,456	0,591	0,95
145 a 175	15	0,94	0,51	0,332	2,138	0,547	0,852	1,108
175 a 210	10	0,99	0,47	0,577	1,747	0,596	0,807	1,499
210 a 245	5	0,51	0,27	0,177	0,915	0,285	0,464	0,756
260 a 295	12	0,72	0,34	0,22	1,4817	0,5075	0,6341	0,8695
295 a 330	11	0,72	0,35	0,32	1,693	0,544	0,626	0,775
330 a 365	6	1,92	1,21	0,349	3,508	0,812	1,95	2,983

Tabla 3. Parámetros estadísticos de IA – CF – Margen Derecha

Ubicación	N	Media	Desvío Estándar	Mínimo	Máximo	Primer Cuartil	Mediana	Tercer Cuartil
20 a 55	9	0,97	0,71	0,34	2,02	0,39	0,58	1,81
55 a 90	10	1,00	0,56	0,33	1,90	0,54	0,92	1,59
90 a 125	11	0,88	0,45	0,25	1,59	0,58	0,67	1,43
145 a 175	15	1,10	0,60	0,17	2,50	0,79	1,18	1,48
175 a 210	10	1,12	0,48	0,29	1,99	0,77	1,10	1,41
210 a 245	5	0,57	0,38	0,22	1,15	0,26	0,45	0,93
260 a 295	12	0,46	0,29	0,14	1,09	0,24	0,39	0,64
295 a 330	11	0,53	0,28	0,12	1,25	0,38	0,56	0,59
330 a 365	6	0,64	0,24	0,35	1,03	0,46	0,59	0,87

Tabla 4. Parámetros estadísticos de IA – CT – Margen Derecha

Ubicación	N	Media	Desvío Estándar	Mínimo	Máximo	Primer Cuartil	Mediana	Tercer Cuartil
20 a 55	9	0,88	0,57	0,31	1,81	0,40	0,75	1,48
55 a 90	10	0,88	0,46	0,36	1,89	0,46	0,77	1,11
90 a 125	11	0,76	0,31	0,32	1,31	0,54	0,71	0,97
145 a 175	15	0,98	0,44	0,26	1,55	0,61	0,99	1,50
175 a 210	10	1,02	0,39	0,54	1,59	0,68	0,99	1,44
210 a 245	5	0,53	0,32	0,20	1,04	0,30	0,41	0,82
260 a 295	12	0,60	0,29	0,23	1,32	0,35	0,62	0,71
295 a 330	11	0,66	0,25	0,35	1,24	0,54	0,55	0,76
330 a 365	6	1,43	0,75	0,46	2,24	0,68	1,54	2,11

Tabla 5. Parámetros estadísticos de IA – CL – Margen Izquierda

Ubicación	N	Media	Desvío Estándar	Mínimo	Máximo	Primer Cuartil	Mediana	Tercer Cuartil
20 a 55	9	0,82	0,57	0,11	1,71	0,40	0,74	1,50
55 a 90	10	0,69	0,27	0,42	1,22	0,51	0,59	0,86
90 a 125	11	1,25	0,61	0,29	2,10	0,87	1,15	1,84
145 a 175	15	0,97	0,54	0,24	1,85	0,43	1,08	1,31
175 a 210	10	1,16	0,43	0,61	1,84	0,76	1,28	1,54
210 a 245	5	1,59	0,90	0,12	2,54	0,86	1,79	2,22
260 a 295	12	1,00	0,50	0,31	2,11	0,63	0,97	1,37
295 a 330	11	1,70	0,67	0,82	2,59	1,12	1,60	2,40
330 a 365	6	1,22	0,88	0,33	3,01	0,67	0,96	1,45

