



IT N° 58-CRA

## INFORME TÉCNICO

### **SIMULACIÓN MATEMÁTICA DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DEL ESCURRIMIENTO PLUVIAL EN UN ÁREA URBANA DE MENDOZA**

**Proyecto financiado por ANPCyT - FONCyT (PICT98 13-04120)**

#### **Autores:**

Ing. Jorge A. Maza (*Responsable del proyecto*)  
Qco. Hugo Loustaunau  
Inga. Patricia López  
Ing. Miguel Manzanera  
Lic. Adrián Vargas A.  
Sr. Víctor Burgos (*becario INA*)  
Inga. Verónica Benegas (*becaria INA*)  
Técn. Javier Zarategui  
Técn. Carlos Rodríguez  
Técn. Marta S. Nuñez  
Ing. Amílcar Álvarez (*asesor*)  
Cdor. Luis Fornero (*asesor*)

Publicación Interna

*Mendoza, julio de 2004*

## **RECORDATORIO**

*Los autores recuerdan con afecto al Qco. Hugo Alfredo Loustaunau que falleció en diciembre de 2003 y que realizó importantes contribuciones para la concreción del presente informe.*

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 El clima y las precipitaciones	2
1.2 Problema aluvional	2
1.3 El drenaje urbano de Mendoza	3
1.4 Origen de los problemas de inundación urbana	4
1.5 Problemática de la contaminación del escurrimiento pluvial	5
1.5.1 Efectos ambientales de la urbanización	5
1.5.2 Problemas en la política ambiental urbana	6
1.5.3 Análisis de calidad del escurrimiento pluvial urbano	7
2. ESTUDIO EN UN ÁREA URBANA DEL GRAN MENDOZA	14
3. MODELACIÓN	17
3.1 Modelos de simulación	17
3.2 Modelo PCSWMM	18
3.2.1 Algoritmos para simular la calidad del escurrimiento pluvial	20
4. MEDICIÓN DE CONTAMINANTES	21
4.1 Equipamiento y metodología utilizada	23
5. CALIBRACIONES Y VALIDACIONES	26
5.1 Análisis de la simulación de la cantidad de escurrimiento	26
5.1.1 Procedimiento de calibración para la simulación de contaminantes	28
5.1.2 Resultados de la calibración en el evento del 22/01/04	31
5.2 Validaciones	43
5.2.1 Resultados del evento del 10/03/03	43
5.2.2 Resultados del evento del 12/01/04	46
5.3 Análisis de los resultados	57
5.4 Simulación del evento con precipitación de TR=2 años	62
6. CONCLUSIONES	68
7. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	73
APÉNDICE I DISEÑO URBANO SENSIBLE AL AGUA DE LLUVIA	75
APÉNDICE II NORMAS DEL DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN DE MENDOZA (Resolución 778)	78

# **SIMULACIÓN DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DEL ESCURRIMIENTO PLUVIAL EN UN ÁREA URBANA DE MENDOZA**

J. Maza; H. Loustaunau; P. López; M. Manzanera; A. Vargas A.; V. Burgos; V. Benegas;  
J. Zarategui; C. Rodríguez; M. Nuñez; A. Álvarez; L. Fornero  
Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino

Proyecto financiado por ANPCyT - FONCyT (PICT98 13-04120)

## **RESUMEN**

Las inundaciones en áreas urbanas son reconocidas internacionalmente (UNESCO-PHI) como un flagelo que afecta el normal desenvolvimiento de la población y consecuentemente impacta negativamente en la actividad económica. Además en la región cuyana se produce el caso de que los escurrimientos pluviales ya contaminados en la ciudad ingresan en la red de riego perjudicando a la producción agropecuaria.

Cuando se producen las intensas tormentas convectivas durante la temporada estival, se originan importantes escurrimientos en las áreas urbanas mendocinas, que en la mayoría de los casos exceden al sistema de drenaje pluvial (acequias) y por lo tanto se produce la conducción por las calles, transportando así una importante carga contaminante, que va hacia la zona agrícola a través de los cauces de riego que son receptores del drenaje urbano.

Las simulaciones realizadas en este estudio con el modelo PCSWMM dan resultados de cantidad y calidad del escurrimiento pluvial en diversos puntos de la cuenca urbana que distan de ser concluyentes para tomar cualquier tipo de decisiones estructurales y/o no-estructurales.

El proyecto tuvo carácter de demostrativo, y desde esa visión se puede rescatar que:

- las concentraciones de los contaminantes de las muestras provenientes de los eventos observados revelan información inédita para la región.
- las mediciones de calidad de agua de escurrimiento pluvial en los tres eventos observados son llamativas, dado que en algunos casos se determinaron valores de concentraciones que superan las normas del Departamento General de Irrigación de Mendoza.

Es necesario realizar campañas de medición sistemáticas para poder contar con información concluyente sobre esta problemática, y poder calibrar herramientas de simulación que luego pueden ser útiles para generar otros escenarios distintos del actual y así poder planificar.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 El clima y las precipitaciones

El clima de Mendoza es templado continental seco, lo que se ve reflejado en los siguientes datos:

- La temperatura media anual es de 16°C variando las medias diarias mensuales de 8°C en Julio a 24°C en Enero.
- Las temperaturas máximas medias diarias oscilan de 15°C en Julio a 32°C en Enero y las mínimas medias diarias van de 2°C en Julio a 16°C en Enero.
- La humedad relativa media es de 52%, oscilando a lo largo del año de 42 a 62% (medias mensuales).

La precipitación media es de 194 mm. anuales, variando en el interior de la provincia de 80 a 340 mm. Las precipitaciones se desarrollan generalmente en el verano como tormentas convectivas de alta intensidad y corta duración (105 mm. en 1 hora, el 4 de enero de 1970), habiendo registros de intensidades de hasta 5 mm./min.

### 1.2 Problema aluvional

Históricamente, la ciudad de Mendoza, ha soportado severas inundaciones, derivadas del hecho de estar asentada en el piedemonte de la Precordillera Andina, en el cono de deyección de varias cuencas aluvionales. Existen antecedentes comprobados de problemas aluvionales desde el año 1607 (Mendoza fue fundada por españoles encabezados por Don Pedro del Castillo en el año 1561). Dichos antecedentes se encuentran plasmados en antiguos documentos y manuscritos, generalmente de sacerdotes y vicarios jesuitas y de altas autoridades de la época.

Síntesis de los eventos más importantes, aunque los antecedentes sobre los aspectos socio-económicos sean escasos:

- En 1716 una gran inundación destruyó gran parte de los edificios céntricos, entre los que se hallaban la Iglesia de Nuestra Señora de Loreto.
- En 1754 una inundación puso en peligro a los pobladores de la vieja ciudad fundada en 1561.
- En 1895 se precipitó sobre la ciudad y alrededores una lluvia de características inusuales, provocando una verdadera catástrofe. El agua que descendía de la cerrillada oeste arrastraba a su paso puentes, troncos de árboles, numerosos quioscos de la sierra y posteriormente ropas, muebles, animales muertos y enseres de las casas de los barrios pobres situados a Oeste de la ciudad. Este aluvión produjo 24 muertos, 200 heridos e infinidad de familias sumidas en la miseria por haberlo perdido todo.

- En 1959, el 31 de diciembre, una intensa lluvia, caída en las cerrilladas del oeste y sobre la ciudad misma, provocó inundaciones y daños en el centro de Mendoza. El comercio resultó muy perjudicado pero no se registraron víctimas. Las pérdidas económicas fueron superiores a los \$ 220.000.

Del piedemonte, bajan innumerables cauces de diferente importancia, en dirección Oeste-Este. Mendoza, que está situada donde el piedemonte se va transformando en planicie, los intercepta. Hoy, esta importante urbe de 950.000 habitantes llamada Gran Mendoza (Mendoza, Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras, Maipú y Luján), ha quedado surcada por una serie de canales que han tratado de respetar lo que la naturaleza ha impuesto desde el comienzo; una gran cantidad de esos cauces naturales, ha desaparecido y otros se han convertido en calles. Los cauces más importantes se han respetado y hoy son canales que conducen el agua retenida y laminada por los diques aluvionales al colector principal (Figura 1).

Los problemas aluvionales surgen debido a la insuficiente capacidad de conducción con que cuentan dichos canales y a las características peculiares del sistema de drenaje pluvial. Esta insuficiencia puede atribuirse tanto a la disminución paulatina de su pendiente, como a la disminución de su sección cuando pasa por la ciudad (presión urbanística).

Los diques aluvionales forman una especie de escudo que normalmente protege de una forma efectiva a la ciudad de las avenidas que se forman en estas cuencas, las cuales poseen una importante pendiente media y por consiguiente, cortos tiempos de concentración y elevados caudales pico.

### **1.3 El drenaje urbano de Mendoza**

El sistema de drenaje pluvial de Mendoza está compuesto por diferentes categorías de colectores:

- Colector primario: es el colector principal, el canal matriz de riego Cacique Guaymallén.
- Colectores secundarios: son los canales que desaguan al colector principal, (ej: canales Maure, Frías y de los Ciruelos).
- Colectores terciarios: son las calles de la ciudad que desaguan a los canales descriptos como drenaje secundario.
- Colectores cuaternarios: son las acequias que se sitúan adyacentes a las calles.

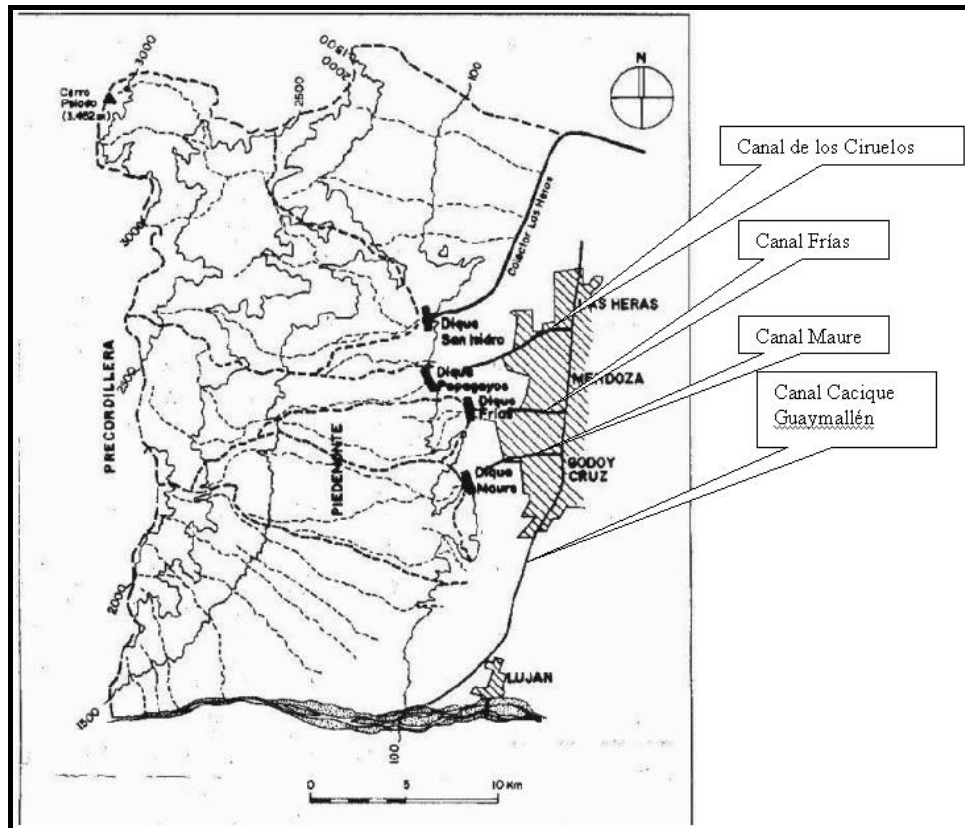


Figura N° 1

Una característica peculiar de este sistema, es que la capacidad de cada elemento drenante no guarda relación alguna con el papel que debe jugar dentro del sistema. Por ejemplo, la capacidad máxima de conducción del canal Cacique Guaymallén es de aproximadamente  $250 \text{ m}^3/\text{s}$ , cuando la capacidad total de los canales que a él desaguan supera los  $600 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 1.4 Origen de los problemas de inundación urbana

En 1800, sólo alrededor del 2% de la población mundial, vivía en áreas urbanas y eso en sí era algo sorprendente. Hasta hace un siglo las áreas urbanas se encontraban entre los lugares más insalubres para vivir. El incremento en la densidad de la población en áreas urbanas dio lugar a la rápida propagación de enfermedades infecciosas, por lo que los índices de mortalidad han sido históricamente más altos en las ciudades que en zonas rurales. La única forma en que las áreas urbanas continuaban en existencia hasta hace poco era por la continua inmigración de población rural hacia las mismas.

En tan sólo 200 años, la población urbana mundial ha pasado del 2% a casi el 50% de la población mundial. Los ejemplos más sorprendentes de urbanización en el mundo los constituyen las superciudades de 10 o más millones de personas. En 1975 sólo había cuatro, pero en el 2000 había 18 y, para el año 2015, las Naciones Unidas estiman que habrán 22, si bien mucho del crecimiento futuro no tendrá lugar en estas inmensas aglomeraciones de población, sino en las ciudades de pequeño y mediano tamaño en todo el mundo.

El crecimiento en las áreas urbanas se debe tanto al incremento en la inmigración a las ciudades como a la fecundidad de la población urbana. Mucho del desplazamiento a las ciudades tiene lugar por el deseo de las poblaciones rurales de aprovechar las ventajas que las

zonas urbanas ofrecen, como mayores oportunidades de educación, atención a la salud y servicios como los recreativos. Los pobres en zonas urbanas tienen menos oportunidades de educación que quienes no son pobres, pero aún así tienen más oportunidades que la población rural.

La impermeabilidad del suelo produce en el ciclo hidrológico:

- Un alarmante aumento de los volúmenes de escorrentía
- Aumento de las velocidades de flujo
- Reducción de los tiempos de concentración
- Temperaturas más altas en cauces naturales
- Aumento de las inundaciones
- Mayores niveles de contaminación (por escorrentía urbana y por el aumento de la frecuencia, intensidad y toxicidad de las descargas de los sistemas de saneamiento convencionales en tiempo de lluvia)

Debido a las características que posee el sistema de drenaje pluvial en Mendoza, los colectores descritos anteriormente como cuaternarios, las acequias, en un evento típico de lluvia estival de tipo convectivo de gran intensidad, queda en pocos minutos colapsado, ya que su capacidad se ve rápidamente sobrepasada y en consecuencia como no existe otra vía para canalizar el agua, ésta se conduce por las calles de la ciudad, comportándose como verdaderos canales que desaguarán a la red secundaria.

Además, la red secundaria (canales aluvionales) no puede cumplir su función, que debería ser la de interceptar todo el escurrimiento que proviene de las calles, ya que su capacidad es sobrepasada y lo que hace a menudo, en cambio, es contribuir al escurrimiento aguas abajo. Esto sucede con frecuencia, en especial cuando llueve también en el piedemonte, ya que éstos traen un caudal, aunque laminado, desde los diques aluvionales.

## **1.5 Problemática de la contaminación del escurrimiento pluvial**

### **1.5.1 Efectos ambientales de la urbanización**

Existe una interacción entre las poblaciones urbanas y su medio ambiente. La gente cambia el medio ambiente a través del consumo de alimentos, energía, agua y el uso de la tierra, y a su vez la contaminación ecológica urbana afecta la salud y la calidad de vida de las poblaciones en las ciudades.

Las personas que viven en zonas urbanas tienen un perfil de consumo muy diferente al de los residentes de áreas rurales. Por ejemplo, las poblaciones urbanas consumen mucha más comida, energía y bienes duraderos que las poblaciones rurales.

El consumo de energía para proporcionar electricidad, transporte, la capacidad de cocinar y calefacción es mucho más alto en áreas urbanas que en las aldeas rurales. Por ejemplo, las poblaciones urbanas tienen muchos más automóviles por habitante que las rurales. Casi todos los automóviles en el mundo entero en la década de 1930 estaban en los Estados Unidos. Hoy en día existe un automóvil por cada dos personas en los Estados Unidos. Si fuera así en otros lugares, para 2050 tendríamos 5.300 millones de automóviles en todo el mundo consumiendo energía.



El consumo urbano de energía contribuye a crear núcleos de calor que pueden cambiar el perfil meteorológico local en las zonas hacia donde sopla el viento después de pasar por las ciudades. Este fenómeno se crea porque las ciudades irradian calor a la atmósfera a razón del 15% al 30% menos que las áreas rurales. La combinación del incremento del consumo de energía y la diferencia de radiación significa que las ciudades son más calientes que las áreas rurales (entre 0,6°C y 1,3°C) y estos núcleos de calor atrapan los contaminantes atmosféricos. La neblina y niebla son más frecuentes. La precipitación es entre el 5% y el 10% mayor en las ciudades, las tormentas de agua y granizo mucho más frecuentes, y las nevadas menos comunes.

La urbanización también afecta la ecología regional en mayor extensión. Las regiones que reciben el viento después de pasar por grandes complejos industriales también registran mayor precipitación, contaminación atmosférica y número de días con tormentas. Las áreas urbanas no sólo afectan el perfil meteorológico sino también la escorrentía superficial de agua. Las áreas urbanas generalmente generan más lluvia, pero reducen la filtración de agua y el nivel de la capa freática, lo que significa que la escorrentía ocurre más rápidamente y hay mayores inundaciones. El volumen de inundación se eleva, al igual que el número de inundaciones y la contaminación del agua que corre río abajo.

Muchos de los efectos de las áreas urbanas sobre el medio ambiente no son necesariamente lineales. Las áreas urbanas de mayor extensión no siempre crean más problemas ambientales; a veces son las áreas urbanas pequeñas las que pueden causar mayores problemas. Mucho de lo que determina la magnitud del impacto ambiental es la conducta de la población urbana, su perfil de consumo y forma de vida, y no tan sólo su tamaño.

### **1.5.2 Problemas en la política ambiental urbana**

Comenzando con la década de 1950, muchas ciudades en los países desarrollados han hecho frente a sus dificultades ambientales.

Muchas ciudades que se expandieron cerca de ríos han logrado limpiar las aguas de los mismos que se contaminaron con el desarrollo industrial. Pero al comienzo de su desarrollo, las ciudades generalmente no tienen tanta riqueza para asignarla a mitigar el impacto urbano sobre el medio ambiente, y si la falta de recursos va acompañada de gobiernos ineficaces, puede que la ciudad en desarrollo tarde muchos años en reducir ese daño. La falta de buenos sistemas de información geográfica significa que muchos funcionarios públicos funcionan a ciegas. La falta de buenas estadísticas significa que muchos indicadores urbanos que servirían para tomar decisiones ecológicas con conocimiento no existen.

Mucha de la investigación que hay que hacer sobre el impacto ambiental de las áreas urbanas todavía no se ha realizado por falta de datos y financiamiento. La mayor parte de la información que existe es a nivel nacional, pero la investigación nacional es demasiado poco detallada para mejorar las condiciones ambientales de las áreas urbanas, por lo que hay que hacer investigación y obtener datos a nivel local que proporcionen a los gobiernos locales la información que necesitan para tomar decisiones. Ciertamente los miembros de la próxima generación, que en su mayoría vivirán en áreas urbanas, nos juzgarán basándose en si estamos haciendo las preguntas acertadas para proteger su ecología urbana. También van a querer saber si financiamos la investigación apropiada para abordar esas cuestiones, y si utilizamos los resultados de la investigación de manera sabia.

### 1.5.3 Análisis de calidad del escurrimiento pluvial urbano

Cuando se planifica un programa de manejo del escurrimiento pluvial hay una fuerte tendencia a considerar solamente la cantidad del escurrimiento y sus efectos tales como la inundación e ignorar los impactos por la calidad. Los efectos a largo plazo del escurrimiento contaminado pueden ser significativos y en algunos casos el aspecto más crítico.

El escurrimiento por precipitación urbana puede transportar varios contaminantes indeseables, algunos de los cuales bajarán el balance de oxígeno de los cauces o masas de aguas alcanzadas, algunos también acumularán y ejercerán efectos tóxicos en plantas acuáticas y animales, y otros de los cuales pueden estimular el crecimiento de microorganismos y plantas tales como algas y raíces acuáticas.

Estos componentes indeseables están compuestos de materia orgánica e inorgánica y además de material soluble e insoluble.

Los contaminantes y sus concentraciones son función de:

- grado de urbanización,
- tipo de uso del suelo,
- densidad del tráfico automotor,
- población animal y
- grado de contaminación atmosférica inmediatamente antes de la lluvia.

En USA se producen 500.000 t/año de material de neumáticos que han sido desgastados por abrasión por el pavimento, 90% de este material está en forma de grandes partículas que no se volatilizan. Este material contiene contaminantes tales como zinc, aceite, polímeros, etc.

Según algunas mediciones en USA todos los usos de suelo en forma combinada producen después de 12 días sin lluvia 284 kg/km de cordón.

Se estima que la contaminación media por hectárea impermeabilizada y año equivale aproximadamente a:

- 15 hab.suplementarios/ha en sistemas separados (drenaje pluvial-cloaca),
- 25 hab.suplementarios/ha en sistemas combinados

En la Figura 2 se esquematiza en diferentes casos de usos del suelo la relación entre escurrimiento superficial e infiltración y el impacto de la contaminación en los cuerpos de agua receptores.

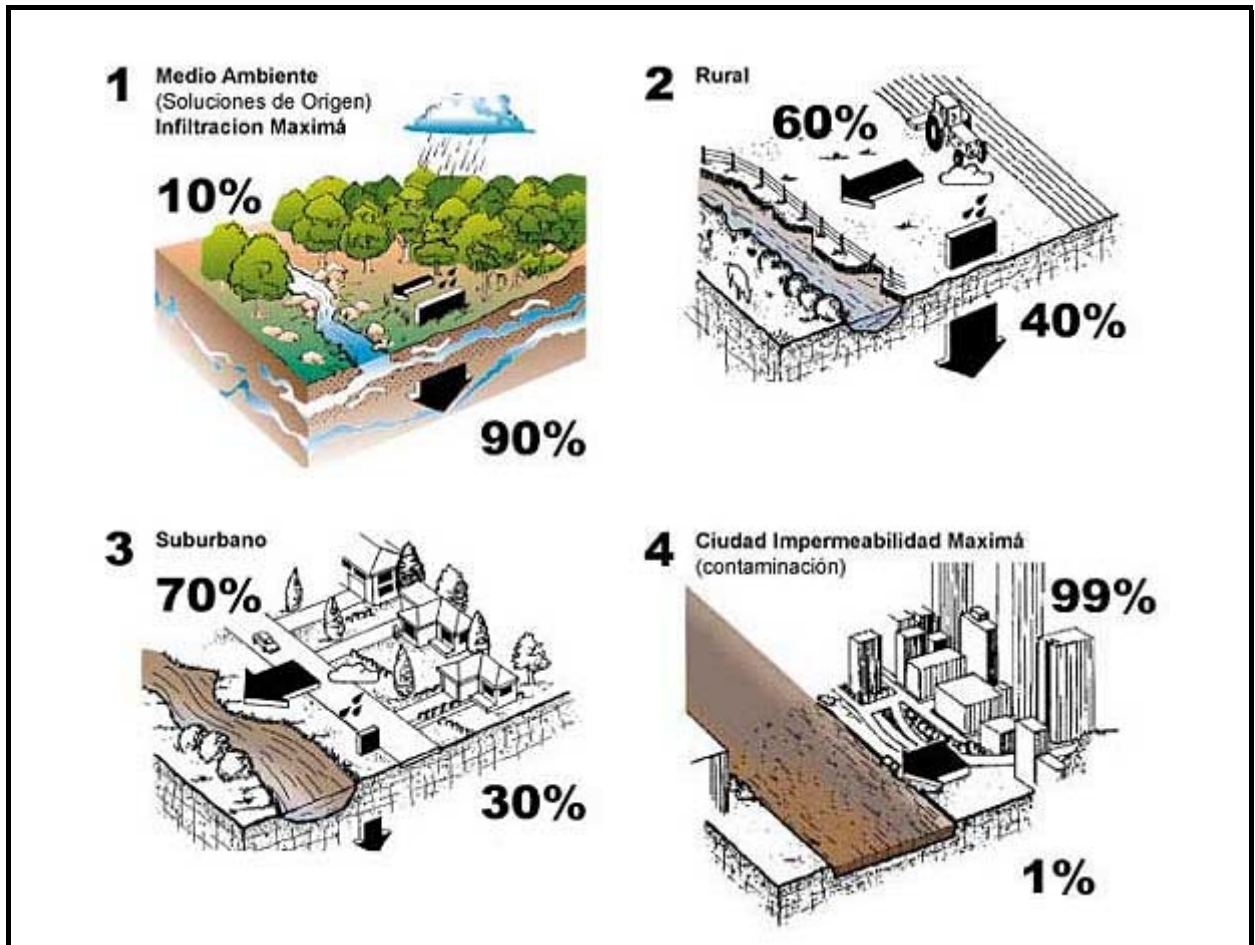


Figura 2

Las características del escurrimiento en autopistas han sido el objetivo de varios estudios. El escurrimiento pluvial de las autopistas y de las superficies impermeables en las áreas altamente urbanizadas se ha evidenciado como contenedor de niveles significativos de contaminantes como la basura callejera, animales, deposición atmosférica y afluencias del escurrimiento de calles. Entre los contaminantes encontrados en el escurrimiento de las autopistas hay partículas, cromo, cobre, cadmio, níquel, nitrógeno, fósforo, cinc, manganeso, hidrocarburos de petróleo, y caucho.

Las mayores fuentes de contaminantes en las autopistas son los vehículos y la deposición atmosférica. Los vehículos generan contaminantes directamente e indirectamente en las autopistas. Los vehículos contribuyen a los contaminantes directamente por su normal funcionamiento y por el uso de sus partes friccionales. Según estudios el uso de neumáticos podría producir por lo menos la mitad del cadmio total y de cargas de cinc anuales. Hay metales que se relacionan fuertemente con los automóviles, como el cadmio y cobre, para producir las concentraciones más altas en el escurrimiento de las calles y playas de estacionamiento y hay concentraciones mínimas en el escurrimiento de techos y césped. Los vehículos también pueden recoger y llevar los sólidos de las playas de estacionamiento, calles, sitios de construcción, granjas, y pueden depositarlos en las calles. A través de este mecanismo indirecto, los vehículos contribuyen a los sólidos y los contaminantes asociados a las superficies de las autopistas.

Para el caso del escurrimiento generado en autopistas en la Tabla 1 se indican distintos tipos de contaminantes y su fuente de generación y en la Tabla 2 su concentración.

**Tabla 1. Contaminantes y Fuentes en el Escurrimiento de Autopistas**

<b>Contaminante</b>	<b>Fuente</b>
Partículas	Pavimento, vehículos, deposición atmosférica, actividades de mantenimiento
Nitrógeno, Fósforo	deposición atmosférica y aplicación de fertilizantes
Plomo	Naftas con plomo desde los escapes y neumáticos
Cinc	Neumáticos, aceites y grasa
Hierro	Estructuras de acero de las autopistas tales como puentes y guardarailes y partes móviles de los motores.
Cobre	Partes móviles de los motores, recubrimiento de frenos, fungicidas e insecticidas
Cadmium	Neumáticos y aplicación de insecticidas
Cromo	Partes móviles de los motores, recubrimiento de frenos
Níquel	Gasoil y nafta, aceite lubricante, recubrimiento de frenos, y pavimento asfáltico
Manganeso	Partes móviles de los motores
Petróleo	Derrames, fluidos anticongelantes e hidráulicos y superficie asfáltica

**Tabla 2. Contaminantes en el escurrimiento de autopistas**

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración</b>
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	45-798
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	4.3-79
Carbono Orgánico Total (COT)	24-77
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	14.7-272
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	12.7-37
Nitrato+Nitrito (NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> )	0.15-1.636
Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)	0.335-55.0
Fósforo Total como P	0.113-0.998
Cobre (Cu)	0.022-7.033
Plomo (Pb)	0.073-1.78
Cinc (Zn)	0.056-0.929
Fecal coliforme (organismos/100 ml)	50-590

Varios factores afectan las cargas constitutivas globales en el escurrimiento proveniente de las calles. Este escurrimiento se influencia fuertemente por las emisiones y pérdidas de fluidos del tráfico vehicular.

En un estudio se identificaron a las calles como una fuente significativa de contaminantes urbanos en áreas residenciales, comerciales e industriales. El estudio coleccionó más de 300 datos de escurrimientos en 46 micro-sitios en dos cuencas, contemplando el escurrimiento de césped, entradas de autos, azoteas (residencial e

industrial), playas de estacionamiento comerciales e industriales, y una serie de superficies de calles de diferentes jerarquías. Las calles producen las concentraciones más altas de fósforo, sólidos suspendidos, bacterias y varios metales. Además, las calles generan una cantidad importante del volumen del escurrimiento total de la cuenca. Las playas de estacionamiento generan concentraciones ligeramente altas de todos los contaminantes.

Otros estudios han encontrado que son significativas las concentraciones de algunos de los metales y nutrientes puestas en correlación con los sólidos suspendidos totales (SST). Estos resultados sugieren que controlando los SST se pueden reducir otros contaminantes con los mismos tamaños de partícula.

Los datos de contaminación del escurrimiento son altamente variables y dificultosos de generalizar. A causa de la naturaleza altamente variable y del tiempo de los eventos de lluvia, los datos obtenidos del monitoreo de tales eventos son también altamente variables. Además, los datos obtenidos en una región geográfica no son igualmente aplicables a otra región y los datos obtenidos en un sitio un año pueden no ser representativos de lo que es obtenido en el mismo sitio el próximo año. De todas maneras es necesario que la carga contaminante esperada sea estimada en alguna forma razonable, ya que el impacto de la calidad de agua potencial de tal contaminación, debe ser tenida en cuenta en planificaciones y manejo del escurrimiento.

Un objetivo, entonces, es analizar los datos de manera tal que puedan ser puestos en una forma que puedan ser usados para propósitos predictivos.

Cualquier método usado debe tomar en cuenta la variabilidad o naturaleza estocástica de los eventos meteorológicos que producen el escurrimiento y los cambios estacionales y de largo tiempo, los cuales afectan la cantidad de contaminantes resultantes de una cantidad dada de lluvia. La carga de masa contaminante (CMP) es necesaria principalmente para dos propósitos:

- 1) Determinar la CMP media anual característica de un sitio bajo las condiciones presentes.
- 2) Para determinar la CMP característica bajo las condiciones futuras de urbanización.

Si los datos reales están muy esparcidos en tiempo, la estimación de CMP puede hacerse sobre la concentración típica de contaminante en la escorrentía multiplicada por el caudal pronosticado. Sin embargo la estimación directa de cargas para las mismas condiciones es de poco valor estadístico ya que los datos de concentración sin los correspondientes valores de caudales no pueden considerarse.

Para cualquier gran área es mejor obtener datos de cargas reales de contaminación de pequeñas áreas con un único uso de tierra, determinado bajo varias condiciones estacionales o de precipitación, y luego usar tales datos en conjunto con los provenientes de la literatura a otras áreas de similar uso de tierra, ya sea en el presente o en el futuro.

El paso analítico más dificultoso en los anteriores procesos es usar datos de carga contaminante de un número específico de eventos de lluvia para determinar la media anual de carga para una cuenca dada. Esto se puede hacer por regresión bivariada de carga con valores de caudal, lo cual supone implícitamente que las cargas varían aproximadamente con los caudales. La experiencia muestra que las cargas para los mayores eventos de lluvia no incrementan proporcionalmente con los caudales, en consecuencia, en este caso la perfección matemática del análisis de regresión no resulta en una buena aproximación.

Una vez que la carga contaminante para un uso dado de tierra se ha acumulado sobre un considerable período de tiempo, los resultados pueden ser expresados en términos que pueden usarse para estimar cargas del mismo uso de tierra para el resto de la cuenca de interés. Una variedad de términos se utiliza para este propósito:

- 1) carga anual/área de uso de tierra dada (kg/ha)
- 2) carga anual/km de cordón de uso de tierra dada (kg/km-año)
- 3) carga anual/volumen de tráfico (kg/vehículo-año)
- 4) carga anual/índice de contaminación de aire (kg/índice medio-año)
- 5) carga anual/volumen escurrimiento (kg/hm<sup>3</sup>)
- 6) carga anual/cantidad de lluvia (kg/mm)
- 7) carga contaminante/carga de sedimento (kg/ton)
- 8) carga/área/cantidad de lluvia (kg/ha/mm)

El término que figura en 1) es el más comúnmente utilizado para la predicción de cargas contaminantes en condiciones futuras. Existen tablas que dan valores de distintos contaminantes en función de distintos tipos de uso de tierra (Tabla 3).

**Tabla 3. Datos Medios en Ciudades de E.E.U.U.**

<b>mg de contaminante/gr de polvo y basura</b>	<b>Residencial Uni-familiar</b>	<b>Residencial Multi-Familiar</b>	<b>Comercial</b>	<b>Industrial</b>
BOD <sub>5</sub>	5	3,6	7,7	3
DQO	40	40	39	40
N	0,48	0,61	0,41	0,43
PO <sub>4</sub>	0,05	0,07	0,07	0,03
kg de Polvo y Basura /km cordón/día	17	32	47	90

La Tabla 4 da el promedio de km de cordón por ha según el uso del suelo.

**Tabla 4**

<b>Uso del Suelo</b>	<b>km de cordón/ha</b>
Residencial	0,17 a 0,50
Comercial	0,23 a 0,32
Industrial	0,099 a 0,17
Parque	0,17
Espacio abierto	0,059 a 0,063
Edificios Públicos	0,12

En base a una detallada recopilación de bibliografía internacional sobre el tema se ha podido resumir la información en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores mínimos, máximos y medios de contaminantes en función del uso del suelo

Contaminante	Concentración		USO DEL SUELO							Dato base promedio	Valor recomendado promedio
			Zona alta densidad tráfico	Vivienda	Departamentos	Residencial	Comercial	Parques	Global		
Residuos	Máximo	kg/km cordón/día		268	217		103				
	Mínimo			1	2		1				
	Medio			17	32	19	25.5	23			
Plomo	Máximo	mg/L (*)							0.565		
		mg/Kg (**)		5700	3700	400	7600	37			
	Mínimo	mg/L							0.059		
		mg/Kg		220	470	20	0	6.7			
	Medio	mg/L		0.010	0.005	0.424	0.118	0.066	0.160	0.201	0.116
	mg/Kg		1570	1980	114	2330	512.85				
Cobre	Máximo	mg/L									
		mg/Kg		150	170		810		1.537		
	Mínimo	mg/L							0.039		
		mg/Kg		33	34		25				
	Medio	mg/L		0.015	0.012	0.039	0.039	0.018	0.081	0.047	0.028
	mg/Kg		91	73		95	46				
Zinc	Máximo	mg/L									
		mg/Kg		810	490	170	3040	90			
	Mínimo	mg/L									
		mg/Kg		110	210	30	90	14			
	Medio	mg/L		0.080	0.135	0.239	0.273	0.172	1.417	0.374	0.154
	mg/Kg		310	280	96	690	152.11				
Cromo	Máximo	mg/L							0.078		
		mg/Kg		325	325		430				
	Mínimo	mg/L							0.009		
		mg/Kg		111	75		10				
	Medio	mg/L				0.030		0.005	0.031		0.800
	mg/Kg		200	180		140	92				
Nitrito	Máximo	mg/L									
	Mínimo	mg/L									
	Medio	mg/L		0.090	0.080	0.020	0.140	0.026			
	mg/Kg						7.670				
Nitrate	Máximo	mg/L									
		mg/Kg					35				
	Mínimo	mg/L									
		mg/Kg					10				
	Medio	mg/L		1.040	1.730	0.750	0.580	1.155	3.550		
	mg/Kg					24	12.270				
Sólidos Disueltos Totales	Máximo	mg/L							788		
	Mínimo							8			
	Medio					575		650	195.500		
Magnesio	Máximo	mg/Kg					0.1				
	Mínimo						0				
	Medio						0.02				
Hidrocarburos	Máximo	mg/L	6.6								
	Mínimo		0.7								
	Medio			1.4		< 0.02	< 1				

Referencias:  $\text{mg/L}^{(*)}$  : Fracción de contaminante presente en el agua de escorrentía  
 $\text{mg/Kg}^{(**)}$  : Fracción de contaminante con respecto a la acumulación de polvo y suciedad

Por otra parte también se realizó una revisión bibliográfica sobre reglamentaciones de calidad admisible del agua ya sea en cuerpos receptores como para riego, teniendo en cuenta que el canal Cacique Guaymallén cumple con ambas características: es cuerpo receptor de los escurrimientos pluviales y es conductor de aguas para riego.

