

Universidad Nacional del Nordeste

Facultad de Ingeniería

Carrera:

Maestría en Ciencias de la Ingeniería



Sedimentos en el drenaje urbano

T E S I S

Para obtener el título de:

Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

Ing. Guillermo José Méndez

Director de tesis:

Dr. Oscar Orfeo

Co-director de tesis:

Ing. Carlos Alberto Depettris

Resistencia, Chaco Argentina

2012

**UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL NORDESTE**

Maestría en Ciencias de la Ingeniería



Facultad de Ingeniería

Orientación Hidrogeotecnia

Título de Tesis
Sedimentos en el Drenaje Urbano

Autor
Guillermo José MENDEZ

Resistencia, provincia del Chaco, República Argentina
2012



Sedimentos en el Drenaje Urbano

Por

Ing. Guillermo José Mendez

Tesis presentada para la Maestría en Ciencias de la Ingeniería -
Orientación Hidrogeotécnica dictada por la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Nacional del Nordeste como requisito parcial para la
obtención del título de posgrado de:

MAGISTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Director: Dr. Oscar Orfeo
Co-Director: Ing. Carlos Alberto Depettris

Resistencia, provincia del Chaco, República Argentina
2012



AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su eterno apoyo y confianza. A mi padre que con su ejemplo me enseñó el valor del trabajo digno y del esfuerzo para alcanzar los logros. A mi madre por su inmenso cariño y contención que me dieron la confianza para afrontar todos los desafíos. A mis hermanos por su ayuda y amistad de siempre.

A mi novia por la dulzura, comprensión y compañía brindados que me permitieron abordar esta tesis con alegría y seguridad.

A mi director Dr Oscar Orfeo y co-director Ing. Carlos Albertos Depettris por su orientación y predisposición para atender mis consultas.

A los profesores del Departamento de Hidráulica por el estímulo y afecto brindados, muy especialmente al Ing. Alejandro Ruberto y al Dr. Ing. Jorge Pilar.

Al Ing. Edgardo Kutnich y los demás pares becarios por la ayuda suministrada en la recolección de muestras.

A la Administración Provincial del Agua de la provincia del Chaco (APA) por los datos meteorológicos suministrados gentilmente.

Al laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería por la ayuda suministrada en los análisis de muestras tomadas en tiempo seco.

Al laboratorio sedimentológico del Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL) del CONICET, por la ayuda suministrada en los análisis de muestras tomadas durante el monitoreo hidrosedimentológico.

A la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) y al Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT), por la financiación otorgada al Proyecto PICTO136/07 Hidrología Urbana del NEA.

Como mención especial quiero agradecer al pueblo de la nación Argentina que con sus impuestos financiaron la educación pública y gratuita que he recibido. Espero, con este humilde aporte, poder devolver en parte la inmensa deuda que tengo con el pueblo al que estoy orgulloso de pertenecer.



RESUMEN

Unos de los más importantes poluentes de la escorrentía urbana son los sedimentos. Los problemas que estos generan no solo atañen la calidad del agua sino que conllevan pérdidas de suelo y afectación del sistema de conductos del drenaje, por lo que el abordaje de su problemática exige un enfoque mixto en donde intervienen entre otras disciplinas, la sedimentología y la hidrología. La ciudad de Resistencia, no escapa a esta problemática. En efecto, en el sector sur de esta ciudad, donde los efluentes pluviales son transportados por conductos cerrados y cuneteos hacia el canal de la Av. Soberanía, el sistema presenta deposición de sedimentos en los conductos y en el mencionado canal, generando la reducción en su capacidad de flujo. Ante la complejidad de los fenómenos que originan los sedimentos transportados y el efecto que estos producen en el medio ambiente, es fundamental contar con un mayor conocimiento en la materia, datos confiables y una adecuada interpretación. El presente estudio comprende un análisis de los procesos de generación y transporte de *sedimentos* en la ciudad de Resistencia, tomando como estudio de caso una microcuenca representativa del conjunto. Para ello se realizaron mediciones sistematizadas a fin de determinar: las cargas de sedimentos acumulados en tiempo seco y; las cargas de sedimentos transportadas por la escorrentía urbana durante las precipitaciones. Fue posible realizar una interpretación de los fenómenos analizados y aportar una crítica a uno de los modelos más utilizado mundialmente. Se observó una acumulación en tiempo seco de tipo exponencial. El ajuste del modelo de acumulación indicó un valor máximo posible de 600 g/m^2 y una constante de crecimiento de 0,05. Sin embargo, se detectaron valores de cargas totales de sedimentos ostensiblemente altos, luego de ciertas precipitaciones. Esto puede deberse a la importación de sedimentos de zonas aledañas, principalmente de suelo de calles de tierra que son transportados a la microcuenca, adherido a las ruedas de los vehículos. El modelo de calidad de agua, diseñado bajo el programa Stormwater Management Model (SWMM), fue calibrado y validado con resultados satisfactorios para el área de aporte sin influencia de suelo descubierto. Sin embargo, tal influencia no pudo considerarse por el retardo provocado en el pico del polutograma respecto al pico hidrograma. La metodología adoptada ha resultado eficiente, sencilla y de bajo costo para en el análisis de tal fenómeno. De igual forma, este procedimiento puede ser adaptado para el estudio de otro tipo de contaminantes o bien para el mismo poluyente pero en cuencas de otro uso de suelo (e.g. industrial, comercial, etc.).



ABSTRACT

One of the most important pollutants of the urban runoff is sediments. The problems produced by sediments not only concern the water quality but that also carry along soil loss, and the affectation of the drainage pipe system, for which the view of its problematic requires a mixed approach where intervene among other disciplines, sedimentology and hydrology. Resistencia city does not slip from this problematic. In fact, in the south area of the city, where pluvial effluents are transported by closed pipes, and ditches towards the Soberanía channel, the system present sediments depositions in the pipes, and in the mentioned channel, producing the reduction of its flow capacity. Given the complexity of the phenomena and its effects on the environment, it was fundamental to have a better understanding of the subject, to get reliable data and to achieve a proper interpretation of it. This study includes an analysis of the process involved in the generation and transport of sediments in Resistencia city. As a study case, a representative microbasin was considered. A ser build up during a dry time and; the suspended loads carried by the urban runoff during precipitations. It was possible to make an interpretation of the phenomenon and a review of one of the most used model around the world. It was observed an exponential accumulation during a dry time. The adjustment of the buildup model indicated a maximum possible value of 600 g/m^2 and buildup rate constant of 0.05. However it was detected ostensible high values of build up sediments after some precipitations due to sediments from nearby areas, mainly soil of the dirt road which is transported to the microbasin attached on the vehicles wheels. The water quality model, designed by the Stormwater Management Model software (SWMM), was satisfactory calibrated and validated for input areas without the influence of bare soil. However, that influence could not be considered due to the delay between the pollutograph and the hydrograph peaks. The adopted methodology resulted efficient, simple and with low cost considering the analysis of the studied phenomenon. The procedure could be applied in the study of other pollutants or even to the same pollutant in other basins with different land uses (e.g. industrial, commercial, etc.).



INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	OBJETIVOS	17
3.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	Generalidades	18
3.2	El sistema de Drenaje Urbano	20
3.3	Característica del Drenaje Urbano	20
3.4	Impactos generados por la Urbanización	21
3.5	Modelos de Transformación Lluvia - Caudal	29
	Modelo de Escorrentía del programa SWMM	31
3.6	Características de los Sedimentos	35
	Tamaño del grano	35
	Morfología del Grano	36
	Densidad	37
	Cohesividad	38
3.7	Acumulación de Sedimentos	39
	Fuentes de Generación	39
	Acumulación en Calles	39
3.8	Lavado de Sedimentos	42
	Modelo de lavado de poluentes del programa SWMM	46
3.9	Limpieza de Calles	48
3.10	Primer Flujo	51
3.11	Drenaje Urbano Sustentable	53
4.	METODOLOGÍA	56
4.1	Generalidades	56
4.2	Área de Estudio	56
4.3	Monitoreo Hidrosedimentológico	62
	Aforos de Caudales Líquidos	65
	Aforos de Concentración de Sólidos Suspendidos	66
	Análisis de Laboratorio	68
4.4	Monitoreo de Sedimentos en Tiempo Seco	70
	Análisis de Laboratorio	72



Análisis de Variabilidad Espacial	73
4.5 Modelo de Calidad de Aguas	74
Datos Meteorológicos	74
Diseño del Modelo	75
Calibración del modelo de transformación lluvia caudal	75
Calibración del Modelo de Calidad de Aguas	76
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	79
5.1 Monitoreo de Sedimentos en Tiempo Seco	79
Resultado de las Mediciones Realizadas	79
Efecto del Viento	87
Limpieza de Calles	89
Modelo de Acumulación de Sedimentos	90
Análisis Granulométrico	93
Variabilidad Espacial en la Acumulación de Sedimentos	96
5.2 Monitoreo Hidrosedimentológico	101
Resultado de las Mediciones Realizadas	101
Relación entre Turbidez y Concentración de Sólidos Suspendidos	108
Relación entre Caudal Líquido y Caudal Sólido	109
5.3 Calibración de Modelo de Calidad de Escorrentía	112
Modelo de transformación lluvia - caudal	112
Modelo de Calidad de Aguas	128
6. CONCLUSIONES	144
7. REFERENCIAS	148
ANEXO I – DATOS METEOROLÓGICOS	154
ANEXO II - PLANILLA DE CARGAS DE SEDIMENTO EN TIEMPO SECO	182
ANEXO III - PLANILLA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	192
ANEXO IV - PLANILLA DE MEDICIONES HIDROSEDIMENTOLÓGICA	209
ANEXO V – INFORME DE MODELACIÓN CON SWMM	216



FIGURAS

Figura 3.1. Principales Elementos Hidráulicos de una Red de Microdrenaje (ASCE, 1992)	21
Figura 3.2. Aumento de Caudal Máximo (Leopold, 1968)	22
Figura 3.3. Escala de tiempo para los efectos en cuerpos de agua receptores producidos por	24
Figura 3.4. Erosión de las partículas del suelo provocada por el impacto de las gotas de lluvia	25
Figura 3.5. Tipos de raíces de la vegetación (A) las raíces superficiales, (B y C) las raíces más profundas (García-Chevesich, 2010)	27
Figura 3.6. Variación de la Producción de Sedimentos en concordancia con el desarrollo urbano (Ramos, 1995)	29
Figura 3.7. Modelos para describir la transformación lluvia – caudal (Riccardi, 2004),	30
Figura 3.8. Esquema de Embalse No Lineal	31
Figura 3.9. Flujo entre áreas de una subcuenca en el modelo SWMM	32
Figura 3.10. Definición de los diámetros de un grano irregular del sedimento	37
Figura 3.11. Fuentes de poluentes en áreas urbanas (Butler y Clark, 1995 apud Dotto, 2006)	39
Figura 3.12. Distribución Espacial de los Sedimentos en una calle residencial (Sartor, 1974)	40
Figura 3.13. Modelos de Acumulación de Sedimentos	40
Figura 3.14. Concepto del Proceso de Acumulación de Sedimentos	41
Figura 3.15. Representación de la función de Shield y curva de Hjulström modificada	44
Figura 3.16. Diagrama de Hjulström,	44
Figura 3.17. Eliminación de Sólidos Totales respecto a la frecuencia de la limpieza de callas (Sharon, 1989 apud Temprano Gonzalez, 1996)	49
Figura 3.18. Sólidos Totales eliminados en función de la frecuencia de barrido anual (Moffa, 1990)	50
Figura 3.19. Hipotética secuencia de acumulación lineal y limpieza de calles	50
Figura 3.20. Muestras de efluente pluvial recolectadas en Porto Alegre, Brasil (Tucci <i>et al</i> , 2007)	51
Figura 3.21. Curvas acumuladas de Sólidos Suspendidos del efluente pluvial de dos cuencas ubicadas en Belgrado; Serbia (Mijakovac) y Lund; Suecia	52
Figura 3.22. Relaciones entre los sistemas de las aguas urbanas (Tucci, 2007)	54
Figura 3.23. Tren de gestión de Drenaje superficial – Probable solución sustentable (Maksimovic, 2001)	55
Figura 3.24. Water Sensitive Urban Design (WSUD)	55
Figura 4.1. Ubicación de la ciudad de Resistencia en el nordeste de la Republica Argentina.	57
Figura 4.2. Ejido del Área Metropolitana del Gran Resistencia (AMGR)	57
Figura 4.3. Microcuenca de los sumideros de la calle San Lorenzo y Av Castelli	60
Figura 4.4. Imagen Satelital de la microcuenca de estudio	61
Figura 4.5. Aéreas de Suelo Permeable (sombreadas en verde)	62
Figura 4.6. Metodología utilizada para la medición de caudales líquidos	65
Figura 4.7. Esquema de Recolección de Muestras	66
Figura 4.8. Dimensiones y materiales del muestreador DH3	67
Figura 4.9. Recolección de Muestras mediante captador DH3	68
Figura 4.10. Equipamiento utilizado para ensayo de filtrado	69
Figura 4.11. Pesaje de los filtros para determinación de la concentración sólidos suspendidos	69
Figura 4.12. Turbidímetro utilizado para la turbidez de las muestras	70
Figura 4.13. Sitios de monitoreo durante tiempo seco	71
Figura 4.14. Área de muestreo aislada por marco metálico	72
Figura 4.15. Porción de muestra retenida por Tamiz #200	72
Figura 4.16. Franjas en que se agruparon los IA para su análisis	73
Figura 4.17. Modelo utilizado para analizar la microcuenca de la calle San Lorenzo	75



Figura 5.1. Variación de las Cargas Libres durante el período muestreo de la Cuadra 1 – Margen Derecha.....	79
Figura 5.2. Variación de las Cargas Libres durante el período muestreo de la Cuadra 2 – Margen Derecha.....	80
Figura 5.3. Variación de las Cargas Libres durante el período muestreo de la Cuadra 3 – Margen Derecha.....	80
Figura 5.4. Variación de las Cargas Libres durante el período muestreo de la Cuadra 1 – Margen Izquierda.....	80
Figura 5.5. Variación de las Cargas Libres durante el período muestreo de la Cuadra 2 – Margen Izquierda.....	81
Figura 5.6. Variación de las Cargas Libres durante el período muestreo de la Cuadra 3 – Margen Izquierda.....	81
Figura 5.7. Variación de las Cargas Fijas durante el período muestreo de la Cuadra 1 – Margen Derecha.....	81
Figura 5.8. Variación de las Cargas Fijas durante el período muestreo de la Cuadra 2 – Margen Derecha.....	82
Figura 5.9. Variación de las Cargas Fijas durante el período muestreo de la Cuadra 3 – Margen Derecha.....	82
Figura 5.10. Variación de las Cargas Fijas durante el período muestreo de la Cuadra 1 – Margen Izquierda.....	82
Figura 5.11. Variación de las Cargas Fijas durante el período muestreo de la Cuadra 2 – Margen Izquierda.....	83
Figura 5.12. Variación de las Cargas Fijas durante el período muestreo de la Cuadra 3 – Margen Izquierda.....	83
Figura 5.13. Variación de las Cargas Totales durante el período muestreo de la Cuadra 1 – Margen Derecha.....	83
Figura 5.14. Variación de las Cargas Totales durante el período muestreo de la Cuadra 2 – Margen Derecha.....	84
Figura 5.15. Variación de las Cargas Totales durante el período muestreo de la Cuadra 3 – Margen Derecha.....	84
Figura 5.16. Variación de las Cargas Totales durante el período muestreo de la Cuadra 1 – Margen Izquierda.....	84
Figura 5.17. Variación de las Cargas Totales durante el período muestreo de la Cuadra 2 – Margen Izquierda.....	85
Figura 5.18. Variación de las Cargas Totales durante el período muestreo de la Cuadra 3 – Margen Izquierda.....	85
Figura 5.19. Variación de los promedios diarios de cargas libres	86
Figura 5.20. Variación de los promedios diarios de cargas fijas.....	86
Figura 5.21. Variación de los promedios diarios de cargas totales.....	87
Figura 5.22. Carga Libre y Velocidad del viento.....	88
Figura 5.23. Carga Fija y Velocidad del viento.....	88
Figura 5.24. Carga Total y Velocidad del viento.....	88
Figura 5.25. Limpieza de calle durante el periodo de mediciones	89
Figura 5.26. Modelo de acumulación adoptado	91
Figura 5.27. Comparación del modelo de acumulación adoptado.....	92
Figura 5.28. Cantidad de sedimentos acumulados en situaciones Sin barrido y Con barrido.....	93
Figura 5.29. Variación del Diámetro equivalente al 50% de la muestra en el periodo de monitoreo	94
Figura 5.30. Variación del Diámetro equivalente al 30% de la muestra en el periodo de monitoreo	95
Figura 5.31. Variación del Diámetro equivalente al 10% de la muestra en el periodo de monitoreo	95



Figura 5.32. Variación del porcentaje que pasa tamiz #200 de la muestra en el periodo de monitoreo	95
Figura 5.33. Histogramas de Frecuencia de IA – CT – Margen Derecha	99
Figura 5.34. Histogramas de Frecuencia de IA – CT – Margen Izquierda	100
Figura 5.35. Mapa de Acumulación de Sedimentos	101
Figura 5.36. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 1 (03/09/2009)	102
Figura 5.37. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 2 (14/10/2009)	102
Figura 5.38. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 3 (6/11/2009)	103
Figura 5.39. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 4 (20/11/2009)	103
Figura 5.40. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 5 (08/02/2010)	104
Figura 5.41. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 6 (15/02/2010)	104
Figura 5.42. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 7 (22/02/2010)	105
Figura 5.43. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 8 (03/03/2010)	105
Figura 5.44. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 9 (19/03/2010)	106
Figura 5.45. Variación de la Concentración Media del Evento (CME)	107
Figura 5.46. Relación entre CME y la Precipitación antecedente de los eventos medidos.	108
Figura 5.47. Relación entre Turbidez y Concentración de Sólidos Suspendidos de las muestras analizadas	109
Figura 5.48. Curva Clave de Sedimentos de los afluentes a los sumideros de margen izquierda y derecha	111
Figura 5.49. Curva de relación utilizada en para uso de suelo RCD (Cuenca Derecha)	111
Figura 5.50. Curva de relación utilizada en para uso de suelo RCI (Cuenca Izquierda)	112
Figura 5.51. Relación entre caudales medidos y modelados de la cuenca Derecha.	117
Figura 5.52. Relación entre caudales medidos y modelados de la cuenca Izquierda.	118
Figura 5.53. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 1 - Derecha	118
Figura 5.54. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 2 – Derecha	119
Figura 5.55. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 3 – Derecha	119
Figura 5.56. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 4 – Derecha	120
Figura 5.57. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 5 – Derecha	120
Figura 5.58. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 6 – Derecha	121
Figura 5.59. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 7 – Derecha	121
Figura 5.60. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 8 – Derecha	122
Figura 5.61. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 9 – Derecha	122
Figura 5.62. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 1 – Izquierda	123
Figura 5.63. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 2 – Izquierda	123
Figura 5.64. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 3 – Izquierda	124
Figura 5.65. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 4 – Izquierda	124
Figura 5.66. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 5 – Izquierda	125
Figura 5.67. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 6 – Izquierda	125
Figura 5.68. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 7 – Izquierda	126
Figura 5.69. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 8 – Izquierda	126
Figura 5.70. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 9 – Izquierda	127
Figura 5.71. Relación entre TSS medidos y modelados de la cuenca Derecha	131
Figura 5.72. Relación entre TSS medidos y modelados de la cuenca Izquierda	132
Figura 5.73. Polutograma medidos y modelados del Evento 1 - Derecha	133
Figura 5.74. Polutograma medidos y modelados del Evento 4 - Derecha	133
Figura 5.75. Polutograma medidos y modelados del Evento 5 - Derecha	134
Figura 5.76. Polutograma medidos y modelados del Evento 1 - Izquierda	135
Figura 5.77. Polutograma medidos y modelados del Evento 4 - Izquierda	135
Figura 5.78. Polutograma medidos y modelados del Evento 5 - Izquierda	136



Figura 5.79. Polutograma medidos y modelados del Evento 2 – Derecha	137
Figura 5.80. Polutograma medidos y modelados del Evento 7 – Derecha	138
Figura 5.81. Polutograma medidos y modelados del Evento 8 – Derecha	138
Figura 5.82. Polutograma medidos y modelados del Evento 9 – Derecha	139
Figura 5.83. Polutograma del Evento 2 considerando una acumulación inicial de 6000 kg/ha	140
Figura 5.84. Polutograma del Evento 9 considerando una acumulación inicial de 6000 kg/ha	140
Figura 5.85. Polutograma medidos y modelados del Evento 2 – Izquierda	141
Figura 5.86. Polutograma medidos y modelados del Evento 7 – Izquierda	142
Figura 5.87. Polutograma medidos y modelados del Evento 8 – Izquierda	142
Figura 5.88. Polutograma medidos y modelados del Evento 9 – Izquierda	143



TABLAS

Tabla 3.1. Relación entre la intensidad de la tormenta y erosión producida en Zanesville, Ohio (Fournier, 1972 apud Brea y Balacchi, 2010).....	26
Tabla 3.2. Parámetros recomendados por el UDFCD (1984) y Porto (1995).....	35
Tabla 3.3. Escala de tamaño de granos de Udden – Wentworth.....	36
Tabla 3.4. Acumulación lineal adoptada en Estados Unidos y España.....	41
Tabla 3.5. Acumulación exponencial en Escocia, Rep, Serbia, Suecia y Brasil.....	42
Tabla 3.6. Efecto de la presencia de material cohesivo en la condición crítica de inicio del movimiento.....	45
Tabla 4.1. Composición promedio del Nivel superior del suelo de av. Wilde.....	58
Tabla 4.2. Textura del Subsuelo.....	58
Tabla 4.3. Tasa de Infiltración inicial y final obtenidas por Kutnich (2008).....	59
Tabla 4.4. Distribución de áreas de la microcuenca de estudio.....	62
Tabla 4.5. Parámetros estadísticos de la Precipitación anual acumulada y de la precipitación diaria máxima anual – Estación Meteorológica de la Facultad de Ingeniería (UNNE).....	63
Tabla 4.6. Registro de Precipitaciones anuales y precipitaciones máximas diarias con sus probabilidades de excedencia asociadas.....	63
Tabla 4.7. Eventos medidos en la microcuenca de estudio.....	64
Tabla 4.8. Categorización de IA utilizada.....	74
Tabla 4.9. Usos de Suelos utilizadas en el modelo de calidad de aguas.....	77
Tabla 4.10. Áreas de Cunetas de Calle.....	78
Tabla 5.1. Periodo de Monitoreo en Tiempo Seco Realizado.....	79
Tabla 5.2. Eficiencia del barrido de calles en la microcuenca de estudio.....	89
Tabla 5.3. Valores promedios de Cargas Totales omitidos para la calibración.....	91
Tabla 5.4. Coeficiente y Exponente de acumulación adoptados.....	91
Tabla 5.5. Promedios de D50, D30, D10 y Pasa tamiz #200 de las cargas libres y fijas.....	94
Tabla 5.6. Parámetros estadísticos de IA – CL – Margen Derecha.....	96
Tabla 5.7. Parámetros estadísticos de IA – CF – Margen Derecha.....	97
Tabla 5.8. Parámetros estadísticos de IA – CT – Margen Derecha.....	97
Tabla 5.9. Parámetros estadísticos de IA – CL – Margen Izquierda.....	97
Tabla 5.10. Parámetros estadísticos de IA – CF – Margen Izquierda.....	98
Tabla 5.11. Parámetros estadísticos de IA – CT – Margen Izquierda.....	98
Tabla 5.12. CME y Factores Asociados de los Eventos Medidos.....	107
Tabla 5.13. Valores adoptados de los parámetros del modelo de transformación lluvia - caudal.....	112
Tabla 5.14. Valores de R ² alcanzados con el ajuste del modelo de transformación lluvia caudal.....	113
Tabla 5.15. Volúmenes y Coeficientes de Escorrentía obtenidos con la simulación.....	114
Tabla 5.16. Caudales medidos y arrojados por el modelo – Cuenca Derecha.....	115
Tabla 5.17. Caudales medidos y arrojados por el modelo – Cuenca Izquierda.....	116
Tabla 5.18. Valores de Coeficientes y exponentes de acumulación utilizados.....	128
Tabla 5.19. Coeficiente y exponente de lavado usados en Relación de caudales.....	129
Tabla 5.20. Coeficiente y exponente de arrastre usados en los usos de suelo Baja, Media, Alta y Muy Alta.....	129
Tabla 5.21. Porcentajes de área de los usos de suelo de Baja, Media, Alta y Muy Alta.....	129
Tabla 5.22. TSS medidos y arrojados por el modelo – Cuenca Derecha.....	130
Tabla 5.23. TSS medidos y arrojados por el modelo – Cuenca Izquierda.....	130
Tabla 5.24. Valores de R ² alcanzados con el ajuste del modelo de calidad de aguas.....	132



Tabla 5.25. TSS medidos y modelados de los eventos usados para la validación del modelo– Cuenca Derecha.....	136
Tabla 5.26. TSS medidos y modelados de los eventos usados para la validación del modelo– Cuenca Izquierda.....	137



1. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua en áreas urbanas, particularmente de los efluentes pluviales, es un tema que ha ganado importancia en los últimos años. Esto se debe a dos motivos:

- i) Las ciudades albergan el 50% de la población mundial y para mediados del siglo XXI se estima que alcanzará el 70% (Niemcynowicz, 1996 apud Maksimovic, 2001);
- ii) Las actividades humanas generan gran cantidad de poluentes, que se depositan en la superficie de calles, veredas y techos de los edificios y son lavados por la escorrentía urbana. Es por esto que el efluente pluvial presenta altas concentraciones de contaminantes.

En consecuencia una porción cada vez mayor de la población está expuesta periódicamente a un agua que genera un impacto visual negativo, efectos acumulativos tóxicos sobre plantas y animales y crecimiento de microorganismos indeseables, además de la degradación del cuerpo receptor.

La contaminación del agua es el resultado de un manejo negligente del recurso hídrico. En el caso de la escorrentía urbana, esta negligencia se refleja en la ocupación de áreas naturalmente inundables, el crecimiento no controlado de superficies impermeables y la falta de espacio para el manejo eficiente de las aguas pluviales. La impermeabilización de la superficie de la cuenca genera mayores caudales picos y un aumento del volumen total de la escorrentía, con la consecuente mayor efectividad en el lavado de los poluentes depositados en superficies impermeable y un marcado aumento de las tasas de erosión del suelo. En tanto que la ocupación de áreas ribereñas y la falta de espacio para el manejo de aguas pluviales, ubican a muchas cuencas urbanas en situación de potencial anegamiento y a la exposición de sus pobladores a aguas contaminadas.

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

Como caso paradigmático puede citarse el desarrollo del conurbano bonaerense sobre la cuenca Matanza – Riachuelo, en cuya superficie (2.238Km²) se asientan casi 5 millones de personas y funciona el polo industrial más importante del país. El desarrollo urbano sobre la cuenca, careció de una política de ordenamiento del territorio y de ocupación del suelo, con fuertes tendencias hacia la urbanización de alta densidad. Los problemas de hoy se reflejan en múltiples aspectos, tales como problemas en la salud de la población, inundaciones frecuentes y degradación del medio ambiente rico y diversificado, entre otros. Con la transformación de un ambiente rural a un urbano, este tipo de problema se agrava cada vez más. (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, 2009).

Los contaminantes presentes en las escorrentía urbana son: sedimentos, sustancias que demandan oxígeno, nutrientes (nitrato y fósforo), metales pesados, pesticidas, grasas y aceites, bacterias y virus, ácidos y bases, sustancias húmicas precursoras de trihalomentanos, gases malolientes, cloruros y sodios, etc (Jiménez Gallardo, 1999).

Unos de los poluentes más importantes son los sedimentos. Estos, transportados por el drenaje urbano, generan depósitos que obstruyen los conductos del sistema menor, aumentan la turbidez del agua, cambian el lecho del cuerpo receptor reduciendo su capacidad de flujo y afectando la vida acuática. Además la fracción más fina de los sedimentos es susceptible de transportar



contaminantes adsorbidos tales como metales pesados, amonio, fertilizantes, pesticidas y policlorobifenilos (PCBs), entre otros. (Porto, 2001). Es decir, que los problemas generados por los sedimentos no solo atañen la calidad del agua sino que conllevan pérdidas de suelo y afectación del sistema de conductos del drenaje, por lo que el abordaje de su problemática exige un enfoque mixto en donde intervienen entre otras disciplinas, la sedimentología y la hidrología.

Por otro lado, vinculados con la escala temporal, los efectos que estos pueden tener sobre el cuerpo receptor pueden ser agudos o acumulativos. Si es agudo, el impacto provocado por eventos aislados es importante en especial aquellos eventos extremos. Cuando el efecto es de tipo acumulativo, resulta de importancia evaluar la descarga en un período de tiempo suficientemente largo como por ej. 1 año (Riccardi, 2004).

Las fuentes de sedimentos transportados por la escorrentía urbana son diversas, a saber:

- iii) Zonas de suelo descubierto, que son erosionadas por el impacto de las gotas de lluvia y el efecto de corte generado por la escorrentía;
- iv) Fuentes difusas, generadas principalmente por deposiciones atmosféricas y emanaciones de vehículos.
- v) Fuentes concentradas, generadas por actividades humanas, tales como construcciones civiles, industrias y limpieza de jardines.

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

Por lo tanto, no tiene sentido utilizar, en este caso, el concepto de tormenta de diseño orientado únicamente a la cantidad de escorrentía, ya que, dependiendo de la humedad antecedente una misma precipitación puede generar escorrentía con diferentes cargas de sedimento.

Ante la complejidad de la dinámica de los fenómenos que originan los sedimentos transportados por la escorrentía urbana y el efecto que estos producen en el medio ambiente, es necesario readecuar los modelos que históricamente se han utilizados para analizar solamente la cantidad de la escorrentía. Para ello es fundamentalmente contar con un mayor conocimiento en la materia, datos confiables y una adecuada interpretación.

A pesar de lo detallado en el párrafo anterior las investigaciones referidas a la hidrosedimentología en ambientes urbanos son incipientes, la mayoría se ha desarrollado en países de clima templado, siendo necesario readecuar los conocimientos alcanzados ante condiciones climáticas específicas. En todo el mundo los datos sobre tasas de sedimentos en ambientes urbanos son escasos.

La ciudad de Resistencia, capital de la provincia del Chaco, está ubicada en el nordeste argentino, donde predomina un clima subtropical con estación seca. Las cuencas que aportan al sistema de drenaje presentan pendientes muy bajas (inferiores al 0,1%), además el sistema presenta insuficiencia en la capacidad de conducción debido al incremento de las áreas de aporte y al deterioro por deposición de sedimentos o rotura de conductos (Depettris *et al.*, 2007). De la deposición de sedimentos en el sistema de macrodrenaje, es posible asumir que las intensas precipitaciones sumadas a las bajas pendientes del terreno y los escasos trabajos de limpieza son sus principales



causantes. Para alcanzar una solución integral a los problemas planteados, es fundamental conocer los factores que generan mayores cargas de sedimentos en la escorrentía urbana de Resistencia.

El presente estudio comprende un análisis de los procesos de generación y transporte de sedimentos en la ciudad de Resistencia tomando como estudio de caso una microcuenca representativa del conjunto, ubicada del Sector Sur de la ciudad. Para ello se realizaron mediciones sistematizadas a fin de determinar las cargas de sedimentos acumulados en tiempo seco (sin días de lluvia) y las transportadas por la escorrentía urbana durante las precipitaciones. Las mediciones se diseñaron de manera de ser simples y de bajo costo, con el propósito de ser replicadas posteriormente en otros sitios de la ciudad y de la región. A partir de los datos recolectados fue posible realizar una interpretación de los fenómenos analizados en la ciudad y aportar una crítica a los modelos utilizados mundialmente para predecir las concentraciones de sedimentos en el efluente pluvial.

El trabajo realizado es inédito en la región, ya que, no se han encontrados mediciones sistematizadas de calidad de aguas del efluente pluvial recolectadas directamente en el macrodrenaje. También son los primeros aportes de cantidad de sedimento acumulado en tiempo seco en la zona.



2. OBJETIVOS

El trabajo propuesto plantea las siguientes hipótesis:

- La carga de sedimentos depende de factores propios de la cuenca y de las condiciones de escurrimiento antecedentes.
- Entre los factores de la cuenca se pueden citar la cantidad de sólidos acumulados en las cunetas, la superficie impermeable directamente conectada al sistema mayor y las áreas de suelo desprotegido.
- La carga de sedimentos es directamente proporcional al caudal líquido que la arrastra.

Los objetivos generales se detallan a continuación:

- Mejorar el estado del conocimiento de la hidrosedimentología en ambientes urbanos.
- Identificar los factores que generan mayores cargas de sedimentos en la escorrentía urbana
- Generar información que permita la planificación, el diseño y la gestión operacional de un drenaje urbano sustentable.

Los objetivos específicos se describen a continuación:

- Determinar las cargas de sedimentos arrastradas por el escurrimiento urbano.
- Relacionar las cargas de sedimentos, con los caudales líquidos que las arrastran.
- Cuantificar la acumulación de sedimentos en tiempo seco.
- Cuantificar las variables que intervienen en el proceso de acumulación y transporte de sedimentos en ambientes urbanos.
- Predecir la carga de sedimentos transportados por el escurrimiento urbano, para cualquier precipitación.



3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Generalidades

Desbordes (1987) identifica tres periodos esenciales del drenaje urbano en los países desarrollados:

- etapa inicial ligada al concepto sanitarista (higienicista) del drenaje de las ciudades;
- etapa transitoria caracterizada por la racionalización del cálculo hidrológico – hidráulico y la normalización de estudios y proyectos y
- etapa actual ligada al enfoque científico y ambientalista del drenaje urbano.

La situación argentina actual es el resultado de una mezcla de acciones no coordinadas, donde coexisten algunos objetivos inalcanzados de la etapa de normalización de los cálculos y de esfuerzos, mayormente aislados, que se inscriben en la tercera etapa del enfoque científico y ambientalista. En general no se consideraban efectos sobre cuerpos receptores, propagación de efectos (en términos de cantidad y calidad) en dirección aguas abajo y procesos de deterioro ambiental acumulativos a largo plazo. Esta visión mecanicista de la circulación del agua urbana no es aceptable en una época donde se proponen acciones respetando las condiciones naturales o la sustentabilidad del medio ambiente (Bertoni et al, 2001).

La ingeniería sanitaria ha venido concentrando sus esfuerzos en el estudio de los efluentes cloacales e industriales y su depuración, pero, hasta la última década del siglo pasado poca atención le había brindado a los efluentes pluviales, por considerar que el agua de lluvia es “limpia” y aplicó el concepto “higienista” de conducir estas aguas lo más lejos y lo más rápido posible. Hoy se sabe que los efluentes pluviales arrastran gran cantidad de materia en suspensión y disuelta en su paso por la atmósfera y durante el escurrimiento por las distintas superficies hasta llegar al sistema de drenaje y de allí finalmente al cuerpo receptor.

Una de las primeras investigaciones respecto a la generación de sedimentos en ambientes urbanos la realizó Dawdy (1967) (en Ramos, 1995) que determinó a partir de datos previos y posteriores a la urbanización de Northern Virginia (suburbio de Washington D.C., EEUU) que el proceso de urbanización generó una multiplicación de la producción de sedimentos a una tasa que incrementó de 5 a 10 veces el valor original.

Entre los estudios de sedimentos en la escorrentía urbana se destaca el informe realizado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) denominado “Programa Nacional de Escorrentía Urbana” (Nationwide Urban Runoff Program – NURP, 1983), donde se monitoreó la escorrentía de 28 cuencas urbanas en distintos puntos del país el cual aportó datos que abrieron nuevas líneas de investigación.

En Gran Bretaña, Deletic (1998) realizó importantes investigaciones respecto la calidad del agua al inicio del escurrimiento y la eficiencia de la limpieza de las calles para remover las concentraciones de poluentes en el efluente pluvial. Por su parte Hubber (1988) realizó una compilación bibliográfica que describe el funcionamiento del SWWM (Modelo de Gestión de Aguas Pluviales) que es uno de los modelos de cantidad y calidad de aguas pluviales más usado en el mundo.



En la bibliografía en español se destaca lo realizado por Temprano Gonzalez (1996) que realizó estudios de acumulación de sedimentos en tiempo seco y cuyas líneas de investigación se han extendido a países de América Latina. En Brasil, Paiva dirigió numerosos trabajos de investigación tendientes a determinar la carga de sedimentos generados por microcuencas de la ciudad de Santa María, donde se destacan las tesis de maestría realizadas por Dotto (2006) y Gomez (2008).

En Argentina, se destaca el estudio realizado por Mazza *et al* (2004) en la ciudad de Mendoza, donde escurrimiento pluvial generado en el área urbana es recibido por uno de los canales matrices de riego en la zona rural ubicada al norte de la ciudad (canal Cacique Guaymallén). Así, con los caudales vertidos también van los contaminantes, que el escurrimiento se ha encargado de arrastrar, a los cauces de riego que sirven a la producción agrícola. En ese estudio se realizaron mediciones en las acequias de la ciudad durante tres eventos, donde se registraron caudales líquidos y concentración de poluentes tales como metales pesados (cromo, plomo, zinc, etc.) e hidrocarburos. Los resultados dieron al trabajo un carácter demostrativo, ya que fueron insuficientes para recomendar cualquier tipo de decisiones estructurales y/o no-estructurales, pero demostraron que las concentraciones máximas de todos los contaminantes en todos los eventos medidos superaron lo exigido por las normas del Departamento General de Irrigación de la provincia de Mendoza, en lo referido al vertido de aguas en la vía pública.

Otro antecedente de estudios de calidad de efluentes pluviales en el país lo realizó Collins *et al* (2005) en la cuenca urbana experimental Guadalupe Oeste de la ciudad de Santa Fe, donde los vertidos pluviales descargan en un reservorio que finalmente desagua en la laguna Setúbal. En ese estudio se realizaron muestreos de agua pluvial a la salida de la cuenca antes de su descarga final en la laguna Setúbal y en la laguna Setúbal propiamente dicha. Las tomas de agua pluvial, se hicieron para 7 tormentas donde se han determinados parámetros físico-químicos y se han realizado ensayos de toxicidad aguda, de fitoplancton y zooplancton. Durante todo el monitoreo se registraron concentraciones de sólidos totales de hasta 850 mg/l.

En la Resistencia Bianucci (2002) monitoreó la calidad del efluente pluvial de dos subcuencas urbanas. En el trabajo se analizó temperatura, DQO, Total de sólidos disueltos, conductividad, salinidad y oxígeno disuelto, sin considerar sólidos en suspensión.

El estado del arte respecto a sólidos suspendidos transportados por el efluente pluvial indica que la concentración de este parámetro dependerá de las cargas de sedimento acumuladas en superficie impermeable durante el tiempo seco (sin lluvia), las zonas de suelo desprotegido, con las correspondientes características de erodabilidad de este y de la precipitación acaecida, y de las actividades humanas que se desarrollan en la cuenca. La cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía, dependerá no solo de las fuentes de sedimentos susceptibles de ser transportados, sino también de los caudales líquidos generados y de las características de sedimentos arrastrados. Es evidente que las cuencas urbanas tienen características que las diferencian de las rurales, y que en muchos casos el avance de la urbanización en ambientes naturales ha generado efectos no deseados aun para el propio hombre. La problemática de los sedimentos en ambientes urbanos, no escapa a lo enunciado.

Al efecto, en este capítulo se detalla la investigación bibliográfica que intenta determinar el estado del arte de la hidrosedimentología en ambientes urbanos y su implicancia en el mismo. El desarrollo puede dividirse en cuatro partes. En la primer parte se realiza una breve reseña sobre las características del drenaje urbano, se describen las problemáticas generadas por urbanización y las formas de entender la escorrentía en cuanto a su cantidad. En la segunda parte se describe los



sedimentos en ambientes urbanos, sus características, y los procesos de acumulación y lavado de estos. En la tercera parte se describe los objetivos y valores que definen al “*drenaje urbano sustentable*”, las formas con que el sistema de desagüe pluvial debe interactuar con otras infraestructuras para alcanzar tal designación y los proyectos encarados en distintos países del mundo que buscan, entre otros aspectos, abordar una solución a la problemática enunciada en la primera parte. En la cuarta parte se detallan las metodologías utilizadas para el monitoreo hidrosedimentológico en ambientes urbanos.

3.2 El sistema de Drenaje Urbano

Los Sistemas de Drenaje Pluvial o Sistema de Drenaje Urbano están compuestos por elementos físicos que colectan, almacenan, transportan y tratan el escurrimiento pluvial en las ciudades. Estos componentes incluyen: techos, canaletas, conductos domiciliarios, calles, colectores pluviales, canales a cielo abierto, bocas de tormenta, captaciones de zanjales, cámaras de inspección, disipadores de energía, etc (Riccardi, 2004).

En la actualidad, el término drenaje urbano es entendido como el conjunto de medidas que tienen por objetivo (Porto et al, 1995):

- minimizar los riesgos a que la población está sujeta,
- disminuir los perjuicios causados por inundaciones y
- posibilitar el desarrollo urbano de manera armónica, articulada y sustentable

3.3 Característica del Drenaje Urbano

El drenaje urbano es dimensionado en dos niveles principales: macrodrenaje y microdrenaje. Se caracteriza como macrodrenaje a los escurrimientos de fondos de valle que normalmente son bien definidos. Las cuencas de macrodrenaje poseen áreas de por lo menos 5 km², dependiendo de la ciudad y el grado de urbanización. El término microdrenaje se aplica a áreas donde el escurrimiento natural no es bien definido y, por tanto, es determinado por la ocupación del suelo. En áreas urbanas, el microdrenaje es delimitado por el trazado de calles (Porto et al, 1995). La red de microdrenaje está constituida por diversos componentes hidráulicos los que se pueden visualizar en forma esquemática en la Figura 3.1 (Mays, 2004).

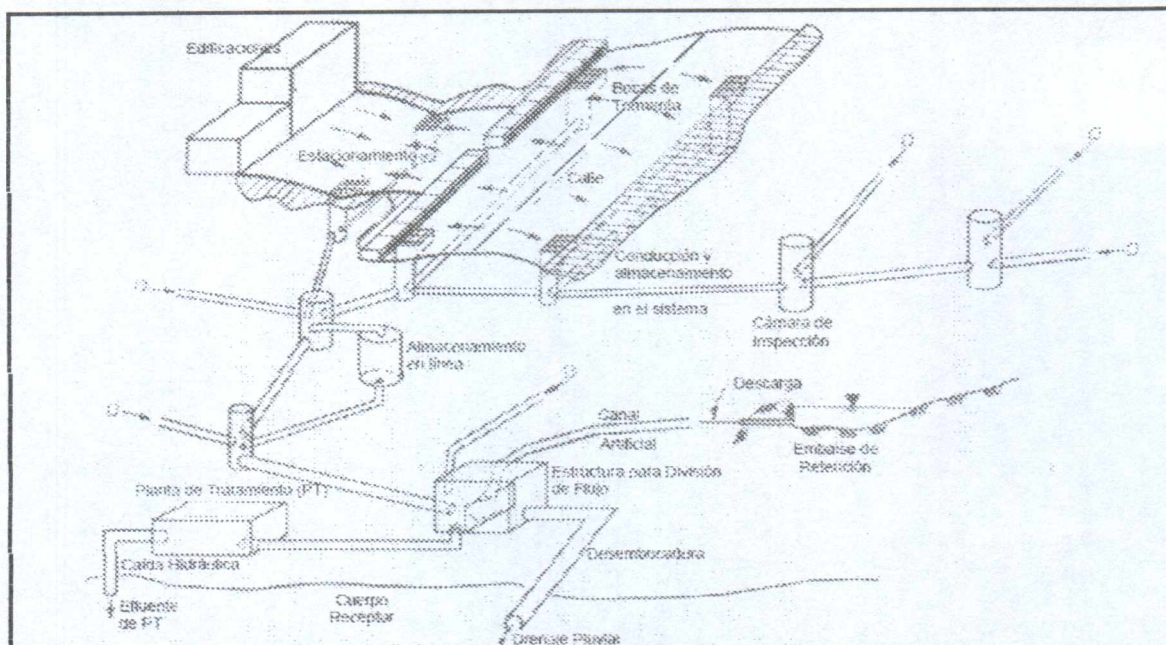


Figura 3.1. Principales Elementos Hidráulicos de una Red de Microdrenaje (ASCE, 1992)

El macrodrenaje de las 5600 hectáreas de la ciudad de Resistencia está constituido por dos grandes sistemas: a) el norte, que corresponde a la cuenca inferior del río Negro y b) el sistema sur. El primer funciona con lagunas naturales (meandros abandonados del río Negro) que ofician de reservorios temporales, desde donde el agua es volcada al río Negro a través de bombeo o de descargadores de fondo con compuertas, dependiendo de los niveles del río. Las lagunas totalizan 28, con superficies que van desde 5 a 70 hectáreas. A su vez, el sistema sur funciona en base a conductos enterrados y canales a cielo abierto que descargan a un canal principal que sigue la traza de las avenidas Malvinas Argentinas-Soberanía Nacional (CFI y AFIN, 1995).

3.4 Impactos generados por la Urbanización

Para posibilitar el desarrollo urbano de manera armónica, articulada y sustentable el drenaje urbano debe mitigar los siguientes impactos generados por el proceso de urbanización (Tucci et al, 1995 y Riccardi, 2004):

- Impacto en el Balance Hídrico
- Impacto en el Hidrograma de Crecida
- Impacto de la Urbanización en el Estiaje
- Decrecimiento de la Calidad de Agua Superficial y Subterránea
- Incremento de Procesos de Erosión-Sedimentación

Impacto en el Balance Hídrico

El balance hídrico en una cuenca urbana se altera, con el aumento del volumen de escurrimiento superficial y la reducción de la recarga natural de los acuíferos y de la evapotranspiración.

Además de la precipitación y de la correspondiente recarga, el acuífero recibe parte del agua de la red agua potable (10 a 50 % del volumen transportado), pérdidas de la red de desagües cloacales y pluviales. Cuando no existe red cloacal, todo el volumen abastecido descarga en el acuífero a través de las cámaras sépticas. Ese volumen presenta el agravante de contaminar el acuífero, creando condiciones ambientales indeseables.

Las pérdidas por evapotranspiración se alteran de acuerdo con el clima y la época del año. En períodos con alta temperatura, la pérdida por evaporación de una superficie impermeable puede ser alta, debido al calor almacenado en los asfaltos, tejados u otros pavimentos. Por otro lado, como el escurrimiento es rápido, hay tendencia a que ocurra reducción de la evapotranspiración, ya que el agua transita velozmente por la cuenca.

Impacto en el Hidrograma de Creciente

Las cuencas urbanas están caracterizadas por el aumento de la impermeabilización y reducción de la infiltración debido al revestimiento del suelo como consecuencia de la construcción de edificios, pavimentación de avenidas, etc. que producen impacto sobre las condiciones de escurrimiento (Depettris et al, 2007). Estas alteraciones pueden ser dramáticas como muestra la Figura 3.2 que relaciona el crecimiento de los caudales máximos de crecida, con el área urbanizada de la cuenca y el área servida por obras de drenaje (Leopold, 1968).

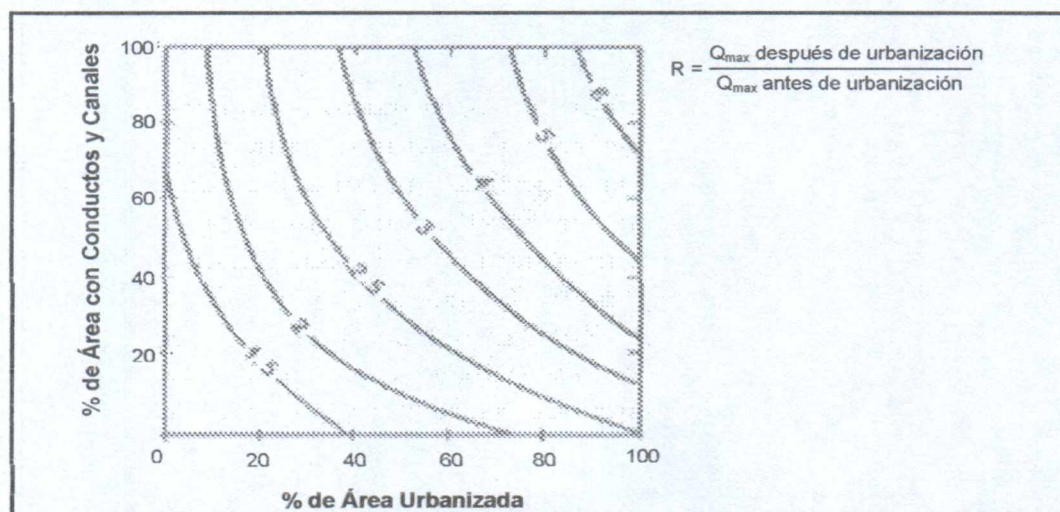


Figura 3.2. Aumento de Caudal Máximo (Leopold, 1968)

En la ciudad de Resistencia se calculó que un aumento de la impermeabilidad en un 1% puede generar un 3,8% de aumento en el caudal pico de escurrimiento superficial, siempre considerando una misma precipitación y sin la colocación de conductos que aceleren el desagüe (Ruberto et al, 2011).



Impacto de la Urbanización en el Estiaje

La tendencia a la reducción de recarga de los acuíferos, producto de la impermeabilización del suelo, produce un abatimiento del nivel freático y la disminución de caudales durante los estiajes. En un eficiente sistema de distribución de agua, red cloacal y tratamiento, sin descargas clandestinas, el sistema urbano tendría sus riachos prácticamente secos durante los estiajes.

Deterioro de la Calidad del Agua Superficial y Subterránea

En las ciudades se genera una contaminación difusa producto de: la abrasión y desgaste de los vehículos, la basura acumulada en las veredas, los desperdicios orgánicos de aves y animales domésticos, la actividades de la construcción, los combustibles y aceites de los vehículos. Los poluentes más importantes son los sedimentos, materia orgánica, bacterias, metales pesados, hidrocarburos y pesticidas. Todos estos son depositados en la superficie de la cuenca y el escurrimiento urbano los transporta, en suspensión o en solución y por tanto esto conlleva a una mayor carga de poluentes (Porto, 2001).

Los proyectos de drenaje urbano ubican la descarga del efluente pluvial en zonas donde este puede ser fácilmente evacuado, o bien, no genere daños a la vidas o bienes de los habitantes de la ciudad. Estas zonas de descarga son usualmente cuerpos de aguas que pueden ser río, arroyos, lagos, etc y son denominados cuerpos receptores. El efluente pluvial, por tanto, puede deteriorar la calidad de dichos cuerpos receptores.

La calidad y el hábitat de los cuerpos receptores del efluente pluvial se definen en función de características físicas, químicas y biológicas. Los cuerpos receptores no solo son afectados por las descargas, ya sean en tiempo seco como lluviosos, sino también por el desarrollo histórico de la cuenca y el funcionamiento actual del sistema de drenaje incluyendo el propio cuerpo receptor. La escala de tiempo de los efectos de los contaminantes sobre los cuerpos de agua receptores es un factor esencial a ser considerado.

Los efectos sobre los cuerpos receptores pueden clasificarse en agudos y acumulativos o crónicos, según el tiempo de afectación. En la Figura 3.3 se presentan esquematizados las escalas de tiempo de los efectos de los principales contaminantes observados en desagües pluvio-cloacales y desagües pluviales.

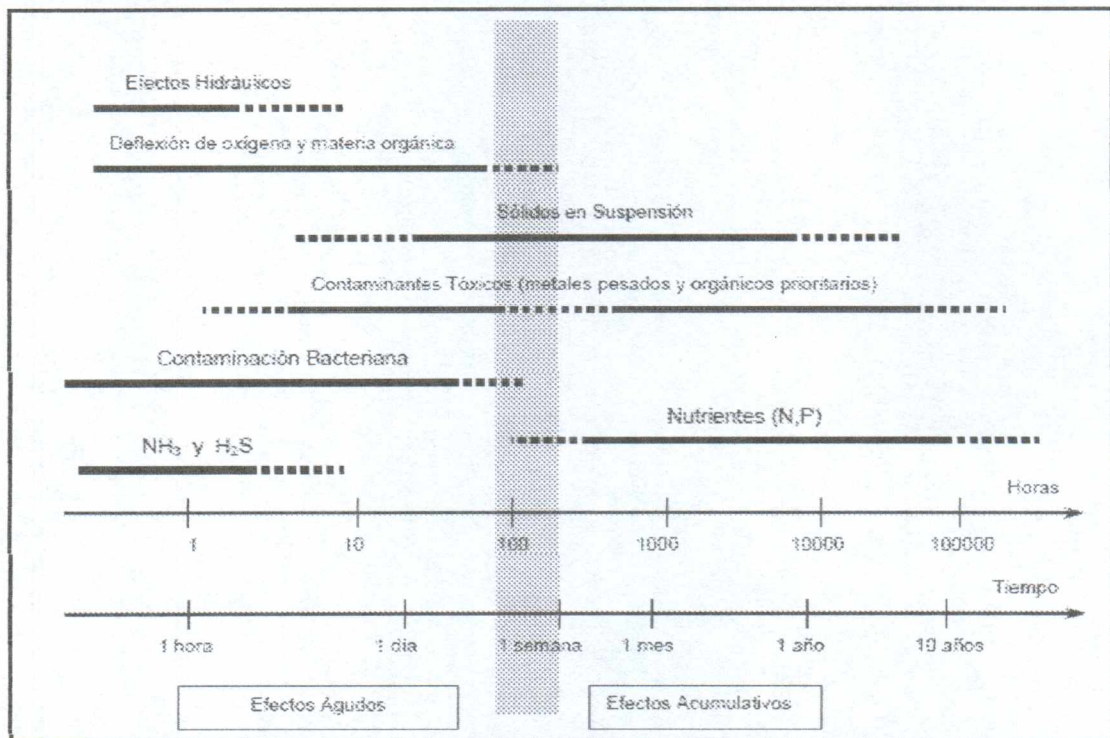


Figura 3.3. Escala de tiempo para los efectos en cuerpos de agua receptores producidos por descargas intermitentes. Fuente: Ellis y Hvitved-Jacobsen (1996).

Vinculado con la escala temporal de los efectos se han determinado dos formas características de definir la concentración de contaminantes: la concentración media por evento (CME) y la concentración media en el sitio (CMS). Cuando el efecto es agudo el impacto provocado por eventos aislados es importante en especial aquellos eventos extremos. Cuando el efecto es de tipo acumulativo, resulta de importancia evaluar la descarga en un periodo de tiempo suficientemente largo como por ej. 1 año. En estos casos la diferencia de concentraciones entre eventos no es importante, y la descripción puede ser realizada mediante la relación de las CMSs y el volumen total descargado (Riccardi, 2004).

Incremento de Procesos de Erosión-Sedimentación

La erosión corresponde a la separación y remoción de la partícula de la roca o el suelo. Los principales agentes dinámicos externos de los procesos de erosión son: el agua, el viento, la gravedad, el hielo y agentes biológicos como la acción humana; pudiendo actuar combinados o separadamente (Carvalho, 1994).

En el medio natural, el proceso de erosión hídrica, ocurre en varias fases. La primera fase corresponde a los impactos de las gotas de lluvia que desagregan las partículas del suelo y expulsan ese material del lugar de origen exponiéndolo a acciones hidrodinámicas del escurrimiento superficial (Figura 3.4). La segunda fase se denomina "erosión laminar" y se genera cuando se inicia el escurrimiento superficial. Este produce una erosión superficial en camadas delgadas en toda el área de afectación. La tercera fase se denomina "erosión en surcos" y resulta de la concentración del escurrimiento en caminos preferenciales.

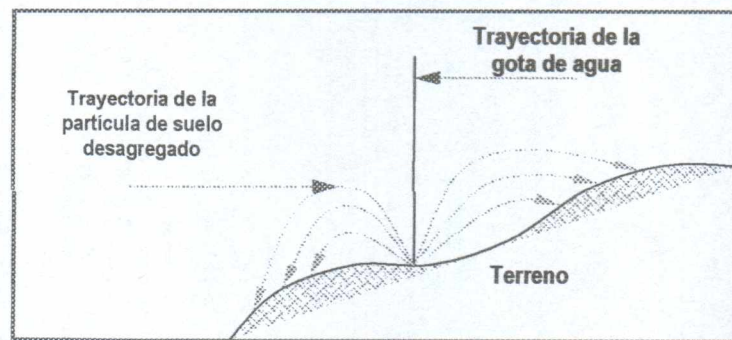


Figura 3.4. Erosión de las partículas del suelo provocada por el impacto de las gotas de lluvia

La erosión es más intensa cuanto menor es la protección del suelo. Estando una partícula suelta, es separada de su posición pudiendo ser transportada por la escorrentía hacia los cursos de agua, o introducirse en los surcos de terrenos planos.

La separación de su posición o el transporte de los sedimentos dependen de la forma, el tamaño, peso de la partícula y de las fuerzas ejercidas por la acción del escurrimiento. Cuando esas fuerzas se reducen hasta la condición de no poder continuar desintegrando una partícula, ocurre el proceso de deposición. Estos depósitos pueden ser de pequeño, mediano o grande volumen, o también transitorios o permanentes, como las obstrucciones.

Los principales indicadores de evaluación potencial de erosión de la cuenca se describen en la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (Ecuación 3.1) para áreas rurales (Wischmeyer y Smith, 1977).

$$E = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad [3.1]$$

Donde:

E: pérdida de suelo por unidad de área y tiempo;

R: factor de Erosividad de la lluvia que expresa la erosión potencial de la precipitación;

K: factor de erodabilidad del suelo que representa la capacidad del suelo de sufrir erosión por una determinada lluvia;

L: factor topográfico que expresa el largo del declive;

S: factor topográfico que expresa la pendiente del terreno;

C: factor que expresa el manejo del suelo;

P: factor que expresa la práctica conservacionista del suelo.

Este tipo de formulación es bastante didáctico, pues presenta de forma explícita los factores que afectan la pérdida de suelo. Dos de los primeros factores (R, K) son debidos a características naturales, en tanto los dos últimos (C y P) se deben tan solamente a la acción antrópica. Los factores topográficos (L y S) pueden, de alguna forma ser modificados por el hombre (Ramos, 1995).

La capacidad erosiva de una tormenta depende del agua caída y de su intensidad. Una tormenta intensa no solo presenta un alto potencial de erosión de impacto generado por la caída de las gotas de lluvias, sino que también aquella por la escorrentía superficial. La temperatura de las gotas de

lluvia es significativa, ya que el agua a temperaturas más bajas infiltra con mayor dificultad en el suelo, facilitando el escurrimiento superficial, esto hace que las tasas de pérdida del suelo a causa de una tormenta de invierno superan las registradas para una tormenta de verano para una tormenta de igual intensidad y duración. Sin embargo, pese a que la intensidad de la tormenta se encuentra en directa relación con la erosión producida, son las tormentas de intensidad intermedia las que, en el largo plazo, producen la mayor cantidad de pérdida de suelo debido a una combinación entre período de retorno y erosión unitaria (Brea y Balocchi, 2010). La Tabla 3.1 ilustra este concepto, en efecto la mayor erosión total se registra en los valores de las filas centrales de la tabla.

Tabla 3.1. Relación entre la intensidad de la tormenta y erosión producida en Zanesville, Ohio (Fournier, 1972 apud Brea y Balocchi, 2010)

Máxima agua caída en 5 minutos (mm/hr)	Número de tormentas	Erosión por tormenta (t/ha)	Erosión total (t/ha)
0 - 25,4	40	3,7	148,0
25,5 - 50,8	61	6,0	366,0
50,9 - 76,2	40	11,8	472,0
76,3 - 101,6	19	11,4	216,6
101,7 - 127,0	13	34,2	444,6
127,1 - 152,4	4	36,3	145,2
151,5 - 177,8	5	38,7	193,5
177,9 - 254,0	1	47,9	47,9

La velocidad de caída y el diámetro de las gotas de lluvia tienen efectos erosivos. Se ha comprobado que el tamaño medio de las gotas de lluvia aumenta a medida que la intensidad se incrementa, lo que ocurre hasta los 100 mm/h. A intensidades mayores se registra una disminución del diámetro medio de las gotas por las turbulencias generadas sobre las grandes gotas.

La vegetación actúa como cubierta protectora. Como regla general, la efectividad de la vegetación para reducir la erosión de impacto depende directamente de la altura y continuidad de la copa de los árboles, así como la densidad de la cobertura superficial (pastos, hierbas y arbustos). Estudios demuestran que las hojas *lobuladas*, forman gotas cuyo diámetro dobla el de las gotas de lluvia. Además, se dice que a siete metros de altura de copa, las gotas que impactan el suelo lo hacen a una velocidad equivalente al 90% de su velocidad máxima, lo cual indica que a mayor altura de copa, mayor erosión se produce. Como resultado, las tasas de erosión de impacto bajo las copas de los árboles pueden ser hasta tres veces mayores que las producidas en suelos desnudos que reciben precipitación directa.

Sin embargo, los componentes aéreos (ramas y hojas) de algunas especies arbóreas son más efectivos en cuanto a la absorción de la energía cinética contenida en las gotas de agua, así como la disminución del escurrimiento superficial y la velocidad del viento. Especies frondosas, de ramas horizontales y copas relativamente bajas, son consideradas las más efectivas contra la erosión de impacto. En cuanto al tipo de hoja, las *acículas* de especies pináceas tienen la capacidad de desintegrar las gotas de lluvia, minimizando el potencial erosivo de éstas.

Las cortezas lisas generan mayores volúmenes de escurrimiento fustal, mientras que una corteza *rugosa* va a retener una mayor cantidad de agua de lluvia, por lo que menor será el escurrimiento superficial.

La presencia de una *cobertura vegetal* no solo protege el suelo contra la erosión de impacto, sino que también brinda rugosidad al terreno, reduciendo la velocidad del flujo superficial y, por ende, su poder erosivo. Como regla general, mientras más densa y homogénea sea la cubierta vegetal, mayor es su efectividad en la disminución de la erosión laminar.

Los componentes subterráneos (raíces) de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas constituyen una variable indispensable en cuanto al control de la erosión y la sedimentación, pues mantienen el suelo en su lugar. Se ha demostrado que la presencia de raíces profundas ayuda a prevenir movimiento de masas en laderas, principalmente porque dichas masas se encuentran “ancladas” a la tierra gracias a las raíces de los árboles (Figura 3.5). Además, las raíces superficiales finas ayudan a sujetar el suelo, formando un conglomerado firme y difícil de romper, incluso con un reducido número de raicillas y suelos de baja cohesividad.

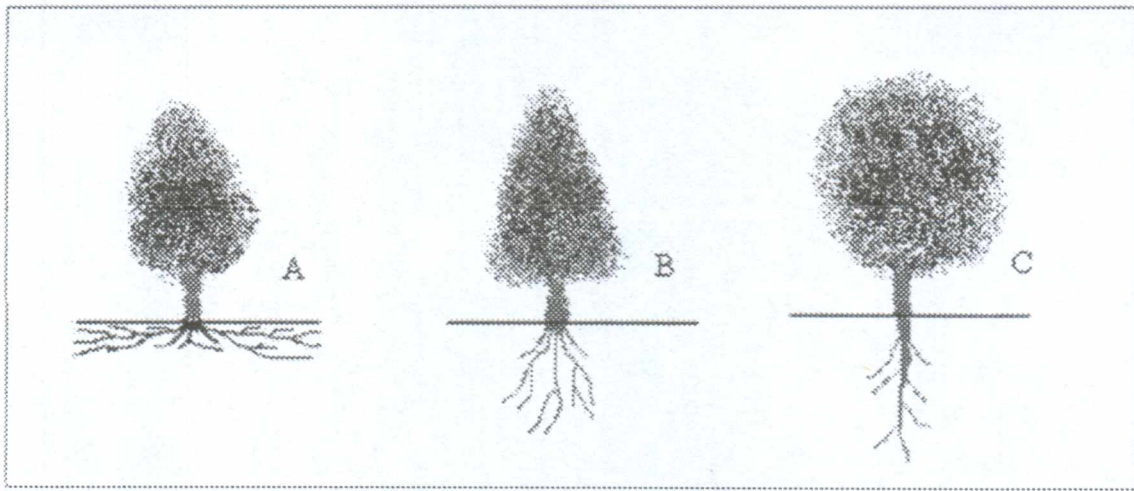


Figura 3.5. Tipos de raíces de la vegetación (A) las raíces superficiales, (B y C) las raíces más profundas (García-Chevesich, 2010).

No todos los suelos son iguales en términos de su resistencia a la erosión. La erosibilidad de un suelo en particular está en función de variables como textura, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad.

Las partículas medianas del suelo son las que más fácilmente se erosionan. Si bien las partículas más finas son más livianas, éstas poseen una mayor superficie de contacto entre ellas y, por lo tanto, una mayor cohesividad, lo que las hace más resistentes a la erosión. Por otro lado, las partículas más gruesas son más pesadas, lo que también aumenta su resistencia a la erosión. Sin embargo, las partículas medianas (0,1 a 1 mm) no poseen cohesividad ni peso relevantes, por lo que son éstas las más erosionables. Por esta razón, se dice que la variable decisiva, en términos de la erosión con respecto a la textura del suelo, es el *porcentaje de limo*, pues dicha clase textural se encuentra entre las clases arcilla y arena, siguiendo el mismo principio antes descrito. La *materia orgánica* puede mejorar casi todas las propiedades del suelo, pues la presencia de ésta aumenta la aireación e infiltración, así como la *cohesividad* interparticular. (García-Chevesich, 2010).

La topografía es una variable muy importante al momento de predecir la erosión y sedimentación en un sitio dado. Factores como inclinación y largo de la pendiente determinan la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial que se generarán producto de una tormenta dada. La



distancia horizontal en la que viaja una partícula de suelo desprendida por el impacto de una gota de lluvia, está en directa relación con la inclinación de la pendiente.

El uso de la tierra es la variable más importante dentro del conjunto de los factores que afectan la erosión y la sedimentación de una cuenca. Los sitios en construcción representan la actividad humana más devastadora, en términos erosivos, debido a la agresividad espacial y temporal asociada a éstos. La acción antrópica puede acentuar los procesos erosivos por el uso de técnicas inadecuadas. En zonas urbanas las principales causas que generan pérdidas de suelo son las que se citan a continuación (Almeida, 2008):

- Implantación de ciudades en terrenos altamente arenosos, con relieve ondulado y pendiente acentuada de 10%, sin planeamiento adecuado.
- Retiro del suelo vegetal y construcción de edificaciones, causando la disminución del tiempo de concentración y el aumento del escurrimiento superficial.
- Falta de pavimentación y trazado deficiente de calles y sistemas de drenaje.

En la consolidación de las áreas urbanas e implantación de infraestructura de manera general, hay disminución de la exposición de suelo y consecuentemente reducción de las posibilidades de ocurrencia de los procesos erosivos. La fase de parcelamiento de suelo es significativa, tanto en la instalación de infraestructura urbana como en la ejecución de edificaciones,

Adoptándose este principio, las principales categorías de uso de suelo en áreas urbanas y su relación con los procesos erosivos son:

- Áreas urbanas consolidadas: con alto grado de impermeabilidad del suelo, generan grandes volúmenes de escurrimiento superficial, que muchas veces por el dimensionamiento del sistema de drenaje y la descarga de aguas pluviales en lugares no apropiados, provocan erosiones de gran porte.
- Áreas de Expansión Urbana: son núcleos urbanos y loteos localizados usualmente en la periferia, aun en zonas baja susceptibilidad a la erosión, ocurren severos procesos de degradación del suelo en función de las fuertes modificaciones provocadas por el parcelamiento del suelo y la falta de infraestructura.

Dawdy (1967) *apud* Ramos (1995) determinó a partir de datos de pre y posturbanización de Northern Virginia suburbio de Washington D.C. (EEUU) que el proceso de urbanización generó una multiplicación de la producción de sedimentos a una tasa que superó de 5 a 10 veces el valor original (Fig 3.6).

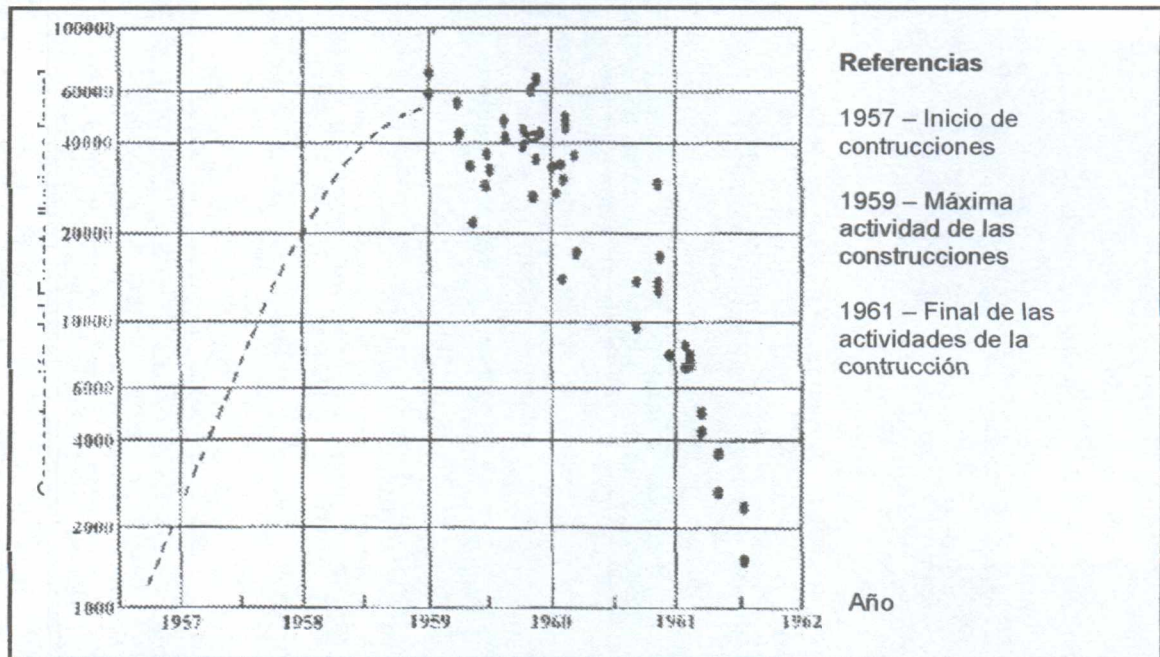


Figura 3.6. Variación de la Producción de Sedimentos en concordancia con el desarrollo urbano (Ramos, 1995).

3.5 Modelos de Transformación Lluvia - Caudal

Los fenómenos hidrológicos son extremadamente complejos y es posible que nunca se les entienda en su totalidad. Sin embargo, en ausencia de un conocimiento perfecto, pueden representarse en forma simplificada por medio del concepto de sistema. Un sistema es un conjunto de partes conectadas entre sí, que forman un todo. El ciclo hidrológico puede tratarse como un sistema cuyos componentes son precipitación, evaporación, escorrentía y otras fases del ciclo hidrológico. Estos componentes pueden agruparse en subsistemas del ciclo total; para analizar el sistema total, estos subsistemas más simples pueden analizarse separadamente y combinarse los resultados de acuerdo con las interacciones entre los subsistemas (Chow et al., 1994).

Un modelo de cuenca es un grupo de abstracciones matemáticas que describen fases relevantes del ciclo hidrológico, con el objetivo de simular la conversión de la precipitación en escurrimiento. Es importante reconocer también que los valores obtenidos en el análisis del escurrimiento son siempre aproximados y contienen incertidumbres hidrológicas, producto del déficit en la información disponible y las simplificaciones y abstracciones de los métodos considerados y los criterios adoptados, (Porto, 1995).

Riccardi (2004) considera que actualmente existente tres aproximaciones para describir la transformación lluvia caudal. Una primera aproximación corresponde a los modelos de caja negra (Fig. 3.7.a) los cuales operan basados en la conversión de un estímulo o señal de entrada (lluvia) a una

señal de salida (caudal), mediante un determinado algoritmo de transformación, sin una explicitación de los mecanismos físicos reales de los procesos.

La segunda aproximación corresponde a los modelos de dos componentes (Fig. 3.7.b). El primer componente evalúa la abstracción de las *pérdidas* producidas, en el que se cuantifica la porción de lluvia total caída que se vio afectada por los procesos de interceptación, almacenamiento superficial, evaporación e infiltración. El remanente de lluvia corresponde al escurrimiento superficial y su movimiento se evalúa mediante un *modelo de tránsito*, el cual cuantifica el retardo y atenuación de la onda de crecida conformada por los múltiples aportes de la cuenca. Generalmente las simulaciones son por eventos, generando resultados en los intervalos de tiempo en que se divida el tiempo total del evento. La información antecedente (humedad de suelo, estado de almacenamiento superficial) debe ser suministrada como dato.

El tercer nivel de aproximación corresponde a los modelos matemáticos basados en el modelo de procesos físicos (Fig. 3.7c). En este tipo de modelos se identifican y evalúan matemáticamente gran parte de los procesos presentes en el ciclo hidrológico. Estos modelos pueden ser operados por eventos o en largos períodos de tiempo (meses, años), con intervalos temporales a diferente escala. La información antecedente de cada evento puede ser generada dentro del proceso de simulación temporalmente continua. La consideración de la distribución areal de las variables hidrológicas contempladas en la modelación se realiza mediante la subdivisión de la cuenca en subcuencas vinculadas.

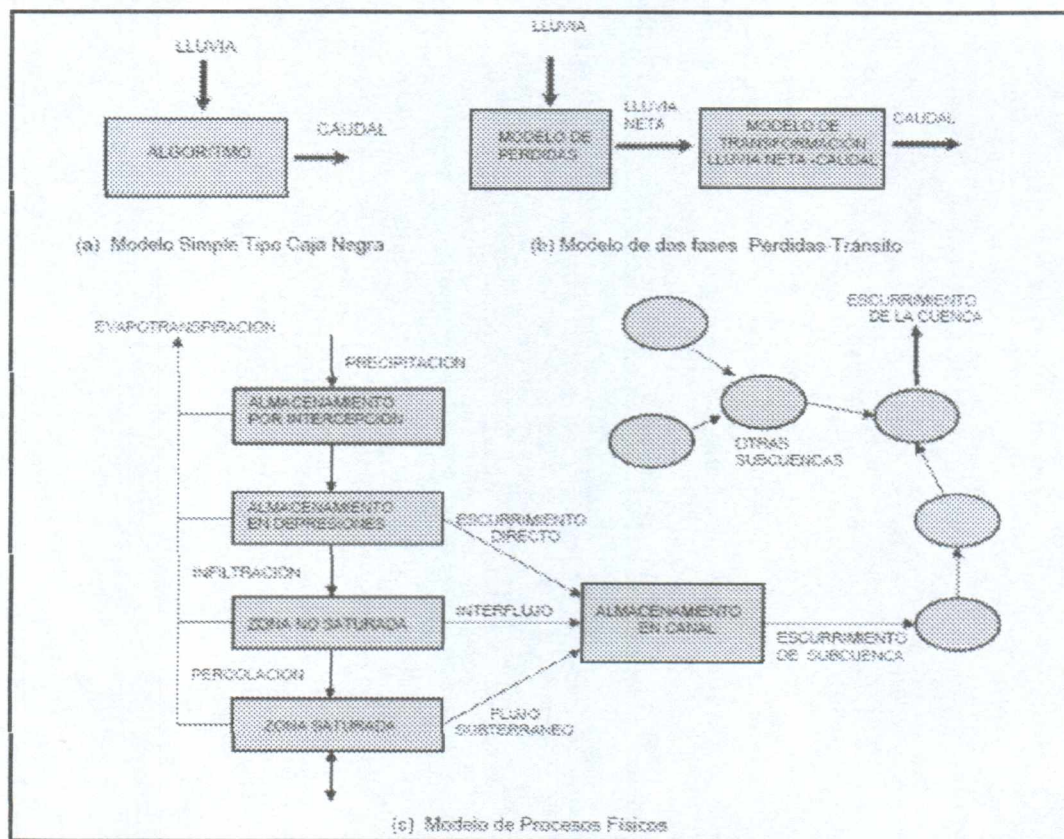


Figura 3.7. Modelos para describir la transformación lluvia – caudal (Riccardi, 2004),

Modelo de Escoorrentía del programa SWMM

El programa Stormwater Management Model (SWMM) de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos, es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones. Según la clasificación dada por Riccardi (2004) este modelo puede ser categorizado como de tercera aproximación, dado que puede ser utilizado para un periodo extendido de tiempo. El programa permite calcular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada. El módulo de escoorrentía hidrológico funciona como una serie de cuencas en las cuales cae agua de lluvia y se genera escoorrentía (Rossman, 2010).

Cada cuenca del modelo funciona como un embalse no lineal (Fig. 3.8). La capacidad de este embalse es el valor un parámetro denominado “almacenamiento en depresión”, que corresponde con el máximo almacenamiento en superficie del suelo y los caudales interceptados en la escoorrentía superficial por las irregularidades del terreno.

A diferencia de los modelos de “embalse lineal”, donde la escoorrentía es proporcional a la profundidad del agua en el embalse, en el SWMM la escoorrentía superficial se produce únicamente cuando la profundidad del agua excede del máximo almacenamiento en depresión.

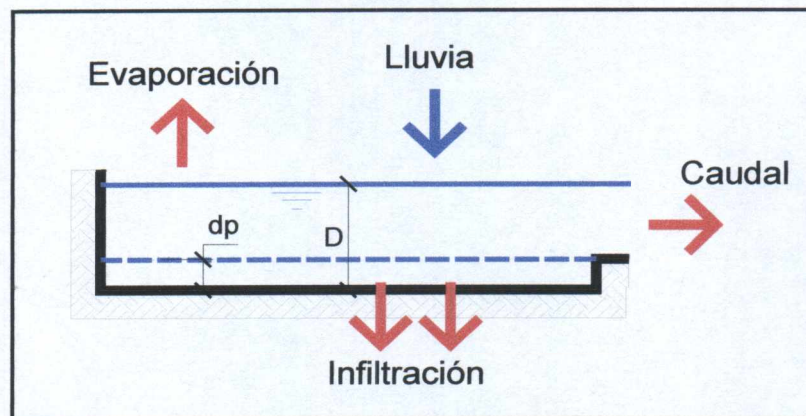


Figura 3.8. Esquema de Embalse No Lineal

Las cuencas pueden dividirse en subáreas permeables e impermeables. La escoorrentía superficial puede infiltrarse en las subáreas permeables, pero no a través de las impermeables. Las áreas impermeables pueden dividirse a su vez en dos subáreas: una que contiene almacenamiento en depresión y otra que no lo contempla. El flujo de la escoorrentía desde una subárea de la cuenca puede fluir hacia otra subárea o, por el contrario, dos subáreas pueden drenar directamente hacia la salida de la cuenca (Figura 3.9).

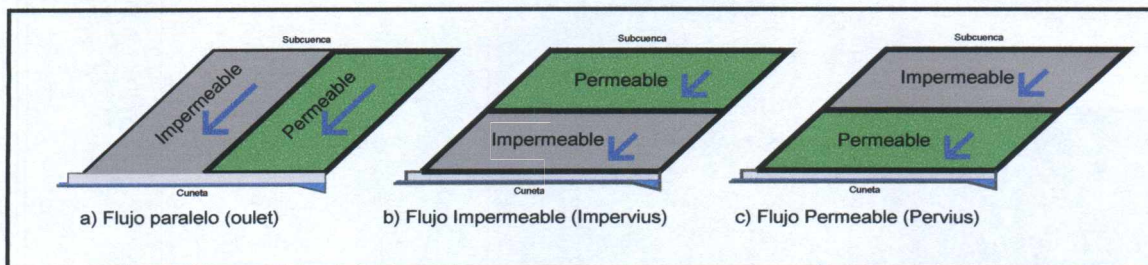


Figura 3.9. Flujo entre áreas de una subcuenca en el modelo SWMM

La infiltración dentro de suelos permeables puede describirse usando tres modelos diferentes:

- Modelo de Infiltración de Horton;
- Modelo de Infiltración de Green Ampt;
- Modelo de Infiltración de Curva Número,

El modelo de curva número es, por su simplicidad, el más utilizado a nivel mundial. Fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos para determinar el volumen de escurrimiento total de un solo evento. Debido a esto el método original no contempla una actualización de condiciones antecedentes de humedad del suelo luego de una precipitación dada, esto es fundamental para realizar análisis continuo. Por tanto, el SWMM introdujo modificaciones en la metodología original del modelo, a fin de utilizar el mismo en análisis continuo para una periodo extendido de tiempo.

A continuación se describe brevemente el modelo de curva número utilizado en el SWMM para un análisis continuo de tiempo.