Tabla 6. Parámetros estadísticos de IA – CF – Margen Izquierda

Ubicación	N	Media	Desvío Estándar	Mínimo	Máximo	Primer Cuartil	Mediana	Tercer Cuartil
20 a 55	9	1,09	0,35	0,61	1,55	0,63	1,14	1,37
55 a 90	10	1,07	0,85	0,41	2,68	0,43	0,63	1,59
90 a 125	11	1,13	0,51	0,00	1,86	0,85	1,10	1,55
145 a 175	15	1,63	0,77	0,86	3,85	1,19	1,45	1,77
175 a 210	10	1,21	0,57	0,40	2,19	0,67	1,32	1,60
210 a 245	5	2,04	1,76	0,15	4,30	0,50	1,44	3,87
260 a 295	12	0,52	0,28	0,14	1,09	0,33	0,46	0,58
295 a 330	11	0,63	0,33	0,28	1,25	0,32	0,58	0,86
330 a 365	6	0,68	0,28	0,35	1,03	0,46	0,60	1,03

Tabla 7. Parámetros estadísticos de IA – CT – Margen Izquierda

Ubicación	N	Media	Desvío Estándar	Mínimo	Máximo	Primer Cuartil	Mediana	Tercer Cuartil
20 a 55	9	0,89	0,45	0,3	1,6	0,54	0,74	1,48
55 a 90	10	0,90	0,47	0,4	1,9	0,57	0,77	0,98
90 a 125	11	1,19	0,43	0,6	1,8	0,74	1,21	1,59
145 a 175	15	1,27	0,44	0,7	2,0	0,88	1,21	1,66
175 a 210	10	1,21	0,42	0,5	2,0	0,88	1,24	1,50
210 a 245	5	1,93	1,33	0,1	3,7	0,83	1,62	3,19
260 a 295	12	0,87	0,35	0,3	1,4	0,61	0,81	1,18
295 a 330	11	1,55	0,69	0,8	2,9	0,91	1,51	1,96
330 a 365	6	1,09	0,69	0,4	2,5	0,78	0,88	1,19

Los valores máximos y mínimos indicados en las tablas precedentes muestran la variabilidad del fenómeno. El rango de IA máximo es 4,15, registrado en la muestra indicada como CF de la margen izquierda, ubicada entre 210 y 245m (Tabla 6). Esta franja comprende una longitud de 35 m aguas abajo de la intersección de las calles San Lorenzo y Franklin. Una particularidad que se registró en esa área consistió en que durante un periodo considerable de tiempo presentó charcos de

agua dados por la descarga no pluvial de un domicilio cercano, lo que motivó que se realizaran sólo 5 mediciones en ese sector. Por otra parte, la humedad suscitada favoreció la cohesión de sedimentos y su adherencia al pavimento, aunque también, es posible que tal acumulación pueda deberse a los desbordes dados en una boca de registro ubicada en la mencionada intersección.

Como consecuencia, en la franja indicada se constató la presencia de una costra de suelo de aproximadamente 3mm de espesor fácilmente removible, que fue medida el día 29/06/2011 ($344,67 \text{ g/cm}^2$) y que comparada con la media de la CF del día fue 4,3 veces mayor.

Independientemente de la fuente que genera tal cantidad de carga fija, la misma tiene origen cloacal y por lo tanto, se asume aceptable la posibilidad de utilizar esa variable como indicio para detectar conexiones domiciliarias clandestinas.

En las Tablas 4 y 8 se puede observar que las franjas que van de 330 a 365 en margen izquierda y de 295 a 330 en margen derecha presentan índices de acumulación de CT de 1,43 y 1,55, respectivamente. En ambas zonas, la frecuencia de IA mayores a 1,5 excedió 60% (Figuras 6 y 7), es decir, presentaron una alta tendencia a la acumulación de sedimentos a lo largo de todo el monitoreo.