Las dos principales fuentes de información fueron las provenientes de Chile (Dirección General de Aguas) (Tabla 6) y del Departamento General de Irrigación de Mendoza (Apéndice II)

**Tabla 6. Normas de la Dirección General de Aguas de Chile**

Aguas destinadas al riego de hortalizas o plantas frutícolas u otros cultivos destinados al consumo humano en su forma natural, cuando éstas son usadas a través de sistemas de riego que provocan el mojado del producto.	
<b>Olor</b>	No perceptible
<b>Materiales flotantes y espumas no naturales</b>	Ausentes
<b>Color no natural</b>	Ausente
<b>Turbiedad Máximo</b>	50 UNT
<b>pH</b>	6.5-9.0
<b>OD Mín.</b>	5 mg/L
<b>DBO5 Máx.</b>	10 mg/L
<b>Aceites y Grasas</b>	Virtualmente ausentes
<b>Detergentes(medidos como sustancias activas al azul de metileno) Máx.</b>	1 mg/L en LAS
<b>Sustancias fenólicas Máx.</b>	0.2 mg/L en C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
<b>Amoníaco Libre Máx.</b>	0.02 mg/L en N
<b>Nitratos Máx.</b>	10 mg/L en N
<b>Fósforo Total Máx.</b>	0.025 mg/L en P
<b>Sólidos suspendidos totales Máx.</b>	700 mg/L
<b>Relación de Absorción de Sodio (RAS) Máx.</b>	10
<b>Coliformes Fecales</b>	No se deberá exceder el límite de 2000 CF/100 mL en ninguna de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica de las mismas estar por debajo de 1000 CF/100 mL.
<b>Cianuro Máx.</b>	0.005 mg/L
<b>Arsénico Máx.</b>	0.05 mg/L
<b>Boro Máx.</b>	0.5 mg/L
<b>Cadmio Máx.</b>	
0.001 mg/L	
<b>Cobre Máx.</b>	0.2 mg/L
<b>Cromo Total Máx.</b>	0.005 mg/L
<b>Mercurio Máx.</b>	0.0002 mg/L
<b>Níquel Máx.</b>	0.002 mg/L
<b>Plomo Máx.</b>	0.03 mg/L
<b>Zinc Máx.</b>	0.03 mg/L



Tabla 6 (cont.)

Aguas correspondientes a los cursos o tramos de cursos que atraviesan zonas urbanas o suburbanas que deban mantener una armonía con el medio, o también aguas destinadas al riego de cultivos cuyos productos no son destinados al consumo humano en ninguna forma.	
<b>Olor</b>	No objetable
<b>Materiales flotantes y espumas no naturales</b>	Virtualmente ausentes
<b>Color no natural</b>	Virtualmente ausente
<b>Turbiedad Máximo</b>	100 UNT
<b>pH</b>	6.5-9.0
<b>OD Mín.</b>	2.5 mg/L
<b>DBO5 Máx.</b>	10 mg/L
<b>Aceites y Grasas</b>	Virtualmente ausentes
<b>Detergentes(medidos como sustancias activas al azul) Máx.</b>	2 mg/L en LAS
<b>Coliformes Fecales</b>	No se deberá exceder el límite de 5000 CF/100 mL en al menos el 80% de por lo menos 5 muestras.
<b>Cianuro Máx.</b>	0.05 mg/L
<b>Arsénico Máx.</b>	0.1 mg/L
<b>Cadmio Máx.</b>	0.01 mg/L
<b>Cobre Máx.</b>	1mg/L
<b>Cromo Total Máx.</b>	0.5 mg/L
<b>Mercurio Máx.</b>	0.002 mg/L
<b>Níquel Máx.</b>	0.2 mg/L
<b>Plomo Máx.</b>	0.05 mg/L
<b>Zinc Máx.</b>	0.3 mg/L

## 2. ESTUDIO EN UN ÁREA URBANA DEL GRAN MENDOZA

Como se ha explicado el escurrimiento pluvial generado en el área urbana finalmente es recibido por el canal Cacique Guaymallén, que es uno de los canales matrices de riego del área Norte de Mendoza, y con los caudales vertidos también va la contaminación que el escurrimiento se ha encargado de arrastrar en su trayecto, llevando así los contaminantes a los cauces de riego que sirven a la producción agrícola.

El objetivo del estudio fue modelar matemáticamente el escurrimiento pluvial urbano en cantidad y calidad en un sector de la ciudad de Mendoza, para luego extrapolar el impacto del fenómeno a superficies mayores y poder cuantificar su incidencia en el agua para riego.

El área urbana del Gran Mendoza seleccionada es la limitada al Norte por las calles A. Villanueva, Colón y V. Zapata; al Este por el canal Cacique Guaymallén; al Sur por el zanjón Frías; al Este canal Jarillal sobre calle Boulogne Sur Mer.

Lamentablemente no se ha podido seleccionar como área una cuenca hidrológica, entendiéndose como tal aquella área cuyos límites se constituyen en divisorias de agua y existe un único exutorio, lo cual es muy difícil de que se produzca en un área urbana, ya que si bien para pequeños escurrimientos pueden funcionar como cuencas, cuando se producen

eventos hidrológicos de cierta magnitud la escorrentía es trasvasada a través de las calles y desagües pluviales hacia otras áreas.

El área mencionada fue seleccionada por las siguientes razones:

- La existencia de una interesante variedad de usos del suelo: residencial con casas y con departamentos, comercial y parque.
- Cercanía del INA-CRA para poder realizar las mediciones (el edificio del INA-Mendoza se encuentra dentro de los límites mencionados)
- Existencia de una estación de medición de lluvia dentro del área
- El exutorio (punto más bajo del área) está en la margen del canal Cacique Guaymallén

En la Tabla 7 se detallan las características de las 9 subcuencas en que se dividió el área de estudio como se puede visualizar en la Figura 3. En la Tabla 8 se pueden visualizar las proporciones de usos del suelo en cada subcuenca.

**Tabla 7**

Subcuenca Nº	Conducto	Ancho (m)	Área (ha)	Impermeab. (%)	Pendiente (m/m)
301	101	873.1	31.4	85.15	0.0210
302	102	789.3	30.1	84.73	0.0173
303	103	726.7	25.7	84.25	0.0168
304	105	259.3	15.1	72.98	0.0190
305	106	219.6	5.9	71.61	0.0185
306	104	346.9	27.8	63.35	0.0191
307	107	496.3	12.6	78.36	0.0169
308	108	478.5	10.4	78.26	0.0140
309	9	449.6	17.0	78.92	0.0102
		Total=	176.0		

Nº de subcuencas	9
Area tributaria total (ha)	176.00
Area impermeable (ha)	138.18
Impermeabilidad (%)	78.51
Longitud de cunetas (km)	52.00

**Tabla 8**

Subcuenca	Usos del suelo			
	casas	deptos	comerc	parque
301	0.9	0.1	0.0	0.0
302	0.8	0.1	0.1	0.0
303	0.7	0.1	0.2	0.0
304	0.3	0.5	0.2	0.0
305	0.3	0.5	0.2	0.0
306	0.0	0.3	0.0	0.7
307	0.1	0.6	0.3	0.0
308	0.1	0.5	0.4	0.0
309	0.3	0.1	0.6	0.0

### Área de estudio, subcuencas y secciones de observación

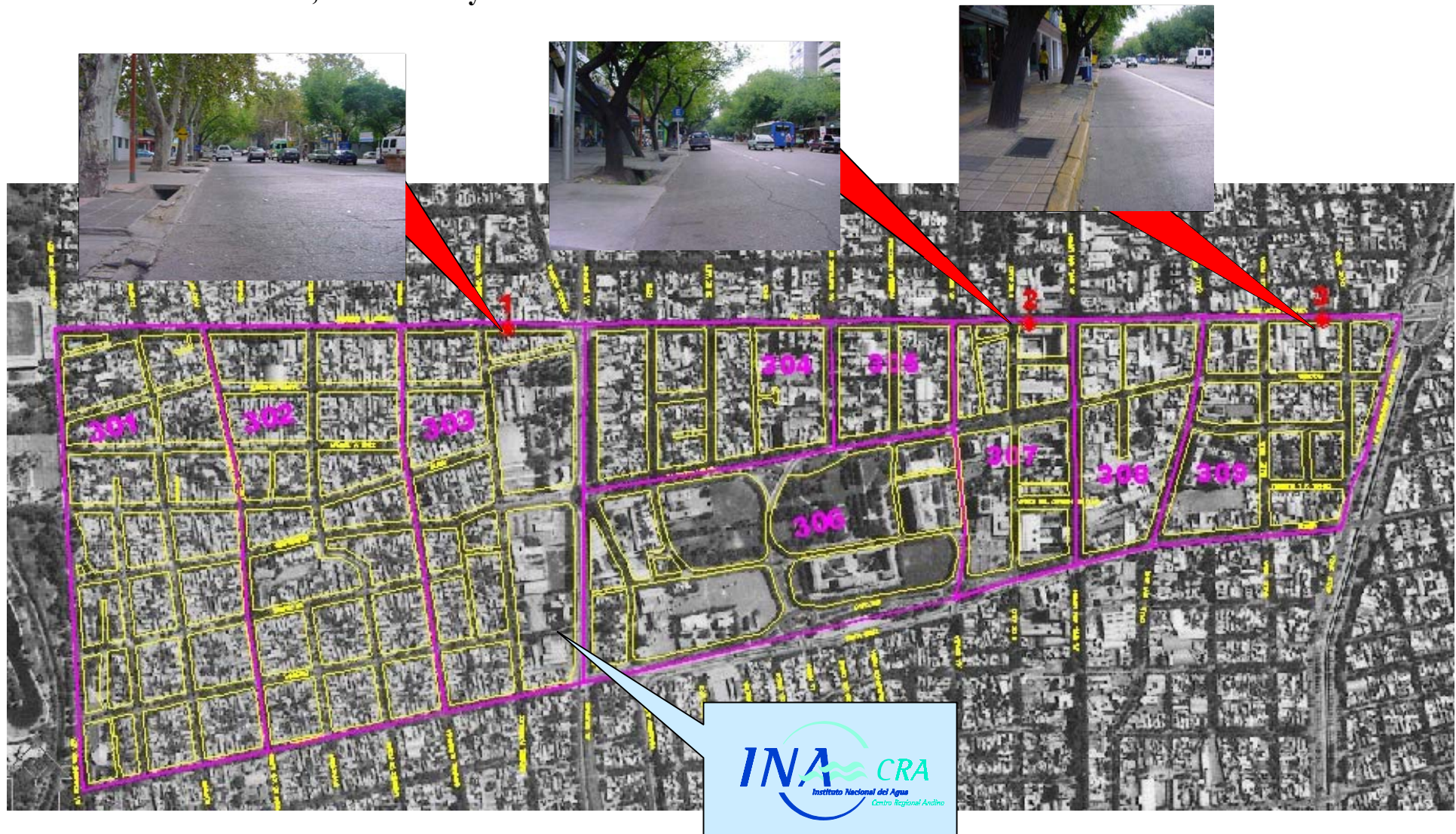


Figura 3

### 3. MODELACIÓN

Frecuentemente, una de las principales razones para considerar la modelación puede ser la necesidad de controlar la calidad del agua. Algunos problemas prácticos referidos a la calidad del agua pueden ser resueltos por modelación del flujo solamente.

Por ejemplo, un problema de rebalse en un sistema combinado de alcantarillado puede ser eliminado reduciendo la frecuencia y magnitud del embalse, sin prestar atención a la modelación de la calidad del rebalse. Otro aspecto es que la modelación de la calidad del escurrimiento superficial no está tan avanzado como la modelación hidrológica e hidráulica, ya que los principios básicos de hidrología e hidráulica son bien conocidos pero los principios de calidad del agua son solo parcialmente conocidos.

Dos mecanismos son de primario interés en la modelación: uno es la manera en que los contaminantes se acumulan sobre la superficie de la tierra y la manera en la cual los contaminantes en la superficie son desalojados y transportados por el escurrimiento creando el problema de contaminación del agua de lluvia.

Algunos contaminantes están asociados con sedimentos y parecen estar controlados por o relacionados a valores de sedimentos arrastrados por el agua. Otros son disueltos y pueden no estar relacionados a valores de sedimentos. Se han propuesto modelos ya desarrollados para una amplia variedad de mecanismos de calidad de agua. El usuario debe estudiar cada problema en base a un sitio específico y la manera que un modelo trabaje debe ser consistente con el conocimiento que el usuario tiene del problema.

Los constituyentes de calidad de agua incluidos en STORM son sólidos suspendidos: sólidos depositables, DBO, nitrógeno total y ortofosfatos.

#### 3.1 Modelos de simulación

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

$$-\frac{\partial P}{\partial t} = -kRP$$

P= cantidad total de sólidos que permanecen en la cuenca después de un período t de lluvia

k= coeficiente empírico que varía entre 1 y 6 (SWMM usa k=4,6)

R= tasa de escurrimiento

Se asumen varias condiciones:

- la cantidad de contaminantes que pueden removerse durante un evento de lluvia es dependiente de la duración de la lluvia y de la cantidad inicial disponible para su remociónningún contaminante decae debido a los cambios químicos o la degradación biológica durante el proceso de escurrimientolas cantidades de contaminantes 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

Entre una gran cantidad de modelos se pueden citar: STORM (HEC), HSPF (U.S. EPA), SWMM (U.S. EPA), RUNQUAL (Detroit), MITCAT (MIT), HVM-QQS (Alemania), etc.

### 3.2 Modelo PCSWMM

El modelo SWMM (Storm Water Management Model) de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (U.S. E.P.A.) es un modelo computacional del tipo determinístico que sirve para analizar problemas de cantidad y calidad asociados al escurrimiento pluvial urbano. Se pueden modelar eventos, tanto continuos como aislados, en cuencas que poseen sistemas de drenaje pluvial único o combinado con cloacas, para predecir escurrimientos, alturas de agua y concentración de contaminantes.

Se pueden simular eventos de lluvia, nieve, flujo superficial y subsuperficial, tránsito en la red de drenaje, almacenamiento y tratamiento del escurrimiento. SWMM puede utilizarse para planificación o diseño.

En la Figura 4 se representa la interacción de los distintos bloques de programa de SWMM:

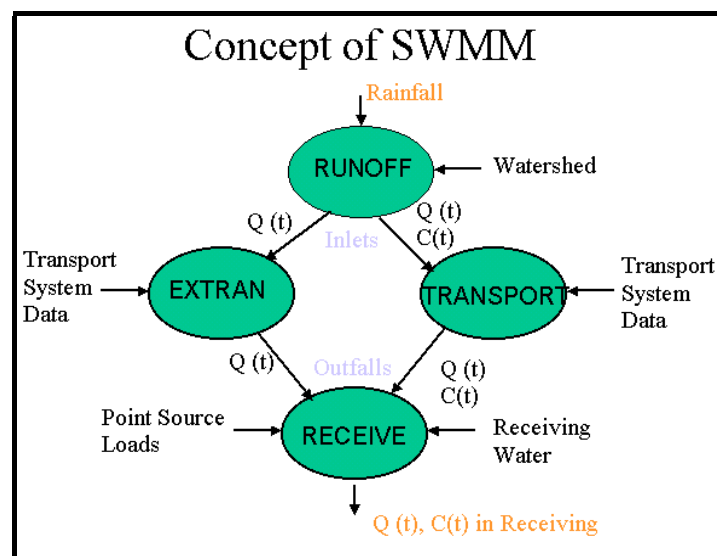
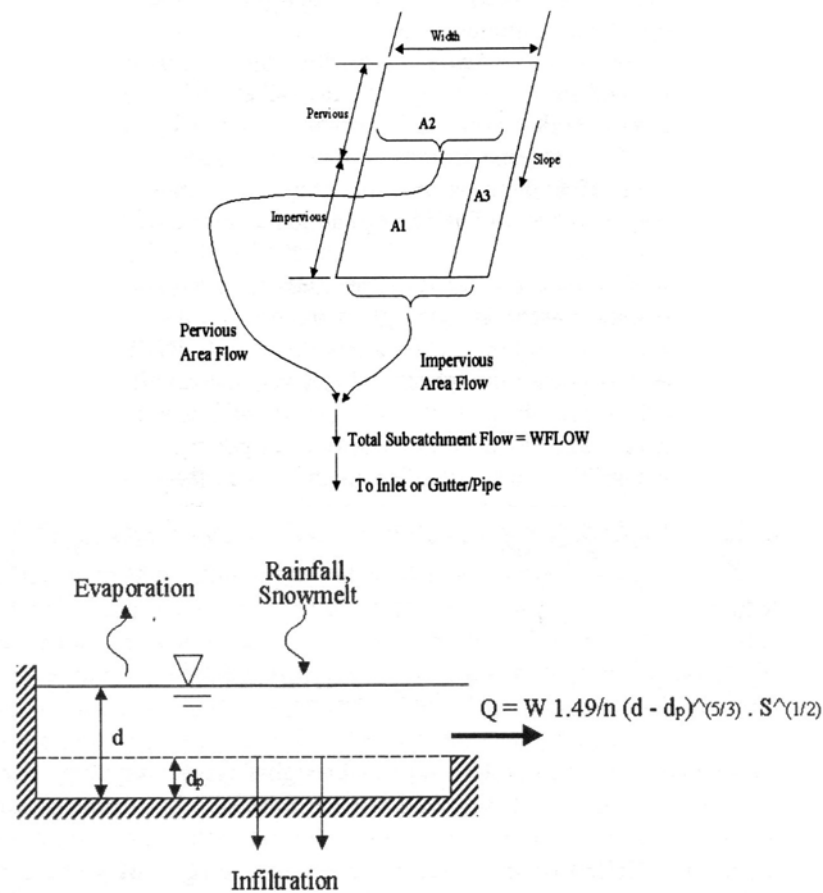


Figura 4. Interacción de bloques en SWMM

RUNOFF: simula el escurrimiento pluvial a partir de la información de lluvia y de los datos físicos de la cuenca utilizando el algoritmo de un embalse semi-lineal (Figura 5) y ecuaciones de infiltración como Horton o Green-Ampt





**Figura5. Esquema de simulación del escurrimiento pluvial utilizado por SWMM**

TRANSPORT: simula el tránsito de flujo y de contaminantes por medio de la onda cinemática

EXTRAN: simula el tránsito de flujo en la red de drenaje por medio de las ecuaciones completas de Saint-Venant

RECEIVE: analiza el flujo que eroga la cuenca y se deposita en el cuerpo de agua receptor

En este estudio se ha utilizado la versión PCSWMM de Computational Hydraulics Int. (CHI) de Canadá, la cual está desarrollada a través de la programación por objetos, generando un manejo “amigable” para la introducción de datos de entrada. También PCSWMM permite introducir los datos físicos de la cuenca y de la red de drenaje a través de una interfase con Sistema de Información Geográfica (GIS). En las Figura 6 se pueden apreciar pantallas de PCSWMM.

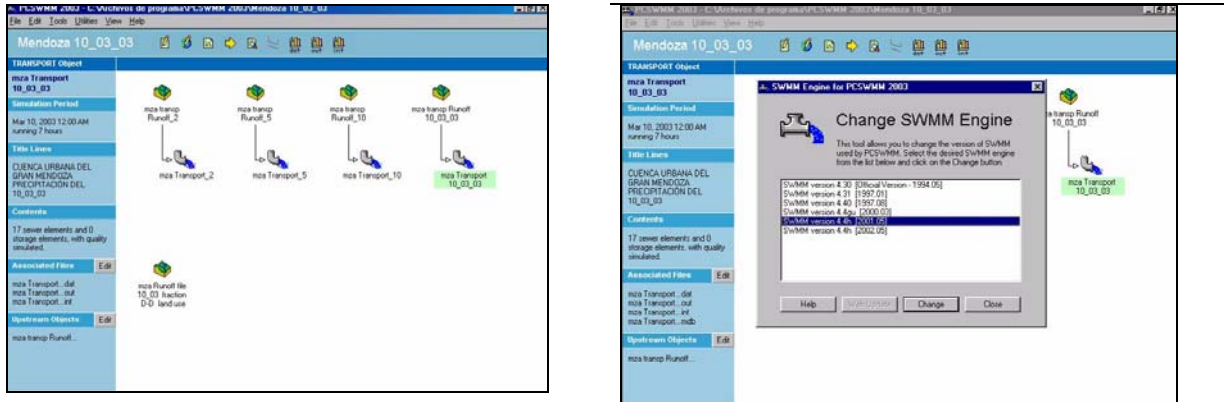


Figura 6. Pantallas de PCSWMM

### 3.2.1 Algoritmos para simular la calidad del escurrimiento pluvial

En este estudio se ha utilizado la opción de que los contaminantes se expresan como una proporción en peso de los residuos y suciedad que existe en la calle antes del comienzo de la precipitación.

$$residuos = DD = DDFACT [kg / km / día] * t^{DDPOW} \leq DDLIM [kg / kmcordón]$$

$REMAIN = 1 - AVSWP(J) * REFF(K)$  que es la fracción de residuos remanente en superficie donde:

AVSWP(J)= fracción de cuenca que es realmente factible de limpiar  
REFF (K)= eficiencia de limpieza

$$PSHED_0 = QFACT(J, K) \text{ carga de contaminante inicial}$$

$$[QFACT(J, K)] = \frac{mg}{g}$$

donde:

J = uso del suelo  
K = contaminante,  
mg = peso del contaminante  
g = gramos de residuos

QFACT es el factor que representa la proporción de contaminante en peso de los residuos y suciedad y que fue motivo de calibración en este estudio

$$PSHED_{t+\Delta t} = PSHED_t * e^{-RCOEFF \frac{r(t)^{WASHPO} + r(t+\Delta t)^{WASHPO}}{2} \Delta t} \text{ carga de contaminante en el tiempo } t$$

donde:

RCOEFF= coeficiente variable entre 1 y 10 (motivo de calibración en este estudio)  
WASHPO= exponente que es <1 para contaminantes disueltos (en este estudio se consideró igual a 0.8  
r(t)= precipitación efectiva en el tiempo t

#### 4. MEDICIÓN DE CONTAMINANTES

El desarrollo de herramientas de análisis del escurrimiento urbano ha ido detrás de la base de mediciones de campo que soportan su validez. De todos modos siempre hay necesidad de más observaciones de campo de cuencas representativas y experimentales para mejorar la credibilidad de las herramientas de análisis utilizadas en planificación, diseño y operación. La medición de la calidad del escurrimiento comenzó en algunas ciudades altamente pobladas (hemisferio Norte) a comienzo de los '70. La elección de parámetros de calidad depende de los objetivos del estudio. Uno de los objetivos de la medición de calidad del escurrimiento es la identificación de la contribución de distintos usos del suelo a la descarga contaminante total para así optimizar el desarrollo urbano y establecer algunas regulaciones específicas.

Es usualmente innecesario o demasiado dificultoso medir los contaminantes específicos que están en el escurrimiento por lluvia, tales como bacterias o el tipo exacto de componentes orgánico que está demandando oxígeno, luego se usan los parámetros de calidad de agua que agrupan contaminantes similares para clasificar el grado de contaminación del escurrimiento. Una lista de los parámetros usados comúnmente y los tipos de contaminantes que ellos miden, son:

1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Mide las sustancias que demandan oxígeno que pueden ser metabolizadas por bacterias. Una medida de materia orgánica biodegradable si es apropiado.
2. Demanda química de oxígeno (DQO): Mide las sustancias que demandan oxígeno que reacciona con un oxidante químico en baño ácido caliente. Está diseñado para medir materia orgánica pero también incluye químicos inorgánicos reducidos, los cuales pueden estar presente en concentraciones significantes en lluvia y escurrimiento en áreas urbanas.
3. Carbón orgánico total (COT): Mide las sustancias que demandan oxígeno que son orgánicas. Mide el carbón despedido por sustancias después de combustión a alta temperatura. Debido a que se hace una corrección por carbón inorgánico presente, es un excelente medidor de materia orgánica total.
4. Sólidos suspendidos: Ambos, total y volátil. Mide el material insoluble. Sólidos suspendidos totales (SST) es usualmente una buena aproximación del sedimento suspendido presente en el escurrimiento.
5. Sólidos depositables: Mide los sólidos suspendidos que rápidamente se depositarán fuera del agua.
6. Acidez: Una medición de la cantidad de ácido en el agua y en consecuencia su tendencia a causar erosión.
7. Alcalinidad: Una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos.
8. pH: Una medida de la cantidad de ácido o base en el agua.
9. Sólidos disueltos totales (SDT): Una medida de todo el material soluble en el escurrimiento orgánico e inorgánico. Determinado por evaporación de toda el agua de una muestra y midiendo lo que queda.



10. Bacteria coliforme: Un test que indica el grado de contaminación por residuos animales y humanos. Indica la probabilidad de la presencia de bacterias y virus.
11. Aceites y Grasas: Una medida de un grupo específico de materia orgánica. Un indicador de la cantidad de materia basada en petróleo más otras sustancias grasas.
12. Metales: Tales como: plomo, cobre y cadmio

Además de estos tests, se usan otros más específicos para pesticidas y algunos tóxicos orgánicos particularmente solventes.

A causa de que la ocurrencia de escurrimiento por lluvia en sistemas urbanos es un proceso aleatorio, la adquisición de datos contaminantes requiere un programa de muestreo más sofisticado que el que puede ser utilizado en evaluación de calidad de agua ambiente.

Cuando los eventos de lluvia ocurren, especialmente en pequeñas cuencas urbanas con cortos tiempos de concentración, la carga pico de contaminantes puede tomar lugar antes que el personal sea capaz de ocupar lugares y comenzar el muestreo manual.

Por esta razón puede ser deseable diseñar un programa de adquisición de datos para incorporar el uso de aforadores y equipos de muestreo automáticos (Figura 7).

El muestro automático tiene las siguientes características:

- requiere una fuerte inversión inicial
- necesita de un mantenimiento con personal entrenado
- es altamente eficiente



**Figura 7. Muestreadores automáticos**

Si se usan métodos de muestreo manual, su gran simplicidad y flexibilidad son balanceados por fallas para obtener datos cuando ocurre la lluvia, sin predicción a priori. En cualquier caso se debe asegurar que los métodos empleados de datos de caudal y muestras que representen adecuadamente la cantidad y la calidad del caudal de escurrimiento.

El muestro manual tiene las siguientes características:

- evita gasto de capital inicial

- necesita gran cantidad de mano de obra
- tiene dificultades en la simultaneidad de varias mediciones
- necesita personal entrenado
- requiere buena preparación logística

#### **4.1 Equipamiento y metodología utilizada**

En este estudio se utilizó la técnica de muestro manual, para ello se dispuso del equipamiento detallado en la Figura 8 que consiste de los siguientes elementos:

- Velocímetro digital
- Recipientes para el agua de muestra
- Termómetro digital
- Heladeras para mantener los frascos de muestras en temperatura adecuada

Estos elementos se disponían listos para salir prestamente en el vehículo utilitario que se muestra en la Figura 8 cuando se producía el evento precipitación-escurrimiento.

El personal interviniente en las mediciones se organizó en comisiones de tres personas que hacían guardias semanales pasivas que se transformaban en activas a partir del momento en que, ante la consulta pertinente, el Servicio Meteorológico Nacional daba pronóstico de tormentas convectivas.

Las mediciones se realizaron en puntos de medición previamente seleccionados. Tal selección se realizó en base a los siguientes criterios:

- Representatividad de un grupo de cuencas con preponderancia de determinados usos del suelo
- Posibilidad física de poder introducir el velocímetro para medir el flujo en acequia
- Posibilidad de poder acceder con facilidad y rápidamente

En la Figura 9 se identifican las secciones de medición en relación con las subcuencas y se describen los levantamientos topográficos y las fotografías de los lugares de toma de muestras y de aforo.

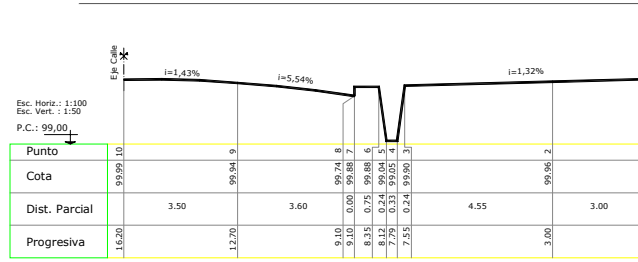
Se realizaron campañas de medición en los eventos del 10/03/03, 12/01/04 y 22/01/04. En la Tabla 9 figuran los valores observados de caudales y los resultados de los análisis químicos de las muestras extraídas.

Los análisis químicos se realizaron en los siguientes laboratorios:

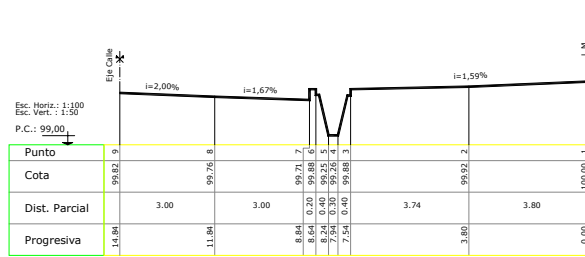
- Evento del 10/03/03 en la Univ. Nac. de San Luis
- Eventos del 12/01/04 y 22/01/04 en el INA-CRAS salvo las determinaciones de hidrocarburos que se realizaron en la Univ. Nac. de Cuyo-Fac. de Ingeniería



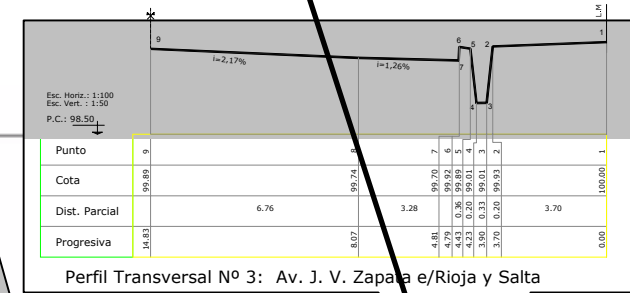
Figura 8. Equipamiento para realizar mediciones y tomas de muestras



Perfil Transversal N° 2: Colón N° 142



Perfil Transversal N° 1: Aristides Villanueva N° 176



Perfil Transversal N° 3: Av. J. V. Zapala e/Rioja y Salta

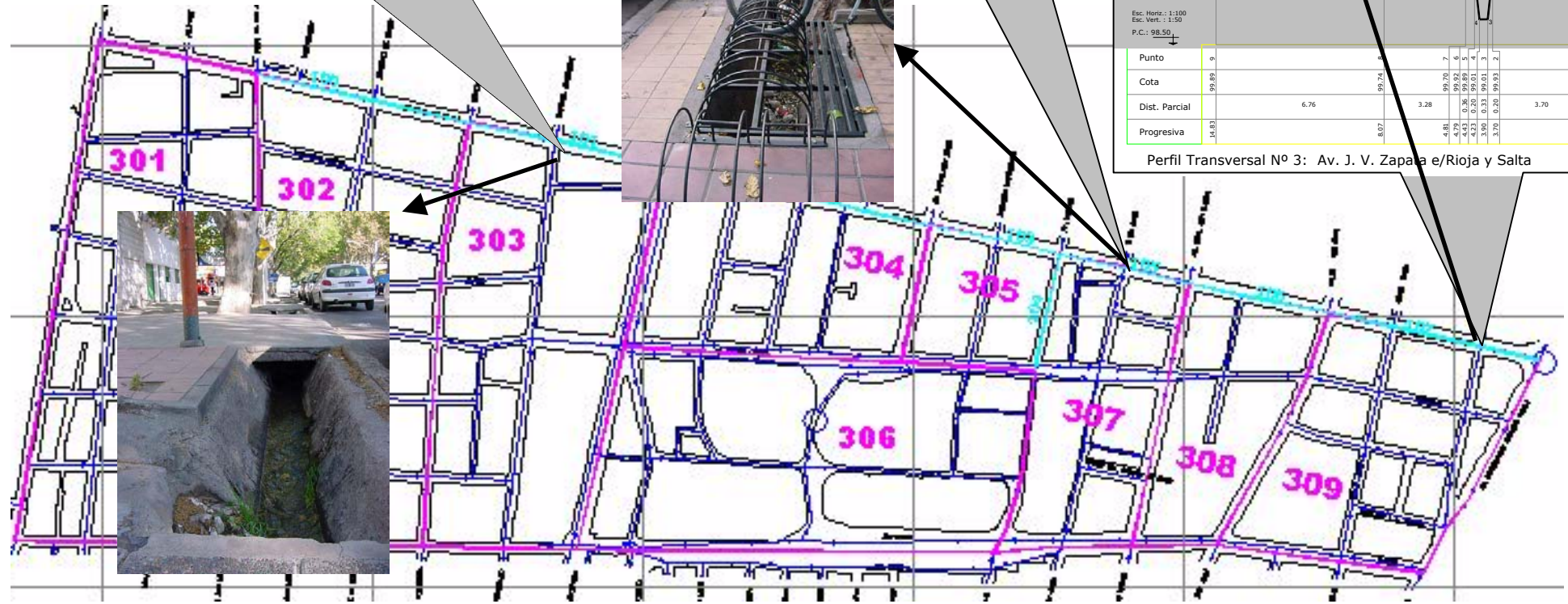


Figura 9. Perfiles transversales en las secciones de observación



Tabla 9. Valores observados en los eventos

LABORATORIO	Univ. Nac. San Luis		INA-CRAS								
	10/03/2003		12/01/2004					22/01/2004			
Fecha Extracción	7.0		6.5					4.8			
Precip total media mm	3 Ac	3 C	1 Ac	1 C	2 Ac	3 Ac	3 C	1 Ac	1 C	2 Ac	3 Ac
Hr Observación	22:45		18:55		19:50	19:20		20:40		20:50	21:00
Caudales m <sup>3</sup> /s	0.565		0.142		0.074	0.1396		0.2125		0.1098	0.1571
Fecha Análisis			09/02/2004	09/02/2004	09/02/2004	09/02/2004	09/02/2004	09/02/2004	09/02/2004	09/02/2004	09/02/2004
Temperatura °C			24.8	nd	27.6	26.4	27.7	23.8	25	23.7	23.8
Cond. Eléc. µS/cm a 25°C	332	333	734	2030	538	655	753	319	307	382	474
pH (unid. de pH)	6.98	6.74	6.3	7.5	5.7	6.2	7.9	6.6	6	6.6	6.7
Alcalin. Total mg/l CaCO <sub>3</sub>			82	226	111	206	230	98	98	113	118
Arsénico mg/l	<0.001	<0.001	0.006	0.006	0.004	0.005	0.003	<0.003	<0.003	0.003	0.003
Bario mg/l			0.244	0.412	No detectado	No detectado	0.556	0.3	0.093	0.372	0.158
Bicarbonato mg/l			100	276	136	251	280	120	119	138	144
Boro mg/l			0.16	0.84	0.18	0.19	0.25	0	0.09	0.06	0.03
Calcio mg/l			92	287	52	94	95	42	40	46	61
Carb. Sodio Res. (CSR)			0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cinc mg/l	0.571	0.63	1.89	0.628	0.41	0.313	0.516	0.118	0.145	0.176	0.156
Clas. Aniónica (> 20% me)			Sulfatada	Sulfatada	Bicarb.	Bicarb.	Bicarb.	Bicarb.	Bicarb.	Bicarb.	Bicarb.
Clas. Catiónica (>20 % me)			Cálcica	Cálcica	Cálcica	Cálcica	Cálcica	Cálcica	Cálcica	Cálcica	Cálcica
Cloruro mg/l			59	252	39	35	61	18	22	26	22
Cobre mg/l	0.068	0.048	No detectado	< 0.06	No detectado	No detectado	No detectado	< 0.06	0.073	0.064	< 0.06
Cromo mg/l	0.034	0.027	0.059	0.063	No detectado	< 0.005	No detectado	0.091	0.075	0.082	0.079
Dureza Total mg/l CaCO <sub>3</sub>			268	876	151	260	271	118	121	137	180
Dza. no carb. mg/l CaCO <sub>3</sub>			186	650	49	54	41	20	24	24	63
Fluoruro mg/l			0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3
Hidrocarb. Paráf. Tot. mg/l (UNCuyo-Fac.Ing.)			< 0.05	6.70	1.00	4.70	1.30	<0.05	1.20	1.10	1.00
Magnesio mg/l			9.3	39	5.2	6.3	7.9	3.5	5.2	5.5	6.7
Nitrato mg/l	210		8.4	28	19	13	16	5.8	11	16	9.3
Nitrito mg/l	0.02										
Plomo mg/l	0.02	0.045	0.015	0.021	0.025	0.053	0.05	0.02	<0.002	0.029	< .002
Potasio mg/l			9.1	87	31	25	33	11	19	16	17
Rel. Ads. Sodio (RAS)			1.17	1.36	0.92	0.68	1.16	0.48	0.4	0.56	0.71
Silice mg/l			2.6	13	2.6	6.3	8.7	3.7	4.6	3.6	3.9
Sodio mg/l			44	93	26	25	44	12	10	15	22
Sól.Dis.Calc.mg/l			482	1520	297	410	493	185	196	230	305
Sól. Susp. a 105°C mg/l			256	1070	186	418	446	246	262		
Sól. Tot. Dis. mg/l	270	230									
Sól.Sedimentab. ml/hr	5.5	5.2									
Sulfato mg/l			205	577	52	94	95	42	40	33	91
Clasificación y aptitud para riego:											
Por Cond. Eléctrica			C2-Buena	C3-Regular	C2-Buena	C2-Buena	C3-Regular	C2-Buena	C2-Buena	C2-Buena	C2-Buena
Por RAS			S1-Excelente	S1-Excelente	S1-Excelente	S1-Excelente	S1-Excelente	S1-Excelente	S1-Excelente	S1-Excelente	S1-Excelente
Por CSR			1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente
Por B p/cultivos sensibles			1-Excelente	3-Regular	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente
Por B p/cultivos semitoler.			1-Excelente	2-Buena	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente
Por B p/cultivos tolerantes			1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente	1-Excelente

## 5. CALIBRACIONES Y VALIDACIONES

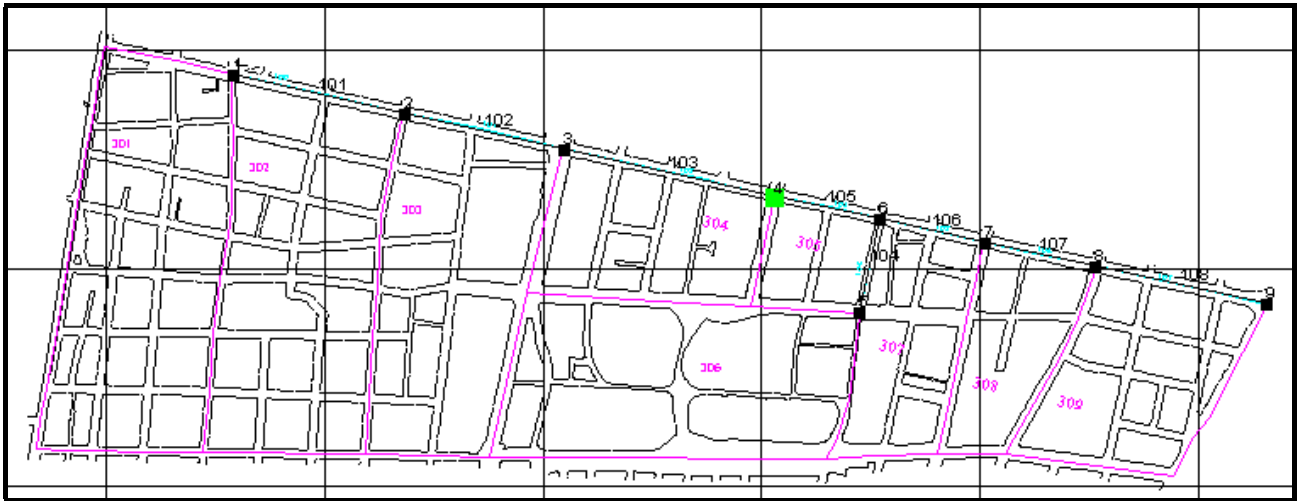
### 5.1 Análisis de la simulación de la cantidad de escurrimiento

Los datos de entrada al modelo para la simulación de la cantidad de escurrimiento son los que figuran en la Tabla 10 y se referencian en la Figura 10. Como se puede apreciar en el caso de los parámetros físicos, éstos no dan margen para que sean sensibles a una calibración si se tiene un adecuado material cartográfico como en este estudio, lo que no ocurre con los

parámetros hidrológicos (rugosidad, almacenamiento en depresiones y parámetros de la ecuación de infiltración de Horton).