El método tradicional de dado por el Servicio de Conservación de Suelo de los Estados Unidos parte de la Ecuación 3.2 donde se considera que la relación entre la retención real y la potencial del suelo es igual a la relación entre la escorrentía real y la potencial

$$\frac{P - Q - Ia}{S_{\max}} = \frac{Q}{P - Ia} \quad [3.2]$$

Donde:

P: Precipitación total

Q: Escorrentía

Ia: Abstracción inicial

Smax: Máxima retención potencial del suelo

Sin embargo, el modelo SWMM no utiliza el valor de Ia, dado que considera que el mismo se encuentra implícito en el parámetro "almacenamiento en depresión" (Fig. 3.8), por lo que la Ec. 3.2 queda de la forma siguiente (Ec. 3.3).

$$\frac{P - Q}{S_{\max}} = \frac{Q}{P} \quad [3.3]$$

El caudal puede obtenerse de la Ec 3.4.

$$Q = \frac{P^2}{S_{\max} + P} \quad [3.4]$$

En tanto que el almacenamiento máximo potencial se obtiene de la Ecuación 3.5.

$$S_{\max} = \frac{1000}{CN} - 10 \quad [3.5]$$

Donde:

CN: Curva Numero que depende del uso y tipo de suelo.

El valor de CN se encuentra tabulado, por lo que a partir de las características de suelo se adopta un valor determinado.

A partir de la Ec 3.3 se puede determinar la cantidad de agua infiltrada (F) en un intervalo de tiempo determinado (Ec, 3.6).

$$F = P - \frac{P^2}{S_{\max} + P} \quad [3.6]$$

Para un modelado continuo el modelo SWMM utiliza las Ecuaciones 3.4 y 3.6 aplicadas en una serie de intervalos de tiempo (dt) concatenados, como sigue:

1. Para un tiempo $t_0 = 0 \rightarrow P_0 = 0, F = 0, S = S_{\max}$
2. Para un tiempo $t_1 = t_0 + dt \rightarrow P_1 = P_0 + I_1, dt$, donde I_1 : intensidad de precipitación para intervalo 1, Si $S_1 = 0 \Rightarrow F_1 = 0$; de otra manera $F_1 = P - P^2 / (P + S_1)$,
3. Para un tiempo $t_2 = t_1 + dt \rightarrow P_2 = P_1 + I_2, dt, S_2 = S_1 - F_1$,
Continúa la iteración...

Los valores acumulados de F y S vuelven a cero y $S_{\max}$ respectivamente, siempre que se registre un determinado periodo seco (sin lluvias). Este periodo de tiempo denominado “tiempo de secado” es un parámetro de calibración del modelo. Durante dicho periodo de tiempo, el modelo interpreta un aumento proporcional de S hasta alcanzar el valor de $S_{\max}$ una vez registrado el tiempo de secado.

De lo expuesto se desprende que el valor de Curva Número utilizado en el modelo SWMM debe referirse únicamente para un suelo permeable. Además, el mismo valor de CN será aquel que se desprenda de las condiciones de humedad más bajas (denominada tipo I), sin embargo el método original plantea su elección a partir de condiciones de humedad medias (denominada tipo II). Por tanto, los valores de CN utilizados para el SWMM son más bajos que los utilizados tradicionalmente para una cuenca urbana, esto puede confundir a los usuarios del programa.

Por esto último se descarta la utilización del modelo de Curva número en el estudio de caso aquí planteado.

El método de Green y Ampt es semi-empírico. Deviene de la aplicación de la ley de Darcy y la ley de Conservación de Masa, bajo la asunción de que la infiltración del agua en el suelo es análoga a un flujo pistón (e.g. el suelo debajo del nivel freático está completamente saturado y el suelo por encima presenta un contenido de humedad inicial).

Por tanto, para determinar la lámina infiltrada de un precipitación mediante el método de Green Ampt, se utiliza la Ec. 3.7 (Mays, 2004).

$$f = K_s \cdot t + S_f(\theta_s - \theta_i) \cdot \ln\left(1 + \frac{F}{S_f(\theta_s - \theta_i)}\right) \quad [3.7]$$

Donde:

f: capacidad de infiltración (mm/h);

F: lámina infiltrada (mm);

Ks: conductividad hidráulica en la zona saturada (mm/h);

Sf: presión de poros en el frente húmedo (mm);

θ_s : contenido de agua en la zona saturada;

θ_i : contenido inicial de agua en el suelo

t: tiempo transcurrido (h).

Tanto la conductividad hidráulica (Ks), como la presión de poros (Sf) dependerán de la textura y porosidad del suelo. Estas características suelen variar considerablemente, sobre todo en suelos estratificados como los de Resistencia. Esto puede implicar ciertas imprecisiones en los resultados.

Por tanto, en la cuenca de estudio, se utilizó el modelo empírico de Horton (1939) apud Ricardi (2004). El modelo considera que los mayores valores de tasa de infiltración se registran al inicio de una tormenta pero en el transcurso de la misma esos valores irán decayendo hasta alcanzar tasas de constantes. Este fenómeno puede describirse en la Ecuación 3.8 como expresión diferencial cuya integral puede describirse en la Ec. 3.9.

$$f(t) = f_c + (f_0 + f_c) \cdot e^{-k \cdot t} \quad [3.8]$$

Donde:

$f(t)$: tasa de infiltración [mm/h] en un instante de tiempo t [s];

f_c : tasa de infiltración final [mm/h];

f_0 : tasa de infiltración inicial [mm/h];

K: coeficiente de decaimiento [mm/h];

$$F(t) = f_c \cdot t + \frac{(f_0 + f_c)}{K} \cdot (1 - e^{-k \cdot t}) \quad [3.9]$$

Donde:

$F(t)$: lámina de infiltración acumulada [mm] luego de transcurrido un tiempo t [s];



Ricardi (2004) presenta valores sugeridos por distintos autores de los parámetros de la Ec 3.9 según una clasificación de suelos dada por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de EEUU (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Parámetros recomendados por el UDFCD (1984) y Porto (1995).

Clasificación Hidrológica de Suelos del SCS	Valores Sugeridos en UDFCD (1984)			Valores Sugeridos en Porto (1995)		
	f_0 (mm/h)	f_c (mm/h)	K (1/hora)	f_0 (mm/h)	f_c (mm/h)	K (1/hora)
A	127	25.4	2.52	250	25	2.0
B	114	15.2	6.48	200	13	2.0
C	76	12.7	6.48	130	7	2.0
D	76	12.7	6.48	80	3	2.0

3.6 Características de los Sedimentos

El término sedimento, se refiere a la partícula derivada de la fragmentación de las rocas, por un proceso físico o químico, y que es transportada por el agua o el viento del lugar de origen a los ríos o a los lugares de deposición (Tarbuck y Lutgens, 1999). Además de las partículas minerales, las partículas orgánicas también son consideradas sedimentos.

El arrastre, transporte y deposición de las partículas de sedimentos, por cualquier fluido, es controlado en parte por las propiedades físicas y químicas de las partículas en si mismas y en parte por las propiedades del fluido. Por otro lado el arrastre, de los granos del lecho es controlado, no solo por las características individuales de estos, sino también por las propiedades del montículo de sedimentos (Pye, 1994).

Entre las propiedades que describen a los granos individuales pueden citarse el tamaño, la forma, densidad y la composición química del mismo. En tanto que las propiedades de un montículo de sedimentos incluye la granulometría, clasificación, orientación de los granos, empaquetamiento, y grado de cohesividad o cementación,

Aquí se detallaran brevemente las propiedades más comunes que se describen de los sedimentos que son su tamaño, forma, densidad y cohesividad (Perillo, 2003).

Tamaño del grano

En un depósito dado, el tamaño de grano varía dentro de un rango muy amplio, por otro lado, los granos poseen formas irregulares que impiden establecer directamente un solo valor para definir su tamaño, Blatt *et al* (1980) et al apud Perillo (2003) consideran que el tamaño puede ser definido ya sea por una dimensión lineal o bien como un volumen.

Para el primero de los casos, se han determinado dos tipos de tamaños denominados como diámetro de tamizado y diámetro de sedimentación. El diámetro de tamizado corresponde al tamaño de la abertura del tamiz por el cual la partícula pasa ajustadamente, Mientras que el diámetro de sedimentación es aquel que tendría una esfera con la misma densidad e igual velocidad terminal que la partícula en un fluido idéntico. El primero se emplea para separar las arenas por medio del tamizado mecánico, en tanto que el segundo es utilizado para obtener la distribución de limos y arcillas mediante el método de pipeteado.

En 1894 Udden diseñó una escala geométrica separando los diversos grupos en grados. La nomenclatura de Udden fue modificada por Wentwork (1922) siendo esta empleada en la actualidad (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Escala de tamaño de granos de Udden – Wentwork

Grados		Tamaño [mm]	ϕ	Tamiz ASTM
Gravas	Bloque	256	-8	5 10
	Guijón	64	-6	
	Guijarro	4	-2	
	Granulo	2	-1	
Arenas	Muy gruesa	1	0	18
	Gruesa	0,5	1	35
	Mediana	0,25	2	60
	Fina	0,125	3	120
	Muy fina	0,0625	4	230
Limos	Grueso	0,031	5	PIPETA
	Mediano	0,0156	6	
	Fino	0,0078	7	
	Muy fino	0,0039	8	
Arcilla		0,0020	9	
		0,00098	10	
		0,00049	11	
		0,00024	12	
		0,00012	13	
		0,00006	14	

De una manera general, se puede decir que los sedimentos urbanos son compuestos por una extensa faja granulométrica, donde están incluidas partículas de cuarzo, arcilla, y carbonatos, formando agregados con partículas orgánicas y/o óxidos de hierro o manganeso, además de partículas antropogénicas que aparecen en grandes cantidades en estos ambientes (Poletto *et al*, 2008)

Morfología del Grano

Folk (1974) considera que dentro de la morfología de los granos de sedimentos se pueden incluir cuatro aspectos diferentes de los mismos: 1) forma; 2) esfericidad; 3) redondez; 4) textura superficial.

Es conveniente establecer que, a los efectos prácticos, cualquier grano puede ser definido a través de tres medidas lineales o diámetros, En la Figura 3.10 se representa la proyección de una partícula y la forma en que se deben medir los diámetros mayor (D_L), intermedio (D_I) y menor (D_s).

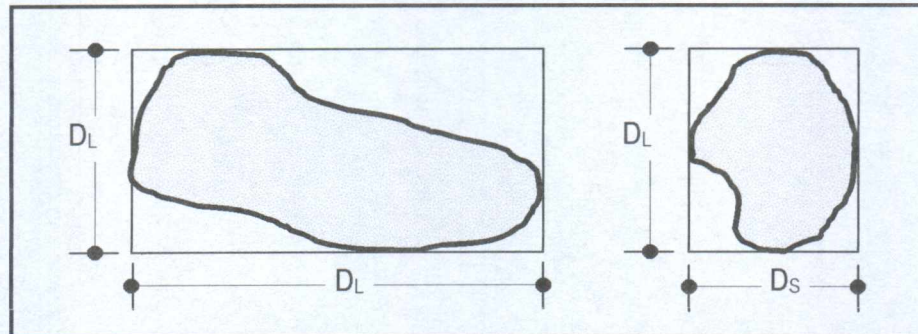


Figura 3.10. Definición de los diámetros de un grano irregular del sedimento.

Tanto la forma como la esfericidad se categorizan a partir de relaciones entre los diámetros definidos en la Figura 3.10.

Para determinar el parámetro de redondez se utiliza la gráfica de Powers, donde se asigna una serie de granos, que representan los miembros claves de una escala logarítmica de redondez que va desde muy angular (0-1) hasta muy redondeado (5-6).

La textura superficial de un grano puede definirse como el grado de rugosidad que esta presenta. En circunstancias favorables, texturas superficiales específicas pueden proveer pistas de la procedencia, el historial del transporte y las alteraciones postdeposicionales del grano (Pye, 1994).

Densidad

La densidad de la partícula de sedimento se define por el cociente entre la masa de la partícula y el volumen ocupado por ella (Ecuación 3.10).

$$\rho_s = \frac{m}{V} \quad [3.10]$$

Donde:

ρ_s : densidad de la partícula

m: masa de la partícula

V: volumen que esta ocupa

La densidad relativa es adimensional e indica la relación entre la densidad de la unidad de la partícula y la densidad el agua a 4°C. La densidad efectiva del grano es la diferencia entre su densidad y la densidad del medio en que esta se haya sumergida.

La densidad del sedimento es una propiedad fundamental en la dinámica del transporte. Aunque en la mayoría de los casos se trata al problema como si fuese una única partícula, en realidad debería considerarse al conjunto de granos que son movilizados por el agente. Pero dada la



procedencia disímil y variedad mineralógica en una misma roca madre, cualquier depósito de sedimentos presenta partículas de distintas densidades.

En la mayor parte de las ecuaciones de sedimento interesa establecer el peso del material que es transportado. Ello se determina a través del peso específico de la partícula en el aire (Ec. 3.11) o el peso específico sumergido (Ec. 3.12)

$$\gamma_s' = \rho_s \cdot g \quad [3.11]$$

$$\gamma_s = (\rho_s - \rho) \cdot g \quad [3.12]$$

Para conocer el peso un volumen dado de sedimentos dentro de un depósito se utiliza no solo la densidad del material sino también la porosidad mediante la Ecuación 3.13.

$$\gamma_m = (1 - \eta) \cdot g + \gamma \cdot \eta \quad [3.13]$$

Cohesividad

La cohesividad es la capacidad que tiene un sedimento de resistir un esfuerzo tangencial aplicado sobre su superficie y que no depende de la fricción entre las partículas que lo componen. La cohesividad surge de las fuerzas electroquímicas que se producen entre los minerales arcillosos y el agua intersticial. Depósitos de sedimentos cohesivos contienen por lo menos un 10% de minerales o sedimentos de tamaño arcilloso. Ello es suficiente para que las propiedades del material sean las propias de la arcillas.

Las arcillas provienen de la alteración y degradación de silicatos (especialmente micas). Se clasifican en tres grandes grupos:

- 1) Grupo de la Caolinita
- 2) Grupo de la Montmorillonita
- 3) Grupo de la Illita

Las caolinitas son el producto de fuertes procesos de meteorización en regiones húmedas y tropicales.

La montmorillonita tiene como característica peculiar la capacidad de permitir que las moléculas de agua se introduzcan dentro de la redícula produciendo una marcada expansión del sedimento que puede originar desmoronamiento del depósito.

Al contrario de las anteriores, la illita no admite el ingreso de agua. Comúnmente las illitas forman arcillas más finas dentro de un depósito sedimentario y suelen corresponder a sedimentos más antiguos.

3.7 Acumulación de Sedimentos

Fuentes de Generación

Dada la complejidad del proceso de erosión urbana es difícil identificar las fuentes de generación de sedimentos. En efecto, el ambiente urbano crea una gran y compleja mezcla de sedimentos que pueden ser provenientes de fuentes más comunes encontradas en esos lugares o bien importadas de otras áreas próximas o incluso muy lejanas (Fig 3.11). Los materiales de construcciones civiles son fuentes importantes de sedimentos urbanos, estudios demostraron que altas concentraciones de calcio en lagos son debidas a este tipo de sedimento (Poletto *et al*, 2008)

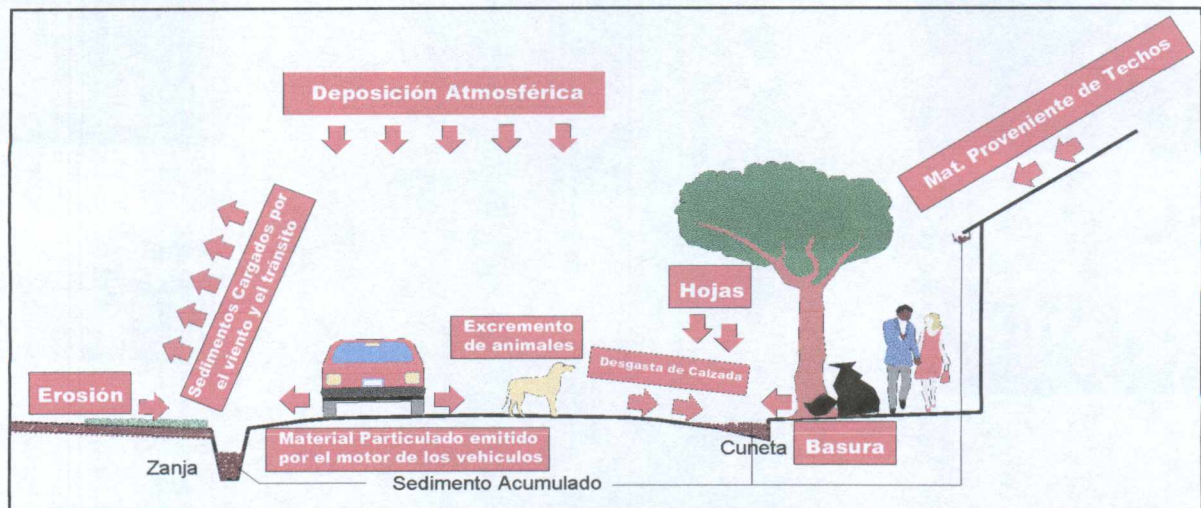


Figura 3.11. Fuentes de poluentes en áreas urbanas (Butler y Clark, 1995 apud Dotto, 2006)

Acumulación en Calles

Las calles son un fuente crítica de acumulación de sedimentos en cualquier lugar con diferentes ocupaciones de suelo, dado que la mayoría de las cargas de poluentes puede ser provenientes de las calles en áreas urbanas, residenciales y comerciales, por lo que un gerenciamiento adecuado de las áreas impermeables es probablemente la manera más efectiva de controlar dichas cargas en el escurrimiento pluvial (Bannerman *et al.*, 1993 apud Dotto, 2006),

Sartor e Boyd (1974) apud Deletic *et al.*, (1997) indican que el diámetro medio de las partículas acumuladas en superficies impermeables varía entre 0,200 a 0,500 mm. El mismo estudio indica que el 78% del material se ubica dentro de los 15,2 cm medidos desde la cuneta y el 95% en los primeros 91,50 cm (Fig. 3.12). Esto es atribuible al tránsito vehicular, por impacto directo y por las corrientes de aire generadas; además, por el efecto de barrera realizada por el cordón. Por su parte Deletic *et al* (1997) sostiene que el 10% de los sedimentos se encuentran en la superficie central de la calzada y el 90% se deposita en un ancho de 50cm del cordón cuneta.

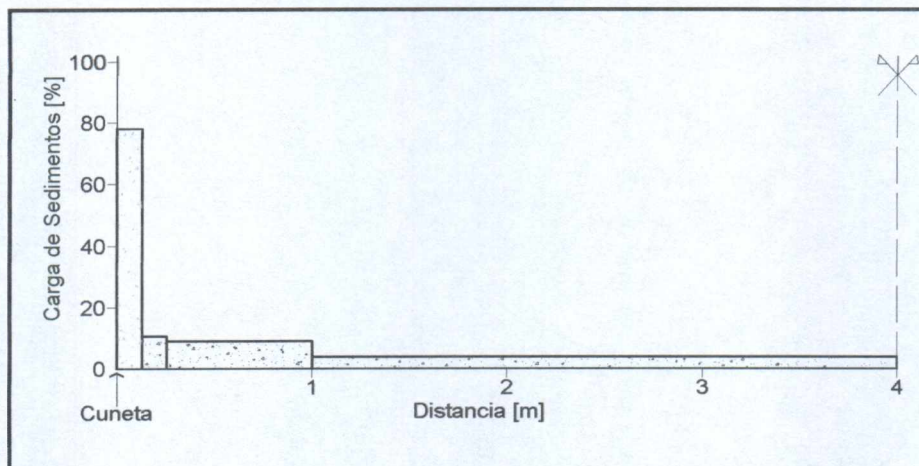


Figura 3.12. Distribución Espacial de los Sedimentos en una calle residencial (Sartor, 1974)

Duncan (1995) concluye que la acumulación de sedimentos en superficies impermeables puede ser descripta como un proceso de equilibrio dado que el proceso de acumulación está influenciado por el viento natural y el viento inducidos por el tráfico de vehículos, y es sobre todo un proceso típico de tiempos secos.

La forma de expresar la acumulación es diversa; así, se puede expresar en unidades de masa/día/área, masa/día/longitud de cuneta o simplemente masa/día y las ecuaciones que la interpretan puede ser lineales, potenciales, exponenciales o Michaelis – Menton (Huber, 1986 apud Huber y Dickinson, 1988)

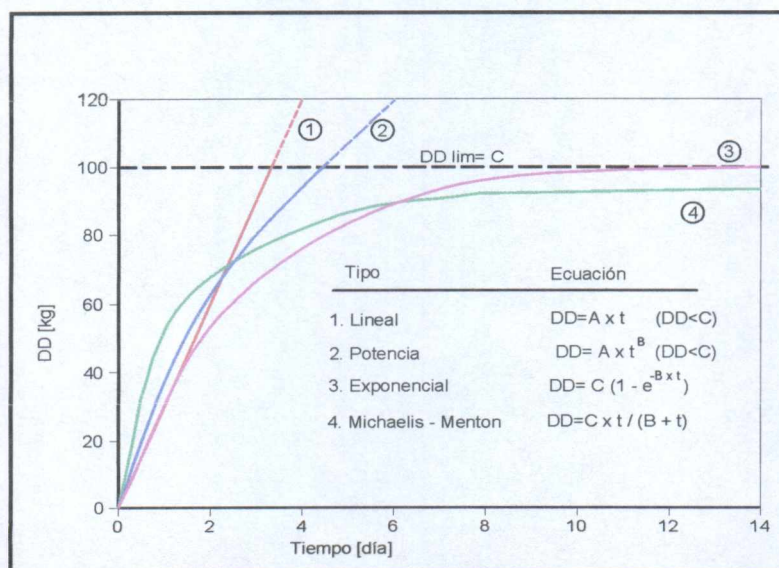


Figura 3.13. Modelos de Acumulación de Sedimentos (Huber y Dickinson, 1988)

Sartor *et al* (1972) apud Deletic (1998) sugieren una relación exponencial entre la acumulación de sólidos disponibles en la superficie, M , y la duración del tiempo seco antecedente, t_{dry} , (Ecuación 3.14).

$$M(T) = M_0 \cdot (1 - e^{-k \cdot (t_{\text{seco}} + t')}) \quad [3.14]$$

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

El tiempo virtual es calculado asumiendo que la deposición de sedimentos es cero a t' días antes del inicio de la precipitación antecedente (Figura 3.13). Hay dos parámetros de calibración en la ecuación 3.11 que deben ser determinados para cada cuenca en particular: M_0 [g/m^2] que es la máxima cantidad de sedimentos que se pueden acumular en la superficie, y k [día^{-1}] la constante de acumulación.

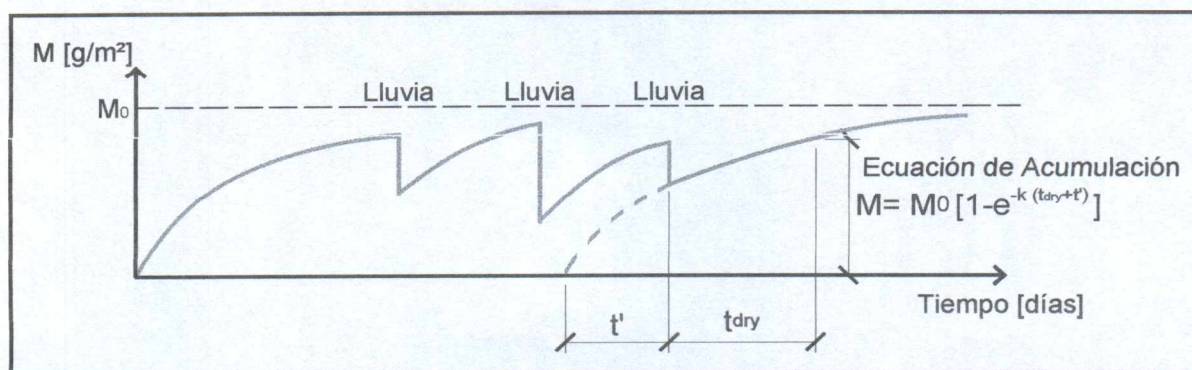


Figura 3.14. Concepto del Proceso de Acumulación de Sedimentos (Maksimovic, 2001)

Jimenez Gallardo (1999) indica que uno de los primeros estudios de acumulación indicados en este caso como “polvo y suciedad” fue realizado por la American Public Works Association (APWA) en 1969, donde se monitorearon cunetas dentro de cuencas urbanas con distintos usos de suelo. Se demostró, en este caso, que la acumulación era lineal con el tiempo. Zafra Majía (2009), monitoreo la acumulación de sedimentos en dos calles de la ciudad de Torrelavega, al norte de España, durante un periodo de 65 días, ubicadas en cuencas residenciales de distinta densidad de población. En ambas calles se registro una acumulación lineal sin encontrarse un valor máximo de equilibrio (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Acumulación lineal adoptada en Estados Unidos y España

Ciudad	Uso de Suelo	Polvo y Suciedad Acumulada
Chicago (Estados Unidos)	Residencial – Unifamiliar	10,42 g/m, día
	Residencial – Multifamiliar	34,23 g/m, día
	Comercial	49,11 g/m, día
	Industrial	68,46 g/m, día
	Sin Desarrollar o parques	22,32 g/m, día
Torrelavega (España)	Residencial (Densidad Baja)	1,64 g/m², día
	Residencial (Densidad Alta)	2,53 g/m², día

Algunos investigadores han optado por el modelo propuesto por Sartor (1972), tal es el caso de Deletic *et al* (1997 y 2000) que estudió la acumulación de sedimentos en calles de Dundee (Escocia), Belgrado (Rep. Serbia) y Lund (Suecia). También, Dotto (2006) que investigó la acumulación de sedimentos en dos cuencas de la ciudad de Santa María, en el estado de Rio Grande do Sul (Brasil), optó por el mismo modelo de acumulación. En la Tabla 3.5 se detallan las ecuaciones ajustadas por ambos investigadores.

Tabla 3.5. Acumulación exponencial en Escocia, Rep, Serbia, Suecia y Brasil

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

3.8 Lavado de Sedimentos

El lavado es un proceso de erosión o remoción de constituyentes de la superficie de la cuenca durante el período en que se genera escurrimiento. Si el tirante de agua es mayor a unos pocos milímetros, el proceso de erosión puede ser descrito por la teoría de transporte de sedimentos en donde el caudal de sedimentos es proporcional al caudal líquido y a la tensión de corte de fondo (Huber y Dickinson, 1988).

En el caso de áreas de suelo desprotegida debe añadirse el efecto del impacto de las gotas de lluvia sobre estas y el consecuente desprendimiento y transporte de partículas del suelo. Este efecto se incorpora a menudo en distintos métodos predictivos para la erosión de las zonas permeables y puede aplicarse también para el lavado de superficies impermeables, aunque en este último caso, debe considerarse el efecto de la oferta limitada de sedimentos dado por la acumulación durante periodos secos.

El líquido que fluye sobre una superficie compuesta de partículas sueltas produce fuerzas que, de tener suficiente magnitud son causa de su movimiento. El esfuerzo ejercido por el fluido sobre el fondo se denomina fuerza de tracción (τ_o) y es función del número de Reynolds, de la profundidad del flujo y de la aspereza del fondo (y_o) (Spalletti, 1986). En canales la fuerza de tracción se puede expresar mediante la Ecuación 3.15.

$$\tau_o = \rho \cdot g \cdot S \cdot y = \gamma_f \cdot S \cdot y \quad [3.15]$$

Donde:

ρ : densidad del fluido,
 g : aceleración de la gravedad,
 γ_f : peso específico del fluido,
 S : pendiente de fondo del canal,

La acción del agua sobre el fondo puede representarse también por una velocidad característica llamada velocidad de corte o fricción (u_*) que se define por la Ecuación 3.16.

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad [3.16]$$

Hay una velocidad a la que un grano de determinado tamaño es puesto en movimiento, que recibe la denominación de velocidad crítica. Como los sedimentos, en la mayoría de los casos, están compuestos por mezclas heterogeneas de individuos de variado tamaño, se emplea la velocidad crítica que resulta necesaria para mover al más grueso de los componentes, la que se designa “competencia”.

Vale recordar que la velocidad de los agentes varía habitualmente en forma logarítmica con la profundidad. De allí que para medir la intensidad del flujo responsable de la movilización de los clastos se empleen la fuerza tractiva de arrastre (τ_0) y la velocidad de fricción (u_*).

En base a trabajos experimentales, Shield demostró que el inicio del movimiento depende de las fuerzas tractivas, de la diferencia entre los pesos específicos de los granos y el fluido, del diámetro de los clastos de la densidad del fluido y de su velocidad. Combinó, además, estas variables en dos números adimensionales (Ec. 3.17 y 3.18).

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma_f) \cdot d} \quad [3.17]$$

$$Re = \frac{u_* \cdot d}{\nu} \quad [3.18]$$

Donde:

τ : fuerza tractiva adimensional,
 γ_s : peso específico de la partícula,
 Re : Número de Reynolds,
 d : diámetro de la partícula,
 ν : viscosidad cinemática,

La Figura 3.15 permite apreciar que en los dos diagramas se produce una separación con definición de dos campos: por encima de la curva hay movimiento, mientras que por debajo no lo hay,

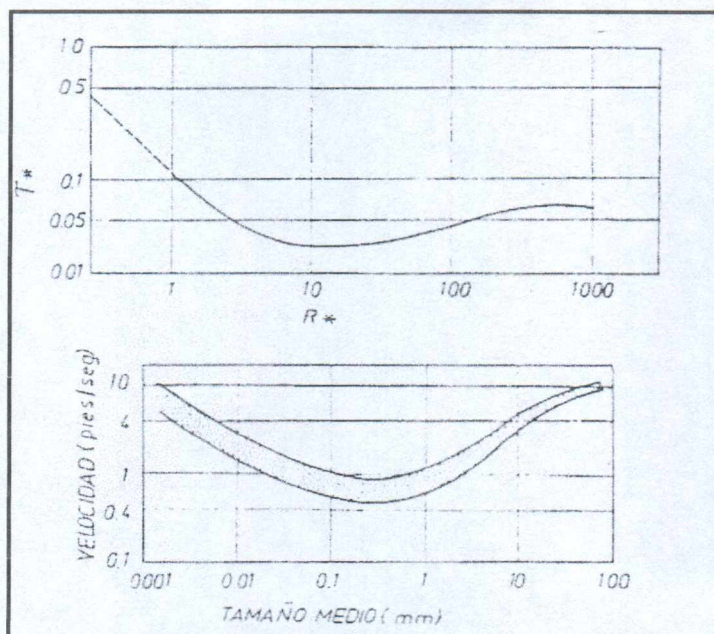


Figura 3.15. Representación de la función de Shield y curva de Hjulström modificada

Existen algunos métodos como el de Hjulström (apud Ramos, 1995) que relaciona la velocidad crítica con el diámetro característico del sedimento (Fig 3.15).

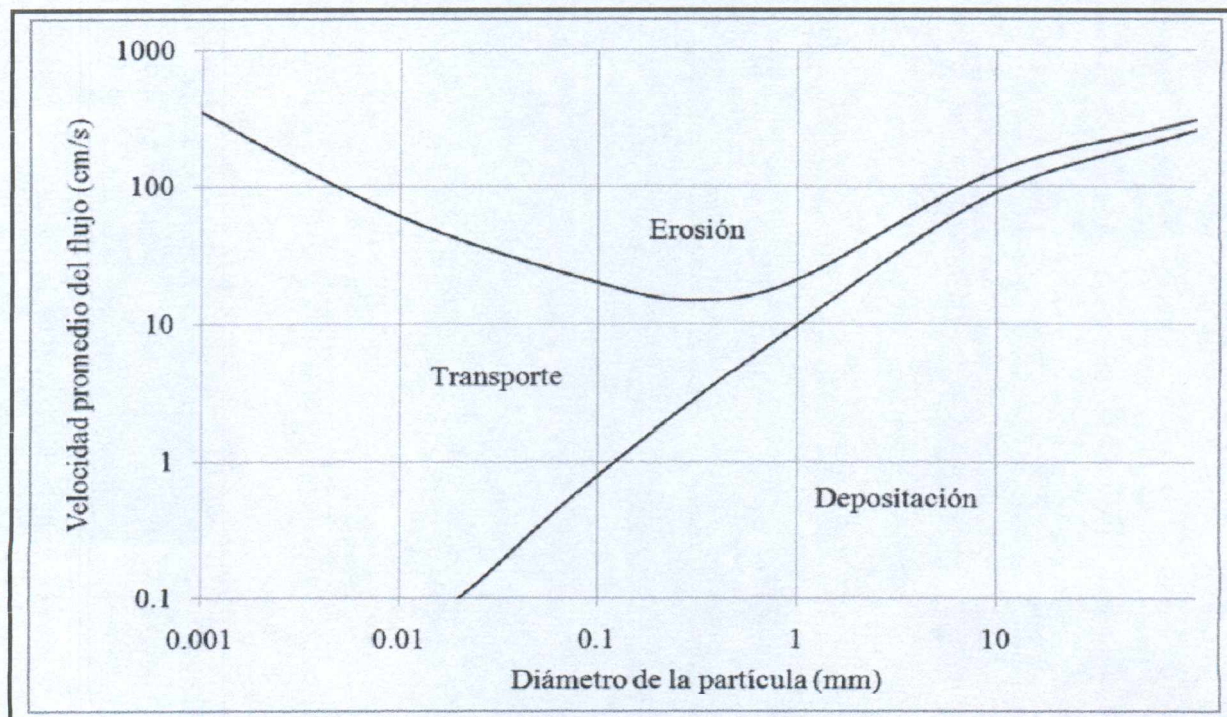


Figura 3.16. Diagrama de Hjulström,



La curva de Hjulström fue elaborada a partir de datos experimentales de escurrimiento con profundidades de hasta 1,0m. Los valores medios de ajuste de la curva de Hjulström pueden ser expresado de forma aproximada por las siguientes Ecuaciones 3.19, 3.20 y 3.21.

$$V_c = 0,0473 \cdot d^{-0,565} \quad 0,001 < d < 0,1 \quad [3.19]$$

$$V_c = 0,197 \quad 0,1 < d < 1,0 \quad [3.20]$$

$$V_c = 0,265 \cdot d^{0,591} \quad 1,0 < d < 80 \quad [3.21]$$

Las ecuaciones anteriores fueron desarrolladas para canales de fondo móvil. En el caso de conductos de fondo fijo hay un comportamiento diferente. Estudios realizados por Novak y Nalluri (1984) demuestran que las condiciones de inicio de movimiento son significativamente inferiores a las encontradas para el fondo móvil. Sus estudios fueron desarrollados en tubos lisos de PVC y como resultado final para sedimentos naturales se detallan las Ecuaciones 3.22 y 3.23.

Para sedimentos naturales:

$$V_c = 0,617 \cdot d^{0,16} \quad \text{Canales circulares} \quad [3.22]$$

$$V_c = 1,143 \cdot d^{0,24} \quad \text{Canales rectangulares} \quad [3.23]$$

Para la tensión crítica Novak y Nalluri proponen la Ecuación 3.24.

$$\tau_c = K \cdot (\rho_s - 1) \cdot d^{0,40} \quad [3.24]$$

Donde:

K: constante de ajuste determinada para canales rectangulares y circulares,

ρ_s : densidad de la fracción sólida,

Admitiéndose un valor de 2,65 de densidad se obtiene las Ecuaciones 3.25 y 3.26.

$$\tau_c = 0,277 \cdot d^{0,40} \left(\text{kg/m}^2 \right) \quad \text{Canales circulares} \quad [3.25]$$

$$\tau_c = 0,341 \cdot d^{0,40} \left(\text{kg/m}^2 \right) \quad \text{Canales rectangulares} \quad [3.26]$$

La presencia de material cohesivo aumenta la velocidad crítica para inicio del transporte, Nalluri et al (1989) encontraron los resultados que se detallan en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Efecto de la presencia de material cohesivo en la condición crítica de inicio del movimiento

Proporción de arcilla	Densidad del depósito	Tensión crítica
(%)	(kg/m ³)	(kg/m ²)
0	1618	0,0296
20	1907	0,184 a 0,257
25	1848	0,438 a 0,664
30	1814	0,628 a 0,689



35	1797	0,792 a 0,944
40	1781	1,076 a 1,101
60	1345	0,566 a 0,568

Modelo de lavado de poluentes del programa SWMM

La mayoría de los modelos simulan el transporte de sólidos en suspensión a partir de la Ecuación 3.27 (Mazza *et al*, 2004):

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -k \cdot R \cdot P \quad [3.27]$$

Donde

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

k= coeficiente empírico;

R= tasa de escurrimiento.

Según Mazza *et al* (2004) la Ec 3.27 asume varias condiciones:

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

Además de las condiciones planteadas por Mazza debe agregarse que la Ec 3.27 considera un número finito de poluentes.

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

- Acumulación de contaminantes;
- Arrastre de sedimentos;
- Limpieza de calles.

Los modelos de acumulación utilizados por el programa son: potencial, exponencial y de saturación (Michaelis –Menton) que se detallan en la Figura 3.13.

En tanto que el SWMM consta de tres opciones para representar el proceso de lavado para cada poluyente y uso de suelo: i) concentración media del evento (EMC sus siglas en ingles), ii) curva de relación entre caudales líquidos y carga de poluyente y iii) función exponencial.

La función EMC asume que cada poluyente tiene una concentración constante en la escorrentía durante toda la simulación. Los resultados arrojados de concentraciones de poluentes arrojadas por este modelo, para un mismo uso de suelo, serán siempre constantes durante toda la escorrentía. Según Gironás (2009) para concentraciones de sedimento puede utilizarse una estimación de la EMC obtenida del estudio realizado por la EPA (1983), denominado *Nationwide Urban Runoff Program (NURP)*. De acuerdo a ese estudio, la concentración media de total de sólidos suspendidos observado en sitios urbanos es de 100 mg/l.

La función de curva de relación (Ecuación 3.28) determina las cargas de lavado a partir de una relación que considera únicamente la escorrentía (o caudal líquido), sin considerar las condiciones antecedente ni la disponibilidad de sedimentos susceptibles de ser transportados en la cuenca. Debido a esto, tiende a dar valores de carga de poluentes mayores a los reales en la curva descendente del hidrograma generado por un evento analizado, estos errores son usuales en cuencas donde los sedimentos son lavados al inicio de la precipitación (Gironás *et al*, 2009). Por esta misma razón, puede dar valores menores en el inicio de la precipitación ya que descarta el fenómeno de primer flujo.

$$Q_s = C_1 \cdot Q^{C_2} \quad [3.28]$$

Donde:

Q_s : Caudal sólido o carga de lavado;

Q : Caudal o Descarga líquida;

C_1 : coeficiente de arrastre;

C_2 : exponente de arrastre,

La curva exponencial (Ec. 3.29) difiere de la curva de relación en que considera a la carga de lavado afectada no solamente a la escorrentía sino también a la cantidad de poluyente acumulada sobre la superficie de la cuenca.

$$Q_s = C_1 \cdot q^{C_2} \cdot B \quad [3.29]$$

Donde:

q : escorrentía por unidad de área

B : acumulación de poluyente en masa por unidad de área

Según Vanoni (1975) *apud* Gironás (2009), de acuerdo a la teoría de transporte de sedimentos, los valores C_2 (Ec. 3.28 y Ec. 3.29) varían de 1,1 a 2,6; frecuentemente cercanos a 2.

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



La curva exponencial (Ec 3.29) es el único modelo de lavado, disponible en el programa SWMM, que considera que dicho fenómeno depende de un proceso previo de concentración “Build up” del mismo poluyente producido en los periodos de sequía.

Collins *et al* (2005) sostienen que esta aplicación es estrictamente limitada a pequeñas áreas impermeables donde el aporte de poluentes es finito y está limitado al material existente sobre la superficie de la cuenca. La polución originaria de superficies permeables, tales como suelos erodados, no pueden ser modelados usando un algoritmo exponencial de lavado porque el aporte de sedimentos puede ser ilimitado. La función de lavado para este caso, puede ser ajustada entonces, a una función de la intensidad de la tormenta y no del volumen de escorrentía.

3.9 Limpieza de Calles

La limpieza de calles se lleva a cabo en áreas urbanas para el control de sólidos y depósitos de basura a lo largo de las cunetas de las calles.

El tamaño de las partículas presentes en las calles susceptibles de ser limpiadas por los sistemas habituales oscila entre los $75\mu\text{m}$ y los $3000\mu\text{m}$ (Valiron, 1992 *apud* Temprano Gonzalez *et al* 1996).

La eficiencia de la limpieza de las calles depende de:

- El tipo de pavimento y las condiciones en que se encuentre,
- La frecuencia de limpieza de las superficies,
- La eficiencia de los medios manuales o mecánicos empleados,
- La velocidad del equipo de limpieza,
- Tipo de material empleado en la limpieza,
- Proximidad de los vehículos estacionados a los bordillos,
- Presencia de áreas especiales como estacionamiento,
- Cantidad inicial acumulada de sólidos totales
- Frecuencia relativa de las lluvias,

El tipo de pavimento y las condiciones en que se encuentre afectan más al rendimiento que las diferencias en los medios de limpieza. En general, las calles de asfalto liso son más fáciles de mantener limpias que aquellas que presentan una superficie más rugosa.

Los métodos más comunes para la limpieza de las calles son: manuales mediante escoba, barredoras mecánicas, barredoras de vacío (o por aspiración) y el lavado con manguera a presión,

Las barredoras de vacío o por aspiración son las más eficaces (Ranchet, 1983), puesto que recogen las partículas más finas acumuladas en las calles, responsables del mayor grado de contaminación de la escurrentia urbana. El 50% del peso total de la suciedad acumulada puede eliminarse mediante el barrido manual, y el 93% por aspiración.

El barrido convencional presenta dificultades en remover las partículas mas finas acumuladas, Según Sartor *et al* (1972) *apud* Jimenez Gallardo (1999) con el barrido convencional se elimina el 85% del material más fino que 43mm, el 52% de las partículas menores que 0,246mm. Considerando que la fracción más fina de los sedimentos adsorbe un cantidad importante de poluentes (Porto, 2001), muchos autores consideran que la utilización de este tipo de limpieza solo tiene fines estéticos.

Pitt (1979, 1985) determinó que en las calles con una superficie lisa en las que se procedía a un barrido 1 a 2 veces al día, se podían eliminar hasta el 50% de los sólidos totales de la escurrentia urbana. Estas cifras dan a entender que el barrido de las calles es un medio efectivo para controlar la calidad de la escurrentia urbana cuando se hace frecuentemente y sobre pavimentos lisos. Sin embargo, si la frecuencia de limpieza baja hasta 1 a 2 por mes, el rendimiento de eliminación baja hasta el 5% (Hubell, 1990). En la Figura 3.17 se muestra la eliminación de sólidos totales frente a la frecuencia de limpieza, para diferentes tipos de superficie (Sharon, 1989 *apud* Temprano Gonzalez, 1996).

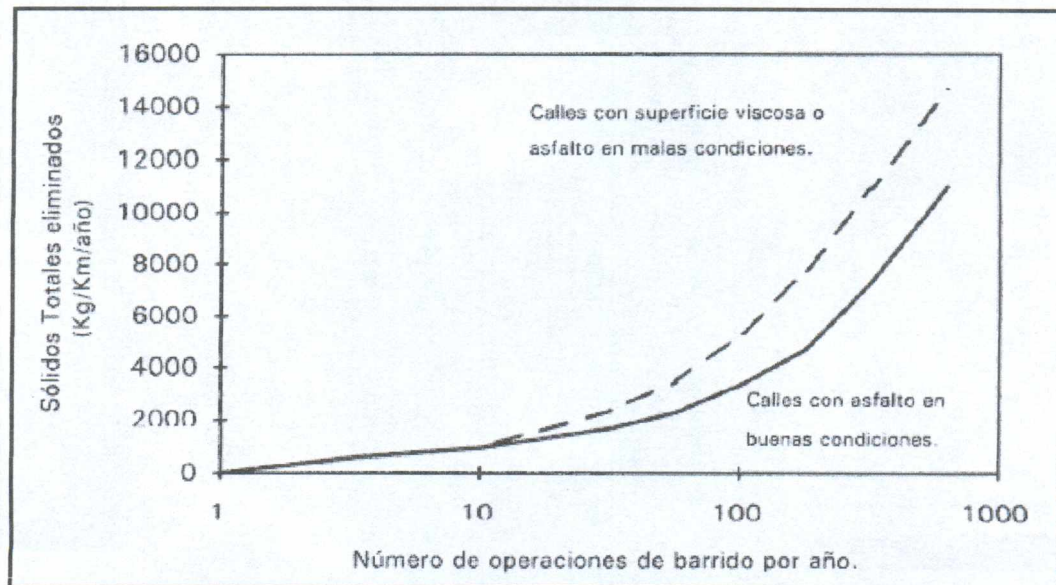


Figura 3.17. Eliminación de Sólidos Totales respecto a la frecuencia de la limpieza de calles (Sharon, 1989 *apud* Temprano Gonzalez, 1996)

Se ha observado que una vez alcanzado un cierto nivel de limpieza, cualquier labor extra no es rentable. Lo más adecuado sería dedicar los recursos suplementarios a otras zonas que no hayan alcanzado ese umbral crítico de limpieza. En Belleuve, Washington (EE.UU), se ha calculado que una frecuencia de limpieza de 2 ó 3 veces por semana elimina hasta 68 Kg de sólidos por Km de calle, o hasta el 25% de la carga superficial inicial de la calle, en un año. En la Figura 3.18 se muestra gráficamente este efecto para sólidos totales (Moffa, 1990).

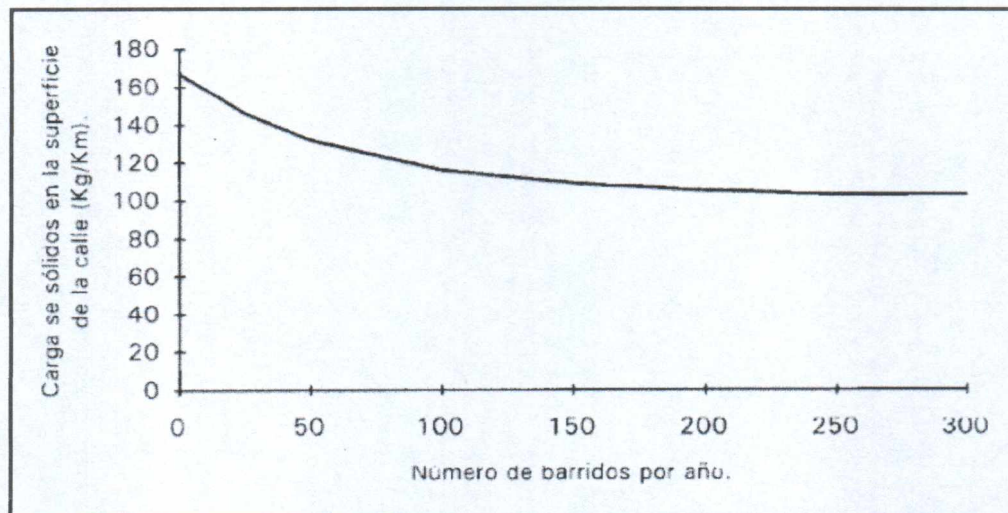


Figura 3.18. Sólidos Totales eliminados en función de la frecuencia de barrido anual (Moffa, 1990)

Si se aumenta la frecuencia de limpieza de las calles hasta valores de 2 a 3 veces por semana, no sólo no se va a producir una mayor eliminación de contaminantes, sino que es probable que debido a la erosión producida por las labores de limpieza, aumenten las cargas superficiales de la calle (Temprano Gonzalez et al 1996).

Por su parte el porcentaje de remoción alcanzado, con cualquier tipo de sistema de limpieza, es constante independientemente de la cantidad de poluentes acumulados, de forma tal, que a medida que transcurra el tiempo seco se alcanzará eventualmente un equilibrio entre la cantidad acumulada y la cantidad de poluyente removida por la limpieza (Huber y Dickinson, 1988). Esto puede observarse en la Figura 3.19, donde se considera un aumento lineal de la acumulación de sedimento, un porcentaje una limpieza cada 4 días y una eficiencia del 50%, en efecto, el equilibrio se alcanza transcurrido 16 días de tiempo seco.

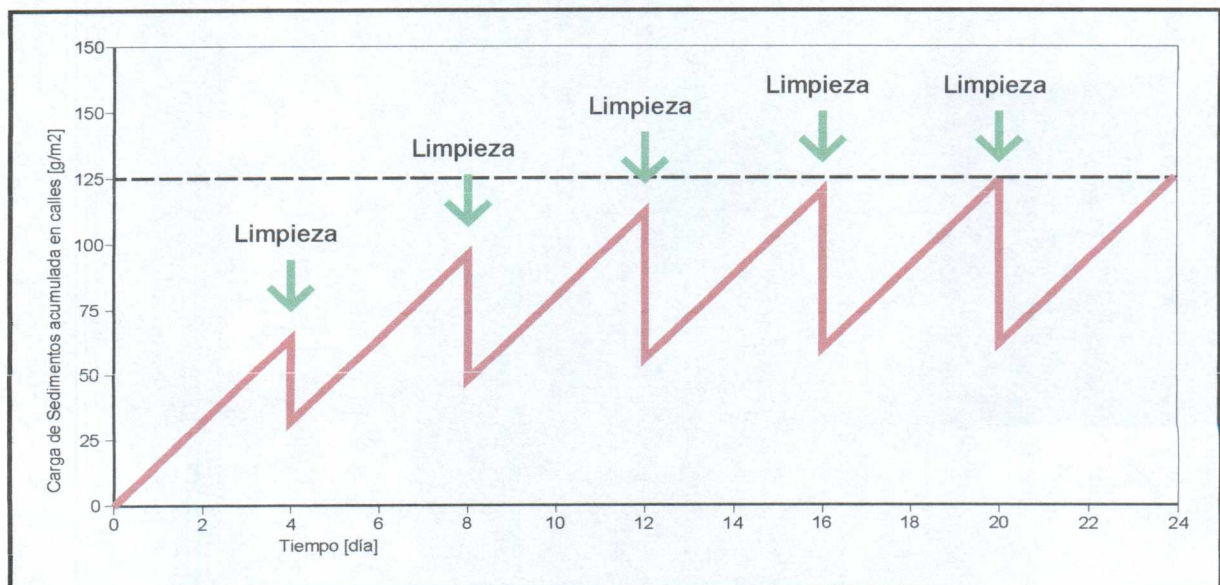


Figura 3.19. Hipotética secuencia de acumulación lineal y limpieza de calles

3.10 Primer Flujo

Se denomina primer flujo al fenómeno en, que durante la primera parte de los escurrimientos generado por cualquier precipitación, se registran los mayores valores de concentraciones de poluentes. El conocimiento del mismo es fundamental para el diseño de unidades de tratamiento de efluentes pluviales o de sistemas combinados de efluente cloacal y pluvial. El fenómeno no solo concierne a los sedimentos, sino a todo tipo de poluentes. En la Figura 3.20 se puede observar muestras de aguas pluviales, obtenidas en una cuenca urbana de Porto Alegre – Brasil, dispuestas en sentido horario siguiendo la cronología de su captura (Tucci *et al*, 2007). Al comienzo de la precipitación existe una pequeña concentración de sólidos en suspensión, luego la concentración va aumentando y después de instantes la concentración se reduce sustancialmente.

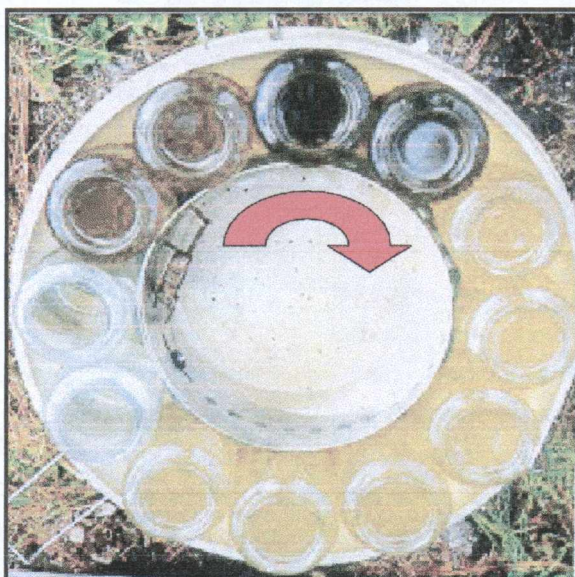


Figura 3.20. Muestras de efluente pluvial recolectadas en Porto Alegre, Brasil (Tucci *et al*, 2007)

Al momento no existe concordancia en la bibliografía especializada en la metodología para determinar la existencia o no de tal fenómeno. Sin embargo, la mayoría de los investigadores utiliza las curvas de fracción acumulada de la carga total de poluyente versus fracción acumulada del total del volumen de escorrentía (Deletic, 1998). Estas curvas denominadas M(V), posibilitan un análisis adimensional capaz de confrontar eventos de diferentes características (Figura 3.21).

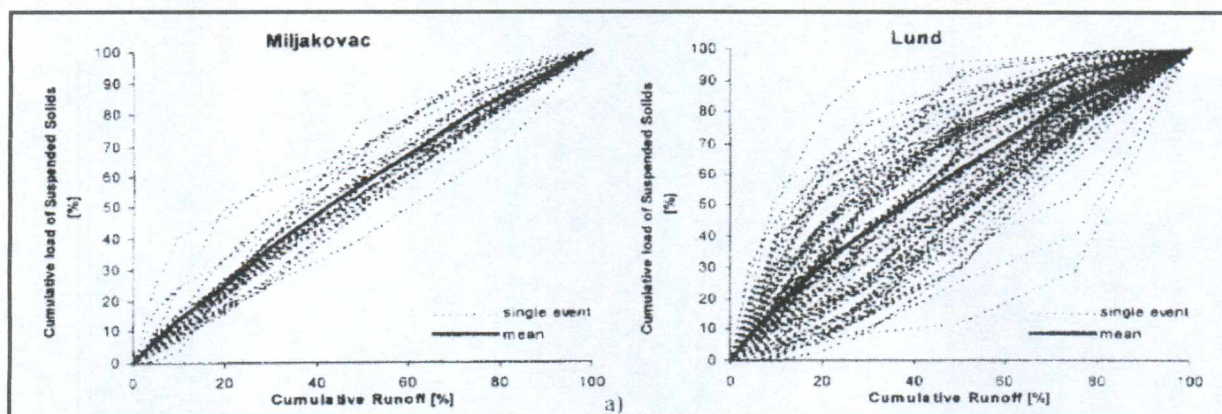


Figura 3.21, Curvas acumuladas de Sólidos Suspendidos del efluente pluvial de dos cuencas ubicadas en Belgrado; Serbia (Mijakovac) y Lund; Suecia

Geiger (1987) define que existe primer flujo cuando en la curva $M(v)$ hay una pendiente inicial mayor al 45%, Saget et al (1995) determina que existe primer flujo cuando el 80% de la carga total de poluyente es transferida en el 30% del volumen de escurrimiento. En tanto que Deletic (1998) define al primer flujo como el porcentaje de poluyente transportado por el 20% del volumen de escurrimiento del evento.

Tucci et al (2007) considera que en los primeros 25mm de lluvia, generalmente se concentra el 95% de la carga en suspensión. Sin embargo las causas que generan el fenómeno del primer flujo varían según las características de las cuencas. Deletic (1998) estudio dos microcuencas asfaltadas, una en Belgrado (Rep. Serbia) y otra en Lund, Suecia (Figura 3.21).

En la microcuenca de Belgrado se encontró una correlación positiva entre primer flujo y el volumen de escurrimiento del evento y una correlación negativa entre el primero y la concentración media del evento y la concentración máxima de sedimentos registrada. Esto muestra que es menos probable que se produzca el primer flujo si existe mucho sedimento disponible de ser transportado en la superficie de la cuenca. Estos resultados se explican por el hecho de que la cuenca de Belgrado estaba aislada de las áreas vecinas y, por tanto la intensidad de precipitación adquiere un rol de menor importancia respecto al volumen de escurrimiento o la cantidad de sedimentos disponibles en la superficie, en la ocurrencia del primer flujo.

En la microcuenca de Lund se encontró una importante influencia de la intensidad máxima de precipitación y el tiempo entre inicio de la precipitación y la ocurrencia de la intensidad máxima. En esta cuenca no se encontró influencia del volumen de escurrimiento generado, concentración media del evento o la concentración máxima. Esto se explica por la transfluencia de cuencas vecinas con áreas permeables. En efecto, el escurrimiento superficial sobre áreas permeables comienza solo después que el suelo se encuentra saturado por el agua de lluvia, lo que significa que el nuevo suministro de sedimentos alcanza la superficie del asfalto un tiempo considerablemente después de iniciada la lluvia.

En ambas cuencas hay influencia de la temperatura media, que esta asociada a una variación estacional, sobre el primer flujo. En tanto que no se encontró correlación entre el tiempo seco antecedente o la altura total precipitada con el primer flujo.



3.11 Drenaje Urbano Sustentable

El desarrollo urbano no puede continuar sin la búsqueda de la sustentabilidad del espacio luego de ocurrida la ocupación por parte de la población. Al efecto, se entiende como "desarrollo sustentable" a aquel que "satisface las necesidades y aspiraciones de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (Organización de Naciones Unidas, World Commission on Environment and Development - WCED, 1987). Una definición alternativa (International Union for Conservation of Nature – IUCN, United Nations Environment Programme – UNEP, World Wide Fund for Nature- WWFN, 1991) afirma que el desarrollo sustentable es aquella que "mejora la calidad de la vida humana dentro de la capacidad de sostenimiento de los ecosistemas que lo sustentan", Los servicios sustentables tienen que ser ambientalmente amigables, socialmente aceptables y financieramente viables (Butler y Maksimovic, 1999).

Bajo esos conceptos, el drenaje debe incorporarse dentro de proyectos integrados de infraestructura urbana, cubriendo no solo problemas de mitigación de las inundaciones sino también aquellos referidos a la reducción de peligros contra la salud (calidad del agua) y problemas de un ambiente urbano ameno y gestión del recurso (Maksimovic, 2001).

La visión integrada se inicia con el planeamiento del desmembramiento y ocupación del espacio en la etapa de loteo, cuando el proyecto debe procurar preservar el funcionamiento natural existente. En el ámbito de los desagües sanitarios, se debe desarrollar una vinculación de la red de cloacas con un patrón adecuado y ejecutado a través de la empresa de servicios de agua y saneamiento. De esta forma se evitan las interferencias inadecuadas, logrando el tratamiento apropiado de los desagües sanitarios y evaluación de ese tratamiento y de los sistemas hídricos que reciben este efluente, En los residuos sólidos se debe promover la colecta domiciliaria y la limpieza de las calles, la disposición automática de retención de basura y la educación a la población con sistemas de reciclaje económicamente eficientes (Figura 3.22).

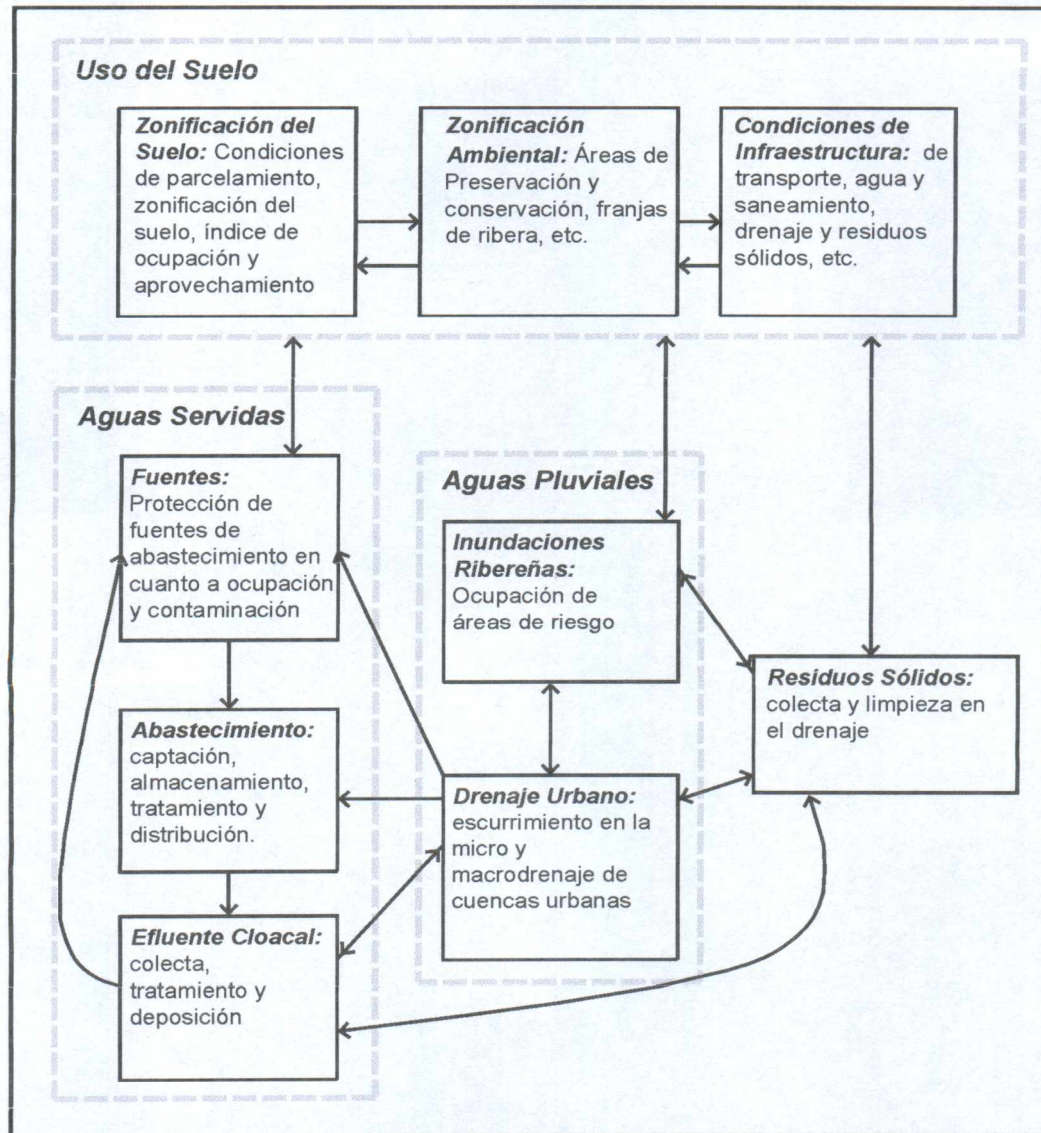


Figura 3.22. Relaciones entre los sistemas de las aguas urbanas (Tucci, 2007)

Así la evolución del drenaje urbano tiene como objetivo el control de la cantidad y calidad del escurrimiento, basado en técnicas de control de fuente, que incluyen el almacenamiento, e infiltración mediante un “tratamiento secuencial” (Figura 3.23).

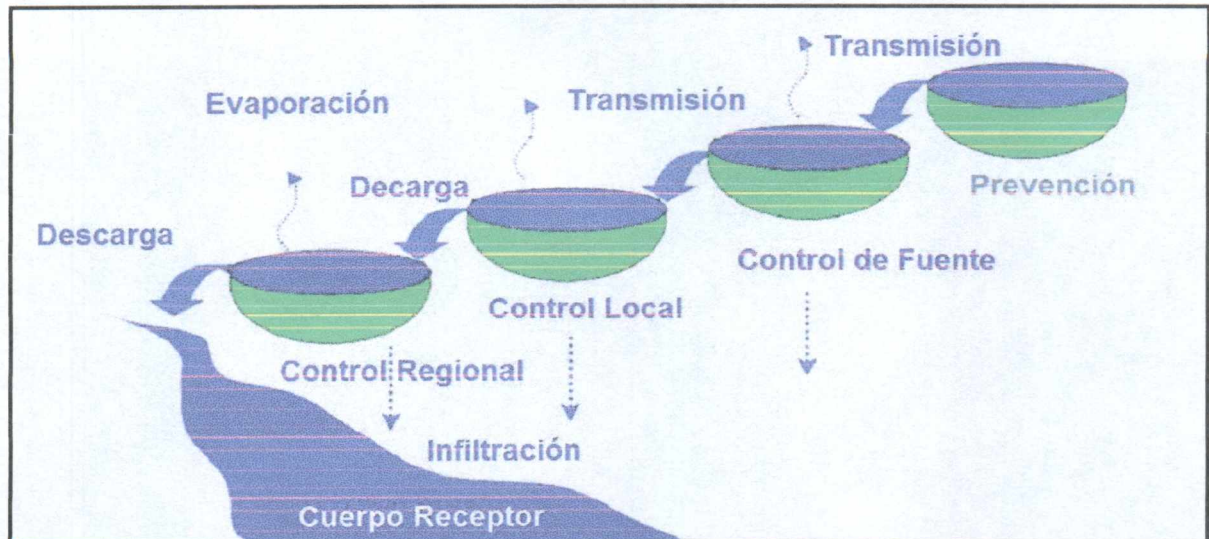


Figura 3.23. Tren de gestión de Drenaje superficial – Probable solución sustentable (Maksimovic, 2001)

Este tipo de desarrollo ha recibido la denominación de LID (Low Impact Development) en los Estados Unidos (U.S, Department of Housing and Urban Development, 2003 y NAHB Research Center, 2004 y U.S, Environmental Protection Agency, 2000) o Water Sensitive Urban Design (WSUD) en Australia (Figura 3.24).

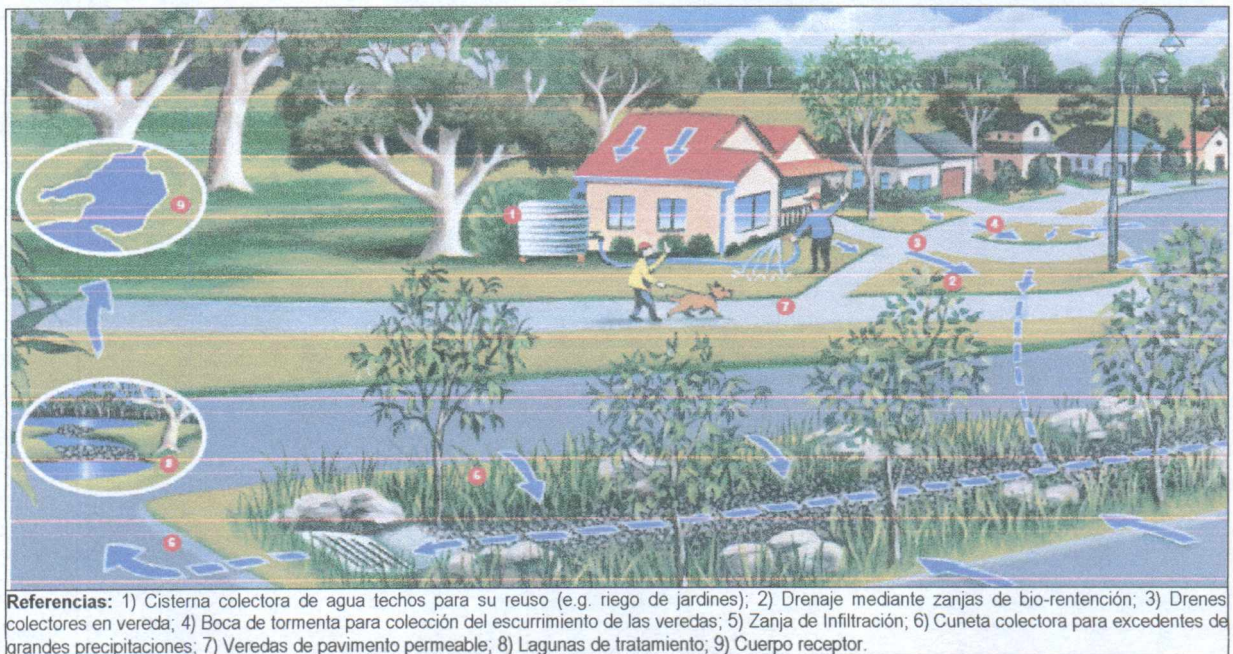


Figura 3.24. Water Sensitive Urban Design (WSUD)



4. METODOLOGÍA

4.1 Generalidades

La calidad de la escorrentía superficial en cuencas urbanas es un tema de estudio muy complejo. Es difícil representar con precisión la calidad del agua mediante una simulación de la situación real dada la falta de datos debido al escaso entendimiento de los procesos fundamentales involucrados, como así también, la carencia de datos suficientes para una calibración del modelo y su validación, (Gironás, 2009). Esto es extensivo al campo de los sedimentos en el drenaje urbano, por tanto la metodología aquí planteada, tiene como primer objetivo la generación de datos que permitan la correcta interpretación del fenómeno y como colorario el diseño y la calibración de un modelo capaz de predecir la carga de sedimentos en el efluente pluvial ante cualquier condición.

La metodología empleada en este proyecto consistió en el análisis de una microcuenca de la ciudad de Resistencia, en donde se desarrollaron los siguientes estudios:

- Monitoreo Hidrosedimentológico.
- Monitoreo de Acumulación de Sedimentos en tiempo Seco.
- Calibración de un modelo de calidad de aguas mediante programa SWMM.

4.2 Área de Estudio

La ciudad de Resistencia está ubicada en el noreste argentino, es la capital de la provincia del Chaco y cuenta con una población de 386.391 habitantes (INDEC, 2010). Conjuntamente con las ciudades de Puerto Vilelas, Barranqueras y Fontana conforman lo que se denomina Área Metropolitana del Gran Resistencia (AMGR). El AMGR está emplazado en la megaplanicie de inundación del río Paraná, aguas abajo de la confluencia con el río Paraguay (Fig.4.1).

La región en la que está emplazada Resistencia tiene un clima subtropical con estación seca y generalmente en verano se producen las mayores y más intensas precipitaciones. La estación cálida es la más propicia para a la producción de lluvias; ello se debe más a la calidad del aire, que interviene en las perturbaciones que a la frecuencia de los procesos frontales. Así el más frecuente de los tipos de precipitación en verano es el chaparrón intenso y la frecuencia de precipitaciones superiores a 10mm y 50mm muestra un eje de altos valores que es coincidente con la línea de inestabilidad Formosa - Pehuajó (Bruniard, 1981). La ciudad de Resistencia presenta una precipitación anual media de 1350mm (APA-AFIN, 2001), en tanto que la precipitación máxima diaria media anual es de 116,8mm (Mendez *et al*, 2009).

El ejido del AMGR se encuentra en el interfluvio del río Negro por el norte y el riacho Arazá por el sur, ambos afluentes de margen derecha del río Paraná (Fig. 4.2).



Figura 4.1. Ubicación de la ciudad de Resistencia en el nordeste de la República Argentina.

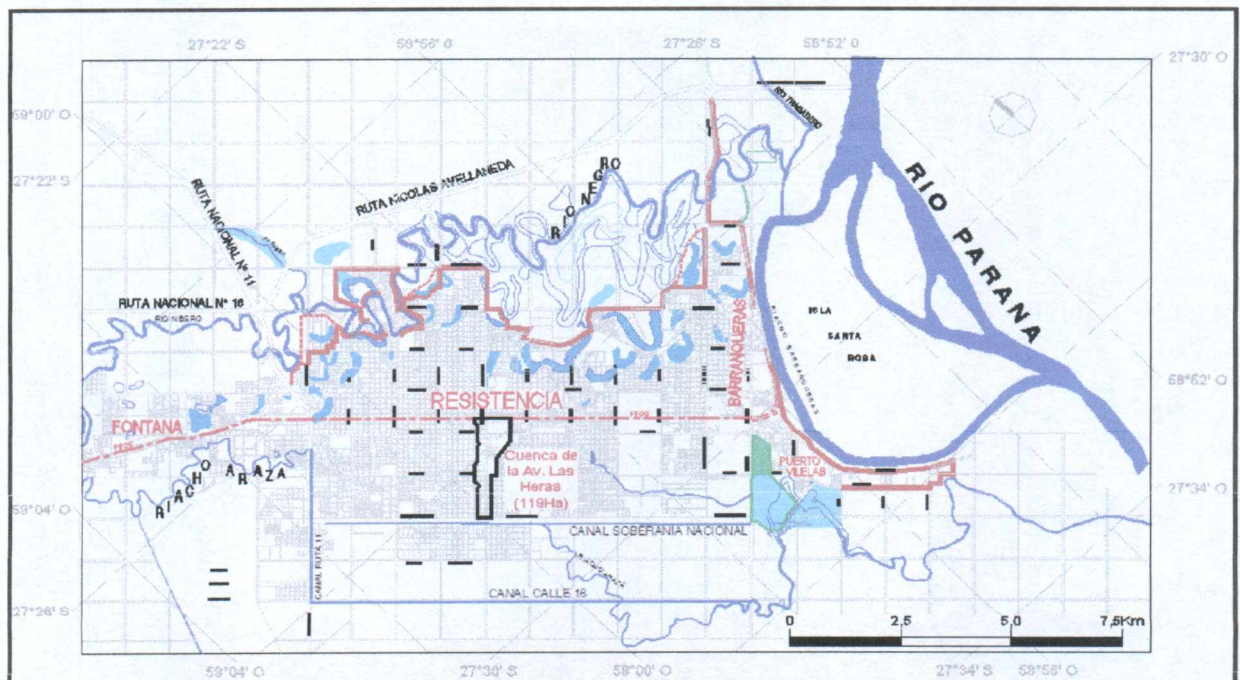


Figura 4.2. Ejido del Área Metropolitana del Gran Resistencia (AMGR)

La evolución del modelo de escurrimiento del río Paraná originó una planicie aluvial con dos niveles de inundación denominados Planicie de inundación proximal y distal, respectivamente (Orfeo, 1997). En el área estudiada en este trabajo se reconocen dos terrazas fluviales (Popolizio E, 1983)



denominadas Paraná I (Terraza fluvial) y Paraná II (plano de inundación). Resistencia se halla asentada en la terraza Paraná I. El material orgánico del suelo es aluvional de mixto a general de textura pesada, la estructura va de granular a migajosa y el color gris pardusco (INTA, 1973).

Orfeo (1998) realizó un estudio sedimentológico bajo la avenida Wilde de Resistencia, en su tramo que va desde la intersección con calle Roca (donde se llama av. Belgrano) hasta el cruce de esta sobre el río Negro (donde se llama av. De los Inmigrantes). A partir de sondeos realizados (en total 12) a lo largo de la av. Wilde se concluyó que la descripción litológica de la zona puede resumirse en dos niveles bien diferenciados:

- Nivel Superior: integrado por una alternancia de limos y arcillas con diferente grado de edafización y alteración antrópica.
- Nivel Inferior: constituido por materiales limo-arenosos a areno-limosos completamente sueltos y saturados de humedad. Posee una amplia distribución areal y comportamiento dinámico en presencia de agua freática.

Se resume, a continuación, los resultados del mencionado estudio en el nivel superior, que es una de las fuentes de aporte a la carga de sedimentos transportada por la escorrentía.

Los sedimentos finos que coronan la sucesión estratigráfica (nivel superior) y que en general representan los 2 metros superiores de la secuencia, tienen la composición promedio que se detalla en Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Composición promedio del Nivel superior del suelo de av. Wilde (Orfeo, 1998).

Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
22,5	42,5	35,0

El tamaño de grano medio para las muestras superficiales es en general igual a 6,18 grados *phi*, es decir, equivalente a la fracción **limo fino**.

La textura y el contenido de humedad encontrados en los distintos sondeos indica que el estrato superficial del suelo en la zona de estudio es un limo fino a mediano con un porcentaje de humedad del 18%. En la Tabla 4.2 se detalla la textura y humedad de las muestras tomadas en profundidades entre 1 a 0,45m.

Tabla 4.2. Textura del Subsuelo (Orfeo, 1998)

Muestra	Ubicación	Profundidad (m)	Humedad (%)	Media	Selección
A 1	av. Belgrano y Julio A. Roca	0,50	15,05	Limo mediano	muy pobre
B 1	av. Wilde y av. 25 de Mayo	0,75	17,78	Limo mediano	muy pobre
C 1	av. Wilde y M T de Alvear	0,45	17,85	Limo fino	muy pobre
D 1	av Wilde y Corrientes	0,46	16,34	Limo mediano	muy pobre
E 1	av. Wilde y av. Rivadavia	0,50	18,24	Limo mediano	muy pobre



F 1	av. Wilde y Catamarca	0,55	19,08	Limo muy fino	muy pobre
G 1	av. Wilde y av. Lavalle	1,05	19,44	Limo muy fino	pobre

Otra característica de los suelos que influye en la forma en que este aporta a la escorrentía urbana es la dispersión. La dispersión es un proceso por el cual un suelo deflocula espontáneamente cuando está expuesto al agua que tenga poco o nada de velocidad hidráulica. Se piensa que la dispersión generalmente es causada por la repulsión electrostática entre las partículas de la arcilla, resultando en la formación de una suspensión coloidal estable del suelo (Garay Porteros y Hurtado Alva, 1999). Orfeo (1998) encontró una importante tendencia a la desagregación en presencia de agua, lo cual revela un factor potencial de riesgo de movilización de partículas y baja capacidad de sustentación que debe ser tenido en cuenta.

Por su parte Kutnich (2008) realizó ensayo de infiltración en distintos puntos de la ciudad de Resistencia utilizando un infiltrómetro de doble anillo y obteniendo diversos valores de tasas de infiltración final e inicial (Tabla 4.3).

Tabla 4.3. Tasa de Infiltración inicial y final obtenidas por Kutnich (2008)

Ubicación	f_0	f_c
	[mm/h]	[mm/h]
Esquina de la calles Cervantes y San Lorenzo	300	30
Campus UNNE (Estación Meteorológica)	60	8
Campus UNNE (Dpto. de Hidráulica)	85	8

Si bien debe considerarse la variabilidad espacial propia de formaciones aluvionales, los resultados arrojados por el estudio pueden tomarse como referencia de las características del suelo de Resistencia. Al efecto, se destaca que estrato superficial lo compone un limo mediano a muy fino con tendencia a la dispersión.

A fin de minimizar los impactos producidos por las inundaciones provocadas por crecidas de los ríos Paraná y Negro se construyó un sistema de defensa perimetral que desconectaron las cuencas urbanas del sistema hidrológico regional, situación que sumada a las bajas pendientes del relieve y el grado de deterioro y/o insuficiencia que presenta gran parte de la red de macrodrenaje, la vuelve más vulnerable a las inundaciones generadas por lluvias de cierta intensidad.

El sistema de drenaje pluvial del AMGR está constituido por dos grandes sistemas: el sistema Norte (cuenca del río Negro) y el sistema Sur (cuenca del riacho Arazá) hoy reemplazado por el canal de la Av. Soberanía Nacional.

En el Sector Sur los efluentes pluviales son transportados por conductos cerrados y cuneteos definidos hacia el canal de la Av. Soberanía, con dirección predominante NE-SO, en tanto que las cuencas se caracterizan por ser estrechas y alargadas, con pendientes muy bajas (inferiores al 0,1%). El sistema presenta insuficiencia en la capacidad de conducción debida al incremento de las áreas de aporte y al deterioro por deposición de sedimentos o rotura.

De la deposición de sedimentos en el sistema de macrodrenaje, es posible decir que las intensas precipitaciones sumadas a las bajas pendientes del terreno y los escasos trabajos de limpieza son sus principales causantes.

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 (Mazza *et al*, 2004). Por tanto, como estudio de caso se adoptó una microcuenca perteneciente a la cuenca de la Avenida Las Heras, ubicada en el sector sur de la ciudad y que tiene una superficie de 119Ha (CFI y AFIN, 1995).

La microcuenca de estudio es la perteneciente a los sumideros ubicados en la calle San Lorenzo, aguas arriba de su intersección con la avenida Castelli (Fig. 4.3) estudiada por Depettris *et al* (2009). La elección de la misma responde a: (i) presenta facilidad de acceso y supervisión, (ii) constituye un área de aporte cerrada, (iii) permite mediciones de flujo en calzada, (iv) presenta reducido estacionamiento de vehículos en calzada sobre la zona de medición y (v) las bocas de tormenta son representativas a las usadas en la región y están ubicadas en tramos rectos.