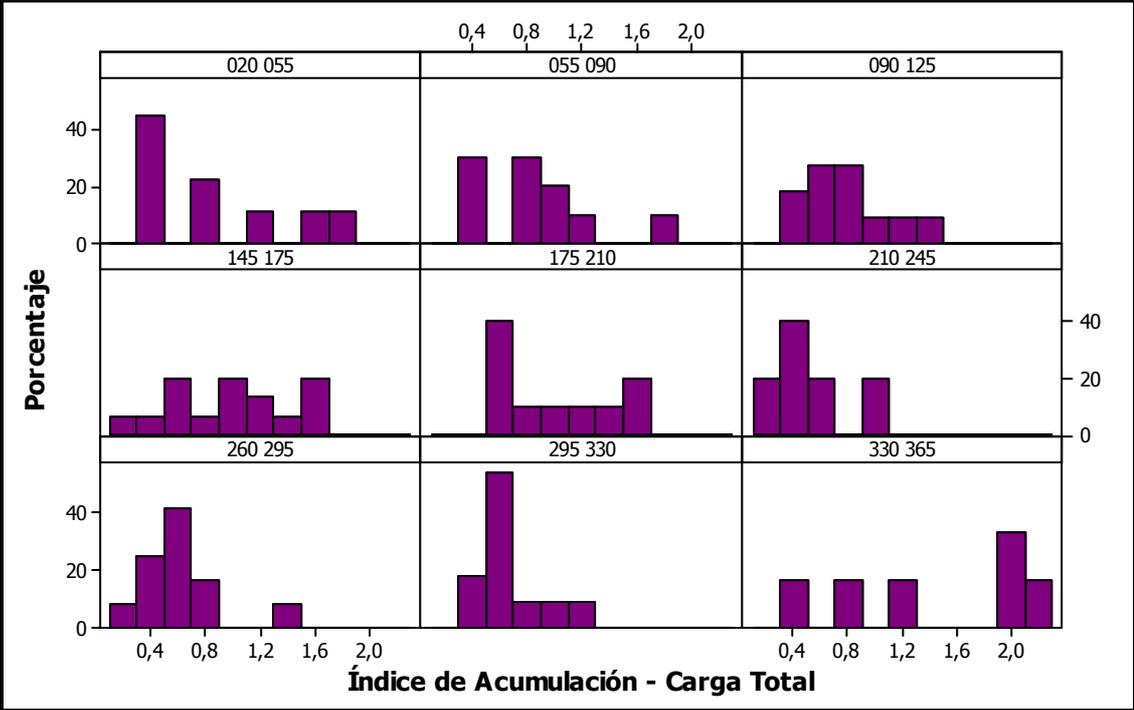


Figura 6. Histogramas de Frecuencia de IA – CT – Margen Derecha

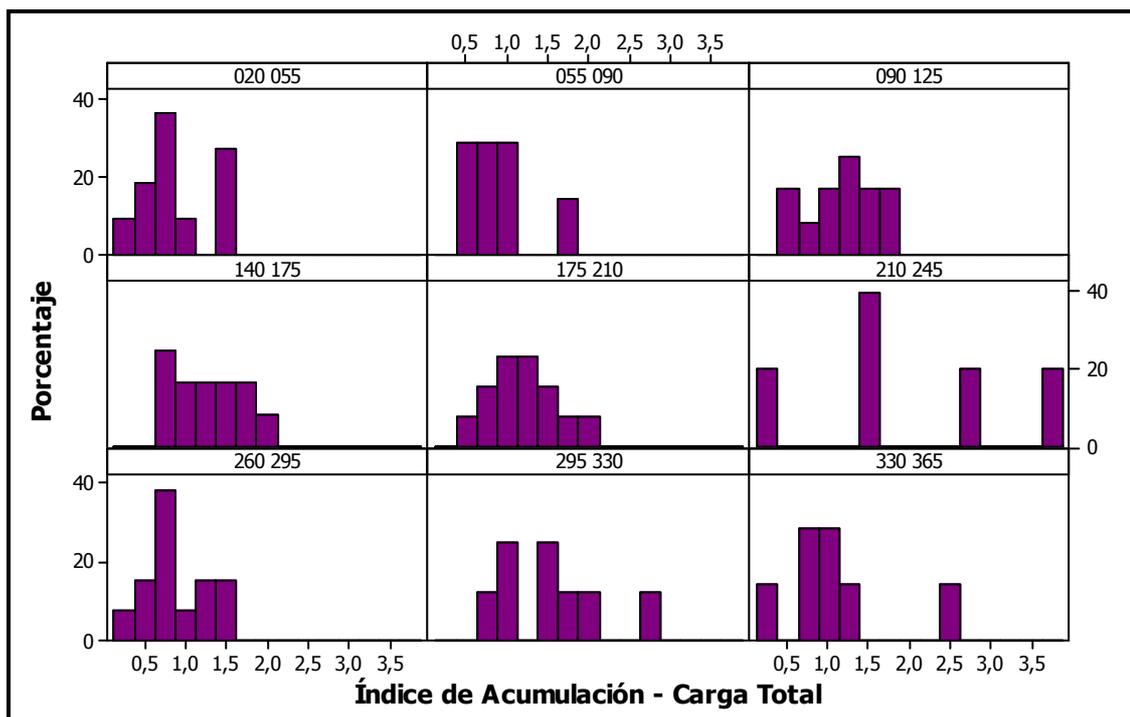


Figura 7. Histogramas de Frecuencia de IA – CT – Margen Izquierda

En la Figura 6 se puede observar que en la franja de 330 a 365m en la margen derecha el histograma tiene su clase modal próxima los valores más altos de IA (mayores a 2). En tanto que en la margen izquierda para la franja de 295 a 330m se observa un histograma bimodal, con uno de los picos igual a 1,5 y tendencia hacia los valores más altos.

La tendencia a dar mayores valores de carga de sedimentos en las aéreas indicadas en el párrafo anterior se debe a la influencia de la vía del ferrocarril. En efecto, el viento y/o los vehículos que atraviesan esa vía arrastran material fino, depositándolo en zonas cercanas. Es posible que los vehículos estacionados en la margen derecha frenen el arrastre de estas partículas, dado que la zona de influencia de la margen izquierda se encuentra más alejada a la vía del ferrocarril.

Se categorizaron los promedios de índice de acumulación de cargas totales (Tablas 4 y 8) a partir de la clasificación mostrada en la Tabla 1. Con ello se realizó un mapa de acumulación de sedimentos (Figura 8).