**Tabla 10**

Parámetros físicos						Parámetros hidrológicos						
						Rugosidad		Almacenamiento en Depresiones (mm)		Infiltración		
Subcuenca N°	Conducto	Ancho (m)	Área (ha)	Impermeab. (%)	Pendiente (m/m)	Impermeab. (WW5)	Permeab. (WW6)	Impermeab. (WW7)	Permeab. (WW8)	Máxima (mm/hr) (WW9)	Mínima (mm/hr) (WW10)	Decaim. (1/seg) (WW11)
301	101	873.1	31.4	85.15	0.0210	0.025	0.250	5	10	75	12	0.002
302	102	789.3	30.1	84.73	0.0173	0.025	0.250	5	10	75	12	0.002
303	103	726.7	25.7	84.25	0.0168	0.025	0.250	5	10	75	12	0.002
304	105	259.3	15.1	72.98	0.0190	0.025	0.250	5	10	75	12	0.002
305	106	219.6	5.9	71.61	0.0185	0.025	0.250	5	10	75	12	0.002
306	104	346.9	27.8	63.35	0.0191	0.025	0.250	5	10	75	12	0.002
307	107	496.3	12.6	78.36	0.0169	0.025	0.250	5	10	75	12	0.002
308	108	478.5	10.4	78.26	0.0140	0.025	0.250	5	10	75	12	0.002
309	9	449.6	17.0	78.92	0.0102	0.025	0.250	5	10	75	12	0.002
Total=			176.0									



**Figura 10**

Sin embargo, y como se puede apreciar en el gráfico de sensibilidad de parámetros generado por PCSWMM en la Figura 11, solamente son sensibles en los casos analizados, con respecto al caudal pico, el coeficiente de rugosidad (WW5) y el almacenamiento en depresiones (WW7) de la parte impermeable de la cuenca. Se puede interpretar del mencionado gráfico que una variación de  $-25\%$  en el coeficiente de rugosidad (WW5), genera un aumento de  $13,3\%$  en el caudal pico y una variación de  $-25\%$  en el almacenamiento por depresiones (WW7) produce un aumento en el caudal pico de  $45\%$ .

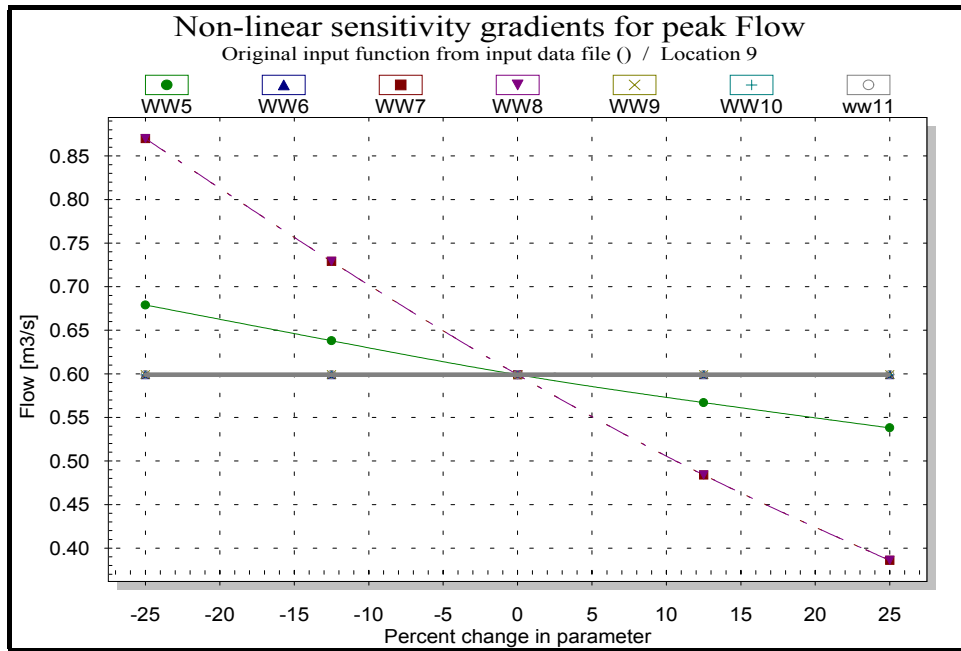


Figura 11. Gráfico de sensibilidad de parámetros generado por PCSWMM

A efectos de comparar resultados se realizó una corrida del modelo ARHYMO con el evento del 22/01/04 (Figuras 15, 16 y 17). Los valores de los parámetros, tanto físicos como hidrológicos, de ARHYMO fueron iguales a los utilizados en PCSWMM.

Como se puede apreciar, salvo en la sección 2, no hay coincidencia entre los hidrogramas generados por ambos modelos. Seguramente tal diferencia se origina en los métodos de generación de hidrogramas y de tránsito de hidrogramas en conducciones:

Operación hidrológica	MODELOS	
	PCSWMM	ARHYMO
Generación de hidrogramas	Embalse no-lineal	Hidrograma Unitario en base a la analogía de un embalse lineal
Tránsito de hidrogramas	Onda cinemática	Método hidrológico (Tiempo de Traslado Variable)

### 5.1.1 Procedimiento de calibración para la simulación de contaminantes

La calibración se llevó a cabo con los datos observados del evento del 22/01/04 ya que fue el evento con el que se obtuvo mayor información de escurrimiento y de contaminantes. No se utilizó la totalidad de los contaminantes observados (25) sino solamente aquéllos que se repetían en cada evento y que, por la bibliografía consultada, tenían carácter relevante.

En base a las siguientes expresiones, ya analizadas con anterioridad:

$$residuos = DD = DDFACT [kg / km / día] * t^{DDPOW} \leq DDLIM [kg / kmcordón]$$

$REMAIN = 1 - AVSWP(J) * REFF(K)$  que es la fracción de residuos remanente en superficie

donde:

AVSWP(J)= fracción de cuenca que es realmente factible de limpiar

REFF (K)= eficiencia de limpieza

$PSHED_0 = QFACT(J, K)$  carga de contaminante inicial

$$[QFACT(J, K)] = \frac{mg}{g}$$

donde:

J = uso del suelo

K = contaminante

mg = peso del contaminante

g = gramos de residuos

QFACT es el factor que representa la proporción de contaminante en peso de los residuos y suciedad y que fue motivo de calibración en este estudio

$$PSHED_{t+\Delta t} = PSHED_t * e^{-RCOEFF \frac{r(t)^{WASHPO} + r(t+\Delta t)^{WASHPO}}{2} \Delta t}$$

carga de contaminante en el tiempo t

donde:

RCOEFF = coeficiente variable entre 1 y 10 (motivo de calibración en este estudio)

WASHPO = exponente que es <1 para contaminantes disueltos (en este estudio se consideró igual a 0.8).

r(t) = precipitación efectiva en el tiempo t

y para poder calibrar los parámetros de PCSWMM vinculados a la simulación de contaminación se asumieron los siguientes valores de parámetros:

**DDFACT** [Kg/km cordón/día]= se asumieron los valores que figuran en la Tabla 11 y que son lo que se indican en la Tabla 5 de Valores mínimos, máximos y medios de contaminantes en función del uso del suelo.

**CLFREQ**= se asumió que las calles se limpian cada 2 días

**AVSWP**= se consideró que en todos los casos de usos del suelo hay una accesibilidad de 95% para realizar la limpieza de las calles

**DSLCL**= se ha considerado que cuando comienza el evento de lluvia han transcurrido 1,6 días desde que se produjo la última limpieza

**REFF**= se ha considerado que hay un 70% de eficiencia en el trabajo de limpieza de las calles

**DDPOW**= se ha considerado que hay una dependencia lineal (DDPOW=1) de la acumulación de residuos en el tiempo

**WASHPO**= se ha considerado un valor de 0,8 (recomendado por la bibliografía) ya que los contaminantes analizados son del tipo disuelto y de esta manera la concentración disminuye con el incremento de caudal



Tabla 11

Tarjeta	LNAME	METHOD	JACGUT	DDLIM	DDPOW	DDFACT	CLFREQ	AVSWP	DSLCL
	uso del suelo	Lineal-Potenc	Indica que se usa long. cordón	kg/km cordón		Kg/km cordón/día	interv. limpieza	accesibilidad para limpieza	días desde la última limpieza
J2	'casas'	0	0	10000	1	17	2	0.95	1.6
J2	'deptos'	0	0	10000	1	32	2	0.95	1.6
J2	'comerc'	0	0	10000	1	25.5	2	0.95	1.6
J2	'parque'	0	0	10000	1	23	2	0.95	1.6

En consecuencia la calibración se centró en la variación de los parámetros RCOEF y QFACT(J,K), de manera tal que este último factor no tuviera un valor muy alejado de los estándares que figuran en la mencionada Tabla 5.

Los valores de RCOEFF fueron de 1 para el caso de Cromo y de 10 para el resto de los contaminantes considerados (la bibliografía recomienda un rango de 1 a 10).

Los valores de QFACT(J,K) fueron calibrados mediante un proceso lineal iterativo que tuvo en cuenta:

- los kg de residuos por día y por uso del suelo considerando los valores de DDFACT, los km de cordón y la proporción de diferentes usos del suelo en cada subcuenca
- el valor de QFACT anterior
- los valores observado y calculado de concentración del contaminante multiplicados por el valor del caudal pertinente [ $\text{mg/l} \times \text{m}^3/\text{s}$ ] en cada una de las secciones de observación

el proceso iterativo se finaliza cuando la sumatoria del cuadrado de los errores para cada uso del suelo es igual a la inmediatamente anterior.

Es de aclarar que para ningún contaminante, salvo el cromo (Figura 12), se pudo lograr un conjunto de 4 valores (para cada uno de los usos del suelo) que produjera error cero (Figura 13).

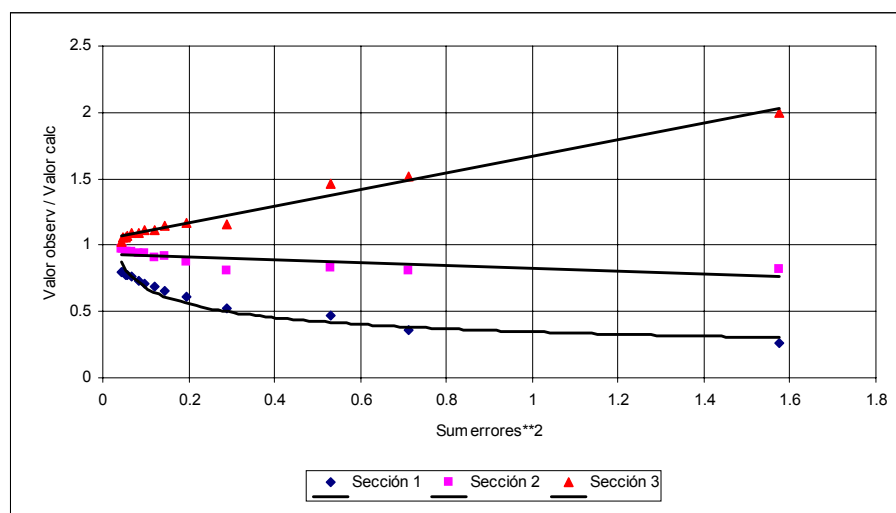
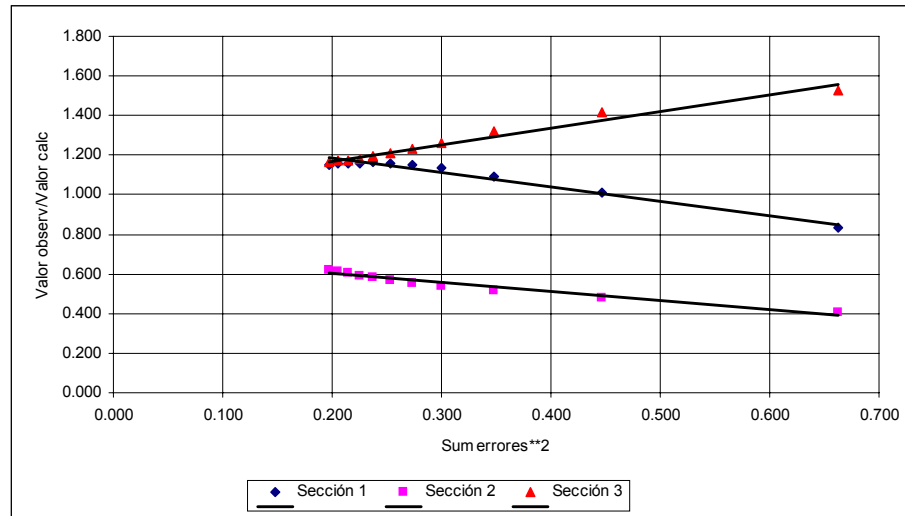


Figura 12. Calibración de QFACT para Cr



**Figura 13. Calibración de QFACT para NO3**  
(el gráfico es similar en el caso de los otros contaminantes)

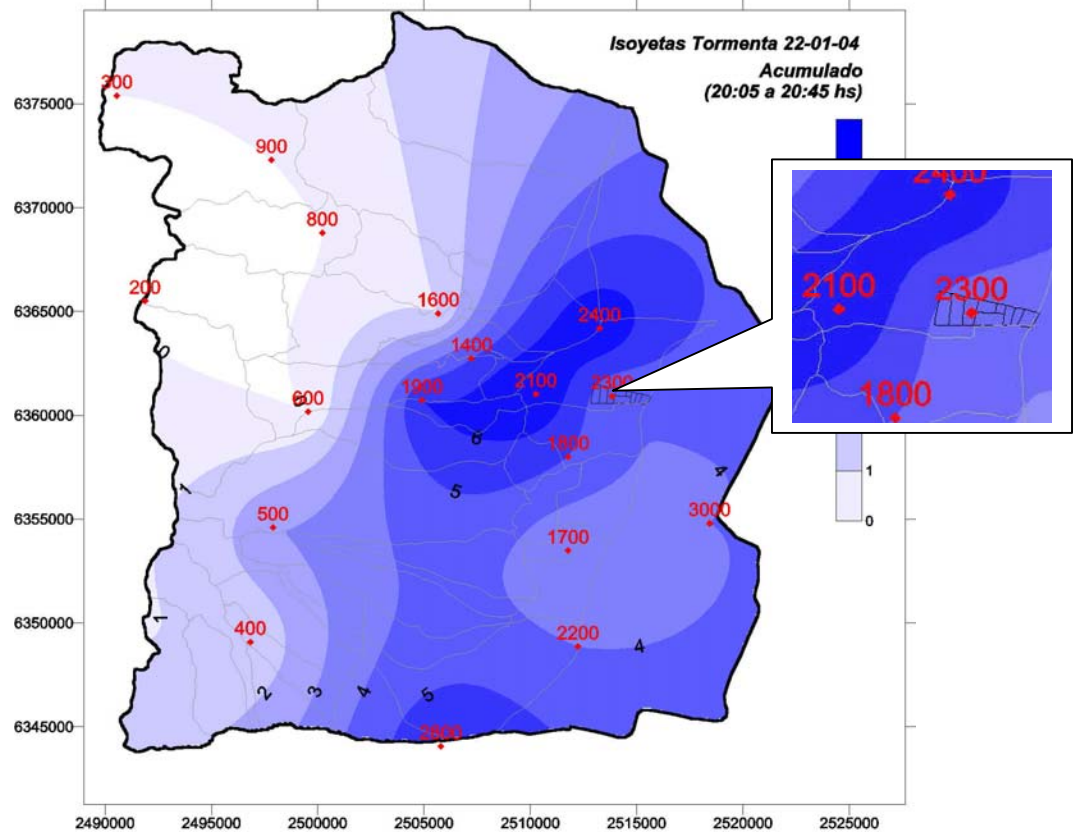
Los valores de QFACT (J,K) así obtenidos se reflejan en la Tabla 12 donde también se han detallado los valores de referencia (Tabla 5) que da la bibliografía. Como se puede apreciar los valores obtenidos por calibración distan mucho de los valores de referencia.

**Tabla 12**

Uso del Suelo (J)	Valores de QFACT(J,K) [mg/g]															
	Contaminantes (K)															
	NO3		Cr		Zn		Cloruros		Cu		Mg		HPT		Ba	
	calibr.	refer.	calibr.	refer.	calibr.	refer.	calibr.	refer.	calibr.	refer.	calibr.	refer.	calibr.	refer.	calibr.	refer.
'casas'	1.086	s/d	0.002	0.200	0.015	0.310	2.504	s/d	0.008	0.091	0.488	s/d	0.071	0.001	0.025	s/d
'deptos'	0.733	s/d	0.399	0.180	0.021	0.280	1.219	s/d	0.002	0.073	0.243	s/d	0.053	0.001	0.031	s/d
'comerc'	5.349	0.024	2.623	0.140	0.082	0.690	12.136	s/d	0.031	0.095	3.731	2.0E-05	0.573	s/d	0.084	s/d
'parque'	0.002	s/d	0.036	0.092	0.002	0.152	0.000	s/d	0.000	0.046	0.000	s/d	0.000	s/d	0.007	s/d

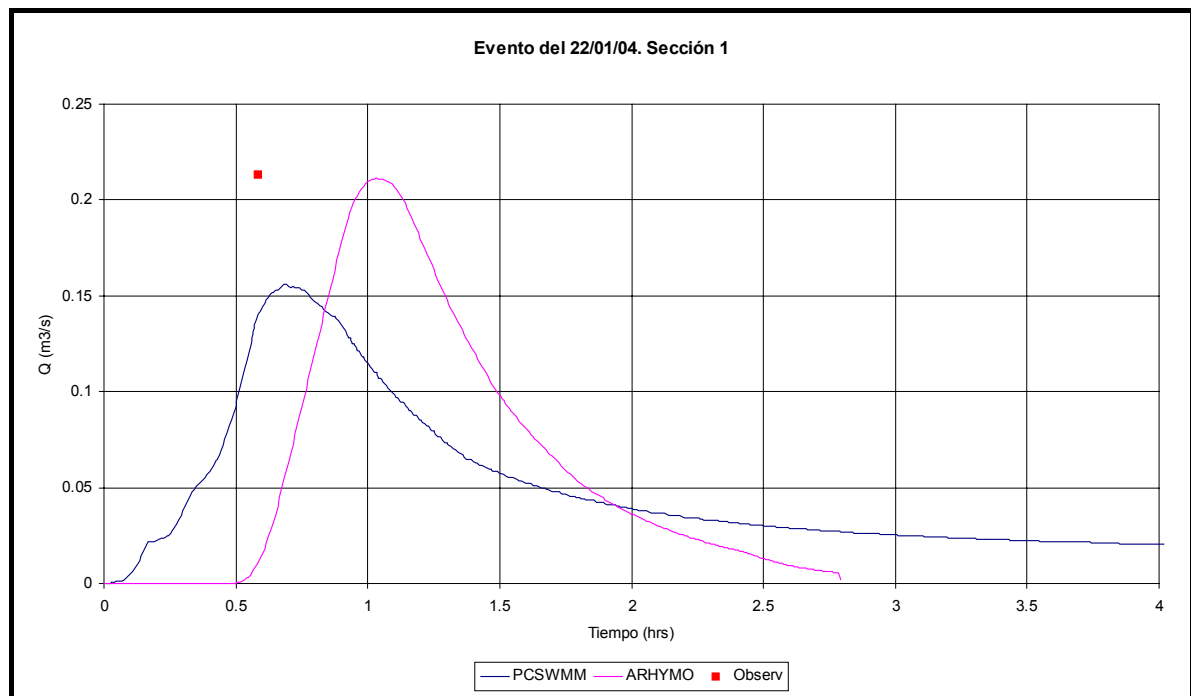
### 5.1.2 Resultados de la calibración en el evento del 22/01/04

En base a la información pluviométrica de la Red Hidrometeorológica Telemétrica que el INA-CRA posee en el piedemonte y área urbana del Gran Mendoza se trazaron isohietas cada 5 minutos a efectos de determinar las precipitaciones medias en cada una de las 9 subcuencas. Es de hacer notar que en la Figura 14 se puede apreciar la ubicación de la estación 2300 de la mencionada red dentro del área de estudio.

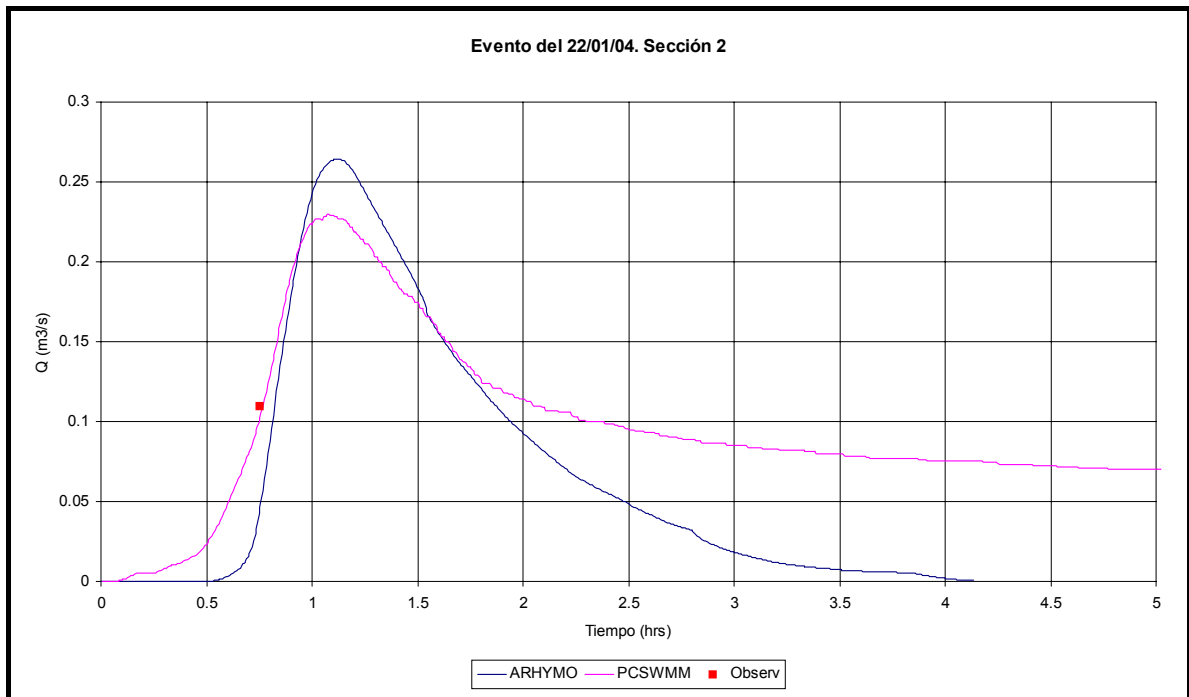


**Figura 14. Isohietas totales del evento del 22/01/04**

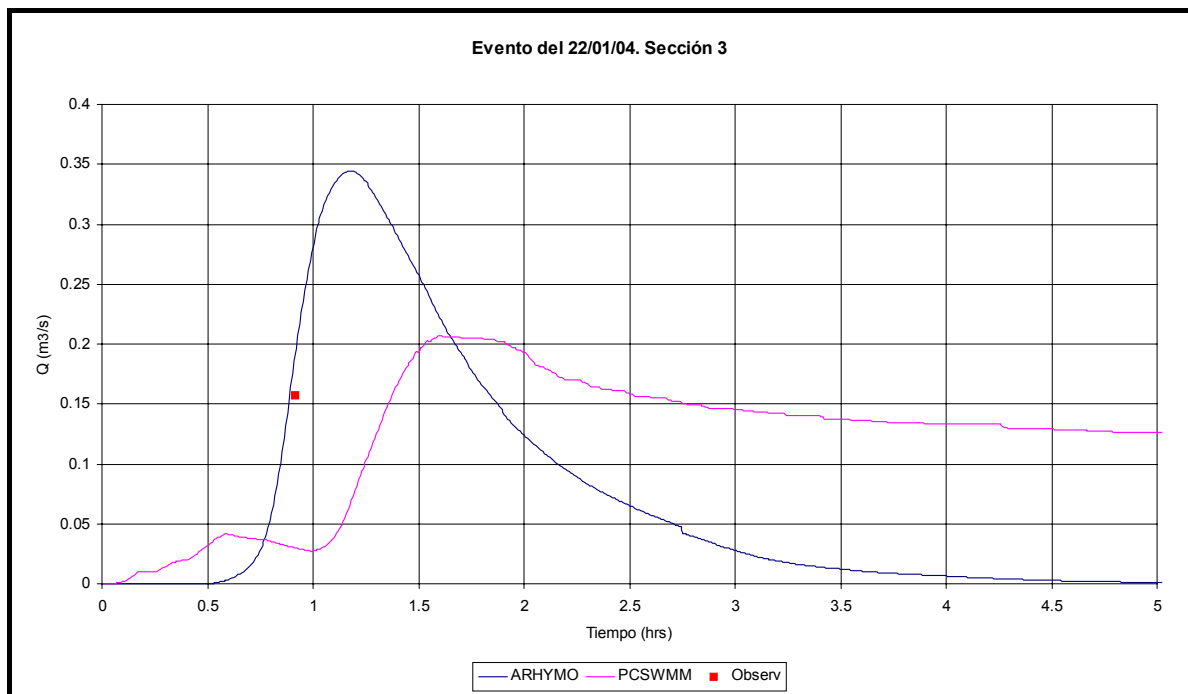
En las figuras 15, 16 y 17 se pueden apreciar los hidrogramas generados por PCSWMM y ARHYMO para el evento del 22/01/04 en las diferentes secciones de observación y el valor de caudal observado



**Figura 15. Hidrogramas en sección 1**

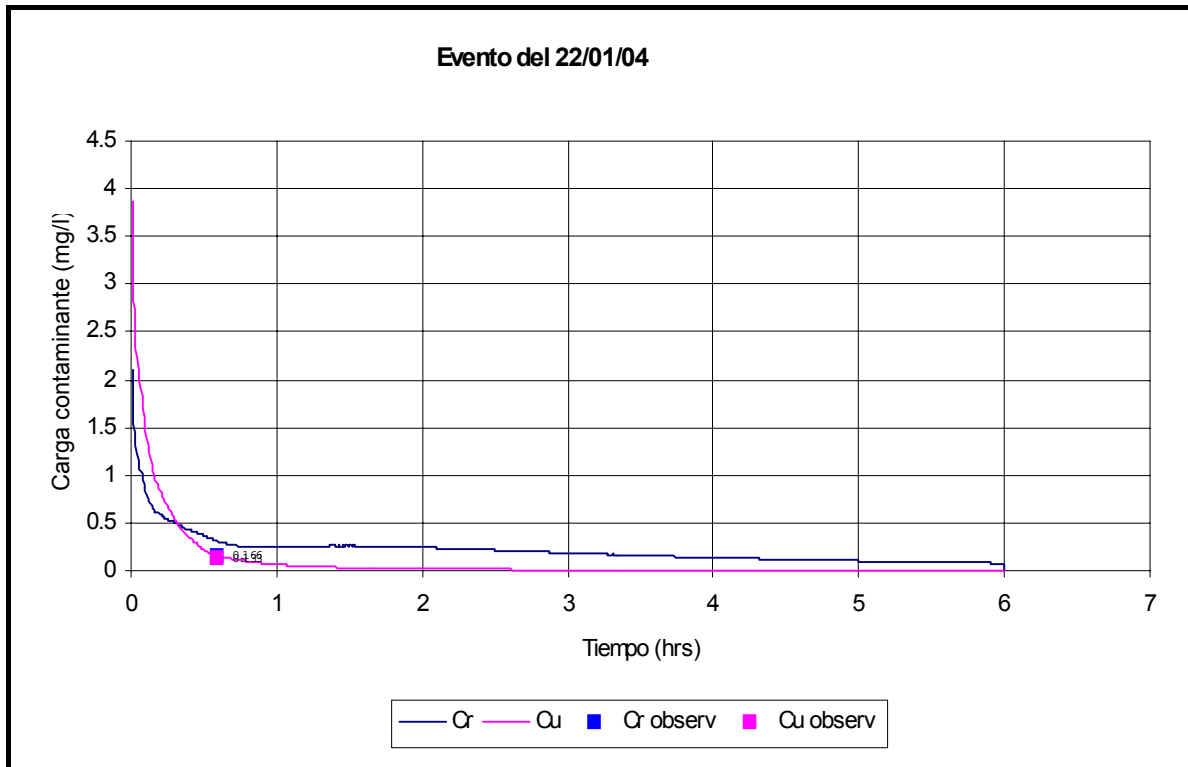


**Figura 16. Hidrograma en sección 2**

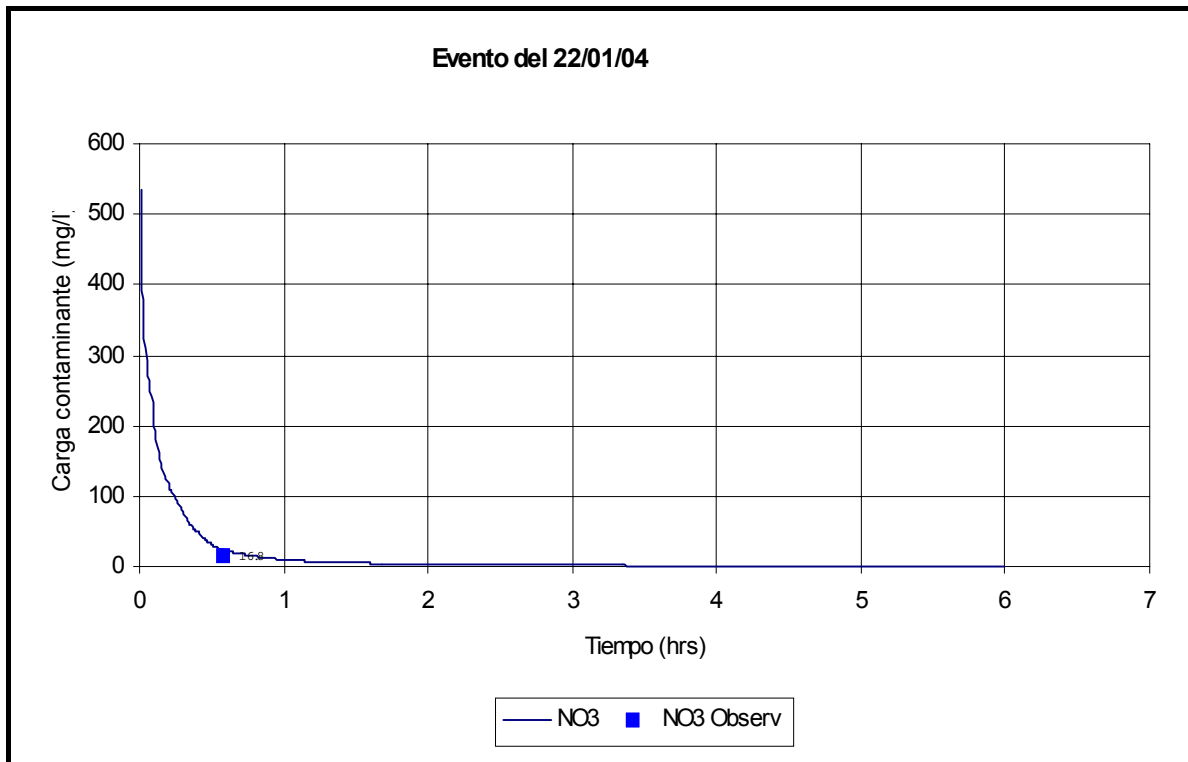


**Figura 17. Hidrograma en sección 3**

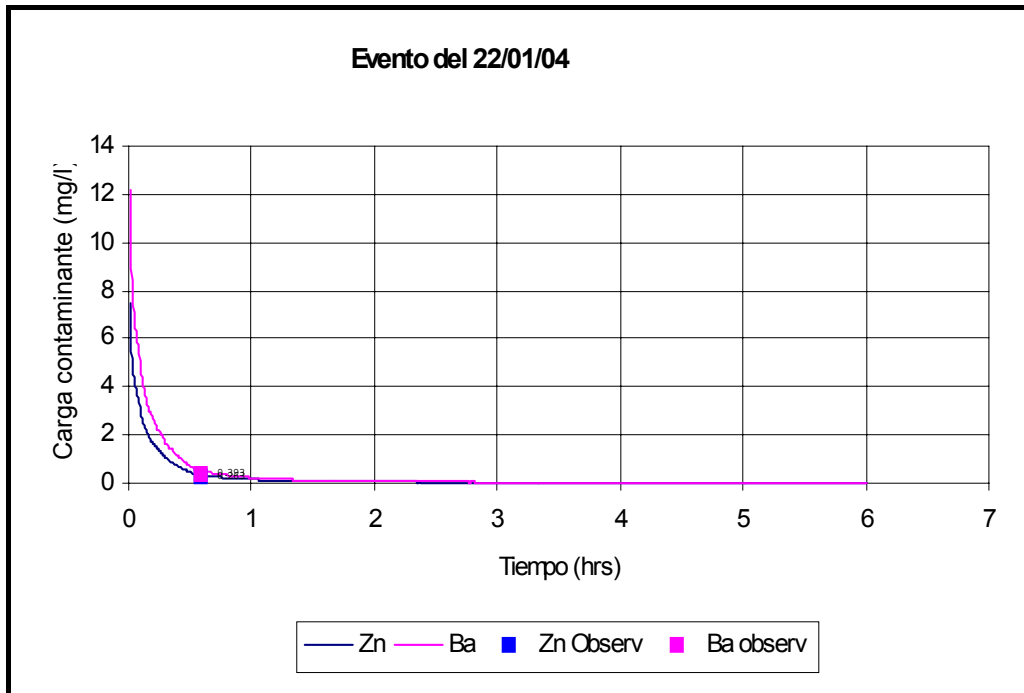
En las figuras 18 a 35 se pueden apreciar los polutogramas generados por PCSWMM para el evento del 22/01/04 en base a la calibración descrita y los valores de concentración observados en cada una de las tres secciones de observación.