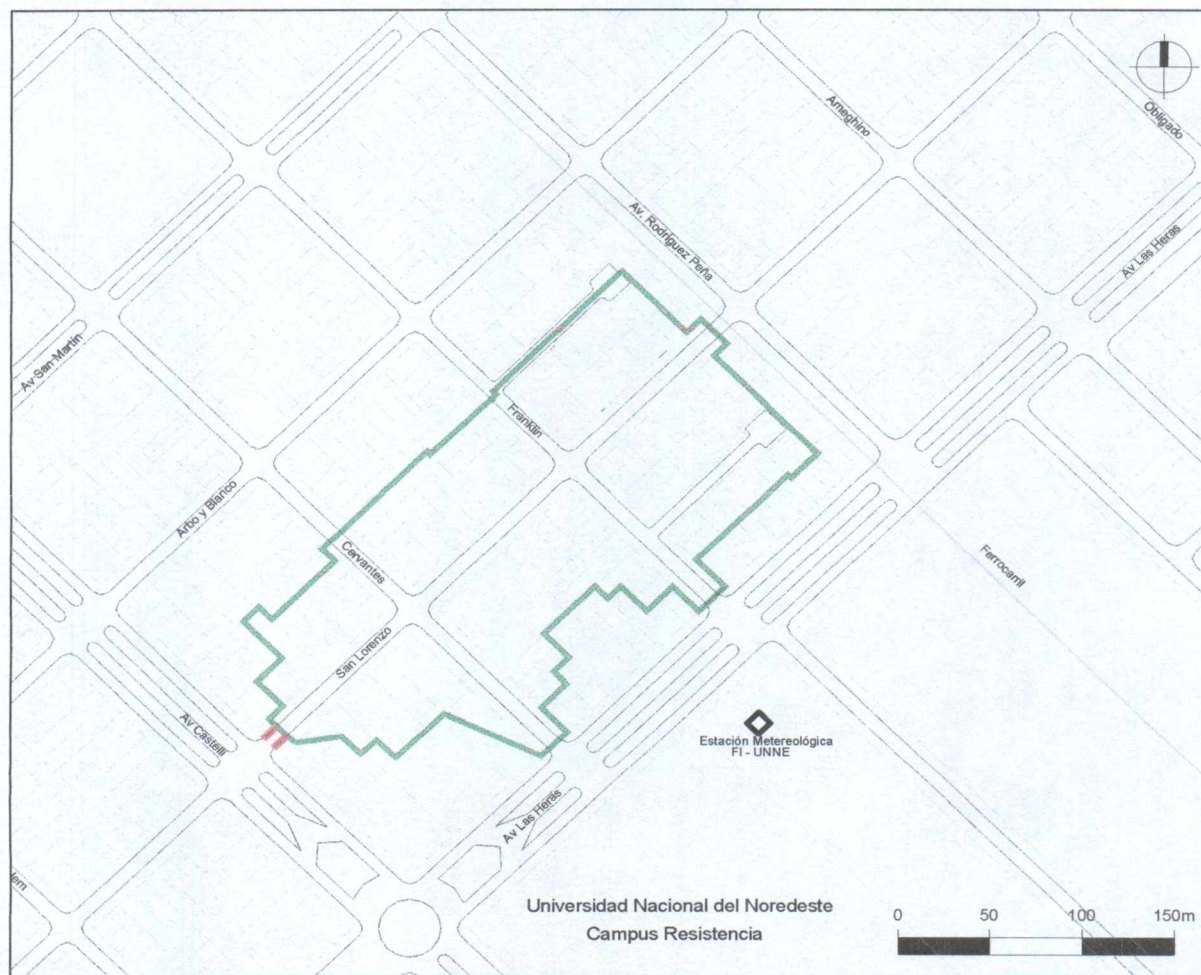


Figura 4.3. Microcuenca de los sumideros de la calle San Lorenzo y Av Castelli

Se realizó un ajuste del área de aporte realizada por Depettris *et al* (2009). En efecto, primeramente se procedió a efectuar un relevamiento de los lotes que aportan a las bocas de tormenta en cuestión, con datos catastrales georeferenciados (Figura 4.3) se determinó el tamaño de dicho lotes y por consiguiente de la microcuenca de estudio.

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

Se realizó una clasificación, mediante imágenes satelitales del uso del suelo de la microcuenca (Figura 4.4 y 4.5) y se constató que de la margen izquierda y derecha presentan distintos grados de impermeabilidad, donde se construyeron tres torres de vivienda durante la etapa de recolección de datos de campo (Fig.4,b), presenta menor grado de impermeabilidad que la opuesta (Tabla 4.3).



Figura 4.4. Imagen Satelital de la microcuenca de estudio.

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



Figura 4.5. Áreas de Suelo Permeable (sombreadas en verde)

El área de aporte de los sumideros de la calle San Lorenzo y su grado de impermeabilidad se hallan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Distribución de áreas de la microcuenca de estudio

Concepto	Margen Derecha		Margen Izquierda		Total	
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]
Área Permeable	0,386	23	0,784	32	1,170	28
Área Impermeable	1,368	77	1,666	68	3,033	72
Área Total	1.754	100	2,448	100	4,203	100

El barrio en que se haya ubicada la microcuenca de estudio es de uso residencial, sin embargo, la misma presenta un alto grado de ocupación e impermeabilidad.

4.3 Monitoreo Hidrosedimentológico

El propósito del monitoreo hidrosedimentológico es conocer las concentraciones de sedimento arrastrado por la escorrentía durante diferentes eventos. En tal sentido, y considerando la afectación que tiene una cuenca urbana a la polución difusa, es importante destacar la variabilidad del fenómeno,



ya que, las concentraciones pueden variar en órdenes de magnitud ante diferentes tormentas e incluso durante el transcurso de un único evento.

El periodo de mediciones coincidió con el año hidrológico 2009/10, que en la región se inicia el 01/09 y finaliza el 31/08 del siguiente año.

El año 2009/10 fue un año húmedo, si se considera el registro de precipitaciones anuales obtenidos de las estación meteorológica del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional. Esta estación, ubicada a menos de 200 m del área de estudio, tiene 24 años de registro sin interrupciones, desde marzo de 1988 (Ruberto y Depettris, 2009).

En la Tabla 4.5 se indican parámetros estadísticos de las precipitaciones anuales acumuladas y de las precipitaciones diarias máximas anuales registradas por la mencionada estación.

Tabla 4.5. Parámetros estadísticos de la Precipitación anual acumulada y de la precipitación diaria máxima anual – Estación Meteorológica de la Facultad de Ingeniería (UNNE)

Parámetros Estadísticos	Precipitación Anual Acumulada	Precipitación diaria máxima anual
Media	1.394,3 mm	118,26 mm
Mediana	1.334,7 mm	116,10 mm
Desvío estándar	327,97 mm	35,71 mm
Coefficiente de asimetría	0,51	0,16
Coefficiente de Variación	0,2354	0,3020
Curtosis	-0,60	-1,10
Máximo	2090 mm (1997/98)	186,0 mm (15/04/2005)
Mínimo	974 mm (2007/08)	59,2 mm (19/04/2011)
Rango	1116 mm	126,8 mm

Utilizando un ajuste tipo Log Pearson III se puede inferir que el año 09/10 tiene una probabilidad de excedencia de 14,29%, es decir un tiempo de recurrencia de 7 años (Tabla 4.6).

Tabla 4.6. Registro de Precipitaciones anuales y precipitaciones máximas diarias con sus probabilidades de excedencia asociadas

Año Hidrológico				Precipitación Máxima Anual		
Inicio	Final	P _{anual}	Tiempo de Recurrencia	Fecha	P _{max}	Tiempo de Recurrencia
[dd/mm/aaaa]	[dd/mm/aaaa]	[mm]	[años]	[dd/mm/aaaa]	[mm]	[años]
01/09/1988	31/08/1989	1350,3	2,0	02/03/1989	79,5	1,2
01/09/1989	31/08/1990	1816,9	9,3	09/02/1990	146,6	4,8
01/09/1990	31/08/1991	1470,9	2,8	18/12/1990	130,0	2,9
01/09/1991	31/08/1992	1319,1	1,9	12/04/1992	98,0	1,5
01/09/1992	31/08/1993	1217,2	1,5	08/01/1993	125,0	2,5



01/09/1993	31/08/1994	1633,5	4,7	24/01/1994	146,6	4,8
01/09/1994	31/08/1995	1661,4	5,2	04/03/1995	150,9	5,5
01/09/1995	31/08/1996	1431,2	2,5	23/04/1996	150,6	5,5
01/09/1996	31/08/1997	1630,1	4,7	10/12/1996	166,1	9,5
01/09/1997	31/08/1998	2090,6	28,0	23/04/1998	134,5	3,3
01/09/1998	31/08/1999	1288,0	1,7	16/02/1999	88,5	1,3
01/09/1999	31/08/2000	1237,0	1,5	13/02/2000	110,0	1,8
01/09/2000	31/08/2001	1618,8	4,5	10/06/2001	172,5	12,0
01/09/2001	31/08/2002	2011,8	20,0	25/03/2002	108,2	1,8
01/09/2002	31/08/2003	1175,2	1,4	18/04/2003	110,7	1,8
01/09/2003	31/08/2004	1176,3	1,4	13/12/2003	77,0	1,1
01/09/2004	31/08/2005	1512,1	3,1	15/04/2005	186,0	20,5
01/09/2005	31/08/2006	985,8	1,1	19/12/2005	85,5	1,2
01/09/2006	31/08/2007	1007,9	1,1	12/01/2007	75,0	1,1
01/09/2007	31/08/2008	974,1	1,1	27/12/2007	82,5	1,2
01/09/2008	31/08/2009	996,1	1,1	06/02/2009	121,5	2,4
01/09/2009	31/08/2010	1739,8	7,0	19/01/2010	155,0	6,4
01/09/2010	31/08/2011	1022,8	1,1	19/04/2011	59,5	1,0
01/09/2011	31/08/2012	1083,4	1,2	05/11/2011	78,5	1,1

En la Tabla 4.6 además se indican las precipitaciones diarias máximas anuales de todo el registro y la probabilidad de excedencias asociadas a las mismas determinadas mediante un ajuste de tipo Log Pearson III.

Se midieron nueve (9) eventos registrados en un periodo que duró desde septiembre de 2009 a marzo de 2010. En la Tabla 4.7 se indica los eventos medidos y el total diario precipitado registrado en las fechas de medición.

Tabla 4.7. Eventos medidos en la microcuenca de estudio

Designación del Evento	Fecha	Precipitación diaria [mm]
1	03/09/2009	13
2	14/10/2009	4,8
3	06/11/2009	49,2
4	08/02/2010	91,8
5	20/11/2009	9,4
6	15/02/2010	34,2
7	22/02/2010	30,6
8	03/03/2010	11,6
9	19/03/2010	4,4

Considerando el ajuste probabilístico usado para las precipitaciones diarias máximas anuales se puede inferir que todos los eventos medidos son precipitaciones ordinarias con tiempo de

recurrencias menores a 1 año, excepto por el evento 4 (08/02/2010) que presenta un tiempo de recurrencia de 1,3 años.

Las mediciones se realizaron en las cunetas de la calle San Lorenzo unos metros aguas arriba de los sumideros de la microcuenca y tuvieron el propósito de determinar los caudales líquidos que descargaban a estos últimos y las concentraciones de sólidos de suspendidos del efluente pluvial, Ambas mediciones se realizaron en forma simultánea de manera de determinar las cargas de sedimentos transportadas. A continuación se detalla en la metodología utilizada para medir los caudales líquidos y concentraciones de sedimentos en forma separada.

Aforos de Caudales Líquidos

Para realizar los aforos de caudales se midieron el ancho mojado del escurrimiento tanto en la cuneta del margen derecho como del margen izquierdo de la calle San Lorenzo (Fig. 4.6) usando para ello, en algunos casos, las escalas hidrométricas pintadas previamente sobre la calzada, materializando la sección de escurrimiento para cada ancho de cauce registrado.

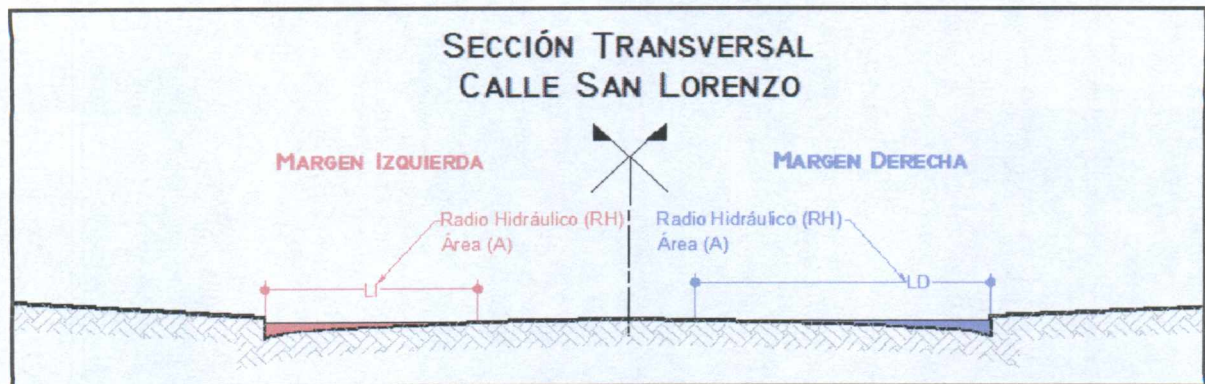


Figura 4.6. Metodología utilizada para la medición de caudales líquidos

Para la determinación del área de la sección transversal del cauce (A) y su radio hidráulico (Rh), a partir del ancho medido, se utilizó la sección de calzada medida previamente por Kutnich (2008).

La conversión del ancho mojado en la sección de control a caudales se realizó a través de la fórmula de Chezy (Ec 4.1).

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot Rh^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i} \quad [4.1]$$

Donde:

Q: caudal líquido (m³/s);

n: coeficiente de rugosidad de Manning, (igual 0,013 según Chow, 1983);

A: área transversal del escurrimiento (m²);

Rh: Radio Hidráulico (m)

i: pendiente hidráulica (m/m)

En el caso de un flujo uniforme, la pendiente hidráulica es igual a la pendiente de fondo del canal, que en este caso es de 0,01m/m.

La metodología adoptada presenta una gran simpleza y facilidad de ejecución, aunque ante ciertas particularidades puede perder precisión. A continuación se detallan las desventajas:

- Ante condiciones de flujo subcrítico y bajos tirantes, cualquier obstáculo en escurrimiento puede generar modificaciones en el ancho de cauce. Esta variabilidad se acentúa para valores de ancho mojado entre 1,3 y 2,0m (13 l/s y 38l/s) dado que la pendiente transversal de la calzada se atenúa.
- Los valores del coeficiente de Manning (n) fueron adoptados a partir de la bibliografía especializada (Chow, 1983), sin que se haya podido constatar los mismos a partir de mediciones paralelas, realizadas con metodologías más precisas (ej: usando canaleta Parshall, vertedero, etc).
- La consideración de la pendiente hidráulica igual a la pendiente de fondo del canal es válida únicamente para flujos uniformes, esta condición no se cumple ante eventos extremos, cuando los caudales son tan altos que exceden la capacidad de los sumideros y se genera un remanso aguas arriba de los mismos.

Aforos de Concentración de Sólidos Suspendidos

Simultáneamente al aforo de caudales se recolectaron muestras del efluente pluvial en ambas márgenes de la calzada para su posterior análisis en laboratorio (Fig 4.7).

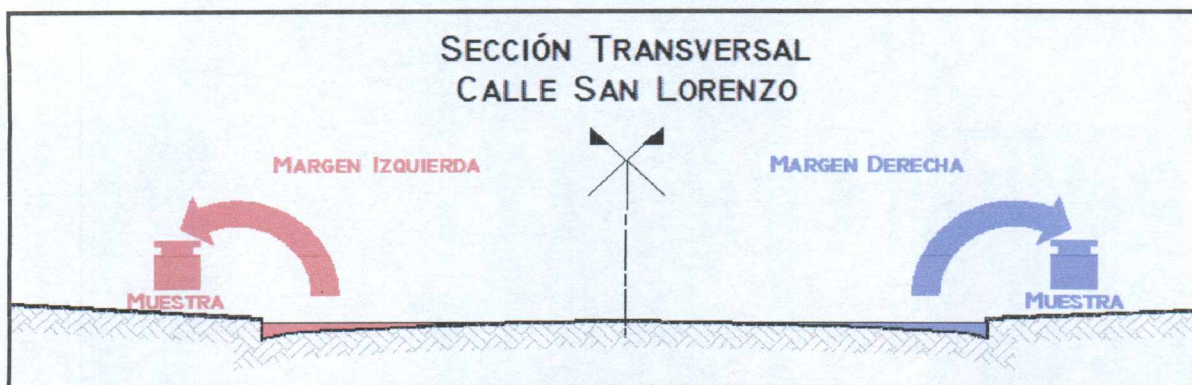


Figura 4.7. Esquema de Recolección de Muestras

Para la recolección de muestras representativas del flujo, se debe contar con captadores que tengan forma hidrodinámica, no generen alteraciones por presiones hidrostáticas y no sean desarenadores (Konzewitsch, 1968), además de ser compactos, livianos, de fácil operación y mantenimiento y relativamente baratos (Carvalho, 1994).

Existe una gran variedad de captadores que se adaptan a las condiciones del flujo y de los parámetros a medir. Ellos pueden ser: muestreadores instantáneos (colectan por cerramiento

instantáneo), muestreadores por integración (que van acumulando la muestra en un recipiente en un cierto intervalo de tiempo y pueden ser puntuales o integradores en vertical) y muestreadores por bombeo (captan la muestra a través de la acción de bombeo).

Así, llevado al campo de las cuencas urbanas de llanura, un equipo de muestreo para efluentes pluviales del sistema mayor debe ser apto para captar muestras representativas, considerando los bajos tirantes y bajas velocidades de escurrimiento que se produce en el mismo.

Teniendo como premisa el monitoreo de las aguas pluviales urbanas el Grupo de Investigación del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste desarrolló un captador específico, orientado, particularmente, a la captura e identificación de sólidos suspendidos, considerada de interés en el monitoreo de aguas pluviales urbanas, denominado DH3 (ARG-P-H-09 según nomenclatura norteamericana) (Fig. 4.8). El mismo consiste en un tubo de acrílico de 70mm de diámetro interior, 3mm de espesor y 403mm de largo, con una válvula mariposa en cada extremo del tubo. Así, la capacidad máxima de almacenamiento es de 1,46 l. Una varilla de acero inoxidable de 6mm de diámetro con articulaciones en sus extremos solidarias a los ejes de giro de las válvulas permite el cierre conjunto de estas últimas. (Ruberto et al, 2009).

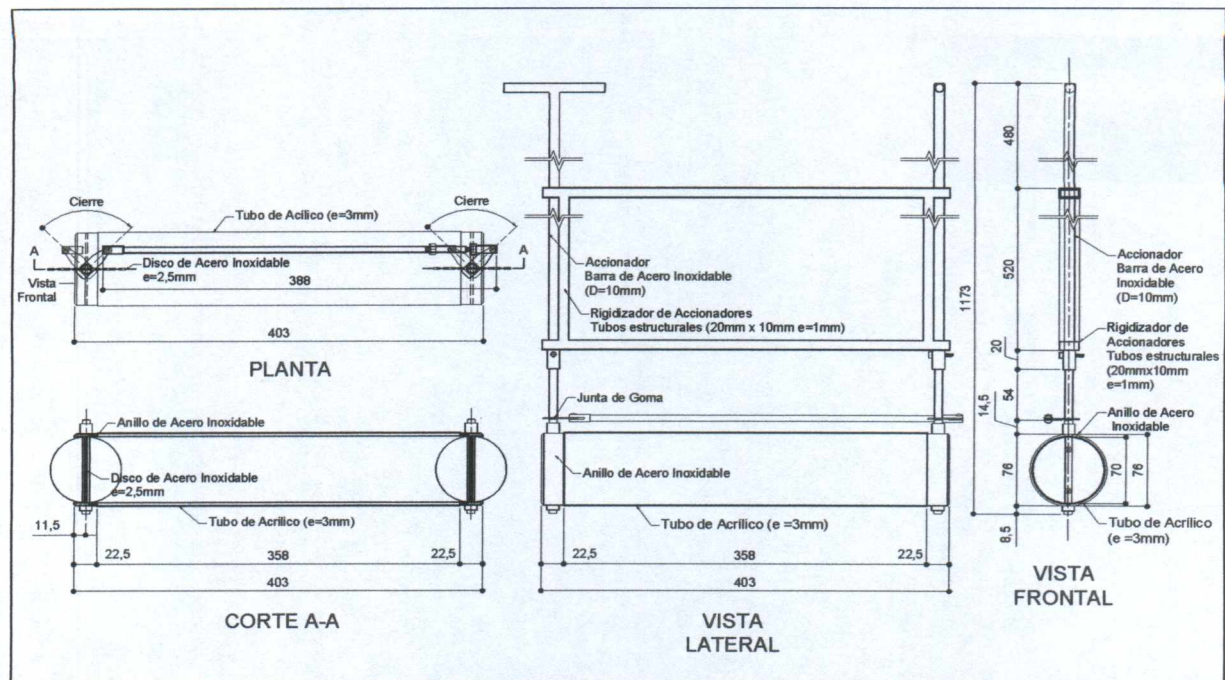


Figura 4.8. Dimensiones y materiales del muestreador DH3

La metodología utilizada, consistió en la recolección de muestras mediante el muestreador DH3 de uso manual. Se colocó el muestreador con las válvulas abiertas de manera que este ni su operador interfiriese el flujo. Llegado el momento se cerraron instantáneamente las válvulas y se volcó el contenido a recipientes plásticos (Fig 4.9).



Figura 4.9. Recolección de Muestras mediante captador DH3

Análisis de Laboratorio

En el total de los 9 eventos monitoreados Se recolectaron 89 muestras, que fueron analizadas en el laboratorio sedimentológico del Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL-CONICET), para la determinación de la turbiedad y la concentración de sólidos suspendidos.

En laboratorio es posible determinar las concentraciones de sólidos suspendidos mediante el método de filtración, el método de evaporación o el método de tubo sedimentológico (Carvalho, 1994). El método adoptado fue el de filtración por la rapidez de ejecución, simplicidad de equipamiento y relativa precisión.

El método de filtrado consiste en hacer pasar una porción de la muestra recolectada, en este caso se optó por utilizar volúmenes de entre 25 y 50ml, a través de un disco de acetato de celulosa de 0,45 μm de porosidad. En la Figura 4.10 se puede observar el equipamiento utilizado para el ensayo de filtrado.

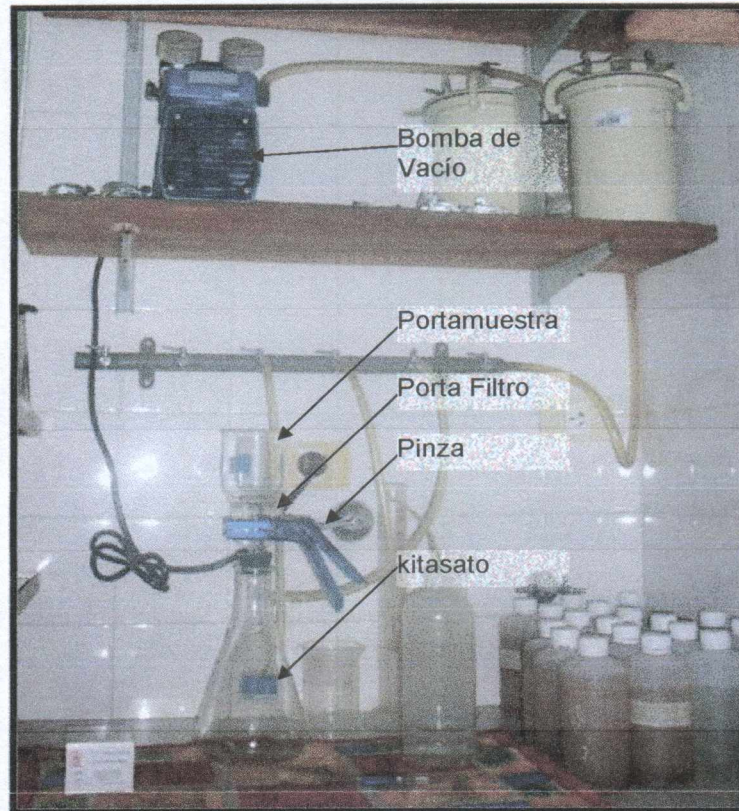


Figura 4.10. Equipamiento utilizado para ensayo de filtrado

Los filtros, previamente tarados, fueron secados mediante estufas a 100°C durante 1h, para luego ser pesados (Fig. 4.11). De la diferencia de pesos entre la tara del filtro y el peso obtenido del mismo después del proceso de filtrado y secado se obtuvo el peso seco del sedimento para un volumen conocido. De la relación entre el peso seco del sedimento y el volumen filtrado se obtuvo la concentración.

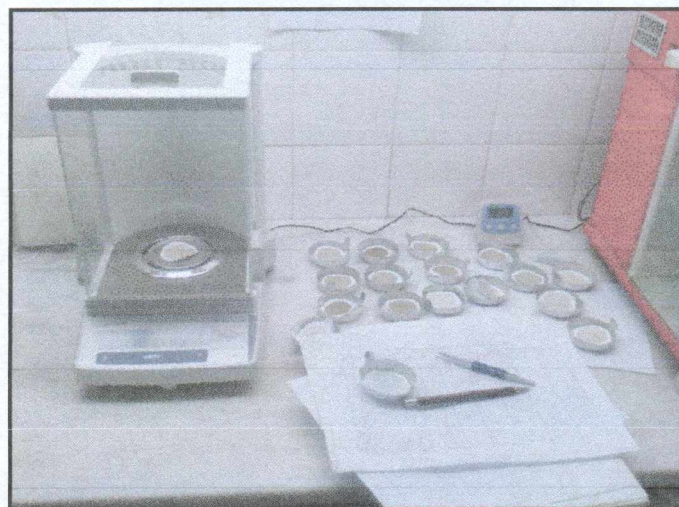


Figura 4.11. Pesaje de los filtros para determinación de la concentración sólidos suspendidos

A manera de verificación de las concentraciones de sólidos suspendidos, se determinó la turbidez de 66 de las 89 muestras recolectadas y con los resultados obtenidos se realizó una curva de regresión utilizando como variable explicativa la turbidez y como variable dependiente la concentración de sólidos suspendidos. La turbidez de las muestras recolectadas fueron determinadas mediante un turbidímetro de marca Hatch modelo 2100A (Fig 4.12).

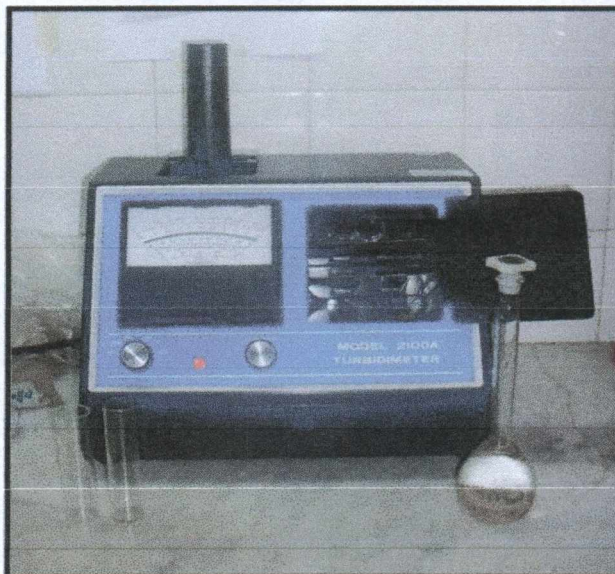


Figura 4.12. Turbidímetro utilizado para la turbidez de las muestras

Los resultados obtenidos permitieron determinar la carga de sedimentos transportadas a lo largo de una precipitación, trazar curvas que relacionan cargas de sedimentos con el caudal líquido, o bien analizar el proceso de lavado en una cuenca.

4.4 Monitoreo de Sedimentos en Tiempo Seco

Para el monitoreo de sedimentos en tiempo seco se utilizó la metodología planteada por Vaze y Chiew (2002) desarrollada en un estudio donde evaluaron la acumulación de poluentes en una carretera urbana en Melbourne (Australia) y replicadas por Dotto (2006) y Gomes (2008) en Santa Maria, Brasil y Zafra Mejía *et al* (2009) en la ciudad de Torrelavega (Cantabria), España.

Las muestras de sedimento se tomaron en días de tiempo seco, a un costado de la cuneta, a la misma hora y durante un período de 35 días, La superficie de muestreo tuvo un área de 0,49 m² (0,70 m x 0,70m), Las dimensiones del área de muestreo se garantizaron colocando sobre la superficie un marco dimensiones internas idénticas a las detalladas. En la recolección del sedimento se utilizó un aspiradora de polvo de 90w de potencia y marca Electrolux modelo ergorápido.

Las muestras se recolectaron diariamente, en las tres cuerdas de la calle San Lorenzo de la microcuenca (Figura 4.13), tanto en margen derecha e izquierda. Es decir, diariamente se tomaron muestras de 6 puntos distintos, La ubicación de estos fue elegida al azar. Cada punto de muestreo fue georeferenciado con la utilización de un receptor GPS.

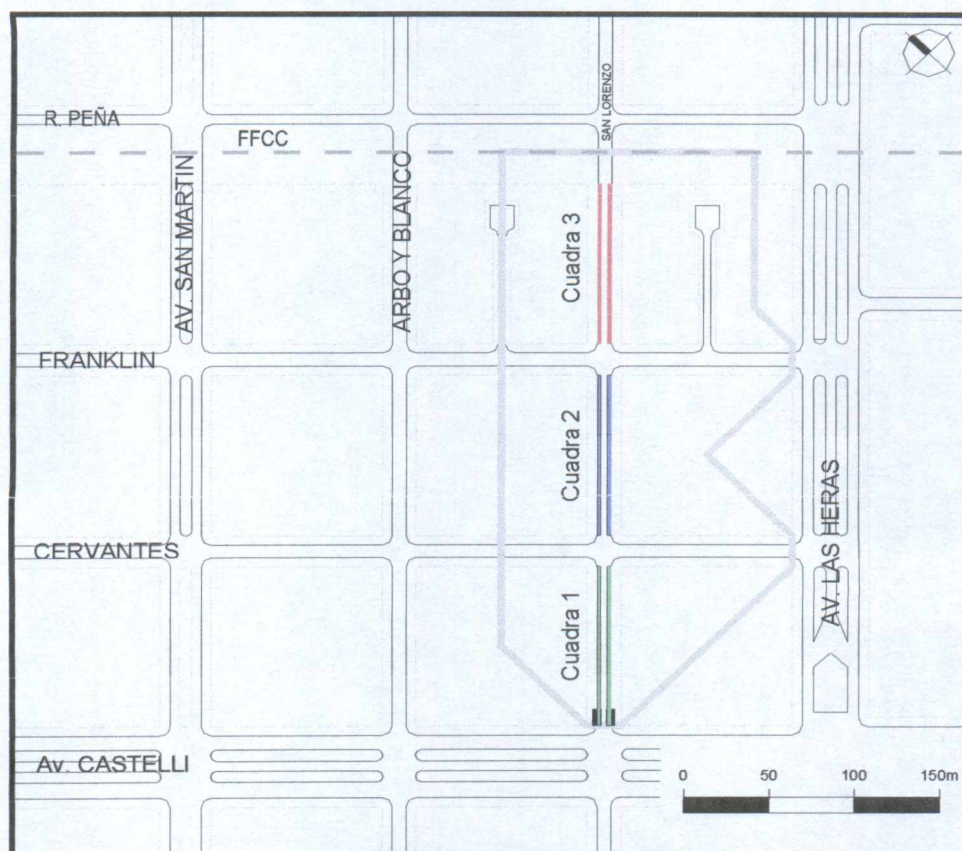


Figura 4.13. Sitios de monitoreo durante tiempo seco

Dos tipos de muestras fueron recolectadas. La primera muestra correspondió a la aspirada directamente sobre la superficie de muestreo, la cual se llama “carga libre” (CL) (el sedimento con menor tiempo de residencia). Seguidamente, la misma superficie es barrida con un cepillo de fibras para que los sedimentos adheridos a la misma estuvieran disponibles para ser aspirados. Al sedimento recolectado después del barrido se lo llama “carga fija” (CF) (sedimento con mayor tiempo de residencia). La superficie de muestreo es barrida ligeramente para evitar el desprendimiento de partículas pertenecientes al pavimento e intentando aplicar el mismo esfuerzo sobre el cepillo durante todo el período de muestreo. La “carga total” (CT) depositada sobre la superficie estuvo constituida por la suma de la “carga libre” y la “carga fija”.

Durante la campaña de recolección de muestras se evitó repetir los lugares de muestreo. En la Figura 4.14 se puede observar el proceso de recolección de sedimentos en tiempo seco.

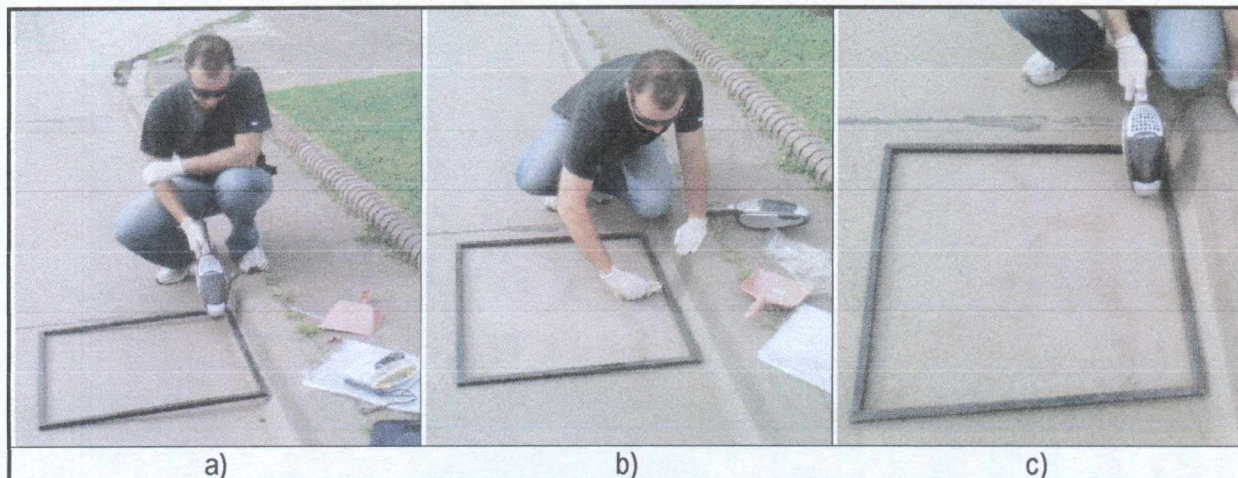


Figura 4.14. Área de muestreo aislada por marco metálico
(a) aspirada, (b) levemente cepillada y (c) aspirada nuevamente

Análisis de Laboratorio

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

Luego, todas las muestras de cargas libres recolectadas en mismo día, fueron mezcladas a fin de obtener una muestra representativa del lugar. El mismo proceso fue realizado con las cargas fijas y para sendas muestras se realizó un análisis granulométrico.

El análisis granulométrico se realizó mediante tamizado, usando para ello Tamices #10; #40; #50; #60; #100 y #200 (Fig. 4.15).

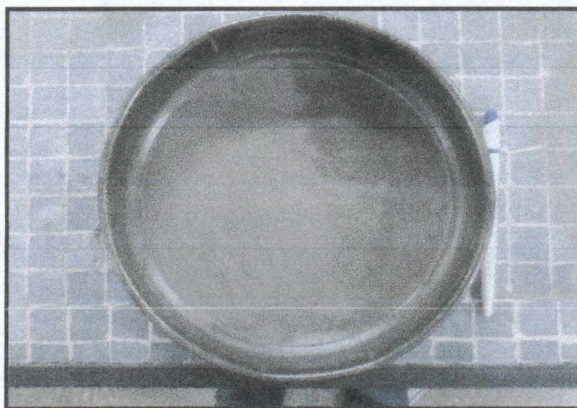


Figura 4.15. Porción de muestra retenida por Tamiz #200

Durante toda la campaña se recolectaron 357 muestras, lo que representó un total 17,97kg de sedimento seco. Con los datos obtenidos fue posible determinar el aumento diario de la carga de sedimentos acumulado en las cunetas durante tiempo seco. Esto permitió adoptar y calibrar un modelo

que interprete el proceso de acumulación de sedimento y evaluar el efecto de la lluvia y la eficiencia de limpieza de las calles en la remoción de sedimentos.

Análisis de Variabilidad Espacial

Se realizó un análisis de la variabilidad espacial del fenómeno, considerando que las cargas de sedimentos tienden a aumentar con el transcurso del periodo sin lluvias (Tiempo seco). Así, se adimensionalizaron los tres valores (i.e. CL, CF, CT) obtenidos de cada punto de muestreo mediante la relación de estos con el promedio diario de cada tipo de muestra, A esos valores adimensionalizados se los denominó “Índice de acumulación” (Ecuación 4.2).

$$I_A = \frac{B_{ij}}{Bm_i} \quad [4.2]$$

Donde:

I_A : Índice de Acumulación;

B: Carga de sedimentos libre, fija o total, registrada en un punto j durante el día i (g/m^2);

Bm_i : Carga media de sedimentos libre, fija o total, registrada durante el día (g/m^2);

Los índices de acumulación fueron agrupados, según su ubicación, en franjas de 35m a lo largo de la calle San Lorenzo (Figura 4.16), en sus márgenes izquierda y derecha y se obtuvo los promedios de cada franja.

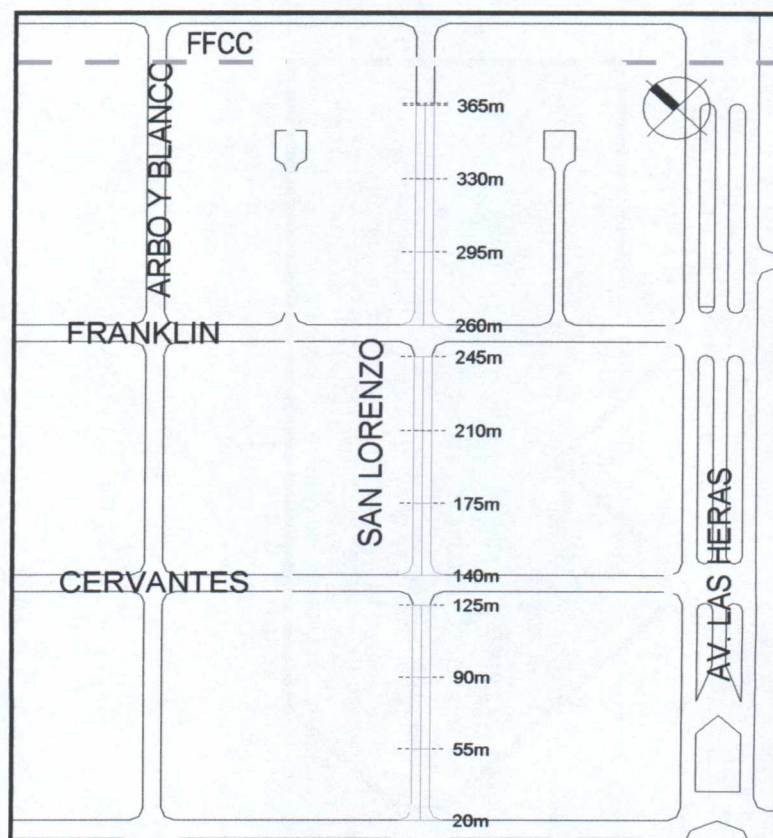


Figura 4.16. Franjas en que se agruparon los IA para su análisis

Luego los promedios de los índices de acumulación fueron categorizados (Tabla 4.8).

Tabla 4.8. Categorización de IA utilizada

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

Con los resultados obtenidos fue posible detectar las zonas de mayor acumulación de carga de sedimentos y considerar las causas de estas particularidades.

4.5 Modelo de Calidad de Aguas

La utilización de un modelo de calidad de aguas tiene como propósito predecir la carga de sedimentos transportados por el escurrimiento urbano, para cualquier precipitación. Para ello es fundamental contar con datos confiables y una adecuada interpretación del fenómeno. A tal efecto se utilizó el programa Stormwater Management Model (SWMM) de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos, este programa es el de mayor difusión y uso a nivel mundial por su simplicidad, entorno amigable y ser gratuito.

La calibración del modelo se realizó tanto en calidad como en cantidad, para ello se analizó en forma continua un periodo de más de 6 meses que abarcó de septiembre de 2009 a marzo de 2010. Se tomaron como datos de entrada, los registros pluviográficos y, como la calibración se realizó bajo una simulación continua, los datos de evaporación más cercanos a la microcuenca de estudio.

El inicio del periodo elegido coincide con un periodo seco, en tanto que en el último año esta situación se revirtió a partir de noviembre del 2010, cuando precipitan 351mm en 7 días, evento que se estima tiene un tiempo de recurrencia de 20años (Mendez et al, 2010 a).

Datos Meteorológicos

Se utilizaron datos de precipitación registrados cada 15 minutos y de evaporación diaria. Los datos de precipitación del año 2009/10 son los registrados por el pluviógrafo de la Administración Provincial del Agua – Chaco, instalado en cercanías a la laguna "Los Lirios", ubicada a unos 2 km al este de la microcuenca estudiada, Los datos de evaporación fueron los registrados en el tanque de la Estación Meteorológica de Capacitación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, ubicada a 300m de la microcuenca (Figura 4.3).

Todos los datos utilizados se detallan en el Anexo I – Datos Meteorológicos.

Diseño del Modelo

Se dividió al área de estudio en 2 subcuencas que aportan a los sumideros de la calle San Lorenzo, designadas como Derecha e Izquierda (Figura 4.17).



Figura 4.17. Modelo utilizado para analizar la microcuenca de la calle San Lorenzo

Calibración del modelo de transformación lluvia caudal

Todos los modelos que interpretan el arrastre de sedimentos por la escorrentía urbana tienen como variable explicativa al caudal líquido. Por tanto, para interpretar y ajustar un modelo que explique el arrastre de sedimentos es fundamental obtener esta variable en un periodo continuo y extendido de tiempo, dado que los volúmenes de escurrimientos precedentes a una precipitación cualquiera inciden en la cantidad de sedimentos acumulados en superficies impermeables. Esto es solo posible mediante un modelo de transformación lluvia caudal, como SWMM, calibrado mediante los nueve (9) eventos registrados en un periodo que duró desde septiembre de 2009 a marzo de 2010 (Tabla 4.5).

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

- Ancho característico de flujo;
- Pendiente media de la superficie;
- Porcentaje de área impermeable sin almacenamiento;



- Coeficiente de Manning para áreas impermeables;
- Coeficiente Manning para áreas permeables;
- Almacenamiento en depresión en áreas impermeables;
- Almacenamiento en depresión en áreas permeables;
- Tasa de Infiltración Máxima
- Tasa de Infiltración Mínima
- Constante de Disminución
- Tiempo de Secado

La calibración del modelo se realizó en forma manual, analizando la sensibilidad del mismo ante la variabilidad de un parámetro por vez.

Calibración del Modelo de Calidad de Aguas

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

En cuanto al arrastre de sedimento se utilizaron dos modelos suministrados por el SWMM, el de relación de caudales (RC) y la curva exponencial (EXP) detallados en las Ec 3.22 y 3.23 respectivamente. Los resultados obtenidos del modelo fueron comparados con los datos de campo recolectados en el monitoreo hidrosedimentológico.

La utilización de estos dos modelos obedece a los siguientes aspectos destacados:

- La relación de caudales (RC) al no considerar la acumulación de sedimentos en tiempo seco puede dar valores menores de concentraciones de sedimentos al inicio de la precipitación, es decir, descarta la presencia de un fenómeno de primer flujo.
- La curva exponencial, al considerar un aporte de poluentes finito, puede dar valores menores a los registrados de concentraciones de sedimentos en la curva de recesión del hidrograma o iguales a cero en ciertos eventos que se registraron luego de intensas precipitaciones.

De esta manera, con la curva exponencial (EXP) se analiza el proceso de lavado de sedimentos acumulados en superficies impermeables que, al no estar estos adheridos a la superficie impermeable y ser esta última la primera en generar escorrentía en una precipitación cualquiera, es la fuente generadora de los altos valores de concentración en los albores de ciertas precipitaciones. Pero también, con la relación de caudales (RC) se considera el aporte de otras fuentes como lavado de suelos permeables.



Así se supone que el aporte de la fuente finita es considerable solo en precipitaciones que generan bajo volumen de escurrimiento o en el inicio del escurrimiento de precipitaciones de fuerte intensidad y considerable duración. Por el contrario, el aporte de la fuente infinita es solo importante en condiciones de altos volúmenes de escurrimiento y despreciable en los albores del escurrimiento generado por cualquier precipitación.

Se definieron los usos de suelo en las subcuencas, a fin de considerar la variación espacial del poluyente en las tasas de acumulación y lavado, como así también, el efecto de la limpieza de calles en las subcuencas. Así se utilizaron seis usos de suelos indicados en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Usos de Suelos utilizadas en el modelo de calidad de aguas

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

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

Los usos de suelo que utilizaron el modelo de lavado del tipo curva exponencial (EXP) se ajustaron en concordancia con el análisis de variabilidad espacial de la acumulación de sedimentos y tal la categorización detallada en Tabla 4.7 (Baja, Media, Alta, Muy Alta). Así La función de acumulación utilizada en cada uno de estos usos de suelo fue el modelo de acumulación que mejor interpretó los resultados obtenidos en el monitoreo de sedimentos en tiempo seco, asignándose un coeficiente de mayoración idéntico al índice de acumulación para cada uso de suelo.

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

Los porcentajes asignados a cada uso de suelo fueron referidos al área total de cada subcuenca. Así, considerando que los usos de suelo designados como Baja, Media, Alta y Muy Alta comprenden los sedimentos acumulados en la superficie de las cunetas de las calles, en la Tabla 4.10 se detallan los porcentajes totales de las cunetas para cada cuenca y cuyo valor es la sumatoria de los mencionados usos de suelos.



Tabla 4.10. Áreas de Cunetas de Calle

Cuenca	Longitud de Cuneta	Ancho de Cuneta	Área de cunetas	Área de total de cuenca	Porcentaje de Área de Cunetas
	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]	[%]
Derecha	585,00	0,70	408,08	17.542	2,33
Izquierda	840,00	0,70	629,30	24.483	2,57

Por tanto, considerando que la suma de porcentaje de los usos de suelo de Baja, Media, Alta y Muy Alta es el porcentaje de las cunetas de calles de cada subcuenca, se estimó la distribución de los porcentajes de dichos usos de suelo mediante el análisis de variabilidad realizado para la calle San Lorenzo.

Los valores de C_1 y C_2 (Ec 3.22) utilizados en los usos de suelo designado como RCD y RCI se obtuvieron de un ajuste realizado a partir de los datos obtenidos del monitoreo hidrosedimentológico.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Monitoreo de Sedimentos en Tiempo Seco

Resultado de las Mediciones Realizadas

El monitoreo de sedimentos en las cunetas de la calle San Lorenzo se realizó durante los períodos indicados en Tabla 5.1 como tiempo seco, los días de precipitaciones no se realizaron mediciones, por lo que el tiempo efectivo de monitoreo fue de 30 días.

Tabla 5.1. Período de Monitoreo en Tiempo Seco Realizado

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

A partir de los análisis de laboratorio y considerando el área de muestreo ($0,49\text{m}^2$) se consideraron las cargas de sedimentos acumuladas por metro cuadrado. Así se estudió la evolución de las cargas libres, fijas y totales durante el período de muestreo en las tres cuadras monitoreadas, tanto en margen derecha como izquierda (Figuras 5.1 a 5.18).

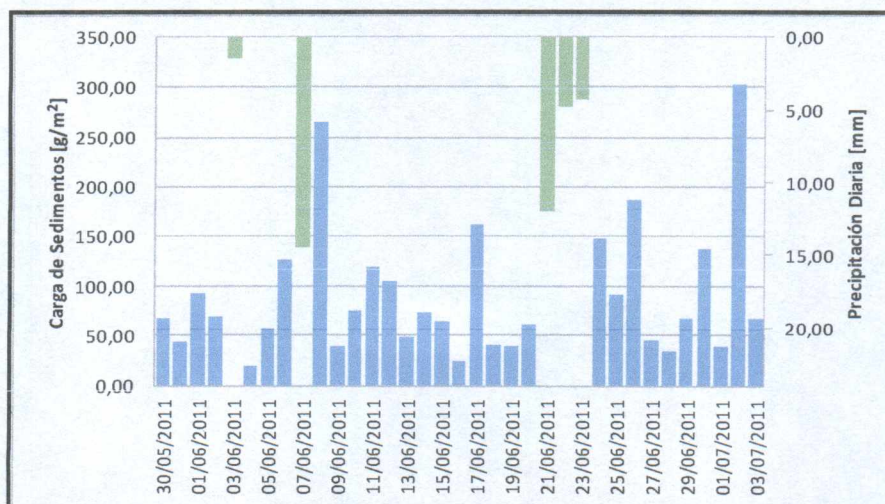


Figura 5.1. Variación de las Cargas Libres durante el período muestreo de la Cuadra 1 – Margen Derecha

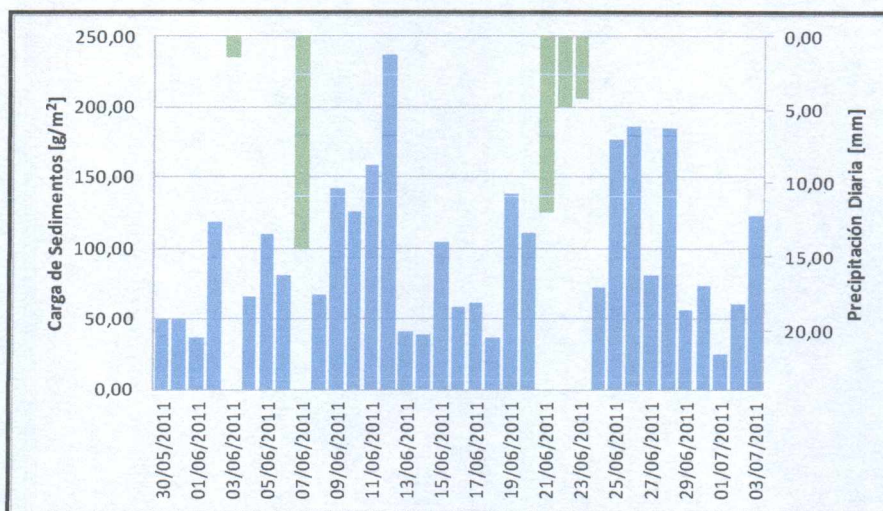


Figura 5.2. Variación de las Cargas Libres durante el período muestreo de la Cuadra 2 – Margen Derecha

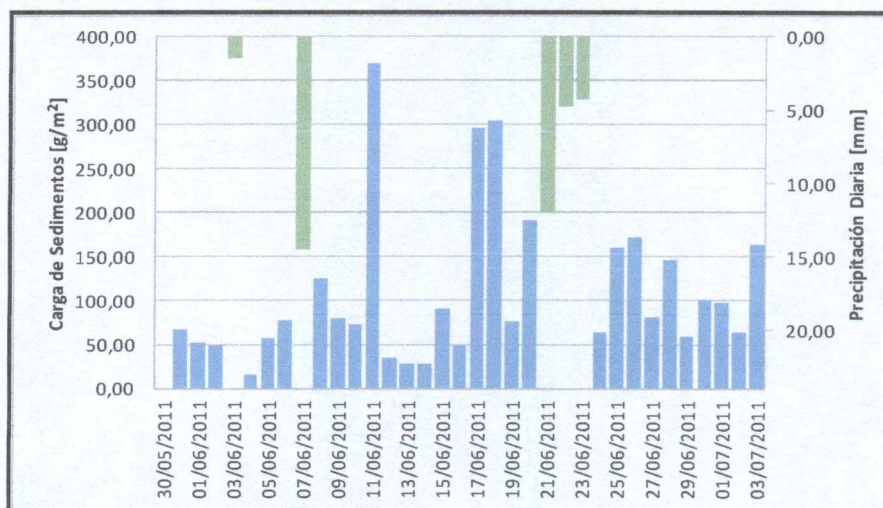


Figura 5.3. Variación de las Cargas Libres durante el período muestreo de la Cuadra 3 – Margen Derecha

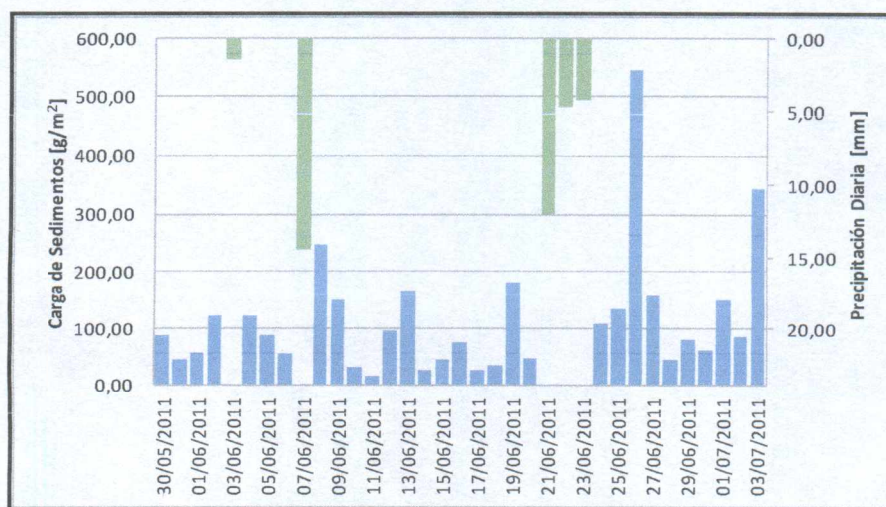


Figura 5.4. Variación de las Cargas Libres durante el período muestreo de la Cuadra 1 – Margen Izquierda

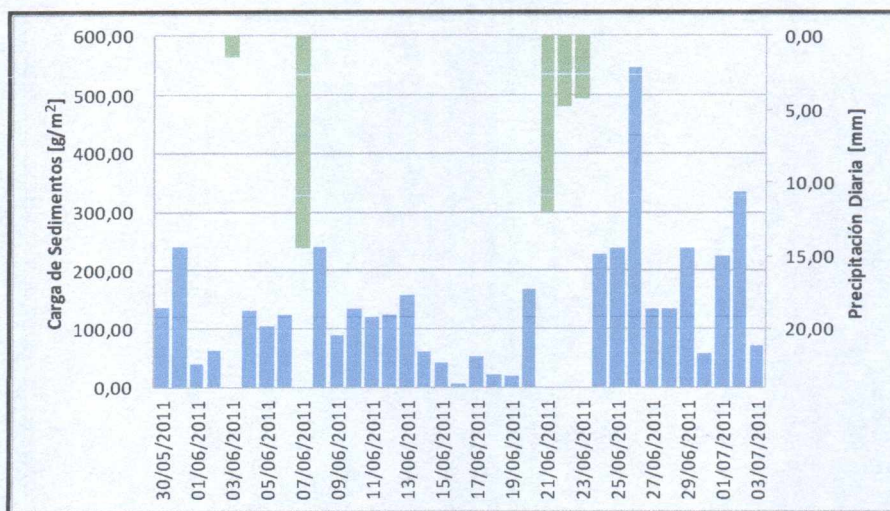


Figura 5.5. Variación de las Cargas Libres durante el período muestreo de la Cuadrada 2 – Margen Izquierda

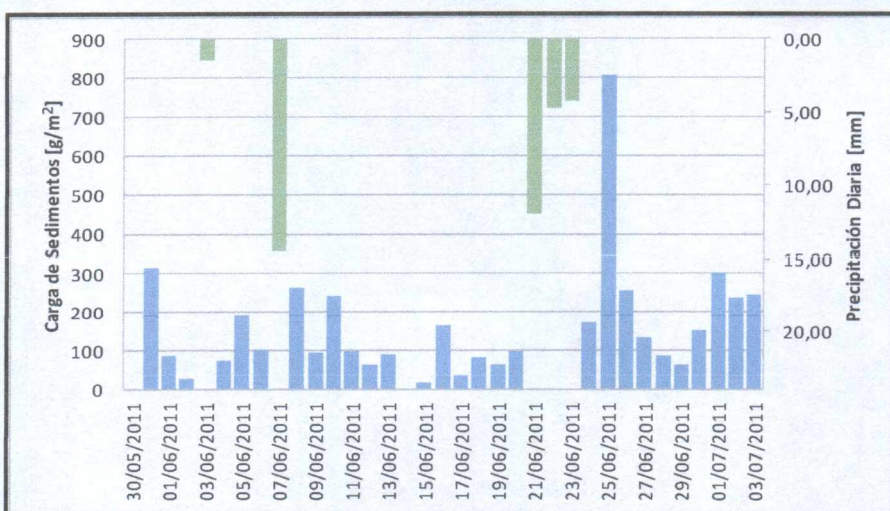


Figura 5.6. Variación de las Cargas Libres durante el período muestreo de la Cuadrada 3 – Margen Izquierda

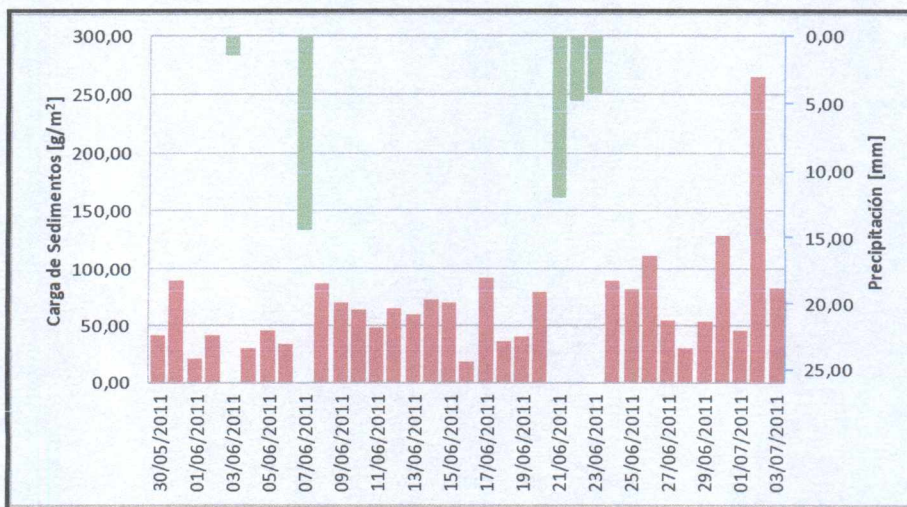


Figura 5.7. Variación de las Cargas Fijas durante el período muestreo de la Cuadrada 1 – Margen Derecha

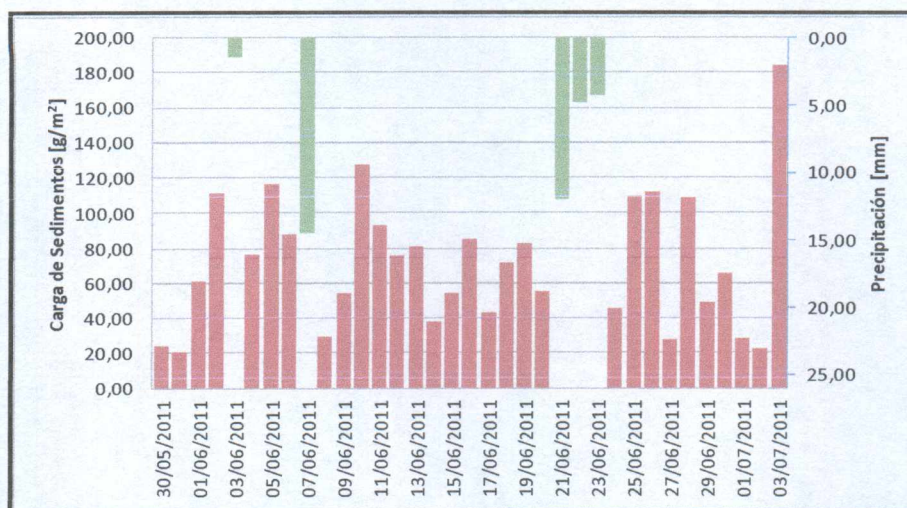


Figura 5.8. Variación de las Cargas Fijas durante el período muestreo de la Cuadrada 2 – Margen Derecha

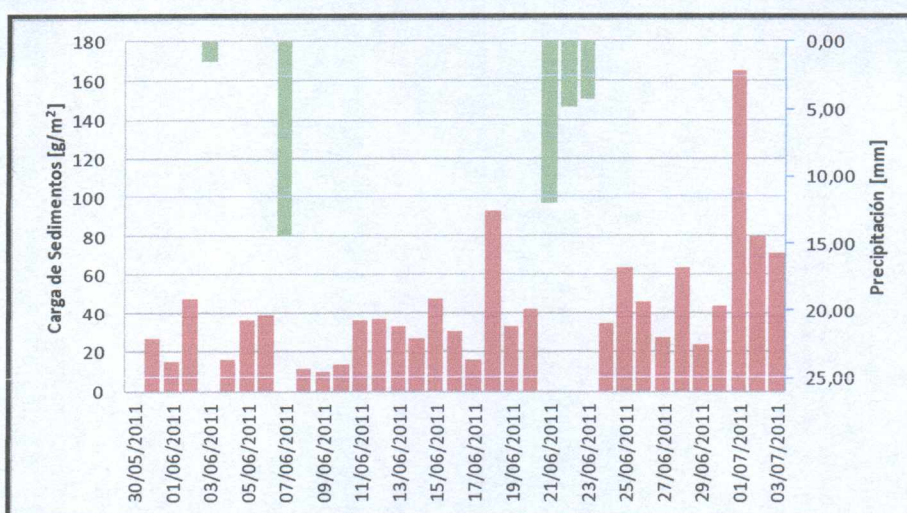


Figura 5.9. Variación de las Cargas Fijas durante el período muestreo de la Cuadrada 3 – Margen Derecha



Figura 5.10. Variación de las Cargas Fijas durante el período muestreo de la Cuadrada 1 – Margen Izquierda

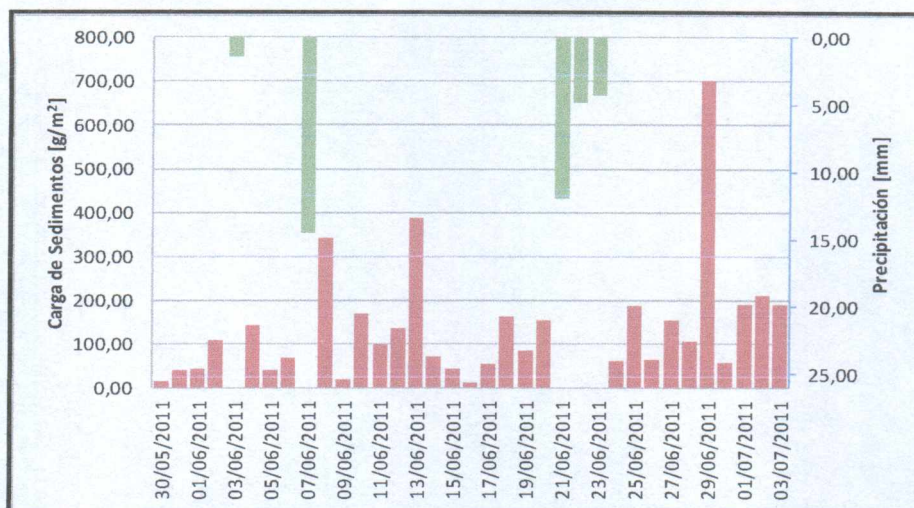


Figura 5.11. Variación de las Cargas Fijas durante el período muestreo de la Cuadra 2 – Margen Izquierda

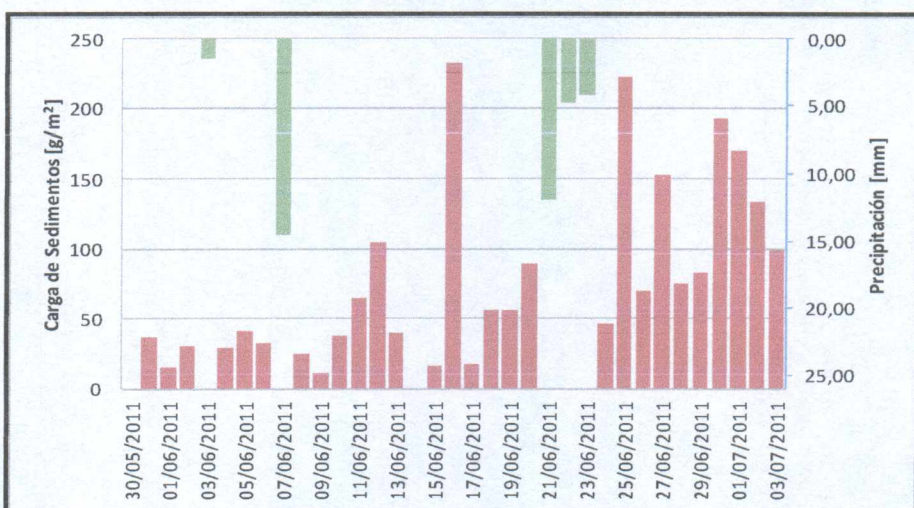


Figura 5.12. Variación de las Cargas Fijas durante el período muestreo de la Cuadra 3 – Margen Izquierda

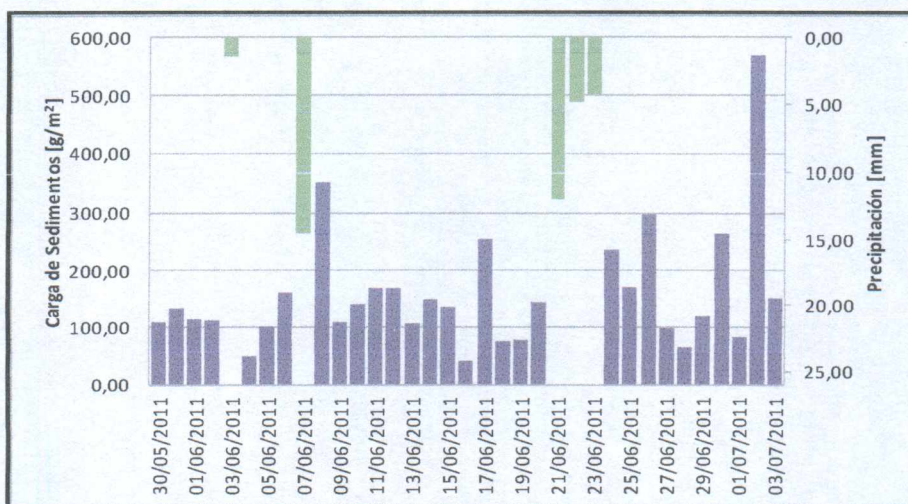


Figura 5.13. Variación de las Cargas Totales durante el período muestreo de la Cuadra 1 – Margen Derecha

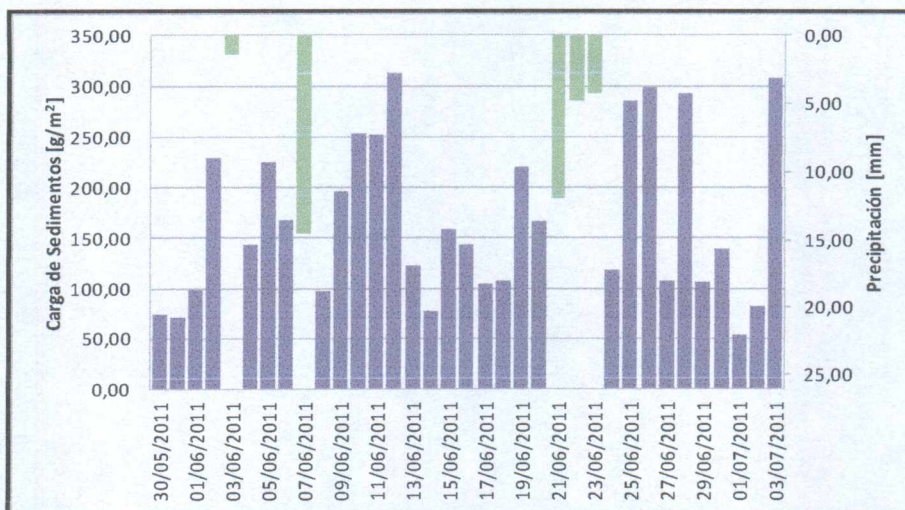


Figura 5.14. Variación de las Cargas Totales durante el período muestreo de la Cuadrada 2 – Margen Derecha

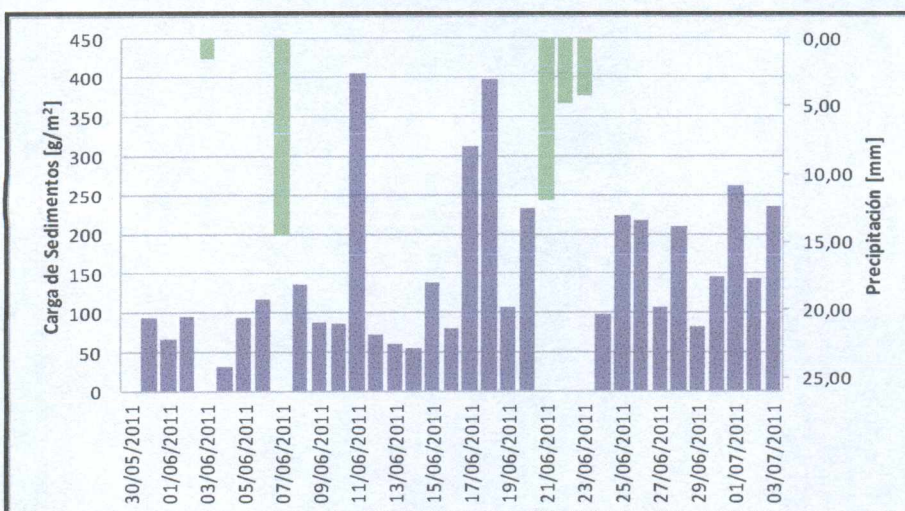


Figura 5.15. Variación de las Cargas Totales durante el período muestreo de la Cuadrada 3 – Margen Derecha

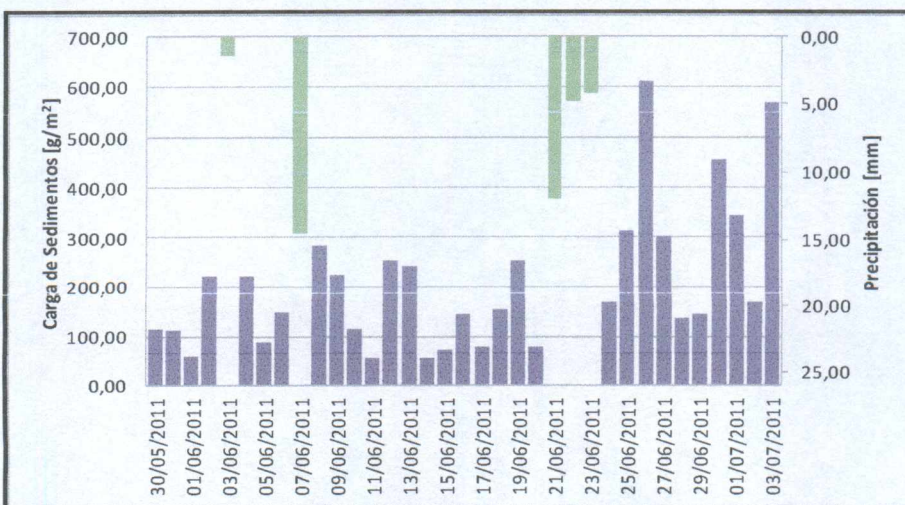


Figura 5.16. Variación de las Cargas Totales durante el período muestreo de la Cuadrada 1 – Margen Izquierda

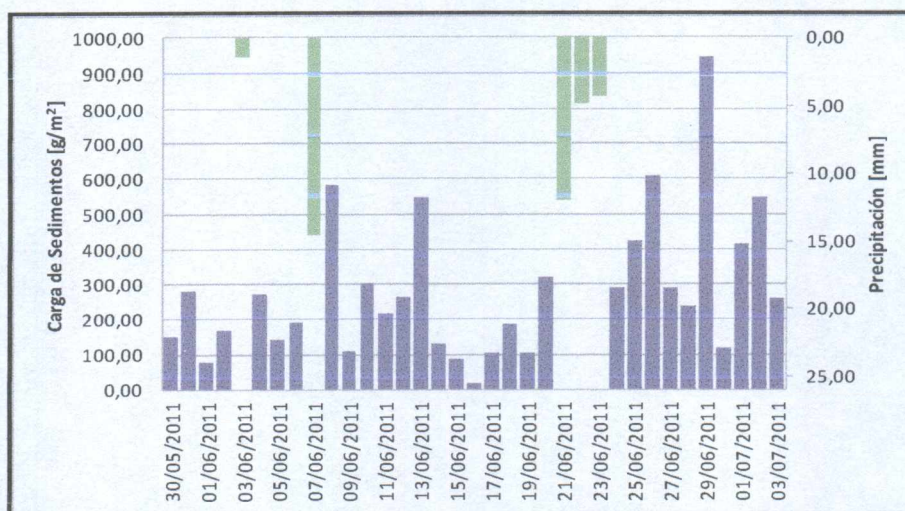


Figura 5.17. Variación de las Cargas Totales durante el período muestreo de la Cuadra 2 – Margen Izquierda

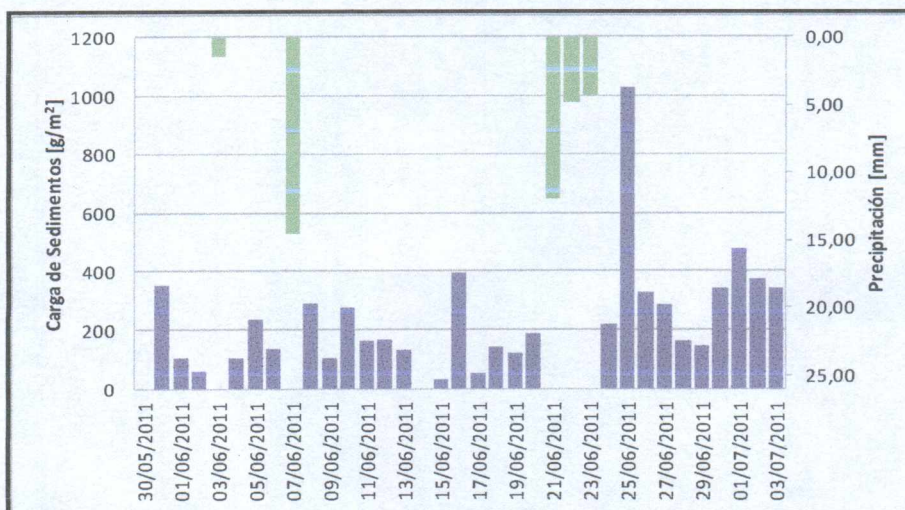


Figura 5.18. Variación de las Cargas Totales durante el período muestreo de la Cuadra 3 – Margen Izquierda

De la observación de las Figuras precedentes es difícil constatar una tendencia general en la evolución de las cargas de sedimento respecto al tiempo seco transcurrido. En líneas generales se pueden observar valores que son ostensiblemente mayores a los de sus pares muestrales. Esta variabilidad puede deberse a variaciones espaciales. En efecto, durante el monitoreo, se percibió que existían sectores que presentan mayor tendencia a la acumulación de sedimentos en tiempo seco y, considerando que los puntos de muestreos fueron elegidos al azar, es posible que estos mayores valores no obedezcan a un proceso temporal. Por tanto, es posible afirmar que la variación espacial juega un papel importante en el proceso de acumulación de sedimentos.

En las Figuras 5.13 a 5.18 puede observarse que el margen izquierdo presenta mayores valores que las cargas totales del margen derecho. En promedio los valores del margen izquierdo fueron un 1,62 veces más altos que los del margen derecho.

Esta variabilidad, no solo existe de un margen a otro sino que se registra en las distintas cuadras monitoreas y dentro de una misma cuadra.

No es posible interpretar una tendencia en la evolución de la carga de sedimentos, si se las analiza por cada cuadra monitoreada. Por tal motivo, se recurrió al uso de los promedio de las cargas libres, fijas y totales de los seis puntos diarios (Figura 5.19, 5.20, 5.21), ya que el uso de este parámetro estadístico permite morigerar las variaciones debidas a fenómenos espaciales.

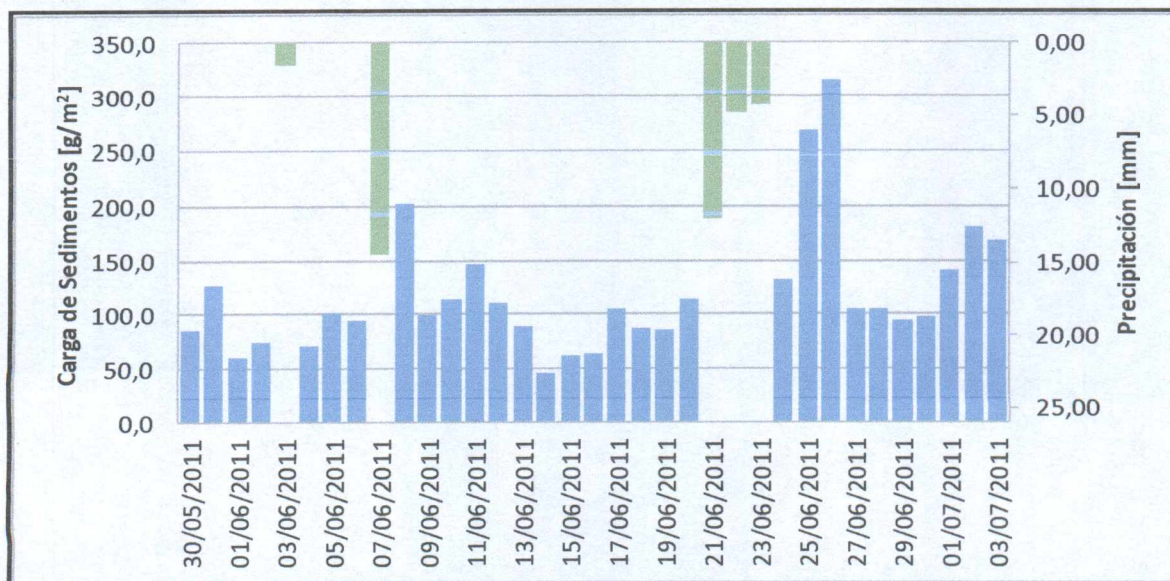


Figura 5.19. Variación de los promedios diarios de cargas libres

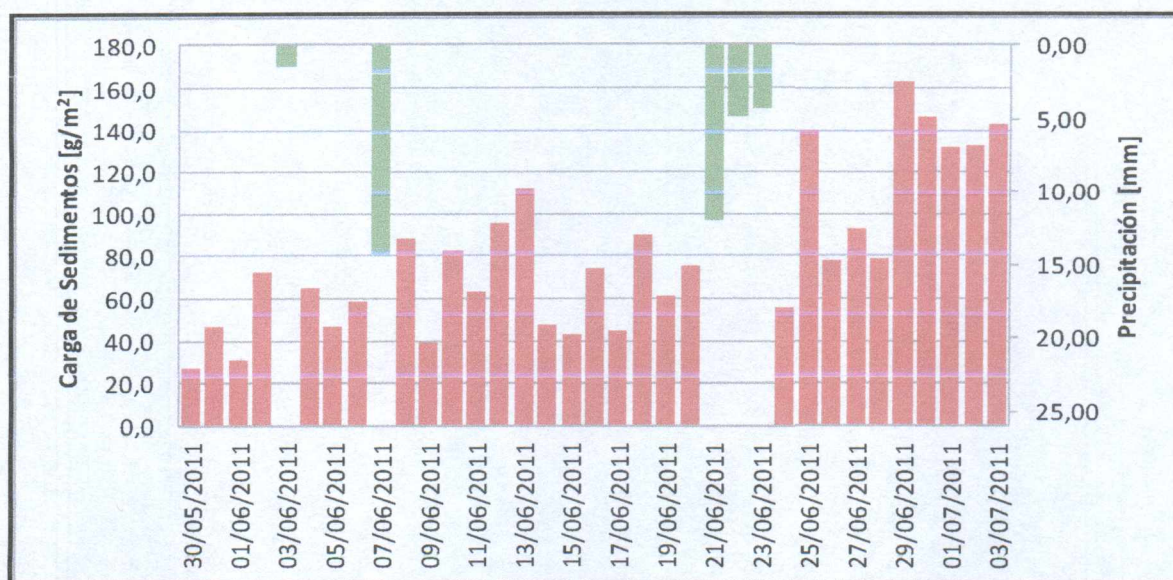


Figura 5.20. Variación de los promedios diarios de cargas fijas

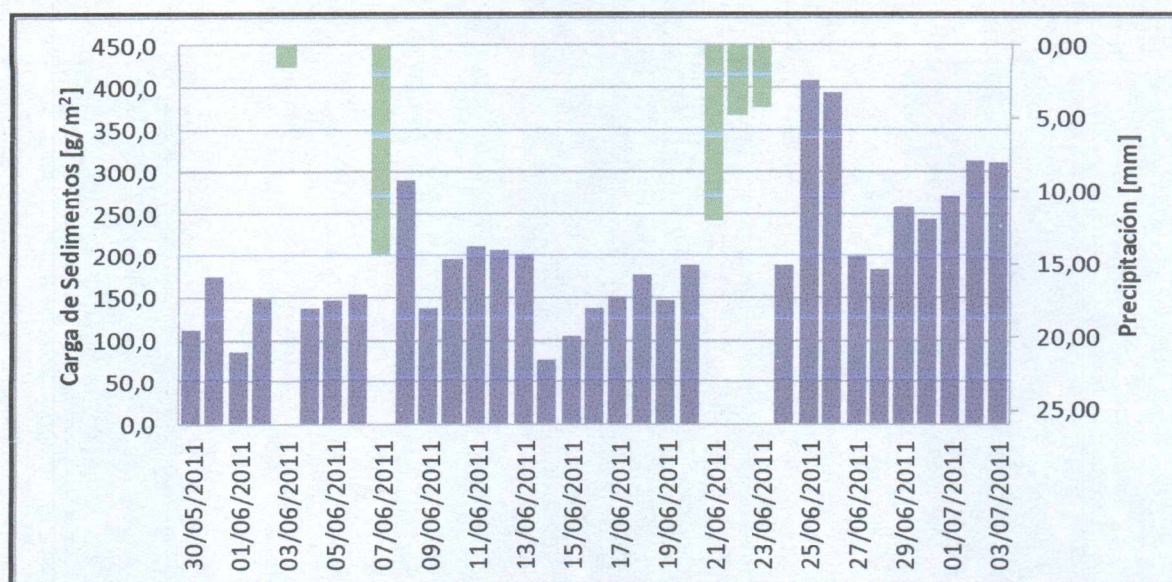


Figura 5.21. Variación de los promedios diarios de cargas totales

De la observación de la Figuras 5.19 puede constatar que las cargas libres presentan valores ostensiblemente más altos a la tendencia general en los días posteriores a las lluvias acaecidas durante el monitoreo, esto no ocurre así con las cargas fijas (Figura 5.20) que presentan valores más homogéneos con una tendencia a aumentar con el transcurso de los días secos. Esto último se debe a que las cargas fijas se ven menos afectadas al tránsito de vehículos y al viento que las cargas libres.