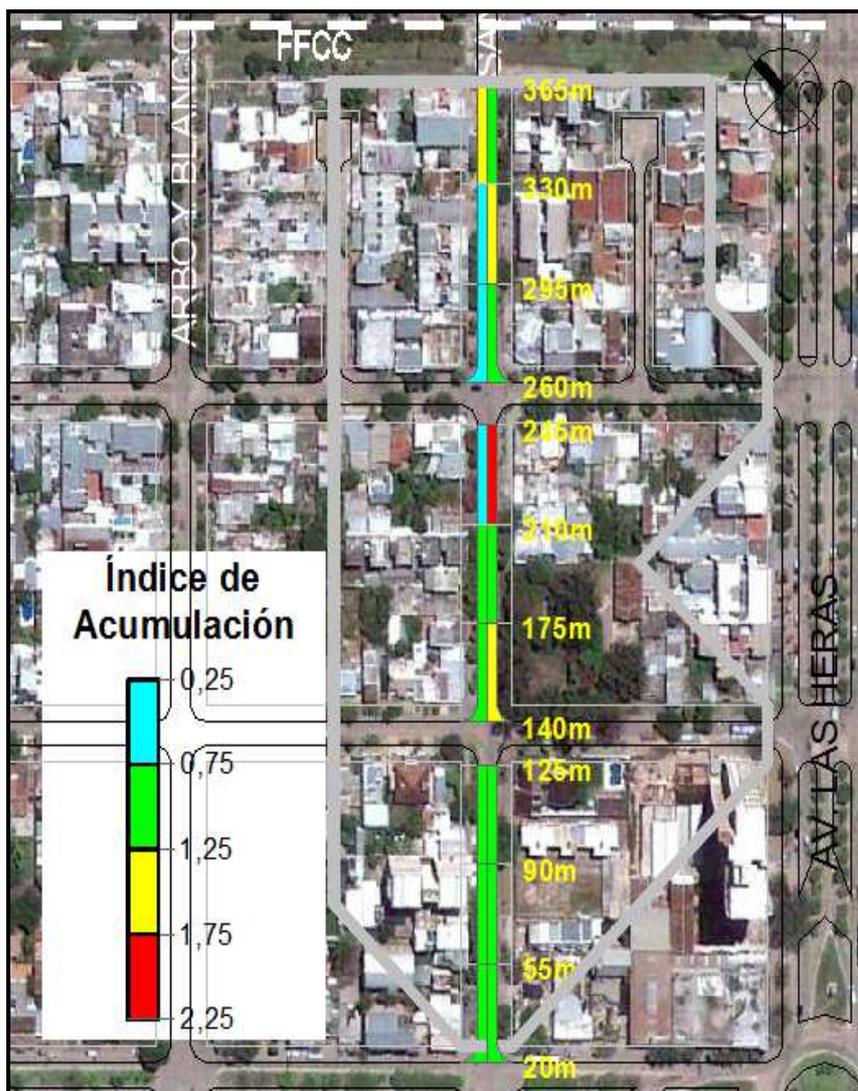


Figura 8. Mapa de Acumulación de Sedimentos

CONCLUSIONES

La discriminación entre cargas fijas y cargas libres, realizadas durante el monitoreo en tiempo seco, resulto particularmente útil para analizar la variabilidad espacial de la acumulación de sedimentos y las fuentes que provocan zonas de mayor acumulación.

Se observó que la distribución espacial de la carga de sedimentos en las tres cuadras estudiadas no fue homogénea. Las zonas cercanas a la vía del ferrocarril indicaron una fuerte tendencia a dar mayores valores de carga de sedimentos, principalmente de cargas libres. En efecto, el viento y los vehículos que atraviesan esta vía férrea arrastran partículas retenidas en el balasto, donde descansan los durmientes, depositándolas en zonas cercanas. Es posible que los vehículos estacionados en la margen derecha frenen el arrastre de estas partículas, dado que la zona de influencia de la margen izquierda se encuentra más alejada a la vía del ferrocarril.

Por su parte, 35 m aguas abajo de la intersección de las calles San Lorenzo y Franklin se detectaron mayores valores de carga fija, debido a la acumulación de lodos de origen cloacal depositados por los desbordes de una boca de registro ubicada en la mencionada intersección.

Se comprueba la hipótesis de trabajo por cuanto ciertas prácticas desarrolladas por el Hombre determinan la frecuencia e intensidad de los procesos de transporte y acumulación de sedimentos. Se asume que un adecuado control de algunos hábitos culturales ayudaría a minimizar el efecto negativo de la acumulación sedimentaria en microcuencas urbanas.

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 Superficies Asfalticas 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.
- 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.
- Jiménez – Gallardo, B.R.** (1999) “*Contaminación por Escorrentía Urbana*”. Colegio de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.
- Niemczynowicz, J.** (1996) “*Challenges and interactions in water future*”. Suiza: Environmental Research Forum Transtec Publications, núm. 34, 1-10pp. In: **Maksimovic, C.** (2001) “*Urban drainage in specific climates*”, Francia: UNESCO – Technical Documents in Hydrology, 2001, Vol. I, N°40, 277pp.
- 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.
- Sartor, J.D.; Boyd, G.B.** (1972). “*Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants*” USA. EPA Report, EPA-R2-72-081.
- 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.