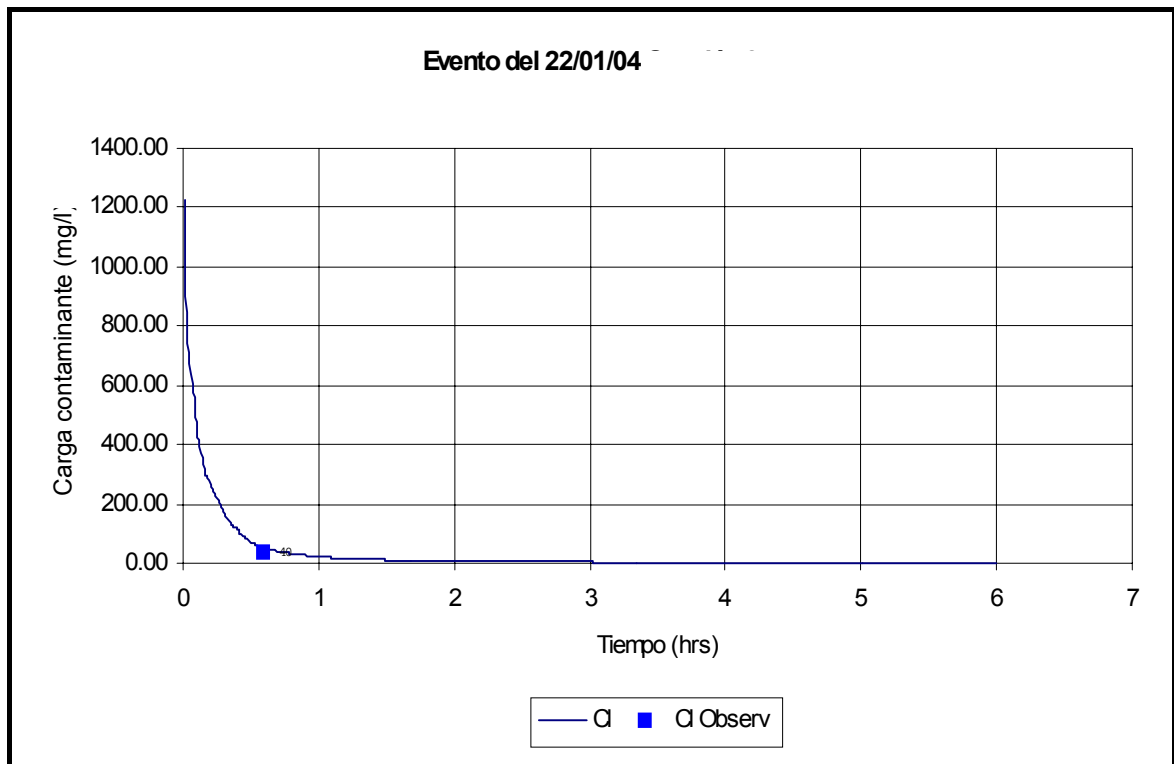
**Figura 18. Polutograma en sección 1**



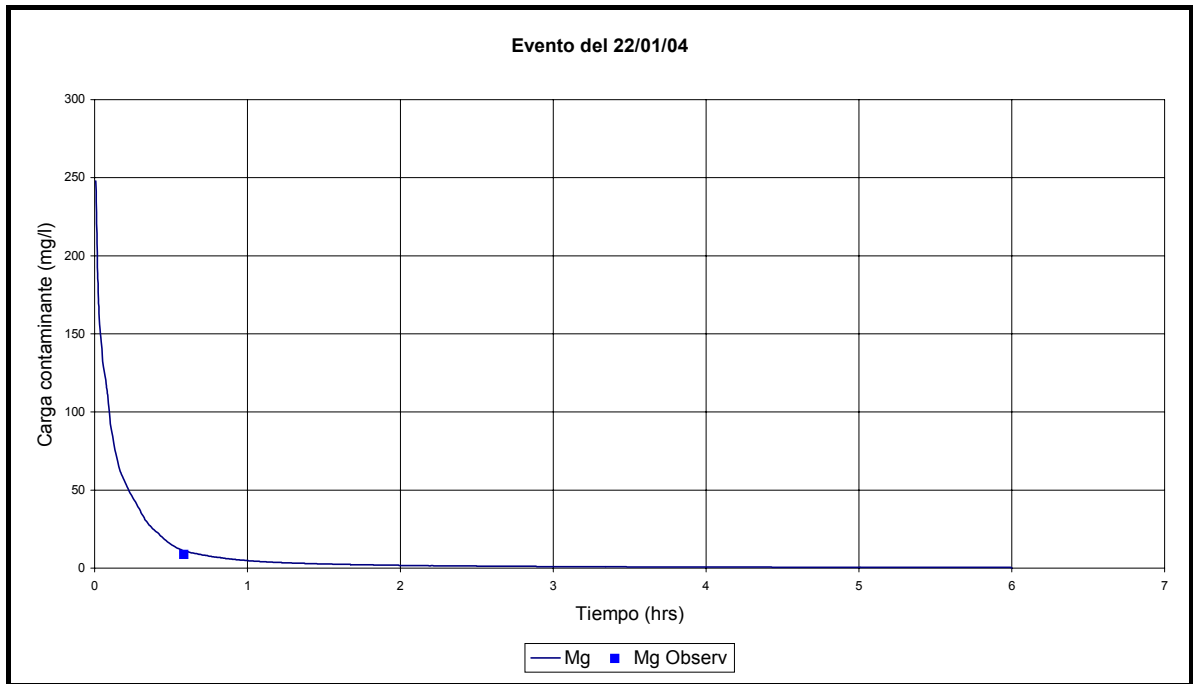
**Figura 19. Polutograma en sección 1**



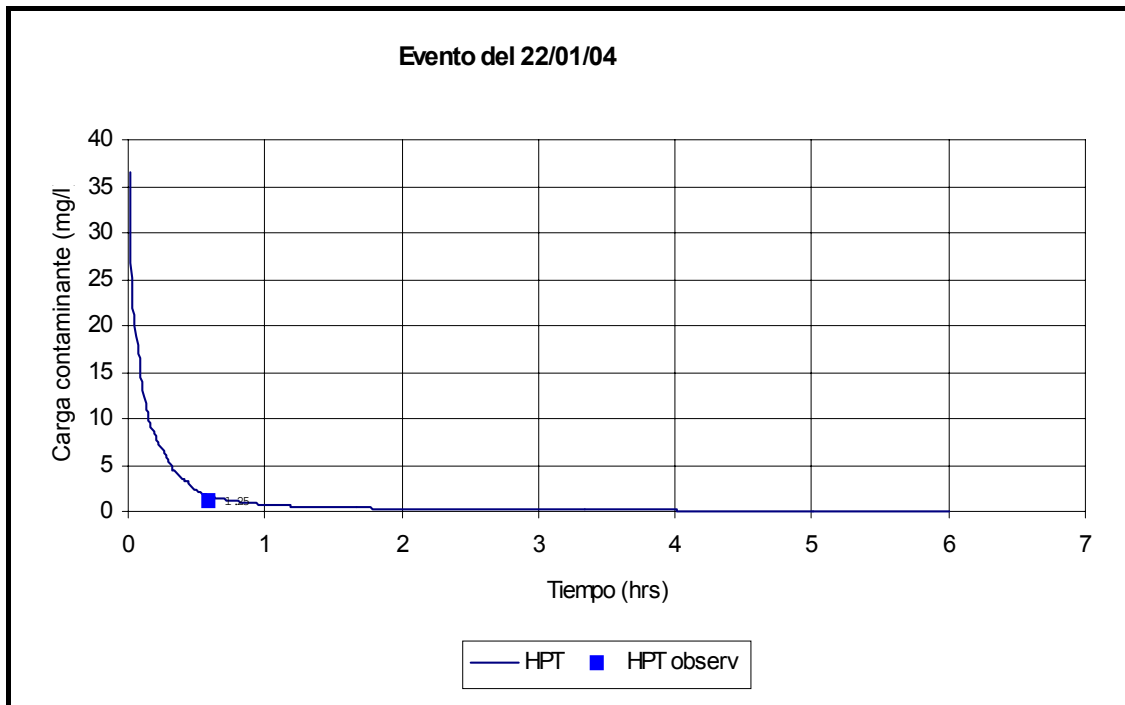
**Figura 20. Polutograma en sección 1**



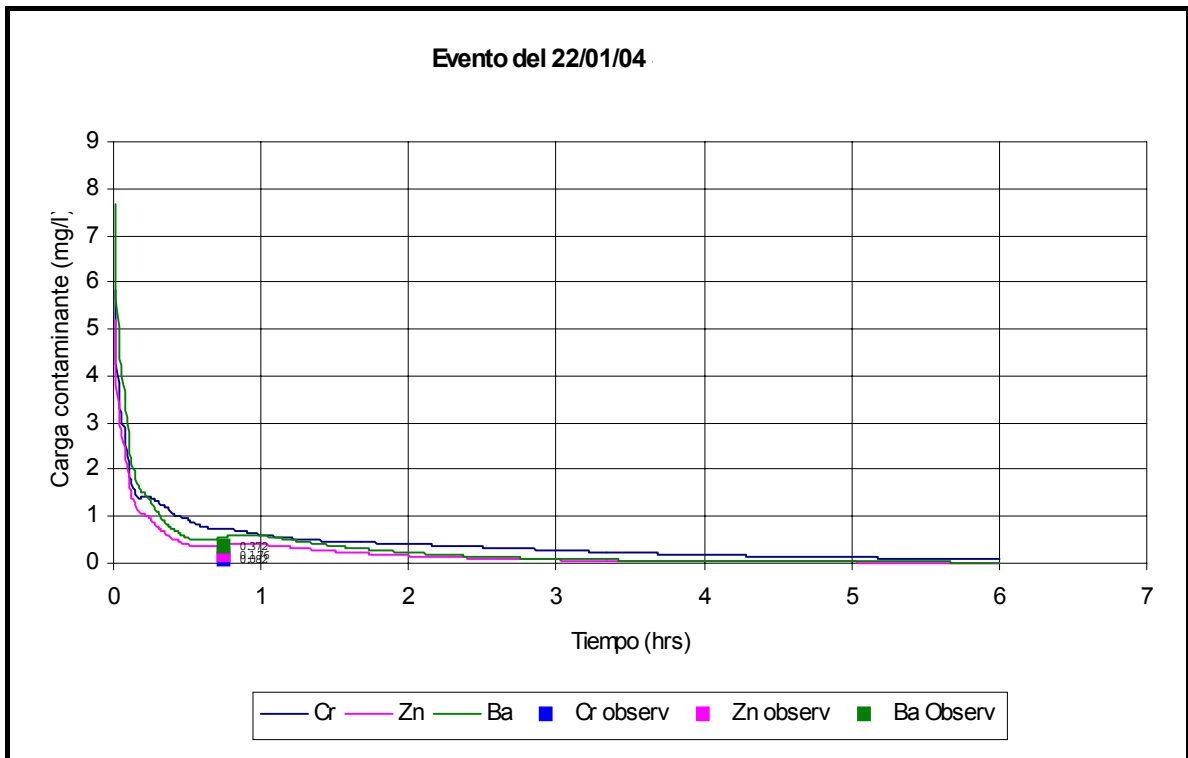
**Figura 21. Polutograma en sección 1**



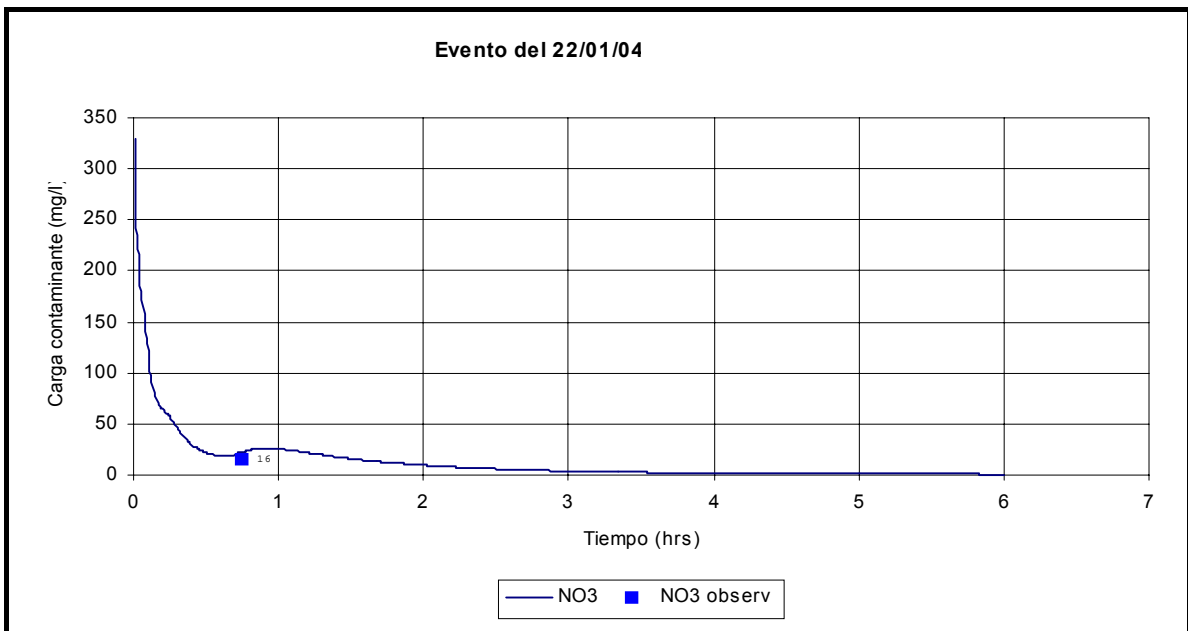
**Figura 22. Polutograma en sección 1**



**Figura 23. Polutograma en sección 1**

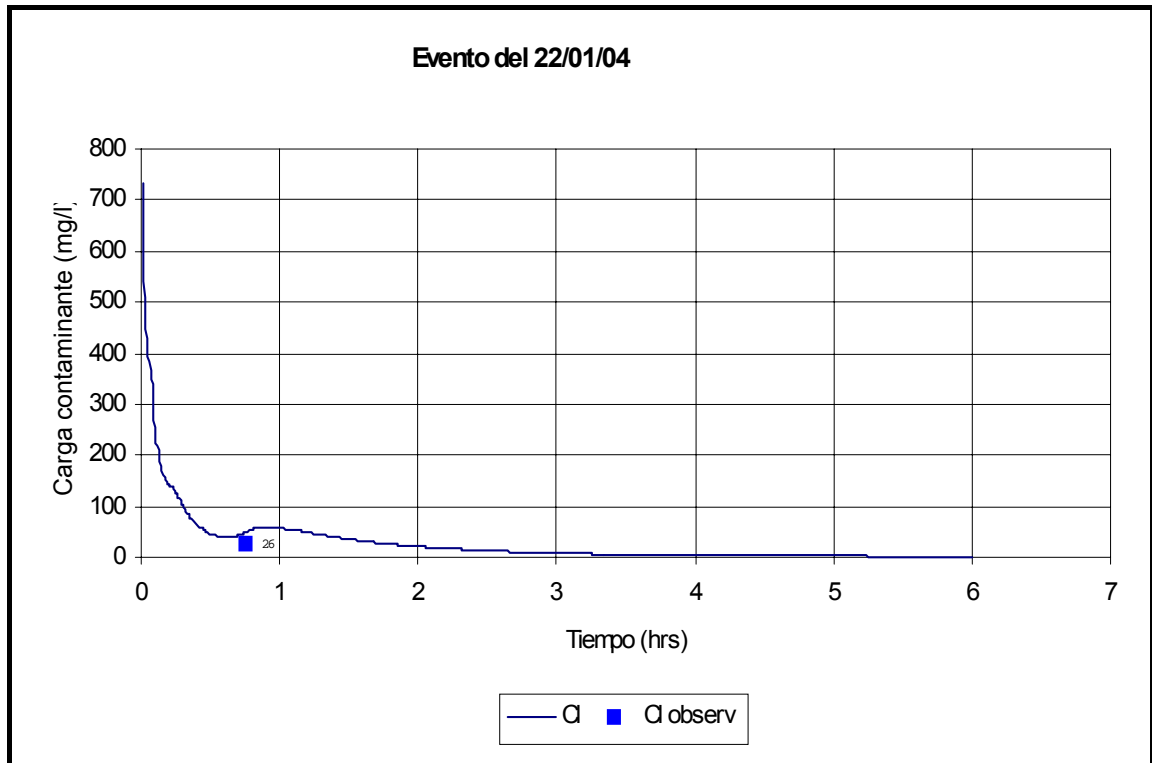


**Figura 24. Polutograma en sección 2**

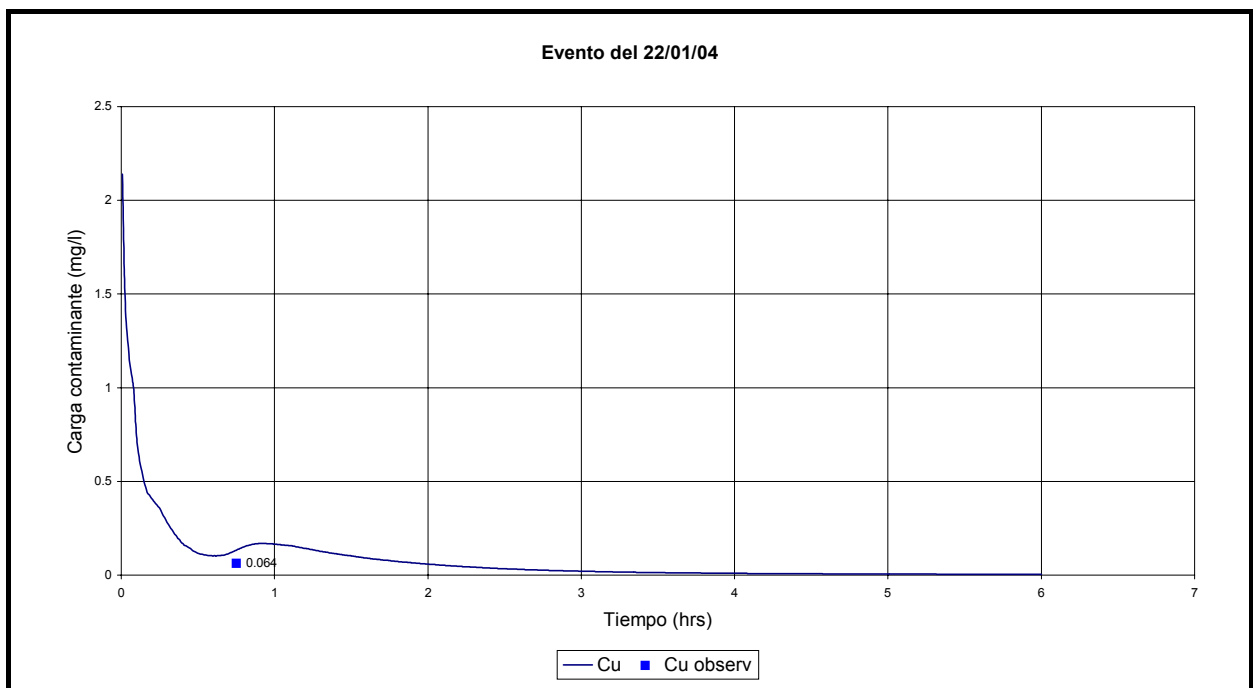


**Figura 25. Polutograma en sección 2**

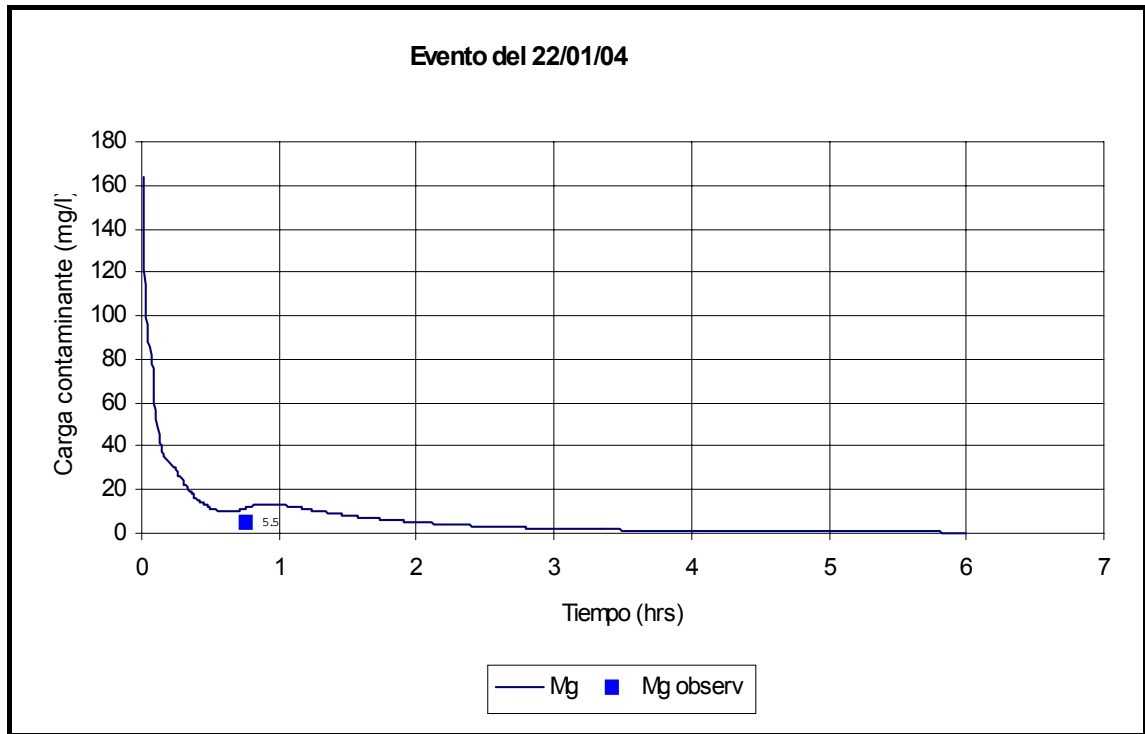




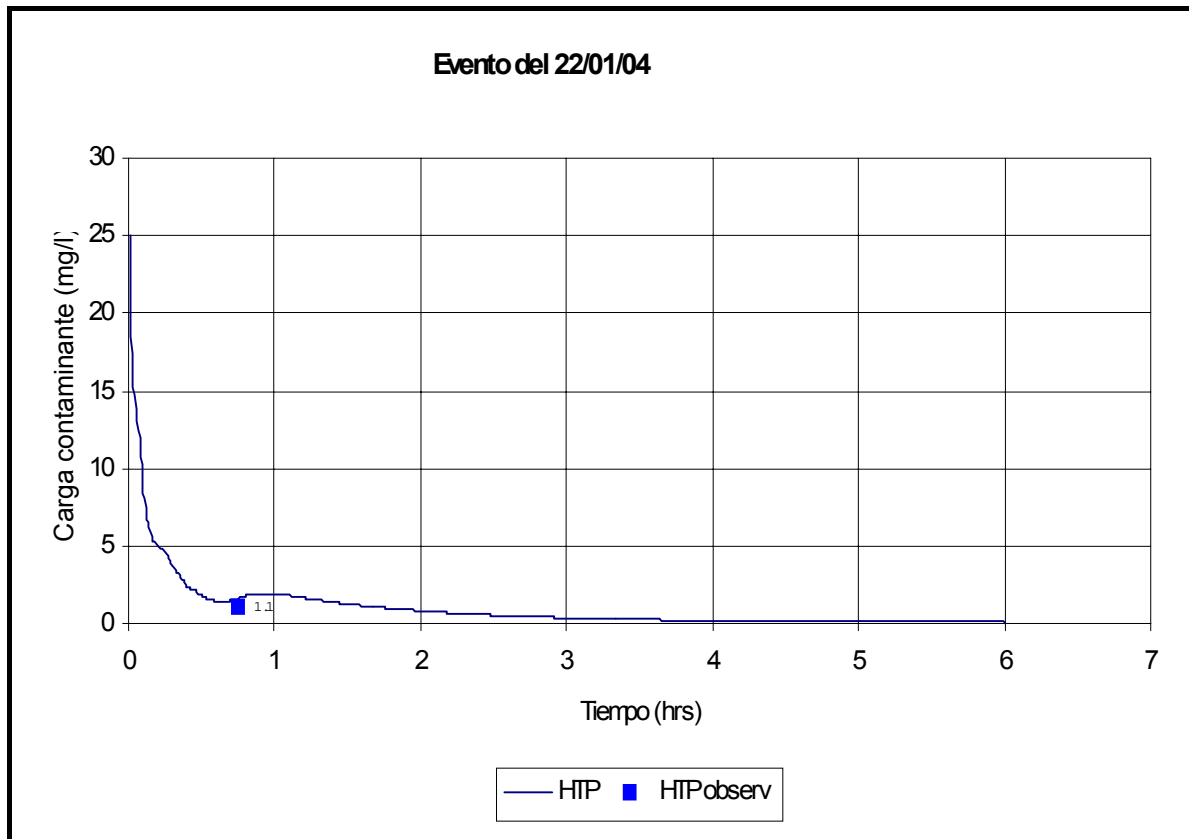
**Figura 26. Polutograma en sección 2**



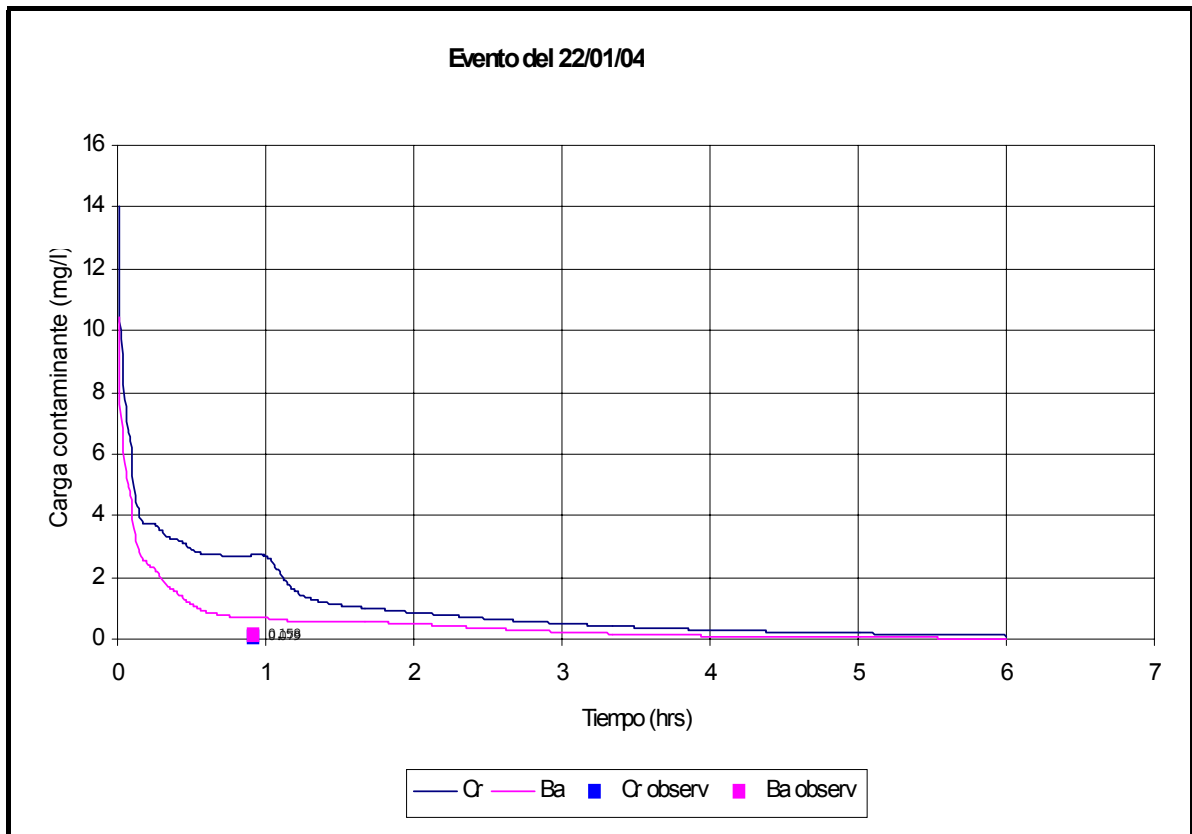
**Figura 27. Polutograma en sección 2**



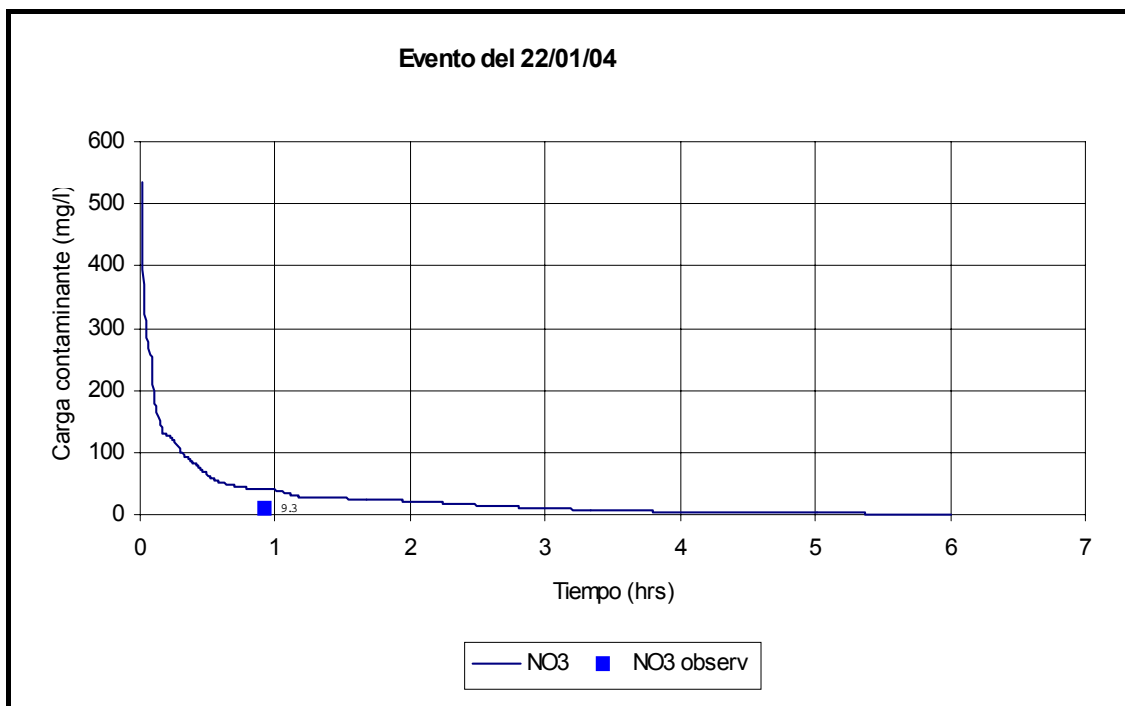
**Figura 28. Polutograma en sección 2**



**Figura 29. Polutograma en sección 2**



**Figura 30. Polutograma en sección 3**



**Figura 31. Polutograma en sección 3**

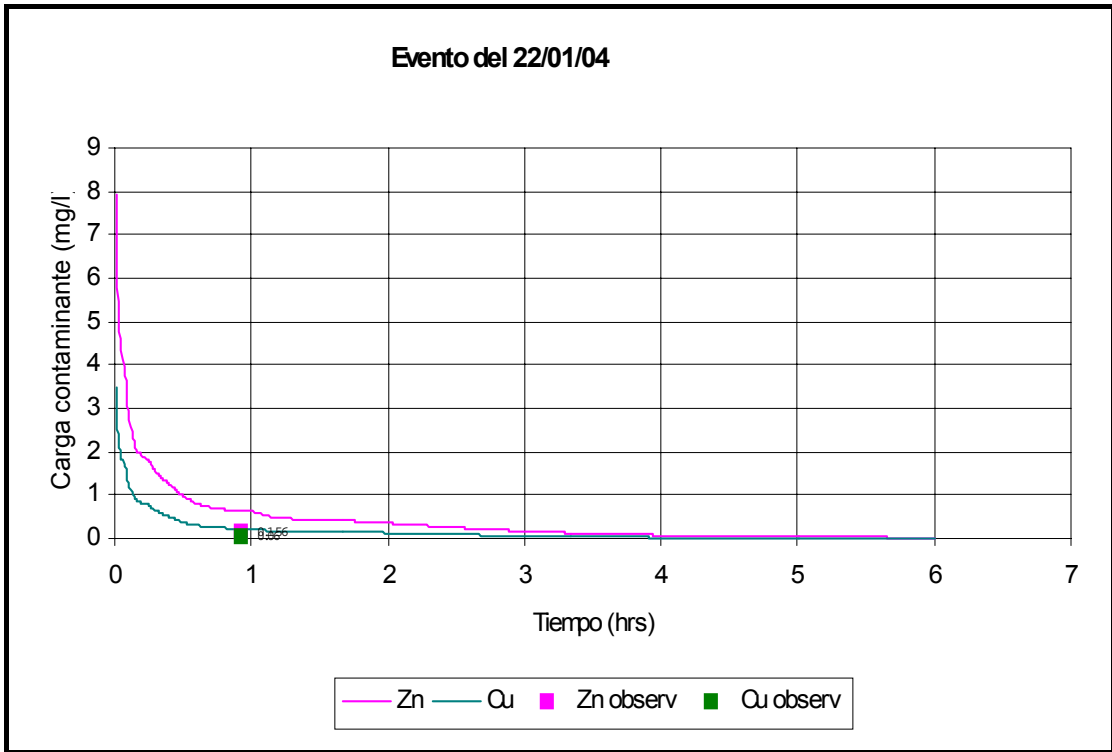


Figura 32. Polutograma en sección 3

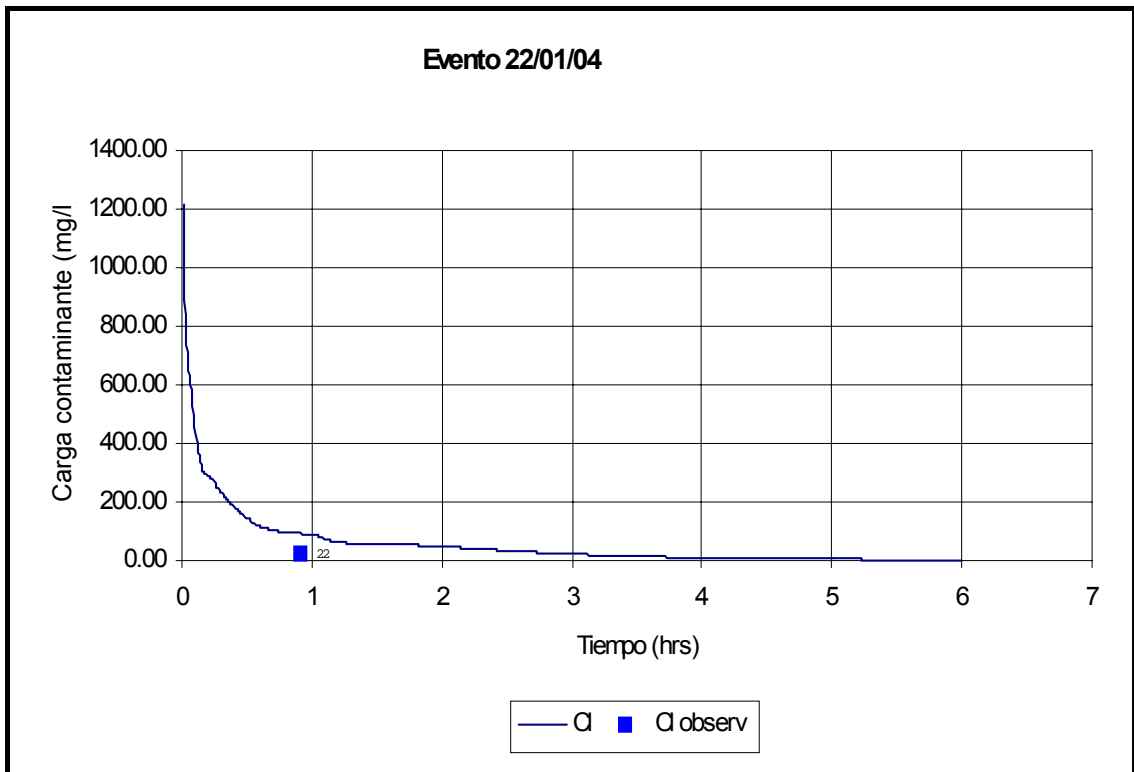
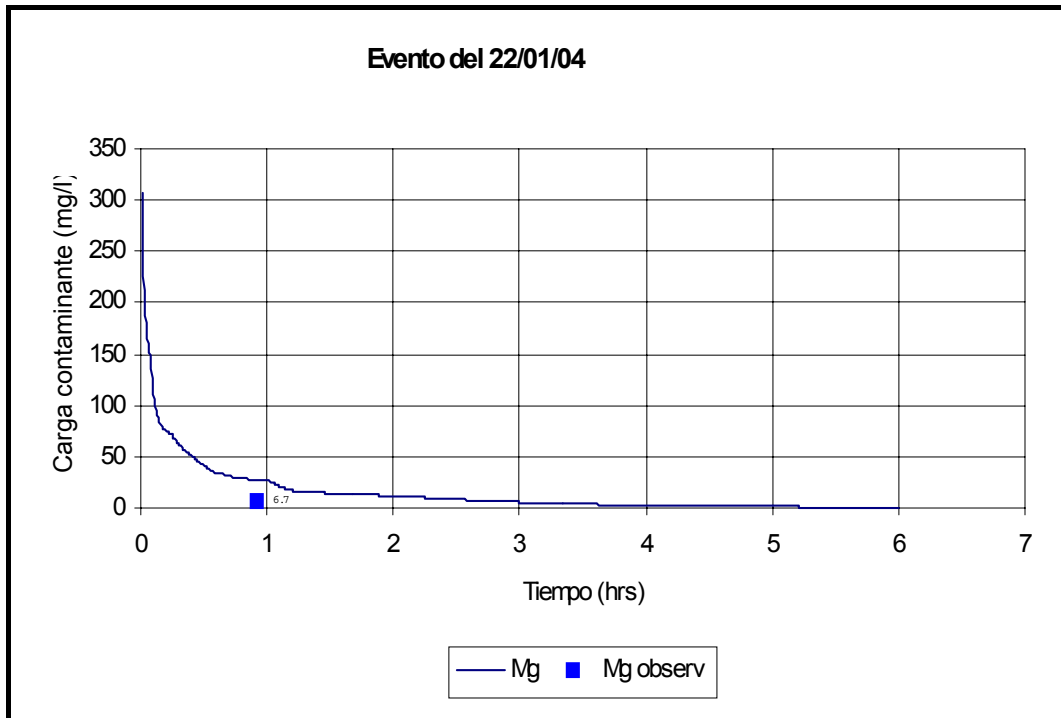
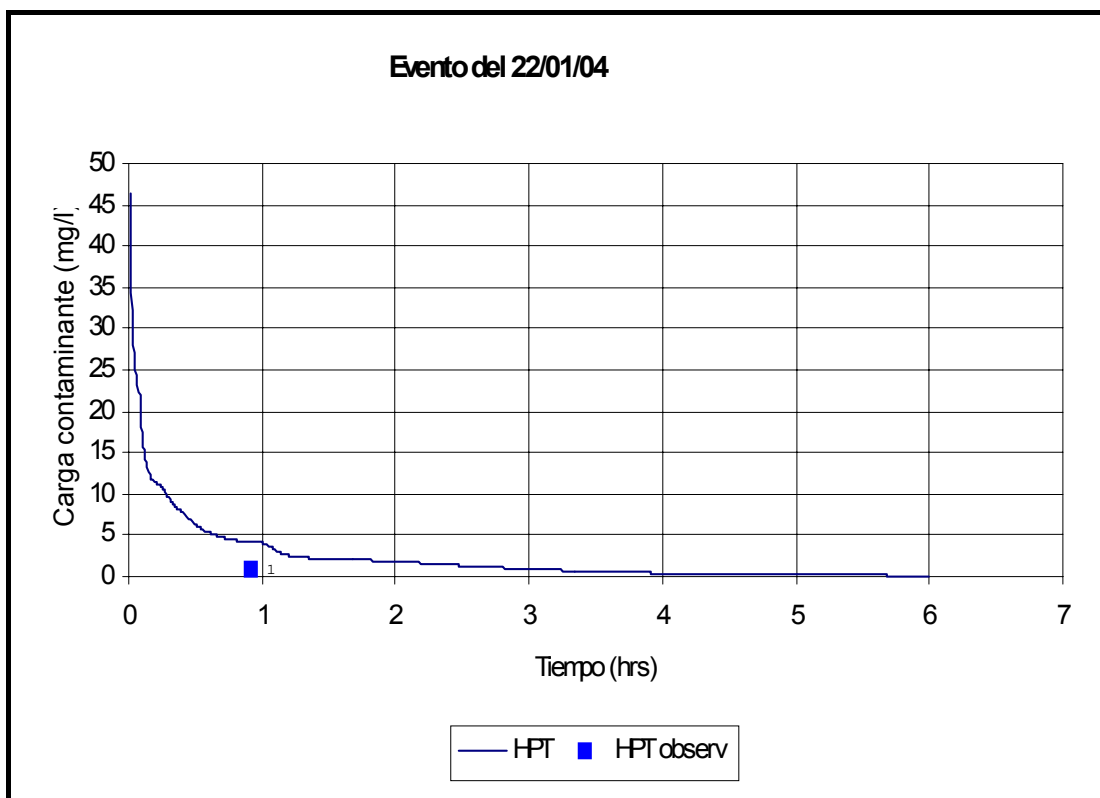


Figura 33. Polutograma en sección 3



**Figura 34. Polutograma en sección 3**



**Figura 35. Polutograma en sección 3**

## 5.2 Validaciones

Sin modificar los parámetros calibrados se aplicó PCSWMM con los eventos del 10/03/03 y 12/01/04.