En la Figura 5.21 puede verse que las cargas totales tienden a aumentar con el tiempo seco, los valores promedios registrados oscilan entre 78 g/m^2 y 408 g/m^2 .

Efecto del Viento

También se analizó el efecto de la velocidad viento en el promedio diario de las cargas libres, fijas y totales (Figuras 5.22, 5.23 y 5.24 respectivamente). Se utilizó como dato el registro dado por anemómetro de la estación meteorológica automática de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, ubicada a 200m de la microcuenca de estudio.

Las velocidades promedio del viento en Resistencia es de 7 km/h , sopla predominantemente de los sectores NE (N-NE-E) (Hoffmann. 1971).

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

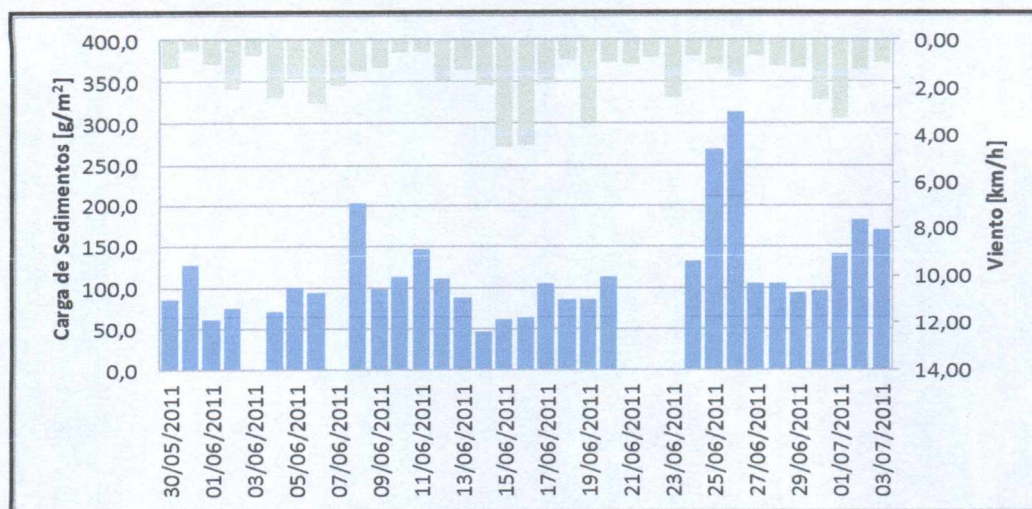


Figura 5.22. Carga Libre y Velocidad del viento

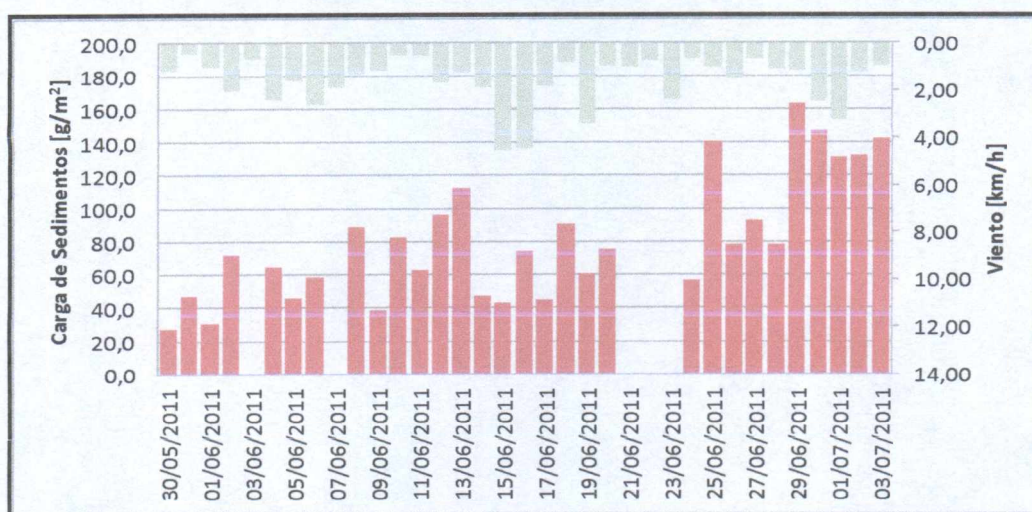


Figura 5.23. Carga Fija y Velocidad del viento

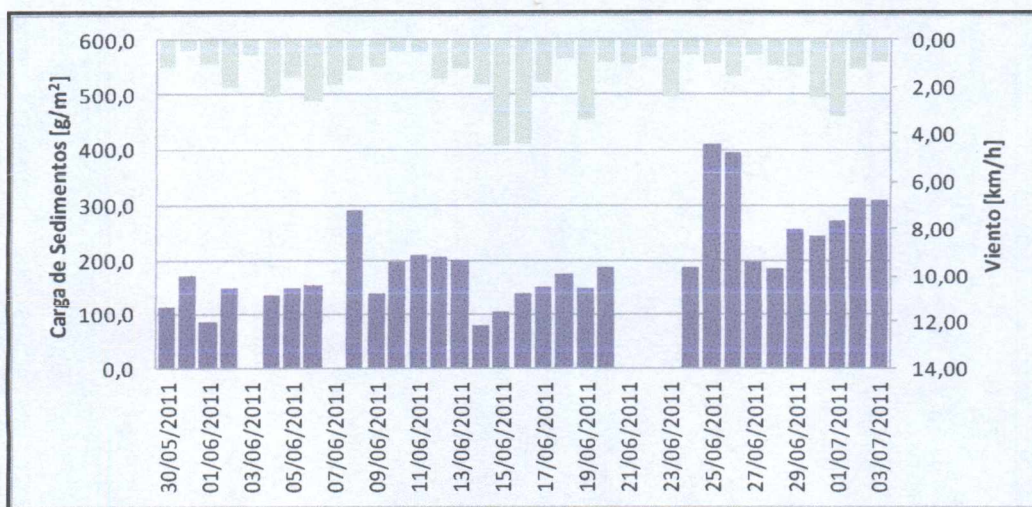


Figura 5.24. Carga Total y Velocidad del viento

De la observación de la Figura 5.23, es posible confirmar que las cargas fijas no se ven afectadas por la velocidad del viento. Las cargas libres tienden a disminuir con el aumento de la velocidad, aunque para velocidades menores a 2km/h parecen no verse afectadas por cambios en la velocidad del viento. De todas maneras, el grado de afectación es muy leve si se lo compara con el efecto de la limpieza de calles respecto a las cargas totales, aspecto que se analiza a continuación.

Limpieza de Calles

Durante las mediciones en tiempo seco, el servicio de limpieza de calles de la ciudad de Resistencia, realizó 4 veces el barrido de las cunetas de la calle San Lorenzo, en las tres cuadras monitoreadas los días: 01/06/11; 09/06/11; 14/06/11; 27/06/11. El procedimiento usado para limpieza de la vía es el barrido manual de las cunetas. El efecto de las estas limpiezas son visiblemente notorios en la cargas totales (Figura 5.25).

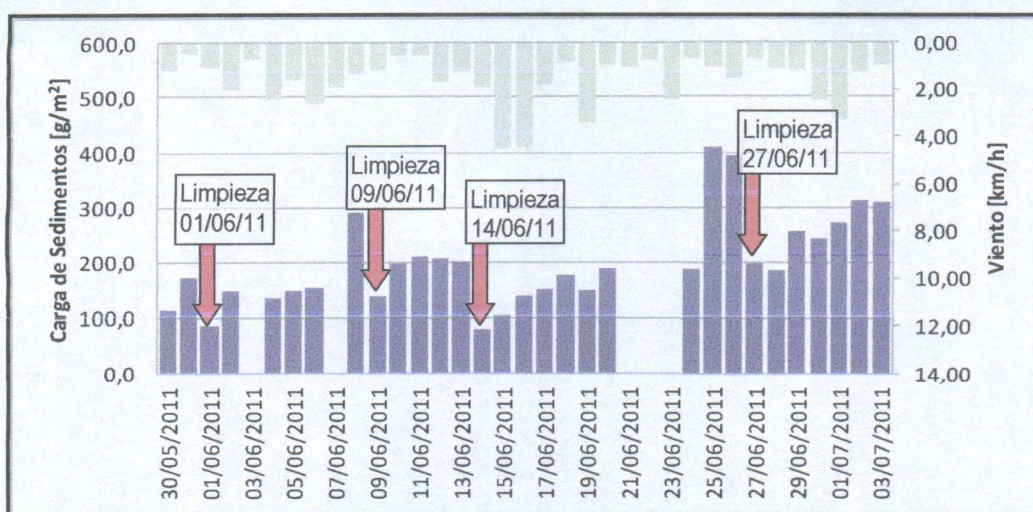


Figura 5.25. Limpieza de calle durante el periodo de mediciones

En forma aproximada, es posible estimar la eficiencia en la remoción de sedimentos mediante la relación entre los valores promedio de cargas totales del día en que se realizó el barrido y su precedente (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Eficiencia del barrido de calles en la microcuenca de estudio

Fecha de Limpieza	Cargas Totales [g/m²]		Eficiencia
	Día del Barrido	Día Antecedente	
01/06/2011	86,8	174,0	49,9%
09/06/2011	138,6	290,3	47,7%
14/06/2011	78,0	201,5	38,7%
27/06/2011	199,1	393,6	50,6%
		Promedio	46,7%

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

Modelo de Acumulación de Sedimentos

Para el ajuste del modelo de acumulación de sedimentos en tiempo seco se utilizaron los valores promedios cargas totales de las mediciones diarias (Figura 5.21), ya que permiten morigerar las alteraciones por sitios con tendencia generar mayor acumulación de sedimentos.

Es posible utilizar modelos de acumulación de tipo lineal, potencial, exponencial y de saturación (Figura 3.12). Gironás (2009) considera que, aún cuando la mayoría de los datos disponibles en la literatura indican una acumulación de tipo lineal, se observa que tal presunción no es siempre verdad, dado que la tasa de acumulación diaria tiende a decrecer con el tiempo. Esto último se observa en la Figura 5.20, donde las mayores tasas de crecimiento se registran después de las precipitaciones, con tendencia a ir decreciendo. Por lo que se optó por un modelo de tipo exponencial (Ec. 5.1).

$$B = C_1 \cdot (1 - e^{-C_2 \cdot t}) \quad [5.1]$$

Donde:

B: acumulación de sedimentos (g/m²) luego de transcurrido un tiempo (t) sin lluvias (días)

C₁: Acumulación máxima (g/m²)

C₂: exponente de acumulación

Se procedió a determinar los C₁ y C₂ para alcanzar un ajuste aceptable del modelo de acumulación adoptado. Es importante primeramente, indicar que los valores de cargas totales acumuladas ostensiblemente mayores luego de las precipitaciones son de una singularidad respecto a lo esbozado por la bibliografía especializada que indica valores más bajos de carga de sedimento luego de las precipitaciones (Huber y Dickinson, 1988 y Deletic, 1998). Vaze y Chiew apud (2002) Dotto (2006) indican una reducción del 40% de las cargas acumuladas luego de eventos significativos de precipitación.

Por su parte Dotto (2006) encuentra que precipitaciones de baja intensidad (menores a 1mm/h) generan un aumento de la carga total de sedimentos. En el caso de la microcuenca de estudio este aumento en las cargas totales, puede deberse a la importación de sedimentos de zonas aledañas, principalmente de suelo de calles de tierra que son transportados a la microcuenca adherido a las ruedas de los vehículos. Esto explica, que el valor promedio más alto de cargas totales registrado (408g/m² del 25/06/2011) se observa dos días de después de la precipitaciones.

Por tal motivo, para el ajuste del modelo de acumulación, no se incluyeron los valores promedios de cargas totales indicados en la Tabla 5.3, dado que fueron afectados por la importación de sedimentos de calles de tierra, teniendo en cuenta que ninguno de los modelos de acumulación mencionados (Figura 3.12) incluye tal fenómeno.

Tabla 5.3. Valores promedios de Cargas Totales omitidos para la calibración

Fecha	Carga Total
08/06/2011	290,3 g/m ²
24/06/2011	393,6 g/m ²
25/06/2011	408,3 g/m ²
26/06/2011	393,6 g/m ²

A partir de lo expuesto se realizó el ajuste del modelo de acumulación mediante el método de los mínimos cuadrados, que considera que el mejor ajuste es aquel que minimiza la suma de las desviaciones al cuadrado de los valores observados respecto a los predichos por el modelo (Mendenhall et al, 2008). En tal sentido los valores de C_1 y C_2 (Ec. 5.1) adoptados son los que se detallan en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Coeficiente y Exponente de acumulación adoptados

Parámetro	Valor
C_1	600,00 g/m ²
C_2	0,05
R^2	70,73%

El valor de R^2 , mostrado en Tabla 5.4 indica un grado de ajuste del modelo aceptable. En la Figura 5.26 se indica el modelo de acumulación en contraste con los promedios de cargas de sedimentos medidos.

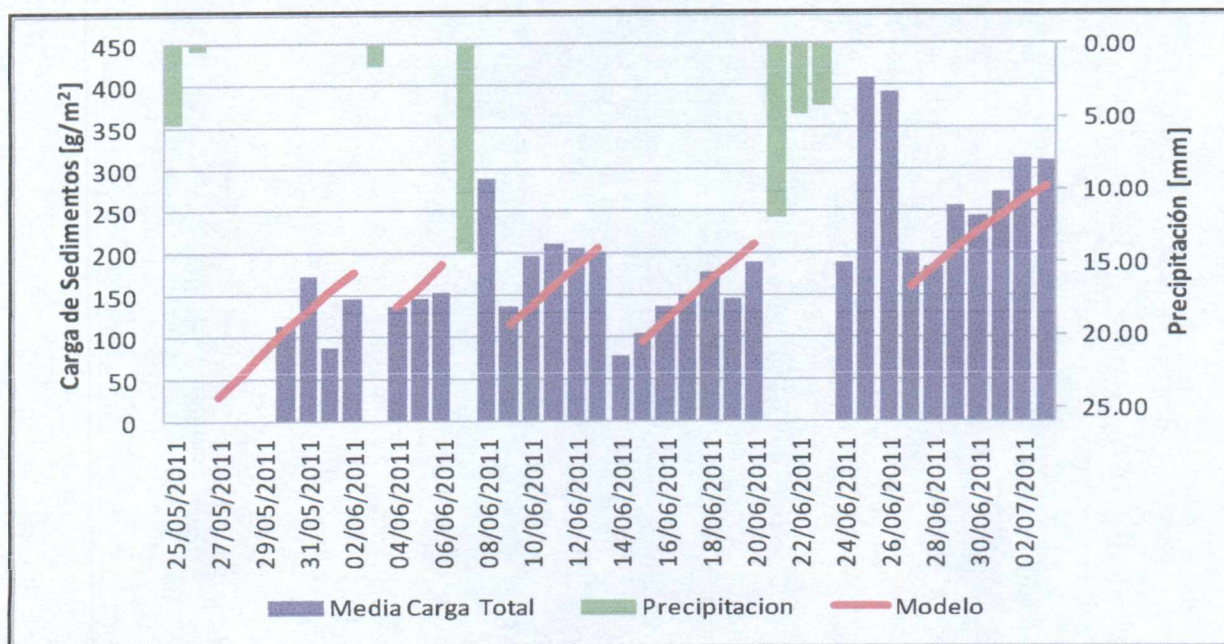


Figura 5.26. Modelo de acumulación adoptado

En la Figura 5.27 se compara el modelo de acumulación adoptado para la microcuenca de estudio con los modelos obtenidos en Chicago (uso multifamiliar), Torrelavega, Dundee y Santa María, que describen en las Tablas 3.3 y 3.3.

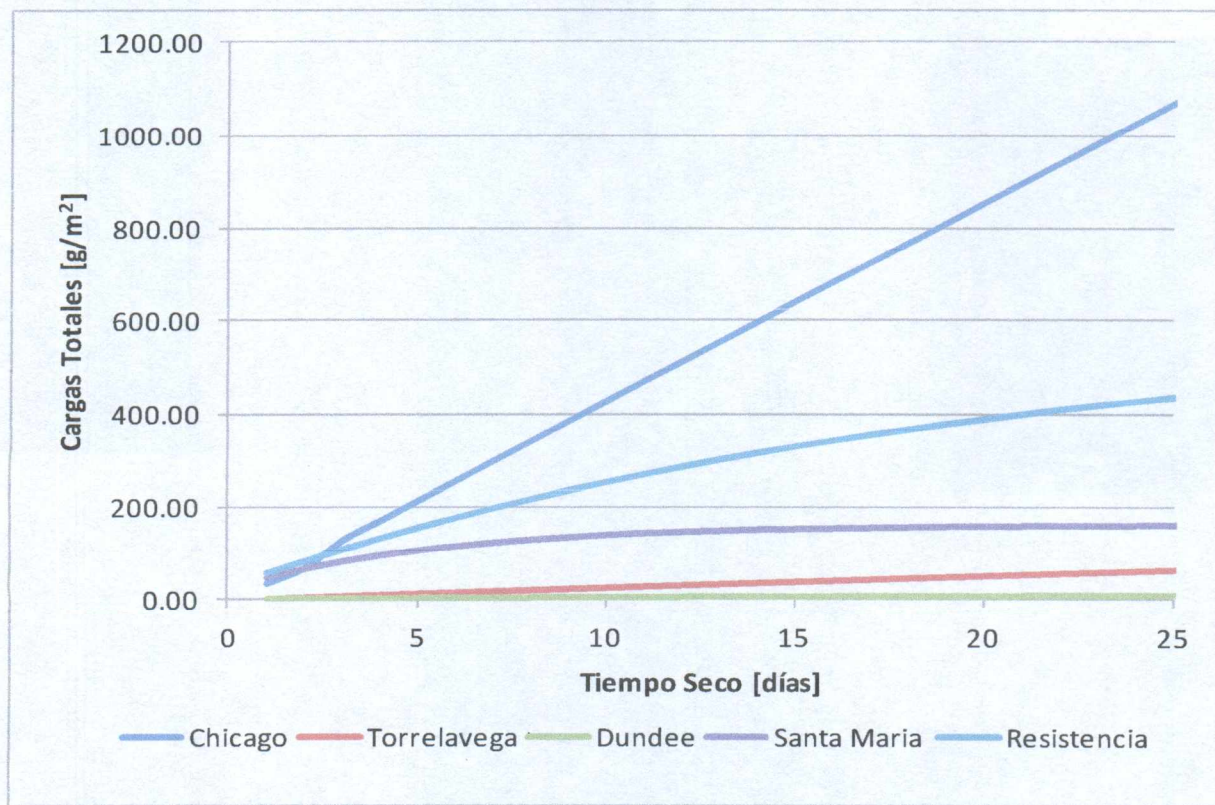


Figura 5.27. Comparación del modelo de acumulación adoptado

Es posible constatar que la microcuenca de estudio tiene tendencia a altos valores de acumulación de sedimentos, si se la compara con cuencas de uso residencial en otras ciudades del mundo, pero no mayor a lo indicado para zonas de vivienda multifamiliar de Chicago que presenta mayor densidad de población que las zonas residenciales tradicionales de los países desarrollados. En la Argentina la tendencia de la urbanización es de crear zonas densamente pobladas análogas a los barrios de vivienda multifamiliar ya indicados, es posible entonces que los valores de acumulación tiendan a aumentar con el aumento de la densidad de la población.

Considerando el modelo ajustado, se realizó una comparación entre las cargas de sedimentos acumuladas bajo una situación con y sin barrido con las eficiencias y frecuencias detectadas en la microcuenca de estudio (Figura 5.28).

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

Si se considera los efectos que los sedimentos acumulados en la calle tienen en la escorrentía urbana, lo enunciado en el párrafo anterior indica que la limpieza de calles es un método formidable para el control de sólidos en el drenaje urbano. Esto demuestra que el barrido de calles es una

necesidad que va mucho más allá de lo estético, ya que, controla las características del transporte urbano de sedimentos. En forma complementaria, esto indica la influencia que tiene las calles de tierra en la eficiencia del sistema de drenaje urbano



Figura 5.28. Cantidad de sedimentos acumulados en situaciones Sin barrido y Con barrido.

Análisis Granulométrico

Se realizó un análisis granulométrico de las muestras diarias de carga libre y cargas fijas según la metodología detallada en el capítulo 4. Con los resultados obtenidos se trazaron curvas de distribución granulométrica, donde se asignaron a las ordenadas los porcentajes de la muestra que pasa un determinado tamiz y los tamaños de las partículas a las abscisas (ANEXO II). La forma de la curva da idea de la distribución granulométrica de los sedimentos recolectados; una muestra constituida de un solo tamaño estará representada por una línea vertical, en cambio, una curva muy tendida indica gran variabilidad en tamaño (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1996).

También se determinaron algunos parámetros característicos de las muestras, como ser: diámetro equivalente del 50% de la muestra (D_{50}) al 30% de la muestra (D_{30}) al 10% de muestra (D_{10}) y el porcentaje que pasa el tamiz #200. En la tabla 5.5 se indican los promedios, medianas y desvíos estándar de los parámetros descriptivos utilizados para analizar la granulometría de las cargas libres y fijas diarias.

Tabla 5.5. Promedios de D₅₀, D₃₀, D₁₀ y Pasa tamiz #200 de las cargas libres y fijas

Parámetro muestral	D ₅₀ [mm]		D ₃₀ [mm]		D ₁₀ [mm]		Pasa Tamiz #200 [%]	
	CL	CF	CL	CF	CL	CF	CL	CF
Promedio	0,21	0,18	0,14	0,12	0,08	0,07	11,45	14,77
Mediana	0,22	0,14	0,12	0,11	0,07	0,07	10,03	11,49
Desvío Estándar	0,05	0,07	0,05	0,06	0,04	0,04	9,34	11,41

Los promedios y los desvíos estándar indicados en la Tabla 5.5 muestran que al menos el 67% de los días las cargas libres y fijas tendrán D₅₀ menor o igual a 0,26mm y 0,24mm respectivamente. Si se observan las velocidades críticas de transportes de partículas dadas por Hjulström (Figura 3.15), se puede constatar que los diámetros indicados exigen velocidades de entre 1 a 3cm/s para no quedar depositados en la cunetas de las calles, estas velocidades son fácilmente alcanzadas por cualquier evento que genere escorrentía.

Por tanto, los aumentos en las cargas de sedimento acumulados en las cunetas, luego de las precipitaciones acaecidas durante el periodo de monitoreo, no pueden deberse a la falta de energía en la escorrentía para transportar los sedimentos, si no que se deben a otro agente de transporte, que se presupone son las ruedas de los vehículos que acarrear el suelo de las calles de tierra a la microcuenca de estudio.

En las Figuras 5.29, 5.30, 5.31 y 5.32 se indica la variabilidad de D₅₀, D₃₀, D₁₀ y pasa tamiz #200 respectivamente, en todo el período de monitoreo de sedimento en tiempo seco realizado.

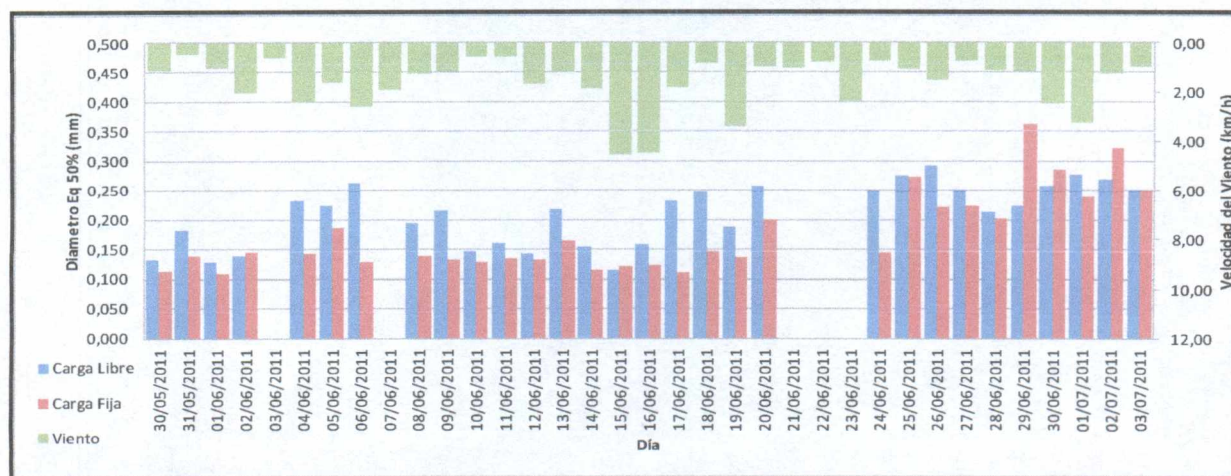


Figura 5.29. Variación del Diámetro equivalente al 50% de la muestra en el periodo de monitoreo

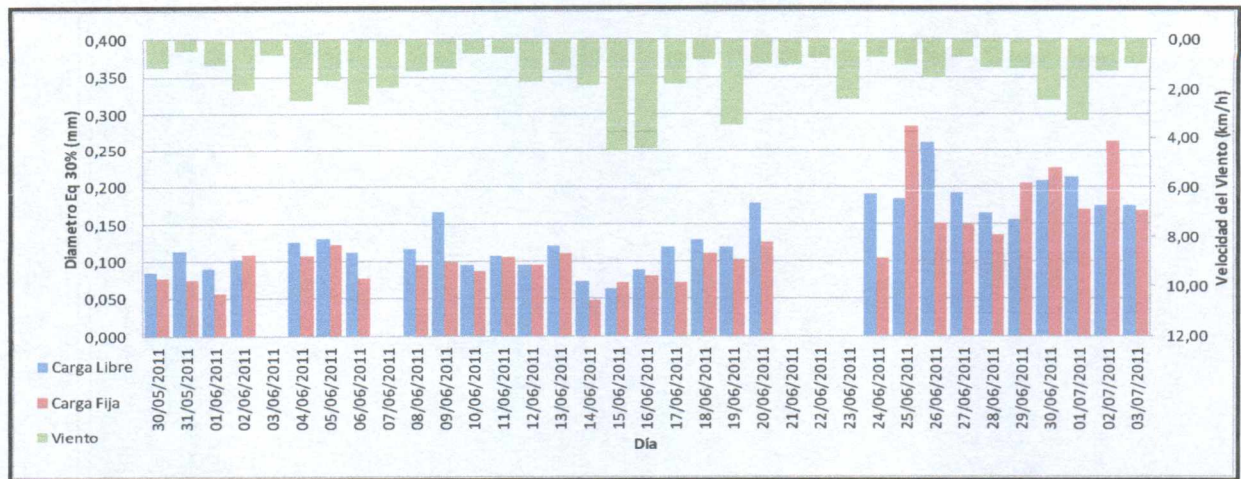


Figura 5.30. Variación del Diámetro equivalente al 30% de la muestra en el periodo de monitoreo

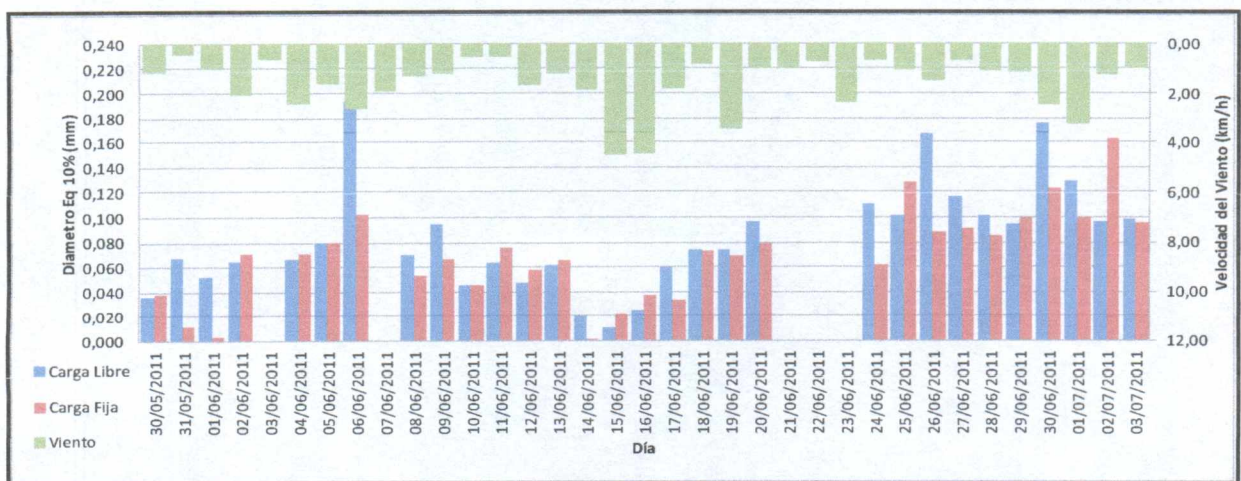


Figura 5.31. Variación del Diámetro equivalente al 10% de la muestra en el periodo de monitoreo

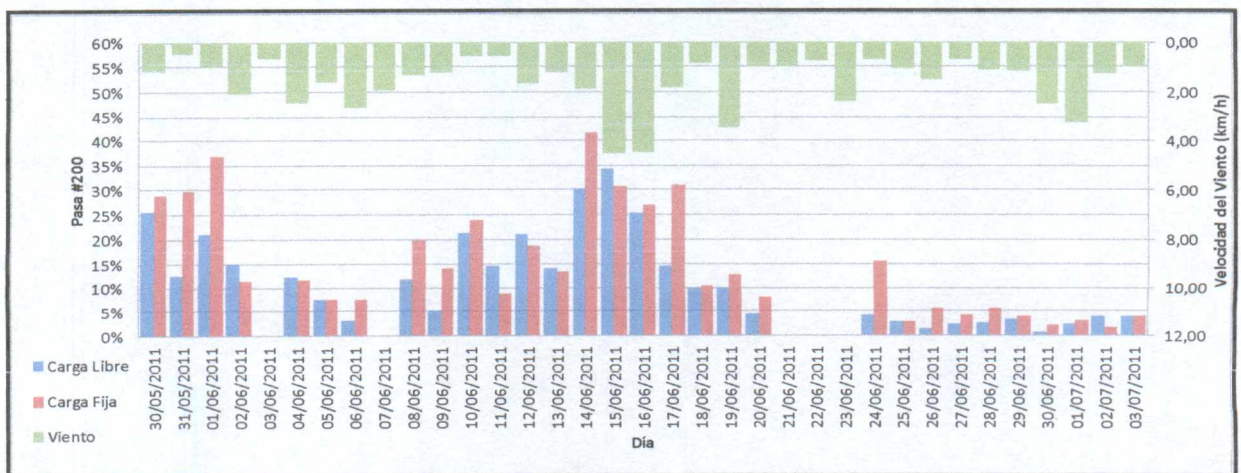


Figura 5.32. Variación del porcentaje que pasa tamiz #200 de la muestra en el periodo de monitoreo



De la observación de las figuras precedentes se puede constatar que, en líneas generales, la carga libre está compuesta por partículas de mayor tamaño que las cargas fijas, esto se debe a que las partículas más pequeñas son las que tienden a adherirse al pavimento. Por otro lado, no se ha encontrado una relación directa entre la velocidad del viento y ninguno de los parámetros granulométricos analizados, esto no indica que no exista tal relación, ya que el viento tiende a arrastrar las partículas más finas del sedimento acumulado. Sin embargo, es posible que la incidencia del viento sea despreciable frente a otros factores como la turbulencia eólica generada por el pasaje de los vehículos (y que no es medido por anemómetro) o por la limpieza de calles.

El tamaño equivalente al 50% de la carga fija presenta menor variación que el de la carga libre, que se ve mayormente afectado por el viento natural y el generado por el paso de vehículos. Si se comparan el primero período (30/05/11 al 02/06/11) y el cuarto periodo de monitoreo (24/06/11 al 03/07/11) se puede constatar que el último presenta valores ostensiblemente mayores que el primero, tanto para las cargas libres como fijas. Esto se condice con el aumento del monto de cargas acumuladas (tanto libres como fijas) ya que el cuarto periodo presenta valores promedios de carga acumulada mayores que el primero (5.22 y 5.23).

La fracción más fina ocupa una porción importante en las muestras analizadas. En las cargas fijas la fracción que pasa # 200 (0,074mm) alcanza valores de hasta 41,62% (14/06/2011) en tanto que en las cargas libres esta fracción alcanzó hasta 34,34% (15/06/2011). Se observa una disminución de la fracción más fina con el aumento de las cargas libres o fijas acumuladas.

Luego de los días 01/06/2011 y 14/06/2011, en que se realizó el barrido de la calle, se observa un aumento del porcentaje de fracción más fina, confirmando la poca eficiencia que presenta barrido para remover la fracción más fina (Sartor et al, 1972). Por su parte, los días 09/06/2011 y 27/06/2011, en que se realizó el barrido de la calle, registran una pequeña disminución de la fracción que pasa tamiz #200.

Variabilidad Espacial en la Acumulación de Sedimentos

Para el análisis de variabilidad espacial en la acumulación de sedimentos, se determinaron Índices de acumulación (Ecuación 4.2) los cuales se agruparon en franjas (Figura 4.14). Estos índices de acumulación fueron determinados para los tres tipos de carga (Libre, Fija y Total). En cada franja se realizaron entre 5 y 15 mediciones, por lo que se pudo determinar algunos parámetros estadísticos de los IA para CL, CF y CT (Tablas 5.6, 5.7 y 5.8 respectivamente) para margen derecha y sus pares para margen izquierda (Tablas 5.9, 5.10, 5.11).

Tabla 5.6. Parámetros estadísticos de IA – CL – Margen Derecha

Ubicación	N	Media	Desvío Estándar	Mínimo	Máximo	Primer Cuartil	Mediana	Tercer Cuartil
20 a 55	9	0,83	0,51	0,276	1,674	0,38	0,813	1,292
55 a 90	10	0,83	0,53	0,28	1,624	0,343	0,635	1,361
90 a 125	11	0,73	0,35	0,391	1,525	0,456	0,591	0,95
145 a 175	15	0,94	0,51	0,332	2,138	0,547	0,852	1,108



175 a 210	10	0,99	0,47	0,577	1,747	0,596	0,807	1,499
210 a 245	5	0,51	0,27	0,177	0,915	0,285	0,464	0,756
260 a 295	12	0,72	0,34	0,22	1,4817	0,5075	0,6341	0,8695
295 a 330	11	0,72	0,35	0,32	1,693	0,544	0,626	0,775
330 a 365	6	1,92	1,21	0,349	3,508	0,812	1,95	2,983

Tabla 5.7. Parámetros estadísticos de IA – CF – Margen Derecha

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

Tabla 5.8. Parámetros estadísticos de IA – CT – Margen Derecha

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

Tabla 5.9. Parámetros estadísticos de IA – CL – Margen Izquierda

Ubicación	N	Media	Desvío Estándar	Mínimo	Máximo	Primer Cuartil	Mediana	Tercer Cuartil
20 a 55	9	0,82	0,57	0,11	1,71	0,40	0,74	1,50
55 a 90	10	0,69	0,27	0,42	1,22	0,51	0,59	0,86
90 a 125	11	1,25	0,61	0,29	2,10	0,87	1,15	1,84
145 a 175	15	0,97	0,54	0,24	1,85	0,43	1,08	1,31
175 a 210	10	1,16	0,43	0,61	1,84	0,76	1,28	1,54
210 a 245	5	1,59	0,90	0,12	2,54	0,86	1,79	2,22



260 a 295	12	1,00	0,50	0,31	2,11	0,63	0,97	1,37
295 a 330	11	1,70	0,67	0,82	2,59	1,12	1,60	2,40
330 a 365	6	1,22	0,88	0,33	3,01	0,67	0,96	1,45

Tabla 5.10. Parámetros estadísticos de IA – CF – Margen Izquierda

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

Tabla 5.11. Parámetros estadísticos de IA – CT – Margen Izquierda

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

De los valores máximos y mínimos, indicados en las tablas precedentes, es posible constatar la variabilidad del fenómeno. En tal sentido, el rango de IA máximo es de 4.15 registrado en la muestra indicada como CF de la margen izquierda ubicada entre 210 a 245m (Tabla 5.10), esta franja comprende una longitud de 35 m aguas abajo de la intersección de las calles San Lorenzo y Franklin. Una particularidad se registró en esa área, durante un periodo considerable de tiempo presentó charcos de agua dados por la descarga no pluvial de un domicilio cercano, esto generó que se realizaran solo 5 mediciones en ese sector y, además la humedad suscitada fomentó la cohesión de sedimentos y su adherencia al pavimento. También es posible que tal acumulación pueda deberse a los desbordes dados en una boca de registro ubicada en la mencionada intersección.

Sea cual fuera la fuente que genera tal cantidad de carga fija, es indefectible que el origen de la misma es cloacal y por tanto, es verosímil utilizar esa variable como indicio para detectar conexiones domiciliarias clandestinas.

Por esto último, se constató la presencia de una costra de suelo aproximadamente 3mm fácilmente removible, que fue medida el día 29/06/2011 (344,67 g/cm²) y que comparada con la media de la CF del día fue 4,3 veces mayor.

A pesar de no ser analizado este tipo de factores en la acumulación de sedimentos, particularmente en la carga fija, no se descarto el valor de IA mencionado de manera de destacar la complejidad del fenómeno analizado y destacar la cantidad de factores que lo afectan.

En las Tablas 5.8 y 5.11 se puede observar que las franjas que van de 330 a 365 en margen izquierda y de 295 a 330 en margen derecha presentan Índices de Acumulación de CT de 1,43 y 1,55 respectivamente. En ambas zonas, la frecuencia de IA mayores a 1,5 excede el 60% (Figuras 5.33 y 5.34), es decir, presentaron una alta tendencia a la acumulación de sedimentos a lo largo de todo el monitoreo.

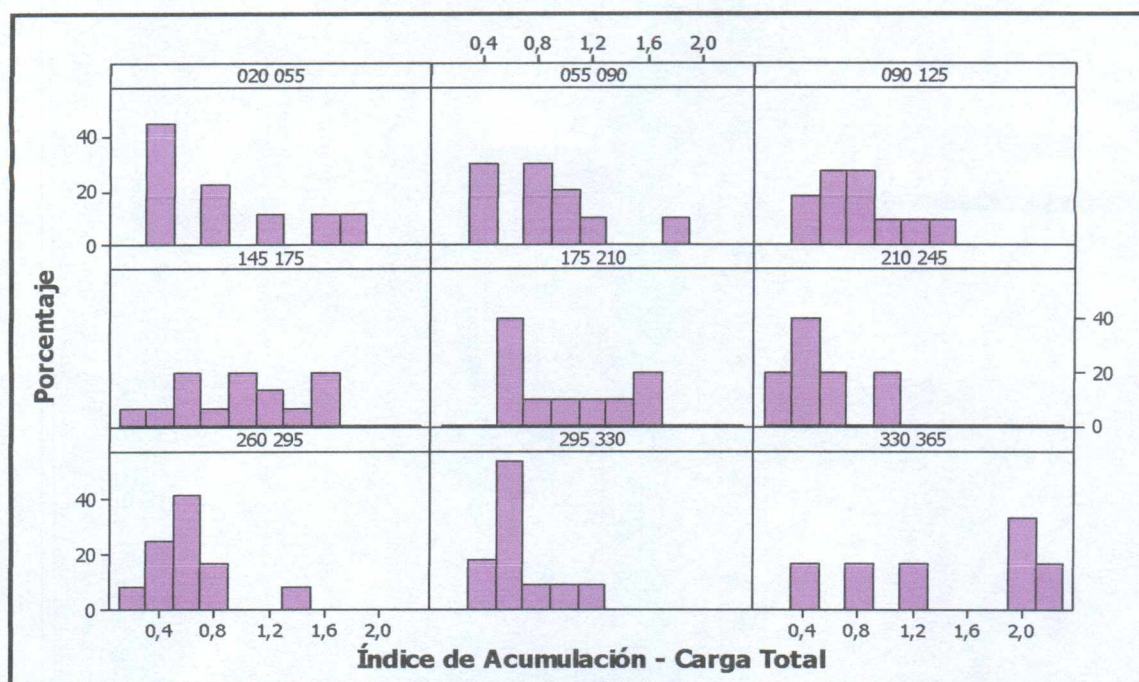


Figura 5.33. Histogramas de Frecuencia de IA – CT – Margen Derecha

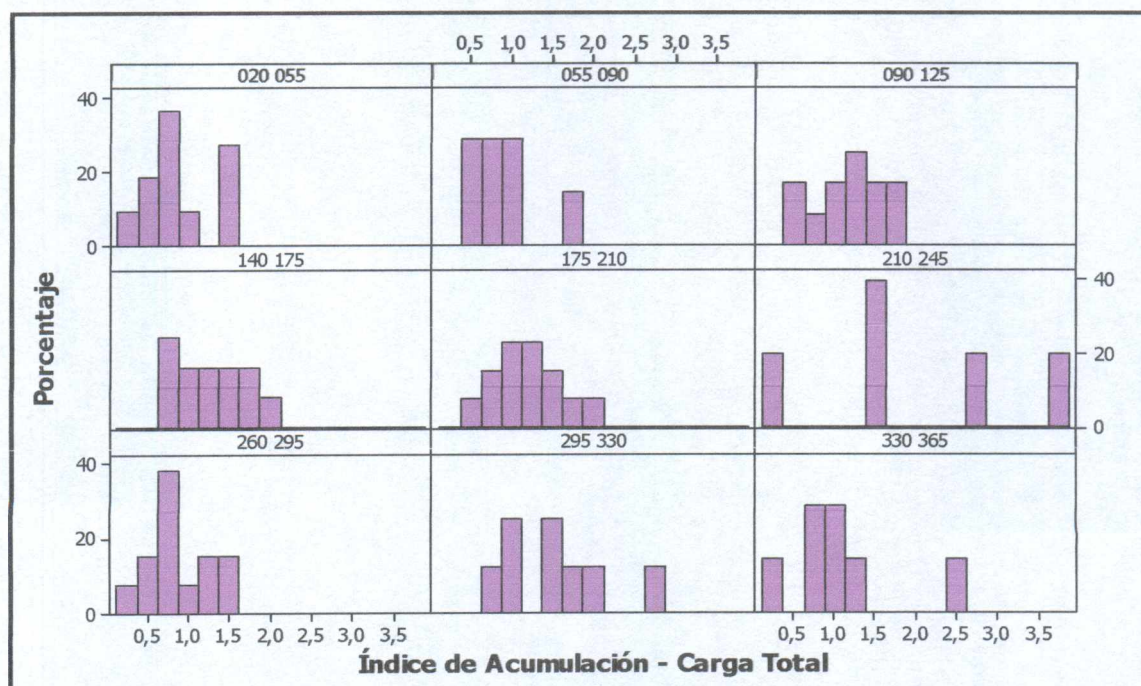


Figura 5.34. Histogramas de Frecuencia de IA – CT – Margen Izquierda

En la Figura 5.33 se puede observar que en la franja de 330 a 365m en la margen derecha el histograma está ladeado hacia los valores más altos de IA (mayores a 2). En tanto que en la margen izquierda para la franja de 295 a 330m se observa un histograma bimodal, con uno de los picos igual a 1,5 y tendencia hacia los valores más altos.

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

Se categorizaron los promedios de Índice de acumulación de cargas totales (Tablas 5.8 y 5.11) a partir de la clasificación detallada en Tabla 4.2, con esto se realizó un mapa de acumulación de sedimentos (Figura 5.35).

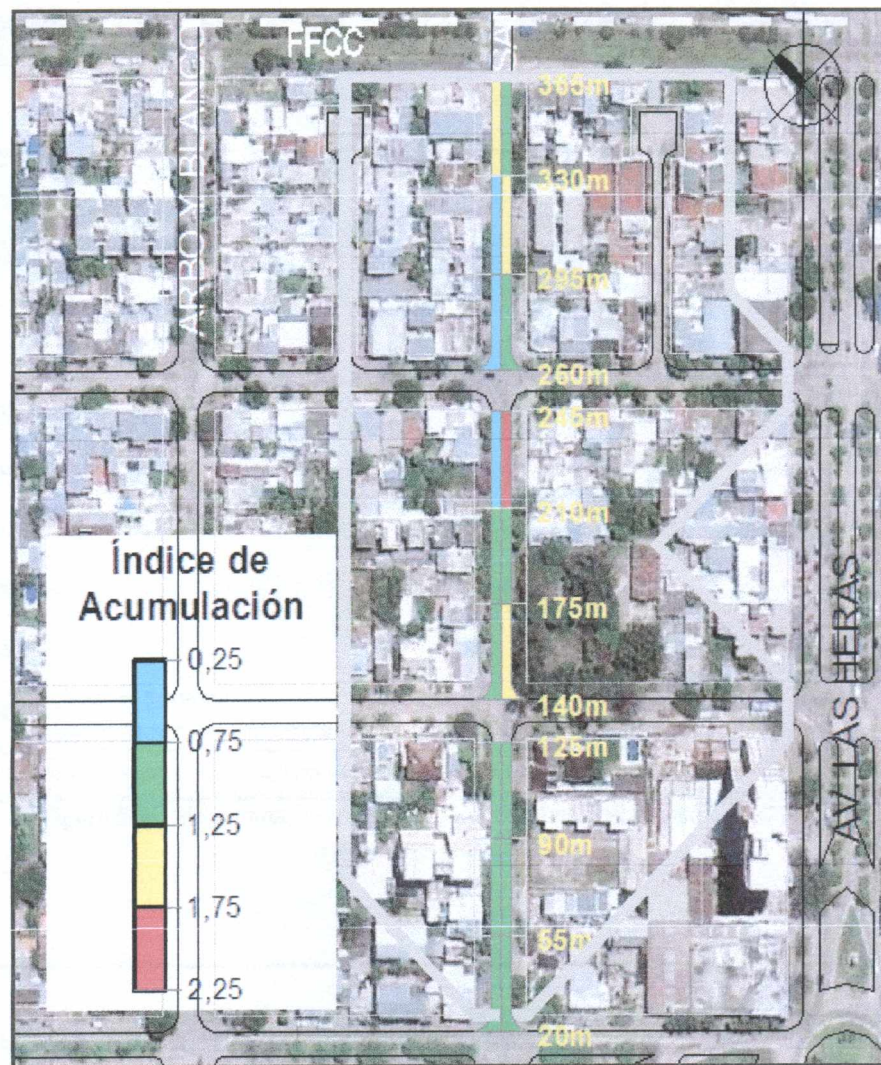


Figura 5.35. Mapa de Acumulación de Sedimentos

5.2 Monitoreo Hidrosedimentológico

Resultado de las Mediciones Realizadas

Una vez realizados los análisis de laboratorio de las todas las muestras recolectadas y con los datos de caudales obtenidos oportunamente, se trazaron los polutogramas e hidrogramas de los distintos eventos aforados.

Estos eventos corresponden a las precipitaciones acaecidas los días 03/09/2009, 14/10/2009, 06/11/2009, 20/11/2009, 08/02/2010, 15/02/2010, 22/02/2010, 03/03/2010 y 19/03/2010 y que por simplicidad se denominaran a continuación evento 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 respectivamente.

En las Figuras 5.36, 5.37, 5.38, 5.39, 5.40, 5.41, 5.42, 5.43 y 5.44 se puede observar los polutogramas e hidrogramas aforados en la margen derecha e izquierda durante los eventos 1, 2, 3, 4,

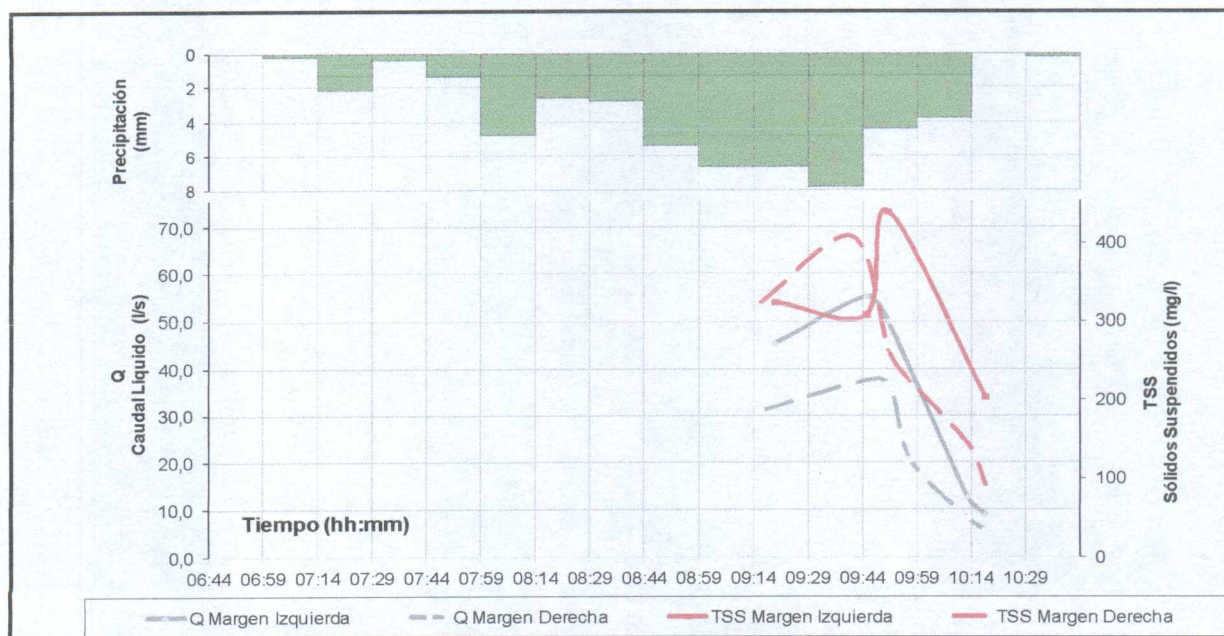


Figura 5.38. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 3 (6/11/2009)

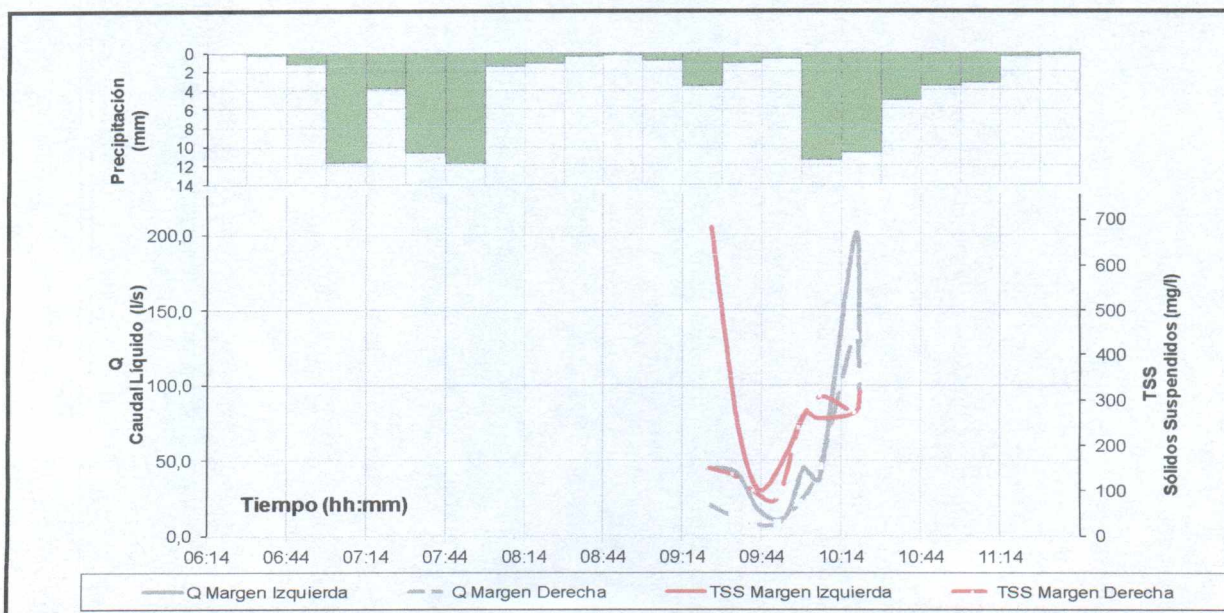


Figura 5.39. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 4 (20/11/2009)

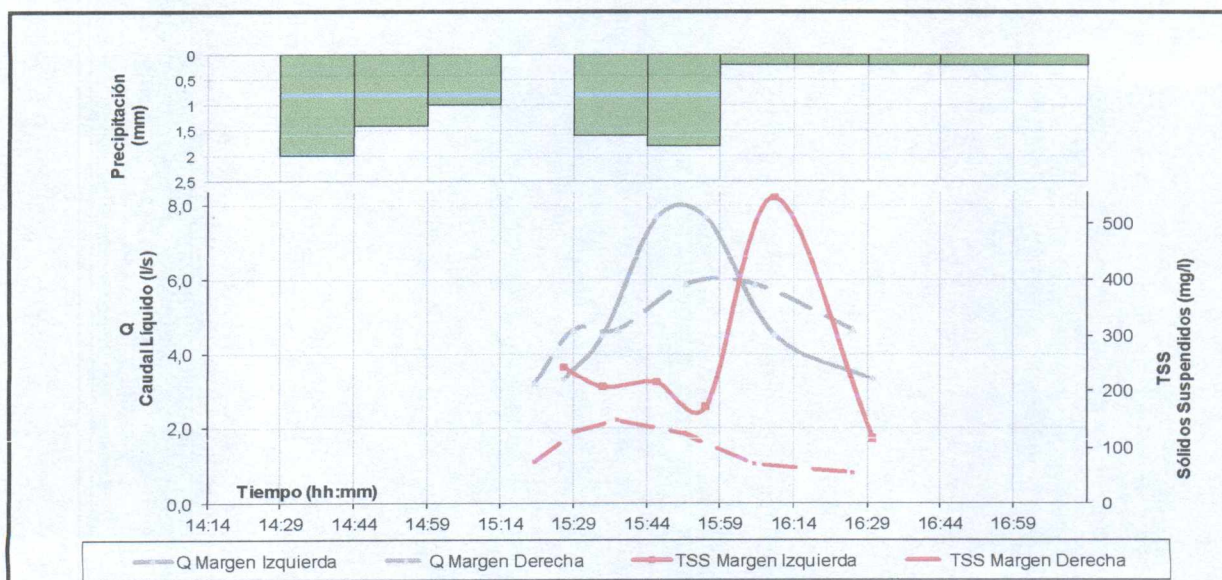


Figura 5.40. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 5 (08/02/2010)

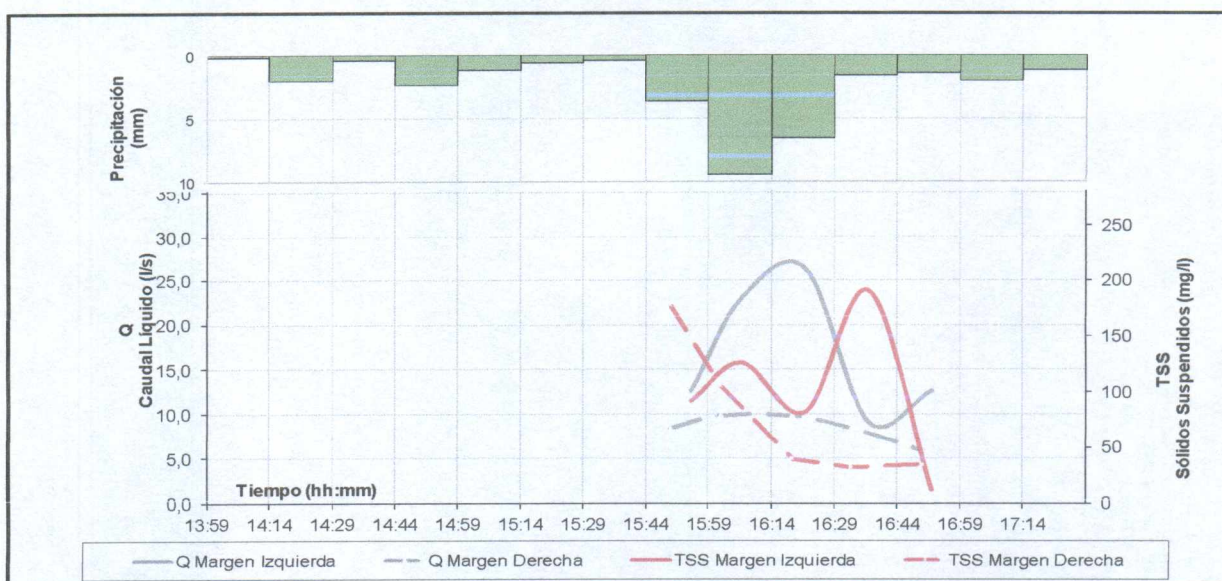


Figura 5.41. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 6 (15/02/2010)

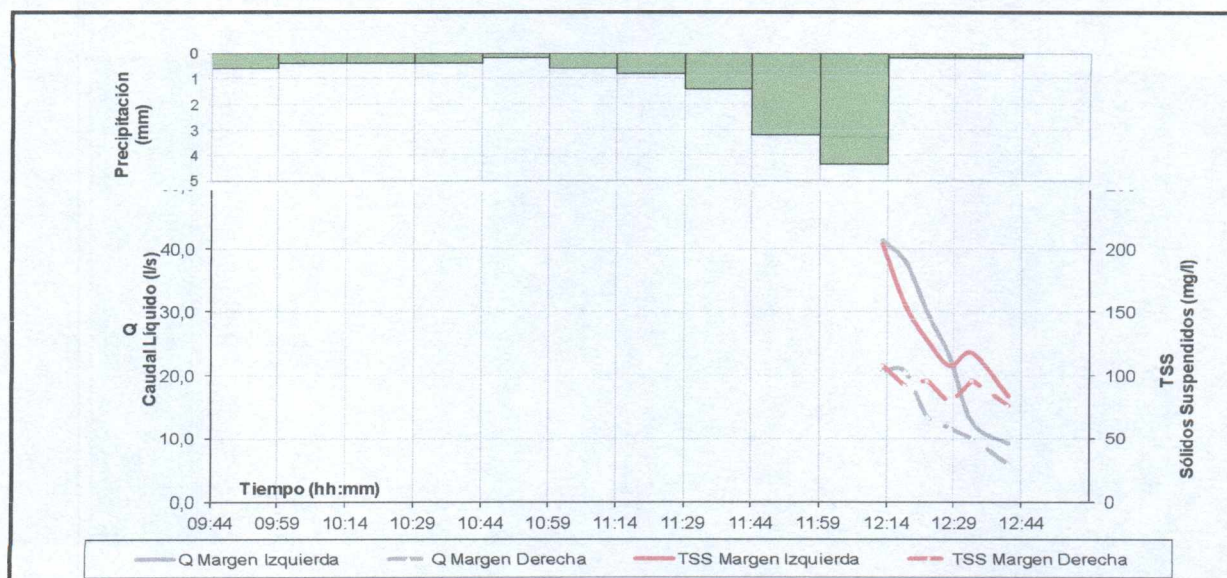


Figura 5.42. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 7 (22/02/2010)

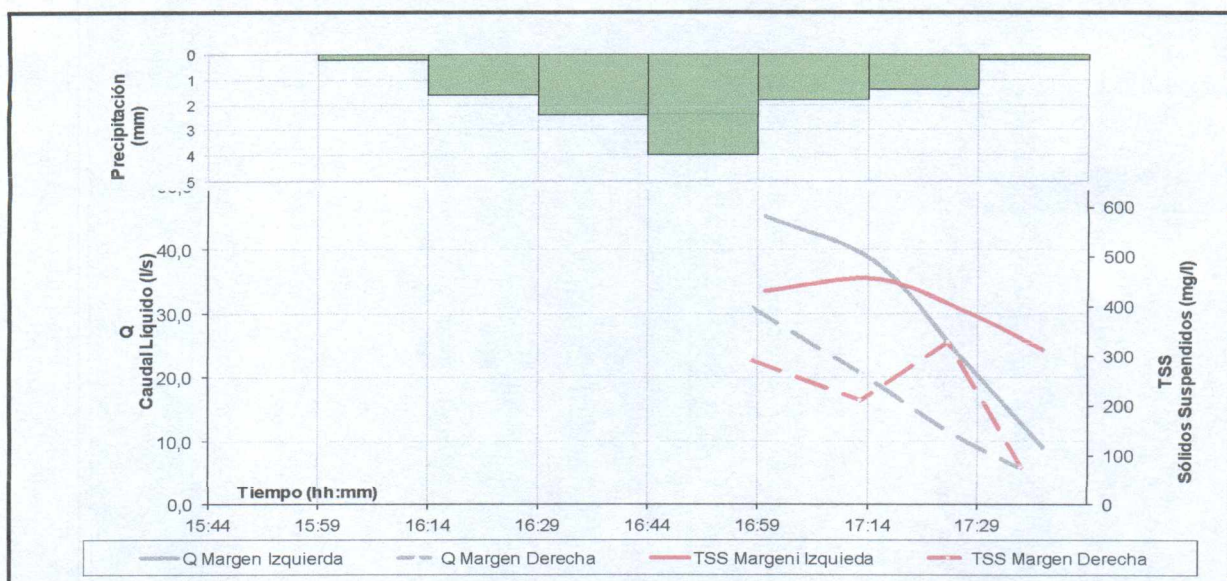


Figura 5.43. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 8 (03/03/2010)

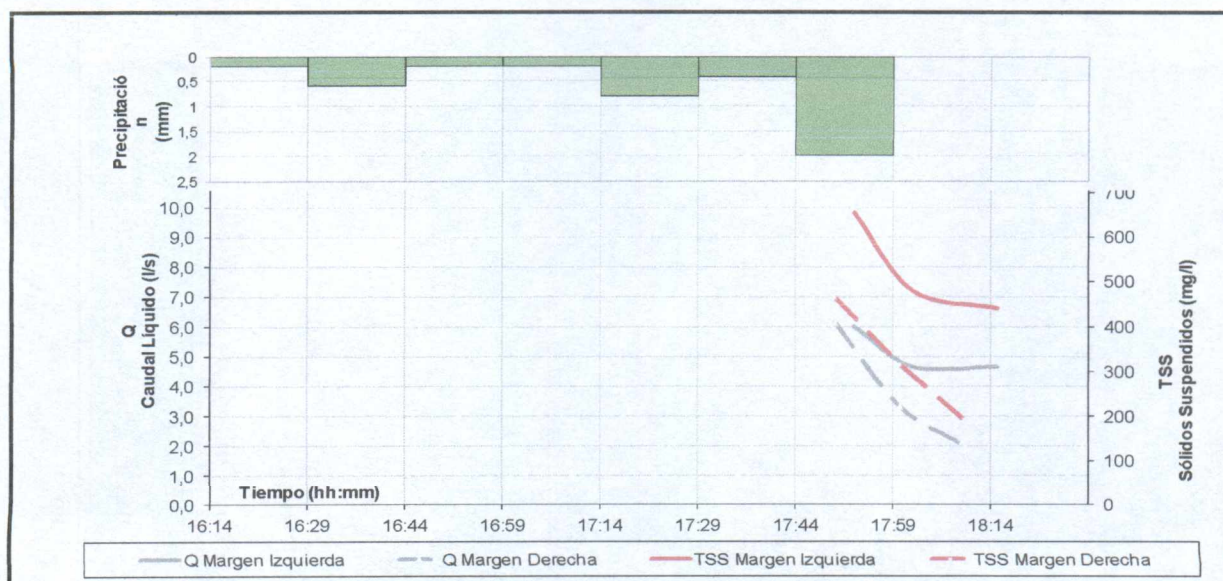


Figura 5.44. Hietograma, Hidrogramas y Polutogramas del Evento 9 (19/03/2010)

Por cuestiones operativas, no fue posible medir el volumen de escurrimiento total en todos los eventos observados. En la mayoría de los casos se determinaron los caudales y concentraciones pico, pero en los eventos 7 y 8 sólo se pudieron medir las curvas de descenso de los hidrogramas y polutogramas.

En cada evento medido se registraron variaciones muy grandes en las concentraciones de sólidos suspendidos. Aquellas correspondientes a la cuenca del margen izquierdo mostraron valores, en promedio, 1,97 veces mayores a los del margen derecho. Al analizar los eventos en que ha sido posible medir los picos de hidrograma y polutograma, en relación al tiempo transcurrido desde su inicio, es posible aceptar que las cuencas presentan un comportamiento marcadamente diferente.

En la mayoría de los casos, en la cuenca de la margen derecha, se registraron los picos de los polutogramas antes que los del hidrograma, en tanto que en la cuenca de la margen izquierda esta situación fue inversa. Esto se debe a la influencia de las áreas de suelo descubierto en la cuenca de la margen izquierda. En efecto, el escurrimiento superficial sobre áreas permeables comienza solo después que el suelo se encuentra saturado por el agua de lluvia, lo que significa que el nuevo suministro de sedimentos alcanza la superficie del asfalto un tiempo considerablemente después de iniciada la lluvia (Deletic, 1998).

Teniendo en cuenta la marcada variabilidad de forma tanto de los hidrogramas como de polutogramas, algunos autores proponen como aproximación trabajar con las concentraciones medias ponderadas con el caudal para obtener una concentración denominada CME (Concentración Media del Evento) (Ecuación 5.2) (Novotny, 1992).

$$CME = \frac{\sum Q_i \cdot [TSS]}{\sum Q_i} \quad [5,2]$$

Donde:

Qi: caudal instantáneo en el hidrograma;

[TSS]: concentración correspondiente en el polutograma.

En la Figura 5.45 se puede observar la variación de la CME durante el periodo de mediciones.

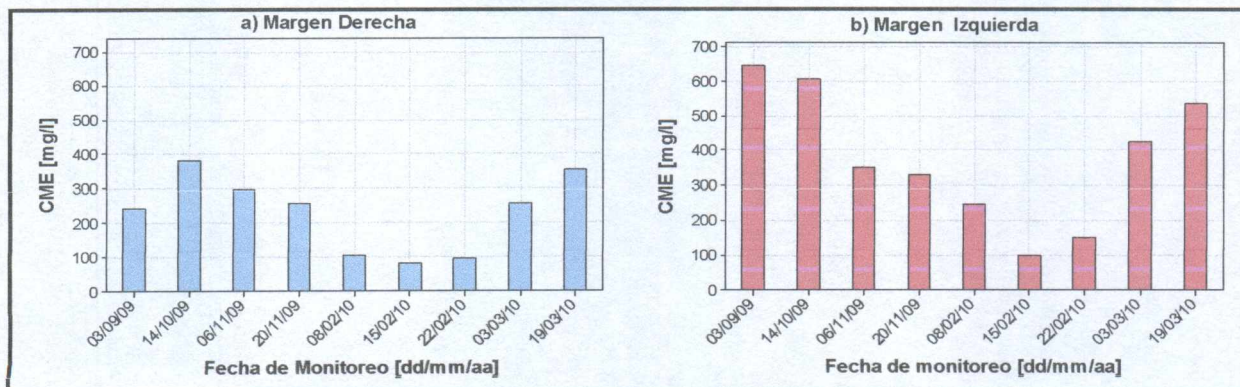


Figura 5.45. Variación de la Concentración Media del Evento (CME)

Para mejorar la comprensión de los eventos medidos se consideraron los siguientes factores asociados a la generación de sedimentos: intensidad, altura total precipitada, tiempo seco (o periodo sin precipitaciones anterior al aguacero) y precipitación antecedente.

El término precipitación es utilizado para indicar la lámina de lluvia precipitada. En la región de estudio, la lluvia es la que realiza el máximo aporte al total precipitado.

En la Tabla 5.12 se pueden observar los valores de CME de los eventos medidos con sus factores asociados. De estos últimos se prestó principal atención a la precipitación antecedente, por ser una variable hidrológica de fácil medición.

Tabla 5.12. CME y Factores Asociados de los Eventos Medidos

Evento	Tiempo Seco	Precipitación Antecedente		Precipitación		Concentración Media del Evento	
		7días	42días	Total	Intensidad Máxima	Margen Derecha	Margen Izquierda
	[Días]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/h]	[mg/lts]	[mg/lts]
1	24	0	17,5	13	24	242	647
2	8	0	22,4	4,8	6	381	606
3	13	0	50	49,2	31	295	348
4	4	72,5	220,5	91,8	47	257	328
5	12	0	276,4	9,4	7	102	245
6	6	10	265,8	34,2	38	80	97
7	1	121,5	317,8	30,6	18	94	149
8	8	0,6	163,6	11,6	16	257	423
9	5	45	196,1	4,4	8	354	537

Para analizar la variabilidad de los CME respecto a la precipitación antecedente, se trazaron curvas de regresión para precipitaciones de 7, 15, 28, 35, 42, 49 y 56 días antecedentes al evento en cuestión. En tal sentido, la variable que presentó mejor ajuste fue la precipitación antecedente de los

últimos 42 días al evento. De la Figura 5.46 se aprecia que esa variable mantiene una correlación negativa con la CME.

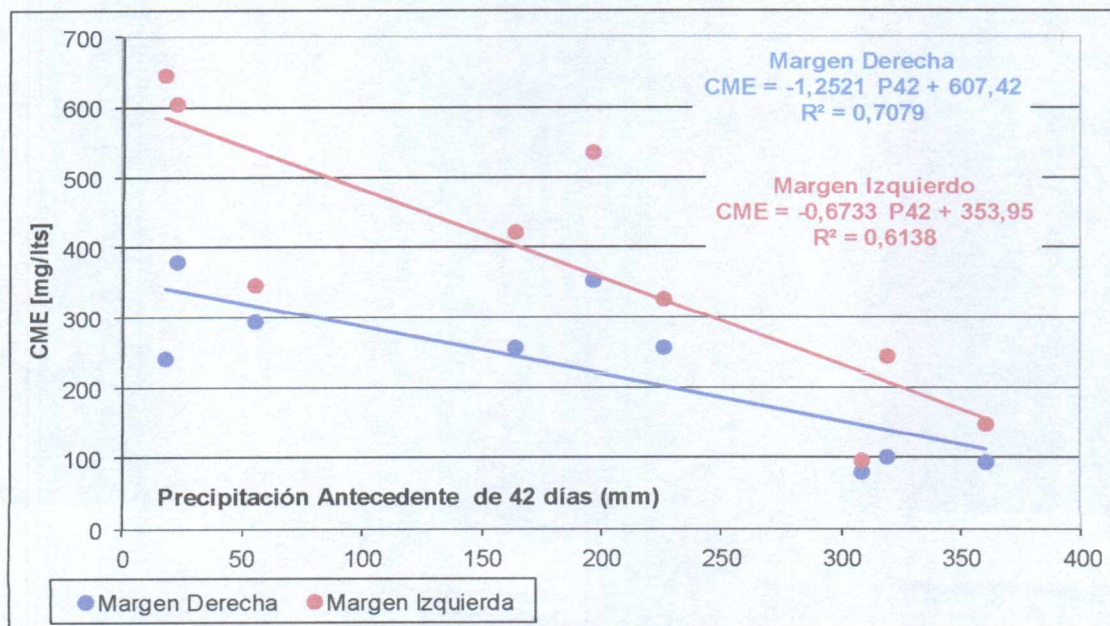


Figura 5.46. Relación entre CME y la Precipitación antecedente de los eventos medidos.

Sin embargo, no se puede afirmar la existencia de una relación biunívoca entre ambas variables, dado que pueden operar otros factores. En efecto, como puede verse en el punto 5.1. Monitoreo de Sedimentos en Tiempo Seco, la precipitación antecedente es un factor asociado a la cantidad de poluentes susceptibles de ser transportados por el efluente pluvial durante un evento considerado. Esta cantidad depende de un proceso de acumulación en tiempo seco y de lavado durante una lluvia. En tanto que el lavado depende del volumen de escurrimiento o de la precipitación en exceso.

Es posible que la precipitación antecedente de indicios del proceso de lavado de la cuenca y, por tanto, se podría decir que a mayor precipitación antecedente existirá menor cantidad de sedimentos a ser transportados. Sin embargo, debe añadirse que la precipitación antecedente solo considera un total precipitado sin discriminar intensidades de precipitación. De manera que mediante la precipitación antecedente no podría explicarse el aumento de sedimentos acumulados en la cuenca luego de precipitaciones de baja intensidad y larga duración.

Relación entre Turbidez y Concentración de Sólidos Suspendidos

Como medida de control de las concentraciones de sólidos suspendidos, se determinó la turbidez de 66 muestras. La turbidez fue obtenida mediante un turbidímetro que relaciona este parámetro con la intensidad de luz reflejada por las partículas suspendidas en un ángulo de 90° con respecto al rayo incidente.

Con los resultados obtenidos se realizó una curva de regresión utilizando como variable explicativa la turbidez (NTU) y como variable dependiente la concentración de sólidos suspendidos (mg/l).

Debido a la ausencia de diferencias apreciables entre las correlaciones correspondientes a ambas márgenes se unificaron todos los valores en una sola curva sin considerar aquellos atípicos que pudieran distorsionar su interpretación.

En la Figura 5.47 pueden observarse los valores de turbidez y concentración de sólidos suspendidos, y en la Ec. 5.3 la curva de regresión que relaciona ambas variables. El valor de R^2 de la regresión (0,68), estaría indicando un ajuste aceptable.

$$[TSS] = 0,937 \cdot T^{1,125}$$

[5.3]

Donde:

[TSS]: concentración de sólidos suspendidos [mg/l];

T: Turbidez [NTU].

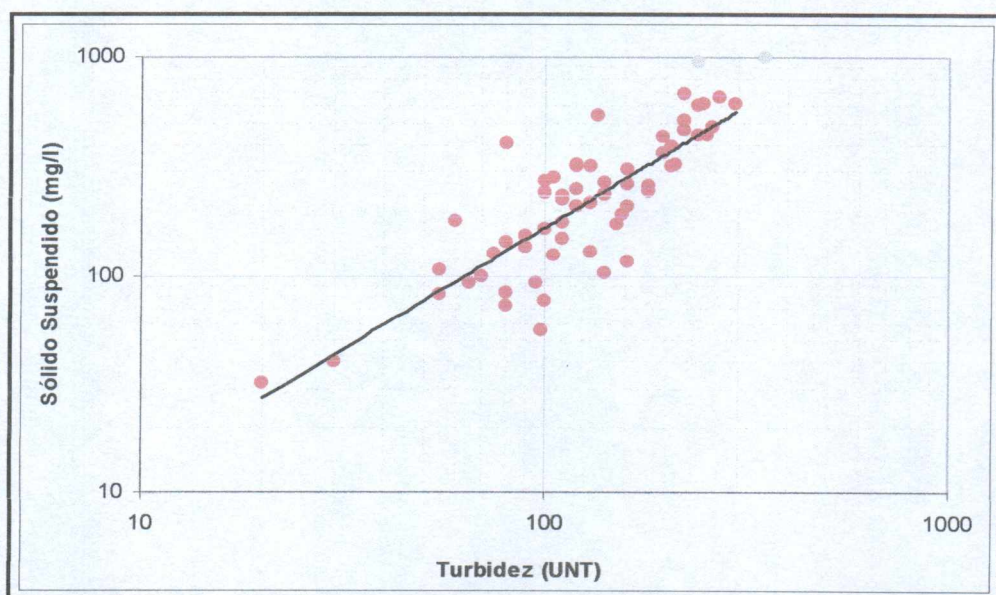


Figura 5.47. Relación entre Turbidez y Concentración de Sólidos Suspendidos de las muestras analizadas

Relación entre Caudal Líquido y Caudal Sólido

Con los valores de descarga sólida de todas las muestras y los caudales líquidos correspondientes se preparó la curva clave de sedimentos para cada margen (Fig.5.47), atendiendo a las mencionadas diferencias, entre las cuencas que descargan a sendos sumideros.

Como la concentración de sedimentos en los eventos 1 y 2 presenta valores definidamente superiores en ambas márgenes con respecto a la tendencia general, se puede aceptar que las



precipitaciones antecedentes determinaron dicho comportamiento, por lo que fueron descartados para el ajuste de las curvas claves.

Durante el evento 9, se observaron valores de concentración de sólidos suspendidos mucho mayores que la tendencia general para caudales similares en la margen izquierda, sin poderse constatar esto en la margen derecha. Esta particularidad puede explicarse por el movimiento de suelos para la construcción de las torres de viviendas en la cuenca que aporta al sumidero de la margen izquierda, llevados a cabo al momento del mencionado evento.

La dispersión de los valores seleccionados por su representatividad puede apreciarse en la Fig. 5.48. Allí se observa que la descarga sólida tiende a aumentar con el aumento de la descarga líquida, Las curvas claves propuestas para margen derecho e izquierdo, detalladas en las Ec 5.4 y 5.5 respectivamente, presentan un ajuste aceptable (R^2 0,793 y 0,816 respectivamente).

$$Q_s = 0,0325 \cdot Q^{1,58} \quad [5.4]$$

$$Q_s = 0,1294 \cdot Q^{1,17} \quad [5.5]$$

Donde

Q_s : caudal sólido [g/s] y

Q : caudal líquido [l/s],

Se constata una marcada diferencia, en las curvas claves de ambos márgenes, para caudales bajos y un mismo comportamiento para caudales líquidos mayores a 11 l/s.

Considerando las diferencias en uso de suelo de las cuencas de estudio, se interpreta que para caudales líquidos bajos la descarga sólida se ve afectada por el proceso de erosión en zonas de suelo desprotegido y/o el lavado de sedimentos depositados en superficies impermeables. En tanto que para caudales mayores a 11 l/seg esta última se ve afectada por la capacidad de transporte de sedimentos de la calzada, es decir, por la cantidad (en peso o volumen) de sedimento que puede movilizarse por un caudal dado en un determinado intervalo de tiempo (Bridge, 2003).

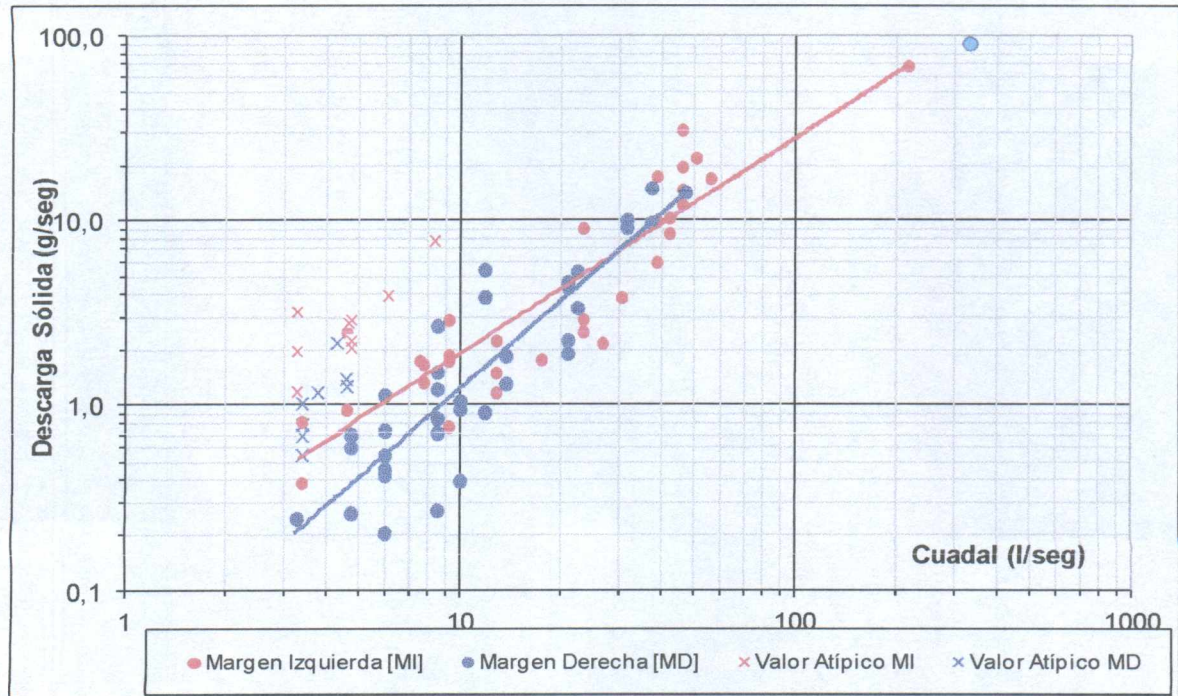


Figura 5.48. Curva Clave de Sedimentos de los afluentes a los sumideros de margen izquierda y derecha

A partir de los criterios detallados en el Capítulo 4. Metodología, para el modelo de lavado del uso de suelo designado como curva de relación (Tabla 4.7), el trazado de la curva de relación estuvo ceñido a determinar el límite inferior de la nube de puntos obtenidas de la relación de caudales líquidos y sólidos obtenidos en el monitoreo hidrosedimentológico (Figura 5.49 y 5.50).

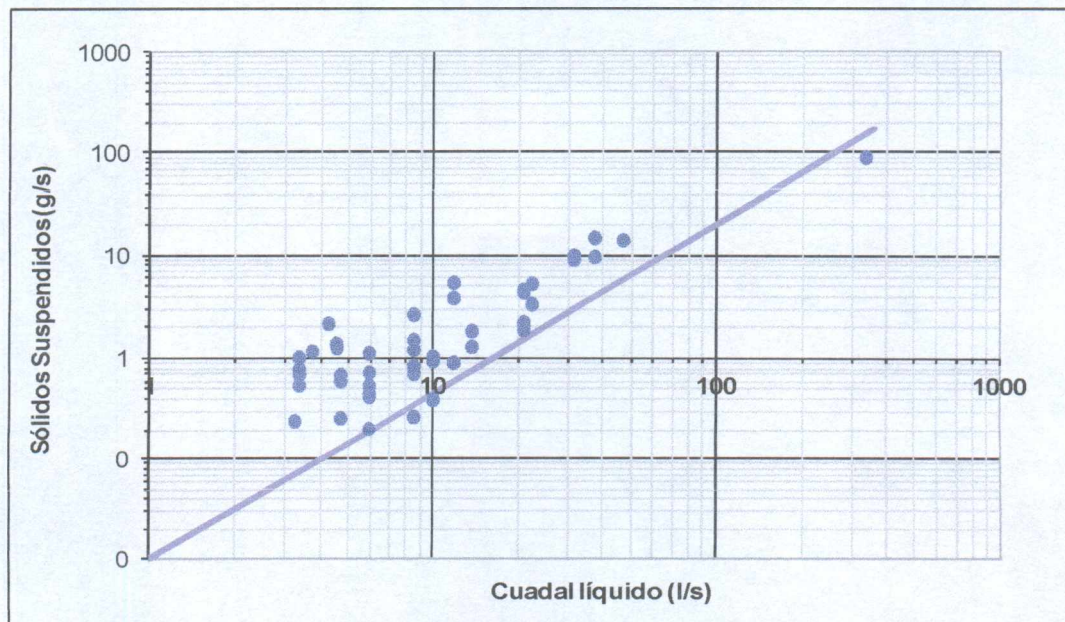


Figura 5.49. Curva de relación utilizada en para uso de suelo RCD (Cuenca Derecha).

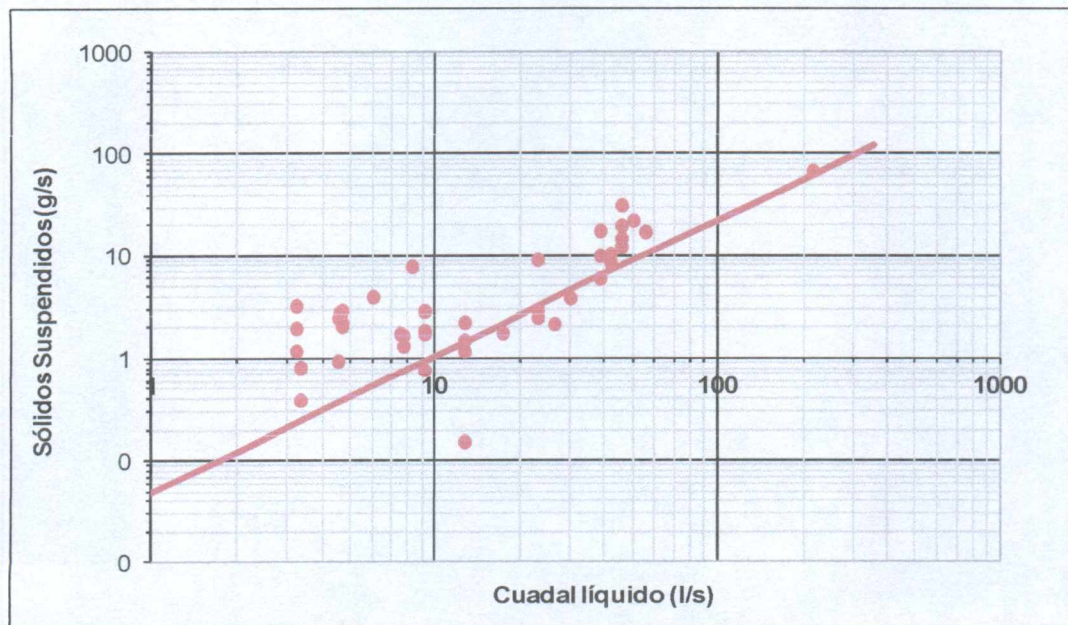


Figura 5.50. Curva de relación utilizada en para uso de suelo RCI (Cuenca Izquierda).

En la Ecuación 5.6 y 5.7 se indica los parámetros de ajuste adoptados para el modelo de lavado de los usos de suelo designado como "RCD" y "RCI".

$$Q_s[g/s] = 0,010 \cdot Q[l/s]^{1,66} \quad [5.6]$$

$$Q_s[g/s] = 0,049 \cdot Q[l/s]^{1,33} \quad [5.7]$$

5.3 Calibración de Modelo de Calidad de Escorrentía

Modelo de transformación lluvia - caudal

Los valores de los parámetros obtenidos en la calibración del modelo de transformación lluvia caudal se detallan en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13. Valores adoptados de los parámetros del modelo de transformación lluvia - caudal

Id	Denominación	Unidad	Cuenca	
			Derecha	Izquierda
w	Ancho característico de flujo	[m]	38,00	52,00
i	Pendiente media de la superficie	[%]	0,50	0,50
Ai s/A	Porcentaje de área impermeable sin almacenamiento	[%]	35	35
ni	Coefficiente de Manning para áreas impermeables	[--]	0,015	0,015



np	Coeficiente de Manning para áreas permeables	[---]	0,150	0,150
di	Almacenamiento en depresión en áreas impermeables	[mm]	7,00	7,00
dp	Almacenamiento en depresión en áreas permeables	[mm]	12,00	12,00
f ₀	Tasa de Infiltración Máxima	[mm/h]	85	85
f _c	Tasa de Infiltración Mínima	[mm/h]	12	12
K	Constante de Disminución	[1/h]	8	8
ts	Tiempo de Secado	[días]	4	4

El ajuste del modelo se realizó mediante el método de regresión lineal buscando que los valores de tiempo al pico, caudales pico y la forma de los hidrogramas arrojados por el modelo coincidan con los hidrogramas medidos. Al efecto, se excluyeron los eventos 3 y 6. En esos eventos, los valores modelados fueron significativamente más altos que los valores medidos.

Esto último puede deberse a los errores en las mediciones provocados por las alteraciones al flujo dados por la descarga a las bocas de tormenta. En efecto la descarga a los sumideros genera una reducción del ancho de flujo en la cuneta que pudo haber afectado al escurrimiento a la altura de la escala, generándose así un escurrimiento no uniforme y, por tanto, la fórmula de Chezy (Ec. 4.1) no puede utilizarse.

Se determinó el R^2 de todas las modelaciones realizadas. Los valores de los parámetros ajuste, indicados en Tabla 5.13, fueron aquellos que dieron el R^2 más cercano a 1 para ambas cuencas (Tabla 5.14).

Tabla 5.14. Valores de R^2 alcanzados con el ajuste del modelo de transformación lluvia caudal

Cuenca	R^2
Derecha	92,71%
Izquierda	87,97%

A continuación se realiza un breve análisis de los parámetros de ajuste más importantes adoptados:

Ancho característico de flujo (w): caracteriza el ancho de la cuenca idealmente considerada como un rectángulo de igual área a la cuenca real. La longitud de dicho rectángulo incide en el tiempo de concentración de la cuenca. Así, con los anchos de cuenca adoptados se tendrían longitudes de cuenca de 462 m y 471 m para las cuencas Derecha e Izquierda respectivamente, lo que indica que la cuenca Izquierda presenta un tiempo de concentración levemente superior a la Derecha.

Coeficiente de Rugosidad de Manning (n_i y n_p): refleja la resistencia que encuentra el escurrimiento superficial en su salida por la cuenca. Se requieren valores distintos para las porciones permeables e impermeables de la cuenca, dado que los valores de n de área permeable son generalmente 10 veces mayores que un área impermeable Gironás (2009). Huber y Dickinson (1988) consideran que los valores de Manning para un escurrimiento superficial no están bien establecidos como pudieran estar los de un flujo encausado. Esto se debe a la significativa variabilidad en la

cobertura del suelo, la transición entre el régimen laminar al turbulento y los tirantes muy bajos típicos del escurrimiento superficial.

Por tanto, los valores de n pueden variar de una cuenca a otra y son parámetros de ajuste. Los diversos estudios consultados adoptaron valores entre 0,012 y 0,027 para áreas impermeables y de 0,020 a 0,45 para áreas permeables. Por ejemplo Bertoni y Rojas (1997) adoptaron coeficientes de Manning de 0,018 y 0,15 para áreas impermeables y permeables respectivamente en zonas urbanas en una cuenca de la ciudad de Rafaela (provincia de Santa Fe) con un área de 15 km².

Almacenamiento en Depresión (d_i y d_p): corresponde al volumen que debe ser almacenado antes de generarse el escurrimiento. Este parámetro puede ser tratado para ajustar los volúmenes de escurrimiento de una cuenca.

Existen discrepancias sobre los criterios para adoptar estos valores en la bibliografía internacional. Kidd (1978) citado por Huber y Dickinson (1988), a partir de un estudio realizado en 18 cuencas en ciudades de Holanda, Inglaterra y Suecia, indica que para una cuenca con pendientes de 0,5% la depresión en áreas impermeables es de 1,08 mm. Por su parte, Garcia (2005) adoptó, para una cuenca urbana de Santa María (Brasil) de 4,95 km², valores de almacenamiento de 6 a 1,5 mm en áreas impermeables y de 9 a 2,8 mm para áreas permeables. Gomez (2008) también calibró una microcuenca de la ciudad de Santa María con el modelo SWMM y encontró valores medios de 2,0 a 2,13 mm para áreas impermeables y permeables, respectivamente. Bertoni y Rojas (1997) adoptaron valores de 1,70 y 3,00 mm para áreas impermeables y permeables respectivamente.

Los valores obtenidos son mayores a los propuestos en la bibliografía. Sin embargo, se destaca que no existe un criterio común para la adopción del mismo y que incluso una misma cuenca puede presentar valores diferentes de almacenamiento en distintas precipitaciones (Huber y Dickinson, 1988).

Tasas de Infiltración Máxima (f_0) y Mínima (f_c): las tasas de infiltración para el modelo de Horton coinciden en orden de magnitud con dos de los estudios presentados por Kutnich (2008) (Tabla 4.3). Estos valores indican que el suelo del área de estudio puede categorizarse como C o D, según la clasificación hidrológica propuesta por el SCS, a partir de los estudios de la UDFCD (1984) y Porto (1995) citados por Riccardi (2004).

En total la simulación abarcó un periodo de tiempo continuo de 199 días desde 01/09/2009 hasta el 20/03/2010. En la Tabla 5.15 se indican los totales precipitados durante ese período y los coeficientes de escorrentía para las cuencas Derecha e Izquierda obtenidos con la simulación.

Tabla 5.15. Volúmenes y Coeficientes de Escorrentía obtenidos con la simulación

Cuenca	Precipitación Total	Evaporación Total	Infiltración Total	Volumen de Escorrentía Total	Coeficiente de Escorrentía
	[mm]	[mm]	[mm]	[m ³]	
Derecha	1086,70	179,7	333,8	10.093	0,526
Izquierda	1086,70	162,2	412,0	12.522	0,471



En las Tablas 5.16 y 5.17 se indican los valores de caudales aforados y arrojados por el modelo, como así también los errores cuadráticos para las cuencas Derecha e Izquierda respectivamente.

Tabla 5.16. Caudales medidos y arrojados por el modelo – Cuenca Derecha

Eventos	Fecha y Hora [dd/mm/aaaa hh:mm]	Caudal		Error Cuadrático [l ² /s ²]
		Aforo [l/s]	Modelo [l/s]	
1	03/09/2009 10:17	3,3	2,6	0,6
	03/09/2009 10:23	4,3	4,7	0,1
	03/09/2009 10:27	5,1	4,8	0,2
	03/09/2009 10:33	4,4	4,3	0,0
	03/09/2009 10:43	3,3	3,5	0,0
	03/09/2009 10:50	3,3	2,8	0,2
	03/09/2009 11:05	3,3	2,4	0,9
	03/09/2009 11:20	3,3	2,7	0,4
	03/09/2009 11:35	3,3	2,7	0,4
	03/09/2009 11:53	4,5	1,9	6,7
2	14/10/2009 16:46	3,2	2,1	1,3
	14/10/2009 17:07	4,7	3,9	0,5
	14/10/2009 17:16	4,7	3,7	1,0
4	20/11/2009 09:23	22,1	25,8	13,4
	20/11/2009 09:33	13,5	22,4	78,5
	20/11/2009 09:41	8,4	19,3	118,2
	20/11/2009 09:50	8,4	15,7	52,2
	20/11/2009 09:58	22,1	32,6	110,8
	20/11/2009 10:06	46,3	71,7	645,7
	20/11/2009 10:19	96,3	119,8	554,7
	20/11/2009 10:21	149,3	125,2	581,3
5	08/02/2010 15:21	3,2	1,4	3,2
	08/02/2010 15:29	4,7	2,3	5,5
	08/02/2010 15:38	4,7	3,5	1,3
	08/02/2010 15:52	5,9	5,6	0,1
	08/02/2010 16:06	5,9	4,5	1,9
	08/02/2010 16:26	4,7	3,3	1,9
7	22/02/2010 12:35	20,7	20,1	0,3
	22/02/2010 12:40	20,7	16,8	15,0
	22/02/2010 12:45	13,5	14,3	0,6
	22/02/2010 12:51	11,7	12,0	0,1
	22/02/2010 12:56	9,9	10,3	0,2
	22/02/2010 13:03	5,9	8,3	5,7
8	03/03/2010 17:13	31,1	30,6	0,2
	03/03/2010 17:28	20,7	24,2	12,4
	03/03/2010 17:40	11,7	16,0	18,8



	03/03/2010 17:50	5,9	11,2	28,3
9	19/03/2010 17:50	6,1	2,4	14,0
	19/03/2010 18:00	3,3	1,8	2,3
	19/03/2010 18:10	2,0	1,4	0,4
Totales				2279,3

Tabla 5.17. Caudales medidos y arrojados por el modelo – Cuenca Izquierda

Evento	Fecha y Hora [dd/mm/aaaa hh:mm]	Caudal		Error Cuadrático [l ² /s ²]
		Aforo [l/s]	Modelo [l/s]	
1	03/09/2009 10:17	5,7	3,6	4,3
	03/09/2009 10:23	7,4	6,5	0,8
	03/09/2009 10:27	8,8	6,6	4,5
	03/09/2009 10:33	7,4	5,9	2,2
	03/09/2009 10:43	5,7	4,8	0,8
	03/09/2009 10:58	3,3	3,2	0,0
	03/09/2009 11:10	3,3	3,1	0,0
	03/09/2009 11:20	3,3	3,6	0,1
	03/09/2009 11:40	3,3	3,4	0,0
	03/09/2009 12:00	4,5	2,2	5,5
2	14/10/2009 16:43	4,6	2,7	3,7
	14/10/2009 17:04	8,3	5,1	9,9
	14/10/2009 17:16	7,5	5,0	6,1
4	20/11/2009 09:25	45,4	31,5	194,5
	20/11/2009 09:35	41,6	25,4	261,8
	20/11/2009 09:43	17,3	21,2	15,2
	20/11/2009 09:53	12,7	16,6	15,8
	20/11/2009 10:00	45,4	53,6	67,8
	20/11/2009 10:06	38,2	92,6	2955,3
	20/11/2009 10:19	117,7	151,9	1168,3
5	08/02/2010 15:27	3,3	2,9	0,2
	08/02/2010 15:35	4,5	4,4	0,0
	08/02/2010 15:46	7,7	6,5	1,5
	08/02/2010 15:56	7,7	7,9	0,0
	08/02/2010 16:10	4,5	5,6	1,1
	08/02/2010 16:30	3,3	4,2	0,7
7	22/02/2010 12:35	41,6	26,6	224,1
	22/02/2010 12:40	38,2	22,0	261,7
	22/02/2010 12:45	30,0	18,5	131,2
	22/02/2010 12:50	23,0	15,8	51,9
	22/02/2010 12:55	12,7	13,6	0,8
	22/02/2010 13:06	9,1	9,5	0,1

8	03/03/2010 17:15	45,4	40,5	23,6
	03/03/2010 17:30	38,2	29,6	74,6
	03/03/2010 17:42	23,0	19,2	14,8
	03/03/2010 17:53	9,1	12,8	13,4
9	19/03/2010 17:53	6,0	2,9	9,5
	19/03/2010 18:02	4,7	2,3	5,7
	19/03/2010 18:15	4,7	1,6	9,2
Totales				6130,6

En las Figura 5.51 y 5.52 se indica la relación entre los valores de caudales medidos (en abscisas) y los modelados (ordenadas) para las cuencas Derecha e Izquierda respectivamente.

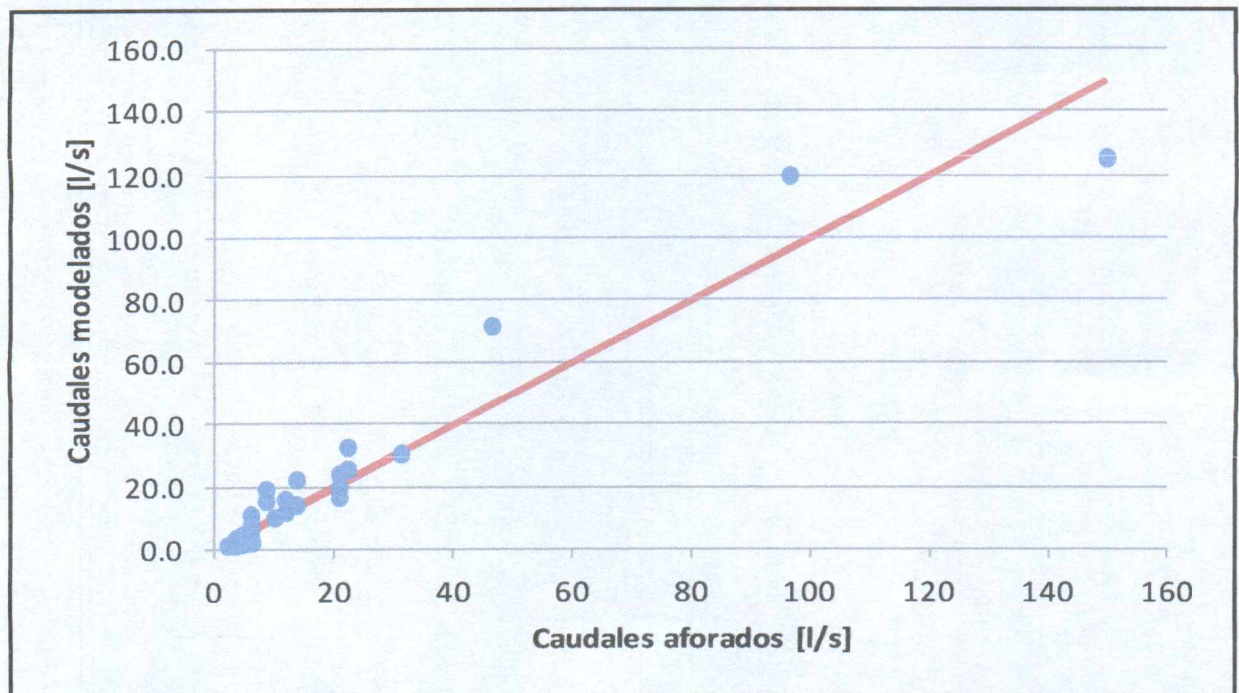


Figura 5.51. Relación entre caudales medidos y modelados de la cuenca Derecha.

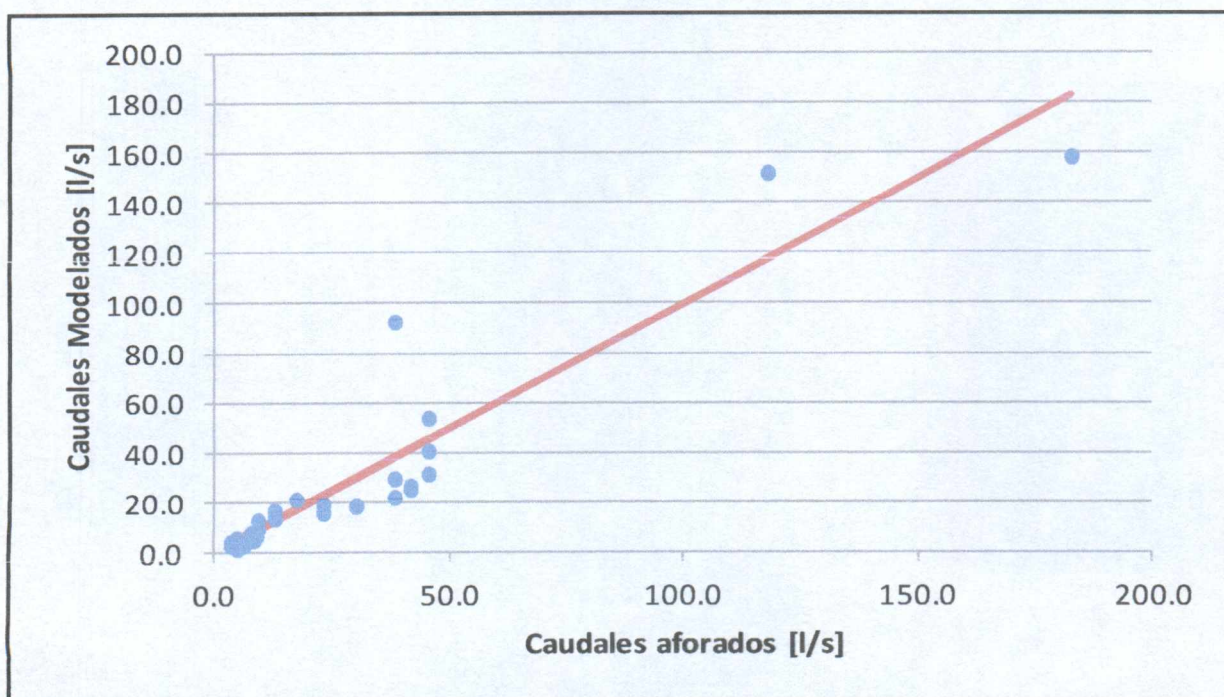


Figura 5.52. Relación entre caudales medidos y modelados de la cuenca izquierda.

En las Figuras 5.53 a 5.61 se indican los hidrogramas medidos y modelados de los 9 eventos medidos de la cuenca Derecha.

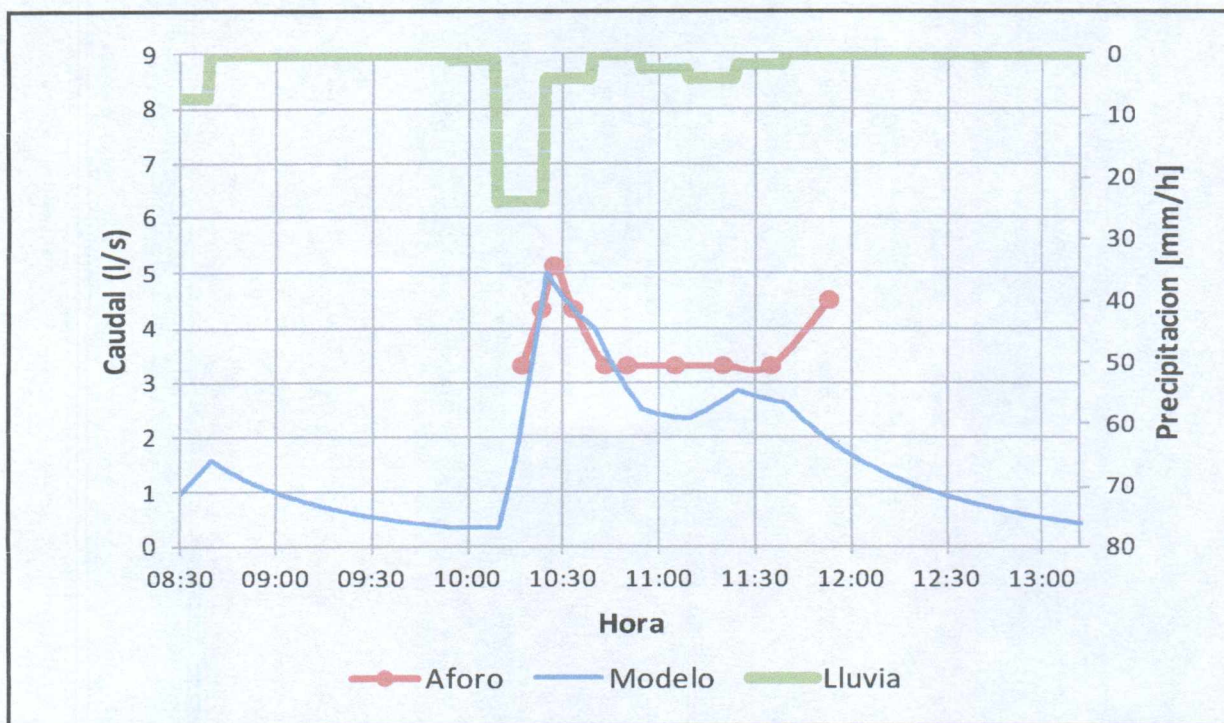


Figura 5.53. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 1 - Derecha

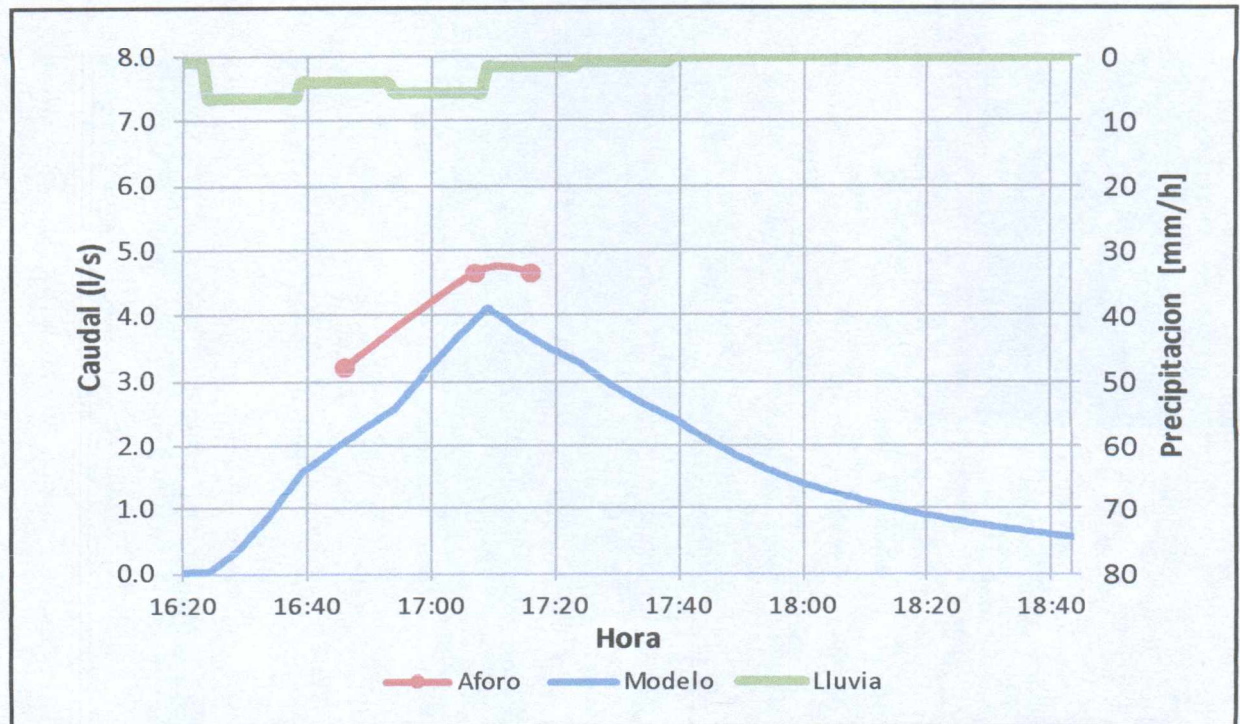


Figura 5.54. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 2 – Derecha

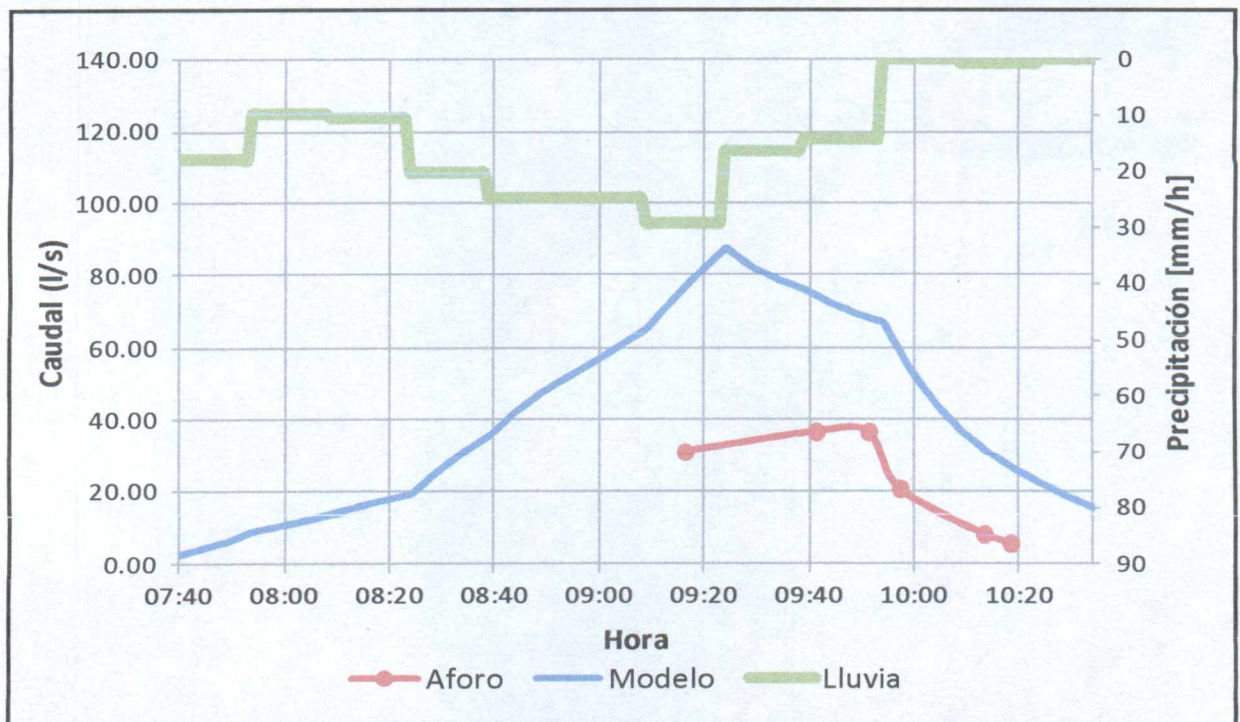


Figura 5.55. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 3 – Derecha

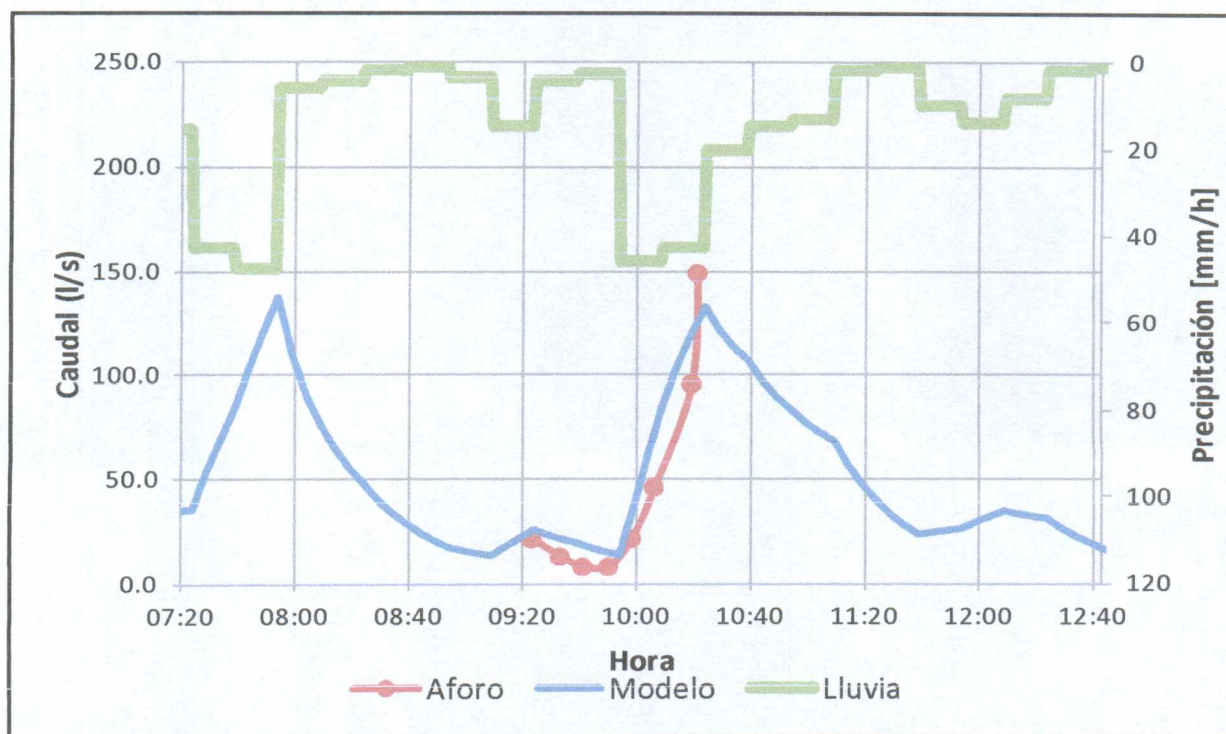


Figura 5.56. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 4 – Derecha

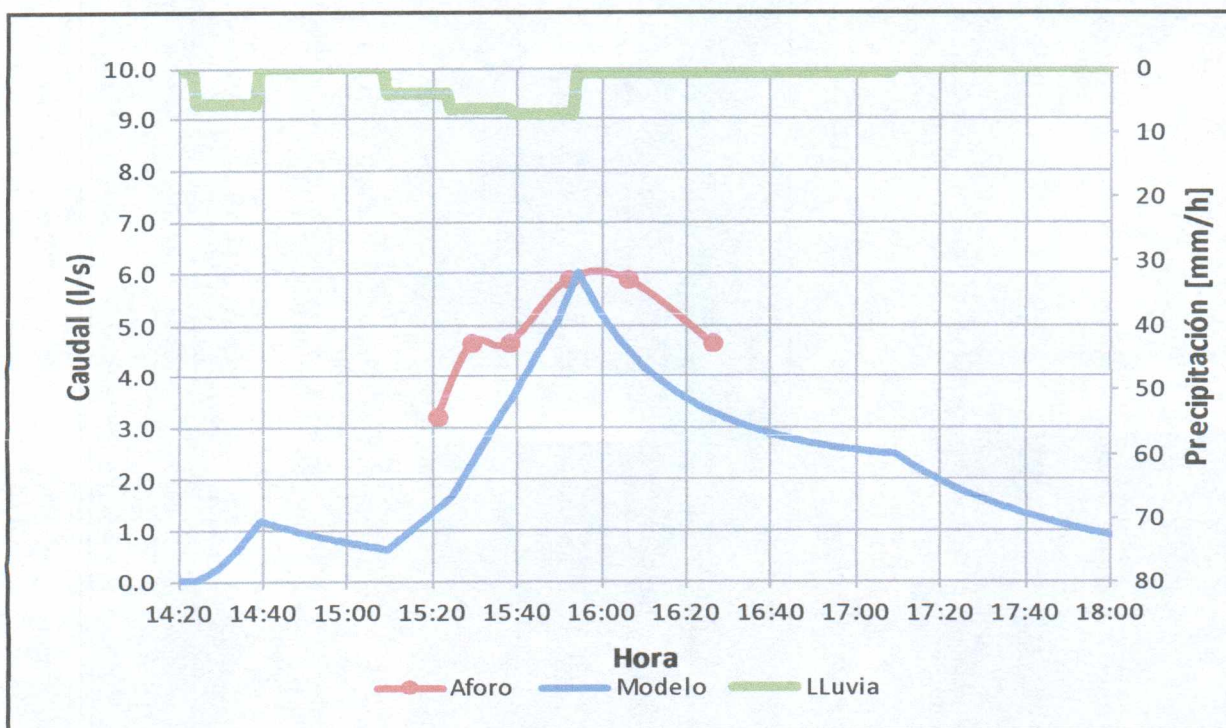


Figura 5.57. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 5 – Derecha

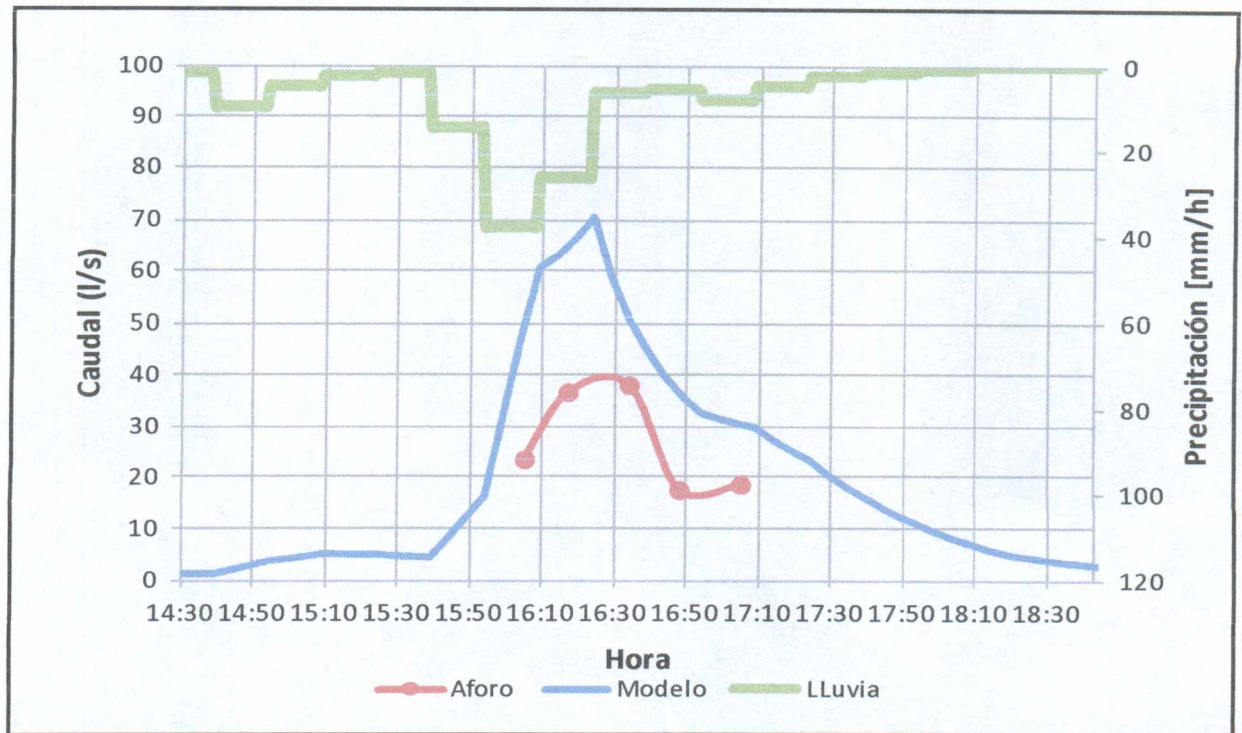


Figura 5.58. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 6 – Derecha

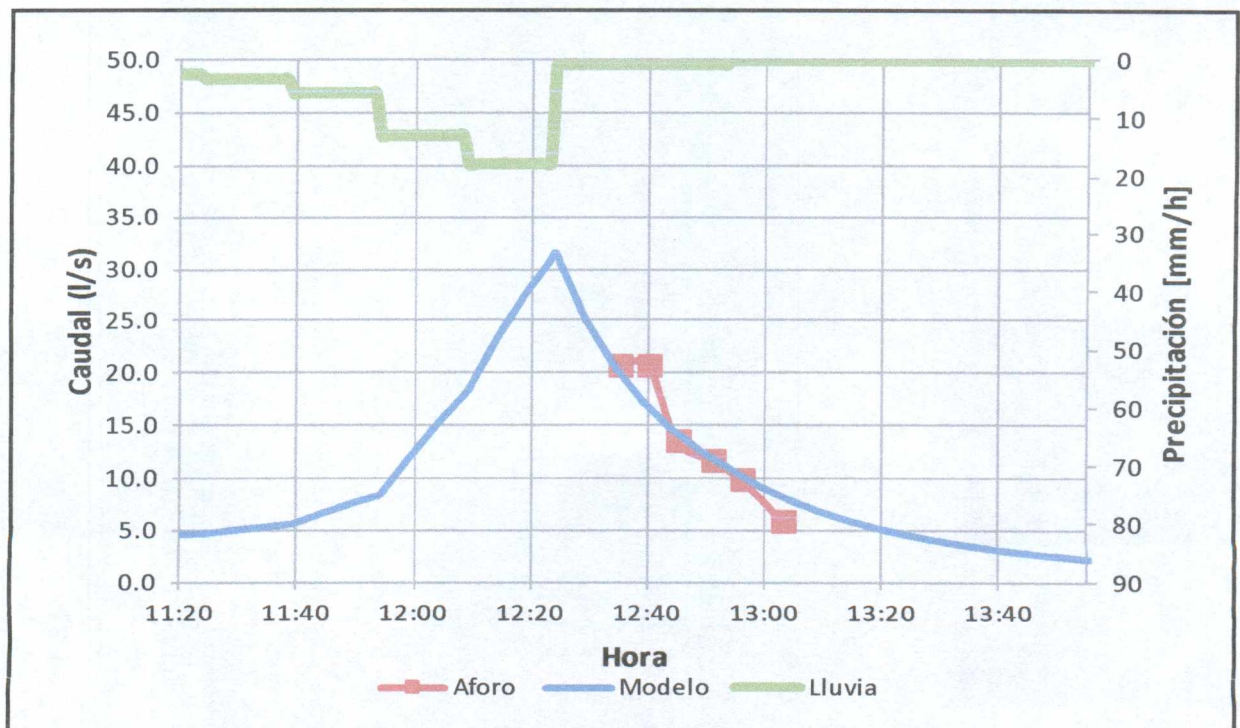


Figura 5.59. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 7 – Derecha

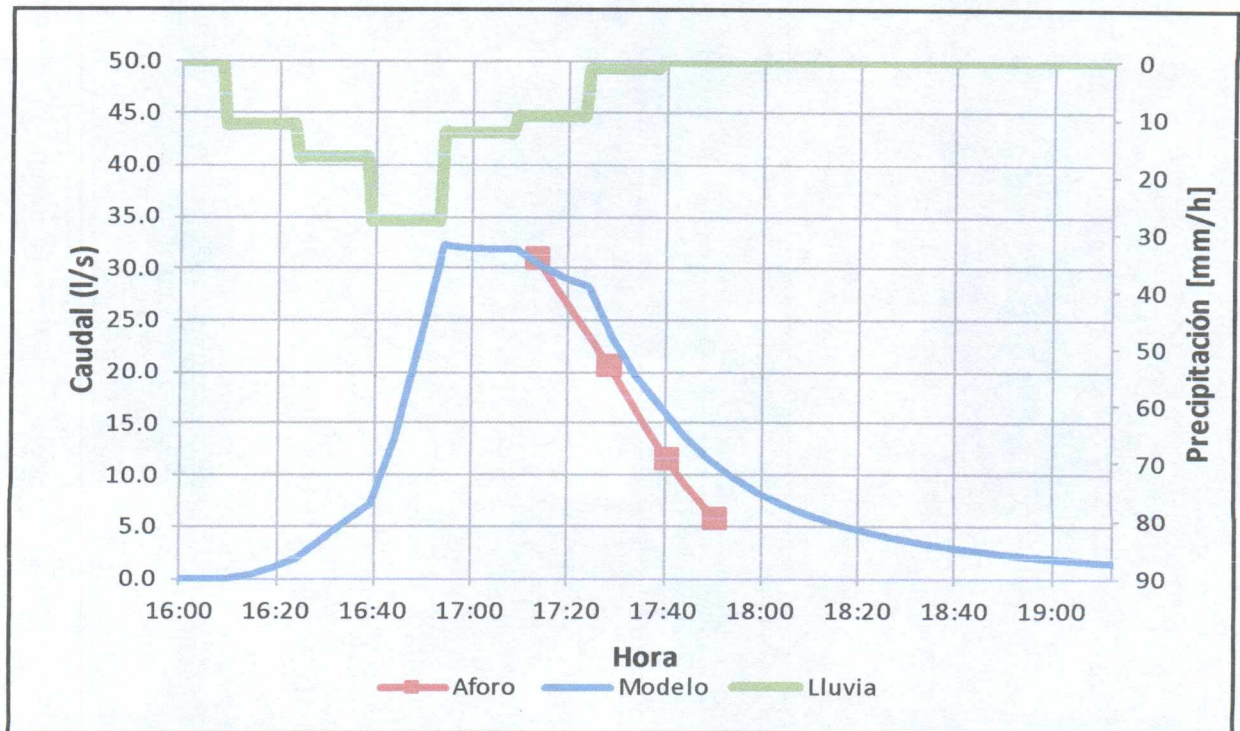


Figura 5.60. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 8 – Derecha

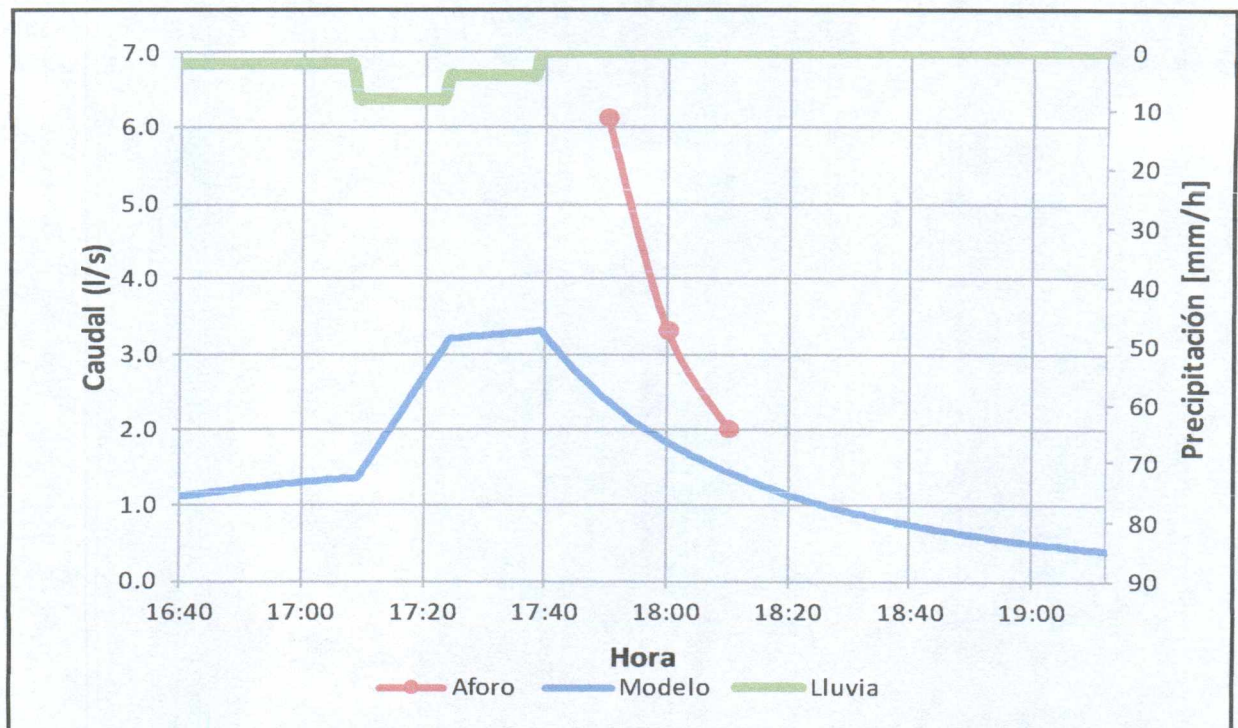


Figura 5.61. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 9 – Derecha

En las Figuras 5.62 a 5.70 se indican los hidrogramas medidos y modelados de los 9 eventos medidos en la cuenca Izquierda.

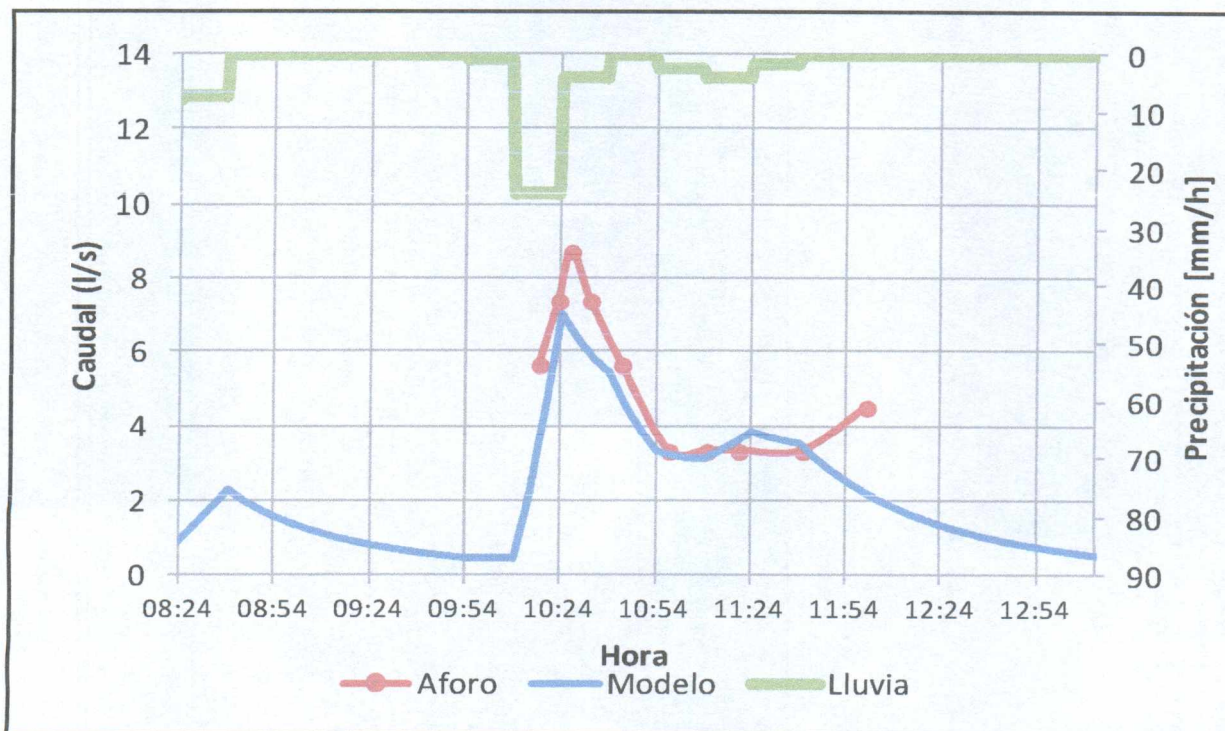


Figura 5.62. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 1 – Izquierda

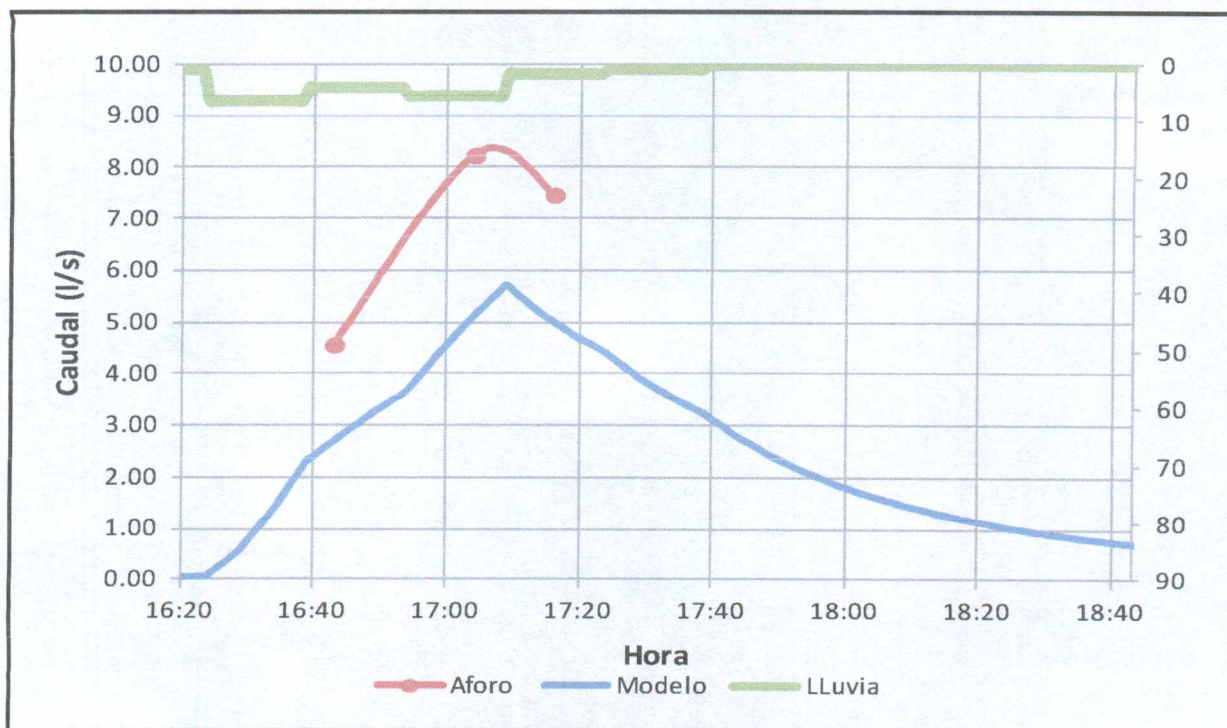


Figura 5.63. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 2 – Izquierda

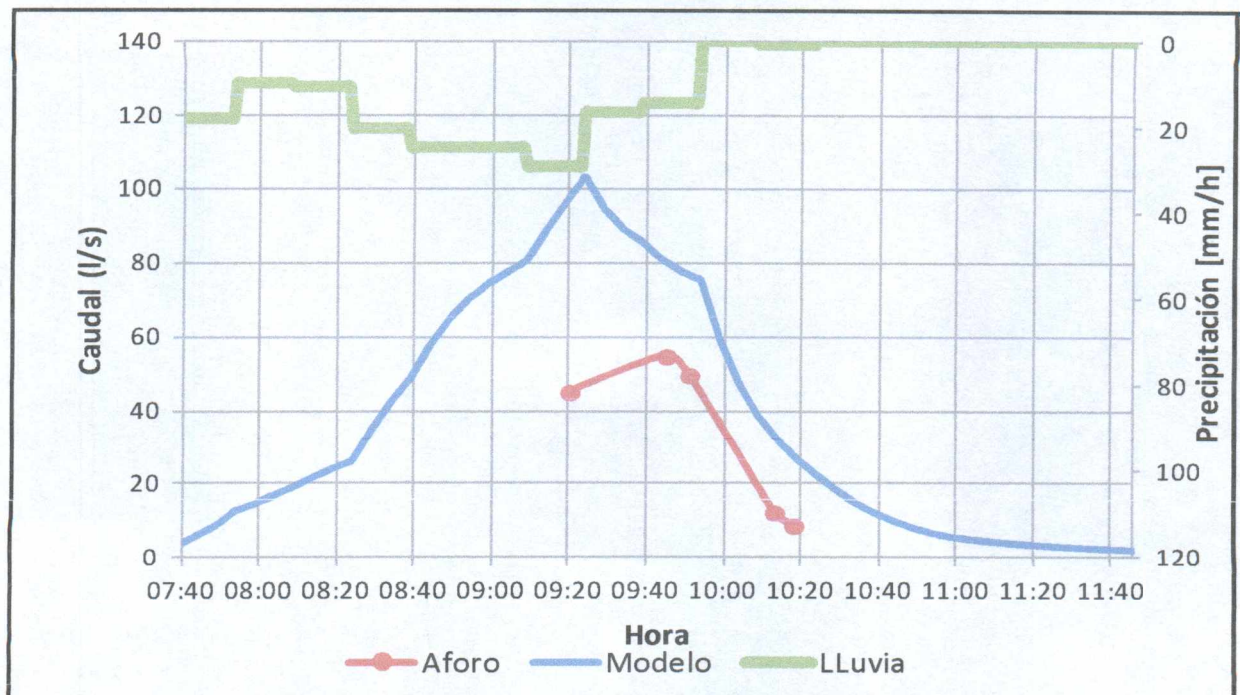


Figura 5.64. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 3 – Izquierda

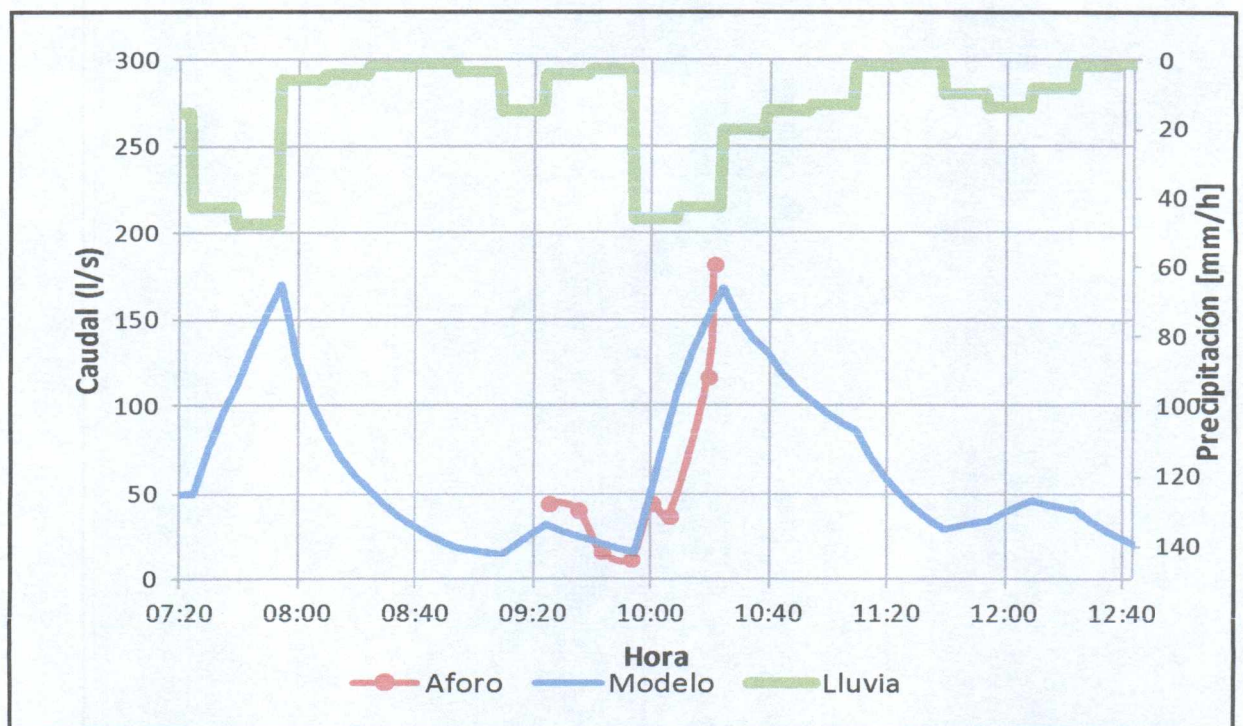


Figura 5.65. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 4 – Izquierda

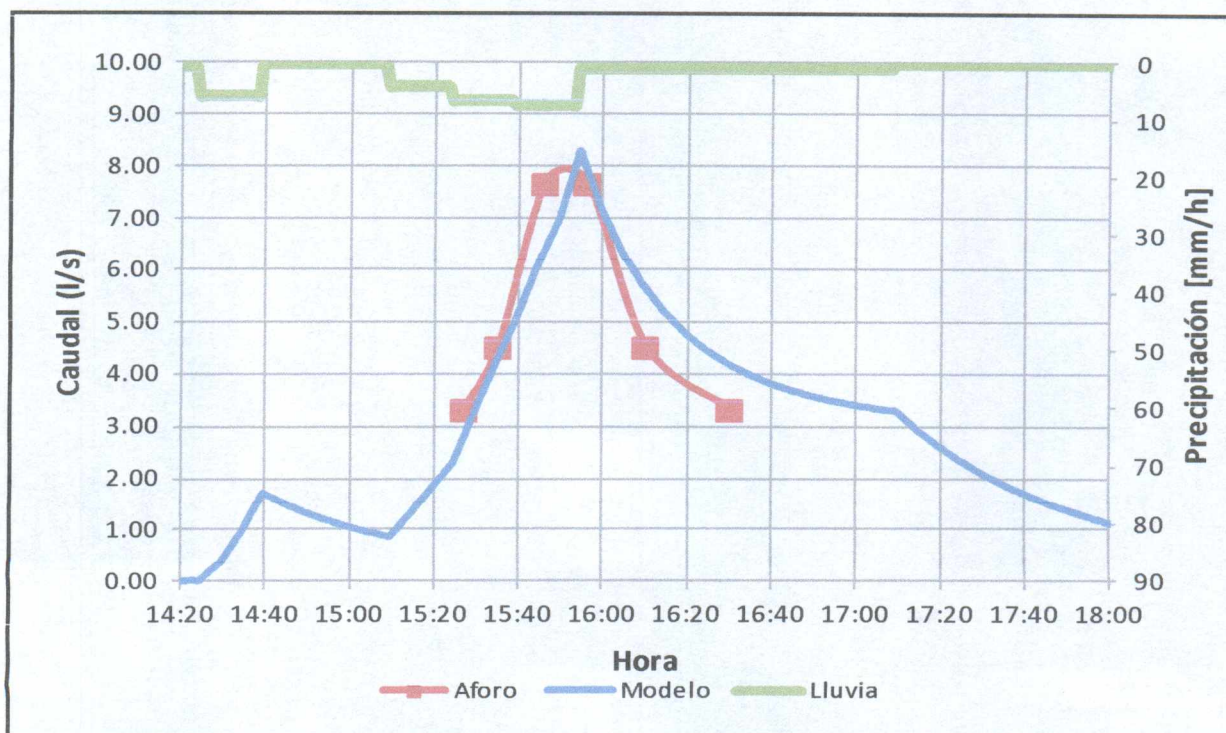


Figura 5.66. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 5 – Izquierda

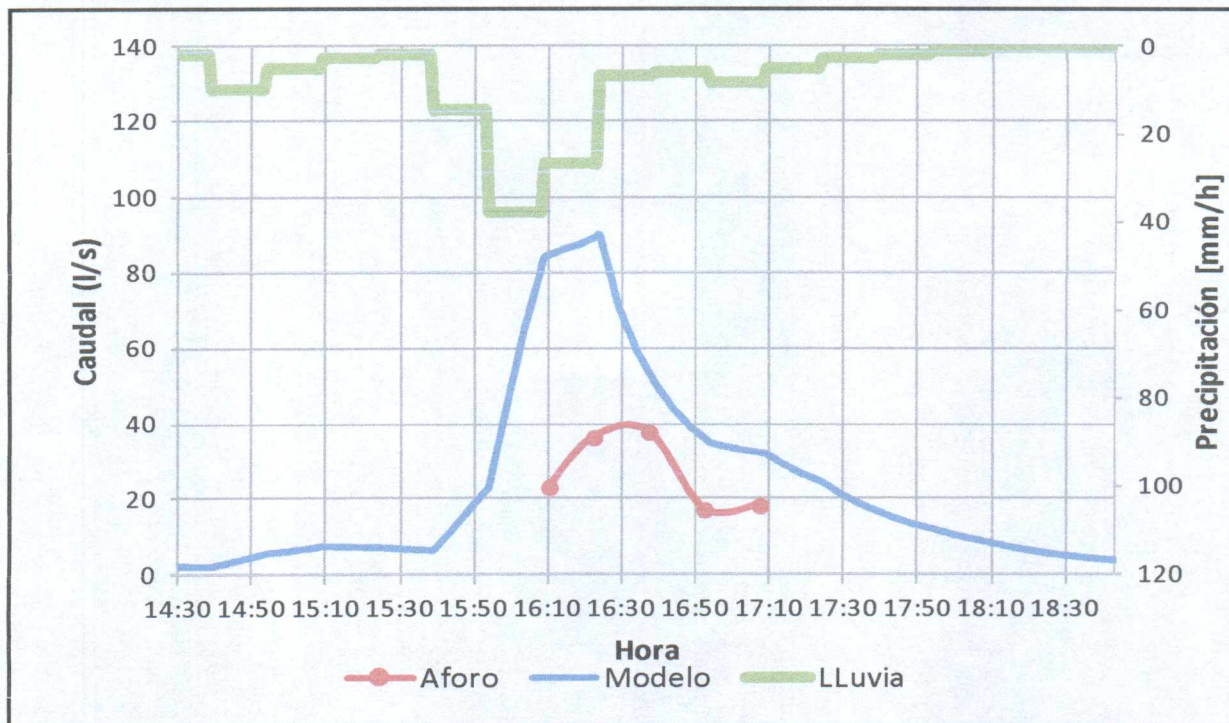


Figura 5.67. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 6 – Izquierda

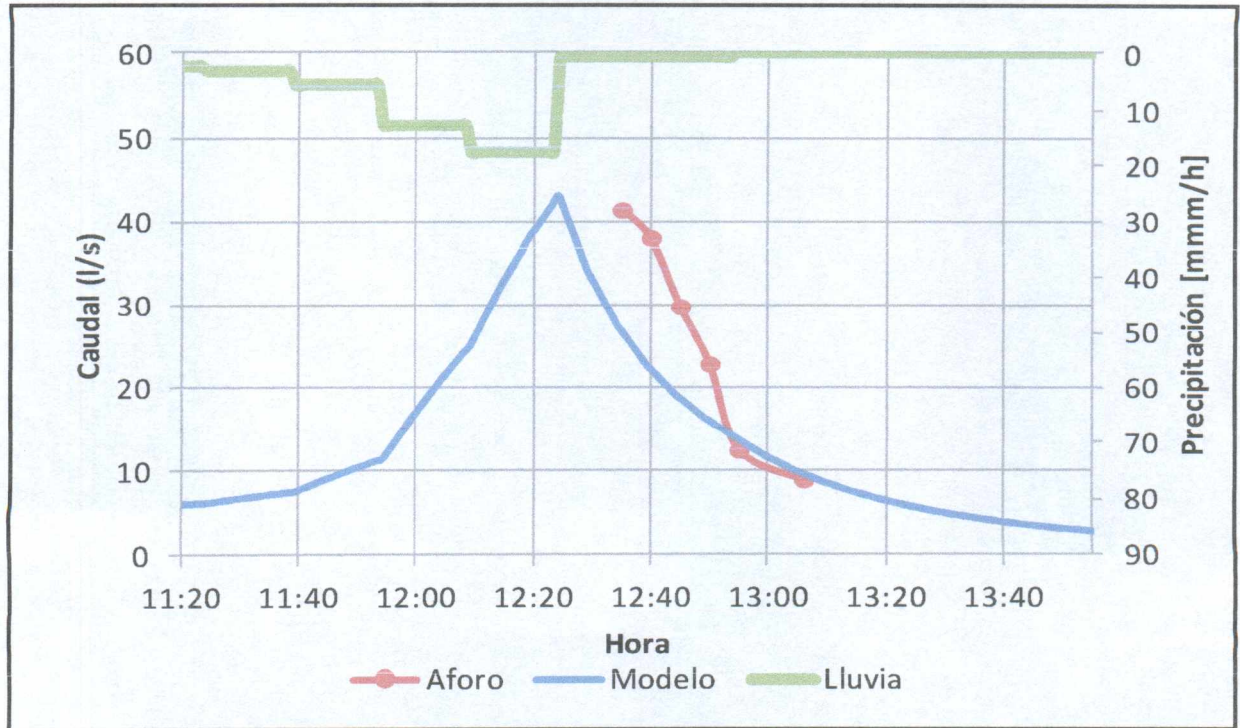


Figura 5.68. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 7 – Izquierda

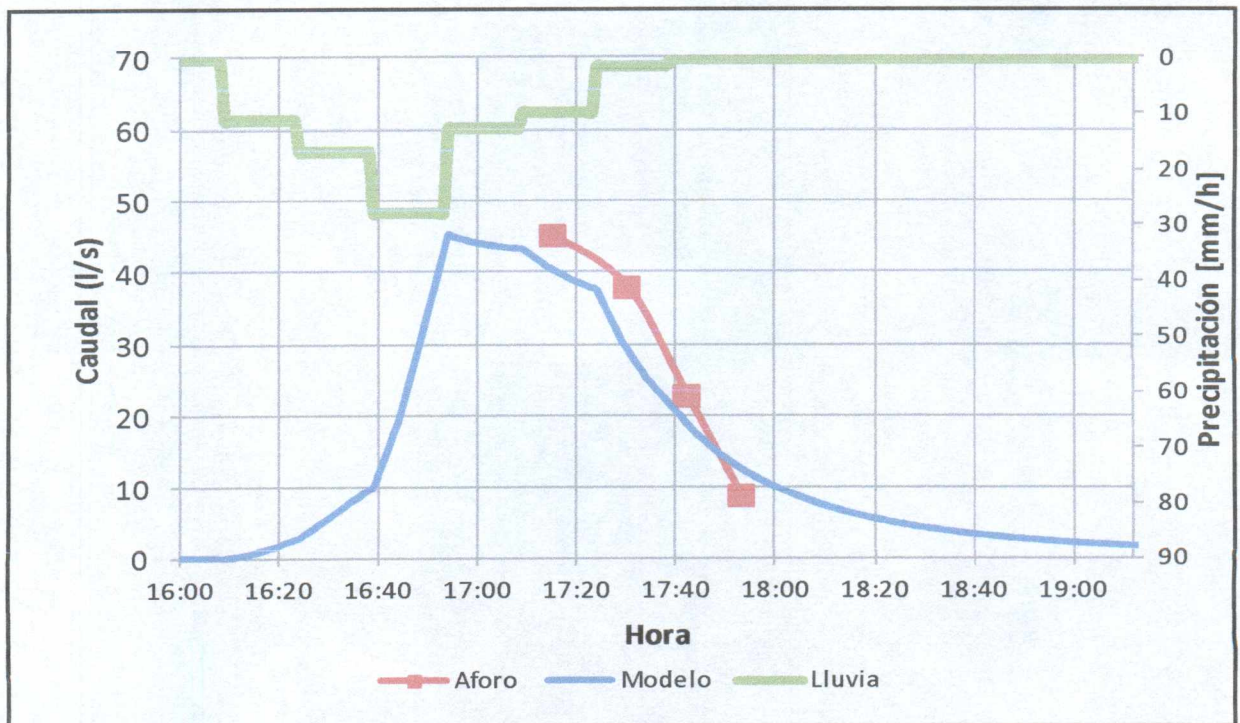


Figura 5.69. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 8 – Izquierda

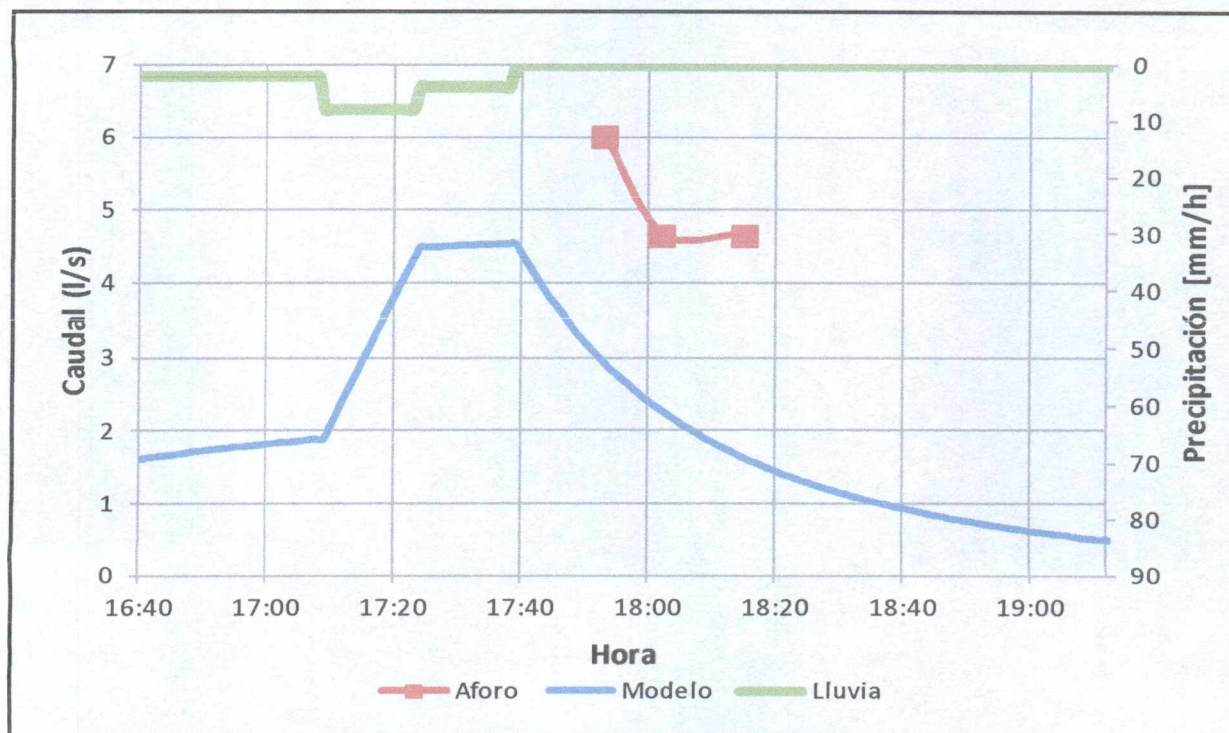


Figura 5.70. Hidrogramas medidos y modelados del Evento 9 – Izquierda

Modelo de Calidad de Aguas

Las investigaciones realizadas y los resultados obtenidos permitieron conocer y cuantificar las variables que intervienen en la cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía urbana en la microcuenca estudio cuyo uso es residencial. La metodología adoptada ha resultado eficiente, sencilla y de bajo costo para en el análisis de tal fenómeno. De igual forma, este procedimiento puede ser adaptado para el estudio de otro tipo de contaminantes o bien para el mismo poluyente pero en cuencas de otro uso de suelo (industrial, comercial, etc.). A tal efecto, es recomendable continuar con investigaciones tendientes a conocer las concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente pluvial erogado por cuencas de mayor área y que aportan directamente al sistema de macrodrenaje (e.g. la cuenca de Av Las Heras que descarga al canal soberanía). Así, sería posible determinar si intervienen nuevas variables en el fenómeno o si algunas variables, que tienen fuerte incidencia en una microcuenca, son despreciables en cuencas de mayor tamaño. Por tanto, los resultados obtenidos en el presente estudio podrían ser fundamentales para trabajos posteriores.

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

Los eventos 1; 4 y 5 se eligieron para la calibración del modelo porque consideraban situaciones diferentes. En efecto, los eventos 1 y 5 presentan caudales líquidos bajos en cambio el evento 4 presenta caudales altos. Otro aspecto considerado para la elección de los eventos es el periodo de tiempo entre los eventos 1 y 5 (158 días). Así, se considera que en este periodo de tiempo el modelo debe interpretar condiciones precedentes a una precipitación en cuestión (E.g. la cantidad de sedimento acumulado en las cunetas de las calles).

Los eventos 3 y 6 fueron excluidos del análisis porque el modelo de transformación de lluvia caudal no alcanzó resultados satisfactorios respecto a los datos medidos.

Según lo indicado en Tabla 4.7 se utilizaron 5 usos de suelo, 4 de ellos, referidos a la acumulación de sedimentos en las cunetas de las calles, utilizaron un modelo de lavado del tipo “curva exponencial” que exigen la determinación de la cantidad de sedimentos acumulados en la porción de suelo (designado por B en la Ec 3.23) previa a la generación de escurrimiento. Estos valores fueron determinados mediante un modelo de acumulación. Al efecto, los valores de coeficientes y exponentes de acumulación utilizados en cada uso de suelo surgieron del monitoreo realizado en tiempo seco y se indican en Tabla 5.18.

Tabla 5.18. Valores de Coeficientes y exponentes de acumulación utilizados

Usos de Suelo	C ₁	C ₂
	[kg/ha]	[---]
Bajo	3000	0,05
Medio	6000	0,05
Alto	9000	0,05
Muy Alto	12.000	0,05

El uso de suelo restante, designado como Curva de Relación, utilizó un modelo de lavado del tipo Relación de caudales (RC). Los coeficientes y exponentes utilizados son los que se indican en la Tabla 5.19 y surgen de la Ecuación 5.6.

Tabla 5.19. Coeficiente y exponente de lavado usados en Relación de caudales

Designación	Unidad	Valor
C1	$[\text{mg.s}^{1,66} \cdot \text{l}^{-2,66}]$	10
C2	[--]	1,66

Los parámetros de ajuste estuvieron ceñidos a los coeficientes y exponentes de arrastre de los usos de suelo Baja, Media, Alta y Muy Alta (Tabla 5.20). A fin de simplificar el modelo se utilizó un los mismos valores para los mencionados usos de suelo.

Tabla 5.20. Coeficiente y exponente de arrastre usados en los usos de suelo Baja, Media, Alta y Muy Alta

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

Los valores de C_1 y C_2 , indicado en Tabla 5.20, concuerdan con los valores sugeridos por Gironás (2009) para áreas comerciales o residenciales densamente pobladas, quien utiliza valores $C_1=40 \text{ in}^{C_2/h^{C_2+1}}$ y $C_2=2,20$.

Otro parámetro de ajuste fueron los porcentajes de área de los usos de suelo Baja, Media, Alta y Muy Alta (Tabla 5.21).