### 5.2.1 Resultados del evento del 10/03/03

Debido a problemas operativos en este evento, que fue el primero en realizar las mediciones, solamente se pudo obtener información en la sección 3.

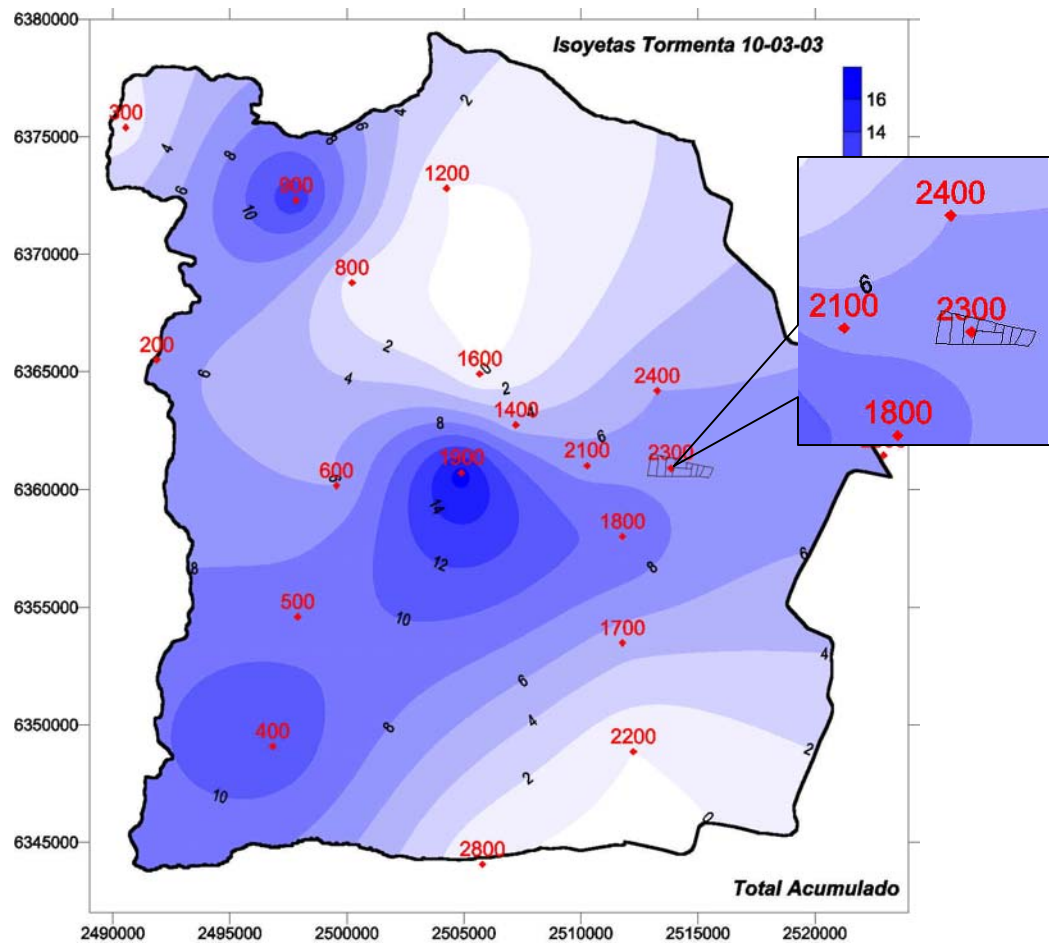
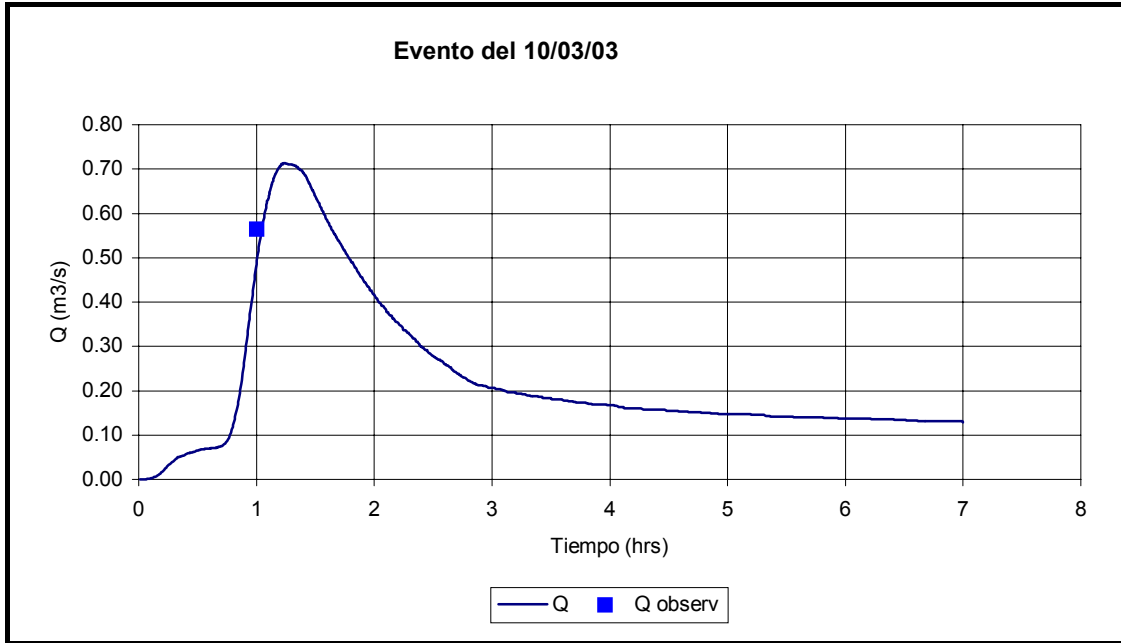
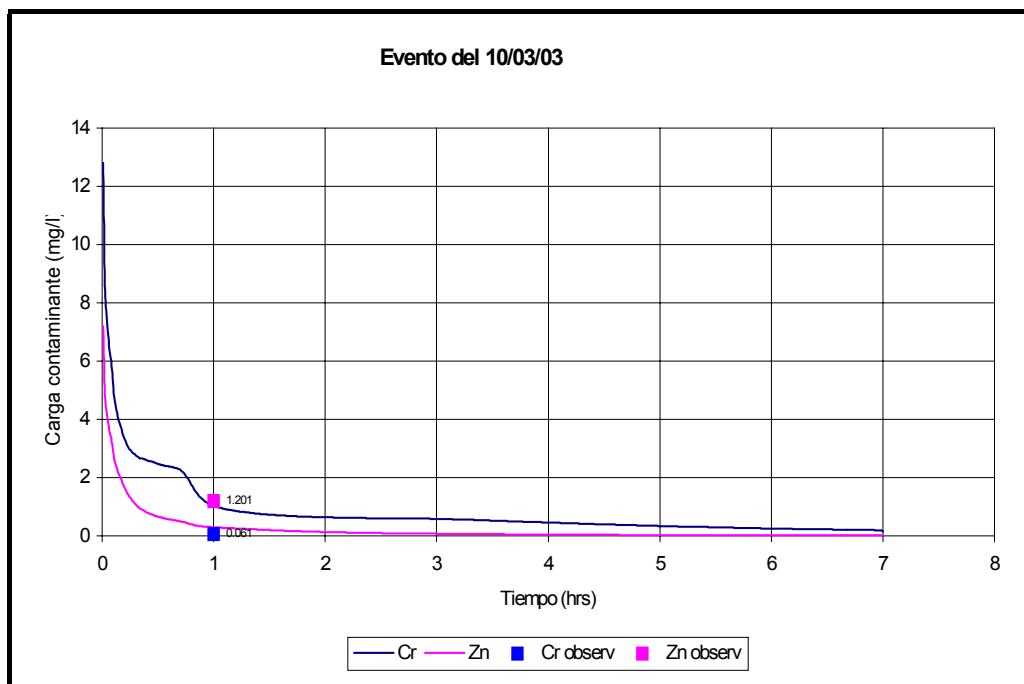


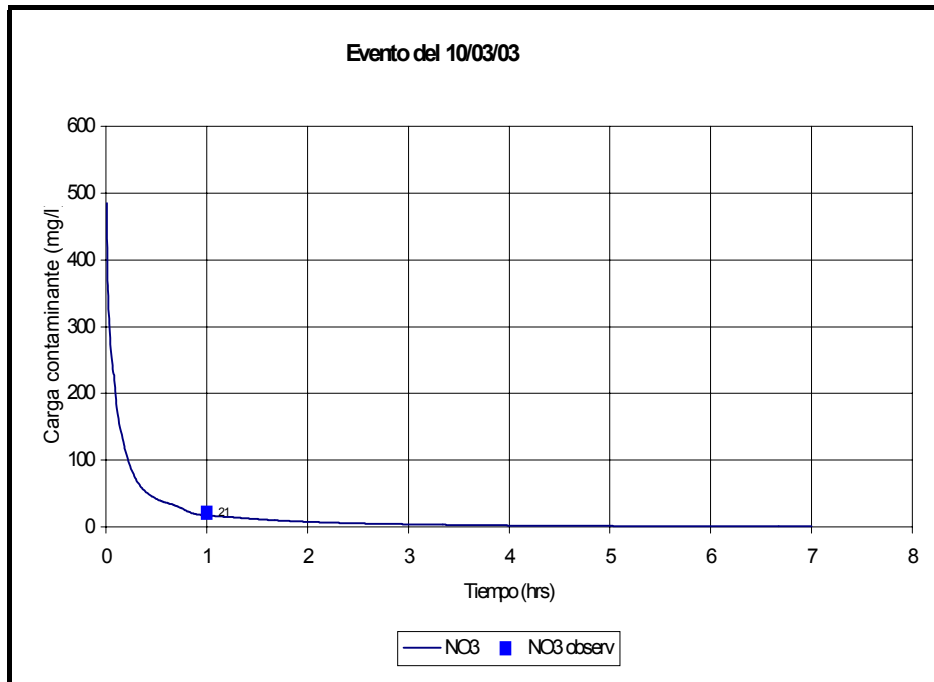
Figura 36. Isohietas totales del evento del 10/03/03



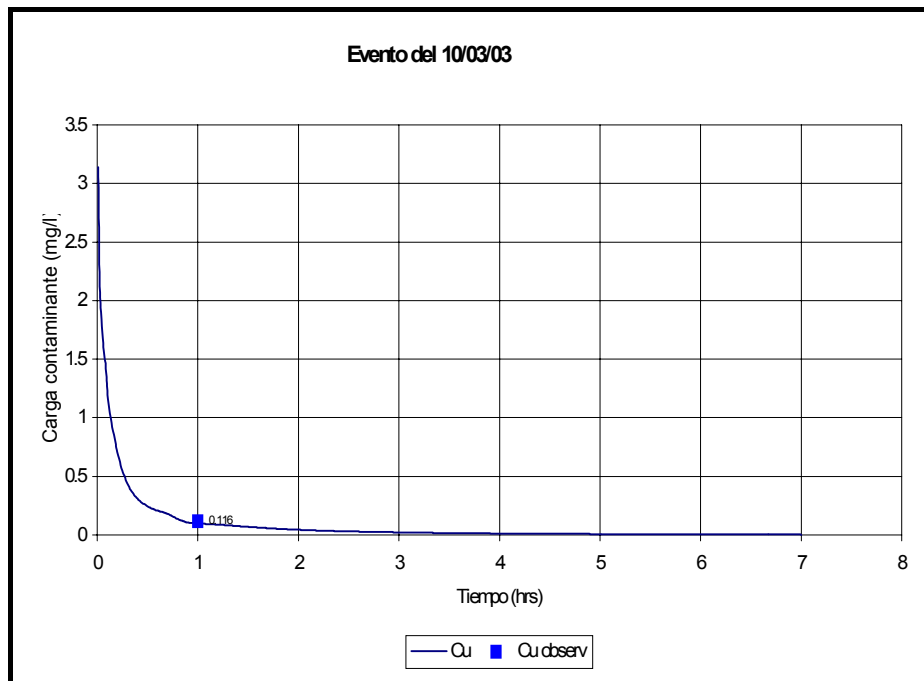
**Figura 37. Hidrograma en sección 3**



**Figura 38. Polutograma en sección 3**



**Figura 39. Polutograma en sección 3**



**Figura 40. Polutograma en sección 3**



5.2.2 Resultados del evento del 12/01/04

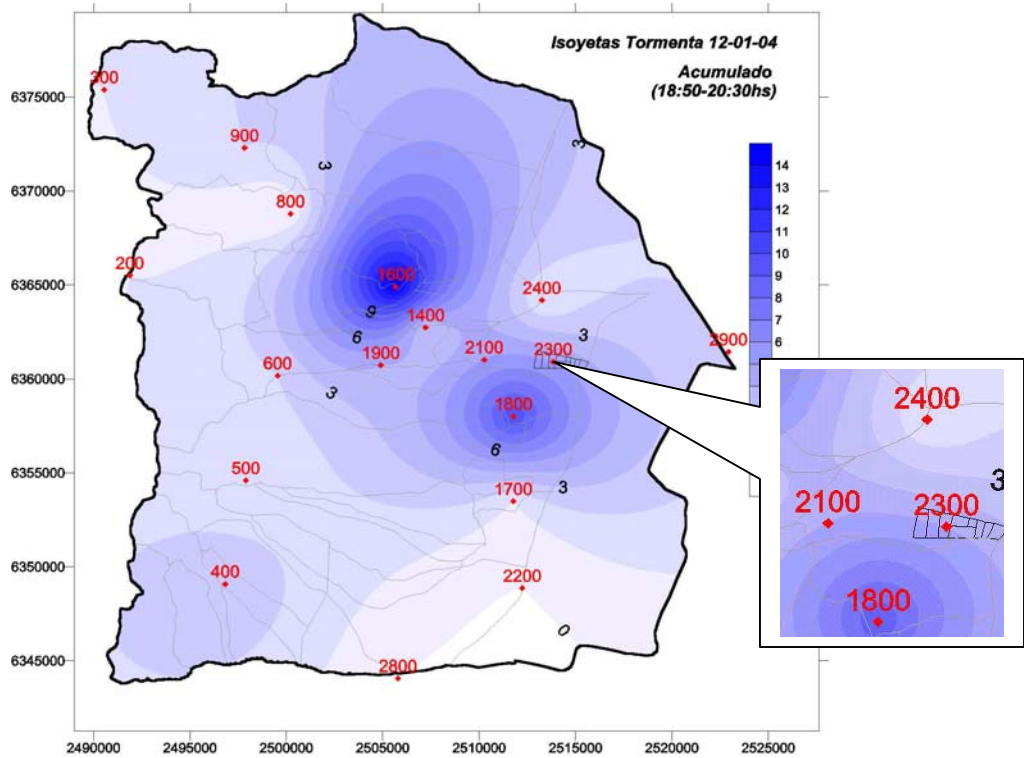


Figura 41. Isohietas totales del evento del 12/01/04

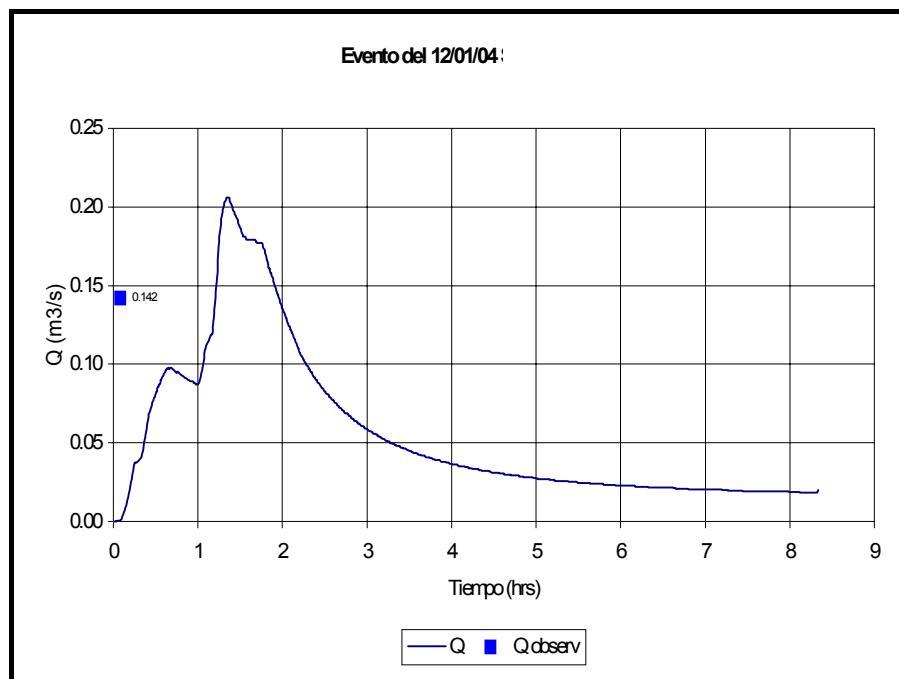
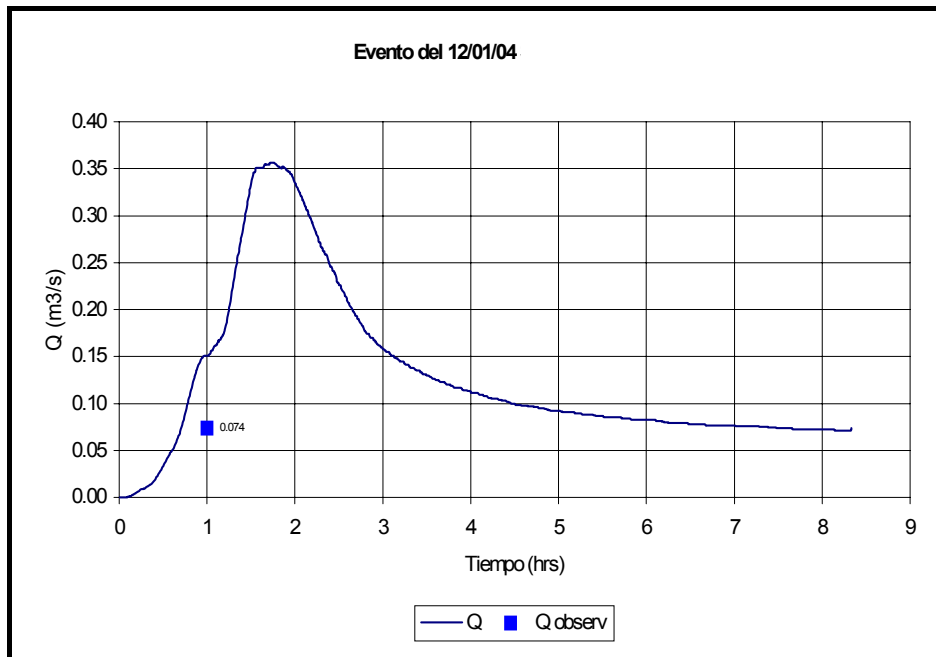
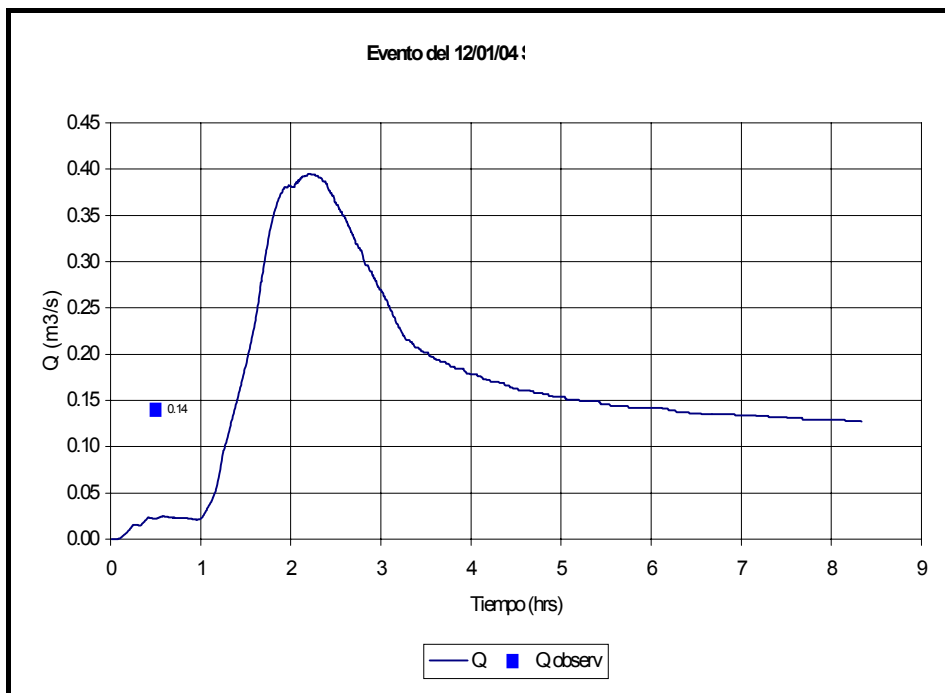


Figura 42. Hidrograma en sección 1



**Figura 43. Hidrograma en sección 2**



**Figura 44. Hidrograma en sección 3**

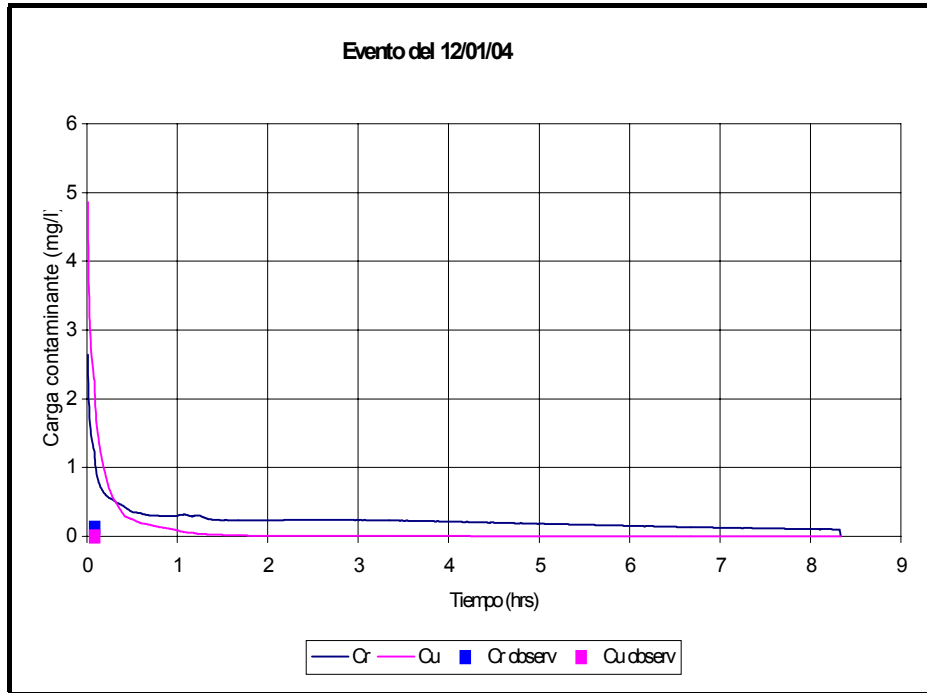


Figura 45. Polutograma en sección 1

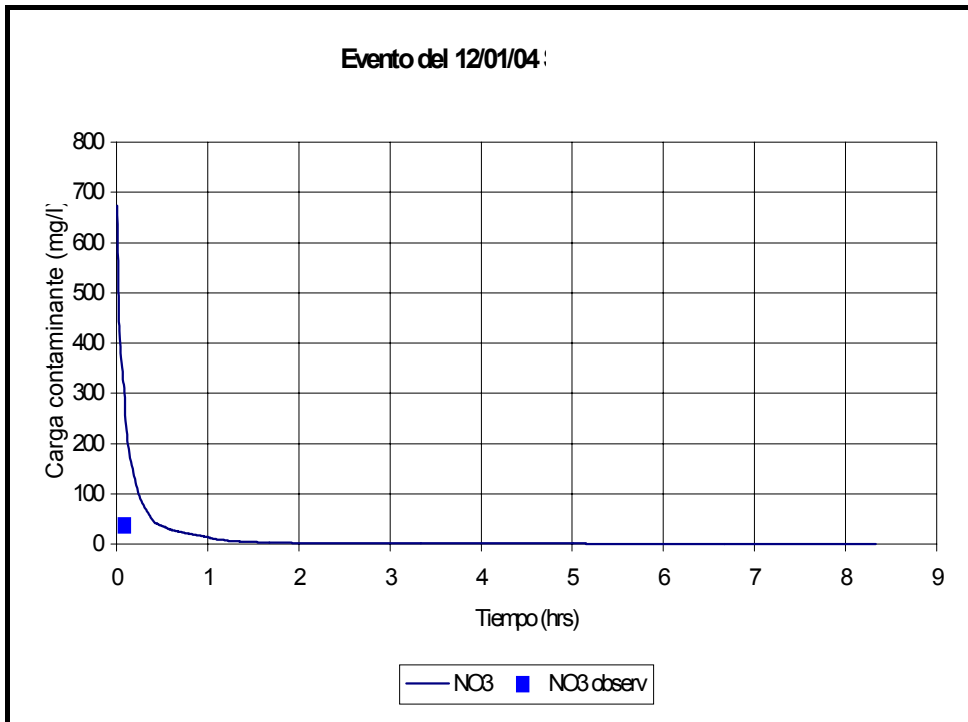
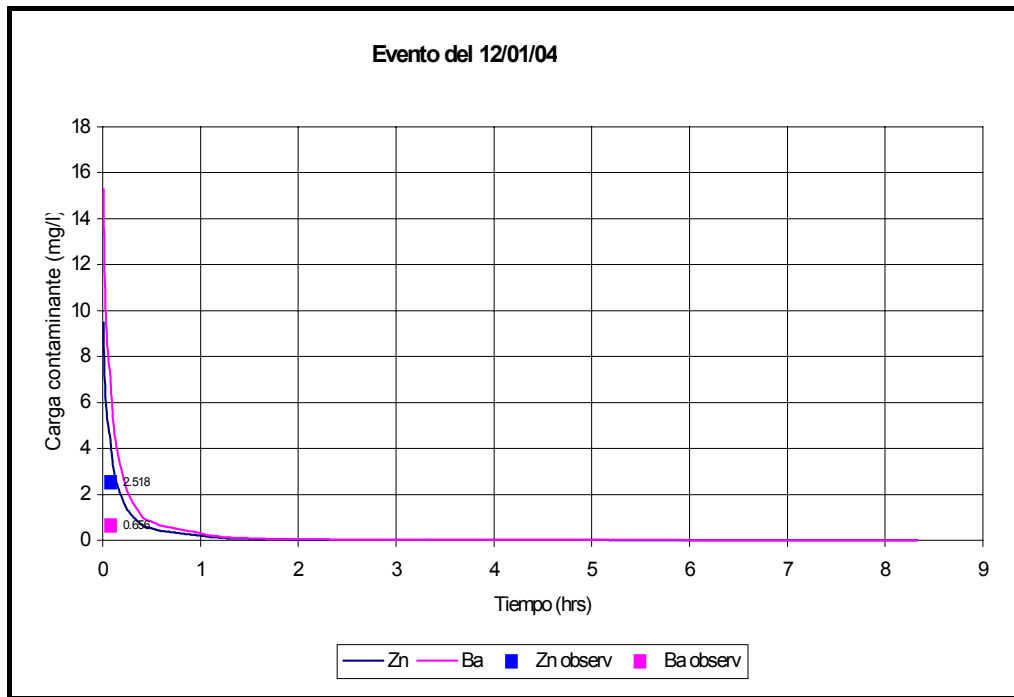
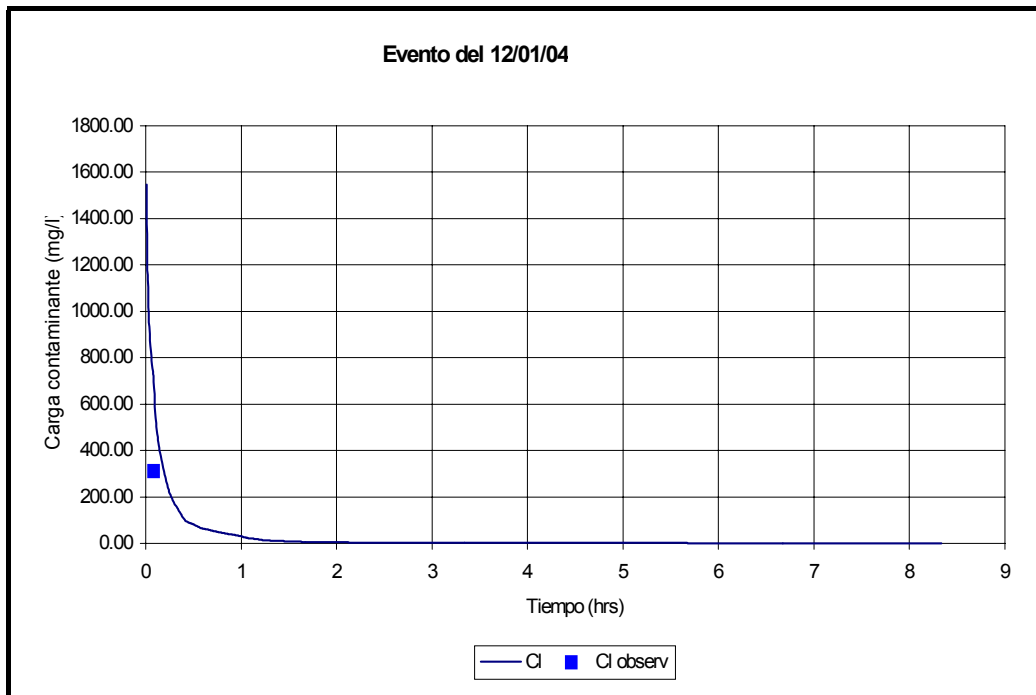