Tabla 5.21. Porcentajes de área de los usos de suelo de Baja, Media, Alta y Muy Alta

Usos de Suelo	Porcentaje de Área	
	Derecha	Izquierda
Baja	1,53	0,40
Media	0,66	0,83
Alta	---	0,84
Muy Alta	0,13	0,50
Total	2,32	2,57

En las Tablas 5.22 y 5.23 se indican los valores de Total sólidos suspendidos (TSS) aforados y arrojados por el modelo, como así también los errores cuadráticos para las cuencas Derecha e Izquierda respectivamente.



Tabla 5.22. TSS medidos y arrojados por el modelo – Cuenca Derecha

Evento	Fecha y Hora [dd/mm/aaaa hh:mm]	TSS		Error Cuadrático [mg ² /l ²]
		Aforo [mg/l]	Modelo [mg/l]	
1	03/09/2009 10:40	308	314,39	40,8
	03/09/2009 10:55	208	189,12	356,5
	03/09/2009 11:10	164	178,39	207,1
	03/09/2009 11:25	236	217,43	344,8
	03/09/2009 11:43	280	178,73	10255,6
4	20/11/2009 09:23	152	103,28	2373,6
	20/11/2009 09:33	136	93,83	1778,3
	20/11/2009 09:41	100	84,96	226,2
	20/11/2009 09:50	84	74,13	97,4
	20/11/2009 09:58	240	121,91	13945,2
	20/11/2009 10:06	308	208,36	9928,1
	20/11/2009 10:19	272	288,67	277,9
5	08/02/2010 15:31	76	71,09	24,1
	08/02/2010 15:39	128	98,52	869,1
	08/02/2010 15:49	148	138,7	86,5
	08/02/2010 16:02	124	132,76	76,7
	08/02/2010 16:16	72	101,77	886,3
	08/02/2010 16:41	56	76,73	429,7

Tabla 5.23. TSS medidos y arrojados por el modelo – Cuenca Izquierda

Evento	Fecha y Hora [dd/mm/aaaa hh:mm]	TSS		Error Cuadrático [mg ² /l ²]
		Aforo [mg/l]	Modelo [mg/l]	
1	03/09/2009 10:53	1000	363,46	405183,2
	03/09/2009 11:05	368	330,1	1436,4
	03/09/2009 11:15	612	356,58	65239,4
	03/09/2009 11:35	620	378,61	58269,1
4	20/11/2009 09:25	684	160,68	273863,8
	20/11/2009 09:35	248	149,9	9623,6
	20/11/2009 09:43	102	141,38	1550,8
	20/11/2009 09:53	176	130,93	2031,3
	20/11/2009 10:00	268	192,6	5685,2
	20/11/2009 10:06	260	230,49	870,8
	20/11/2009 10:19	320	269,28	2572,5
	20/11/2009 10:21	272	272,81	0,7
5	08/02/2010 15:27	244	141,07	10594,6
	08/02/2010 15:35	208	189,88	328,3
	08/02/2010 15:46	216	257,48	1720,6



	08/02/2010 15:56	172	307,47	18352,1
	08/02/2010 16:10	548	232,66	99439,3
	08/02/2010 16:30	116	184,15	4644,4

En las Figura 5.71 y 5.72 se indica la relación entre las concentraciones de Total de sólidos suspendidos (TSS) medidos (en abscisas) y los modelados (ordenadas) para las cuencas Derecha e Izquierda respectivamente.

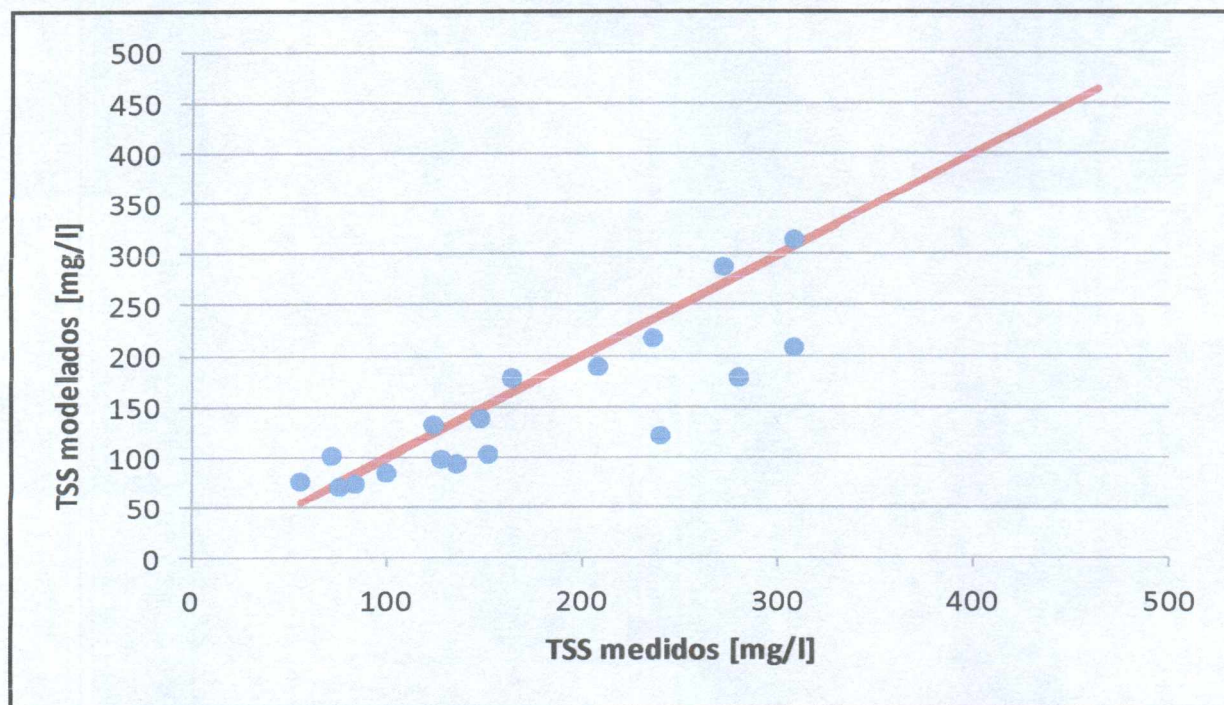


Figura 5.71. Relación entre TSS medidos y modelados de la cuenca Derecha.

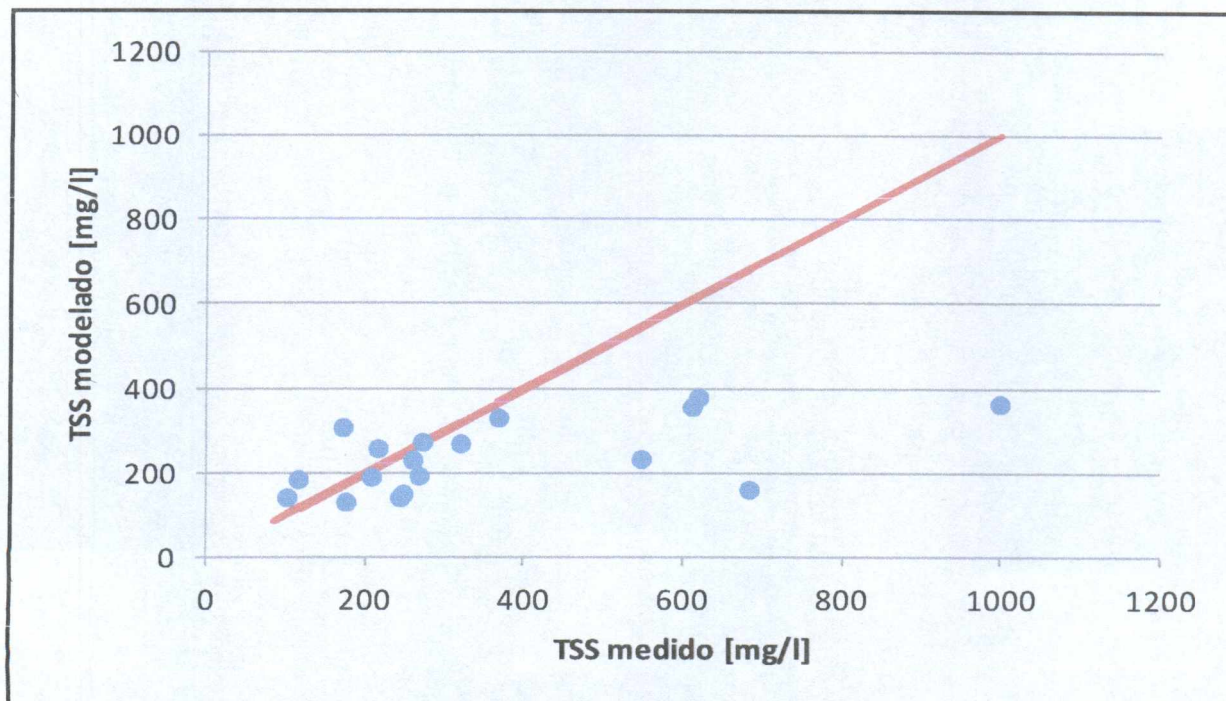


Figura 5.72. Relación entre TSS medidos y modelados de la cuenca Izquierda.

Se determinó el R^2 de todas las modelaciones realizadas. Los valores de los parámetros ajuste, indicados en Tabla 5.21 y 5.22, fueron aquellos que dieron el R^2 más cercano a 1 para ambas cuencas (Tabla 5.24).

Tabla 5.24. Valores de R^2 alcanzados con el ajuste del modelo de calidad de aguas

Cuenca	R^2
Derecha	66,40%
Izquierda	50,30%

En las Figuras 5.73 a 5.75 se indican los polutogramas de la cuenca Derecha medidos y modelados de los eventos 1; 4 y 5 respectivamente usados para la calibración del modelo.

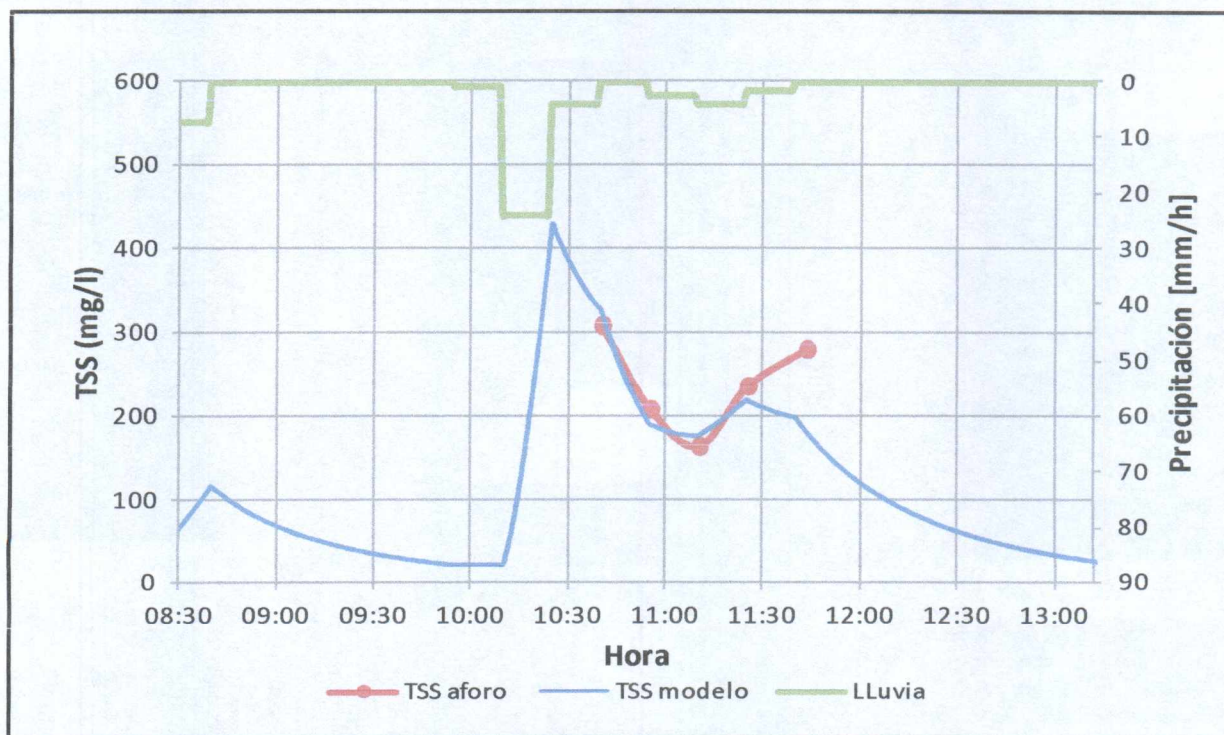


Figura 5.73. Polutograma medidos y modelados del Evento 1 - Derecha

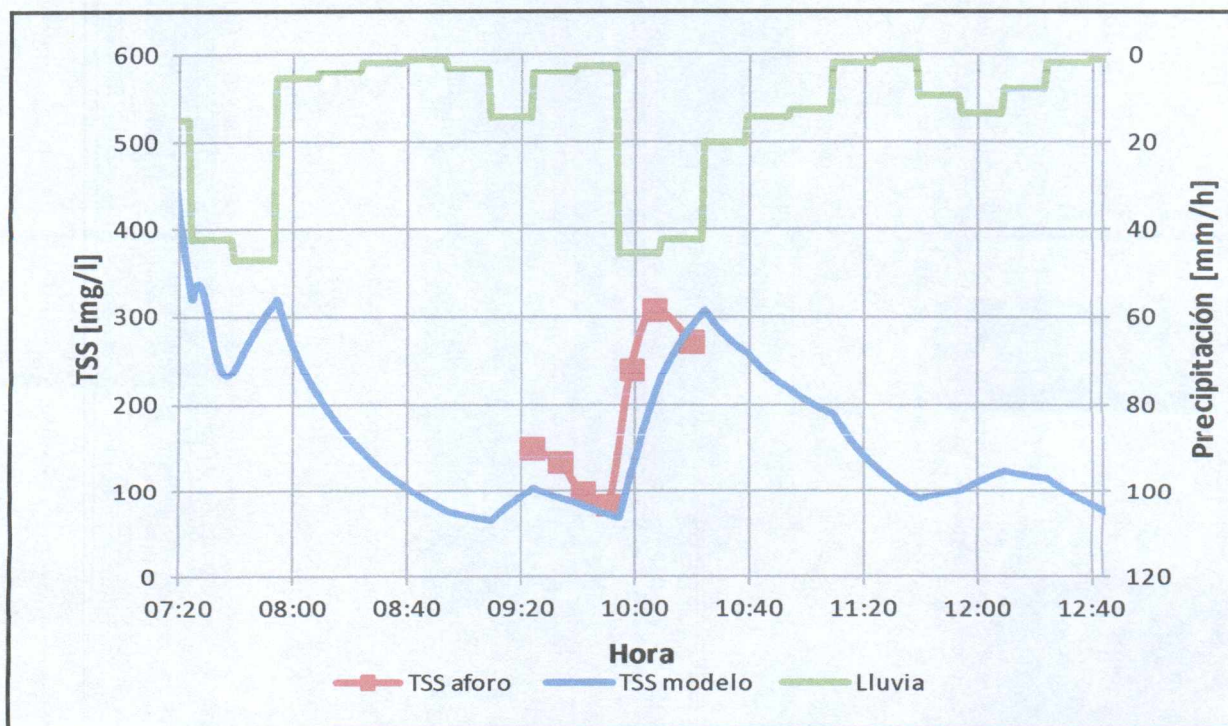


Figura 5.74. Polutograma medidos y modelados del Evento 4 - Derecha

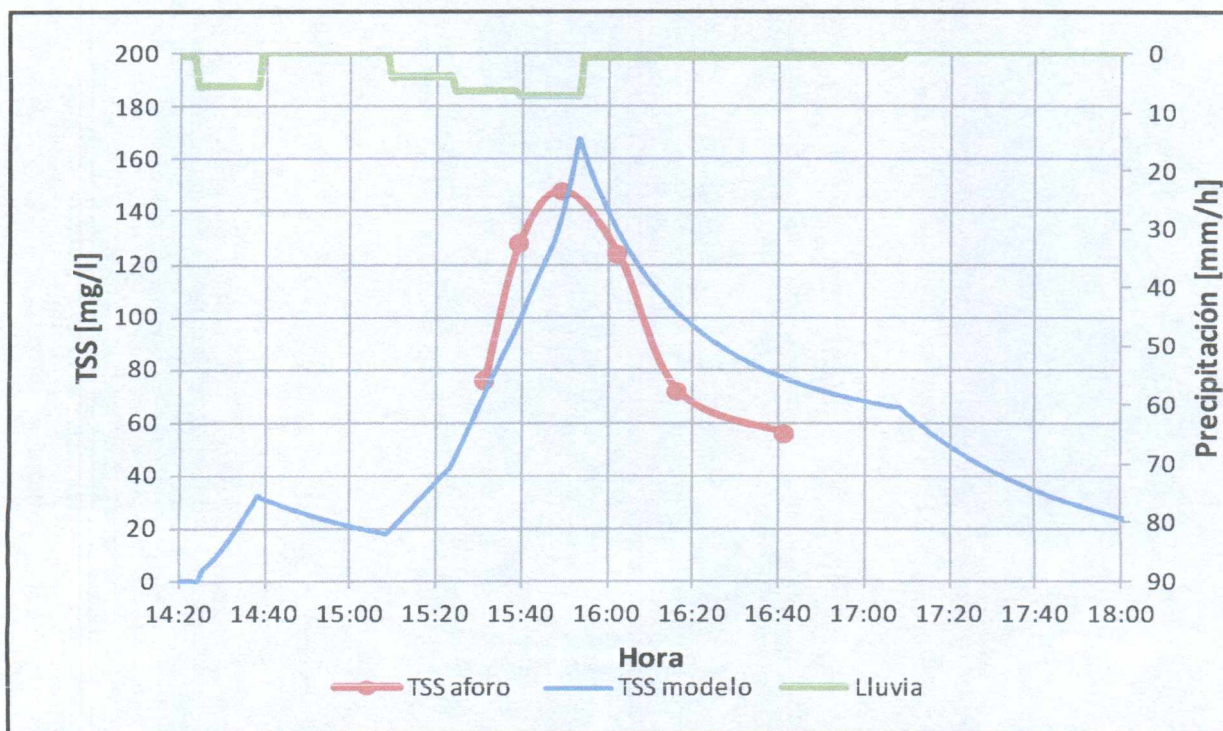


Figura 5.75. Polutograma medidos y modelados del Evento 5 - Derecha



En las Figuras 5.76; 5.77 y 5.78 se indican los polutogramas de la cuenca Izquierda medidos y modelados de los eventos 1; 4 y 5 respectivamente usados para la calibración del modelo.

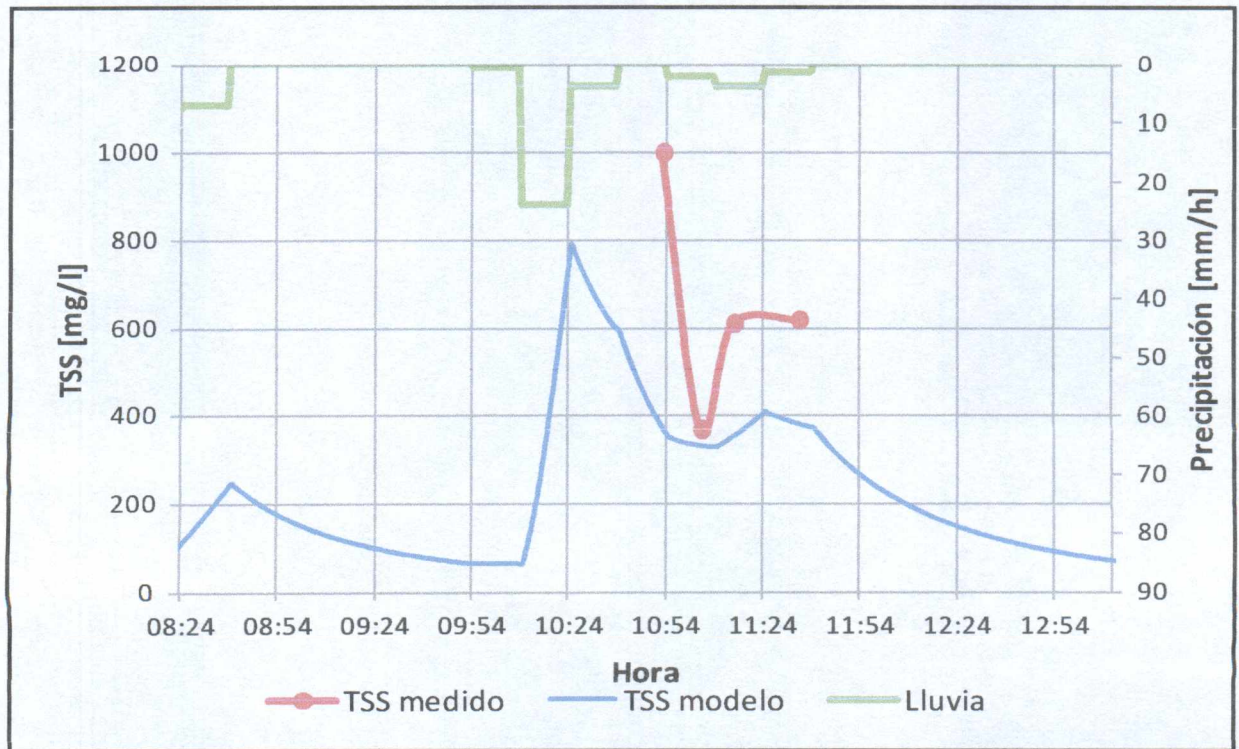


Figura 5.76. Polutograma medidos y modelados del Evento 1 - Izquierda

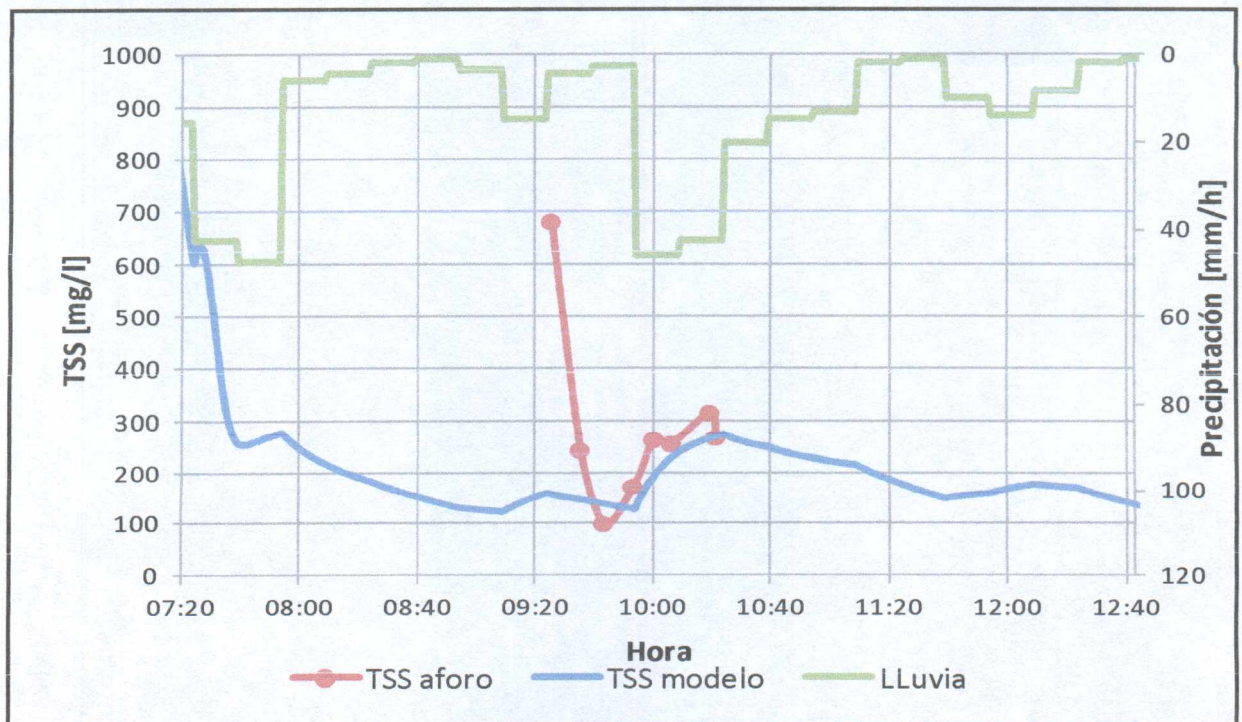


Figura 5.77. Polutograma medidos y modelados del Evento 4 - Izquierda

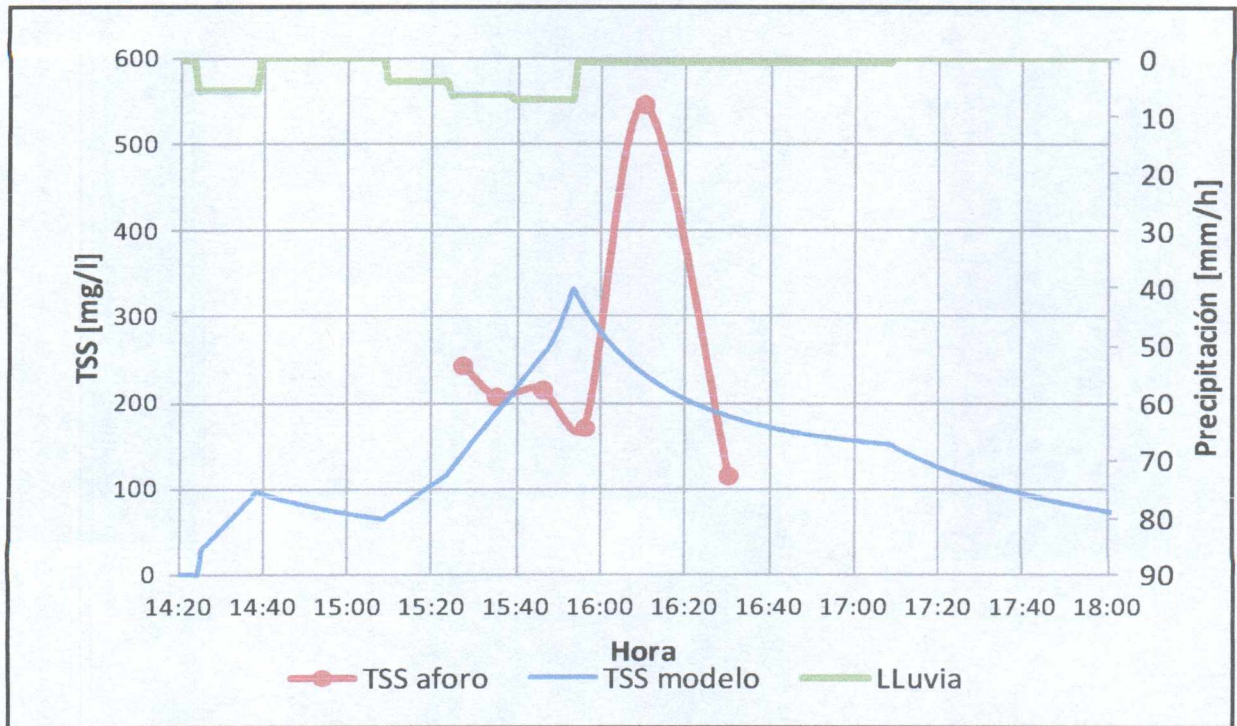


Figura 5.78. Polutograma medidos y modelados del Evento 5 – Izquierda

Los eventos 2; 7; 8 y 9 se utilizaron para la validación del modelo. Al efecto en las Tablas 5.25 y 5.26 se indican los valores de TSS medidos y modelados y los valores de R^2 de cada evento, para las cuencas Derecha e Izquierda respectivamente.

Tabla 5.25. TSS medidos y modelados de los eventos usados para la validación del modelo– Cuenca Derecha

Evento	Fecha y Hora [dd/mm/aaaa hh:mm]	TSS		Error Cuadrático [mg ² /l ²]	R ²
		Aforo [mg/l]	Modelo [mg/l]		
2	14/10/2009 16:46	316	71,86	59604,3	37%
	14/10/2009 17:07	308	141,9	27589,2	
	14/10/2009 17:16	516	130,44	148656,5	
7	22/02/2010 12:35	108	92,04	254,7	0.95
	22/02/2010 12:40	92	81,73	105,5	
	22/02/2010 12:45	96	73,37	512,1	
	22/02/2010 12:51	78	65,25	162,6	
	22/02/2010 12:56	96	58,97	1371,2	
	22/02/2010 13:03	76	51,18	616,0	
8	03/03/2010 17:13	294	162,04	17413,4	0.33
	03/03/2010 17:28	212	114,63	9480,9	
	03/03/2010 17:40	330	84,11	60461,9	
	03/03/2010 17:50	77,5	65,82	137,6	
9	19/03/2010 17:50	464	128	112896,0	0.35
	19/03/2010 18:00	316	100,59	46401,5	



	19/03/2010 18:10	191.836735	81,01	12282,6	
--	------------------	------------	-------	---------	--

Tabla 5.26. TSS medidos y modelados de los eventos usados para la validación del modelo– Cuenca Izquierda

Evento	Fecha y Hora [dd/mm/aaaa hh:mm]	TSS		Error Cuadrático [mg ² /l ²]	R ²
		Aforo	Modelo		
		[mg/l]	[mg ² /l ²]		
2	14/10/2009 16:43	608	154,37	205780,2	27.6%
	14/10/2009 17:04	944	266,69	458748,8	
	14/10/2009 17:16	232	261,14	849,1	
7	22/02/2010 12:35	204	159,53	1977,6	71.2%
	22/02/2010 12:40	156	148,84	51,3	
	22/02/2010 12:45	128	140,03	144,7	
	22/02/2010 12:50	108	132,6	605,2	
	22/02/2010 12:55	118	125,66	58,7	
	22/02/2010 13:06	84	111,64	764,0	
8	03/03/2010 17:15	432	268,11	26859,9	50.5%
	03/03/2010 17:30	456	186,3	72738,1	
	03/03/2010 17:42	394	151,4	58854,8	
	03/03/2010 17:53	315.09434	129,57	34419,3	
9	19/03/2010 17:53	656	247,34	167003,0	51.1%
	19/03/2010 18:02	480	206,07	75037,6	
	19/03/2010 18:15	440.816327	164,51	76345,2	

En las Figuras 5.79; 5.80; 5.81 y 5.82 se indican los polutogramas de la cuenca Derecha medidos y modelados de los eventos 2; 7; 8 y 9 respectivamente usados para la validación del modelo.

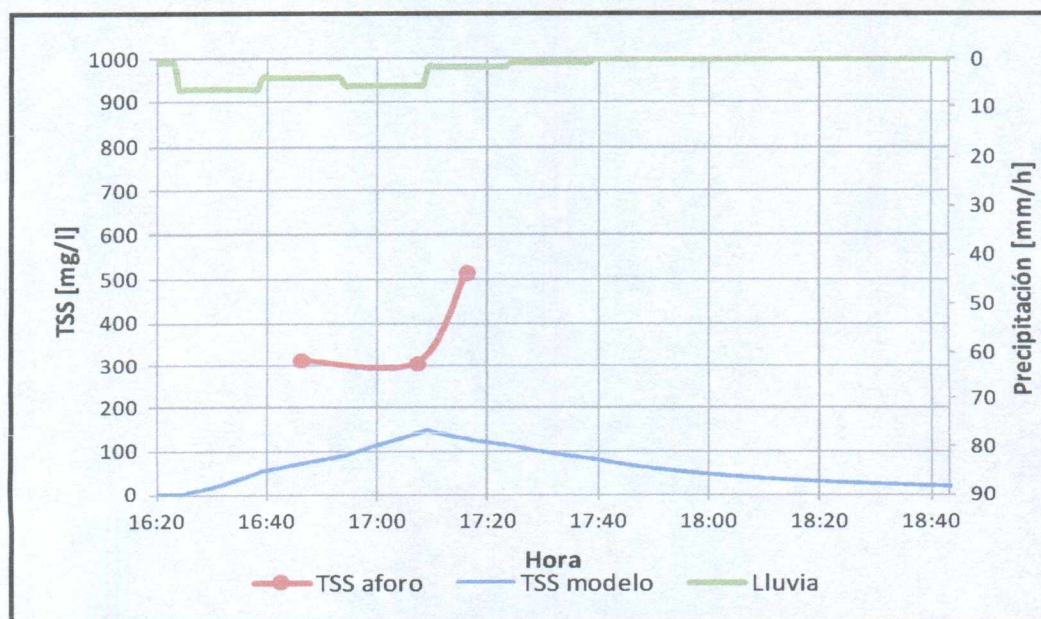


Figura 5.79. Polutograma medidos y modelados del Evento 2 – Derecha

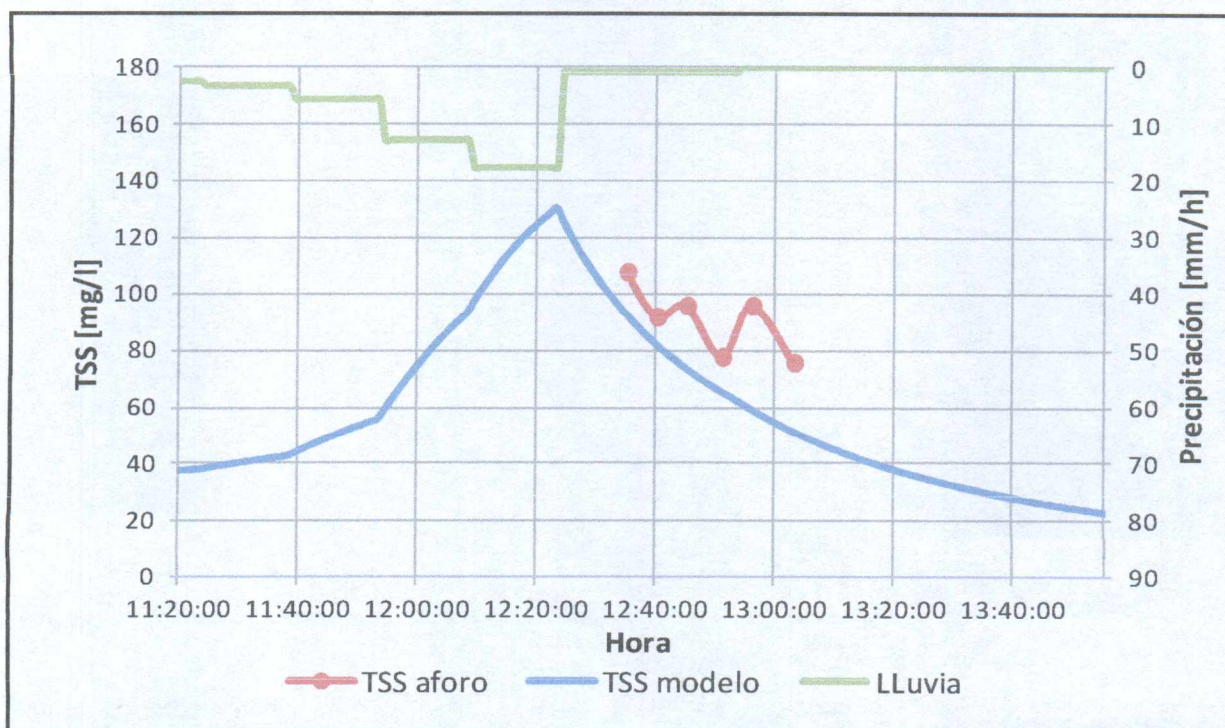


Figura 5.80. Polutograma medidos y modelados del Evento 7 – Derecha

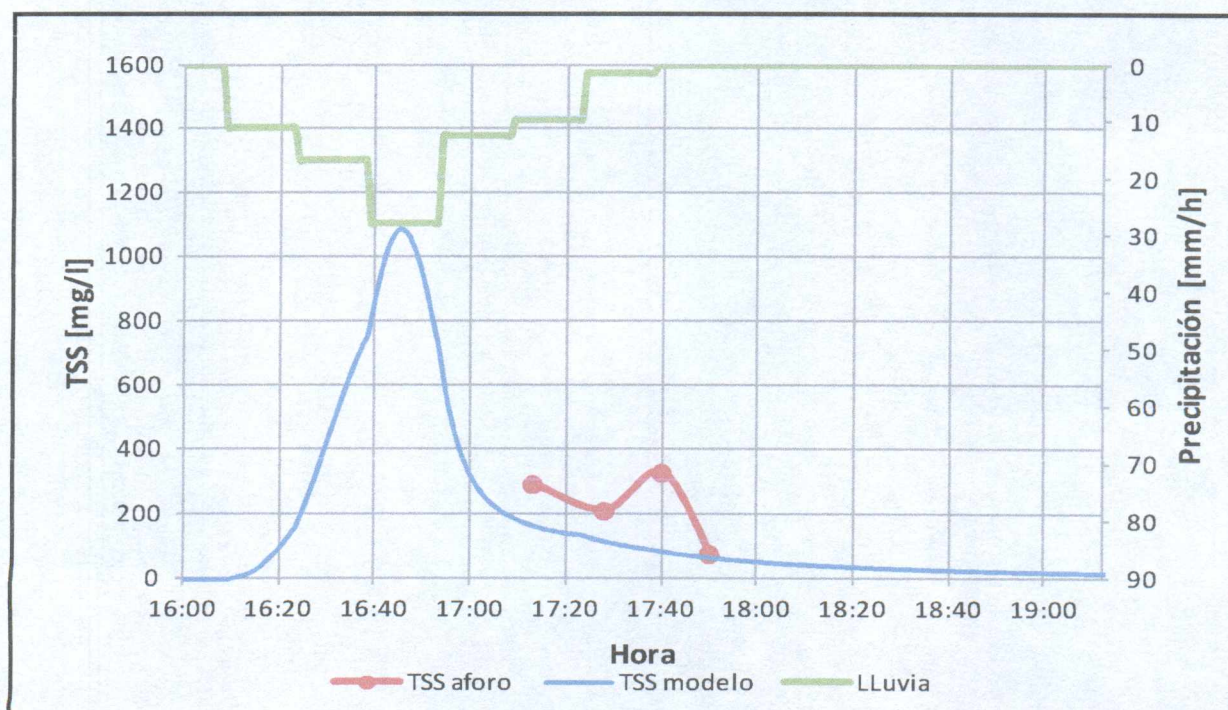


Figura 5.81. Polutograma medidos y modelados del Evento 8 – Derecha

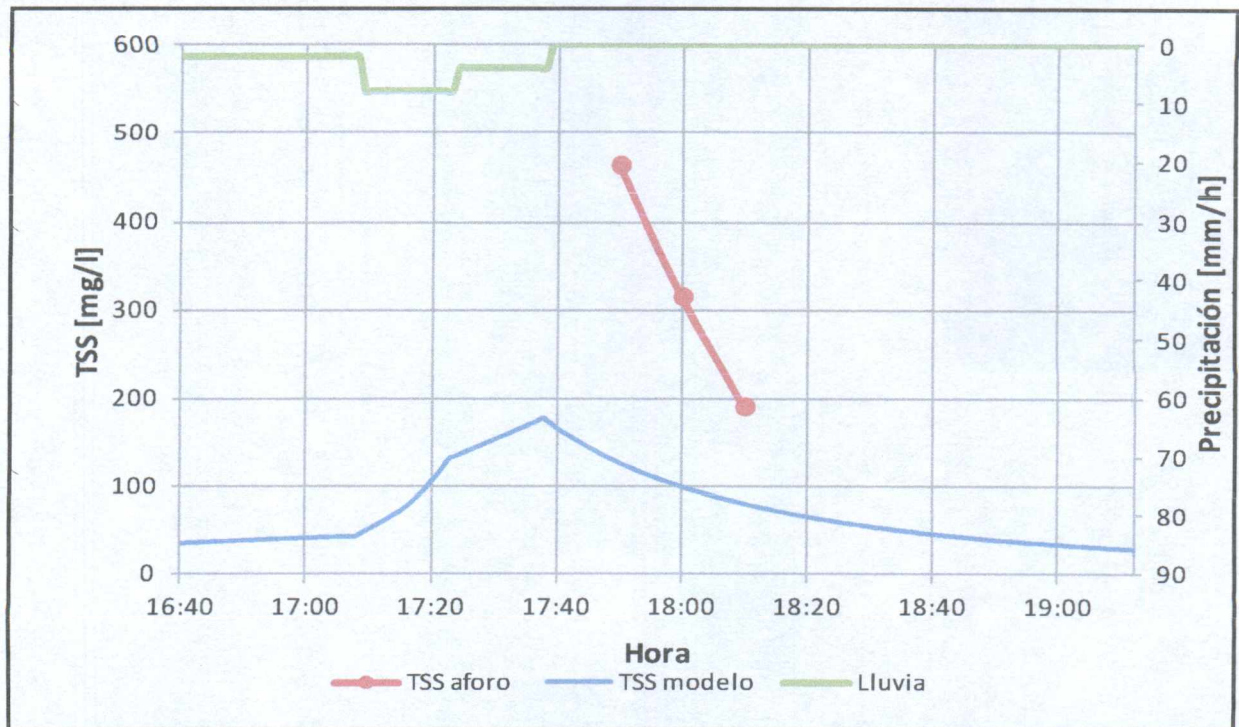


Figura 5.82. Polutograma medidos y modelados del Evento 9 – Derecha

De la observación de la Tabla 5.25 y de las Figuras 5.79 a 5.82 es posible constatar que el único evento que valida el modelo planteado es el evento 7 (22/02/2010).

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

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

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

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

Por tanto se realizaron simulaciones de estos eventos indicando una acumulación inicial de 6000 kg/ha que representaría el valor de saturación de la acumulación para el uso de suelo designado como Medio. Así los resultados de ambas simulaciones se representan en las Figuras 5.83 y 5.84.

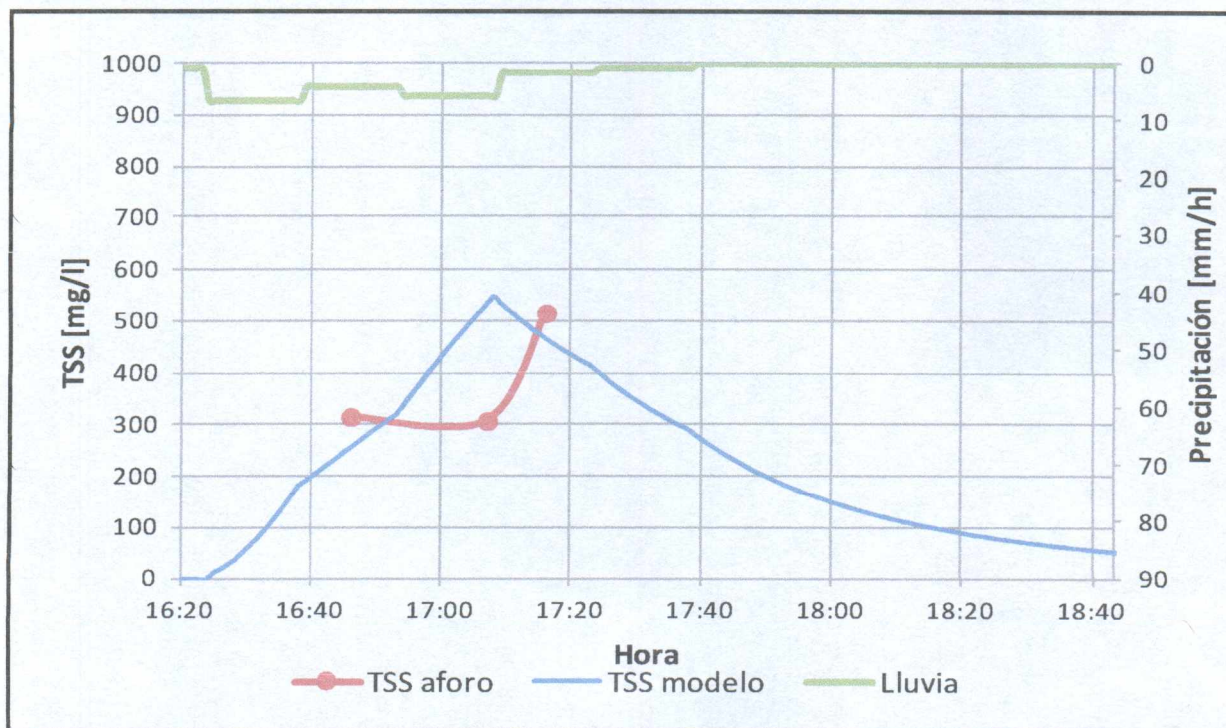


Figura 5.83. Polutograma del Evento 2 considerando una acumulación inicial de 6000 kg/ha

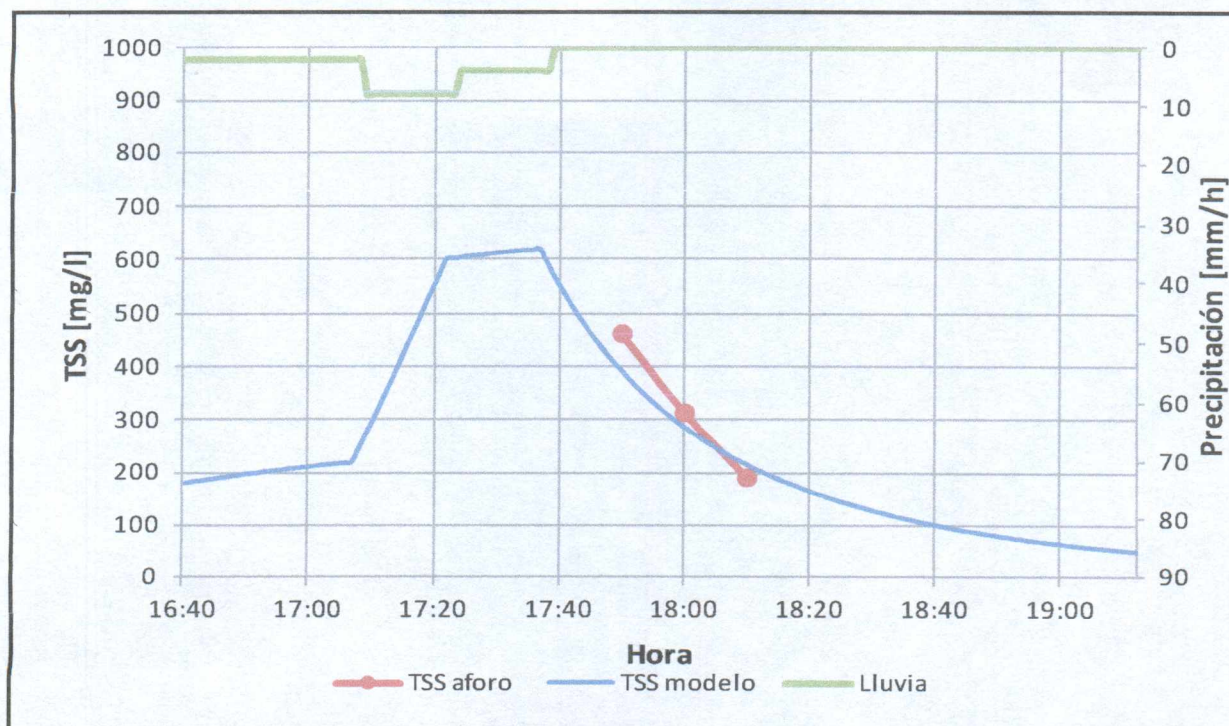


Figura 5.84. Polutograma del Evento 9 considerando una acumulación inicial de 6000 kg/ha

Los resultados arrojados por la simulación indicados en las Figuras 5.85 y 5.86 demuestran que la cantidad de acumulación antecedente es un parámetro fundamental para ajustar un modelo de calidad de aguas pluviales.

Un análisis por separado merece los resultados arrojados por el modelo en el evento 8, los datos de concentración de sólidos suspendidos indican un pico en la curva de recesión del polutograma, sin embargo los resultados del modelo, que simulan correctamente esta curva de recesión no lo describen.

Este perturbación en la recesión del polutograma puede deberse al aporte del lavado de suelo de áreas permeables, que tardan más en generar escorrentía que las áreas impermeables.

En las Figuras 5.85; 5.86; 5.87 y 5.88 se indican los polutograma de la cuenca Izquierda medidos y modelados de los eventos 2; 7; 8 y 9 respectivamente usados para la validación del modelo.

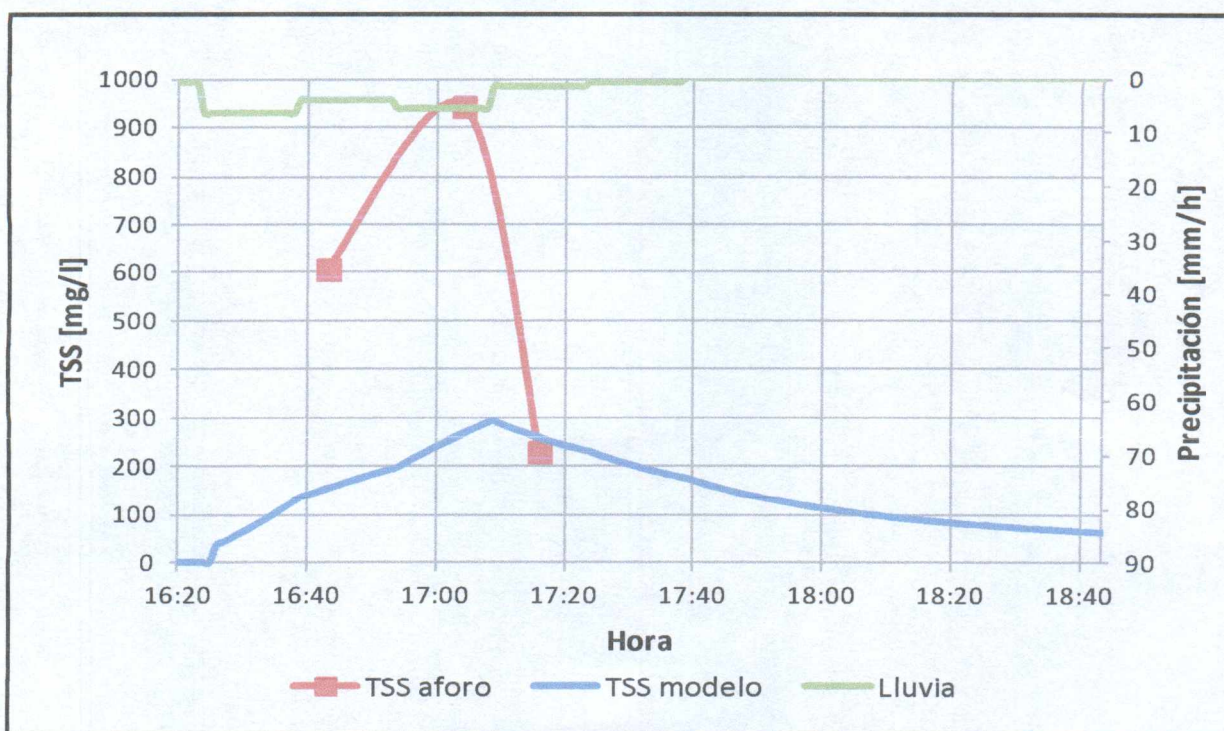


Figura 5.85. Polutograma medidos y modelados del Evento 2 – Izquierda

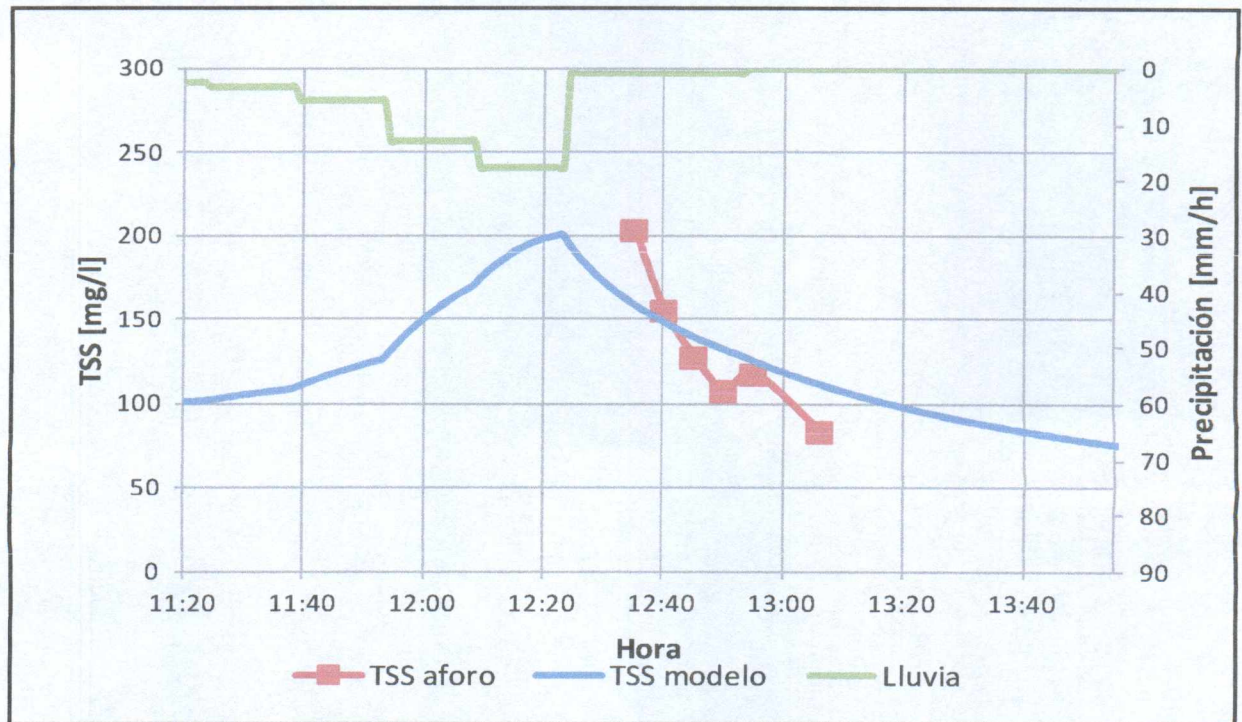


Figura 5.86. Polutograma medidos y modelados del Evento 7 – Izquierda

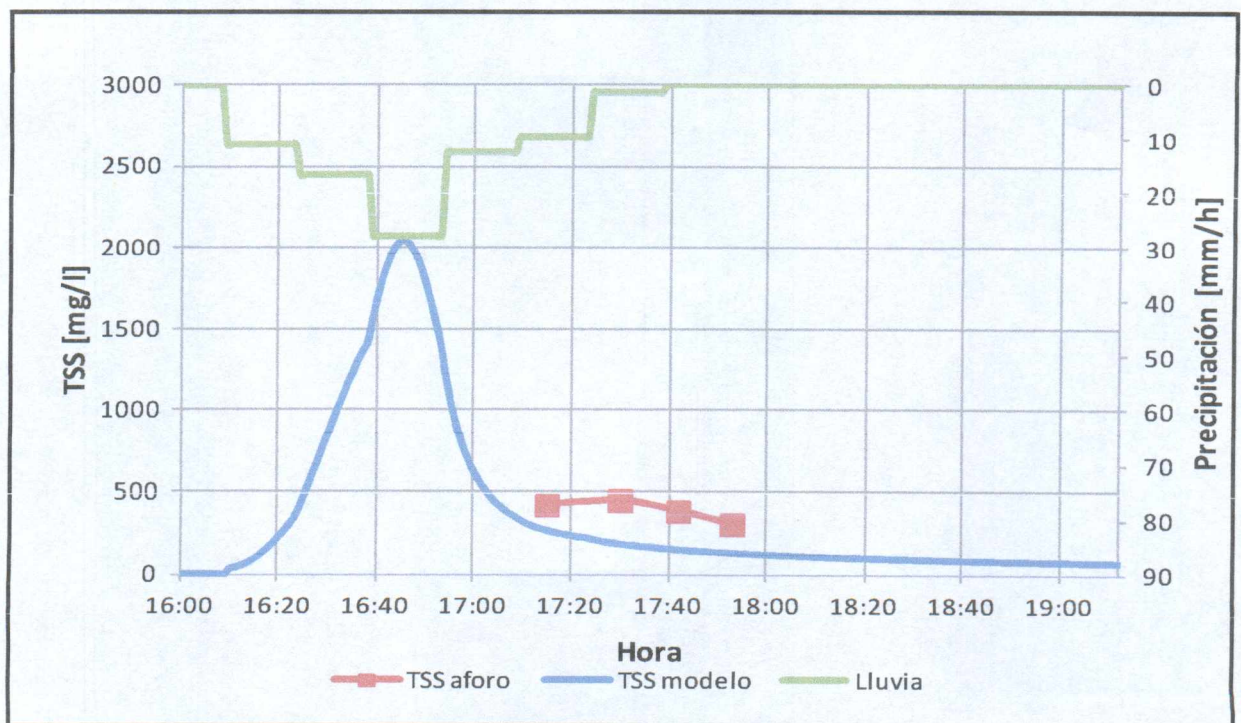


Figura 5.87. Polutograma medidos y modelados del Evento 8 – Izquierda

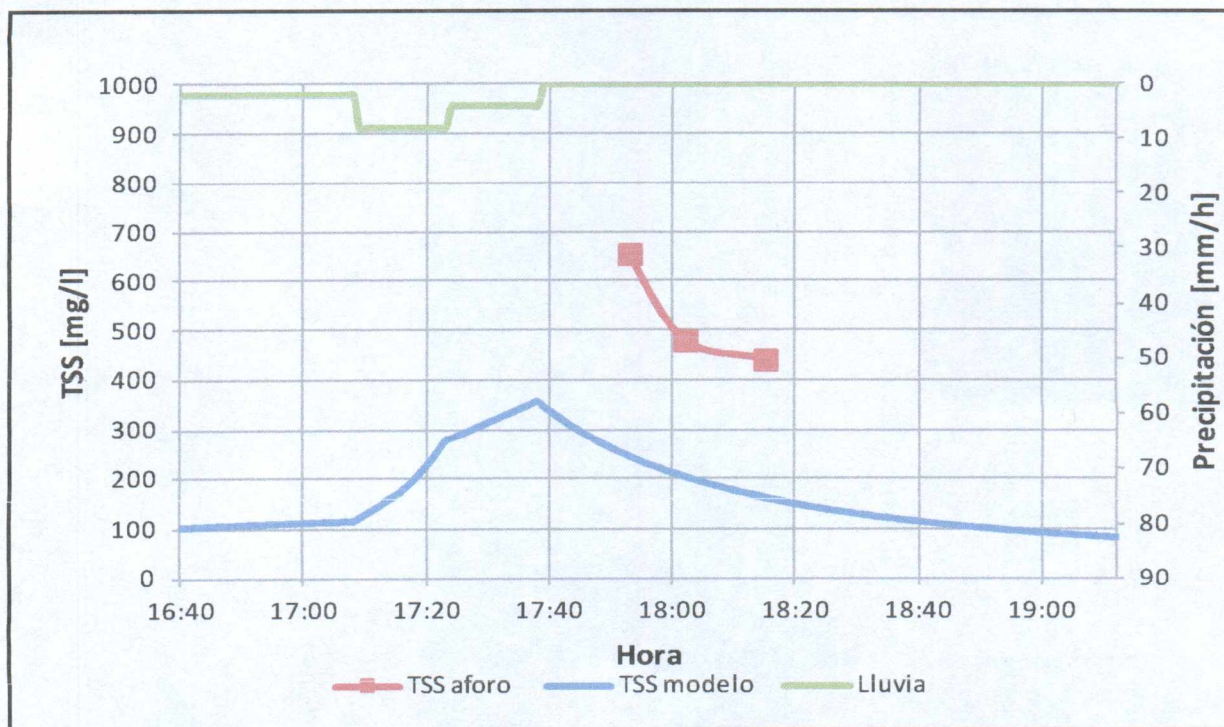


Figura 5.88. Polutograma medidos y modelados del Evento 9 – Izquierda

De la observación de la Tabla 5.26 y de las Figuras 5.86 a 5.88 es posible constatar que el único evento que valida el modelo planteado es el evento 7 (22/02/2010) por las mismas condicionantes analizadas para la cuenca Derecha.

También es posible verificar que la modelación sugerida para la cuenca Izquierda es mas imprecisa que la Derecha. La particularidad que distingue los resultados de modelación de la cuenca izquierda respecto a la cuenca Derecha es la mayor frecuencia de picos de polutogramas respecto a los del hidrograma dada por la incidencia de áreas de suelo permeable (Eventos 5 y 8).



6. CONCLUSIONES

La urbanización acelera el proceso de erosión hídrica debido principalmente al retiro del suelo vegetal y la construcción de edificaciones, causando la disminución del tiempo de concentración del escurrimiento y el aumento del escurrimiento superficial. La falta de pavimentación y trazado deficiente de calles y sistemas de drenaje, fomentan la erosión.

Pero no todos los sedimentos en ambientes urbanos provienen de la erosión hídrica, debe añadirse aquellos generados por la abrasión y desgaste de los vehículos, la basura acumulada en las veredas, los desperdicios orgánicos de aves y animales domésticos, los materiales de construcción y los sedimentos transportados por el viento desde cuencas vecinas.

Así, en un ambiente urbano se crea una gran y compleja mezcla de sedimentos que pueden ser provenientes de fuentes cercanas o bien importadas de otras áreas muy lejanas. Se destaca la complejidad del proceso de erosión urbana y la dificultad inherente en identificar las fuentes de generación de sedimentos.

Los sedimentos se acumulan en distintas zonas de una cuenca, las calles son una zona crítica de acumulación. Durante una lluvia, los sedimentos ahí acumulados son susceptibles de ser transportados en los inicios de la escorrentía, generándose así mayores concentraciones de sólidos suspendidos en los intervalos de tiempo iniciales de la precipitación (primer flujo).

La acumulación de sedimentos en calles es un proceso típico de tiempos secos, ya que, la carga de sedimentos ahí acumulados aumenta a medida que transcurre el periodo sin precipitaciones. En la microcuenca de estudio, mediante el monitoreo realizado en tiempo seco, se observó una acumulación de tipo exponencial en concordancia con otros antecedentes sobre el tema. El ajuste del modelo de acumulación indicó un valor máximo posible de 600 g/m^2 y una constante de crecimiento de 0,05.

Vale acotar, que se detectaron valores de cargas totales de sedimentos ostensiblemente mayores a sus pares muestrales, luego de ciertas precipitaciones registradas durante el monitoreo en tiempo seco. Esto puede deberse a la importación de sedimentos de zonas aledañas, principalmente de suelo de calles de tierra que son transportados a la microcuenca, adherido a las ruedas de los vehículos. Se destaca que el promedio diario más alto de cargas totales registrado (408 g/m^2 del 25/06/2011) se observó dos días de después de acaecidas precipitaciones de larga duración y baja intensidad.

El fenómeno expresado en el párrafo anterior contradice lo indicado por la bibliografía especializada y no es considerado en ninguno de los modelos de acumulación utilizados a nivel mundial, constituyendo una marcada debilidad en la calidad de las predicciones obtenidas por este procedimiento. Por tal motivo, para el ajuste del modelo de acumulación, no se incluyeron los valores promedios de cargas totales que fueron afectados por las precipitaciones.

La discriminación entre cargas fijas y cargas libres, realizadas durante el monitoreo en tiempo seco, resultó particularmente útil para analizar la variabilidad espacial de la acumulación de sedimentos.

Se observó que la distribución espacial de la carga de sedimentos en las tres cuerdas monitoreadas no era homogénea. Las zonas cercanas a la vía del ferrocarril indicaron una fuerte tendencia a dar mayores valores de carga de sedimentos, principalmente de cargas libres. En efecto, el



viento y los vehículos que atraviesan esta vía férrea arrastran partículas retenidas en el balasto, donde descansan los durmientes, depositándolas en zonas cercanas. Es posible que los vehículos estacionados en la margen derecha frenen el arrastre de estas partículas, dado que la zona de influencia de la margen izquierda se encuentra más alejada a la vía del ferrocarril. Por su parte, 35 m aguas abajo de la intersección de las calles San Lorenzo y Franklin se detectaron mayores valores de carga fija, esto puede deberse a la acumulación de lodos de origen cloacal depositados ahí por los desbordes dados en una boca de registro ubicada en la mencionada intersección.

En la cuenca de estudio se detectó una frecuencia de barrido de 2 veces por semana, en tanto que, los porcentajes de eficiencia de remoción por barrido están en concordancia con lo indicado en la bibliografía donde se sostiene que el 50% del peso total de la suciedad acumulada puede eliminarse mediante ese método. Si se consideran los efectos que los sedimentos acumulados en la calle generan en la escorrentía urbana, lo enunciado indica que la limpieza de calles es un método altamente eficiente para el control de sólidos en el drenaje urbano.

Esto demuestra que el barrido de calles es una necesidad que va mucho más allá de lo estético, ya que, controla las características del transporte urbano de sedimentos. En forma complementaria, esto indica la influencia que tiene las calles de tierra en la eficiencia del sistema de drenaje urbano

En momentos en que se registran las precipitaciones se genera el escurrimiento que produce el lavado de constituyentes de la superficie de la cuenca. En el caso de áreas de suelo desprotegido debe añadirse el efecto del impacto de las gotas de lluvia sobre estas y el consecuente desprendimiento y transporte de partículas del suelo. Al efecto, el monitoreo hidrosedimentológico donde se midieron concentraciones de sólidos suspendidos (TSS) y caudal líquido en nueve eventos, permitió conocer en mayor detalle este fenómeno.

En cada evento medido se registraron variaciones muy grandes en las concentraciones de sólidos suspendidos. Aquellas correspondientes a la cuenca del margen izquierdo mostraron valores, en promedio, 1,97 veces mayores a los del margen derecho. Al analizar los eventos en que ha sido posible medir los picos de hidrograma y polutograma, en relación al tiempo transcurrido desde su inicio, es posible aceptar que las cuencas presentan un comportamiento marcadamente diferente.

En la mayoría de los casos, en la cuenca de la margen derecha, se registraron los picos de los polutogramas antes que los del hidrograma, en tanto que en la cuenca de la margen izquierda esta situación fue inversa. Esto se debe a la influencia de las áreas de suelo descubierto en la cuenca de la margen izquierda. En efecto, el escurrimiento superficial sobre áreas permeables comienza solo después que el suelo se encuentra saturado por el agua de lluvia, lo que significa que el nuevo suministro de sedimentos alcanza la superficie del asfalto un tiempo considerablemente después de iniciada la lluvia.

Se pudo constatar que la descarga sólida tiende a aumentar con el aumento de la descarga líquida. En tanto que las curvas de relación, entre el caudal líquido y la carga de sedimentos transportada, presentan un ajuste aceptable.

Además se constató que existe correlación negativa entre la concentración media del evento (CME) y la precipitación antecedente de los últimos 42 días. Sin embargo, no se puede afirmar la existencia de una relación biunívoca entre ambas variables, dado que pueden operar otros factores. En efecto, es posible que la precipitación antecedente dé indicios del proceso de lavado de la cuenca. No



obstante, debe añadirse que la precipitación antecedente solo considera un total precipitado sin discriminar intensidades de precipitación. De esta manera, mediante la precipitación antecedente, no podría explicarse el aumento de sedimentos acumulados en la cuenca luego de precipitaciones de baja intensidad y larga duración.

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

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

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

No obstante el aceptable ajuste del modelo en la cuenca del margen derecho, debe destacarse la diferencia dadas entre el polutograma medido y modelado en el evento 2. En efecto, el modelo puede no determinar con precisión las condiciones de acumulación previas a tal evento (14/10/2009) dado que en los días 28/09/2009 y 06/10/2009 se registraron precipitaciones de 10 mm con intensidad máxima de 12mm/h y 1mm con intensidad máxima de 0,80mm/h respectivamente. Tal lo observado en el monitoreo en tiempo seco, las cantidades de sedimentos acumulados pueden aumentar con precipitaciones de baja intensidad y significativa duración, dado que, estas propician la importación de sedimentos de calles de tierra. Esto último afecta el equilibrio dinámico que plantean algunos antecedentes y se extienden con el transcurso del tiempo seco, considerando que la eficiencia de la limpieza es siempre constante.

El presente estudio no contó con mediciones que permitan cuantificar el fenómeno del primer flujo, dado que éste se registra en los inicios del escurrimiento y es indispensable un equipo recolector de muestras automático. Sin embargo, es verosímil considerar que el primer flujo está influenciado por la cantidad de sedimentos disponibles en la calle y, por tanto, es posible que el fenómeno se produzca en eventos que se registren un par de días después de acaecidas precipitaciones de baja intensidad y larga duración, según lo expresado precedentemente.

Se destaca que investigaciones futuras del fenómeno del primer flujo serán fundamentales para el diseño de eventuales plantas de tratamiento de efluente pluvial, o para el diseño de un drenaje sustentable propicio para la ciudad de Resistencia.

Es posible, que la influencia generada por las áreas de suelo desprotegido en la cuenca del margen izquierdo sea morigerada en cuencas de mayor tamaño, (e.g. cuenca Las Heras indicada en la



Figura 4.3) por dos razones: i) el área de suelo desprotegido puede ser despreciable respecto al área total de la cuenca ii) los tiempos de transporte del efluente pluvial pueden tener mayor influencia que el retardo generado en el proceso de saturación del suelo.

Las investigaciones realizadas y los resultados obtenidos permitieron conocer y cuantificar las variables que intervienen en la cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía urbana en una microcuenca de uso residencial de la ciudad de Resistencia (provincia del Chaco). La metodología adoptada ha resultado eficiente, sencilla y de bajo costo para en el análisis de tal fenómeno. De igual forma, este procedimiento puede ser adaptado para el estudio de otro tipo de contaminantes o bien para el mismo poluyente pero en cuencas de otro uso de suelo (industrial, comercial, etc.).



7. REFERENCIAS

- Almeida GS (h). 2008. Procesos Erosivos Urbanos. In: Poletto C (ed). Ambiente Sedimentos, Associacao Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 39-62.
- Administración Provincial del Agua (APA) – Asociación de Apoyo a la Facultad de Ingeniería de la UNNE (AFIN). 2001. Línea de ribera de lagunas ubicadas en el sistema Hídrico del río Negro. Informe final. Resistencia, Argentina.
- Bannerman RT, Owens DW, Dodds RB, Hornewer NJ. 1993. Sources of pollutants in Winconsin stormwater. Water Science Technology. (28) 3-5. 241-259.
- Baud L. 2002. Caracterización del escurrimiento pluvial en cuencas urbanas. Trabajo de Investigación del Carrera de Posgrado de Especialización en Ingeniería Sanitaria – Universidad de Rosario. Rosario.
- Bertoni JC, Rojas S. 1997. Estimación de los parámetros del modelo EPA - SWMM en una cuenca urbana con información básica insuficiente. In: Seminario Internacional sobre Manejo del Agua Pluvial. Santa Fe, Argentina.
- Bertoni JC, Chevallier P. 2001. Histoire de l'Hydrologie et l'Assainissement Urbain en Argentina. Periode 1850-2000. In: Colloque des Origines et Histoire de l'Hydrologie, IAHS/AISH, PHI International, Dijon, France.
- Bianucci P. 2002. Estudio de la Calidad de los Efluentes Pluviales Urbanos. Informe Final de Beca de posgrado. Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia
- Blatt H, Middleton G, Murray R. 1980. Origin of sedimentary rocks. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, Nueva Jersey.
- Brea JD, Balocchi F. 2010. Procesos de erosión – sedimentación en cauces y cuencas. UNESCO - Programa Hidrológico Internacional. Vol VII, documento técnico N°22.
- Bridge JS. 2003 Rivers and floodplains – form, processes, and sedimentary Record. Blackwell Publishing. Cornwall, Unite Kingdom.
- Bruniard, ED. 1981. El Clima de las Planicies del Norte Argentino (Ensayo metodológico de geografía de los climas)" Tesis de Doctorado en Geografía de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional del Nordeste.
- Butler D, Clark P. 1995. Sediment management in urban drainage catchments. Construction Research and Information Association, CIRIA Report 134. London.
- Butler D, Maksimovic C. 1999. Urban Water Management; Challenges for the next Millennium. Progress in Environmental Sciences, (1) 3. 213-235.
- Carvalho NO. 1994. Hidrossedimentologia Prática. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, Rio de Janeiro.
- Chow VT, Maidment DR, Larry LM. 1994. Hidrología Aplicada, Editorial Mac Graw Hill, Bogota.
- Chow VT. 1983. Hidráulica de Canales Abiertos. Editorial Diana. México DF, México.
- Collins J, Bernal G, Macor J. 2005. Evaluación de la calidad del agua en desagües pluviales. In: XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza.



- Consejo Federal de Inversiones (CFI), Asociación de Apoyo a la Facultad de Ingeniería de la UNNE (AFIN). 1995. Estudio de los desagües pluviales del sector sur de Resistencia. Resistencia. Argentina.
- Dawdy DR. 1967. Knowledge of sedimentation in urban environments. *Journal of the Hydraulic Division, ASCE*, (93) 6, 235-245.
- Deletic A, Maksimovic C, Ivetic M. 1997. Modelling of storm wash-off of suspended solids from impervious surfaces. *Journal of Hydraulic Research*. (35) 1. 99-118.
- Deletic A. 1998. The First Flush Load of Urban Surface runoff. *Water Resource*, (32). 2462-2470.
- Deletic A, Maksimovic C, Loughreit F, Butler D. 1998. Modelling the management of street surface sediments in urban runoff. In: *Proceedings of the 3rd international conference on Innovative technologies in urban storm drainage*, Lyon, France, 415-422.
- Depettris CA, Ruberto AR, Pilar JV, Prieto N, Gabazza S, Zárate M. 2007. Impacto hidrológico por incremento de áreas impermeables en cuencas urbanas. Subcuenca Cisterna Resistencia. Chaco. In: *XXI Congreso Nacional del Agua*, San Miguel de Tucumán.
- Depettris CA, Ruberto AR, Kutnich EJ, Ruberto AR. 2009. Hidrología urbana: instrumentación y evaluación del escurrimiento superficial en una microcuenca de Resistencia, Chaco. In: *XXII Congreso Nacional del Agua*, Trelew, Argentina.
- Desbordes M. 1987. Contribution à l'analyse et à la modélisation des mécanismes hydrologiques en milieu urbain. Thèse, Académie de Montpellier, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 242 p.
- Dotto CBS. 2006. Avaliação e Balanço de Sedimentos em Superfícies Asfálticas em Área Urbana de Santa Maria – RS. UFSM. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria.
- Duncan HP. 1995. A Review of Urban Stormwater Quality Processes. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology: Report no 95/9.
- Ellis J y Hvited-Jacobsen T. 1996. Urban drainage impacts on receiving waters. *Journal of Hydraulic Research*. (34), 771-784.
- Folk RL. 1974. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Pub. Co., Austin, Texas.
- Garay Porteros H, Alva Hurtado JE. 1999. Identificación y ensayo de suelos dispersivos. In: *XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil*. Lima, Perú.
- García Chevesich P. 2010. El Impacto de una Gota. *Revista Hydria*, (30) 14 – 18.
- García JIB. 2005. Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia do Arroio Cancela. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria.
- Geiger W. 1986. Flushing effects in combined sewer system. In: *Proc. 4th International Conference on Urban Storm Drainage*, Lausanne, Suiza, 40-46.
- Gironás L, Roesner LA, Davis J. 2009. Storm Water Management Model -I Applications Manual. Department of Civil and Environmental Engineering Colorado State University. Fort Collins.
- Gomes AP. 2008. Acumulação e Transporte de Sedimentos na Microdrenagem: Monitoramento e Modelagem. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria.



- Hoffmann, JA. 1971. Frente, Masas de Aire y Precipitaciones en el Norte Argentino. *Metereológica*. Vol 2 (1). Buenos Aires.
- Horton R. 1939. Analysis of Runoff-Plat Experiments With Ifinfiltration- Capacity, Vol. 20.-pp. 693-711. In: Riccardi G. 2004. *Apuntes del Curso Hidrología en Medios Antropizados de la Maestría en Recursos Hídricos de Llanura*, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina.
- Hubell JW. 1990. CSO experience in Michigan. A consultant's perspective. In: *Control of Combined Sewer Overflows*. WPCF Specialty Conference Series.
- Huber WC, Dickinson RE. 1988. Stormwater management model Version 4, User's Manual, EPA-600/3-88-001a. Athens (GA): US EPA.
- Huber, WC. 1986. Modeling of urban runoff quality: State of the art, Urban runoff quality enhancement technology. *Proceedings of an Engineering Foundation Conference*. Publish by the American Society of Civil Engineers. 34-48.
- Instituto Nacional de Censos y Estadísticas (INDEC). 2010. *Censo Nacional de Población Hogares y Vivienda*. Buenos Aires.
- Instituto Nacional del Tecnología Agropecuaria (INTA). 1973. *Introducción al contenido de suelos del Chaco*. Pcia Roque Saenz Peña (prov. del Chaco).
- IUCN, UNEP, WWF. 1991. *Caring for the Earth. A Strategy for Sustainable Living*. Gland, Switzerland.
- Jiménez Gallardo BR. 1999. *Contaminación por Escorrentía Urbana*. Colegio de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.
- Juárez Badillo E, Rico Rodríguez,A. 1996. *Mecánica de Suelos*. Tomo I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa, 3ra Edición, Mexico DF.
- Konzewitsch N. 1968. *River Water Sampling*. Secretaria de Estado de Energía y Minería – Agua y Energía Eléctrica, Empresa del Estado, Buenos Aires.
- Kutnich EJ. 2008. *Generación y análisis de información relacionada con los procesos hidrológicos urbanos - Informe Final de Beca de pregrado*. Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia.
- Leopold L. 1968. *Hydrology for Urban Planning – A Guide Book onn the Hydrologic Effects on Urban Lad Use*. Geological Survey Circular.
- Maksimovic C. 2001. *Urban drainage in specific climates*, Vol. 1, International Hydrological Programme. Paris.
- Mays L. 2004. *Stormwater Collection Systems Design Handbook*. Ed Mc Graw Hill. New York.
- Mazza JA, Loustaunau H, López P, Manzarena M, Vargas A, Burgos V, Venegas V, Zarategui J, Rodríguez C, Nuñez MS, Álvarez A, Fornero L .2004. *Informe Técnico del Proyecto: Simulación matemática de la cantidad y calidad del escurrimiento pluvial en un área urbana de Mendoza*. ANPCyT - FONCyT (PICT98 13-04120).
- Mendenhall W, Beaver RJ, Beaver BM. 2008. *Introducción a la Probabilidad Estadística*. 12da Edición. Editorial Cengage Learning. Mexico DF.
- Mendez GJ; Ruberto, AR; Pilar, JV. 2009. *Regionalización de Precipitaciones para las Provincias de Chaco, Formosa y Santiago del Estero*. In XXII Congreso Nacional del Agua, Trelew, Chubut.



- Mendez GJ, Ruberto AR, Pilar JV, Depettris CA. 2010. Regionalización de Precipitaciones Máximas Acumuladas de 7, 15 y 30 días para las Provincias de Chaco y Formosa. In: I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. Azul, Argentina.
- Moffa PE. 1990. Controls and Treatment of Combined Sewer Overflows. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Nalluri C, Alvarez E.M, Kleijwegt RA. 1989. Initiation of sediment movement in sewers. In: Association Internationale de Recherches Hydrauliques Congrès, 23, Ottawa.
- Novak P, Nalluri C. 1984. Incipiente motion of sediment particles over fixed bed. Journal of Hydraulic Research, Delft, (22) 3.
- Novotny V. 1992. Nonpoint source pollution. Unit pollutant loads: their fit in abatement strategies. Water Environment & Technology. (4) 40-43.
- Orfeo O. 1997. Comparación sedimentológica y geomorfológica de los ríos Paraná y Paraguay en su área de confluencia. In: Primer Congreso Latinoamericano de Sedimentología - VIII Congreso Geológico Venezolano. Sociedad Venezolana de Geólogos - International Association of Sedimentologists.
- Orfeo O. 1998. Análisis Sedimentológico del subsuelo del Proyecto de Desagües Pluviales Principal y Secundarios de Av. Wilde (Resistencia, Chaco).
- Perillo, GME. 2003. Dinámica del transporte de sedimentos, Publicación especial de la Asociación Argentina de Sedimentos.
- Pitt R. 1979. Demonstration of Non-Point Pollution Abatement Through Improved Street Cleaning Practices, Environmental Protection Agency, EE.UU. EPA-600/2-79-161.
- Pitt R. 1985. Characterizing and Controlling Urban Runoff Through Street and Sewerage Cleaning, Environmental Protection Agency, EE.UU. EPA-600/2-85/038.
- Poleto C, Zuleica, CC. 2008. Poluicao Difusa de Sedimentos en Bacias Urbanas. In: Poleto C. Ambiente Sedimentos, Associacao Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 193-227.
- Popolizio E. 1983. Bases y criterios para la concepción de obras de infraestructuras vinculadas con las inundaciones. In: Inundaciones y sociedad en el Gran Resistencia, Chaco 1982-83. Grupo Editorial Latinoamericano.
- Porto MFA. 2001. Water quality of overland flow in urban areas. In: Maksimovic C (ed) Urban drainage in specific climates, Vol. 1, International Hydrological Programme. Paris, 103 - 121.
- Porto R, Zahed K, Tucci C, Bidone F. 1995. Drenagem Urbana. In: Tucci CEM (ed) Hidrologia Ciencia e Aplicacao, Editora da UFRS. Porto Alegre, 805 - 847.
- Pye K. 1994. Sediment Transport and Depositional Processes, Editorial Blackwell Scientific Publication, Cambridge.
- Ramos C. 1995. Erosao Urbana e producao de sedimentos. In: Tucci CEM, Porto RL, Barros M. Drenagem Urbana. Editora da Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Cap.6, 241-270, Porto Alegre.
- Ranchet J, Ruperd Y. 1983. Moyens d'action pour limiter la pollution due aux eaux de ruissellement en système séparatif et unitaire. Synthèse bibliographique. Partie 1", Trib. Cebedeau, 470. 19-35.
- Riccardi G. 2004. Apuntes del Curso Hidrología en Medios Antropizados de la Maestría en Recursos Hídricos de Llanura, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina.