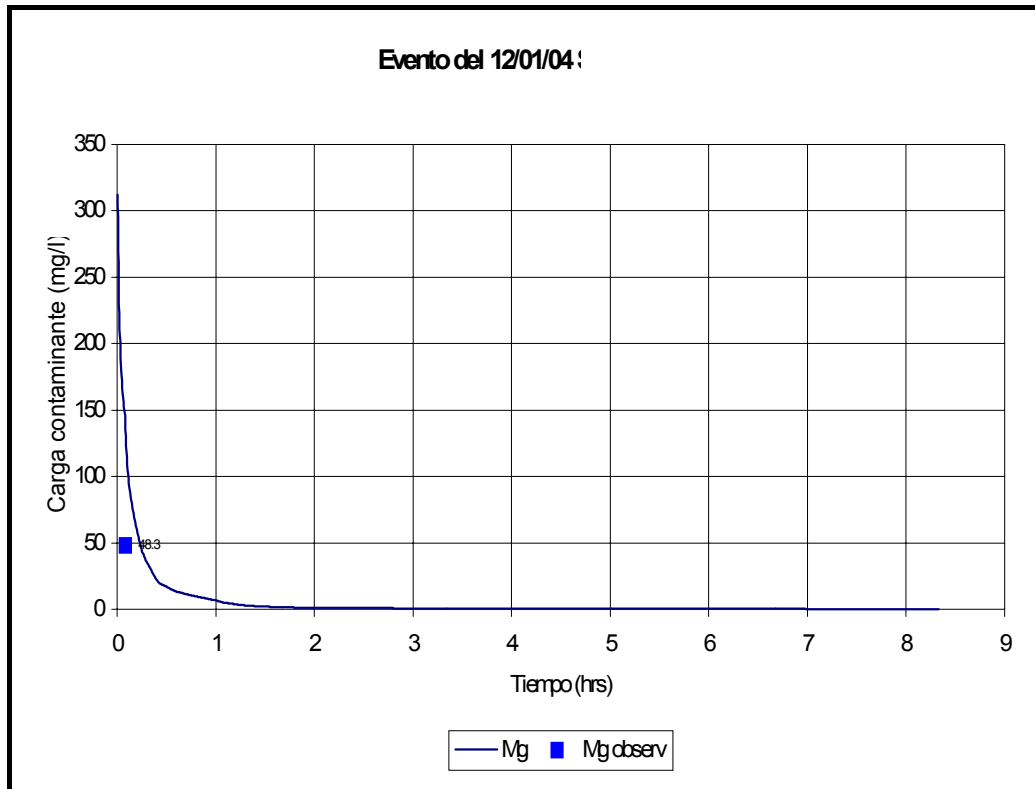
Figura 46. Polutograma en sección 1



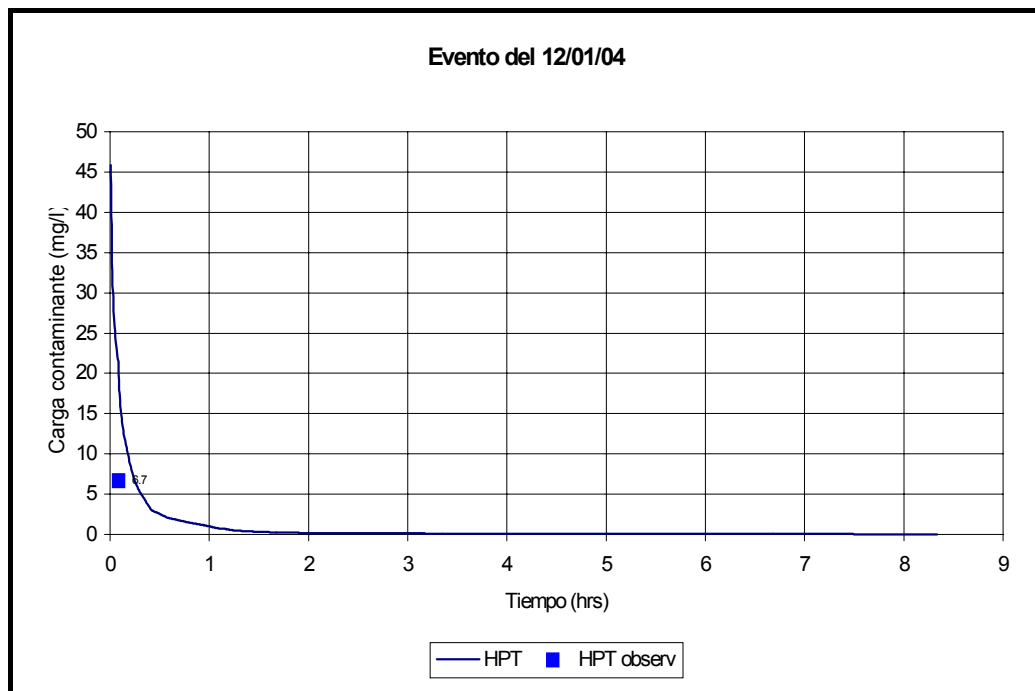
**Figura 47. Polutograma en sección 1**



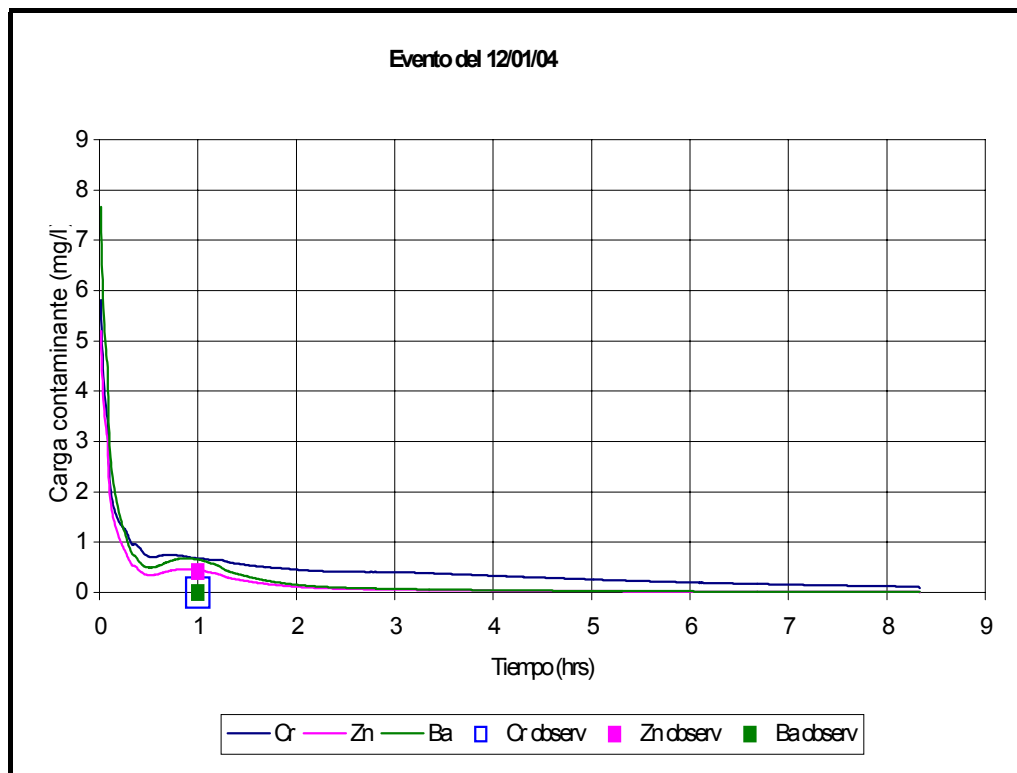
**Figura 48. Polutograma en sección 1**



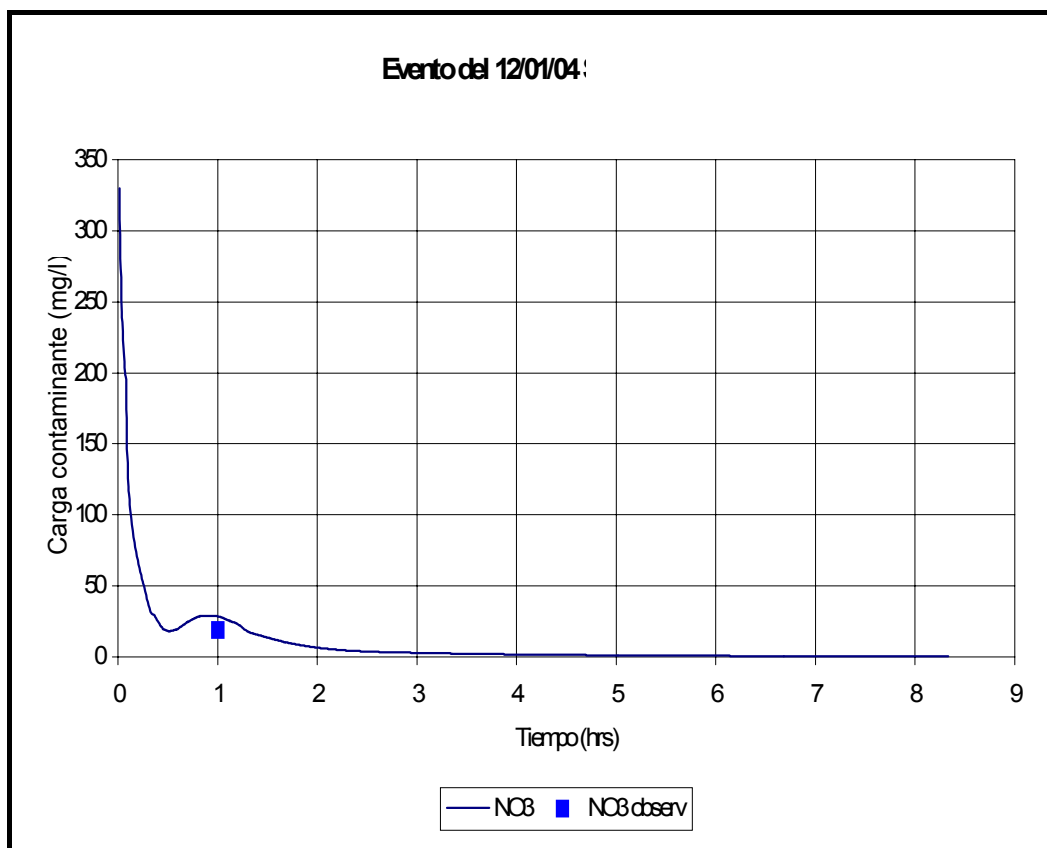
**Figura 49. Polutograma en sección 1**



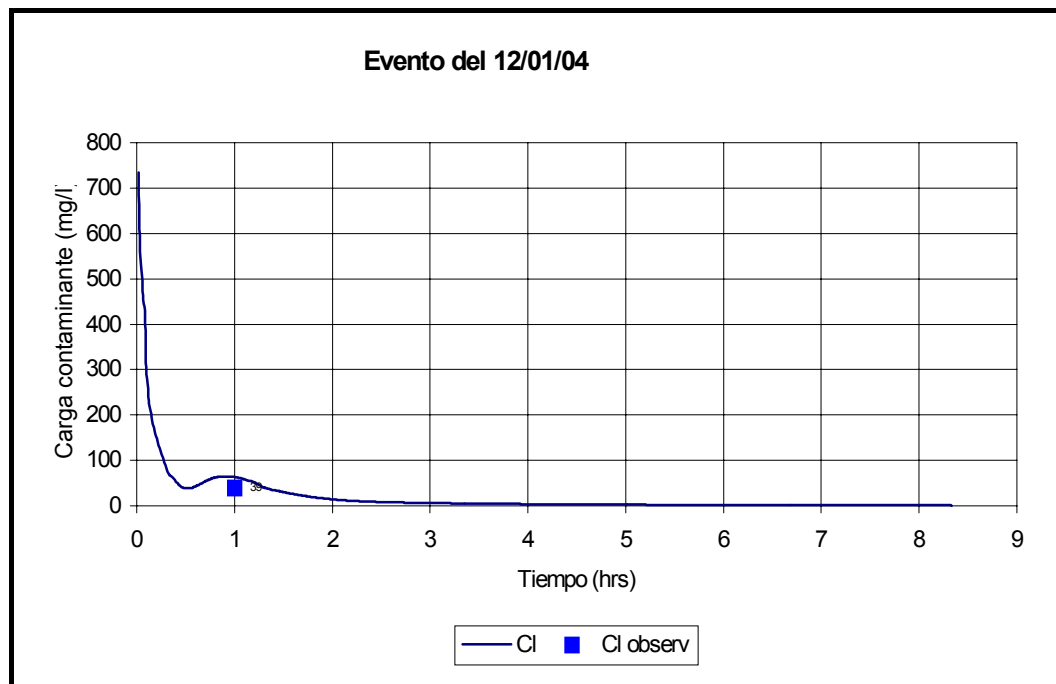
**Figura 50. Polutograma en sección 1**



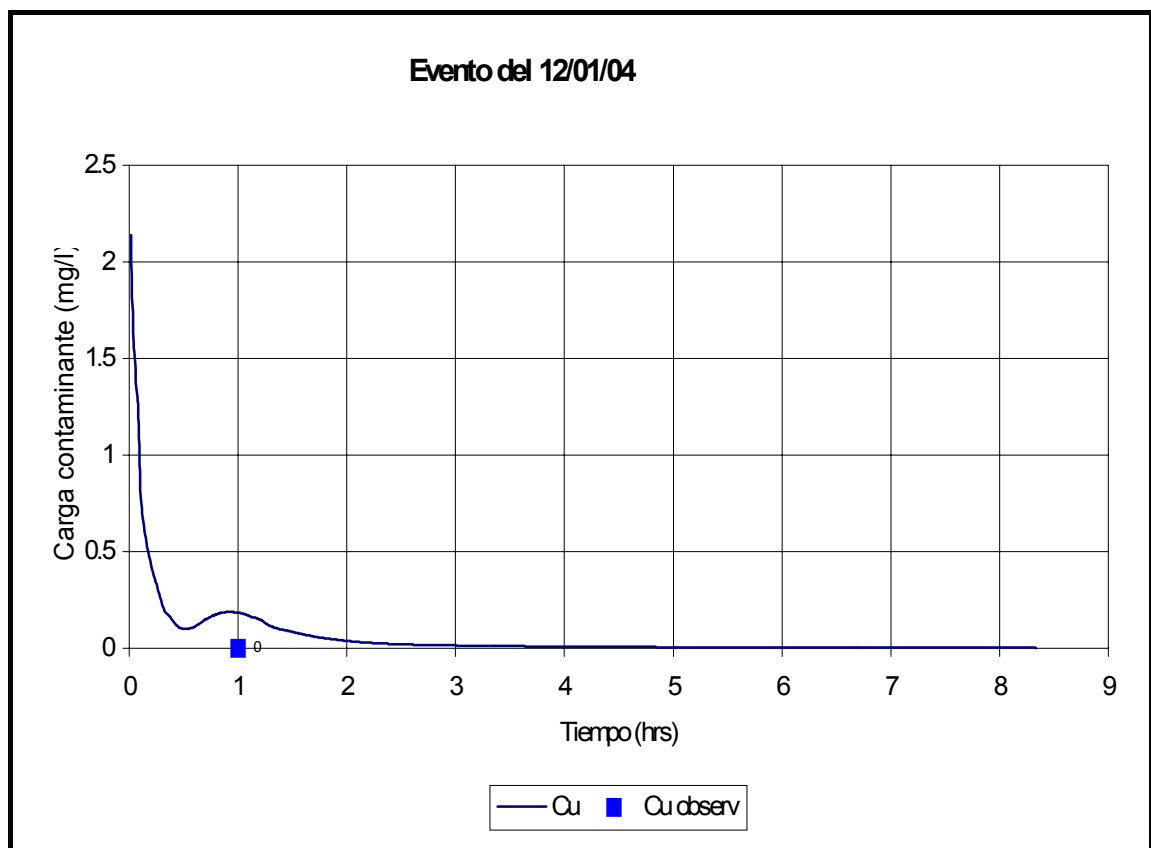
**Figura 51. Polutograma en sección 2**



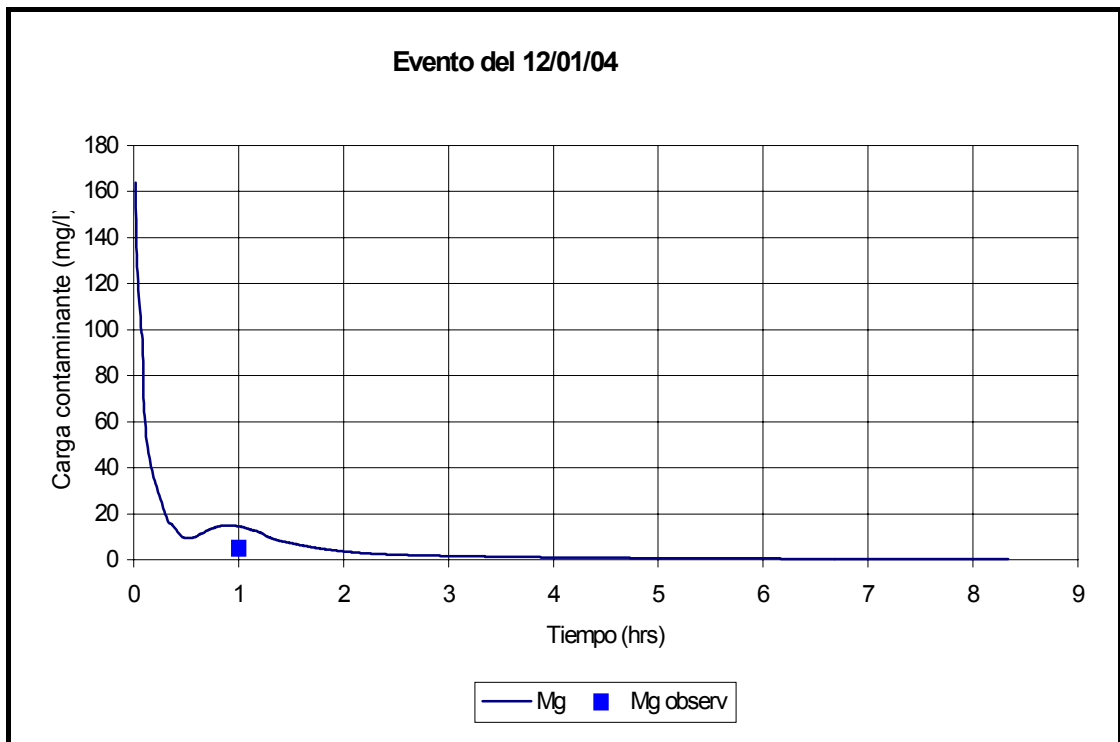
**Figura 52. Polutograma en sección 2**



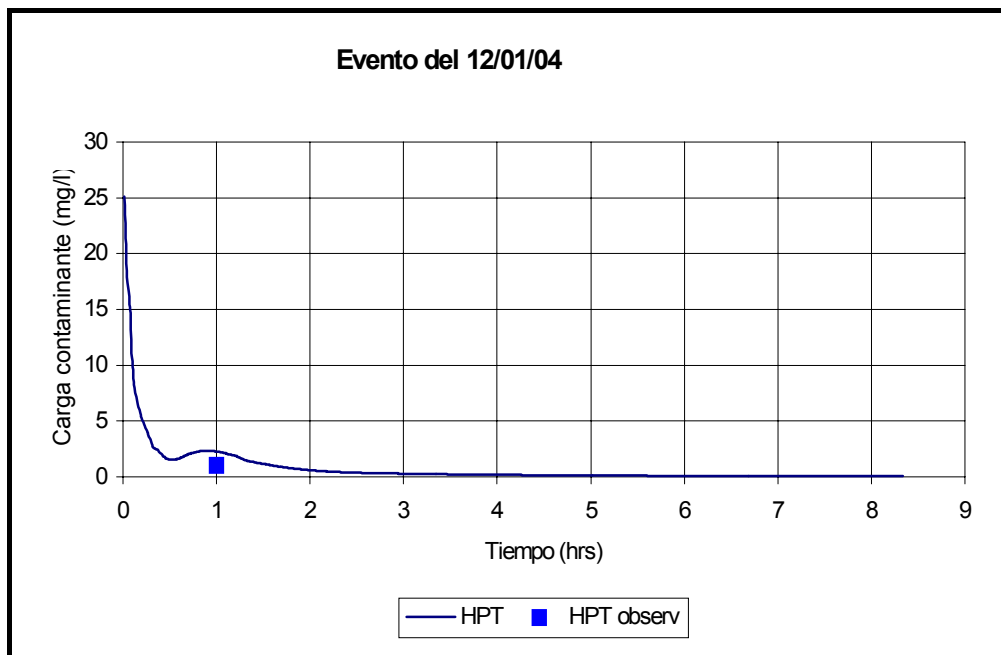
**Figura 53. Polutograma en sección 2**



**Figura 54. Polutograma en sección 2**

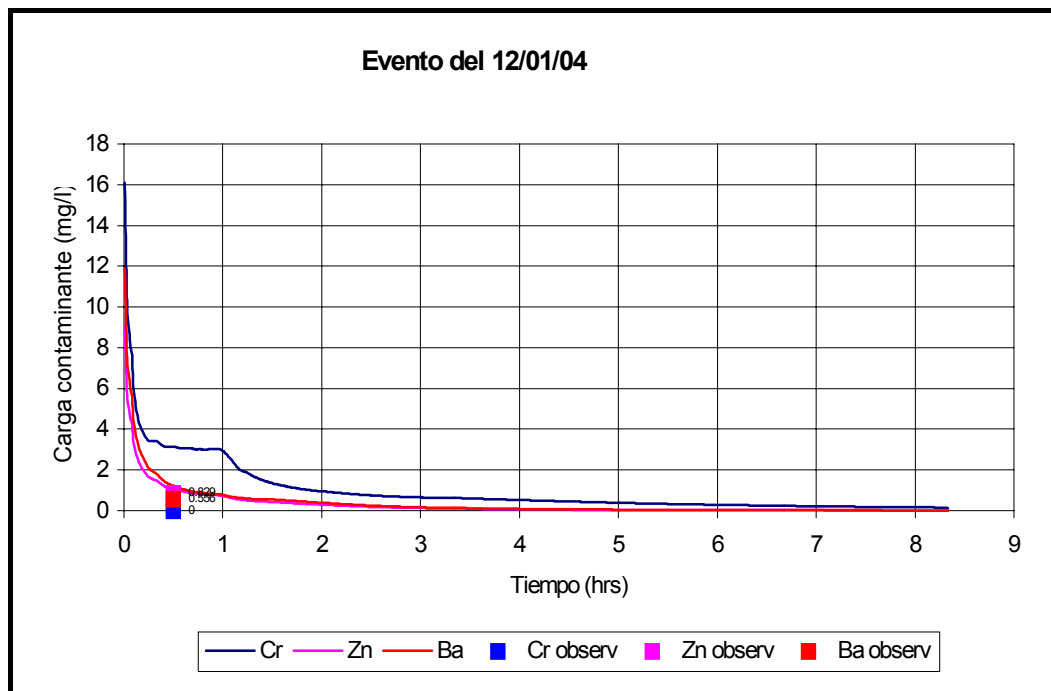


**Figura 55. Polutograma en sección 2**

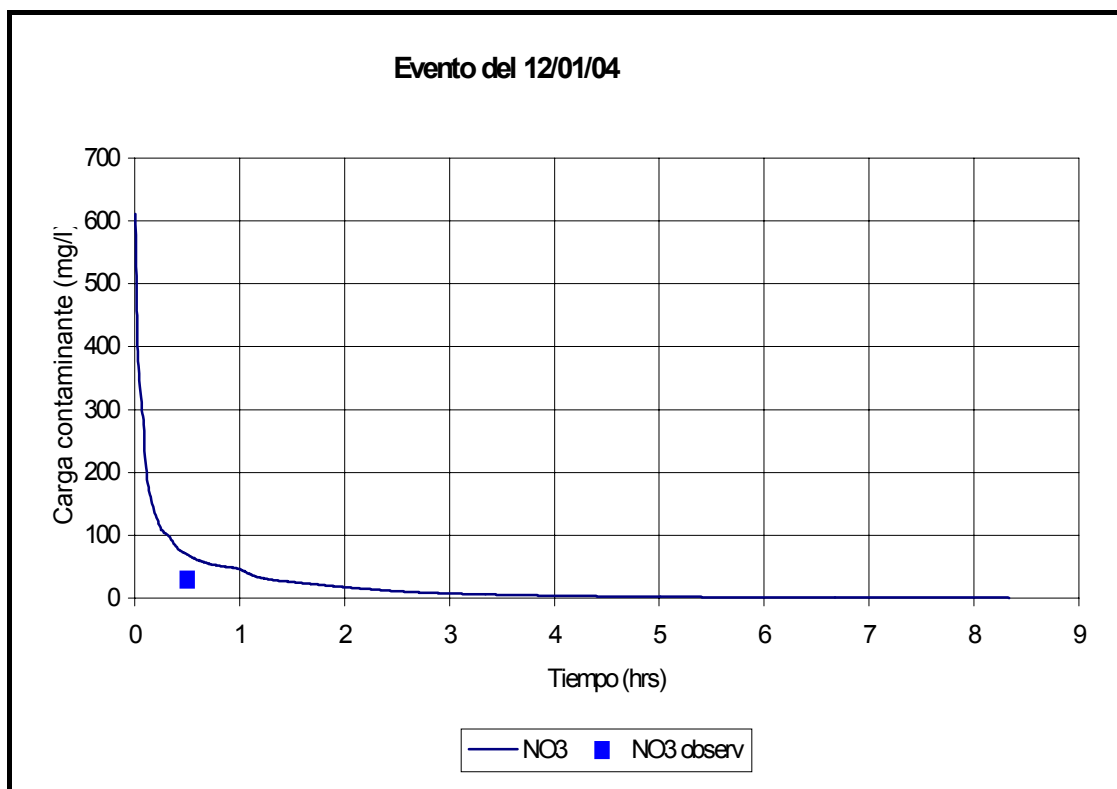


**Figura 56. Polutograma en sección 2**

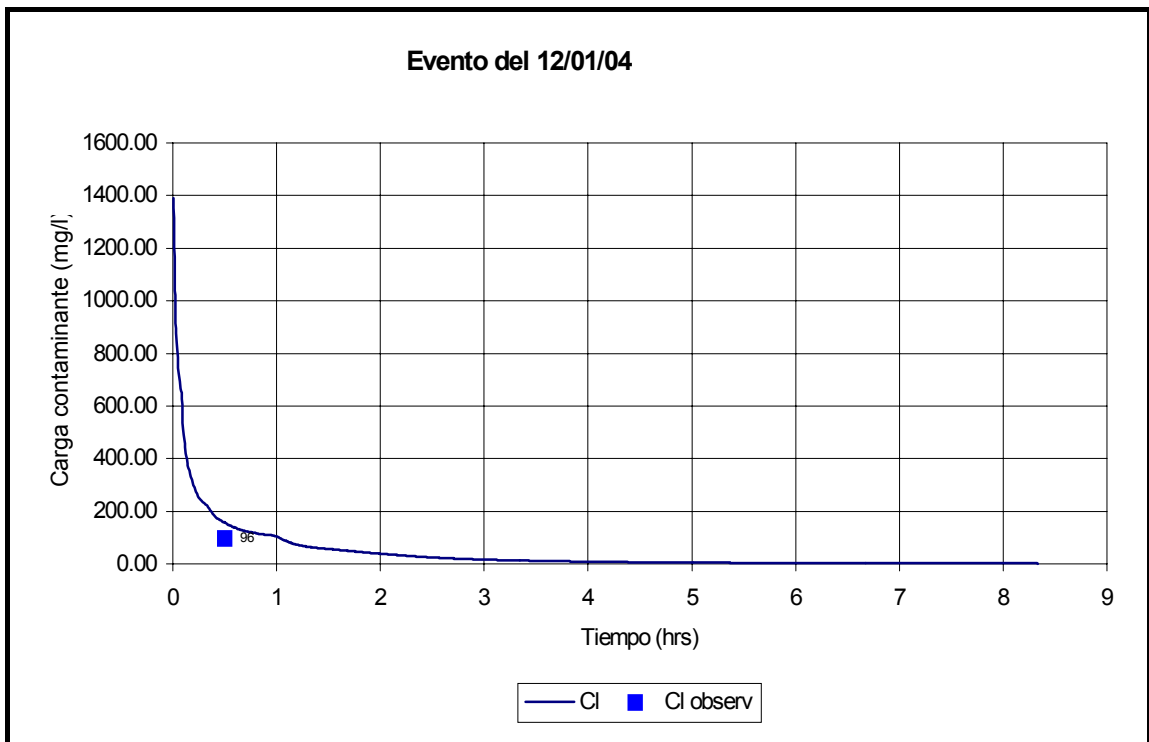




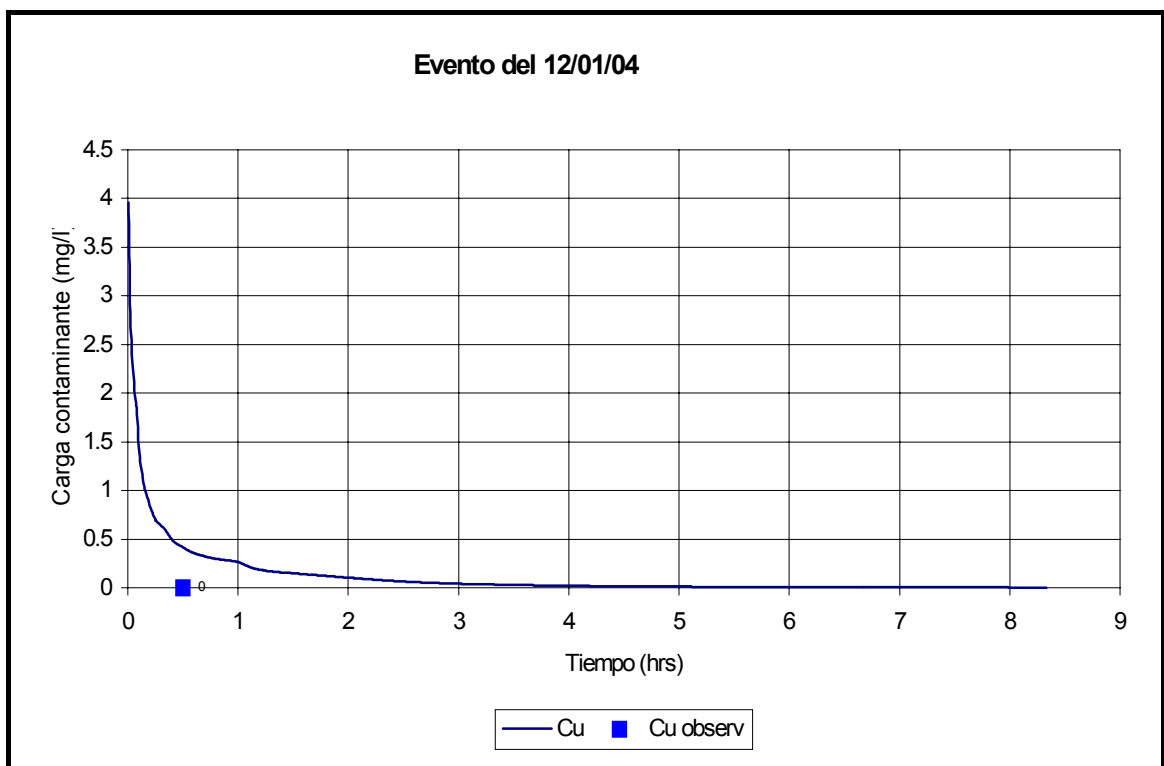
**Figura 57. Polutograma en sección 3**



**Figura 58. Polutograma en sección 3**



**Figura 59. Polutograma en sección 3**



**Figura 60. Polutograma en sección 3**

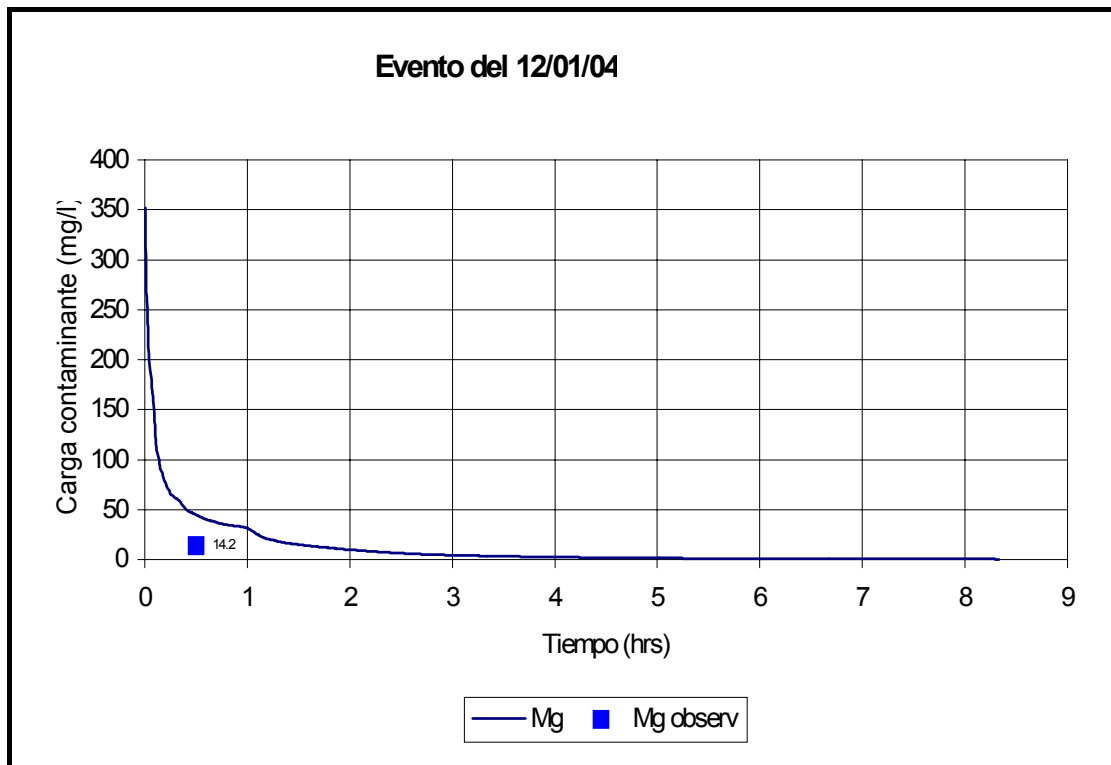


Figura 61. Polutograma en sección 3

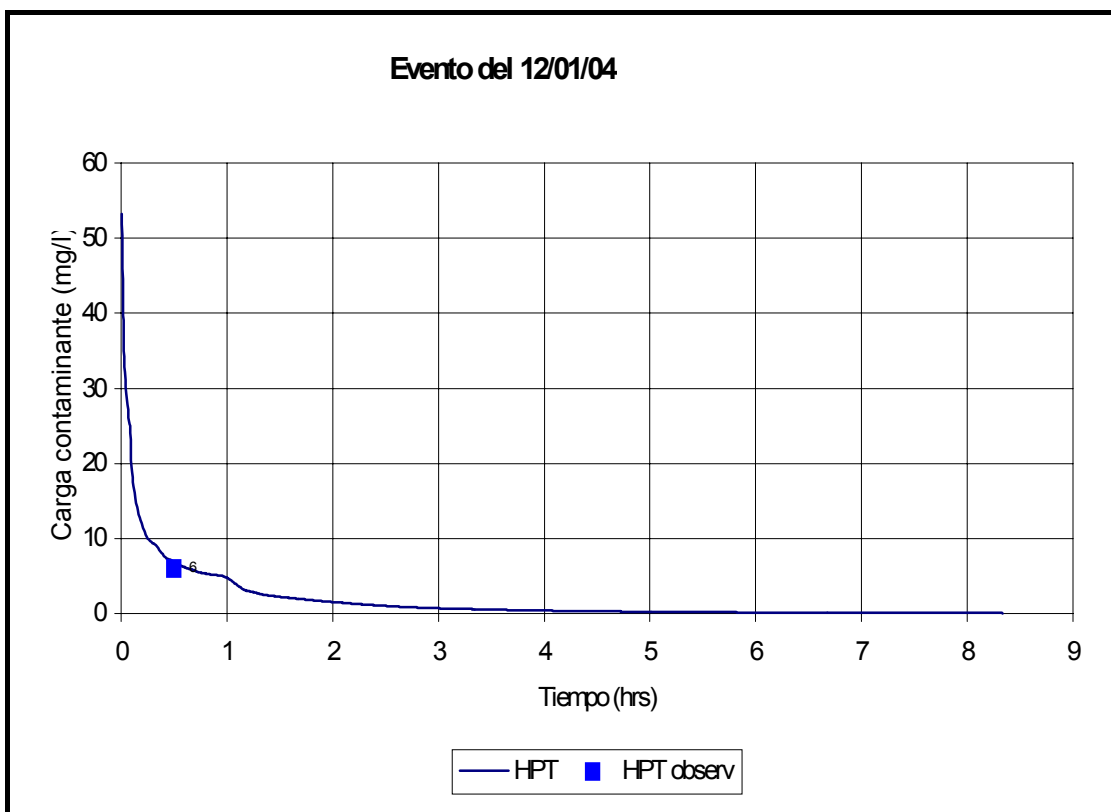


Figura 62. Polutograma en sección 3

### 5.3 Análisis de los resultados

En la Tabla 13 se pueden visualizar a manera de resumen los valores observados y calculados y su error porcentual. Como se puede apreciar los errores son muy grandes, tanto en el caso del evento de calibración (22/01/04) como en los casos de validación (10/03/03 y 12/01/04).

En las figuras 63 a 68 se muestran las correlaciones entre valores (caudales y concentraciones de contaminantes) observados y calculados y su posición relativa a la recta 1:1. Es evidente, en general, una sobrestimación de los valores calculados sobre los observados.

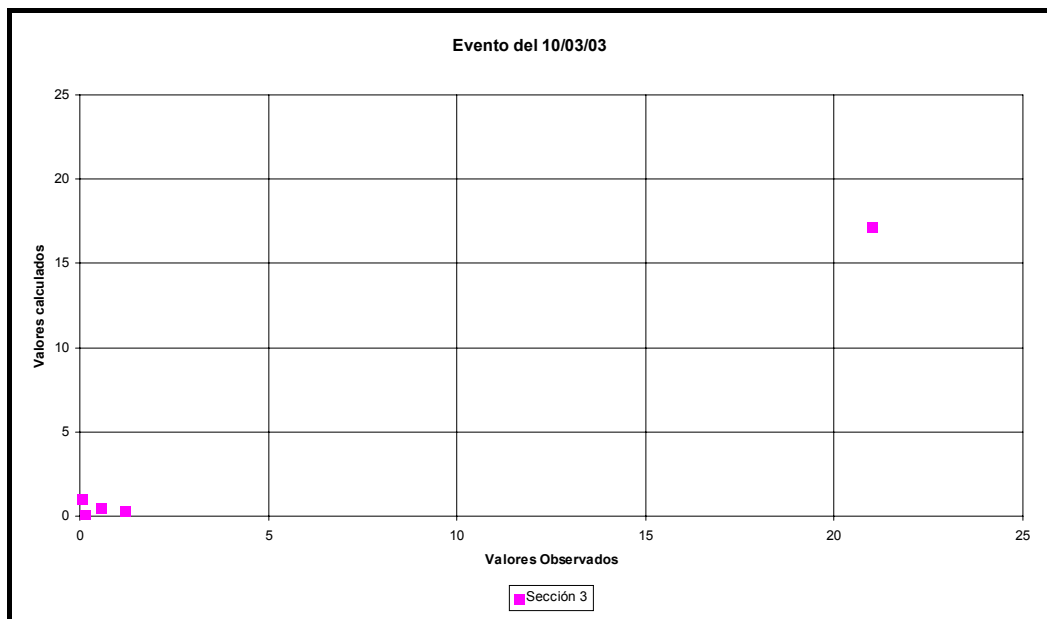


Figura 63. Evento del 10/03/03

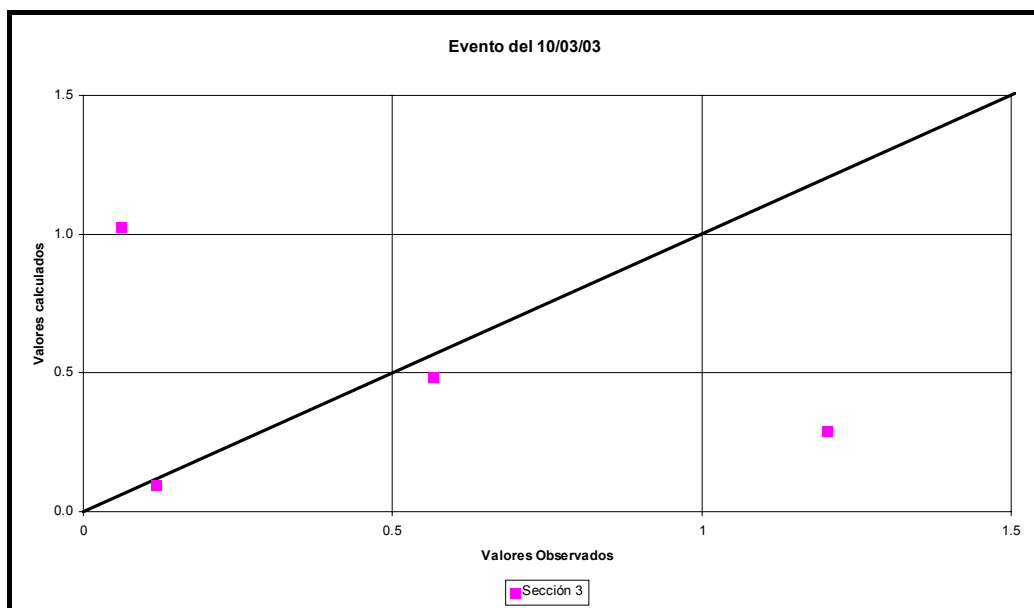


Figura 64. Evento del 10/03/03 (ampliación de la figura 63)

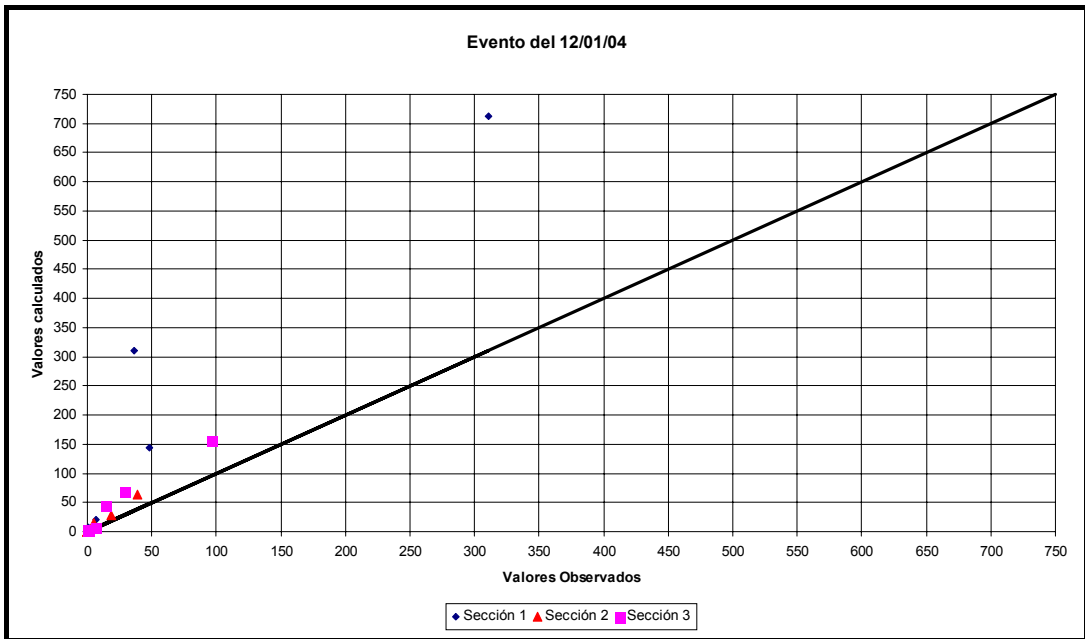


Figura 65. Evento del 12/01/04

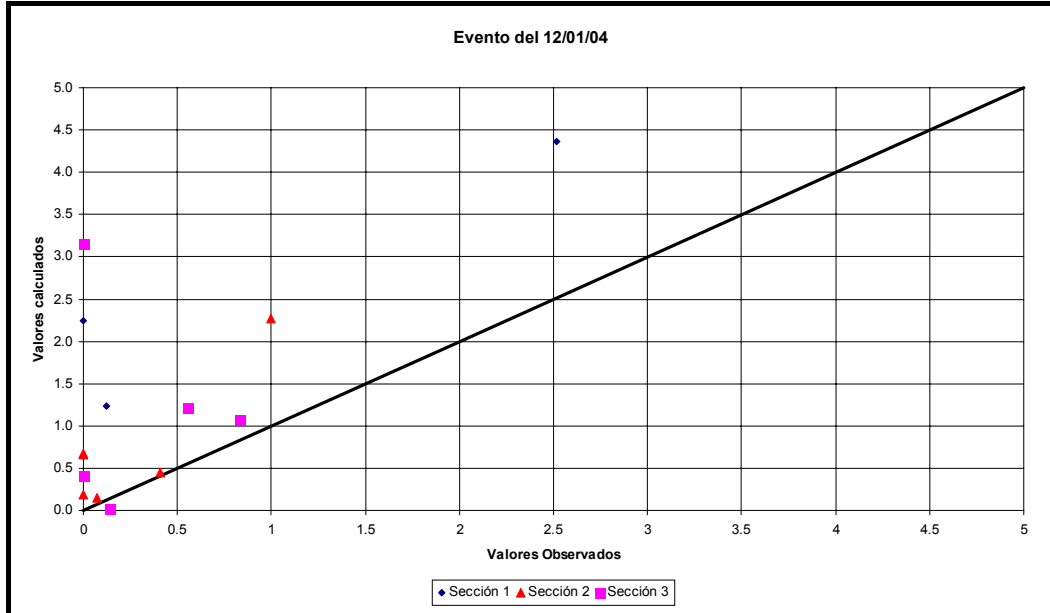


Figura 66. Evento del 12/01/04 (ampliación de la figura 65)

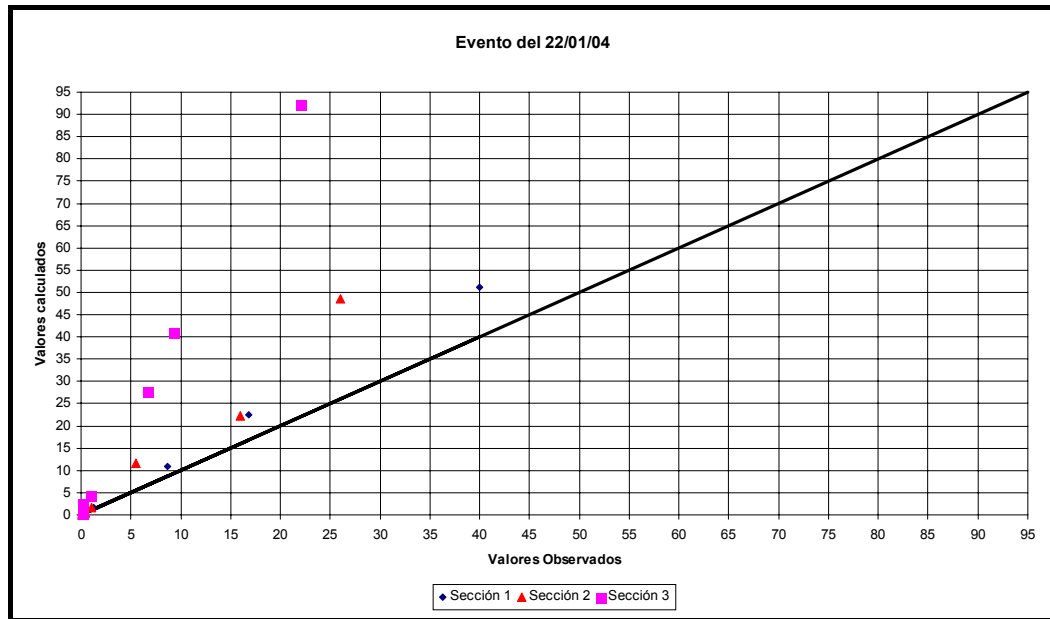


Figura 67. Evento del 22/01/04

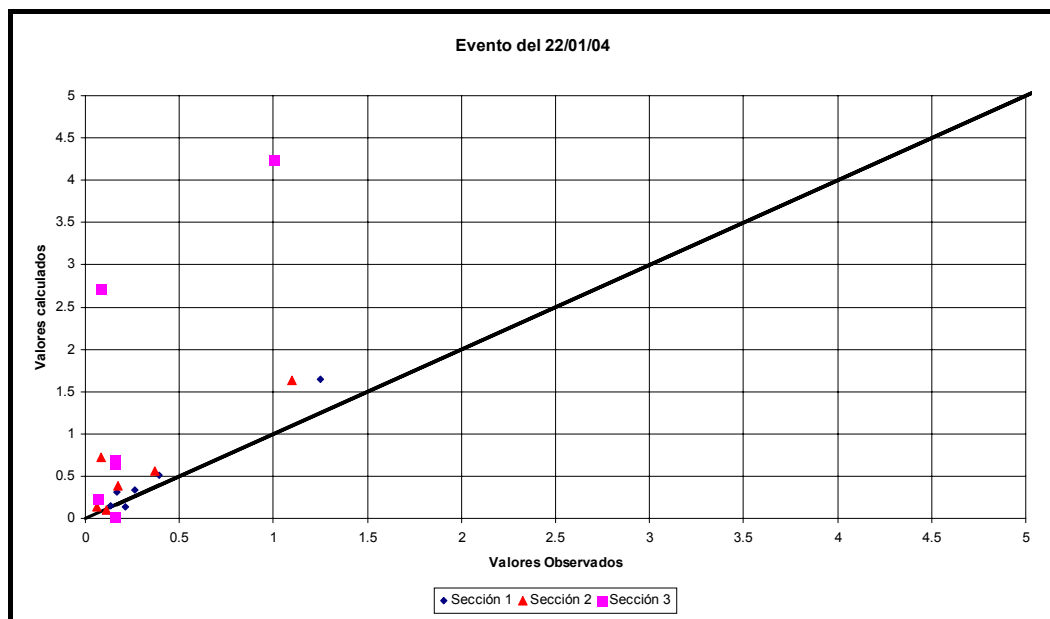


Figura 68. Evento del 22/01/04 (ampliación de la Figura 67)

La magnitud de los errores se explica por los siguientes efectos:

- Al no ser el área de estudio una cuenca cerrada y definida en sus límites como divisorias de agua se producen aportes desde otros sectores urbanos y fugas del escurrimiento por otros puntos distintos del que se ha considerado como salida.
- La imposibilidad de lograr calibraciones aceptables en los parámetros vinculados a la simulación de contaminantes.

En la mencionada Tabla 13 se han indicado con rojo los valores de concentración de contaminantes que exceden a la normativa emitida por el Departamento General de Irrigación de Mendoza (Apéndice II).

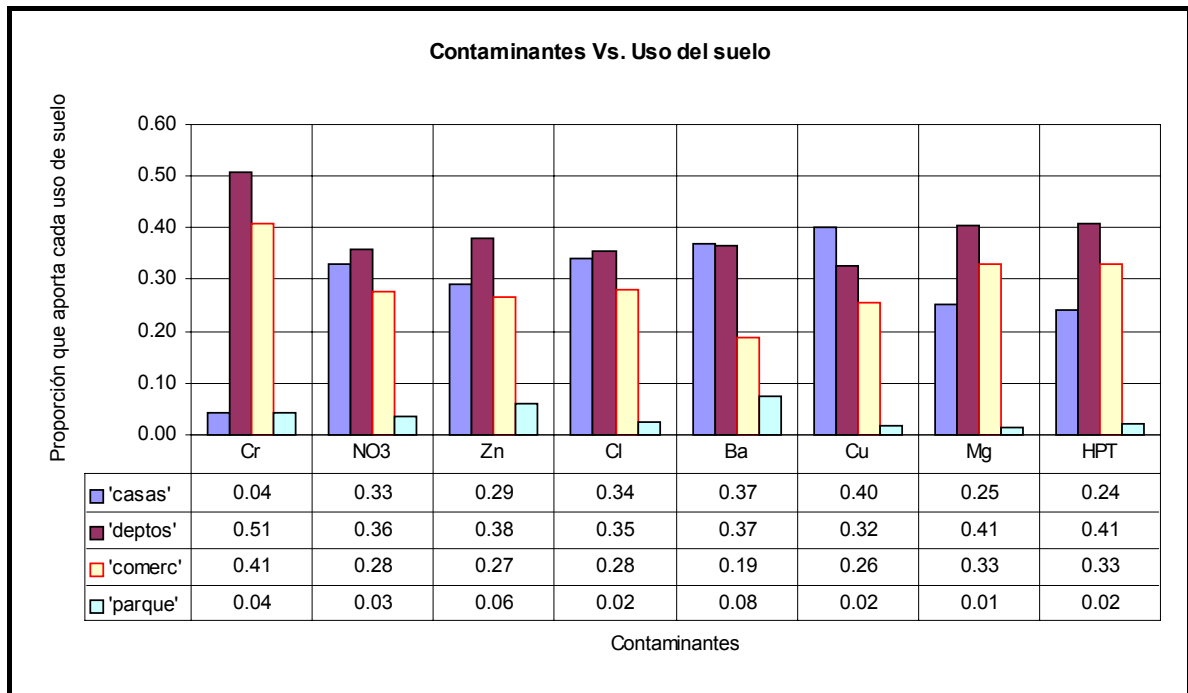
En la Figura 69 se muestra la proporción con que cada uso del suelo participa de la producción de cada contaminante. Para su cálculo se realizó un procedimiento iterativo en función de las superficies de cada uso del suelo y la cantidad de contaminante en cada punto de observación.

Se puede concluir que el uso del suelo “departamentos” es el que proporcionalmente más participa en la producción de todos los contaminantes, salvo en el cobre donde el uso del suelo “casas” es el predominante. Esta situación se da a pesar de que el uso del suelo “departamentos” es el 24% del área total, pero, lógicamente, es el que posee un mayor valor de producción de residuos por km de cordón.

.Tabla 13. Valores observados y calculados y errores

LABORATORIO	Univ. Nac. San Luis		INA-CRAS								Normas Depto. Gral. de Irrigación			
	10/03/03		12/01/04				22/01/04							
	7.0		6.5				4.8							
Sección de observación	3 Ac	3 C	1 Ac	1 C	2 Ac	3 Ac	3 C	1 Ac	1 C	2 Ac	3 Ac			
Fecha Extracción	10/03/03		12/01/04				22/01/04							
Precip total media (mm)	7.0		6.5				4.8							
Horario Observación	22:45		18:55		19:50		19:20		20:40		20:50	21:00		
Q observado (m3/s)	0.565		0.142		0.074		0.1396		0.2125		0.1098	0.1571		
Q calculado (m3/s)	0.482		0.008		0.151		0.023		0.134		0.106	0.03		
ERROR (%)	-17.220		-1675.000		50.993		-506.957		-58.582		-3.585	-423.667		
Ba observado (mg/l)			0.244	0.412	No detectado		No detectado		0.566	0.300	0.093	0.372	0.158	
Ba observado total (mg/l)			0.656		0.000		0.566		0.393		0.372	0.158		
Ba calculado (mg/l)			6.475		0.655		1.213		0.519		0.562	0.696		
ERROR (%)			89.869		100.000		54.163		24.277		33.808	77.299		
Zn observado (mg/l)	0.571	0.630	1.890	0.628	0.410	0.313	0.516	0.118	0.145	0.176	0.156			
Zn observado total (mg/l)	1.201		2.518		0.410		0.829		0.263		0.176	0.156		
Zn calculado (mg/l)	0.292		4.006		0.447		1.061		0.338		0.390	0.650		
ERROR (%)	-311.301		37.144		8.277		21.866		22.189		54.872	76.000		
Cl observado (mg/l)			59.000	252.000	39.000	35.000	61.000	18.000	22.000	26.000	22.000	200.000		
Cl observado total (mg/l)			311.000		39.000		96.000		40.000		26.000	22.000		
Cl calculado (mg/l)			653.150		63.373		155.800		51.775		49.018	92.130		
ERROR (%)			52.385		38.460		38.383		22.743		46.958	76.121		
Cu observado (mg/l)	0.068	0.048	No detectado		< 0.06		No detectado		No detectado		0.060	0.073	0.064	0.060
Cu observado total (mg/l)	0.116		0.000		0.000		0.000		0.000		0.133	0.064	0.060	
Cu calculado (mg/l)	0.098		2.051		0.185		0.417		0.157		0.135	0.234		
ERROR (%)	-18.367		100.000		100.000		100.000		15.287		52.593	74.359		
Cr observado (mg/l)	0.034	0.027	0.059	0.063	No detectado		< 0.005	No detectado		0.091	0.075	0.082	0.079	0.500
Cr observado total (mg/l)	0.061		0.122		0.000		0.000		0.166		0.085	0.088		
Cr calculado (mg/l)	1.027		1.127		0.677		3.131		0.313		0.726	2.715		
ERROR (%)	94.060		89.175		100.000		100.000		46.965		88.292	96.759		
Hidrocarb. Paráf. Tot. observado (mg/l) (UNCuyo-Fac.Ing.)			< 0.05	6.700	1.000	4.700	1.300	0.050	1.200	1.100	1.000	0.500		
HPT observado total (mg/l)			6.700		1.000		6.000		1.250		1.100	1.000		
HPT calculadol (mg/l)			19.403		2.260		6.834		1.668		1.648	4.243		
ERROR (%)			65.469		55.752		12.204		25.060		33.252	76.432		
Mg observado (mg/l)			9.300	39.000	5.200	6.300	7.900	3.500	5.200	5.500	6.700			
Mg observado total (mg/l)			48.300		5.200		14.200		8.700		5.500	6.700		
Mg calculado (mg/l)			132.225		14.490		44.540		11.075		11.583	27.792		
ERROR (%)			63.471		64.113		68.119		21.445		52.517	75.892		
NO3 observado (mg/l)	21.000		8.400	28.000	19.000	13.000	16.000	5.800	11.000	16.000	9.300	45.000		
NO3 observado total (mg/l)	21.000		36.400		19.000		29.000		16.800		16.000	9.300		
NO3 calculado (mg/l)	17.150		284.425		28.355		68.948		22.808		22.532	41.020		
ERROR (%)	-22.449		87.202		32.992		57.939		26.342		28.990	77.328		

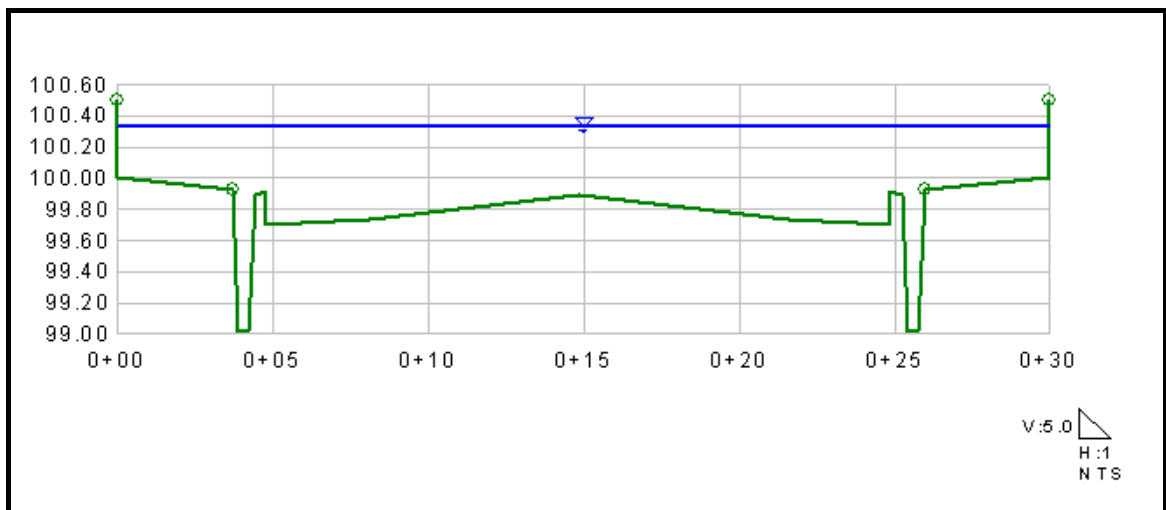




**Figura 69**

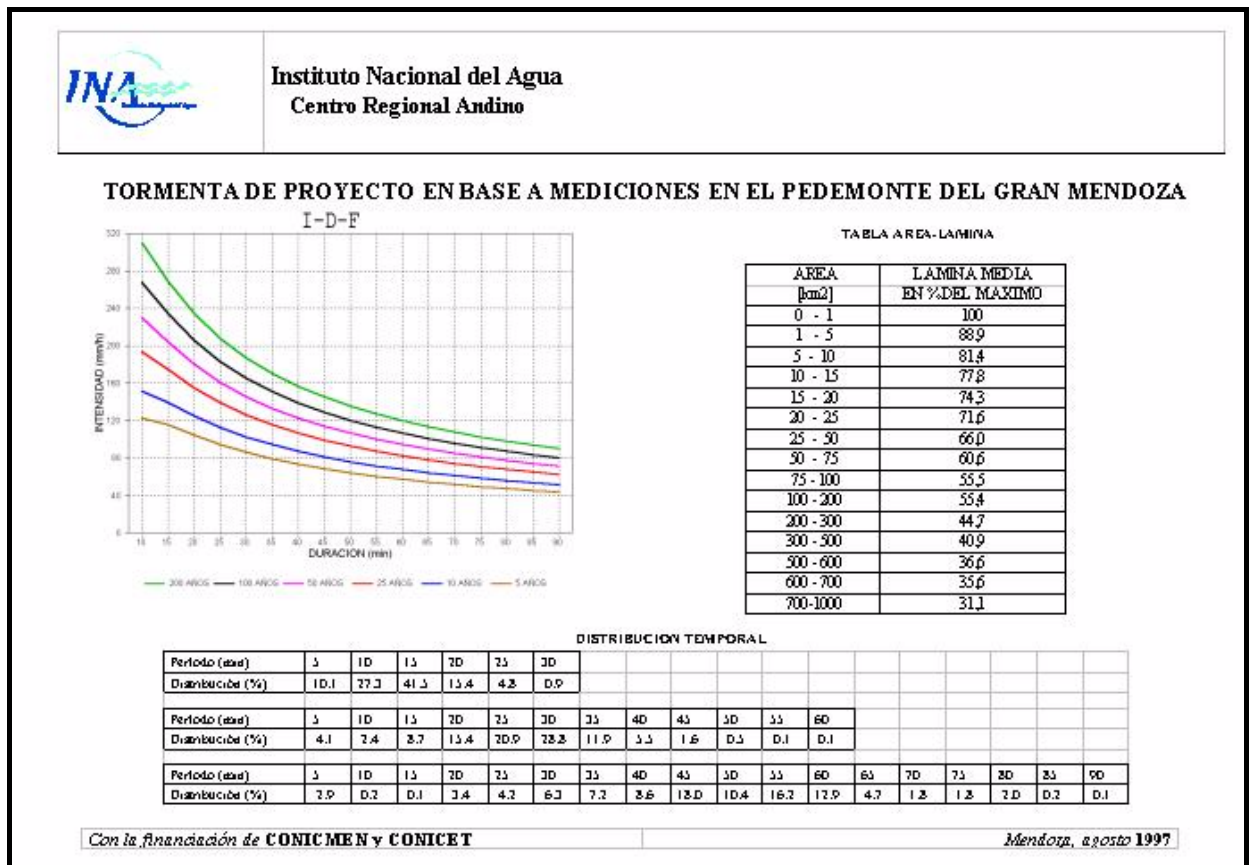
**5.4 Simulación del evento con precipitación de TR=2 años**

Con la finalidad de conocer el efecto que produciría una precipitación mucho más intensa que las de los eventos medidos se determinó el caudal que puede conducir la calle en donde se encuentra la sección de observación 3 (salida del área de estudio) para un tirante de 0,30 m sobre el nivel de vereda . Tal caudal fue de 31, 5 m<sup>3</sup>/s , luego se pudo verificar que el caudal producido por el evento de TR= 2 años en esa sección es de 34,33 m<sup>3</sup>/s , y que produce un tirante sobre vereda de 0,33m (Figura 70).



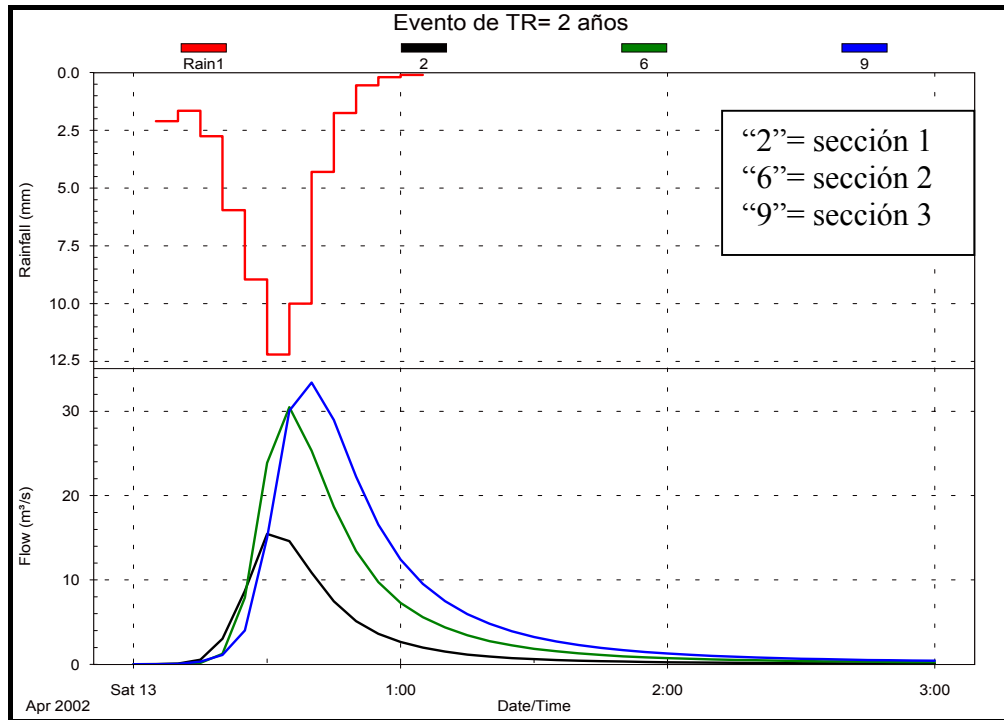
**Figura 70. Sección N°3 en Calle V. Zapata y nivel de agua para TR=2 años**

A tal efecto se extrajo de la Tormenta de Proyecto (Figura 65), desarrollada por el INA en base a mediciones de lluvias en el pedemonte del Gran Mendoza, la precipitación correspondiente a tiempo de retorno 2 años y duración 1 hr.



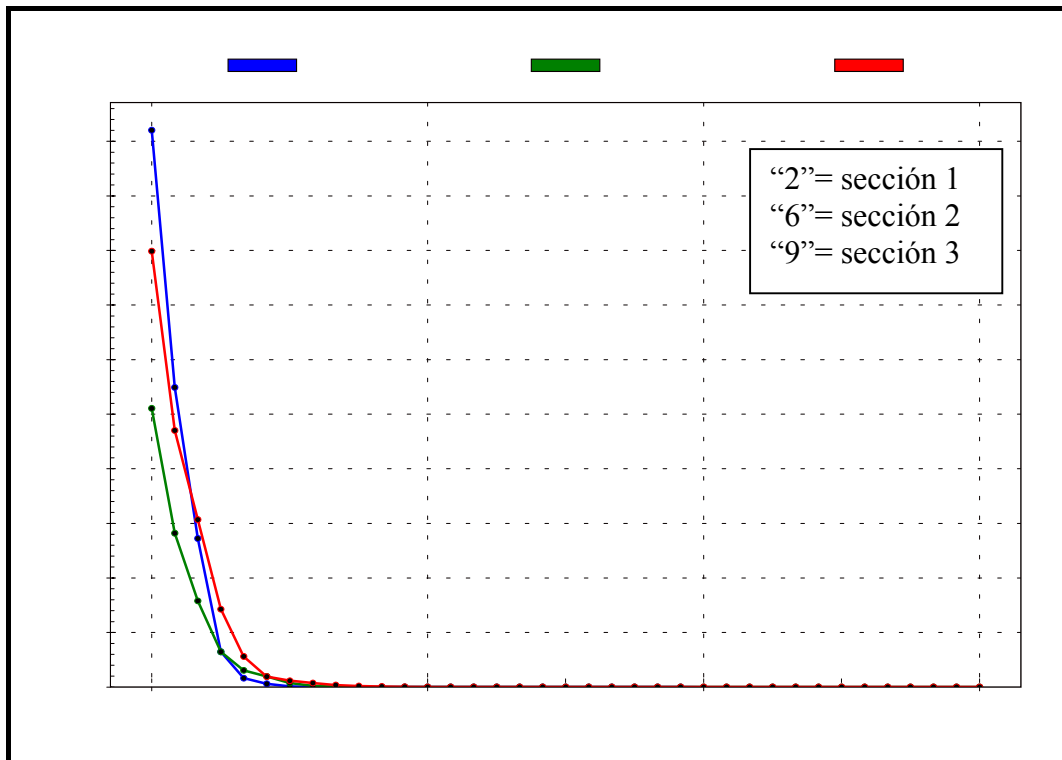
**Figura 71**

En la Figura 72 se pueden observar el hietograma correspondiente a la precipitación de TR= 2 años y los hidrogramas generados por PCSWMM en las secciones de observación.



**Figura 72. Evento con TR= 2 años**

En las figuras 73 a 80 se pueden apreciar los polutogramas en las secciones de observación de los contaminantes considerados.