- Rossmann L. 2010. Storm Water Management Model – User's Manual (Version 5.0). Water Supply and Water Resources Division. National Risk Management Research Laboratory. Cincinnati
- Ruberto AR, Gabazza SE, Aquino CM, Bogliotti E. 2011. Variación de la impermeabilidad en una cuenca urbana de llanura y su impacto en el escurrimiento superficial. In: XXIII Congreso Nacional del Agua, Resistencia.
- Ruberto AR y Depettris CA. 2009. Estación Meteorológica de Capacitación – Veinte años: 1988 -2008. Publicación didáctica N°1 del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, Resistencia.
- Ruberto AR, Mendez GJ, Martínez AE. 2009. Muestreador de aguas pluviales urbanas. In: XXII Congreso Nacional del Agua, Trelew, Chubut.
- Saget A, Chebbo G, Bertrand Krajewski J. 1995. The first flush in sewer system. In Proc. International Conference on Sewer Solid Characteristic, Movement, Effects and Control, Dundee, Reino Unido, 58 – 65.
- Sartor JD, Boyd GB. 1972. Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants, USA. EPA Report, EPA-R2-72-081.
- Sharon JD. 1989. Combined Sewer Overflow Pollution Abatement. Manual of Practice N° FD-17, Virginia.
- Spalletti LA. 1986. Nociones sobre transporte y deposición de sedimentos clásticos. Ed. Universidad Nacional de la Plata – Serie Didáctica N°13, La Plata, Buenos Aires.
- Subsecretaría de Recursos Hídricos. 2009. Criterios Conceptuales Propuestos para la Integración, Articulación y Actualización Tendientes al Completamiento y Desarrollo del Plan Director Básico de Drenaje Pluvial de La Cuenca del Río Matanza-Riachuelo. Ministerio De Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios de la Nación - Secretaría de Obras Públicas, Buenos Aires.
- Tarbut E y Lutgens F. 1999. Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física. Ed. Prentice Hall. Madrid.
- Temprano González J, Cervigni M, Suárez López J, Tejero Monzón JI. 1996. Contaminación en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia: control en origen. Ciencia y Técnica de la Ingeniería Civil, Revista de Obras Públicas N°3352.
- Tucci CEM. 2007. Inundaciones Urbanas. Ed. Evangraf, Porto Alegre.
- Tucci CEM, Porto RL, Barros M. 1995. Drenagem Urbana. Editora da Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre
- Udden, JA. 1894. Erosion, transportation and sedimentation performed by the atmosphere. Journal of Geology. (2). 318-331.
- Valiron F, Tabuchi JP. 1992. Maitrise de la pollution urbaine par temps de pluie, état de l'art. Lavoisier, París.
- Vanoni VA. 1975. Sedimentation Engineering. Ed. ASCE, Nueva York.
- Vaze J, Chiew FHS. 2002. Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface. Journal of Urban Water, Elsevier Science, (4). 379-389.
- Wentworth CK, 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology. (30).377-392.



- Wischmeier WH and Smith DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. USDA Agriculture Handbook, 537. 58.
- Wisner P. 1993. Modelo OTTHYMO, Manual del Usuario, Universidad de Ottawa, Canadá.
- World Commission on Environment and Development. 1987. Our Common Future. Oxford University Press, Oxford.
- Zafra Mejía CA, Temprano González J, Tejero Monzón I. 2009. Evaluación de la contaminación por escorrentía urbana: sedimentos depositados sobre la superficie de una vía. Ingeniería e Investigación, Vol. 29 (1) 101-108. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.



ANEXO I – DATOS METEOROLÓGICOS



Tabla I. 1. Datos del Pluviógrafo de la Estación Los Lirios – Administración Provincial del Agua

Fecha [dd/mm/aaaa]	Hora [hh:mm:ss]	Precipitación [mm]	Intensidad [mm/h]	Fecha [dd/mm/aaaa]	Hora [hh:mm:ss]	Precipitación [mm]	Intensidad [mm/h]
03/09/2009	08:14:00	0	0,00	16/09/2009	20:44:00	0	0,00
03/09/2009	08:29:00	2	8,00	16/09/2009	20:59:00	0	0,00
03/09/2009	08:44:00	1,8	7,20	16/09/2009	21:14:00	0,4	1,60
03/09/2009	08:59:00	0	0,00	16/09/2009	21:29:00	0	0,00
03/09/2009	09:14:00	0	0,00	17/09/2009	10:44:00	0	0,00
03/09/2009	09:29:00	0	0,00	17/09/2009	10:59:00	0,2	0,80
03/09/2009	09:44:00	0	0,00	17/09/2009	11:14:00	0	0,00
03/09/2009	09:59:00	0	0,00	28/09/2009	00:44:00	0	0,00
03/09/2009	10:14:00	0,2	0,80	28/09/2009	00:59:00	0,2	0,80
03/09/2009	10:29:00	6	24,00	28/09/2009	01:14:00	0	0,00
03/09/2009	10:44:00	1	4,00	28/09/2009	01:29:00	0	0,00
03/09/2009	10:59:00	0	0,00	28/09/2009	01:43:00	0	0,00
03/09/2009	11:14:00	0,6	2,40	28/09/2009	01:58:00	0	0,00
03/09/2009	11:29:00	1	4,00	28/09/2009	02:13:00	0,2	0,80
03/09/2009	11:44:00	0,4	1,60	28/09/2009	02:28:00	0	0,00
03/09/2009	11:59:00	0	0,00	28/09/2009	02:43:00	0	0,00
08/09/2009	02:58:00	0	0,00	28/09/2009	02:58:00	0	0,00
08/09/2009	03:13:00	0,2	0,80	28/09/2009	03:13:00	0,2	0,80
08/09/2009	03:28:00	0	0,00	28/09/2009	03:28:00	0,2	0,80
08/09/2009	03:43:00	0	0,00	28/09/2009	03:43:00	0,2	0,80
08/09/2009	03:58:00	0,6	2,40	28/09/2009	03:58:00	3	12,00
08/09/2009	04:13:00	0,2	0,80	28/09/2009	04:13:00	1,8	7,20
08/09/2009	04:28:00	0,2	0,80	28/09/2009	04:28:00	0	0,00
08/09/2009	04:43:00	0	0,00	28/09/2009	04:43:00	0,2	0,80
16/09/2009	20:14:00	0	0,00	28/09/2009	04:58:00	0	0,00
16/09/2009	20:29:00	0,4	1,60	28/09/2009	12:13:00	0	0,00



28/09/2009	12:28:00	0,2	0,80	21/10/2009	16:59:00	0,2	0,80
28/09/2009	12:43:00	0	0,00	21/10/2009	17:14:00	0	0,00
06/10/2009	05:59:00	0	0,00	21/10/2009	17:29:00	0	0,00
06/10/2009	06:14:00	0,2	0,80	24/10/2009	05:14:00	0	0,00
06/10/2009	06:29:00	0	0,00	24/10/2009	05:29:00	0,4	1,60
14/10/2009	16:14:00	0	0,00	24/10/2009	05:44:00	0	0,00
14/10/2009	16:29:00	0,2	0,80	24/10/2009	05:59:00	0,2	0,80
14/10/2009	16:44:00	1,6	6,40	24/10/2009	06:14:00	5	20,00
14/10/2009	16:59:00	1	4,00	24/10/2009	06:29:00	6,4	25,60
14/10/2009	17:14:00	1,4	5,60	24/10/2009	06:44:00	12,6	50,40
14/10/2009	17:29:00	0,4	1,60	24/10/2009	06:59:00	2,4	9,60
14/10/2009	17:44:00	0,2	0,80	24/10/2009	07:14:00	0,2	0,80
14/10/2009	17:59:00	0	0,00	24/10/2009	07:29:00	0	0,00
21/10/2009	08:14:00	0	0,00	04/11/2009	16:14:00	0	0,00
21/10/2009	08:29:00	0,8	3,20	04/11/2009	16:29:00	0,2	0,80
21/10/2009	08:44:00	0,4	1,60	04/11/2009	16:44:00	7,4	29,60
21/10/2009	08:59:00	0,2	0,80	04/11/2009	16:59:00	0,2	0,80
21/10/2009	09:14:00	0	0,00	04/11/2009	17:14:00	0,2	0,80
21/10/2009	11:44:00	0	0,00	04/11/2009	21:14:00	0	0,00
21/10/2009	11:59:00	0,2	0,80	04/11/2009	21:29:00	0,2	0,80
21/10/2009	12:14:00	0,2	0,80	04/11/2009	21:44:00	0	0,00
21/10/2009	12:29:00	0,2	0,80	05/11/2009	09:44:00	0	0,00
21/10/2009	12:44:00	0,4	1,60	05/11/2009	09:59:00	0,4	1,60
21/10/2009	12:59:00	0,4	1,60	05/11/2009	10:14:00	0,4	1,60
21/10/2009	13:14:00	0,2	0,80	05/11/2009	10:29:00	0	0,00
21/10/2009	13:29:00	0,2	0,80	05/11/2009	10:44:00	0	0,00
21/10/2009	13:44:00	0,6	2,40	05/11/2009	10:59:00	0	0,00
21/10/2009	16:44:00	0	0,00	05/11/2009	11:14:00	1,2	4,80



05/11/2009	11:29:00	0	0,00	07/11/2009	07:14:00	0	0,00
06/11/2009	06:44:00	0	0,00	07/11/2009	07:29:00	0	0,00
06/11/2009	06:59:00	0,2	0,80	07/11/2009	07:44:00	0	0,00
06/11/2009	07:14:00	2,2	8,80	07/11/2009	07:59:00	0	0,00
06/11/2009	07:29:00	0,4	1,60	07/11/2009	08:14:00	0	0,00
06/11/2009	07:44:00	1,4	5,60	07/11/2009	08:29:00	0,2	0,80
06/11/2009	07:59:00	4,8	19,20	07/11/2009	10:59:00	0,4	0,16
06/11/2009	08:14:00	2,6	10,40	07/11/2009	11:14:00	0,2	0,80
06/11/2009	08:29:00	2,8	11,20	07/11/2009	11:29:00	1	4,00
06/11/2009	08:44:00	5,4	21,60	07/11/2009	11:44:00	0,2	0,80
06/11/2009	08:59:00	6,6	26,40	07/11/2009	11:59:00	1	4,00
06/11/2009	09:14:00	6,6	26,40	07/11/2009	12:14:00	0,2	0,80
06/11/2009	09:29:00	7,8	31,20	07/11/2009	12:29:00	0	0,00
06/11/2009	09:44:00	4,4	17,60	10/11/2009	05:14:00	0	0,00
06/11/2009	09:59:00	3,8	15,20	10/11/2009	05:29:00	0,2	0,80
06/11/2009	10:14:00	0	0,00	10/11/2009	05:44:00	6,8	27,20
06/11/2009	10:29:00	0,2	0,80	10/11/2009	05:59:00	10,8	43,20
06/11/2009	10:44:00	0	0,00	10/11/2009	06:14:00	4,8	19,20
07/11/2009	04:44:00	0	0,00	10/11/2009	06:29:00	3,6	14,40
07/11/2009	04:59:00	0,2	0,80	10/11/2009	06:44:00	5	20,00
07/11/2009	05:14:00	1,2	4,80	10/11/2009	06:59:00	0,8	3,20
07/11/2009	05:29:00	1	4,00	10/11/2009	07:14:00	3	12,00
07/11/2009	05:44:00	0,2	0,80	10/11/2009	07:29:00	8	32,00
07/11/2009	05:59:00	0,2	0,80	10/11/2009	07:44:00	4,2	16,80
07/11/2009	06:14:00	0	0,00	10/11/2009	07:59:00	0,6	2,40
07/11/2009	06:29:00	0	0,00	10/11/2009	08:14:00	0,4	1,60
07/11/2009	06:44:00	0,2	0,80	10/11/2009	08:29:00	1,2	4,80
07/11/2009	06:59:00	0,2	0,80	10/11/2009	08:44:00	0,8	3,20



10/11/2009	08:59:00	0,2	0,80	13/11/2009	08:29:00	0,2	0,80
10/11/2009	09:14:00	0	0,00	13/11/2009	08:44:00	0	0,00
10/11/2009	09:29:00	0	0,00	15/11/2009	02:14:00	0	0,00
10/11/2009	09:44:00	0,6	2,40	15/11/2009	02:29:00	1,8	7,20
10/11/2009	09:59:00	4,4	17,60	15/11/2009	02:44:00	2,4	9,60
10/11/2009	10:14:00	1,4	5,60	15/11/2009	02:59:00	6	24,00
10/11/2009	10:29:00	0,2	0,80	15/11/2009	03:14:00	1,2	4,80
10/11/2009	10:44:00	0,2	0,80	15/11/2009	03:29:00	0,2	0,80
10/11/2009	10:59:00	0	0,00	15/11/2009	03:44:00	0,8	3,20
10/11/2009	11:14:00	0	0,00	15/11/2009	03:59:00	9	36,00
10/11/2009	11:29:00	0	0,00	15/11/2009	04:14:00	2	8,00
10/11/2009	11:44:00	0	0,00	15/11/2009	04:29:00	1,2	4,80
10/11/2009	11:59:00	0	0,00	15/11/2009	04:44:00	1,2	4,80
10/11/2009	12:14:00	0	0,00	15/11/2009	04:59:00	4,4	17,60
10/11/2009	12:29:00	0,2	0,80	15/11/2009	05:14:00	5,6	22,40
10/11/2009	12:44:00	0	0,00	15/11/2009	05:29:00	4,8	19,20
13/11/2009	05:29:00	0	0,00	15/11/2009	05:44:00	3,2	12,80
13/11/2009	05:44:00	1,2	4,80	15/11/2009	05:59:00	0,8	3,20
13/11/2009	05:59:00	7	28,00	15/11/2009	06:14:00	0,4	1,60
13/11/2009	06:14:00	0,2	0,80	15/11/2009	06:29:00	0,4	1,60
13/11/2009	06:29:00	0	0,00	15/11/2009	06:44:00	1	4,00
13/11/2009	06:44:00	0	0,00	15/11/2009	06:59:00	1	4,00
13/11/2009	06:59:00	0	0,00	15/11/2009	07:14:00	1,6	6,40
13/11/2009	07:14:00	0	0,00	15/11/2009	07:29:00	1,6	6,40
13/11/2009	07:29:00	0	0,00	15/11/2009	07:44:00	1,2	4,80
13/11/2009	07:44:00	0	0,00	15/11/2009	07:59:00	1	4,00
13/11/2009	07:59:00	0	0,00	15/11/2009	08:14:00	0,6	2,40
13/11/2009	08:14:00	0	0,00	15/11/2009	08:29:00	0,4	1,60



15/11/2009	08:44:00	0,2	0,80	20/11/2009	07:29:00	3,8	15,20
15/11/2009	08:59:00	0,2	0,80	20/11/2009	07:44:00	10,6	42,40
15/11/2009	09:14:00	0,4	1,60	20/11/2009	07:59:00	11,8	47,20
15/11/2009	09:29:00	0	0,00	20/11/2009	08:14:00	1,4	5,60
15/11/2009	09:44:00	0,2	0,80	20/11/2009	08:29:00	1	4,00
15/11/2009	14:44:00	1	0,20	20/11/2009	08:44:00	0,4	1,60
15/11/2009	14:59:00	0,6	2,40	20/11/2009	08:59:00	0,2	0,80
15/11/2009	15:14:00	0,6	2,40	20/11/2009	09:14:00	0,8	3,20
15/11/2009	15:29:00	0,2	0,80	20/11/2009	09:29:00	3,6	14,40
15/11/2009	15:44:00	0,2	0,80	20/11/2009	09:44:00	1	4,00
15/11/2009	15:59:00	0	0,00	20/11/2009	09:59:00	0,6	2,40
15/11/2009	16:14:00	0	0,00	20/11/2009	10:14:00	11,4	45,60
15/11/2009	16:29:00	0,8	3,20	20/11/2009	10:29:00	10,6	42,40
15/11/2009	16:44:00	0,4	1,60	20/11/2009	10:44:00	5	20,00
15/11/2009	16:59:00	0,4	1,60	20/11/2009	10:59:00	3,6	14,40
15/11/2009	17:14:00	0,4	1,60	20/11/2009	11:14:00	3,2	12,80
15/11/2009	17:29:00	0,6	2,40	20/11/2009	11:29:00	0,4	1,60
15/11/2009	17:44:00	0	0,00	20/11/2009	11:44:00	0,2	0,80
15/11/2009	17:59:00	0	0,00	20/11/2009	11:59:00	2,4	9,60
15/11/2009	18:14:00	0,2	0,80	20/11/2009	12:14:00	3,4	13,60
15/11/2009	18:29:00	0	0,00	20/11/2009	12:29:00	2	8,00
16/11/2009	06:14:00	0	0,00	20/11/2009	12:44:00	0,4	1,60
16/11/2009	06:29:00	0,2	0,80	20/11/2009	12:59:00	0,2	0,80
16/11/2009	06:44:00	0	0,00	20/11/2009	13:14:00	0,2	0,80
20/11/2009	06:29:00	0	0,00	20/11/2009	13:29:00	0	0,00
20/11/2009	06:44:00	0,2	0,80	20/11/2009	13:44:00	0,6	2,40
20/11/2009	06:59:00	1,2	4,80	20/11/2009	13:59:00	0	0,00
20/11/2009	07:14:00	11,6	46,40	24/11/2009	04:14:00	0	0,00



24/11/2009	04:29:00	0,2	0,80	26/11/2009	04:44:00	0,2	0,20
24/11/2009	04:44:00	1,8	7,20	26/11/2009	04:59:00	0,8	3,20
24/11/2009	04:59:00	3,2	12,80	26/11/2009	05:14:00	0,4	1,60
24/11/2009	05:14:00	10,4	41,60	26/11/2009	05:29:00	1	4,00
24/11/2009	05:29:00	10	40,00	26/11/2009	05:44:00	0,2	0,80
24/11/2009	05:44:00	10,8	43,20	26/11/2009	05:59:00	0,4	1,60
24/11/2009	05:59:00	6	24,00	26/11/2009	06:14:00	1,8	7,20
24/11/2009	06:14:00	5,6	22,40	26/11/2009	06:29:00	0,6	2,40
24/11/2009	06:29:00	0,8	3,20	26/11/2009	06:44:00	1,4	5,60
24/11/2009	06:44:00	0,6	2,40	26/11/2009	06:59:00	1	4,00
24/11/2009	06:59:00	1,4	5,60	26/11/2009	07:14:00	0,2	0,80
24/11/2009	07:14:00	2,2	8,80	26/11/2009	07:29:00	0	0,00
24/11/2009	07:29:00	3,6	14,40	26/11/2009	07:44:00	0,2	0,80
24/11/2009	07:44:00	2,8	11,20	26/11/2009	07:59:00	0	0,00
24/11/2009	07:59:00	0,4	1,60	26/11/2009	08:14:00	0,2	0,80
24/11/2009	08:14:00	0,8	3,20	26/11/2009	08:29:00	0,2	0,80
24/11/2009	08:29:00	2,6	10,40	26/11/2009	08:44:00	0	0,00
24/11/2009	08:44:00	10,6	42,40	26/11/2009	08:59:00	0,2	0,80
24/11/2009	08:59:00	6	24,00	26/11/2009	09:14:00	0,6	2,40
24/11/2009	09:14:00	3,4	13,60	26/11/2009	09:29:00	0,6	2,40
24/11/2009	09:29:00	2,2	8,80	26/11/2009	09:44:00	0,8	3,20
24/11/2009	09:44:00	3,4	13,60	26/11/2009	09:59:00	0,6	2,40
24/11/2009	09:59:00	1,8	7,20	26/11/2009	10:14:00	0,4	1,60
24/11/2009	10:14:00	0,4	1,60	26/11/2009	10:29:00	0,4	1,60
24/11/2009	10:29:00	0,8	3,20	26/11/2009	10:44:00	0,2	0,80
24/11/2009	10:44:00	0,2	0,80	26/11/2009	10:59:00	0	0,00
24/11/2009	10:59:00	0	0,00	26/11/2009	11:14:00	0	0,00
26/11/2009	03:44:00	0	0,00	26/11/2009	11:29:00	0,2	0,80



26/11/2009	11:44:00	0	0,00	28/11/2009	13:14:00	0	0,00
28/11/2009	06:29:00	0	0,00	28/11/2009	13:29:00	0	0,00
28/11/2009	06:44:00	0,6	2,40	28/11/2009	13:44:00	0	0,00
28/11/2009	06:59:00	8,8	35,20	28/11/2009	13:59:00	0	0,00
28/11/2009	07:14:00	17,6	70,40	28/11/2009	14:14:00	0	0,00
28/11/2009	07:29:00	10	40,00	28/11/2009	14:29:00	0	0,00
28/11/2009	07:44:00	5,4	21,60	28/11/2009	14:44:00	1,4	5,60
28/11/2009	07:59:00	7	28,00	28/11/2009	14:59:00	0	0,00
28/11/2009	08:14:00	10,8	43,20	28/11/2009	15:14:00	0	0,00
28/11/2009	08:29:00	11,6	46,40	30/11/2009	01:44:00	0	0,00
28/11/2009	08:44:00	8,4	33,60	30/11/2009	01:59:00	0,2	0,80
28/11/2009	08:59:00	2,6	10,40	30/11/2009	02:14:00	5	20,00
28/11/2009	09:14:00	1,6	6,40	30/11/2009	02:29:00	5,4	21,60
28/11/2009	09:29:00	1,2	4,80	30/11/2009	02:44:00	5,4	21,60
28/11/2009	09:44:00	0,6	2,40	30/11/2009	02:59:00	3,2	12,80
28/11/2009	09:59:00	1	4,00	30/11/2009	03:14:00	0	0,00
28/11/2009	10:14:00	0,6	2,40	30/11/2009	03:29:00	0,2	0,80
28/11/2009	10:29:00	0,2	0,80	30/11/2009	03:44:00	0,2	0,80
28/11/2009	10:44:00	0,2	0,80	30/11/2009	03:59:00	2	8,00
28/11/2009	10:59:00	0,6	2,40	30/11/2009	04:14:00	3,4	13,60
28/11/2009	11:14:00	1,4	5,60	30/11/2009	04:29:00	2,2	8,80
28/11/2009	11:29:00	1	4,00	30/11/2009	04:44:00	2,2	8,80
28/11/2009	11:44:00	1,2	4,80	30/11/2009	04:59:00	0,4	1,60
28/11/2009	11:59:00	1	4,00	30/11/2009	05:14:00	0	0,00
28/11/2009	12:14:00	0,2	0,80	30/11/2009	05:29:00	0,2	0,80
28/11/2009	12:29:00	0,2	0,80	30/11/2009	05:44:00	0,4	1,60
28/11/2009	12:44:00	0	0,00	30/11/2009	05:59:00	2,2	8,80
28/11/2009	12:59:00	0	0,00	30/11/2009	06:14:00	2	8,00



30/11/2009	06:29:00	3,2	12,80	02/12/2009	15:14:00	0,2	0,80
30/11/2009	06:44:00	2,6	10,40	02/12/2009	16:59:00	0,2	0,11
30/11/2009	06:59:00	1,4	5,60	02/12/2009	18:44:00	0	0,00
30/11/2009	07:14:00	2,4	9,60	05/12/2009	21:44:00	0	0,00
30/11/2009	07:29:00	1,6	6,40	05/12/2009	21:59:00	1,2	4,80
30/11/2009	07:44:00	2	8,00	05/12/2009	22:14:00	0	0,00
30/11/2009	07:59:00	0,6	2,40	06/12/2009	03:29:00	0	0,00
30/11/2009	08:14:00	0,2	0,80	06/12/2009	03:44:00	1,8	7,20
30/11/2009	08:29:00	0	0,00	06/12/2009	03:59:00	16,6	66,40
30/11/2009	08:44:00	0	0,00	06/12/2009	04:14:00	11,6	46,40
30/11/2009	08:59:00	0	0,00	06/12/2009	04:29:00	1,6	6,40
30/11/2009	09:14:00	0,4	1,60	06/12/2009	04:44:00	0,2	0,80
30/11/2009	09:29:00	0,8	3,20	06/12/2009	04:59:00	0,4	1,60
30/11/2009	09:44:00	0,6	2,40	06/12/2009	05:14:00	0,8	3,20
30/11/2009	09:59:00	0,4	1,60	06/12/2009	05:29:00	1	4,00
30/11/2009	10:14:00	0,2	0,80	06/12/2009	05:44:00	1	4,00
30/11/2009	10:29:00	0	0,00	06/12/2009	05:59:00	0,8	3,20
01/12/2009	02:29:00	0	0,00	06/12/2009	06:14:00	0,6	2,40
01/12/2009	02:44:00	0,2	0,80	06/12/2009	06:29:00	1	4,00
01/12/2009	02:59:00	0	0,00	06/12/2009	06:44:00	0,6	2,40
02/12/2009	03:59:00	0	0,00	06/12/2009	06:59:00	0,4	1,60
02/12/2009	04:14:00	0	0,00	06/12/2009	07:29:00	0,4	0,80
02/12/2009	04:29:00	0,2	0,80	06/12/2009	07:44:00	0,2	0,80
02/12/2009	13:14:00	5,6	0,64	06/12/2009	07:59:00	0,4	1,60
02/12/2009	13:29:00	12	48,00	06/12/2009	08:14:00	0,4	1,60
02/12/2009	13:44:00	0,2	0,80	06/12/2009	08:29:00	0,4	1,60
02/12/2009	14:44:00	0,2	0,20	06/12/2009	08:44:00	0,4	1,60
02/12/2009	14:59:00	0,8	3,20	06/12/2009	09:59:00	0,2	0,16



06/12/2009	16:29:00	0,2	0,03	18/12/2009	15:44:00	0,2	0,80
06/12/2009	18:59:00	0,2	0,08	18/12/2009	15:59:00	0,2	0,80
06/12/2009	19:14:00	0,2	0,80	18/12/2009	16:14:00	0,2	0,80
06/12/2009	19:29:00	0	0,00	18/12/2009	16:29:00	0	0,00
11/12/2009	11:14:00	0	0,00	20/12/2009	11:44:00	0	0,00
11/12/2009	11:29:00	1,4	5,60	20/12/2009	11:59:00	0,2	0,80
11/12/2009	11:44:00	0,6	2,40	20/12/2009	12:14:00	0,2	0,80
11/12/2009	11:59:00	0,2	0,80	20/12/2009	12:44:00	0,2	0,40
11/12/2009	12:44:00	2,4	3,20	20/12/2009	13:59:00	0,4	0,32
11/12/2009	12:59:00	1,2	4,80	20/12/2009	14:14:00	1,2	4,80
11/12/2009	13:14:00	0,8	3,20	20/12/2009	14:29:00	1,6	6,40
11/12/2009	13:29:00	2,6	10,40	20/12/2009	14:44:00	0,6	2,40
11/12/2009	13:44:00	0,4	1,60	20/12/2009	14:59:00	0,2	0,80
11/12/2009	14:14:00	0,2	0,40	20/12/2009	15:14:00	0	0,00
11/12/2009	14:29:00	0,6	2,40	24/12/2009	18:59:00	0	0,00
11/12/2009	14:44:00	0,2	0,80	24/12/2009	19:14:00	0,8	3,20
11/12/2009	18:59:00	0,4	0,09	24/12/2009	19:29:00	3	12,00
11/12/2009	23:14:00	0	0,00	24/12/2009	19:44:00	4	16,00
12/12/2009	00:29:00	0	0,00	24/12/2009	19:59:00	1,4	5,60
12/12/2009	00:44:00	0,2	0,80	24/12/2009	20:14:00	0,4	1,60
12/12/2009	00:59:00	0	0,00	24/12/2009	23:29:00	0,2	0,06
17/12/2009	14:14:00	0	0,00	24/12/2009	23:44:00	0	0,00
17/12/2009	14:29:00	3,2	12,80	26/12/2009	19:14:00	0	0,00
17/12/2009	14:44:00	7,6	30,40	26/12/2009	19:29:00	5	20,00
17/12/2009	14:59:00	1,4	5,60	26/12/2009	19:44:00	6,4	25,60
17/12/2009	15:29:00	0,2	0,40	26/12/2009	19:59:00	2,4	9,60
17/12/2009	15:59:00	0	0,00	26/12/2009	20:14:00	0,2	0,80
18/12/2009	15:29:00	0	0,00	26/12/2009	20:29:00	0,2	0,80



26/12/2009	20:44:00	0	0,00	07/01/2010	23:29:00	0	0,00
27/12/2009	00:14:00	0	0,00	07/01/2010	23:44:00	2,2	8,80
27/12/2009	00:29:00	0,2	0,80	07/01/2010	23:59:00	0,8	3,20
27/12/2009	00:44:00	0,2	0,80	08/01/2010	00:14:00	0,2	0,80
27/12/2009	03:44:00	0,2	0,07	08/01/2010	04:29:00	0,2	0,05
27/12/2009	06:44:00	0	0,00	08/01/2010	05:59:00	13,2	8,80
29/12/2009	09:29:00	0	0,00	08/01/2010	06:14:00	3,4	13,60
29/12/2009	09:44:00	0,2	0,80	08/01/2010	06:29:00	1	4,00
29/12/2009	09:59:00	0	0,00	08/01/2010	06:44:00	0,6	2,40
02/01/2010	15:14:00	0	0,00	08/01/2010	06:59:00	1,8	7,20
02/01/2010	16:14:00	0,2	0,20	08/01/2010	07:14:00	3,2	12,80
02/01/2010	17:14:00	0	0,00	08/01/2010	07:29:00	1,8	7,20
03/01/2010	15:14:00	0	0,00	08/01/2010	07:44:00	3,8	15,20
03/01/2010	16:14:00	2,8	2,80	08/01/2010	07:59:00	3,2	12,80
03/01/2010	16:29:00	0,2	0,80	08/01/2010	08:14:00	1,6	6,40
03/01/2010	16:44:00	0,2	0,80	08/01/2010	08:29:00	2,6	10,40
03/01/2010	18:14:00	1,4	0,93	08/01/2010	08:44:00	2,2	8,80
03/01/2010	18:29:00	0,2	0,80	08/01/2010	08:59:00	1,6	6,40
03/01/2010	18:44:00	0	0,00	08/01/2010	09:14:00	1,8	7,20
03/01/2010	18:59:00	0	0,00	08/01/2010	09:29:00	1	4,00
06/01/2010	09:29:00	0	0,00	08/01/2010	09:44:00	1,8	7,20
06/01/2010	10:29:00	0,6	0,60	08/01/2010	09:59:00	2,2	8,80
06/01/2010	10:44:00	1,6	6,40	08/01/2010	10:14:00	1,6	6,40
06/01/2010	11:14:00	0,2	0,40	08/01/2010	10:29:00	0,8	3,20
06/01/2010	13:44:00	0,2	0,08	08/01/2010	10:44:00	0,8	3,20
06/01/2010	14:14:00	0,2	0,40	08/01/2010	11:14:00	0,2	0,40
06/01/2010	15:14:00	0,2	0,20	08/01/2010	11:44:00	0	0,00
06/01/2010	16:14:00	0	0,00	10/01/2010	03:14:00	0	0,00



10/01/2010	04:14:00	0,4	0,40	18/01/2010	22:29:00	13,4	53,60
10/01/2010	05:14:00	0,2	0,20	18/01/2010	22:44:00	13,4	53,60
10/01/2010	05:44:00	1,2	2,40	18/01/2010	22:59:00	6,4	25,60
10/01/2010	05:59:00	3	12,00	18/01/2010	23:14:00	2,2	8,80
10/01/2010	07:44:00	1,4	0,80	18/01/2010	23:29:00	0,2	0,80
10/01/2010	07:59:00	0,2	0,80	18/01/2010	23:59:00	0,2	0,40
10/01/2010	17:44:00	0,4	0,04	19/01/2010	00:14:00	0,6	2,40
10/01/2010	17:59:00	2,2	8,80	19/01/2010	00:29:00	6	24,00
10/01/2010	18:14:00	3,2	12,80	19/01/2010	00:44:00	5,6	22,40
10/01/2010	18:29:00	0,4	1,60	19/01/2010	00:59:00	0,4	1,60
10/01/2010	19:29:00	0,2	0,20	19/01/2010	01:14:00	2,4	9,60
10/01/2010	19:59:00	0,2	0,40	19/01/2010	01:29:00	11	44,00
10/01/2010	20:14:00	0,4	1,60	19/01/2010	01:44:00	1,2	4,80
10/01/2010	20:29:00	0	0,00	19/01/2010	01:59:00	5	20,00
11/01/2010	01:59:00	0	0,00	19/01/2010	02:14:00	1,2	4,80
11/01/2010	02:59:00	0,2	0,20	19/01/2010	02:29:00	0,6	2,40
11/01/2010	03:59:00	0	0,00	19/01/2010	02:44:00	0,2	0,80
12/01/2010	12:29:00	0	0,00	19/01/2010	05:14:00	0,4	0,16
12/01/2010	12:44:00	3,4	13,60	19/01/2010	05:29:00	4	16,00
12/01/2010	12:59:00	1,2	4,80	19/01/2010	05:44:00	8,8	35,20
12/01/2010	13:14:00	0,6	2,40	19/01/2010	05:59:00	7,4	29,60
15/01/2010	21:44:00	0	0,00	19/01/2010	06:14:00	5	20,00
15/01/2010	22:44:00	0,4	0,40	19/01/2010	06:29:00	5	20,00
15/01/2010	23:44:00	0,2	0,20	19/01/2010	06:44:00	1,6	6,40
16/01/2010	00:44:00	0	0,00	19/01/2010	06:59:00	3,2	12,80
18/01/2010	21:44:00	0	0,00	19/01/2010	07:14:00	0,2	0,80
18/01/2010	21:59:00	3,8	15,20	19/01/2010	07:29:00	0,2	0,80
18/01/2010	22:14:00	8	32,00	19/01/2010	08:14:00	3,2	4,27



19/01/2010	08:29:00	6	24,00	08/02/2010	10:44:00	0,2	0,80
19/01/2010	08:44:00	2	8,00	08/02/2010	10:59:00	0,4	1,60
19/01/2010	08:59:00	1,4	5,60	08/02/2010	14:29:00	2	0,57
19/01/2010	09:14:00	1,2	4,80	08/02/2010	14:44:00	1,4	5,60
19/01/2010	09:29:00	0,2	0,80	08/02/2010	14:59:00	0	0,00
19/01/2010	09:44:00	0,2	0,80	08/02/2010	15:14:00	0	0,00
19/01/2010	09:59:00	0,2	0,80	08/02/2010	15:29:00	1	4,00
19/01/2010	10:29:00	0,6	1,20	08/02/2010	15:44:00	1,6	6,40
19/01/2010	10:44:00	0,2	0,80	08/02/2010	15:59:00	1,8	7,20
19/01/2010	10:59:00	0,4	1,60	08/02/2010	16:14:00	0,2	0,80
19/01/2010	11:14:00	0,4	1,60	08/02/2010	16:29:00	0,2	0,80
19/01/2010	11:29:00	0,4	1,60	08/02/2010	16:44:00	0,2	0,80
19/01/2010	11:44:00	0,2	0,80	08/02/2010	16:59:00	0,2	0,80
19/01/2010	11:59:00	0,4	1,60	08/02/2010	17:14:00	0,2	0,80
19/01/2010	12:14:00	0,4	1,60	08/02/2010	17:29:00	0	0,00
19/01/2010	12:29:00	0,4	1,60	14/02/2010	11:14:00	0	0,00
19/01/2010	12:44:00	0,4	1,60	14/02/2010	11:29:00	4,2	16,80
19/01/2010	12:59:00	0,2	0,80	14/02/2010	11:44:00	2	8,00
19/01/2010	15:14:00	0,2	0,09	14/02/2010	11:59:00	0	0,00
19/01/2010	15:29:00	0,2	0,80	14/02/2010	12:14:00	0,6	2,40
19/01/2010	15:44:00	0	0,00	14/02/2010	12:29:00	1,2	4,80
26/01/2010	16:59:00	0	0,00	14/02/2010	12:44:00	0,2	0,80
26/01/2010	17:14:00	1,2	4,80	14/02/2010	12:59:00	0	0,00
26/01/2010	17:29:00	1,8	7,20	15/02/2010	13:59:00	0	0,00
26/01/2010	17:44:00	1,2	4,80	15/02/2010	14:14:00	0,2	0,80
26/01/2010	17:59:00	0,4	1,60	15/02/2010	14:29:00	2	8,00
26/01/2010	18:14:00	0	0,00	15/02/2010	14:44:00	0,4	1,60
08/02/2010	10:29:00	0	0,00	15/02/2010	14:59:00	2,4	9,60



15/02/2010	15:14:00	1,2	4,80	21/02/2010	02:44:00	0,4	1,60
15/02/2010	15:29:00	0,6	2,40	21/02/2010	02:59:00	0,4	1,60
15/02/2010	15:44:00	0,4	1,60	21/02/2010	03:14:00	0,4	1,60
15/02/2010	15:59:00	3,6	14,40	21/02/2010	03:29:00	0,4	1,60
15/02/2010	16:14:00	9,4	37,60	21/02/2010	03:44:00	0,4	1,60
15/02/2010	16:29:00	6,6	26,40	21/02/2010	03:59:00	0,4	1,60
15/02/2010	16:44:00	1,6	6,40	21/02/2010	04:14:00	0,4	1,60
15/02/2010	16:59:00	1,4	5,60	21/02/2010	04:29:00	0	0,00
15/02/2010	17:14:00	2	8,00	21/02/2010	04:44:00	0,4	1,60
15/02/2010	17:29:00	1,2	4,80	21/02/2010	04:59:00	0,2	0,80
15/02/2010	17:44:00	0,6	2,40	21/02/2010	05:14:00	0,2	0,80
15/02/2010	17:59:00	0,4	1,60	21/02/2010	05:29:00	0,4	1,60
15/02/2010	18:14:00	0,2	0,80	21/02/2010	05:44:00	0,4	1,60
15/02/2010	18:29:00	0	0,00	21/02/2010	05:59:00	0,2	0,80
20/02/2010	15:29:00	0	0,00	21/02/2010	06:14:00	0,4	1,60
20/02/2010	15:44:00	0	0,00	21/02/2010	06:29:00	0,4	1,60
20/02/2010	15:59:00	0,2	0,80	21/02/2010	06:44:00	0,4	1,60
20/02/2010	16:14:00	0,2	0,80	21/02/2010	06:59:00	0,2	0,80
20/02/2010	19:29:00	7	2,15	21/02/2010	10:29:00	0,2	0,06
20/02/2010	19:44:00	14,2	56,80	21/02/2010	12:14:00	0,2	0,11
20/02/2010	19:59:00	18,4	73,60	21/02/2010	12:29:00	0,2	0,80
20/02/2010	20:14:00	3	12,00	21/02/2010	12:44:00	0,2	0,80
20/02/2010	20:29:00	1,8	7,20	21/02/2010	12:59:00	0,2	0,80
20/02/2010	20:44:00	0,2	0,80	21/02/2010	13:14:00	0	0,00
20/02/2010	20:59:00	0	0,00	21/02/2010	13:29:00	0,2	0,80
21/02/2010	01:59:00	0	0,00	21/02/2010	13:44:00	0	0,00
21/02/2010	02:14:00	0,2	0,80	21/02/2010	13:59:00	0	0,00
21/02/2010	02:29:00	0	0,00	21/02/2010	14:14:00	0	0,00



21/02/2010	14:29:00	0,2	0,80	22/02/2010	12:29:00	4,4	17,60
21/02/2010	14:44:00	0	0,00	22/02/2010	12:44:00	0,2	0,80
22/02/2010	05:59:00	0	0,00	22/02/2010	12:59:00	0,2	0,80
22/02/2010	06:14:00	0,4	1,60	22/02/2010	13:14:00	0	0,00
22/02/2010	06:29:00	0	0,00	23/02/2010	10:29:00	0	0,00
22/02/2010	06:44:00	0	0,00	23/02/2010	10:44:00	0,2	0,80
22/02/2010	06:59:00	0,2	0,80	23/02/2010	10:59:00	0	0,00
22/02/2010	07:14:00	0,6	2,40	23/02/2010	11:14:00	0,2	0,80
22/02/2010	07:29:00	0,4	1,60	23/02/2010	11:29:00	1,4	5,60
22/02/2010	07:44:00	2,8	11,20	23/02/2010	11:44:00	0,2	0,80
22/02/2010	07:59:00	2	8,00	23/02/2010	11:59:00	0,2	0,80
22/02/2010	08:14:00	1	4,00	23/02/2010	12:14:00	0,2	0,80
22/02/2010	08:29:00	1,2	4,80	23/02/2010	12:29:00	0	0,00
22/02/2010	08:44:00	0,8	3,20	24/02/2010	04:14:00	0	0,00
22/02/2010	08:59:00	4	16,00	24/02/2010	04:29:00	0,2	0,80
22/02/2010	09:14:00	1,4	5,60	24/02/2010	04:44:00	0	0,00
22/02/2010	09:29:00	0,8	3,20	24/02/2010	04:59:00	0,2	0,80
22/02/2010	09:44:00	1,2	4,80	24/02/2010	05:14:00	0,4	1,60
22/02/2010	09:59:00	1	4,00	24/02/2010	05:29:00	0,2	0,80
22/02/2010	10:14:00	0,6	2,40	24/02/2010	05:44:00	0,2	0,80
22/02/2010	10:29:00	0,4	1,60	24/02/2010	09:44:00	0,8	0,20
22/02/2010	10:44:00	0,4	1,60	24/02/2010	13:44:00	0	0,00
22/02/2010	10:59:00	0,4	1,60	27/02/2010	18:59:00	0	0,00
22/02/2010	11:14:00	0,2	0,80	27/02/2010	19:14:00	2,4	9,60
22/02/2010	11:29:00	0,6	2,40	27/02/2010	19:29:00	1,6	6,40
22/02/2010	11:44:00	0,8	3,20	27/02/2010	19:44:00	1,8	7,20
22/02/2010	11:59:00	1,4	5,60	27/02/2010	19:59:00	0	0,00
22/02/2010	12:14:00	3,2	12,80	27/02/2010	20:14:00	0	0,00



27/02/2010	20:29:00	0,2	0,80	04/03/2010	11:29:00	0	0,00
27/02/2010	20:44:00	0	0,00	12/03/2010	22:44:00	0	0,00
28/02/2010	03:29:00	0	0,00	12/03/2010	23:44:00	0,2	0,20
28/02/2010	04:29:00	0,2	0,20	12/03/2010	23:59:00	0,4	1,60
28/02/2010	05:29:00	0	0,00	13/03/2010	00:14:00	0,4	1,60
03/03/2010	06:44:00	0	0,00	13/03/2010	00:29:00	0,4	1,60
03/03/2010	06:59:00	0,4	1,60	13/03/2010	00:44:00	0,2	0,80
03/03/2010	07:14:00	0	0,00	13/03/2010	00:59:00	0	0,00
03/03/2010	07:29:00	0	0,00	13/03/2010	01:14:00	0	0,00
03/03/2010	07:44:00	0,2	0,80	13/03/2010	01:29:00	0,2	0,80
03/03/2010	07:59:00	0	0,00	13/03/2010	03:14:00	1,6	0,91
03/03/2010	08:14:00	0,2	0,80	13/03/2010	03:29:00	0,2	0,80
03/03/2010	08:29:00	0	0,00	13/03/2010	03:44:00	1	4,00
03/03/2010	08:44:00	0	0,00	13/03/2010	03:59:00	3,4	13,60
03/03/2010	08:59:00	0	0,00	13/03/2010	04:14:00	0	0,00
03/03/2010	09:14:00	0	0,00	13/03/2010	04:29:00	0	0,00
03/03/2010	09:29:00	0	0,00	13/03/2010	04:44:00	0	0,00
03/03/2010	09:44:00	0,4	1,60	13/03/2010	04:59:00	0	0,00
03/03/2010	16:14:00	0,2	0,03	13/03/2010	05:14:00	0	0,00
03/03/2010	16:29:00	1,6	6,40	13/03/2010	05:29:00	0,4	1,60
03/03/2010	16:44:00	2,4	9,60	13/03/2010	05:44:00	0,2	0,80
03/03/2010	16:59:00	4	16,00	13/03/2010	05:59:00	0,8	3,20
03/03/2010	17:14:00	1,8	7,20	13/03/2010	06:14:00	1,6	6,40
03/03/2010	17:29:00	1,4	5,60	13/03/2010	06:29:00	3,4	13,60
03/03/2010	17:44:00	0,2	0,80	13/03/2010	06:44:00	4,4	17,60
03/03/2010	17:59:00	0	0,00	13/03/2010	06:59:00	0	0,00
04/03/2010	10:59:00	0	0,00	13/03/2010	07:14:00	0	0,00
04/03/2010	11:14:00	0,2	0,80	13/03/2010	07:29:00	0,6	2,40



13/03/2010	07:44:00	0,6	2,40	19/03/2010	17:14:00	0,2	0,80
13/03/2010	07:59:00	0,6	2,40	19/03/2010	17:29:00	0,8	3,20
13/03/2010	08:14:00	0,6	2,40	19/03/2010	17:44:00	0,4	1,60
13/03/2010	08:29:00	0,2	0,80	19/03/2010	17:59:00	0	0,00
13/03/2010	08:44:00	0,4	1,60	20/03/2010	04:59:00	0	0,00
13/03/2010	08:59:00	0,2	0,80	20/03/2010	05:59:00	0,2	0,20
13/03/2010	09:14:00	0,4	1,60	20/03/2010	06:59:00	0	0,00
13/03/2010	09:29:00	0,2	0,80	22/03/2010	02:29:00	0	0,00
13/03/2010	09:44:00	0,4	1,60	22/03/2010	02:44:00	5,2	20,80
13/03/2010	09:59:00	0,8	3,20	22/03/2010	02:59:00	5,8	23,20
13/03/2010	10:14:00	1,2	4,80	22/03/2010	03:14:00	1,2	4,80
13/03/2010	10:29:00	2,2	8,80	22/03/2010	03:29:00	0,2	0,80
13/03/2010	10:44:00	2,2	8,80	22/03/2010	05:14:00	0,6	0,34
13/03/2010	10:59:00	2,2	8,80	22/03/2010	05:29:00	5,6	22,40
13/03/2010	11:14:00	1,6	6,40	22/03/2010	06:59:00	0,2	0,13
13/03/2010	11:29:00	2,2	8,80	22/03/2010	07:14:00	0	0,00
13/03/2010	11:44:00	0,6	2,40	22/03/2010	07:29:00	0,4	1,60
13/03/2010	16:29:00	0,2	0,04	22/03/2010	07:44:00	0,2	0,80
13/03/2010	16:44:00	0,2	0,80	22/03/2010	13:59:00	0,2	0,03
13/03/2010	16:59:00	0,4	1,60	22/03/2010	16:29:00	1,2	0,48
13/03/2010	17:14:00	0,8	3,20	22/03/2010	16:44:00	5,2	20,80
13/03/2010	17:29:00	0	0,00	22/03/2010	16:59:00	3,8	15,20
13/03/2010	17:44:00	0,2	0,80	22/03/2010	17:14:00	7,6	30,40
13/03/2010	17:59:00	0	0,00	22/03/2010	17:29:00	11,2	44,80
19/03/2010	16:14:00	0	0,00	22/03/2010	17:44:00	5,6	22,40
19/03/2010	16:29:00	0,2	0,80	22/03/2010	17:59:00	2,2	8,80
19/03/2010	16:44:00	0,6	2,40	22/03/2010	18:14:00	0	0,00
19/03/2010	16:59:00	0,2	0,80	22/03/2010	18:29:00	0,2	0,80



22/03/2010	18:44:00	0,2	0,80	03/04/2010	13:14:00	0,6	2,40
22/03/2010	20:44:00	0,4	0,20	03/04/2010	13:29:00	0,4	1,60
22/03/2010	20:59:00	0	0,00	03/04/2010	14:59:00	0,2	0,13
22/03/2010	21:14:00	0,2	0,80	03/04/2010	15:14:00	0,2	0,80
22/03/2010	21:29:00	0	0,00	03/04/2010	15:29:00	0	0,00
22/03/2010	21:44:00	3,8	15,20	03/04/2010	15:44:00	0,2	0,80
22/03/2010	21:59:00	0	0,00	03/04/2010	15:59:00	0,4	1,60
22/03/2010	22:14:00	0	0,00	03/04/2010	16:59:00	1,2	1,20
22/03/2010	22:29:00	0,4	1,60	03/04/2010	17:14:00	3,2	12,80
22/03/2010	22:44:00	0	0,00	03/04/2010	17:29:00	0,2	0,80
23/03/2010	06:44:00	0	0,00	03/04/2010	17:44:00	0,2	0,80
23/03/2010	06:59:00	0,4	1,60	03/04/2010	18:59:00	0,4	0,32
23/03/2010	07:14:00	0,8	3,20	03/04/2010	20:29:00	0,2	0,13
23/03/2010	07:29:00	1,2	4,80	03/04/2010	20:44:00	0,2	0,80
23/03/2010	07:44:00	3,6	14,40	03/04/2010	21:44:00	0,2	0,20
23/03/2010	07:59:00	2,8	11,20	03/04/2010	21:59:00	0	0,00
23/03/2010	08:14:00	4	16,00	03/04/2010	22:14:00	0,2	0,80
23/03/2010	08:29:00	2,6	10,40	03/04/2010	22:29:00	0,4	1,60
23/03/2010	08:44:00	1,6	6,40	03/04/2010	22:44:00	0,4	1,60
23/03/2010	08:59:00	0,4	1,60	03/04/2010	22:59:00	0,2	0,80
23/03/2010	09:14:00	0,2	0,80	03/04/2010	23:14:00	0,2	0,80
23/03/2010	09:29:00	0	0,00	03/04/2010	23:29:00	0	0,00
03/04/2010	10:59:00	0	0,00	22/04/2010	00:59:00	0	0,00
03/04/2010	11:14:00	0,4	1,60	22/04/2010	01:14:00	0,6	2,40
03/04/2010	11:29:00	0	0,00	22/04/2010	01:29:00	0,2	0,80
03/04/2010	11:44:00	0,2	0,80	22/04/2010	02:59:00	1,2	0,80
03/04/2010	12:44:00	7	7,00	22/04/2010	03:14:00	3,2	12,80
03/04/2010	12:59:00	3,2	12,80	22/04/2010	03:29:00	0,2	0,80



22/04/2010	04:14:00	1,8	2,40	25/04/2010	06:56:00	0,2	0,80
22/04/2010	04:29:00	1,4	5,60	25/04/2010	08:11:00	0,2	0,16
22/04/2010	04:44:00	0,6	2,40	25/04/2010	08:26:00	0	0,00
22/04/2010	09:44:00	2,4	0,48	25/04/2010	08:41:00	0	0,00
22/04/2010	09:59:00	2,2	8,80	25/04/2010	08:56:00	0,2	0,80
22/04/2010	10:14:00	3	12,00	25/04/2010	09:11:00	0,2	0,80
22/04/2010	10:29:00	0,6	2,40	25/04/2010	09:26:00	0,2	0,80
22/04/2010	10:44:00	0,2	0,80	25/04/2010	09:41:00	0	0,00
22/04/2010	19:29:00	0,2	0,02	25/04/2010	09:56:00	0,2	0,80
22/04/2010	19:44:00	0,4	1,60	25/04/2010	10:11:00	0,2	0,80
22/04/2010	19:59:00	0,2	0,80	25/04/2010	10:26:00	0,6	2,40
22/04/2010	20:14:00	0,4	1,60	25/04/2010	10:41:00	0,2	0,80
22/04/2010	20:29:00	0	0,00	25/04/2010	10:56:00	0,2	0,80
22/04/2010	20:44:00	0,2	0,80	25/04/2010	11:11:00	0,2	0,80
22/04/2010	23:44:00	0,2	0,07	25/04/2010	11:26:00	0	0,00
22/04/2010	23:59:00	0,4	1,60	25/04/2010	11:41:00	0	0,00
23/04/2010	00:14:00	0,8	3,20	25/04/2010	11:56:00	0,2	0,80
23/04/2010	00:29:00	0,4	1,60	25/04/2010	13:26:00	0,2	0,13
23/04/2010	00:44:00	0,4	1,60	25/04/2010	16:56:00	0,2	0,06
23/04/2010	00:59:00	0	0,00	25/04/2010	17:11:00	0,2	0,80
23/04/2010	01:14:00	0,2	0,80	25/04/2010	17:26:00	0	0,00
23/04/2010	01:29:00	0,4	1,60	26/04/2010	07:25:00	0	0,00
23/04/2010	01:44:00	0,4	1,60	26/04/2010	08:25:00	0,2	0,20
23/04/2010	01:59:00	0	0,00	26/04/2010	09:25:00	0	0,00
25/04/2010	02:57:00	0	0,00	02/05/2010	23:34:00	0	0,00
25/04/2010	03:12:00	0,2	0,80	02/05/2010	23:49:00	0,2	0,80
25/04/2010	03:27:00	0	0,00	03/05/2010	00:04:00	0	0,00
25/04/2010	06:41:00	0,2	0,06	03/05/2010	00:14:00	0,2	0,80



03/05/2010	00:29:00	1,2	4,80	03/05/2010	07:29:00	0	0,00
03/05/2010	00:44:00	18,6	74,40	16/05/2010	19:04:00	0	0,00
03/05/2010	00:59:00	3,6	14,40	16/05/2010	19:19:00	0,2	0,80
03/05/2010	01:14:00	3,4	13,60	16/05/2010	19:34:00	0,2	0,80
03/05/2010	01:29:00	1	4,00	16/05/2010	19:49:00	0	0,00
03/05/2010	01:44:00	0,6	2,40	16/05/2010	20:04:00	0,2	0,80
03/05/2010	01:59:00	1	4,00	16/05/2010	20:19:00	0	0,00
03/05/2010	02:14:00	2,4	9,60	16/05/2010	20:34:00	0,2	0,80
03/05/2010	02:29:00	1,2	4,80	16/05/2010	20:49:00	0	0,00
03/05/2010	02:44:00	8,2	32,80	16/05/2010	21:04:00	0	0,00
03/05/2010	02:59:00	12,2	48,80	16/05/2010	21:19:00	0,2	0,80
03/05/2010	03:14:00	4,4	17,60	16/05/2010	21:34:00	0	0,00
03/05/2010	03:29:00	1,6	6,40	17/05/2010	06:04:00	0	0,00
03/05/2010	03:44:00	2,2	8,80	17/05/2010	06:19:00	0,2	0,80
03/05/2010	03:59:00	2,6	10,40	17/05/2010	06:34:00	0,2	0,80
03/05/2010	04:14:00	2,2	8,80	17/05/2010	06:49:00	0,2	0,80
03/05/2010	04:29:00	3,4	13,60	17/05/2010	07:04:00	0	0,00
03/05/2010	04:44:00	3	12,00	17/05/2010	07:19:00	0,2	0,80
03/05/2010	04:59:00	2,6	10,40	17/05/2010	07:34:00	0,2	0,80
03/05/2010	05:14:00	2,6	10,40	17/05/2010	07:49:00	0,4	1,60
03/05/2010	05:29:00	2,6	10,40	17/05/2010	08:04:00	0	0,00
03/05/2010	05:44:00	2,8	11,20	17/05/2010	08:19:00	0,4	1,60
03/05/2010	05:59:00	2	8,00	17/05/2010	08:34:00	0,2	0,80
03/05/2010	06:14:00	1,6	6,40	17/05/2010	08:49:00	0,2	0,80
03/05/2010	06:29:00	2,4	9,60	17/05/2010	09:04:00	0,4	1,60
03/05/2010	06:44:00	1,4	5,60	17/05/2010	09:19:00	0,2	0,80
03/05/2010	06:59:00	0,6	2,40	17/05/2010	09:34:00	0,4	1,60
03/05/2010	07:14:00	0	0,00	17/05/2010	09:49:00	0,2	0,80



17/05/2010	10:04:00	0,2	0,80	18/05/2010	02:03:00	0,4	1,60
17/05/2010	10:34:00	0,2	0,40	18/05/2010	02:18:00	0,8	3,20
17/05/2010	11:19:00	0,2	0,27	18/05/2010	02:33:00	1	4,00
17/05/2010	11:34:00	0	0,00	18/05/2010	02:48:00	1,6	6,40
17/05/2010	11:49:00	0,2	0,80	18/05/2010	03:03:00	0,6	2,40
17/05/2010	12:49:00	0,4	0,40	18/05/2010	03:18:00	0,4	1,60
17/05/2010	13:33:00	0,4	0,55	18/05/2010	03:33:00	0,4	1,60
17/05/2010	13:48:00	0,4	1,60	18/05/2010	03:48:00	0,4	1,60
17/05/2010	14:03:00	0,2	0,80	18/05/2010	04:03:00	0,2	0,80
17/05/2010	16:18:00	0,2	0,09	18/05/2010	04:18:00	0,4	1,60
17/05/2010	16:33:00	0,2	0,80	18/05/2010	04:33:00	0,2	0,80
17/05/2010	17:18:00	0,2	0,27	18/05/2010	04:48:00	0,2	0,80
17/05/2010	17:33:00	0,8	3,20	18/05/2010	05:48:00	0,2	0,20
17/05/2010	17:48:00	0,2	0,80	18/05/2010	09:33:00	0,2	0,05
17/05/2010	20:03:00	0,2	0,09	18/05/2010	10:03:00	0,2	0,40
17/05/2010	21:33:00	0,2	0,13	18/05/2010	10:48:00	0,6	0,80
17/05/2010	22:18:00	0,2	0,27	18/05/2010	11:03:00	0,4	1,60
17/05/2010	22:33:00	0,8	3,20	18/05/2010	11:18:00	0,4	1,60
17/05/2010	22:48:00	0,4	1,60	18/05/2010	11:33:00	0,4	1,60
17/05/2010	23:03:00	0,2	0,80	18/05/2010	11:48:00	0,2	0,80
17/05/2010	23:18:00	1,2	4,80	18/05/2010	12:18:00	0,2	0,40
17/05/2010	23:33:00	0	0,00	18/05/2010	12:33:00	0,4	1,60
17/05/2010	23:48:00	0	0,00	18/05/2010	12:48:00	0,6	2,40
18/05/2010	00:03:00	0,2	0,80	18/05/2010	13:03:00	0,2	0,80
18/05/2010	01:03:00	0,2	0,20	18/05/2010	13:18:00	0,2	0,80
18/05/2010	01:18:00	0,4	1,60	18/05/2010	13:33:00	0,2	0,80
18/05/2010	01:33:00	0,6	2,40	18/05/2010	13:48:00	0,2	0,80
18/05/2010	01:48:00	0,2	0,80	18/05/2010	14:02:00	0,2	0,86



18/05/2010	14:47:00	0,2	0,27	27/06/2010	17:21:00	0,2	0,80
18/05/2010	15:32:00	0,2	0,27	27/06/2010	17:36:00	0,2	0,80
18/05/2010	19:02:00	0,2	0,06	27/06/2010	17:51:00	0,2	0,80
18/05/2010	22:32:00	0	0,00	27/06/2010	18:21:00	0,2	0,40
02/06/2010	08:03:00	0	0,00	27/06/2010	18:51:00	0,2	0,40
02/06/2010	08:18:00	0,2	0,80	27/06/2010	19:21:00	0,2	0,40
02/06/2010	08:33:00	0	0,00	27/06/2010	19:36:00	0,2	0,80
04/06/2010	06:48:00	0	0,00	27/06/2010	20:06:00	0,2	0,40
04/06/2010	07:02:00	0,2	0,86	27/06/2010	20:36:00	0,2	0,40
04/06/2010	07:16:00	0	0,00	27/06/2010	20:51:00	0,2	0,80
06/06/2010	04:45:00	0	0,00	27/06/2010	21:06:00	0,2	0,80
06/06/2010	05:00:00	0,2	0,80	27/06/2010	21:21:00	0,2	0,80
06/06/2010	05:15:00	0	0,00	27/06/2010	21:51:00	0,2	0,40
06/06/2010	14:44:00	0,2	0,02	27/06/2010	22:21:00	0	0,00
06/06/2010	14:59:00	0	0,00	29/06/2010	06:34:00	0	0,00
07/06/2010	10:59:00	0	0,00	29/06/2010	06:49:00	0,2	0,80
07/06/2010	11:14:00	0,2	0,80	29/06/2010	07:04:00	0	0,00
07/06/2010	11:29:00	0	0,00	11/07/2010	23:10:00	0	0,00
08/06/2010	07:58:00	0	0,00	11/07/2010	23:25:00	0,6	2,40
08/06/2010	08:13:00	0,2	0,80	11/07/2010	23:40:00	0,2	0,80
08/06/2010	08:28:00	0	0,00	11/07/2010	23:55:00	0	0,00
25/06/2010	09:53:00	0	0,00	12/07/2010	00:29:00	0	0,00
25/06/2010	10:08:00	0,2	0,80	12/07/2010	00:44:00	3,8	15,20
25/06/2010	10:23:00	1	4,00	12/07/2010	00:59:00	0,4	1,60
25/06/2010	10:38:00	1,2	4,80	12/07/2010	01:14:00	0,8	3,20
25/06/2010	11:08:00	0,2	0,40	12/07/2010	01:44:00	0,2	0,40
25/06/2010	11:23:00	0	0,00	12/07/2010	02:14:00	0,2	0,40
27/06/2010	17:06:00	0	0,00	12/07/2010	03:14:00	0,2	0,20



12/07/2010	04:14:00	0	0,00	18/07/2010	10:38:00	0,4	1,60
17/07/2010	17:09:00	0	0,00	18/07/2010	11:08:00	0,2	0,40
17/07/2010	17:39:00	0,2	0,40	18/07/2010	11:23:00	0,2	0,80
17/07/2010	18:09:00	0,2	0,40	18/07/2010	11:38:00	0,2	0,80
17/07/2010	18:24:00	0,2	0,80	18/07/2010	12:23:00	0,2	0,27
17/07/2010	18:39:00	0,4	1,60	18/07/2010	12:53:00	0,2	0,40
17/07/2010	18:54:00	0,2	0,80	18/07/2010	14:08:00	0,2	0,16
17/07/2010	19:09:00	0,2	0,80	18/07/2010	14:38:00	0,6	1,20
17/07/2010	20:24:00	0,2	0,16	18/07/2010	14:53:00	0,2	0,80
17/07/2010	20:39:00	2,4	9,60	18/07/2010	15:08:00	0,2	0,80
17/07/2010	20:54:00	0,6	2,40	18/07/2010	15:23:00	0,2	0,80
17/07/2010	21:09:00	0,2	0,80	18/07/2010	15:38:00	0,2	0,80
17/07/2010	21:24:00	0,2	0,80	18/07/2010	16:23:00	0,8	1,07
17/07/2010	23:09:00	0,2	0,11	18/07/2010	16:38:00	0,2	0,80
17/07/2010	23:24:00	0	0,00	18/07/2010	16:53:00	1	4,00
17/07/2010	23:39:00	0,2	0,80	18/07/2010	17:08:00	0,8	3,20
17/07/2010	23:54:00	0	0,00	18/07/2010	17:23:00	0,6	2,40
18/07/2010	00:24:00	0	0,00	18/07/2010	17:38:00	0,6	2,40
18/07/2010	01:09:00	0,2	0,27	18/07/2010	17:53:00	0,4	1,60
18/07/2010	01:54:00	0,2	0,27	18/07/2010	18:08:00	0,2	0,80
18/07/2010	05:54:00	0,2	0,05	18/07/2010	18:23:00	0,4	1,60
18/07/2010	06:53:00	0,2	0,20	18/07/2010	18:38:00	0,2	0,80
18/07/2010	08:23:00	0,2	0,13	18/07/2010	18:53:00	0,2	0,80
18/07/2010	08:38:00	0,4	1,60	18/07/2010	19:08:00	0,4	1,60
18/07/2010	09:08:00	0,2	0,40	18/07/2010	19:23:00	0,2	0,80
18/07/2010	09:38:00	0,2	0,40	18/07/2010	19:38:00	0,2	0,80
18/07/2010	10:08:00	0,4	0,80	18/07/2010	19:53:00	0,2	0,80
18/07/2010	10:23:00	0,6	2,40	18/07/2010	20:23:00	0,2	0,40



18/07/2010	20:53:00	0,6	1,20	25/07/2010	03:17:00	1	4,00
18/07/2010	21:08:00	0,2	0,80	25/07/2010	03:32:00	1,4	5,60
18/07/2010	21:38:00	0,2	0,40	25/07/2010	03:47:00	0	0,00
18/07/2010	21:53:00	0,4	1,60	26/07/2010	08:31:00	0	0,00
18/07/2010	22:08:00	0,2	0,80	26/07/2010	08:46:00	0,2	0,80
18/07/2010	22:38:00	0,2	0,40	26/07/2010	09:01:00	0	0,00
18/07/2010	22:53:00	0,2	0,80	28/08/2010	14:44:00	0	0,00
18/07/2010	23:08:00	0,2	0,80	28/08/2010	14:59:00	0,6	2,40
18/07/2010	23:23:00	0,2	0,80	28/08/2010	15:14:00	0,4	1,60
18/07/2010	23:38:00	0,2	0,80	28/08/2010	15:29:00	0,2	0,80
18/07/2010	23:53:00	0	0,00	28/08/2010	15:44:00	0	0,00
19/07/2010	00:08:00	0,2	0,80	28/08/2010	15:59:00	0	0,00
19/07/2010	07:22:00	0,2	0,03	28/08/2010	16:14:00	0	0,00
19/07/2010	07:37:00	0	0,00	28/08/2010	16:29:00	0,4	1,60
20/07/2010	22:51:00	0	0,00	28/08/2010	16:44:00	0	0,00
20/07/2010	23:06:00	0,2	0,80	30/08/2010	01:58:00	0	0,00
20/07/2010	23:21:00	0	0,00	30/08/2010	03:28:00	0,2	0,13
21/07/2010	08:50:00	0	0,00	30/08/2010	04:58:00	1	0,67
21/07/2010	09:05:00	0,2	0,80	30/08/2010	05:13:00	0,4	1,60
21/07/2010	09:20:00	0	0,00	30/08/2010	05:28:00	0,2	0,80
21/07/2010	09:35:00	0	0,00	30/08/2010	05:43:00	0	0,00
21/07/2010	09:50:00	0,2	0,80	30/08/2010	05:58:00	0	0,00
21/07/2010	10:05:00	0	0,00	30/08/2010	06:13:00	2,6	10,40
22/07/2010	03:50:00	0	0,00	30/08/2010	06:28:00	2,2	8,80
22/07/2010	04:05:00	0,2	0,80	30/08/2010	06:43:00	0	0,00
22/07/2010	12:19:00	0,2	0,02	30/08/2010	06:58:00	0	0,00
22/07/2010	12:34:00	0	0,00	30/08/2010	07:13:00	0,2	0,80
25/07/2010	03:02:00	0	0,00	30/08/2010	08:58:00	0,2	0,11



30/08/2010	10:43:00	0	0,00				
31/08/2010	23:42:00	0	0,00				
31/08/2010	23:57:00	0,2	0,80				
31/08/2010	00:12:00	0	0,00				

Tabla I. 2. Datos de Evaporación diaria de la Estación Meteorológica de la Facultad de Ingeniería - UNNE

Fecha [dd/mm/aaaa]	Evaporación [mm]	Fecha [dd/mm/aaaa]	Evaporación [mm]	Fecha [dd/mm/aaaa]	Evaporación [mm]
01/09/2009	4	10/10/2009	2.7	18/11/2009	3.4
02/09/2009	4.5	11/10/2009	9	19/11/2009	4.1
03/09/2009	2.4	12/10/2009	2.8	20/11/2009	4.3
04/09/2009	1.4	13/10/2009	6.8	21/11/2009	1.1
05/09/2009	5.2	14/10/2009	4.6	22/11/2009	3.4
06/09/2009	3.4	15/10/2009	6.7	23/11/2009	3.8
07/09/2009	4.4	16/10/2009	5.3	24/11/2009	2.5
08/09/2009	3.2	17/10/2009	5.5	25/11/2009	1.2
09/09/2009	6.5	18/10/2009	6.6	26/11/2009	3.1
10/09/2009	3.3	19/10/2009	7.4	27/11/2009	0.9
11/09/2009	4	20/10/2009	6.2	28/11/2009	2.1
12/09/2009	3.9	21/10/2009	7.0	29/11/2009	0.8
13/09/2009	1.3	22/10/2009	1.3	30/11/2009	2.3
14/09/2009	4	23/10/2009	3.3	01/12/2009	3.8
15/09/2009	4.7	24/10/2009	4.1	02/12/2009	4.7
16/09/2009	3.2	25/10/2009	2.6	03/12/2009	6.8
17/09/2009	4	26/10/2009	4.7	04/12/2009	7.7
18/09/2009	2.9	27/10/2009	3.7	05/12/2009	6.8
19/09/2009	3.7	28/10/2009	3.8	06/12/2009	0
20/09/2009	4.6	29/10/2009	4.7	07/12/2009	1.2
21/09/2009	5.4	30/10/2009	6.8	08/12/2009	4.3
22/09/2009	3.7	31/10/2009	9.8	09/12/2009	4.4
23/09/2009	3.4	01/11/2009	11	10/12/2009	2.8
24/09/2009	2.1	02/11/2009	10.5	11/12/2009	4.9
25/09/2009	3.2	03/11/2009	7.6	12/12/2009	0
26/09/2009	5.3	04/11/2009	5.5	13/12/2009	5
27/09/2009	4	05/11/2009	8.5	14/12/2009	7.8
28/09/2009	2.1	06/11/2009	5.5	15/12/2009	6.7
29/09/2009	2.8	07/11/2009	2.5	16/12/2009	7.8
30/09/2009	4.4	08/11/2009	3.3	17/12/2009	7.2
01/10/2009	3	09/11/2009	17.0	18/12/2009	0
02/10/2009	4.3	10/11/2009	1.1	19/12/2009	2.2
03/10/2009	5.8	11/11/2009	1.7	20/12/2009	7.5
04/10/2009	4.2	12/11/2009	1.8	21/12/2009	0
05/10/2009	25.5	13/11/2009	3.1	22/12/2009	2.9
06/10/2009	6.2	14/11/2009	3.2	23/12/2009	6.6
07/10/2009	3.7	15/11/2009	3.4	24/12/2009	3.6



08/10/2009	3.3	16/11/2009	3.0	25/12/2009	2.6
09/10/2009	3.2	17/11/2009	17.0	26/12/2009	3.5
27/12/2009	3.9	14/02/2010	5.5	04/04/2010	1
28/12/2009	6.6	15/02/2010	0.4	05/04/2010	3.4
29/12/2009	5.1	16/02/2010	0	06/04/2010	2.7
30/12/2009	7.3	17/02/2010	0	07/04/2010	4.3
31/12/2009	0.4	18/02/2010	5.5	08/04/2010	4.6
01/01/2010	0.6	19/02/2010	5.9	09/04/2010	3.5
02/01/2010	18.9	20/02/2010	0	10/04/2010	3.6
03/01/2010	4.5	21/02/2010	11.2	11/04/2010	4.1
04/01/2010	2.3	22/02/2010	1.0	12/04/2010	2.5
05/01/2010	7.8	23/02/2010	0.7	13/04/2010	3.2
06/01/2010	5.3	24/02/2010	0.9	14/04/2010	2
07/01/2010	3.9	25/02/2010	2.8	15/04/2010	3
08/01/2010	5.7	26/02/2010	0.5	16/04/2010	6.5
09/01/2010	11.3	27/02/2010	0.8	17/04/2010	3
10/01/2010	9.5	28/02/2010	0.1	18/04/2010	3.7
11/01/2010	1.9	01/03/2010	2.3	19/04/2010	2.8
12/01/2010	15.6	02/03/2010	6.1	20/04/2010	10.4
13/01/2010	1.8	03/03/2010	3	21/04/2010	7.2
14/01/2010	1.1	04/03/2010	3.2	22/04/2010	4.6
15/01/2010	0.8	05/03/2010	1.8	23/04/2010	2.3
16/01/2010	1.3	06/03/2010	6.6	24/04/2010	4.3
17/01/2010	2.8	07/03/2010	5.9	25/04/2010	2.4
18/01/2010	5.7	08/03/2010	6.2	26/04/2010	0.9
19/01/2010	0	09/03/2010	6.2	27/04/2010	2.2
20/01/2010	0	10/03/2010	5.6	28/04/2010	2.4
21/01/2010	0.5	11/03/2010	4.5	29/04/2010	3
22/01/2010	0.7	12/03/2010	5.9	30/04/2010	3.1
23/01/2010	0.6	13/03/2010	7.5	01/05/2010	2.4
24/01/2010	1	14/03/2010	3.7	02/05/2010	3
25/01/2010	4.8	15/03/2010	3.5	03/05/2010	0
26/01/2010	4.1	16/03/2010	5.7	04/05/2010	0.7
27/01/2010	6.5	17/03/2010	4.6	05/05/2010	2.1
28/01/2010	6.5	18/03/2010	5.1	06/05/2010	2.6
29/01/2010	7.1	19/03/2010	4.9	07/05/2010	1
30/01/2010	6.8	20/03/2010	1.3	08/05/2010	1.6
31/01/2010	8.8	21/03/2010	2.9	09/05/2010	2.3
01/02/2010	0.4	22/03/2010	6.6	10/05/2010	3.7
02/02/2010	11.8	23/03/2010	0	11/05/2010	2.3
03/02/2010	7	24/03/2010	1.4	12/05/2010	2.3
04/02/2010	10.8	25/03/2010	5.7	13/05/2010	1.6
05/02/2010	5.3	26/03/2010	2.5	14/05/2010	1.4
06/02/2010	5.2	27/03/2010	3.4	15/05/2010	2.8
07/02/2010	8.7	28/03/2010	3.5	16/05/2010	5.7
08/02/2010	1.1	29/03/2010	4	17/05/2010	0
09/02/2010	10.9	30/03/2010	5.7	18/05/2010	0
10/02/2010	1.1	31/03/2010	4.2	19/05/2010	0.4
11/02/2010	1	01/04/2010	4.2	20/05/2010	0.7



12/02/2010	0.9	02/04/2010	4.3	21/05/2010	0
13/02/2010	5	03/04/2010	5.7	22/05/2010	0.7
23/05/2010	1.7	11/07/2010	2.7	29/08/2010	2
24/05/2010	0	12/07/2010	0	30/08/2010	2.1
25/05/2010	0	13/07/2010	2.5	31/08/2010	0.8
26/05/2010	0	14/07/2010	1.4		
27/05/2010	3.2	15/07/2010	1.5		
28/05/2010	0	16/07/2010	0.9		
29/05/2010	0	17/07/2010	1.3		
30/05/2010	0	18/07/2010	2.7		
31/05/2010	0	19/07/2010	Sin Datos		
01/06/2010	0.3	20/07/2010	Sin Datos		
02/06/2010	0.8	21/07/2010	Sin Datos		
03/06/2010	1.5	22/07/2010	Sin Datos		
04/06/2010	0.7	23/07/2010	Sin Datos		
05/06/2010	1	24/07/2010	Sin Datos		
06/06/2010	1.9	25/07/2010	Sin Datos		
07/06/2010	0.3	26/07/2010	Sin Datos		
08/06/2010	0.8	27/07/2010	Sin Datos		
09/06/2010	2.5	28/07/2010	Sin Datos		
10/06/2010	1.5	29/07/2010	1.4		
11/06/2010	1.1	30/07/2010	0		
12/06/2010	1	31/07/2010	5.6		
13/06/2010	0.7	01/08/2010	3.2		
14/06/2010	1.5	02/08/2010	2.7		
15/06/2010	1.5	03/08/2010	0		
16/06/2010	1.4	04/08/2010	2.2		
17/06/2010	0.9	05/08/2010	2		
18/06/2010	0.5	06/08/2010	1.6		
19/06/2010	1.1	07/08/2010	2		
20/06/2010	1.6	08/08/2010	2.1		
21/06/2010	2.3	09/08/2010	2.3		
22/06/2010	0.9	10/08/2010	2.1		
23/06/2010	0.6	11/08/2010	2.2		
24/06/2010	0.3	12/08/2010	1.5		
25/06/2010	0.7	13/08/2010	2.7		
26/06/2010	0.6	14/08/2010	1.7		
27/06/2010	0.6	15/08/2010	0.8		
28/06/2010	1.2	16/08/2010	3.6		
29/06/2010	1.2	17/08/2010	2		
30/06/2010	0.2	18/08/2010	3.1		
01/07/2010	0.3	19/08/2010	3.4		
02/07/2010	0.9	20/08/2010	2.6		
03/07/2010	1.6	21/08/2010	3.4		
04/07/2010	2.9	22/08/2010	3.3		
05/07/2010	1.8	23/08/2010	4.7		
06/07/2010	2	24/08/2010	4.3		
07/07/2010	2.3	25/08/2010	1.5		
08/07/2010	2.8	26/08/2010	1.9		



09/07/2010	1.1	27/08/2010	0.9		
10/07/2010	0	28/08/2010	1.6		



ANEXO II - PLANILLA DE CARGAS DE SEDIMENTO EN TIEMPO SECO



Tabla II. 1. Peso de las muestras obtenidas durante el monitoreo en tiempo seco

Fecha de toma	Cuadra	Distancia	Margen	Nº de Muestra	Tipo	Porta-muestra	Peso del PM	Peso PM + SH	Peso del PM+SS	Peso SH	Peso SS	W
		[m]					[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]
30/05/11	1	110	Derecha	1	Movil	Plato 9	181,6	215,17	214,89	33,57	33,29	0,84%
				2	Fija	Plato 57	180,98	201,71	201,46	20,73	20,48	1,22%
		110	Izquierda	3	Movil	Plato 28	168,56	212,17	211,87	43,61	43,31	0,69%
				4	Fija	Plato 58	182,47	196,37	196,28	13,9	13,81	0,65%
	2	208	Derecha	5	Movil	Plato 30	168,77	193,45	193,3	24,68	24,53	0,61%
				6	Fija	Plato 51	158,53	170,49	170,4	11,96	11,87	0,75%
		208	Izquierda	7	Movil	Plato 29	165,55	215,84	215,53	67,47	67,07	0,60%
				8		Plato 21	183,77	200,95	200,86			
				9	Fija	Plato B2	176,26	183,05	183	6,79	6,74	0,74%
31/05/11	2	218	Derecha	10	Movil	244	28,74	53,68	53,3	24,94	24,56	1,55%
				11	Fija	284	28,28	38,78	38,65	10,5	10,37	1,25%
		225	Izquierda	12	Movil	227	28,42	147,67	146,7	119,25	118,28	0,82%
				13	Fija	232	28,7	48,48	48,3	19,78	19,6	0,92%
	1	55	Derecha	14	Movil	216	28,7	50,41	50,14	21,71	21,44	1,26%
				15	Fija	312	27,44	71,3	70,85	43,86	43,41	1,04%
		108	Izquierda	16	Movil	305	27,79	119,29	118,52	91,5	90,73	0,85%
				17	Fija	253	28,16	50,67	50,28	22,51	22,12	1,76%
	3	311	Derecha	18	Movil	276	27,47	60,89	60,55	33,42	33,08	1,03%
				19	Fija	242	28,77	41,83	41,72	13,06	12,95	0,85%
		321	Izquierda	20	Movil	274	28,86	150,83	149,93	155,96	154,81	0,74%
				21		217	28,45	62,44	62,19			
01/06/11	2	185	Derecha	22	Movil	261	27,29	45,56	45,26	18,27	17,97	1,67%
				23	Fija	239	28,69	58,94	58,71	30,25	30,02	0,77%
		186	Izquierda	24	Movil	275	27,26	46,83	46,52	19,57	19,26	1,61%
				25	Fija	231	27,62	48,07	47,89	20,45	20,27	0,89%
	1	98	Derecha	26	Movil	265	27,97	74,12	73,63	46,15	45,66	1,07%
				27	Fija	280	28,33	38,49	38,36	10,16	10,03	1,30%
		51	Izquierda	28	Movil	272	28,24	56,9	56,44	28,66	28,2	1,63%
				29	Fija	---	---	---	---	---	---	---
	3	268	Derecha	30	Movil	269	28,46	54,34	54,12	25,88	25,66	0,86%
				31	Fija	250	28,42	35,93	35,84	7,51	7,42	1,21%
		262	Izquierda	32	Movil	246	28,52	71,75	71,44	43,23	42,92	0,72%
				33	Fija	267	28,32	36,14	36,07	7,82	7,75	0,90%
02/06/11	1	41	Derecha	34	Movil	245	28,68	63,57	63,03	34,89	34,35	1,57%
				35	Fija	253	28,16	48,71	48,33	20,55	20,17	1,88%
		25	Izquierda	36	Movil	274	28,86	44,56	44,39	15,7	15,53	1,09%
				37	Fija	269	28,46	37,3	37,15	8,84	8,69	1,73%
	2	145	Izquierda	38	Movil	246	28,6	59,84	59,28	31,24	30,68	1,83%