**Figura 73**

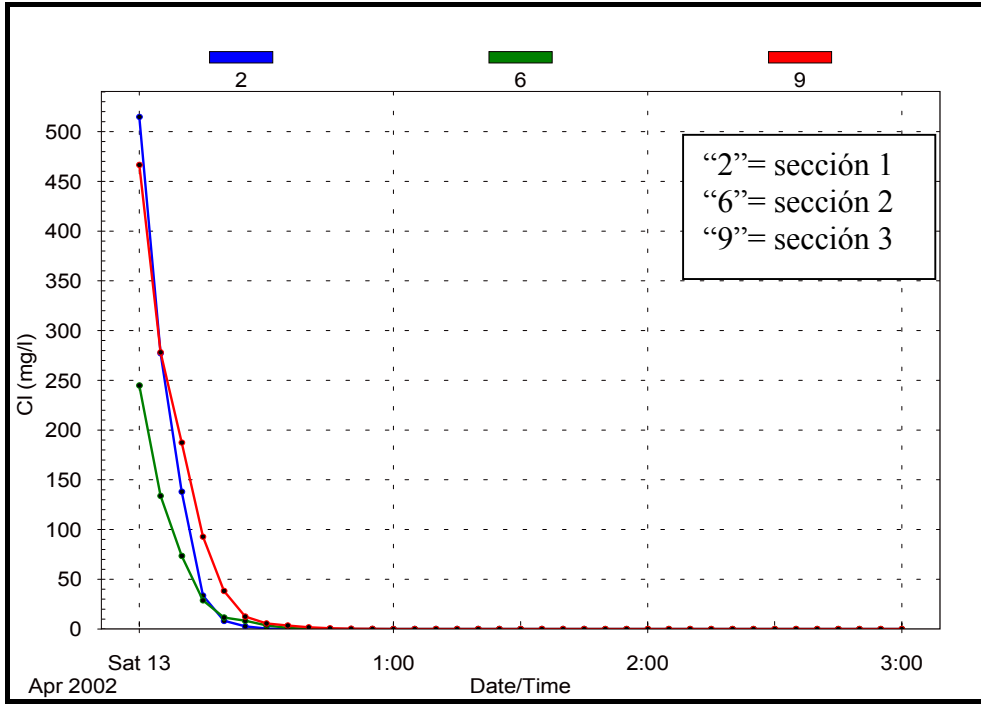


Figura 74

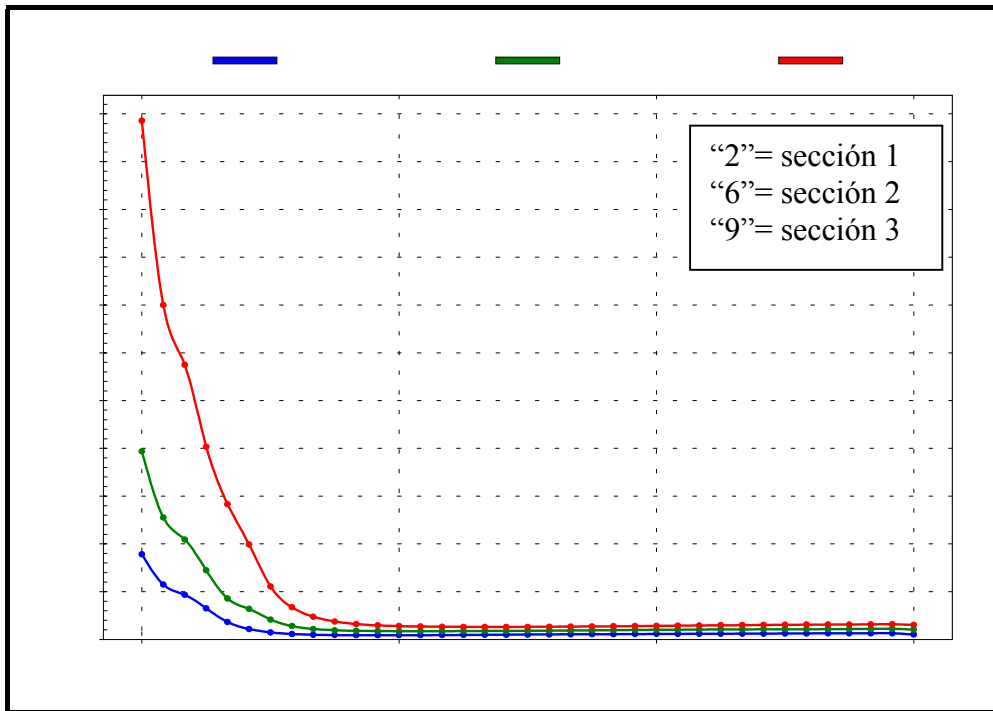


Figura 75

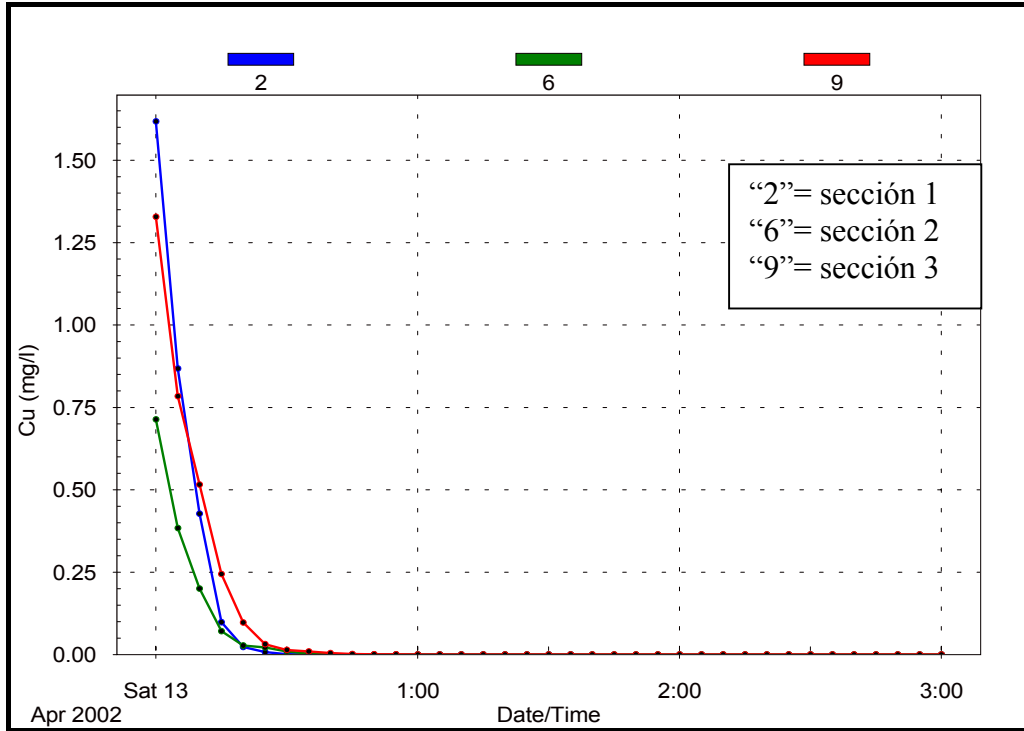


Figura 76

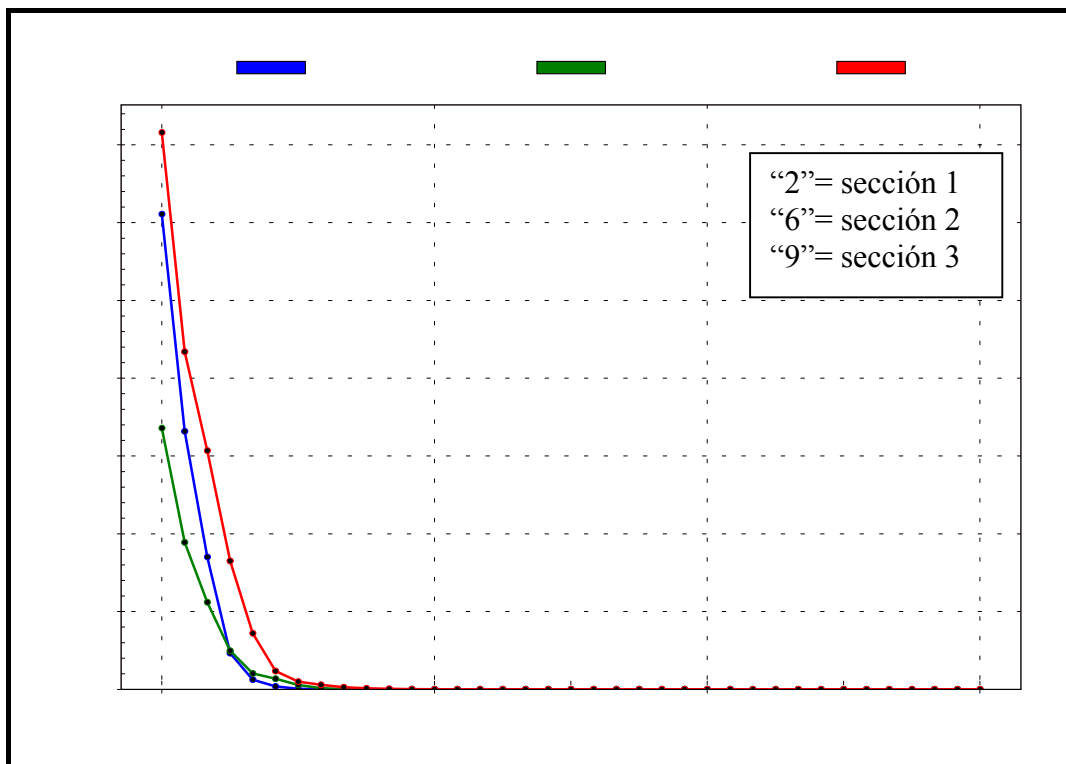


Figura 77

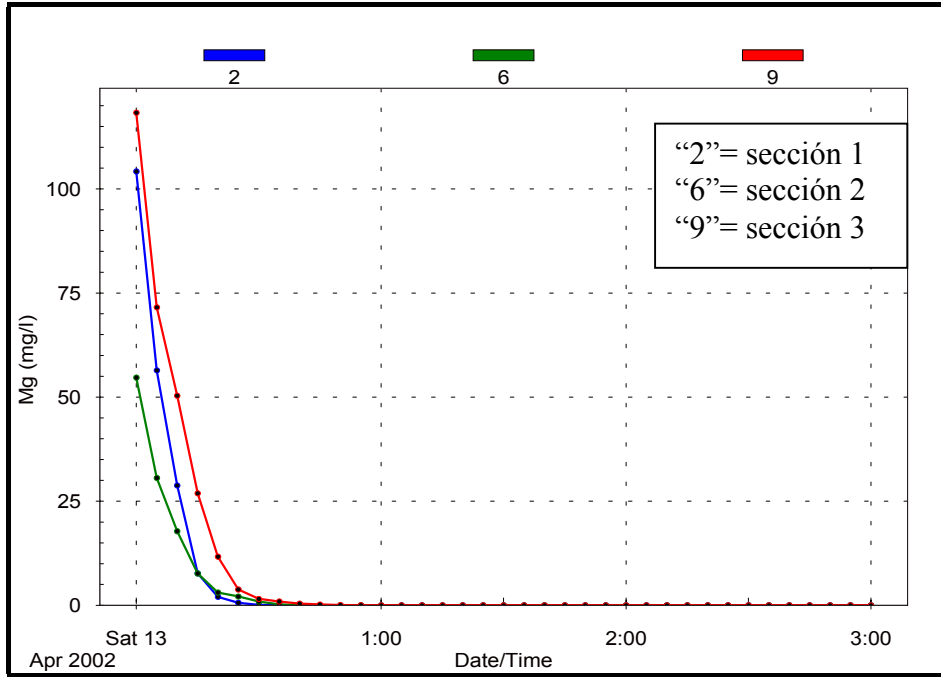


Figura 78

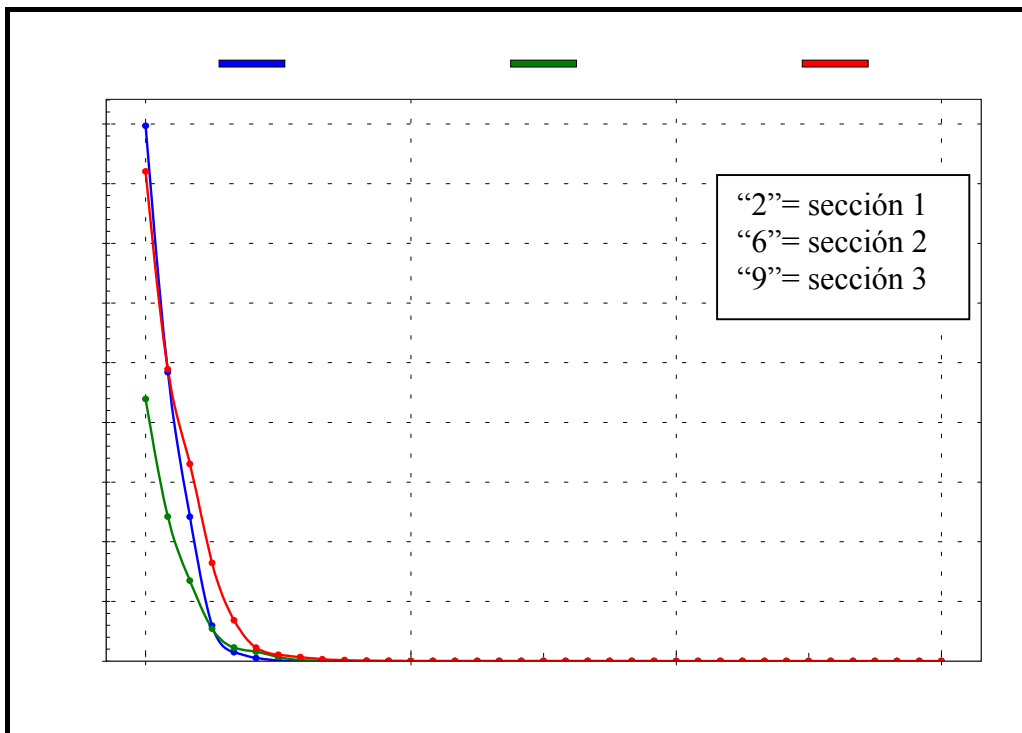


Figura 79

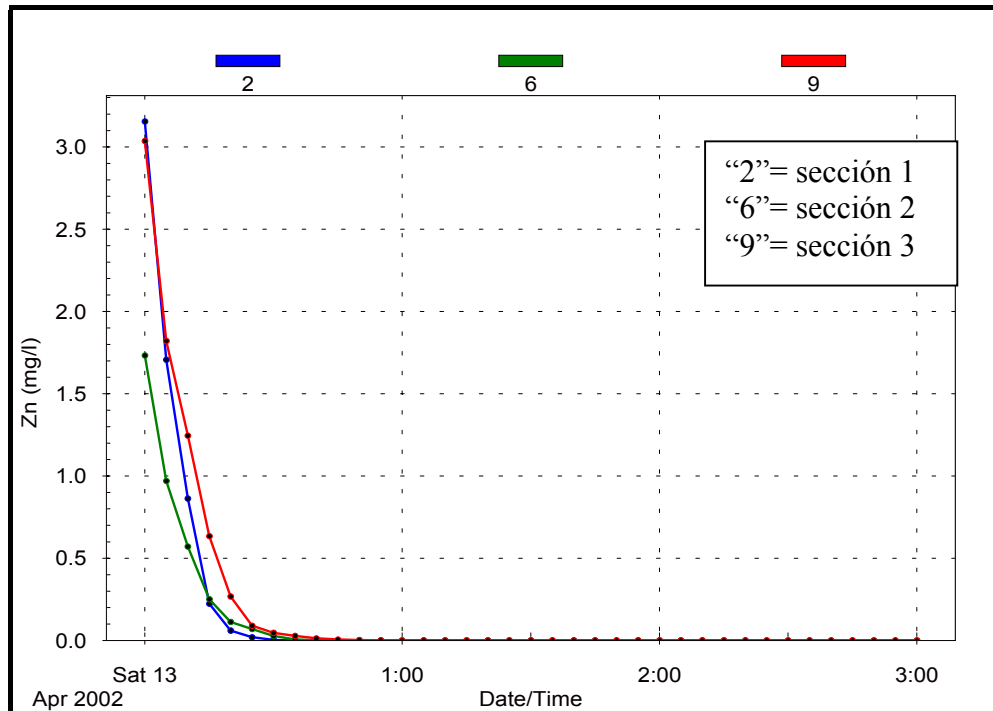


Figura 80

## 6. CONCLUSIONES

En la Tabla 14 se han resumido el volumen y lámina de la escorrentía generada por cada uno de los eventos, como también la carga total en kg que barre el escurrimiento hasta la salida del área de estudio (sección de observación 3).

Tabla 14

EVENTO	VOLUMEN m <sup>3</sup>	ESCURRIM mm	CARGAS TOTALES							
			Cr kg	NO3 kg	Zn kg	Cl kg	Ba kg	Cu kg	Mg kg	HPT kg
10/03/03	5730	2.48	3.67	46.10	0.78	101.00	0.99	0.27	27.00	4.36
12/01/04	5040	1.99	3.21	43.90	0.74	96.30	0.95	0.25	25.60	4.04
22/01/04	2630	0.87	1.62	33.70	0.56	74.50	0.73	0.20	19.30	2.99
TR= 2	65600	36.88	15.40	52.40	0.89	115.00	1.13	0.30	30.80	4.90

En la Tabla 15 se detallan las concentraciones medias y máximas para cada evento considerado de cada uno de los contaminantes y su comparación con las normas del Departamento General de Irrigación (D.G.I.) de Mendoza (Apéndice II). Es de resaltar que para las concentraciones medias el cromo y los hidrocarburos parafínicos totales (HPT) superan la mencionada normativa en los eventos medidos. En el caso de las concentraciones máximas la normativa es superada por todos los contaminantes en todos los eventos.

Tabla 15. Concentraciones de contaminantes

PROMEDIO DURANTE EL EVENTO								
EVENTO	Cr	NO3	Zn	Cl	Ba	Cu	Mg	HPT
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
10/03/03	0.641	8.050	0.136	17.636	0.174	0.046	4.715	0.761
12/01/04	0.637	8.712	0.147	19.111	0.188	0.050	5.080	0.802
22/01/04	0.616	12.819	0.212	28.338	0.277	0.076	7.341	1.137
TR= 2	0.235	0.799	0.014	1.754	0.017	0.005	0.470	0.075
NORMAS DGI	<b>0.5</b>	<b>45</b>		<b>200</b>				<b>0.5</b>
MAXIMO VALOR DURANTE EL EVENTO								
EVENTO	Cr	NO3	Zn	Cl	Ba	Cu	Mg	HPT
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
10/03/03	12.80	485.00	7.19	1104.00	9.46	3.14	279.00	42.20
12/01/04	16.10	611.00	9.05	1391.00	11.90	3.96	352.00	53.20
22/01/04	14.00	534.00	7.91	1215.00	10.40	3.46	308.00	46.50
TR= 2	7.34	279.00	4.13	635.00	5.44	1.81	161.00	24.30

Las tablas 16 y 17 muestran los valores de carga total y de concentraciones medias de los contaminantes en cada evento si se hiciera una extrapolación lineal para considerar a toda la ciudad de Mendoza (Figura 81) con 1370 ha de superficie, con la salvedad de que las proporciones de usos del suelo fueran iguales a la del área estudiada. La extrapolación lineal es válida asumiendo que la precipitación es uniforme en toda el área.

Se puede inferir que la “limpieza” realizada por el escurrimiento pluvial en la ciudad de Mendoza puede ser de gravedad, en algunos casos de parámetros químicos, debido a que la carga contaminante puede afectar con niveles no admitidos al área agrícola regadía de aguas abajo.





Figura 81. Planimetría de la ciudad de Mendoza

Tabla 16

EVENTO	Precip. (mm)	Ecurrim. (mm)	Coef. Ecurr.	Área = 176 ha								Área Cdad. de Mendoza = 1370 ha							
				CARGAS TOTALES (kg)								CARGAS TOTALES (kg)							
				Cr	NO3	Zn	Cl	Ba	Cu	Mg	HPT	Cr	NO3	Zn	Cl	Ba	Cu	Mg	HPT
10/03/03	7.0	2.48	0.4	3.67	46.1	0.779	101	0.994	0.266	27	4.36	28.568	358.847	6.064	786.193	7.737	2.071	210.170	33.939
12/01/04	6.5	1.99	0.3	3.21	43.9	0.741	96.3	0.948	0.253	25.6	4.04	24.987	341.722	5.768	749.608	7.379	1.969	199.273	31.448
22/01/04	4.8	0.87	0.2	1.62	33.7	0.557	74.5	0.729	0.201	19.3	2.99	12.610	262.324	4.336	579.915	5.675	1.565	150.233	23.274
TR=2	49.5	36.88	0.7	15.4	52.4	0.893	115	1.13	0.299	30.8	4.9	119.875	407.886	6.951	895.170	8.796	2.327	239.750	38.142

Tabla 17. Concentraciones medias

EVENTO	Precip. (mm)	Ecurrim. (mm)	Coef. Ecurr.	Área Cdad. de Mendoza = 1370 ha							
				(mg/l)							
				Cr	NO3	Zn	Cl	Ba	Cu	Mg	HPT
10/03/03	7.0	2.48	0.4	0.841	10.568	0.179	23.154	0.228	0.061	6.190	1.000
12/01/04	6.5	1.99	0.3	0.916	12.523	0.211	27.471	0.270	0.072	7.303	1.152
22/01/04	4.8	0.87	0.2	1.063	22.116	0.366	48.892	0.478	0.132	12.666	1.962
TR=2	49.5	36.88	0.7	0.237	0.807	0.014	1.772	0.017	0.005	0.475	0.075

Haciendo con PCSWMM un análisis de sensibilidad de los parámetros vinculados a la limpieza de las calles se pudo concluir:

- Cuando aumenta la eficiencia de limpieza de las calles (parámetro RFFDD) la concentración media en el evento (CME) de todos los contaminantes considerados disminuye a razón de 11,7 % por 0,1 de incremento de eficiencia (Figura 82).
- Cuando se considera el tiempo transcurrido desde la última limpieza (DSLCL) para el comienzo de la precipitación, en el caso de que la frecuencia de limpieza (CLFREQ) sea cada dos días, la CME aumenta a razón de 38 % por día de tiempo transcurrido desde la última limpieza. Si CLFREQ= 1 día la CME disminuye 20% con respecto a cuando CLFREQ= 2 días (Figura 83).

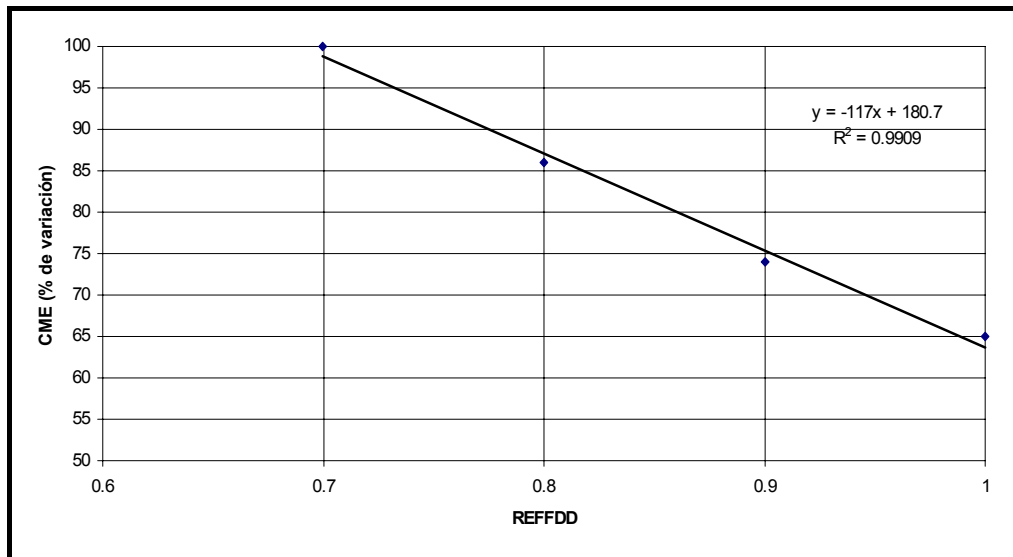


Figura 82

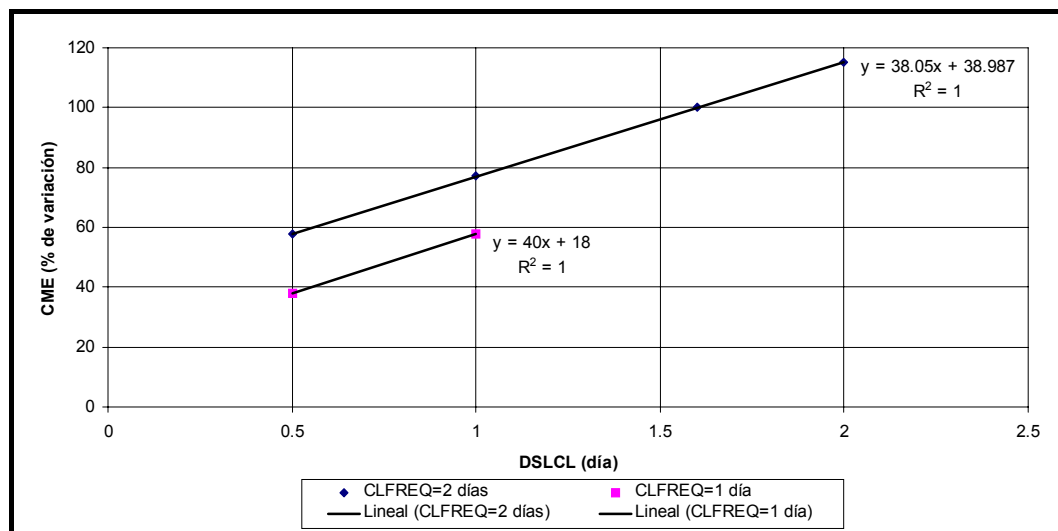


Figura 83

Las simulaciones realizadas en este estudio distan de ser concluyentes para tomar cualquier tipo de decisiones estructurales y/o no-estructurales. El proyecto tuvo carácter de “demostrativo”, y desde esa visión se puede rescatar:

- Las concentraciones de los contaminantes que se muestran en la Tabla 9 revelan información inédita para la región.
- Las mediciones de calidad de agua de escurrimiento pluvial en los tres eventos son llamativos, dado que en algunos casos se determinaron valores de concentraciones que superan a las normas del Departamento General de Irrigación (Apéndice II).
- Las herramientas de simulación utilizadas son válidas para este tipo de análisis.
- Es necesario realizar campañas de medición sistemáticas para poder contar con información concluyente sobre esta problemática, y poder calibrar herramientas de simulación que luego pueden ser útiles para generar otros escenarios distintos del actual y así poder planificar.

## 7. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Biesecker, J., L. Scott Tucker, D.R. Dawdy, M. Mc Pherson. “*Guide for collection, analysis, and use of urban stormwater data*”. 1976
- Chen, Carl W. “*Water quality analysis of urban runoff*”. USA, 1975.
- Computational Hydraulics International. “*PCSWMM*”. Canadá, 2003
- Dolz, J., M. Gomez, J.P. Martín. “*Inundaciones y redes de drenaje urbano*”. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales Y Puertos. Universitat Politecnica de Catalunya. 1992
- Fornero L., A. Pavese, J. Maza, D. Vega “*Actualización del Modelo Hidrológico ARHYMO*”. Libro de Resúmenes del XIX Congreso Nacional del Agua, págs. 49-50 y en CD Trabajo N° 14 de la Comisión 2. Carlos Paz, Córdoba, agosto 2002.
- Geiger, W., J. Marsalek, W.J. Rawls, F.C. Zuidema. “*Manual on drainage in urbanized areas - Vol 2. Data collection and analysis for drainage design*”. UNESCO. 1987
- Gómez, M. et al. “*Problemas de vertido en medios fluviales procedentes de redes de alcantarillado unitarias en tiempos de lluvia*”. Barcelona, España, 1997.
- Gujer, W., V. Krejci. “*Topics in urban storm water quality planning and management*”. XXII Congress International Association for Hydraulic Research. Ecole Polytechnique Federale Lausanne. 31.VIII-4 IX - 1987
- James W., James, R.C. (ed.) “*Hydrology. A guide to the rain, temperature and runoff modules of the USEPA SWMM4*”. Computational Hydraulics International. Canadá, 2001.
- Jiménez Gallardo B.R. “*Contaminación por escorrentía urbana*”. Colegio de Ingenieros, caminos canales y puertos. Colección SEINOR N° 22, España, 1999.
- Macor, J.L. “*Efectos de la discretización espacial en la simulación de flujo de agua en redes de conductos*”. Tesis para el grado de Magister en Ingeniería de Recursos Hídricos en la Univ. Nac. del Litoral. Santa Fe, 2000.
- Marsalek, J. and H. Torno. “*Proceedings of the sixth international conference of urban storm drainage*”. Vol. 1 and 2. Ontario, Canadá, 1993.

- Marsalek, J. “*Evaluation and pollution loads from urban nonpoint sources*”. National Water Research Institute, Burlington, Ontario, Canadá. 1990
- Marsalek, J. “*Pollutant loads in urban stormwater: review of methods for planning-level estimates*”. Water Resources Bulletin . American Water Resources Association . Vol. 27 - N° 2. 1991
- Medina Jr., M. “*Hydrologic and water quality modeling for instream flow strategies*”. Water Resources Research Institute. University of North Carolina, December 1982.
- Moffa, P. “*Control and treatment of combined sewer overflows*”. Environmental Engineering Series. USA, 1990
- Montt, J.P. “*Antecedentes empíricos y modelación de la calidad de las aguas lluvias urbanas*”. Tesis para el grado de Magister en Cs. De la Ingeniería. Escuela de Ingeniería , Pontificia Univ. Católica de Chile. Chile, 2000.
- Niemczynowicz,J., M. Iwra. “*Environmental impact of urban areas the need for paradigm change*”. Department of Water Resources Engineering. University of Lund, Sweden, 1991
- Roesner, L.A. (co-chair) “*Urban runoff quality management*”. ASCE’s Manual and Report on Engineering Practice N° 87, WEF’s Manual of Practice N°23. USA, 1998.
- Urban Drainage and Flood Control District. “*Urban storm drainage criteria manual. Vol 3 - Best Management Practices*”. Denver, Colorado ,USA, September 1992
- Urban Water Resources Research Council of the America Society of Civil Engineers and the Water Environment Federation “*Design and construction of urban storm-water management systems*”. USA, 1992.
- Whipple, W., N. Grigg, T. Grizzard, C. Randall, R. Shubinski, I. Scott Tucker “*Stormwater management in urbanizing areas*”. 1983
- Xu, P., I.K.Tsanis, W.P. Anderson, and P.Kanaroglou. “*An economic input-output analysis for urban stormwater quality planning*”. Water Resources Management: 155-170,1994

# **APÉNDICE I**

## **DISEÑO URBANO SENSIBLE AL AGUA DE LLUVIA**

## DISEÑO URBANO SENSIBLE AL AGUA DE LLUVIA

(Extraído de Water Sensitive Urban Design (WSUD) [www.wsud.org](http://www.wsud.org))

Existe un gran interés internacional, en el potencial del desarrollo urbano, para ser diseñado de forma que sea complementario, en lugar de antagónico, respecto al ciclo natural del agua. Emerge con fuerza un nuevo consenso respecto a la necesidad de enfocar de una forma más sostenible y racional el diseño urbano y arquitectónico.

El WSUD ofrece una mayor compatibilidad y armonía del desarrollo urbanístico con el proceso hídrico y ecológico del agua y enfatiza en la importancia de la filtración, retención, tratamiento y reutilización en origen de las pluviales.

WSUD es un nuevo concepto para integrar desarrollo urbano y naturaleza logrando ciudades y comunidades más sostenibles.

Combinando aire, agua, vegetación y suelo, para que actúen en armonía con el desarrollo urbano, logramos que tanto el agua como la atmósfera urbana sean filtradas y regeneradas consiguiendo ciudades más “verdes” que emulan un ecosistema natural.

De forma resumida, podemos definir a WSUD como la aplicación de técnicas, estructuras y materiales permeables y preferentemente vegetados que contribuyen a no alterar la hidrología previa al proceso de urbanización. La lluvia filtrada a través de las estructuras superficiales es captada y conducida a través de celdas, canales y depósitos enterrados. Posteriormente el agua puede ser percolada al terreno para la recarga del acuífero o conducida hacia estanques o humedales, revalorizando el aspecto paisajístico y lúdico del entorno, **reutilizada para riego** y otros usos públicos o vertida directamente y en perfecto estado al medio receptor.

Este tipo de estructuras han de ser diseñadas para adaptarse a las características del suelo, tipo de lluvia y demás condicionantes del lugar.

### **Axiomas para el diseño de controles de calidad del escurrimiento pluvial**

Si bien el control de la calidad del escurrimiento es más un "arte ingenieril" que una "ciencia" se han podido establecer algunas reglas empíricas:

- a) El control de calidad de escurrimiento (CCE) más efectivo es el de reducir el caudal pico y el volumen (controles por infiltración)
- b) El siguiente control más efectivo es el de reducir el caudal pico (control por almacenamiento)
- c) Para pequeños eventos (TR = 2 años) el escurrimiento debe retardarse por detención para controlar la erosión de aguas abajo (hay que notar, sin embargo que la duración resultante es más larga, lo cual agrava los problemas de erosión en las conducciones)
- d) Los contaminantes más dañinos en el escurrimiento urbano son sedimentables, sin embargo una apreciable cantidad de nutrientes y algunos metales pesados están disueltos y requieren tratamiento.

## **Control en la fuente contaminante**

Este tipo de control es dificultoso de concretar, pero puede tener cierto grado de efectividad en sitios comerciales y/o industriales a través de la captura del escurrimiento y su tratamiento, o la derivación hacia el sistema cloacal.

## **Control in situ**

Se realiza en el lugar donde la lluvia toma contacto con la superficie. Los tipos de control más comunes son

- e) Minimización del área impermeable directamente conectada al sistema de drenaje
- f) Utilización de conducciones vegetadas con pasto que retardan y favorecen la infiltración
- g) Utilización de pavimento poroso o flexible (bloques)
- h) Utilización de trincheras o cuencas de infiltración.

Los medios financieros deben dirigirse a la realización de pequeños y bien definidos proyectos pilotos, donde la transferencia de ideas y técnicas es el principal objetivo.

Se debe cambiar el concepto básico de un rápido drenaje y tecnología de gran escala hacia un concepto de drenaje lento y tecnología de pequeña escala en la fuente del problema.

Las áreas urbanizadas están aún creciendo, y la reconstrucción de viejos sistemas amortizados están permanentemente incrementando, lo cual conlleva daños al medio ambiente

Las soluciones deben basarse en las siguientes palabras claves:

- técnica de “sistema integrado”
- pequeña escala
- control en la fuente
- disposición final y reuso local
- prevención de la contaminación
- sistemas biológicos
- pensamiento global ecológico

## **Soluciones no estructurales**

- educación pública
- limpieza de calles
- detección y eliminación de descargas ilícitas

La medida no estructural más eficiente es prevenir la deposición de contaminantes en el área urbana y minimizar la emigración de los contaminantes del lugar donde ellos están siendo utilizados, almacenados o de cualquier manera expuestos al escurrimiento pluvial a través de las siguientes técnicas:

- paso del escurrimiento por el césped
- separación de contaminantes en boca de tormenta
- tratamiento en fuente y en punto de descarga



**APÉNDICE II**  
**NORMAS DEL DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN DE MENDOZA**  
**(RESOLUCIÓN 778)**

## Normas del Departamento General de Irrigación de Mendoza (Resolución 778)

### Anexo I

#### Normas para vertido de Líquidos a Cuerpos Receptores

**Artículo 1º)** Establécense los siguientes parámetros máximos permitidos y tolerados para los vertidos directos e indirectos al dominio público hidráulico.

#### Parámetros Físicos

Item	Parámetro	Unidades	Máximo permitido	Máximo tolerable	Especificaciones singulares y observaciones
1	Color Verdadero	UCV	12	18	UCV o "true colour unit". Medido sobre efluente filtrado.
2	Conductividad Específica	Micro siemens a 25°C	900	1800	En algunos cuerpos receptores se permitirá valor mayor por tiempo limitado, siempre que no causen daños a terceros. Podrá exigirse control continuo.
3	Sólidos Sedimentables	ml/l	Menos de 1	10	Valores obtenidos en con de Imhoff en dos (2) horas. La exigencia podrá ser mayor para evitar posibles embanques. No se admitirán sedimentos cuando su DBO supere los 100 mg/l.
4	Sólidos Sedimentables Compactados	ml/l	0,5	1	Idem anterior. Valores obtenidos a los 10 minutos. No se admitirán sedimentos cuando su DBO supere los 100 mg/l.
5	Sólidos Solubles en Eter Etílico	mg/l	50	100	Cerca de tomas para agua de bebida no podrá ser superior a 0,05 mg/l.
6	Temperatura	°C	30	45	Para casos especiales, se fijará el máximo en forma singular.

## Parámetros Químicos

Nº	Parámetro	Unid.	Máximo Permitido	Máximo Tolerable	Especificaciones singulares y observaciones
7	Arsénico	mg/l	0,05	0,1	Si hay afectación a aguas subterráneas, menos de 0.05 mg/l. Cerca de tomas de agua para bebida, el máximo permitido es de 0.01 mg/l.
8	Boro	mg/l	0,5	1	Cerca de tomas de agua para bebida, el máximo permitido será menor de 0.03 mg/l. Este parámetro podrá ser más estricto, según los cultivos irrigados.
9	Cadmio	mg/l	0,003	0,01	Cerca de tomas de agua para bebida, el máximo será permitido menor a 0.003 mg/l.
10	Cianuros	mg/l	Menos de 0,05	0,05	Cerca de tomas de agua para bebidas, el máximo permitido será de 0.05 mg/l. Este parámetro podrá ser más estricto, según la afectación a la vida acuática.
11	Cloruros	mg/l	200	400	Este parámetro podrá ser más estricto si existe posibilidad de efectos corrosivos.
12	Cromo Hexavalente	mg/l	0,05	0,1	Cerca de tomas de agua para bebida, el máximo permitido será menor a 0,05 mg/l. Este parámetro podrá ser más estricto, según la afectación a la vida acuática.
13	Cromo Total	mg/l	Menos de 0,5	0,5	Mayor exigencia es posible cerca de tomas de agua para bebida o afectación de vida acuática.
14	Detergentes	mg/l	1	1	El máximo tolerado podrá variarse en casos particulares, en función del tipo de cuerpo receptor, pero siempre será menor de 2.0 mg/l. Cerca de tomas de agua para bebida, el máximo no podrá ser mayor a 1.0 mg/l.
15	Fenoles	mg/l	0,05	0,1	Cerca de tomas de agua para bebida, el máximo permitido será menor a 05 mg/l.
16	Fosfatos	mg/l	0,4	0,7	Para lagos y embalses o lagunas, un valor puntual menor de 0.5 mg/l.
17	Hidrocarburos	mg/l	0,5	X	El máximo tolerado se fijará en función del tipo del cuerpo receptor y problemas que pueda causar. Siempre será menor de 5 mg/l. Cerca de tomas de agua para bebida, el máximo permitido será menor a 0,1 mg/l. En todos los casos, el máximo permitido de hidrocarburos polinucleares será menor de 0,02 mg/l.
18	Manganeso	mg/l	0,1	0,5	Cerca de tomas de agua para bebida, el máximo permitido será menor a 0.1 mg

19	Mercurio	mg/l	Menos de 0,001	0,005	Cerca de tomas de agua para bebida, el máximo permitido será de 0.001 mg/l o más estricto según afectación
20	Nitratos	mg/l	Menos de 45	45	Dicho parámetro podrá ser más estricto en caso del vuelco directo o indirecto a lagos, embalses y lagunas.
21	Nitritos	mg/l	Menos de 0,1	0,1	
22	Nitrógeno Amoniacal	mg/l Np	1,5	5	Dicho parámetro podrá ser más estricto cuando se lo relacione con coliformes fecales. En caso de cuerpos receptores con vida acuática, el máximo permitido será de 0.02 mg
23	pH	Nro.	6.5 a 8.2	5.5 a 9.0	En algunas industrias se exigirá control continuo, debiendo indicar tipo de tratamiento.
24	RAS	Nro.	6	X	El máximo a tolerar se fijará en función del cuerpo receptor, usos posteriores del agua y problemas que puedan causarse. En ningún caso podrá ser superior a 12
25	Sodio	mg/l	150	275	Dicho parámetro podrá ser más estricto en aquellos casos de afectación a tomas de agua u otros casos especiales.
26	Sulfatos	mg/l	250	400	Dicho parámetro podrá ser más estricto en aquellos casos de posibilidad de corrosión.
27	Sulfuros	mg/l	Menos de 1.0	1	
28	Colifecales	nmp/100 ml	200	1000	No se autorizará, salvo casos singulares, el mezclado de líquidos residuales con cloacales. Dicho parámetro podrá ser más estricto en aquellos casos en que pueda afectar el agua para bebida.
29	DBO	mg/l	30	120	En algunos desagües y drenajes se permitirá expresamente un valor mayor, por tiempo limitado, siempre que no se causen problemas a terceros o cuerpos receptores. Dicho parámetro podrá ser más estricto si pudiera haber influencia en tomas de agua potable.
30	DQO	mg/l	75	250	Idem. anterior.
31	Helminetos	huevos/litro	Menos de 1	1	Idem. 28.

**Artículo 2º)** Los parámetros no incluidos en el listado del art. 1º, deberán respetar los valores que para agua potable establece la Organización Mundial de la Salud (OMS) o que específicamente indique Superintendencia.

**Artículo 3º)** No se admitirán vuelcos de lodos u otros residuos provenientes de tratamientos de efluentes industriales, salvo excepciones expresamente autorizadas.

**Artículo 4º)** El listado de parámetros del Art. 1º del presente Anexo, debe considerarse en consonancia con todos los artículos de la Resolución y no aisladamente.

**Artículo 5º)** Salvo indicación o autorización en contrario, los análisis seguirán las técnicas que indica el Ente Provincial del Agua y Saneamiento (EPAS).

**Artículo 6º)** Las muestras deberán ser representativas de las condiciones reales de funcionamiento del Establecimiento y se registrará si es puntual o compensada, día y hora (o período abarcado), caudal efluente y todo otro dato característico.

**Artículo 7º)** Los máximos permitidos no deben ser sobrepasado por nuevas industrias.

**Artículo 8º)** No se permitirán más de tres parámetros dentro de los tolerable por establecimiento, independientemente de la cantidad de puntos de vuelcos separados con que cuente.