Tabla II. 1. Peso de las muestras obtenidas durante el monitoreo en tiempo seco

Fecha de toma	Cuadra	Distancia	Margen	Nº de Muestra	Tipo	Porta-muestra	Peso del PM	Peso PM + SH	Peso del PM+SS	Peso SH	Peso SS	W
		[m]					[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]
30/05/11	1	110	Derecha	1	Movil	Plato 9	181,6	215,17	214,89	33,57	33,29	0,84%
				2	Fija	Plato 57	180,98	201,71	201,46	20,73	20,48	1,22%
		110	Izquierda	3	Movil	Plato 28	168,56	212,17	211,87	43,61	43,31	0,69%
				4	Fija	Plato 58	182,47	196,37	196,28	13,9	13,81	0,65%
	2	208	Derecha	5	Movil	Plato 30	168,77	193,45	193,3	24,68	24,53	0,61%
				6	Fija	Plato 51	158,53	170,49	170,4	11,96	11,87	0,75%
		208	Izquierda	7	Movil	Plato 29	165,55	215,84	215,53	67,47	67,07	0,60%
				8		Plato 21	183,77	200,95	200,86			
				9	Fija	Plato B2	176,26	183,05	183	6,79	6,74	0,74%
31/05/11	2	218	Derecha	10	Movil	244	28,74	53,68	53,3	24,94	24,56	1,55%
				11	Fija	284	28,28	38,78	38,65	10,5	10,37	1,25%
		225	Izquierda	12	Movil	227	28,42	147,67	146,7	119,25	118,28	0,82%
				13	Fija	232	28,7	48,48	48,3	19,78	19,6	0,92%
	1	55	Derecha	14	Movil	216	28,7	50,41	50,14	21,71	21,44	1,26%
				15	Fija	312	27,44	71,3	70,85	43,86	43,41	1,04%
		108	Izquierda	16	Movil	305	27,79	119,29	118,52	91,5	90,73	0,85%
				17	Fija	253	28,16	50,67	50,28	22,51	22,12	1,76%
	3	311	Derecha	18	Movil	276	27,47	60,89	60,55	33,42	33,08	1,03%
				19	Fija	242	28,77	41,83	41,72	13,06	12,95	0,85%
		321	Izquierda	20	Movil	274	28,86	150,83	149,93	155,96	154,81	0,74%
				217		28,45	62,44	62,19				
				21	Fija	245	28,69	46,81	46,66	18,12	17,97	0,83%
01/06/11	2	185	Derecha	22	Movil	261	27,29	45,56	45,26	18,27	17,97	1,67%
				23	Fija	239	28,69	58,94	58,71	30,25	30,02	0,77%
		186	Izquierda	24	Movil	275	27,26	46,83	46,52	19,57	19,26	1,61%
				25	Fija	231	27,62	48,07	47,89	20,45	20,27	0,89%
	1	98	Derecha	26	Movil	265	27,97	74,12	73,63	46,15	45,66	1,07%
				27	Fija	280	28,33	38,49	38,36	10,16	10,03	1,30%
		51	Izquierda	28	Movil	272	28,24	56,9	56,44	28,66	28,2	1,63%
				29	Fija	---	---	---	---	---	---	---
	3	268	Derecha	30	Movil	269	28,46	54,34	54,12	25,88	25,66	0,86%
				31	Fija	250	28,42	35,93	35,84	7,51	7,42	1,21%
		262	Izquierda	32	Movil	246	28,52	71,75	71,44	43,23	42,92	0,72%
				33	Fija	267	28,32	36,14	36,07	7,82	7,75	0,90%
02/06/11	1	41	Derecha	34	Movil	245	28,68	63,57	63,03	34,89	34,35	1,57%
				35	Fija	253	28,16	48,71	48,33	20,55	20,17	1,88%
		25	Izquierda	36	Movil	274	28,86	44,56	44,39	15,7	15,53	1,09%
				37	Fija	269	28,46	37,3	37,15	8,84	8,69	1,73%
	2	145	Izquierda	38	Movil	246	28,6	59,84	59,28	31,24	30,68	1,83%



		150	Derecha	39	Fija	227	28,39	82,24	81,46	53,85	53,07	1,47%
				40	Movil	215	29,17	87,79	87,24	58,62	58,07	0,95%
				41	Fija	242	28,77	83,67	83,06	54,9	54,29	1,12%
	3	281	Izquierda	42	Movil	217	28,42	43,59	43,47	15,17	15,05	0,80%
				43	Fija	272	28,25	50,51	50,26	22,26	22,01	1,14%
		278	Derecha	44	Movil	284	28,28	51,84	51,64	23,56	23,36	0,86%
04/06/11	1	81	Derecha	45	Fija	265	27,98	53,65	53,38	25,67	25,4	1,06%
				46	Movil	244	28,73	38,71	38,59	9,98	9,86	1,22%
		40	Izquierda	47	Fija	225	27,14	41,77	41,6	14,63	14,46	1,18%
				48	Movil	218	28,7	89,36	88,97	60,66	60,27	0,65%
	2	170	Derecha	49	Fija	280	28,31	76,1	75,65	47,79	47,34	0,95%
				50	Movil	250	28,41	61,06	60,8	32,65	32,39	0,80%
		176	Izquierda	51	Fija	276	27,48	65,51	65,13	38,03	37,65	1,01%
				52	Movil	239	28,68	93,88	93,47	65,2	64,79	0,63%
	3	260	Derecha	53	Fija	261	27,29	97,73	97,21	70,44	69,92	0,74%
				54	Movil	275	27,23	35,03	34,97	7,8	7,74	0,78%
		262	Izquierda	55	Fija	305	27,79	35,48	35,38	7,69	7,59	1,32%
				56	Movil	312	27,42	63,76	63,48	36,34	36,06	0,78%
05/06/11	1	109	Derecha	57	Fija	232	28,07	42,82	42,73	14,75	14,66	0,61%
				58	Movil	267	28,41	56,61	56,28	28,2	27,87	1,18%
		109	Izquierda	59	Fija	274	28,65	51,06	50,75	22,41	22,1	1,40%
				60	Movil	272	28,2	71,6	71,32	43,4	43,12	0,65%
	2	145	Izquierda	61	Fija	242	28,76	116,56	115,87	87,8	87,11	0,79%
				62	Movil	253	28,13	79,56	79,19	51,43	51,06	0,72%
		146	Derecha	63	Fija	246	28,36	48,21	48,00	19,85	19,64	1,07%
				64	Movil	265	27,95	81,93	81,5	53,98	53,55	0,80%
	3	291	Derecha	65	Fija	217	28,55	85,94	85,42	57,39	56,87	0,91%
				66	Movil	284	28,27	56,9	56,57	28,63	28,3	1,17%
		299	Izquierda	67	Fija	269	28,43	46,19	45,96	17,76	17,53	1,31%
				68	Movil	245	28,68	123,21	122,6	94,53	93,92	0,65%
06/06/11	1	72	Derecha	69	Fija	215	29,12	49,54	49,36	20,42	20,24	0,89%
				70	Movil	276	27,46	90,25	89,66	62,79	62,2	0,95%
		74	Izquierda	71	Fija	312	27,44	43,99	43,76	16,55	16,32	1,41%
				72	Movil	250	28,4	55,87	55,53	27,47	27,13	1,25%
	2	185	Derecha	73	Fija	244	28,73	75,5	74,74	46,77	46,01	1,65%
				74	Movil	305	27,79	67,66	67,18	39,87	39,39	1,22%
		186	Izquierda	75	Fija	239	28,69	72,5	71,79	43,81	43,1	1,65%
				76	Movil	216	28,69	89,91	89,39	61,22	60,7	0,86%
	3	308	Derecha	77	Fija	280	28,31	61,49	61,05	33,18	32,74	1,34%
				78	Movil	261	28,17	67,64	66,26	39,47	38,09	3,62%
		308	Izquierda	79	Fija	275	27,26	46,89	46,33	19,63	19,07	2,94%
				80	Movil	232	28,68	78,67	78,2	49,99	49,52	0,95%
08/06/11	1	65	Derecha	81	Fija	225	27,14	43,58	43,44	16,44	16,3	0,86%
				82	Movil	227	28,4	142,34	141,38	130,76	129,71	0,81%



						245	28,68	45,5	45,41			
				83	Fija	265	27,94	70,57	70,15	42,63	42,21	1,00%
				84	Movil	Plato 57	180,98	302,01	301,48	121,03	120,5	0,44%
				85	Fija	272	28,22	47,57	47,42	19,35	19,2	0,78%
				86	Movil	242	28,26	61,39	61,1	33,13	32,84	0,88%
				87	Fija	284	28,28	42,87	42,69	14,59	14,41	1,25%
				88	Movil	215	29,12	140,4	139,8	119,05	118,39	0,56%
						217	28,42	36,19	36,13			
				89	Fija	Plato 51	158,53	326,77	325,87	168,24	167,34	0,54%
				90	Movil	274	28,85	91,13	90,64	62,28	61,79	0,79%
				91	Fija	253	28,15	33,49	33,41	5,34	5,26	1,52%
				92	Movil	Plato 58	182,48	312,47	311,88	129,99	129,4	0,46%
09/06/11				93	Fija	246	28,47	40,89	40,81	12,42	12,34	0,65%
				94	Movil	269	28,43	47,7	47,43	19,27	19	1,42%
				95	Fija	225	27,13	62,06	61,45	34,93	34,32	1,78%
				96	Movil	232	28,69	102,69	102,22	74,00	73,53	0,64%
				97	Fija	250	28,39	64,22	64,02	35,83	35,63	0,56%
				98	Movil	216	28,68	99,04	98,33	70,36	69,65	1,02%
				99	Fija	312	27,43	54,29	54,00	26,86	26,57	1,09%
				100	Movil	244	28,72	73,19	72,91	44,47	44,19	0,63%
				101	Fija	280	28,32	36,89	36,84	8,57	8,52	0,59%
				102	Movil	305	27,77	67,05	66,72	39,28	38,95	0,85%
				103	Fija	239	28,67	33,28	33,21	4,61	4,54	1,54%
				104	Movil	261	27,27	74,82	74,52	47,55	47,25	0,63%
10/06/11				105	Fija	276	27,46	32,96	32,93	5,5	5,47	0,55%
				106	Movil	272	28,21	65,8	65,38	37,59	37,17	1,13%
				107	Fija	274	28,85	60,46	60,00	31,61	31,15	1,48%
				108	Movil	253	28,14	44,35	44,28	16,21	16,14	0,43%
				109	Fija	242	28,77	69,85	69,58	41,08	40,81	0,66%
				110	Movil	246	28,49	90,55	90,2	62,06	61,71	0,57%
				111	Fija	217	28,4	91,45	91,05	63,05	62,65	0,64%
				112	Movil	265	27,96	94,49	94,08	66,53	66,12	0,62%
				113	Fija	215	29,13	112,85	112,41	83,72	83,28	0,53%
				114	Movil	227	28,42	64,21	63,86	35,79	35,44	0,99%
				115	Fija	284	28,29	34,93	34,89	6,64	6,6	0,61%
				116	Movil	Plato 57	180,99	299,07	298,6	118,08	117,61	0,40%
11/06/11				117	Fija	245	28,68	47,53	47,45	18,85	18,77	0,43%
				118	Movil	239	28,67	88,04	87,38	59,37	58,71	1,12%
				119	Fija	276	27,47	51,42	51,11	23,95	23,64	1,31%
				120	Movil	312	27,42	35,55	35,44	8,13	8,02	1,37%
				121	Fija	280	28,32	47,37	47,22	19,05	18,9	0,79%
				122	Movil	250	28,39	106,84	106,17	78,45	77,78	0,86%
				123	Fija	216	28,68	74,94	74,36	46,26	45,68	1,27%
				124	Movil	225	27,11	86,51	86,21	59,4	59,1	0,51%



	3	340	Derecha	125	Fija	305	27,78	75,91	75,6	48,13	47,82	0,65%
				126	Movil	Plato 58	182,47	364,67	363,62	182,2	181,15	0,58%
		340	Izquierda	127	Fija	269	28,42	46,26	46,08	17,84	17,66	1,02%
				128	Movil	232	28,68	77,38	77	48,7	48,32	0,79%
12/06/11	1	110	Derecha	129	Fija	261	27,29	59,34	58,97	32,05	31,68	1,17%
				130	Movil	242	28,77	80,83	80,3	52,06	51,53	1,03%
		113	Izquierda	131	Fija	244	28,73	60,56	60,14	31,83	31,41	1,34%
				132	Movil	274	28,85	76,54	76,19	47,69	47,34	0,74%
	2	170	Derecha	133	Fija	245	28,67	106,92	106,27	78,25	77,6	0,84%
				134	Movil	Plato 57	180,97	297,3	296,88	116,33	115,91	0,36%
		170	Izquierda	135	Fija	217	28,42	65,73	65,49	37,31	37,07	0,65%
				136	Movil	246	28,5	90,39	90,01	61,89	61,51	0,62%
	3	299	Derecha	137	Fija	215	29,14	96,56	96,16	67,42	67,02	0,60%
				138	Movil	265	27,93	45,44	45,27	17,51	17,34	0,98%
		281	Izquierda	139	Fija	227	28,44	46,36	46,23	17,92	17,79	0,73%
				140	Movil	272	28,2	78,05	77,65	49,85	49,45	0,81%
13/06/11	1	122	Derecha	141	Fija	284	28,26	86,64	86,13	58,38	57,87	0,88%
				142	Movil	239	28,66	52,32	52,11	23,66	23,45	0,90%
		114	Izquierda	143	Fija	269	28,43	58,23	57,89	29,8	29,46	1,15%
				144	Movil	305	27,79	110	109,55	82,21	81,76	0,55%
	2	223	Derecha	145	Fija	261	27,27	63,78	63,53	36,51	36,26	0,69%
				146	Movil	232	28,67	49,11	48,92	20,44	20,25	0,94%
		226	Izquierda	147	Fija	250	28,39	68,39	67,88	40	39,49	1,29%
				148	Movil	225	27,11	105,44	105	78,33	77,89	0,56%
	3	282	Derecha	149	Fija	Plato 58	182,49	373,36	372,13	190,87	189,64	0,65%
				150	Movil	216	28,68	42,8	42,65	14,12	13,97	1,07%
		284	Izquierda	151	Fija	312	27,43	43,7	43,5	16,27	16,07	1,24%
				152	Movil	280	28,32	72,92	72,61	44,6	44,29	0,70%
14/06/11	1	57	Derecha	153	Fija	253	28,13	48,31	48,13	20,18	20	0,90%
				154	Movil	215	29,14	68,35	65,71	39,21	36,57	7,22%
		61	Izquierda	155	Fija	274	28,65	64,69	64,27	36,04	35,62	1,18%
				156	Movil	244	28,73	41,85	41,778	13,12	13,048	0,55%
	2	166	Derecha	157	Fija	242	28,76	43,64	43,52	14,88	14,76	0,81%
				158	Movil	227	28,4	47,72	47,59	19,32	19,19	0,68%
		169	Izquierda	159	Fija	217	28,42	47,24	47,09	18,82	18,67	0,80%
				160	Movil	272	28,21	58,71	58,48	30,5	30,27	0,76%
	3	317	Derecha	161	Fija	245	28,68	63,44	63,18	34,76	34,5	0,75%
				162	Movil	265	27,96	41,63	41,5	13,67	13,54	0,96%
			Izquierda	163	Fija	284	28,66	41,78	41,67	13,12	13,01	0,85%
				164	Movil	---	---	---	---	---	---	---
15/06/11	1	51	Derecha	165	Fija	---	---	---	---	---	---	---
				166	Movil	312	27,41	59,41	59,08	32	31,67	1,04%
		48	Izquierda	167	Fija	232	28,67	63,35	62,94	34,68	34,27	1,20%
				168	Movil	225	27,13	49,46	49,37	22,33	22,24	0,40%



				169	Fija	280	28,31	41,84	41,74	13,53	13,43	0,74%
				170	Movil	253	28,13	79,95	79,52	51,82	51,39	0,84%
				171	Fija	250	28,38	55,1	54,78	26,72	26,4	1,21%
				172	Movil	216	28,68	50,08	49,93	21,4	21,25	0,71%
				173	Fija	261	27,28	89,79	89,48	62,51	62,2	0,50%
				174	Movil	305	27,78	72,75	72,33	44,97	44,55	0,94%
				175	Fija	269	28,44	51,74	51,47	23,3	23,03	1,17%
				176	Movil	239	28,66	38,05	37,96	9,39	9,3	0,97%
				177	Fija	276	27,49	35,86	35,81	8,37	8,32	0,60%
				178	Movil	242	28,78	40,96	40,87	12,18	12,09	0,74%
				179	Fija	246	28,49	37,72	37,65	9,23	9,16	0,76%
				180	Movil	215	29,14	66,87	66,7	37,73	37,56	0,45%
16/06/11	1	107	Derecha	181	Fija	284	28,26	62,42	62,25	34,16	33,99	0,50%
				182	Movil	245	28,68	57,3	56,98	28,62	28,3	1,13%
		111	Izquierda	183	Fija	265	27,95	70,43	69,83	42,48	41,88	1,43%
				184	Movil	227	28,41	32,01	31,99	3,6	3,58	0,56%
	2	231	Derecha	185	Fija	274	28,84	34,36	34,32	5,52	5,48	0,73%
				186	Movil	217	28,42	52,61	52,39	24,19	23,97	0,92%
		227	Izquierda	187	Fija	272	28,21	43,3	43,16	15,09	14,95	0,94%
				188	Movil	244	28,73	109,19	108,72	80,46	79,99	0,59%
	3	300	Derecha	189	Fija	Plato 57	180,95	295,17	294,77	114,22	113,82	0,35%
				190	Movil	269	28,42	108,6	107,68	80,18	79,26	1,16%
		315	Izquierda	191	Fija	305	27,79	73,62	72,7	45,83	44,91	2,05%
				192	Movil	239	28,67	42,45	42,27	13,78	13,6	1,32%
17/06/11	1	40	Derecha	193	Fija	312	27,42	52,99	52,6	25,57	25,18	1,55%
				194	Movil	261	27,28	57,58	57,17	30,30	29,89	1,37%
		40	Izquierda	195	Fija	250	28,37	49,86	49,52	21,49	21,15	1,61%
				196	Movil	232	28,67	54,25	53,96	25,58	25,29	1,15%
	2	199	Derecha	197	Fija	280	28,33	82,5	81,84	54,17	53,51	1,23%
				198	Movil	Plato 58	182,49	328,95	327,87	146,46	145,38	0,74%
		157	Izquierda	199	Fija	216	28,68	36,5	36,4	7,82	7,72	1,30%
				200	Movil	225	27,14	44,57	44,4	17,43	17,26	0,98%
	3	341	Derecha	201	Fija	276	27,47	36,46	36,38	8,99	8,91	0,90%
				202	Movil	227	28,39	48,55	48,35	20,16	19,96	1,00%
		348	Izquierda	203	Fija	242	28,77	46,88	46,67	18,11	17,9	1,17%
				204	Movil	272	28,22	45,4	45,18	17,18	16,96	1,30%
18/06/11	1	24	Derecha	205	Fija	274	28,84	88,53	87,72	59,69	58,88	1,38%
				206	Movil	244	28,73	46,86	46,59	18,13	17,86	1,51%
		25	Izquierda	207	Fija	284	28,28	64,02	63,41	35,74	35,13	1,74%
				208	Movil	245	28,67	39,4	39,3	10,73	10,63	0,94%
	2	170	Derecha	209	Fija	265	27,95	109,74	108,74	81,79	80,79	1,24%
				210	Movil	Plato 57	181	331,48	330,32	150,48	149,32	0,78%
		169	Izquierda	211	Fija	215	29,13	75,25	74,79	46,12	45,66	1,01%
				212	Movil	217	28,41	69,76	69,05	41,35	40,64	1,75%
	3	350	Derecha									
		348	Izquierda									



				213	Fija	246	28,49	56,57	56,17	28,08	27,68	1,45%
19/06/11	1	116	Derecha	214	Movil	225	27,12	46,61	46,34	19,49	19,22	1,40%
				215	Fija	276	27,48	47,3	46,97	19,82	19,49	1,69%
		115	Izquierda	216	Movil	305	27,77	116,92	116,24	89,15	88,47	0,77%
				217	Fija	216	28,67	64,67	64,3	36	35,63	1,04%
	2	158	Derecha	218	Movil	312	27,41	95,84	95,08	68,43	67,67	1,12%
				219	Fija	250	28,38	69,48	68,86	41,1	40,48	1,53%
		153	Izquierda	220	Movil	232	28,69	38,87	38,7	10,18	10,01	1,70%
				221	Fija	253	28,2	69,53	68,85	41,33	40,65	1,67%
	3	279	Derecha	222	Movil	239	28,66	65,96	65,46	37,3	36,8	1,36%
				223	Fija	280	28,32	44,42	44,17	16,1	15,85	1,58%
		278	Izquierda	224	Movil	261	27,28	58,2	57,84	30,92	30,56	1,18%
				225	Fija	269	28,42	56,58	56,25	28,16	27,83	1,19%
20/06/11	1	80	Derecha	226	Movil	217	28,4	59,4	59,05	31	30,65	1,14%
				227	Fija	245	28,68	68,38	67,64	39,7	38,96	1,90%
		88	Izquierda	228	Movil	272	28,2	51,44	51,26	23,24	23,06	0,78%
				229	Fija	274	28,84	44,98	44,84	16,14	16	0,87%
	2	185	Derecha	230	Movil	246	28,5	83,58	82,76	55,08	54,26	1,51%
				231	Fija	244	28,73	56,14	55,72	27,41	26,99	1,56%
		187	Izquierda	232	Movil	215	29,12	112,35	111,52	83,23	82,4	1,01%
				233	Fija	227	28,41	104,71	103,9	76,3	75,49	1,07%
	3	302	Derecha	234	Movil	Plato 58	182,47	277,62	276,41	95,15	93,94	1,29%
				235	Fija	265	27,96	48,92	48,63	20,96	20,67	1,40%
		291	Izquierda	236	Movil	284	28,27	77,47	76,96	49,2	48,69	1,05%
				237	Fija	242	28,77	73,17	72,78	44,4	44,01	0,89%
24/06/11	1	108	Derecha	238	Movil	280	28,31	102,15	100,69	73,84	72,38	2,02%
				239	Fija	276	27,46	72,02	71,16	44,56	43,7	1,97%
		25	Izquierda	240	Movil	253	28,21	82,88	81,98	54,67	53,77	1,67%
				241	Fija	250	28,38	58,4	57,86	30,02	29,48	1,83%
	2	170	Derecha	242	Movil	269	28,43	64,68	64,00	36,25	35,57	1,91%
				243	Fija	239	28,67	51,51	51,11	22,84	22,44	1,78%
		160	Izquierda	244	Movil	Plato 20	161,06	274,02	273,06	112,96	112	0,86%
				245	Fija	216	28,68	58,92	58,56	30,24	29,88	1,20%
	3	259	Derecha	246	Movil	261	27,28	59,38	58,92	32,1	31,64	1,45%
				247	Fija	232	28,7	45,59	45,34	16,89	16,64	1,50%
		260	Izquierda	248	Movil	225	27,11	112,86	111,9	85,75	84,79	1,13%
				249	Fija	305	27,79	51,01	50,74	23,22	22,95	1,18%
25/06/11	1	79	Derecha	250	Movil	312	27,41	72,99	72,28	45,58	44,87	1,58%
				251	Fija	245	28,68	68,92	68,37	40,24	39,69	1,39%
		78	Izquierda	252	Movil	244	28,73	96,13	95,15	67,4	66,42	1,48%
				253	Fija	265	27,95	117,41	115,78	89,46	87,83	1,86%
	2	198	Derecha	254	Movil	215	29,13	116,94	115,47	87,81	86,34	1,70%
				255	Fija	246	28,49	83,3	82,15	54,81	53,66	2,14%
		193	Izquierda	256	Movil	272	28,21	139,95	138,88	117,91	116,76	1%



						274	28,84	35,01	34,93			
				257	Fija	242	28,76	120,91	119,99	92,15	91,23	1,01%
				258	Movil	217	28,41	107,45	106,6	79,04	78,19	1,09%
				259	Fija	284	28,26	59,93	59,55	31,67	31,29	1,21%
				261	Movil	Plato 58	182,47	581,38	578,07	398,91	395,6	0,84%
26/06/11	3	296	Derecha	260	Fija	227	28,4	138,33	136,92	109,93	108,52	1,30%
		351	Izquierda									
	1	114	Derecha	262	Movil	232	28,68	121,16	119,97	92,48	91,29	1,30%
				263	Fija	269	28,44	84,12	83,19	55,68	54,75	1,70%
		114	Izquierda	264	Movil	Plato 20	161,07	429,75	428,35	268,68	267,28	0,52%
				265	Fija	216	28,68	60,54	60,22	31,86	31,54	1,01%
	2	171	Derecha	266	Movil	261	27,28	112,06	111,35	84,78	84,07	0,84%
				267	Fija	225	27,12	49,94	49,69	22,82	22,57	1,11%
		178	Izquierda	268	Movil	305	27,78	165,68	164,75	127,14	126,34	0,63%
						239	28,68	39,44	39,31			
				269	Fija	280	28,33	63,1	62,72	34,77	34,39	1,10%
		298	Derecha	270	Movil	250	28,4	64,8	63,97	36,4	35,57	2,33%
				271	Fija	253	28,22	65,92	64,48	37,7	36,26	3,97%
	3	299	Izquierda	272	Movil	Plato 51	158,53	406,87	405,09	248,34	246,56	0,72%
				273	Fija	Plato 9	181,6	425,96	424,26	244,36	242,66	0,70%
27/06/11	1	43	Derecha	274	Movil	272	28,21	50,66	50,21	22,45	22	2,05%
				275	Fija	276	27,48	54,63	54,08	27,15	26,6	2,07%
		48	Izquierda	276	Movil	284	28,27	106,81	106,16	78,54	77,89	0,83%
				277	Fija	312	27,41	99,13	98,14	71,72	70,73	1,40%
	2	186	Derecha	278	Movil	245	28,70	68,73	68,08	40,03	39,38	1,65%
				279	Fija	279	28,72	42,42	42,16	13,7	13,44	1,93%
		186	Izquierda	280	Movil	227	28,4	94,98	94,5	66,58	66,1	0,73%
				281	Fija	216	29,14	104,92	104,28	75,78	75,14	0,85%
				282	Movil	246	28,49	107,59	106,88	79,1	78,39	0,91%
	3	303	Derecha	283	Fija	274	28,86	63,00	62,63	34,14	33,77	1,10%
				284	Movil	Plato 58	182,5	412,72	411,43	230,22	228,93	0,56%
		310	Izquierda	285	Fija	217	28,4	60,56	60,35	32,16	31,95	0,66%
28/06/11	1	40	Derecha	286	Movil	265	27,95	45,63	45,35	17,68	17,4	1,61%
				287	Fija	239	28,64	43,58	43,32	14,94	14,68	1,77%
		41	Izquierda	289	Movil	253	28,21	50,65	50,38	22,44	22,17	1,22%
				290	Fija	232	28,66	73,51	73,09	44,85	44,43	0,95%
	2	203	Derecha	291	Movil	280	28,3	119,68	118,76	91,38	90,46	1,02%
				292	Fija	250	28,38	82,06	81,41	53,68	53,03	1,23%
		204	Izquierda	293	Movil	242	28,77	95,68	95,21	66,91	66,44	0,71%
				294	Fija	261	27,28	78,42	78,14	51,14	50,86	0,55%
	3	354	Derecha	295	Movil	305	27,79	100,47	99,74	72,68	71,95	1,01%
				296	Fija	296	27,11	58,72	58,36	31,61	31,25	1,15%
		350	Izquierda	297	Movil	269	28,44	71,14	70,64	42,7	42,2	1,18%
				298	Fija	216	28,7	66,00	65,56	37,3	36,86	1,19%
29/06/11	1	85	Derecha	300	Movil	245	28,68	62,3	61,72	33,62	33,04	1,76%



		82	Izquierda	301	Fija	227	28,4	55,05	54,58	26,65	26,18	1,80%
				302	Movil	272	28,21	67,94	67,57	39,73	39,36	0,94%
				303	Fija	244	28,77	61,85	61,56	33,08	32,79	0,88%
	2	227	Derecha	304	Movil	284	28,26	56,05	55,7	27,79	27,44	1,28%
				305	Fija	276	27,46	52,02	51,7	24,56	24,24	1,32%
		228	Izquierda	306	Movil	Plato 9	181,62	299,29	298,58	117,67	116,96	0,61%
				307	Fija	Plato 58	182,49	528,85	527,16	346,36	344,67	0,49%
	3	271	Derecha	310	Movil	312	27,42	56,57	56,22	29,15	28,8	1,22%
				309	Fija	215	29,13	40,85	40,69	11,72	11,56	1,38%
		272	Izquierda	312	Movil	274	28,86	59,83	59,55	30,97	30,69	0,91%
				311	Fija	246	28,5	69,88	69,52	41,38	41,02	0,88%
				314	Movil	312	27,41	95,85	94,34	68,44	66,93	2,26%
30/06/11	1	57	Derecha	315	Fija	272	28,21	92,46	90,8	64,25	62,59	2,65%
				316	Movil	284	28,25	59,3	58,83	31,05	30,58	1,54%
		64	Izquierda	317	Fija	Plato 9	181,63	380,76	374,43	199,13	192,8	3,28%
	2	174	Derecha	318	Movil	276	27,48	63,86	63,33	36,38	35,85	1,48%
				319	Fija	246	28,49	61,04	60,58	32,55	32,09	1,43%
		179	Izquierda	320	Movil	227	28,41	57,67	57,35	29,26	28,94	1,11%
				321	Fija	215	29,12	58	57,63	28,88	28,51	1,30%
	3	291	Derecha	322	Movil	274	28,84	79,72	78,96	50,88	50,12	1,52%
				323	Fija	245	28,66	50,24	49,98	21,58	21,32	1,22%
		293	Izquierda	324	Movil	244	28,74	103,59	102,93	74,85	74,19	0,89%
				325	Fija	217	28,41	123,58	122,7	95,17	94,29	0,93%
				326	Movil	305	27,8	47,17	46,86	19,37	19,06	1,63%
01/07/11	1	51	Derecha	327	Fija	265	27,93	50,46	50,03	22,53	22,1	1,95%
				328	Movil	216	28,69	141,4	140,49	166,75	165,41	0,81%
		97	Izquierda	239		28,66	82,7	82,27				
				329	Fija	280	28,31	129,09	128,25	100,78	99,94	0,84%
	2	225	Derecha	330	Movil	232	28,68	41,07	40,87	12,39	12,19	1,64%
				331	Fija	261	27,28	41,37	41,17	14,09	13,89	1,44%
		243	Izquierda	332	Movil	242	28,42	140,11	139,33	111,69	110,91	0,70%
				333	Fija	253	28,25	121,78	120,96	93,53	92,71	0,88%
	3	327	Derecha	334	Movil	250	28,38	77,14	76,47	48,76	48,09	1,39%
				335	Fija	269	28,42	110,18	109,15	81,76	80,73	1,28%
		324	Izquierda	336	Movil	Plato 51	158,53	308,96	308,21	150,43	149,68	0,50%
				337	Fija	225	27,12	111,04	110,49	83,92	83,37	0,66%
02/07/11	1	33	Derecha	338	Movil	Plato 9	181,61	331,72	329,85	150,11	148,24	1,26%
				339	Fija	215	29,12	126,24	124,91	131,60	129,75	1,43%
		44	Izquierda	217		28,4	62,88	62,36				
				340	Movil	276	27,46	70,04	69,67	42,58	42,21	0,88%
	2	156	Derecha	341	Fija	244	28,72	70,13	69,71	41,41	40,99	1,02%
				342	Movil	245	28,67	58,67	58,32	30,00	29,65	1,18%
		157	Izquierda	343	Fija	312	27,42	38,4	38,27	10,98	10,85	1,20%
				344	Movil	Plato 20	161,06	326,31	324,69	165,25	163,63	0,99%



03/07/11	3	349	Derecha	345	Fija	284	28,26	133,31	132,26	105,05	104	1,01%
				346	Movil	274	28,85	60,05	59,74	31,20	30,89	1,00%
				347	Fija	227	28,4	68,01	67,65	39,61	39,25	0,92%
		343	Izquierda	348	Movil	246	28,5	146,14	145,17	117,64	116,67	0,83%
				349	Fija	272	28,21	94,47	93,88	66,26	65,67	0,90%
	1	113	Derecha	350	Movil	280	28,32	62,32	61,82	34,00	33,5	1,49%
				351	Fija	232	28,69	70,19	69,45	41,50	40,76	1,82%
				109	Izquierda	352	Movil	Plato 51	158,51	328,16	326,9	169,65
		353	Fija			250	28,4	139,4	138,57	111,00	110,17	0,75%
		2	157	Derecha	354	Movil	253	28,28	89,35	88,67	61,07	60,39
	355				Fija	225	27,14	118,39	117,26	91,25	90,12	1,25%
	148		Izquierda	356	Movil	265	27,95	62,65	62,2	34,70	34,25	1,31%
				357	Fija	216	28,68	124,75	122,83	96,07	94,15	2,04%
3	361	Derecha	358	Movil	239	28,67	109,16	108,59	80,49	79,92	0,71%	
			359	Fija	269	28,44	63,69	63,37	35,25	34,93	0,92%	
	355	Izquierda	360	Movil	242	28,7	149,3	148,49	120,60	119,79	0,68%	
			361	Fija	261	27,28	76,16	75,75	48,88	48,47	0,85%	



ANEXO III - PLANILLA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



Día 30/05/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,27	365,76	0,49	167,74	100,00%	365,79	0,52	53,03	100,00%
#40	476,5	491,61	15,11	167,25	99,71%	480,34	3,84	52,51	99,02%
#50	374,65	392,89	18,24	152,14	90,70%	378,5	3,85	48,67	91,78%
#60	372,46	387,1	14,64	133,9	79,83%	375,33	2,87	44,82	84,52%
#100	367,7	391,8	24,1	119,26	71,10%	373,07	5,37	41,95	79,11%
#200	357,93	410,26	52,33	95,16	56,73%	379,18	21,25	36,58	68,98%
P200	405,73	448,56	42,83	42,83	25,53%	421,06	15,33	15,33	28,91%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,037	0,039
D30 [mm]	0,085	0,076
D50 [mm]	0,133	0,113
D60 [mm]	0,172	0,059
Cu	4,69	1,54
Cc	1,14	2,52

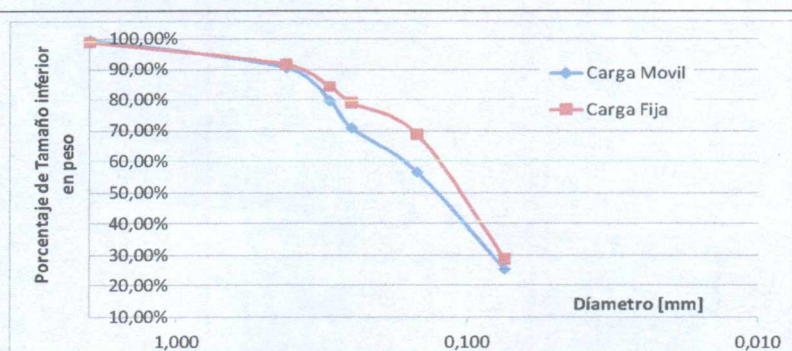


Figura II.1. Curva granulométrica del día 30/05/2011

Día 31/05/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,27	368,41	3,14	453,41	100,00%	366,84	1,57	126,79	100,00%
#40	476,5	546,19	69,69	450,27	99,31%	494,95	18,45	125,22	98,76%
#50	374,65	437,96	63,31	380,58	83,94%	388,48	13,83	106,77	84,21%
#60	372,46	414,38	41,92	317,27	69,97%	381,97	9,51	92,94	73,30%
#100	367,7	439,91	72,21	275,35	60,73%	383,32	15,62	83,43	65,80%
#200	357,93	504,02	146,09	203,14	44,80%	388,05	30,12	67,81	53,48%
P200	405,73	462,78	57,05	57,05	12,58%	443,42	37,69	37,69	29,73%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,068	0,012
D30 [mm]	0,115	0,075
D50 [mm]	0,182	0,138
D60 [mm]	0,245	0,214
Cu	3,61	18,23
Cc	0,79	2,24

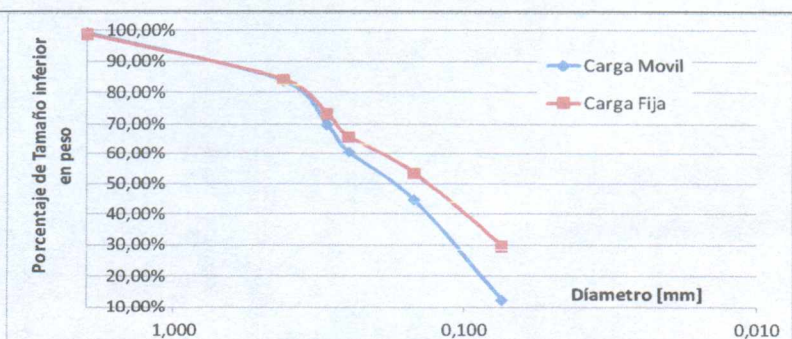
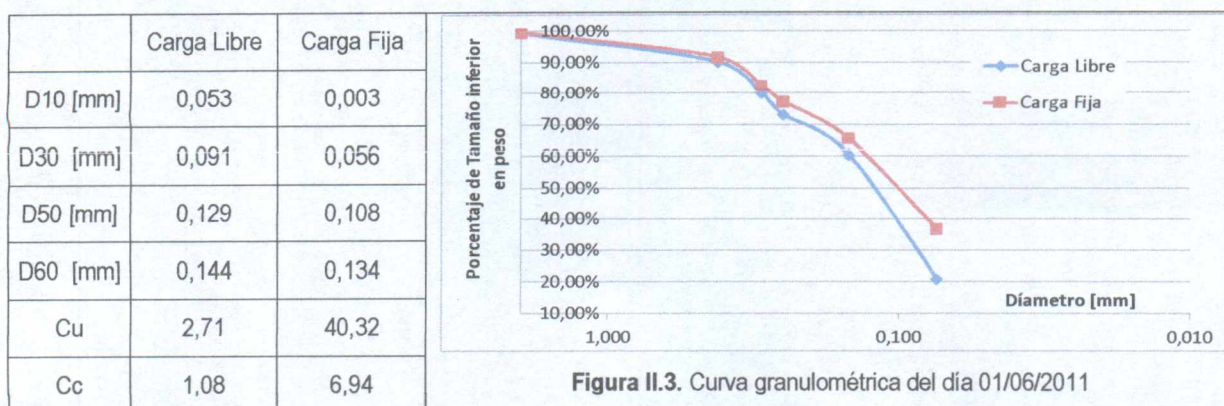


Figura II.2. Curva granulométrica del día 31/05/2011



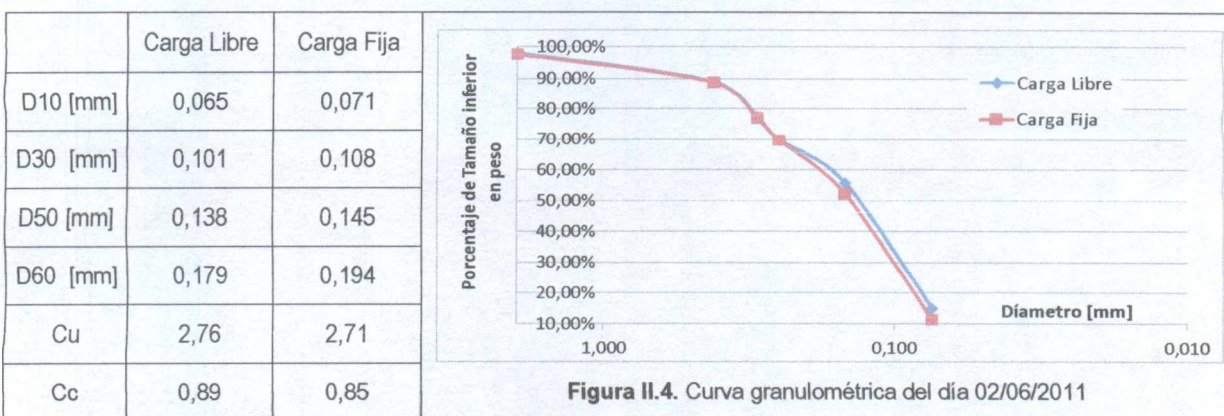
Día 01/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,27	366,71	1,44	179,53	100,00%	365,65	0,38	74,88	100,00%
#40	400,33	416,48	16,15	178,09	99,20%	406,22	5,89	74,5	99,49%
#50	374,65	392,62	17,97	161,94	90,20%	381,38	6,73	68,61	91,63%
#60	372,46	384,95	12,49	143,97	80,19%	376,44	3,98	61,88	82,64%
#100	367,7	390,29	22,59	131,48	73,24%	376,49	8,79	57,9	77,32%
#200	357,93	428,98	71,05	108,89	60,65%	379,36	21,43	49,11	65,58%
P200	405,73	443,57	37,84	37,84	21,08%	433,41	27,68	27,68	36,97%



Día 02/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,27	368,45	3,18	176,69	100,00%	369,3	4,03	184,01	100,00%
#40	400,33	416,62	16,29	173,51	98,20%	416,98	16,65	179,98	97,81%
#50	374,65	394,74	20,09	157,22	88,98%	395,94	21,29	163,33	88,76%
#60	372,46	386,01	13,55	137,13	77,61%	386,15	13,69	142,04	77,19%
#100	367,7	392,52	24,82	123,58	69,94%	399,81	32,11	128,35	69,75%
#200	357,93	430	72,07	98,76	55,89%	433,16	75,23	96,24	52,30%
P200	405,73	432,42	26,69	26,69	15,11%	426,74	21,01	21,01	11,42%





Día 04/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,27	368,45	3,18	176,69	100,00%	369,3	4,03	184,01	100,00%
#40	400,33	416,62	16,29	173,51	98,20%	416,98	16,65	179,98	97,81%
#50	374,65	394,74	20,09	157,22	88,98%	395,94	21,29	163,33	88,76%
#60	372,46	386,01	13,55	137,13	77,61%	386,15	13,69	142,04	77,19%
#100	367,7	392,52	24,82	123,58	69,94%	399,81	32,11	128,35	69,75%
#200	357,93	430	72,07	98,76	55,89%	433,16	75,23	96,24	52,30%
P200	405,73	432,42	26,69	26,69	15,11%	426,74	21,01	21,01	11,42%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,065	0,071
D30 [mm]	0,101	0,108
D50 [mm]	0,138	0,145
D60 [mm]	0,179	0,194
Cu	2,76	2,71
Cc	0,89	0,85

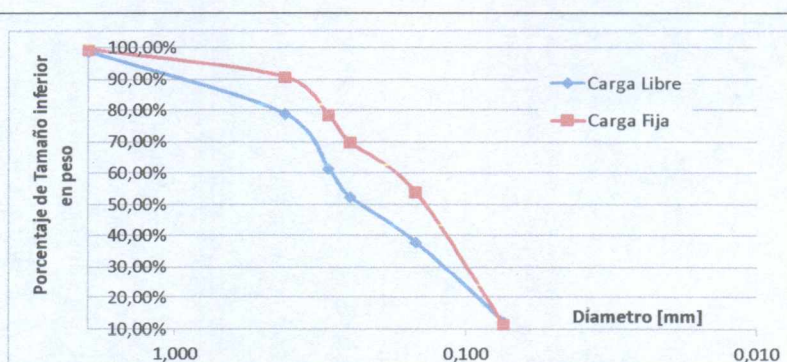


Figura II.5. Curva granulométrica del día 04/06/2011

Día 05/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,27	372,27	7,00	297,53	100,00%	366,42	1,15	223,2	100,00%
#40	400,33	450,98	50,65	290,53	97,65%	426,16	25,83	222,05	99,48%
#50	374,65	424,4	49,75	239,88	80,62%	403,35	28,7	196,22	87,91%
#60	372,46	399,9	27,44	190,13	63,90%	395,81	23,35	167,52	75,05%
#100	367,7	419,85	52,15	162,69	54,68%	418,18	50,48	144,17	64,59%
#200	357,93	446	88,07	110,54	37,15%	435,11	77,18	93,69	41,98%
P200	405,73	428,2	22,47	22,47	7,55%	422,24	16,51	16,51	7,40%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,080	0,080
D30 [mm]	0,131	0,123
D50 [mm]	0,223	0,185
D60 [mm]	0,277	0,229
Cu	3,46	2,88
Cc	0,77	0,83

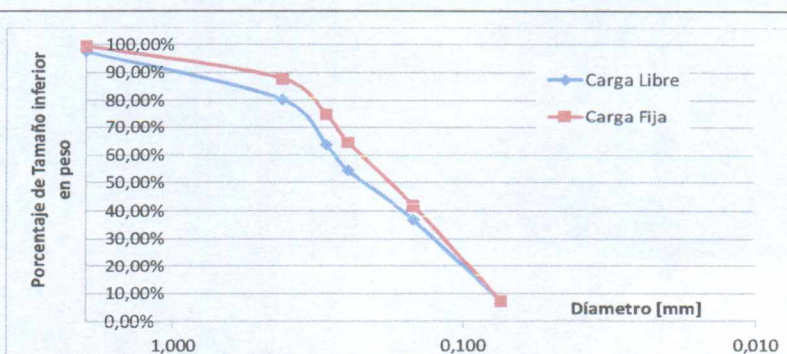


Figura II.6. Curva granulométrica del día 05/06/2011



Día 06/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,27	368,35	3,08	250,00	100,00%	365,97	0,70	202,2	100,00%
#40	400,33	449,12	48,79	246,92	98,77%	411,73	11,40	201,5	99,65%
#50	374,65	425,45	50,80	198,13	79,25%	390,43	15,78	190,1	94,02%
#60	372,46	402,44	29,98	147,34	58,93%	384,10	11,64	174,4	86,21%
#100	367,7	442,98	75,28	117,36	46,94%	396,54	28,84	162,7	80,45%
#200	357,93	392,11	34,18	42,08	16,83%	476,55	118,62	133,9	66,20%
P200	405,73	413,62	7,89	7,89	3,16%	420,99	15,26	15,26	7,55%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,112	0,077
D30 [mm]	0,193	0,103
D50 [mm]	0,262	0,128
D60 [mm]	0,303	0,141
Cu	2,72	1,83
Cc	1,10	0,97

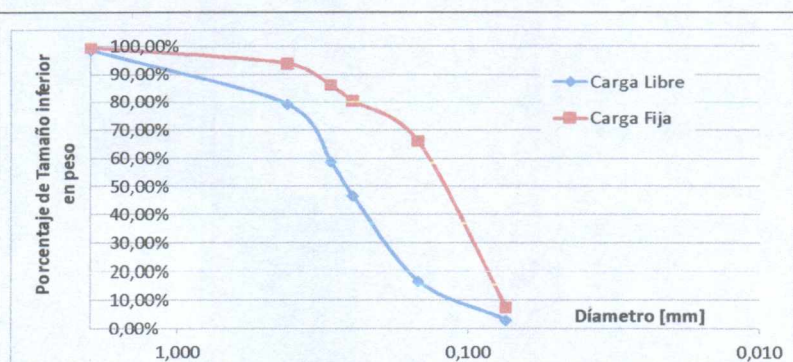


Figura II.7. Curva granulométrica del día 06/06/2011

Día 08/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,22	369,03	3,81	592,63	100,00%	365,92	0,7	260,85	100,00%
#40	400,35	488,08	87,73	588,82	99,36%	427,43	27,08	260,15	99,73%
#50	374,64	472,57	97,93	501,09	84,55%	407,52	32,88	233,07	89,35%
#60	372,37	429,4	57,03	403,16	68,03%	394,77	22,4	200,19	76,75%
#100	367,69	457,16	89,47	346,13	58,41%	402,91	35,22	177,79	68,16%
#200	357,88	544,73	186,85	256,66	43,31%	449,07	91,19	142,57	54,66%
P200	405,68	475,49	69,81	69,81	11,78%	457,06	51,38	51,38	19,70%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,070	0,053
D30 [mm]	0,117	0,096
D50 [mm]	0,194	0,139
D60 [mm]	0,258	0,189
Cu	3,69	3,55
Cc	0,77	0,92

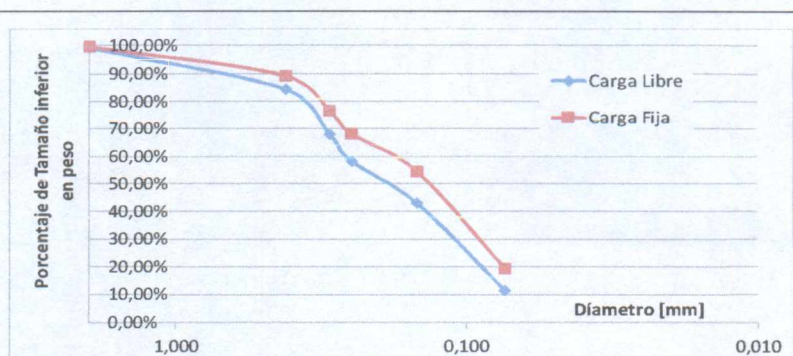


Figura II.8. Curva granulométrica del día 08/06/2011



Día 09/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,26	366,42	1,16	291,47	100,00%	366,34	1,08	113,86	100,00%
#40	400,39	427,85	27,46	290,31	99,60%	407,14	6,75	112,78	99,05%
#50	374,72	416,64	41,92	262,85	90,18%	384,90	10,18	106,03	93,12%
#60	372,48	403,84	31,36	220,93	75,80%	381,15	8,67	95,85	84,18%
#100	367,84	492,44	124,6	189,57	65,04%	385,62	17,78	87,18	76,57%
#200	358,98	408,6	49,62	64,97	22,29%	412,15	53,17	69,4	60,95%
P200	405,71	421,06	15,35	15,35	5,27%	421,94	16,23	16,23	14,25%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,095	0,067
D30 [mm]	0,167	0,099
D50 [mm]	0,214	0,131
D60 [mm]	0,238	0,147
Cu	2,51	2,20
Cc	1,24	1,00

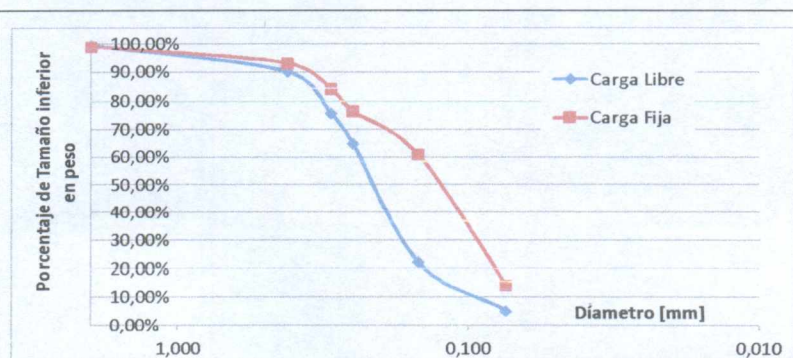


Figura II.9. Curva granulométrica del día 09/06/2011

Día 10/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,26	368,05	2,79	332,83	100,00%	366,06	0,8	241,54	100,00%
#40	400,39	447,15	46,76	330,04	99,16%	426,60	26,21	240,74	99,67%
#50	374,72	420,18	45,46	283,28	85,11%	399,82	25,1	214,53	88,82%
#60	372,48	398,94	26,46	237,82	71,45%	388,76	16,28	189,43	78,43%
#100	367,84	409,98	42,14	211,36	63,50%	395,98	28,14	173,15	71,69%
#200	358,98	456,93	97,95	169,22	50,84%	446,50	87,52	145,01	60,04%
P200	405,71	476,98	71,27	71,27	21,41%	463,20	57,49	57,49	23,80%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,045	0,045
D30 [mm]	0,096	0,087
D50 [mm]	0,147	0,128
D60 [mm]	0,222	0,149
Cu	4,94	3,28
Cc	0,92	1,11

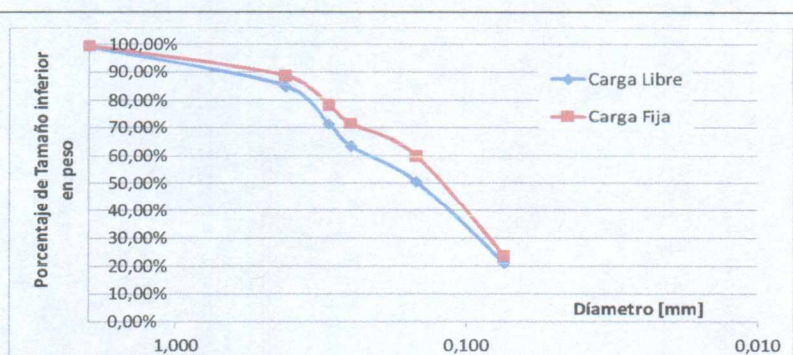


Figura II.10. Curva granulométrica del día 10/06/2011



Día 11/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,27	369,28	4,01	433,01	100,00%	366,00	0,73	185,81	100,00%
#40	400,36	449	48,64	429	99,07%	411,25	10,89	185,08	99,61%
#50	374,64	439,87	65,23	380,36	87,84%	392,46	17,82	174,19	93,75%
#60	372,38	414,24	41,86	315,13	72,78%	386,15	13,77	156,37	84,16%
#100	367,71	431,63	63,92	273,27	63,11%	399,64	31,93	142,6	76,75%
#200	357,9	503,3	145,4	209,35	48,35%	452,11	94,21	110,67	59,56%
P200	405,72	469,67	63,95	63,95	14,77%	422,18	16,46	16,46	8,86%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,063	0,076
D30 [mm]	0,108	0,105
D50 [mm]	0,160	0,135
D60 [mm]	0,229	0,152
Cu	3,61	2,00
Cc	0,81	0,97

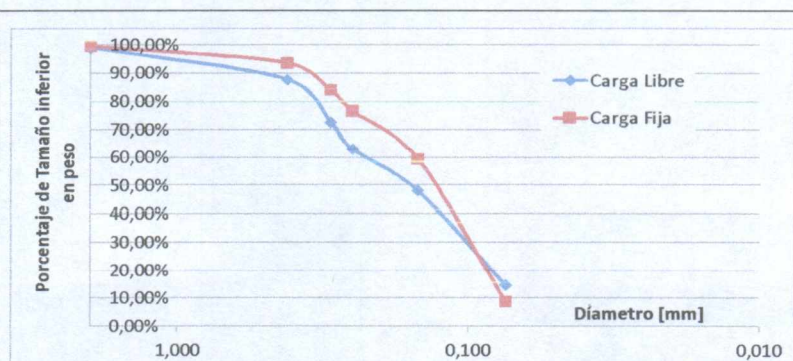


Figura II.11. Curva granulométrica del día 11/06/2011

Día 12/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,27	368,12	2,85	343,21	100,00%	367,02	1,75	287,24	100,00%
#40	400,36	441,18	40,82	340,36	99,17%	423,32	22,96	285,49	99,39%
#50	374,64	418,4	43,76	299,54	87,28%	406,22	31,58	262,53	91,40%
#60	372,38	401,18	28,8	255,78	74,53%	394,30	21,92	230,95	80,40%
#100	367,71	414,23	46,52	226,98	66,13%	409,26	41,55	209,03	72,77%
#200	357,9	465,88	107,98	180,46	52,58%	471,49	113,59	167,48	58,31%
P200	405,72	478,2	72,48	72,48	21,12%	459,61	53,89	53,89	18,76%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,047	0,057
D30 [mm]	0,095	0,095
D50 [mm]	0,143	0,133
D60 [mm]	0,167	0,161
Cu	3,51	2,80
Cc	1,14	0,98

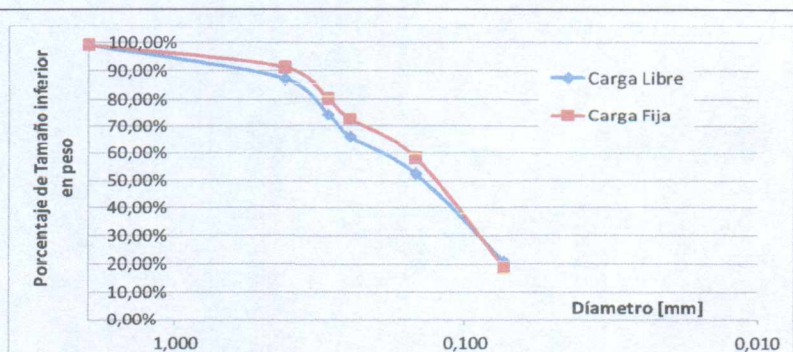


Figura II.12. Curva granulométrica del día 12/06/2011



Día 13/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,24	367,39	2,15	261,64	100,00%	366,71	1,47	331,23	100,00%
#40	400,3	437,51	37,21	259,49	99,18%	437,02	36,72	329,76	99,56%
#50	374,7	423,26	48,56	222,28	84,96%	424,10	49,4	293,04	88,47%
#60	372,4	402,65	30,25	173,72	66,40%	405,05	32,65	243,64	73,56%
#100	367,72	406,96	39,24	143,47	54,83%	421,47	53,75	210,99	63,70%
#200	357,86	425,16	67,3	104,23	39,84%	470,43	112,57	157,24	47,47%
P200	405,72	442,65	36,93	36,93	14,11%	450,39	44,67	44,67	13,49%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,062	0,066
D30 [mm]	0,120	0,110
D50 [mm]	0,217	0,165
D60 [mm]	0,271	0,227
Cu	4,37	3,42
Cc	0,86	0,81

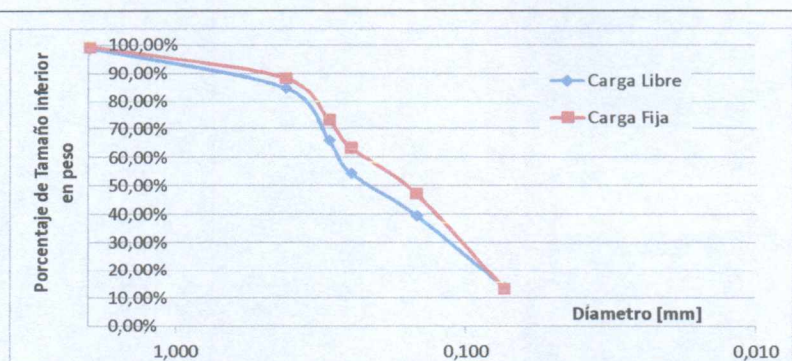


Figura II.13. Curva granulométrica del día 13/06/2011

Día 14/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,24	367,72	2,48	113,2	100,00%	367,76	2,52	119,26	100,00%
#40	400,3	411,62	11,32	110,72	97,81%	405,22	4,92	116,74	97,89%
#50	374,7	387,13	12,43	99,4	87,81%	381,36	6,66	111,82	93,76%
#60	372,4	380,09	7,69	86,97	76,83%	377,45	5,05	105,16	88,18%
#100	367,72	380,88	13,16	79,28	70,04%	379,12	11,4	100,11	83,94%
#200	357,86	389,82	31,96	66,12	58,41%	396,88	39,02	88,71	74,38%
P200	405,72	439,88	34,16	34,16	30,18%	455,41	49,69	49,69	41,67%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,020	0,001
D30 [mm]	0,074	0,047
D50 [mm]	0,153	0,116
D60 [mm]	0,163	0,116
Cu	7,98	82,05
Cc	1,63	13,61

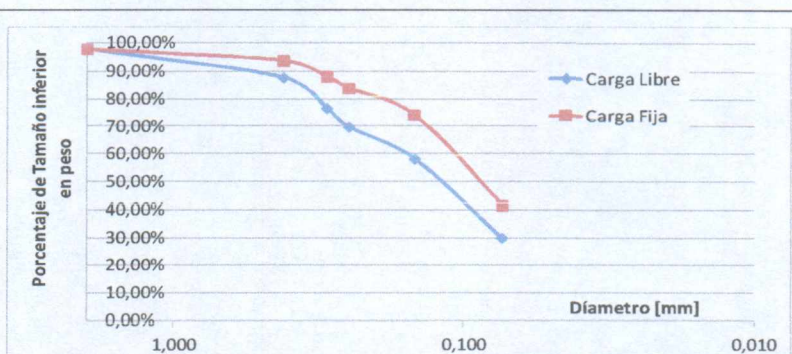


Figura II.14. Curva granulométrica del día 14/06/2011



Día 15/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,26	367,63	2,37	181,25	100,00%	367,76	2,52	116,56	100,00%
#40	400,3	416,66	16,36	178,88	98,69%	405,22	4,92	114,04	97,84%
#50	374,72	392,95	18,23	162,52	89,67%	381,36	6,66	109,12	93,62%
#60	372,42	383,55	11,13	144,29	79,61%	377,45	5,05	102,46	87,90%
#100	367,73	386,55	18,82	133,16	73,47%	379,12	11,4	97,41	83,57%
#200	357,83	409,92	52,09	114,34	63,08%	396,88	39,02	86,01	73,79%
P200	405,75	468,00	62,25	62,25	34,34%	514,99	46,99	46,99	40,31%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,010	0,022
D30 [mm]	0,063	0,072
D50 [mm]	0,115	0,122
D60 [mm]	0,141	0,147
Cu	13,46	6,57
Cc	2,66	1,59

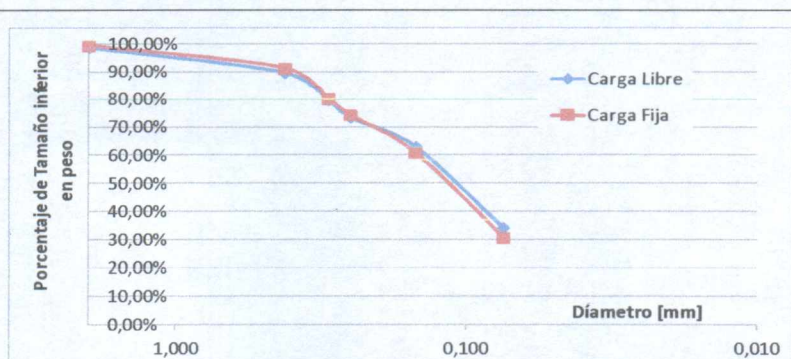


Figura II.15. Curva granulométrica del día 15/06/2011

Día 16/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,23	366,66	1,43	186,04	100,00%	366,35	1,12	219,65	100,00%
#40	400,3	427,03	26,73	184,61	99,23%	418,35	18,05	218,53	99,49%
#50	374,71	402,86	28,15	157,88	84,86%	395,77	21,06	200,48	91,27%
#60	372,38	388,57	16,19	129,73	69,73%	387,68	15,3	179,42	81,68%
#100	367,7	390,04	22,34	113,54	61,03%	395,59	27,89	164,12	74,72%
#200	357,79	401,81	44,02	91,2	49,02%	434,68	76,89	136,23	62,02%
P200	405,72	452,9	47,18	47,18	25,36%	465,06	59,34	59,34	27,02%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,025	0,038
D30 [mm]	0,089	0,080
D50 [mm]	0,157	0,123
D60 [mm]	0,241	0,145
Cu	9,53	3,85
Cc	1,29	1,19

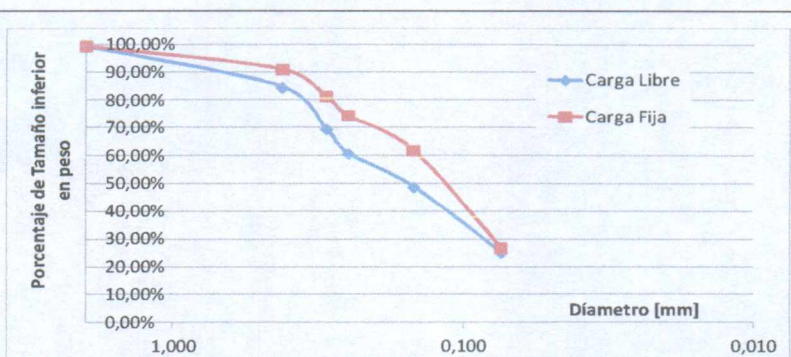
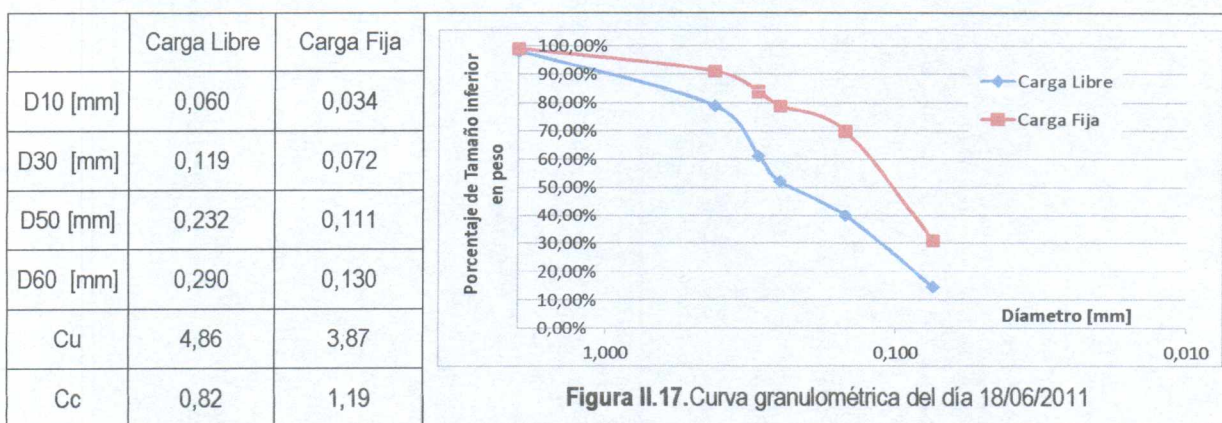


Figura II.16. Curva granulométrica del día 16/06/2011



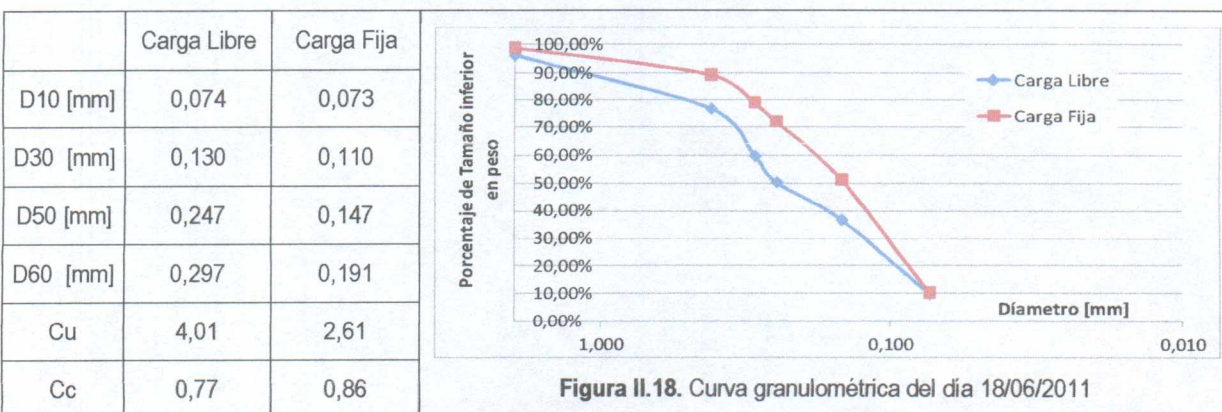
Día 17/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,23	370,61	5,38	311,31	100,00%	366,66	1,43	161,93	100,00%
#40	400,3	460,19	59,89	305,93	98,27%	413,26	12,96	160,5	99,12%
#50	374,71	430,00	55,29	246,04	79,03%	386,45	11,74	147,54	91,11%
#60	372,38	400,63	28,25	190,75	61,27%	380,47	8,09	135,8	83,86%
#100	367,7	405,74	38,04	162,5	52,20%	382,19	14,49	127,71	78,87%
#200	357,79	436,27	78,48	124,46	39,98%	420,84	63,05	113,22	69,92%
P200	405,72	451,7	45,98	45,98	14,77%	455,89	50,17	50,17	30,98%



Día 18/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,23	374,65	9,42	255,03	100,00%	368,07	2,84	265,32	100,00%
#40	400,3	449,6	49,3	245,61	96,31%	425,47	25,17	262,48	98,93%
#50	374,71	418,13	43,42	196,31	76,98%	401,91	27,2	237,31	89,44%
#60	372,4	396,72	24,32	152,89	59,95%	391,21	18,81	210,11	79,19%
#100	367,7	402,42	34,72	128,57	50,41%	422,82	55,12	191,3	72,10%
#200	357,78	426,23	68,45	93,85	36,80%	466,31	108,53	136,18	51,33%
P200	405,72	431,12	25,4	25,4	9,96%	433,37	27,65	27,65	10,42%





Día 19/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,23	368,4	3,17	252,54	100,00%	366,34	1,11	179,98	100,00%
#40	400,3	429,63	29,33	249,37	98,74%	412,02	11,72	178,87	99,38%
#50	374,71	417,03	42,32	220,04	87,13%	392,50	17,79	167,15	92,87%
#60	372,4	398,24	25,84	177,72	70,37%	386,55	14,15	149,36	82,99%
#100	367,7	409,11	41,41	151,88	60,14%	399,58	31,88	135,21	75,13%
#200	357,78	442,76	84,98	110,47	43,74%	437,72	79,94	103,33	57,41%
P200	405,72	431,21	25,49	25,49	10,09%	429,11	23,39	23,39	13,00%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,074	0,069
D30 [mm]	0,118	0,103
D50 [mm]	0,188	0,136
D60 [mm]	0,249	0,164
Cu	3,38	2,38
Cc	0,76	0,93

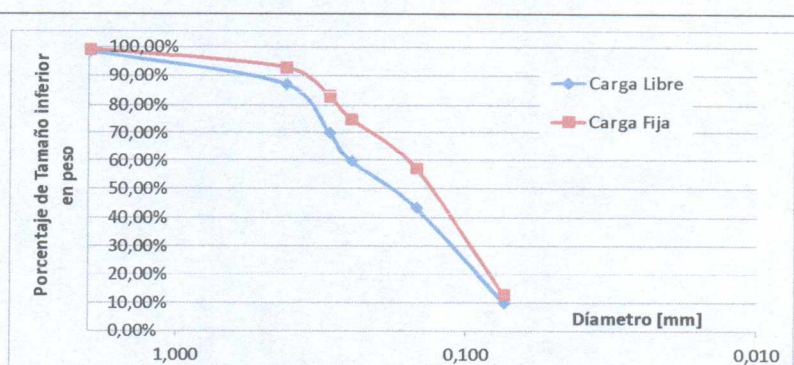


Figura II.19. Curva granulométrica del día 19/06/2011

Día 20/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,21	373,31	8,10	337,86	100,00%	368,06	2,85	173,39	100,00%
#40	400,28	458,05	57,77	329,76	97,60%	423,15	22,87	170,54	94,75%
#50	374,7	447,16	72,46	272,00	80,51%	398,04	23,34	147,67	82,05%
#60	372,37	409,88	37,51	199,54	59,06%	388,86	16,49	124,33	69,08%
#100	367,68	453,00	85,32	162,03	47,96%	403,35	35,67	107,84	59,92%
#200	357,71	419,31	61,60	76,71	22,71%	415,39	57,68	72,17	40,10%
P200	405,69	420,80	15,11	15,11	4,47%	420,18	14,49	14,49	8,05%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,097	0,079
D30 [mm]	0,179	0,125
D50 [mm]	0,259	0,199
D60 [mm]	0,302	0,250
Cu	3,13	3,19
Cc	1,10	0,80

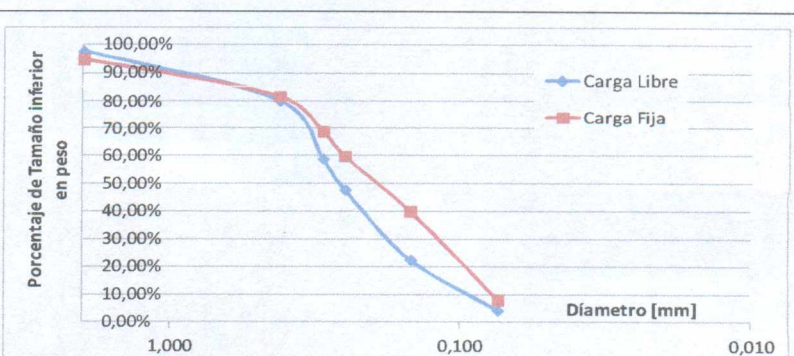
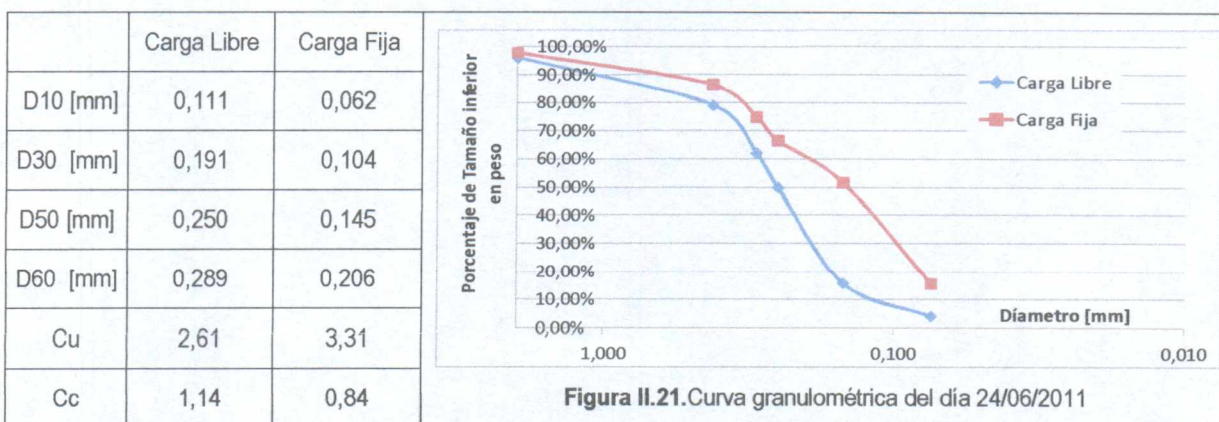


Figura II.20. Curva granulométrica del día 20/06/2011



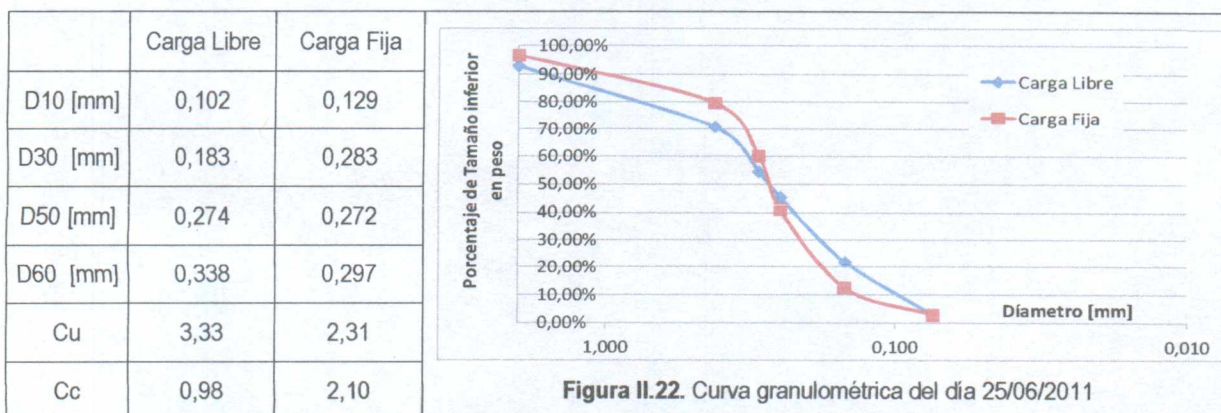
Día 24/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,21	380,20	14,99	387,98	100,00%	368,60	3,39	165,3	100,00%
#40	400,28	466,43	66,15	372,99	96,14%	419,34	19,06	161,91	97,95%
#50	374,7	440,36	65,66	306,84	79,09%	393,76	19,06	142,85	86,42%
#60	372,37	419,58	47,21	241,18	62,16%	386,24	13,87	123,79	74,89%
#100	367,68	499,64	131,96	193,97	49,99%	392,11	24,43	109,92	66,50%
#200	357,71	402,95	45,24	62,01	15,98%	417,29	59,58	85,49	51,72%
P200	405,69	422,46	16,77	16,77	4,32%	431,60	25,91	25,91	15,67%



Día 25/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,21	397,68	32,47	462,53	100,00%	390,16	24,95	737,64	100,00%
#40	400,28	502,58	102,30	430,06	92,98%	525,18	124,9	712,69	96,62%
#50	374,7	450,32	75,62	327,76	70,86%	519,85	145,15	587,79	79,69%
#60	372,37	414,61	42,24	252,14	54,51%	512,67	140,3	442,64	60,01%
#100	367,68	475,25	107,57	209,90	45,38%	576,73	209,05	302,34	40,99%
#200	357,71	446,35	88,64	102,33	22,12%	429,22	71,51	93,29	12,65%
P200	405,69	419,38	13,69	13,69	2,96%	427,47	21,78	21,78	2,95%





Día 26/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,21	380,99	15,78	872,41	100,00%	369,66	4,45	400,35	100,00%
#40	400,28	579,20	178,92	856,63	98,19%	458,59	58,31	395,9	98,89%
#50	374,7	582,49	207,79	677,71	77,68%	437,82	63,12	337,59	84,32%
#60	372,37	632,71	260,34	469,92	53,86%	415,40	43,03	274,47	68,56%
#100	367,68	516,79	149,11	209,58	24,02%	481,75	114,07	231,44	57,81%
#200	357,71	405,15	47,44	60,47	6,93%	452,50	94,79	117,37	29,32%
P200	405,69	418,72	13,03	13,03	1,49%	428,27	22,58	22,58	5,64%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,167	0,088
D30 [mm]	0,259	0,151
D50 [mm]	0,291	0,222
D60 [mm]	0,329	0,260
Cu	1,97	2,96
Cc	1,23	1,01

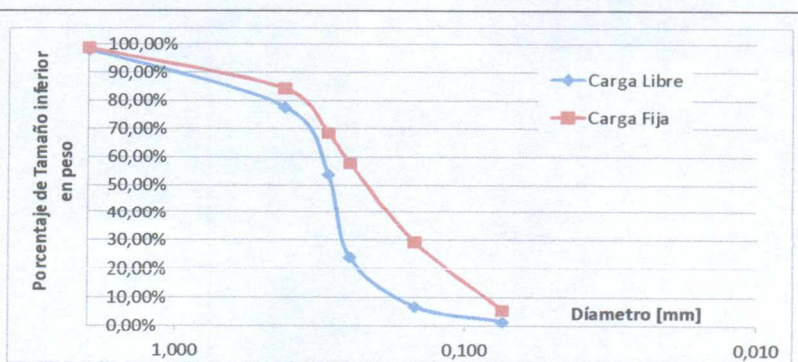


Figura II.23. Curva granulométrica del día 26/06/2011

Día 27/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,21	373,14	7,93	447,16	100,00%	371,26	6,05	317,16	100,00%
#40	400,28	470,34	70,06	439,23	98,23%	449,76	49,48	311,11	98,09%
#50	374,7	454,66	79,96	369,17	82,56%	422,62	47,92	261,63	82,49%
#60	372,37	439,76	67,39	289,21	64,68%	405,23	32,86	213,71	67,38%
#100	367,68	519,94	152,26	221,82	49,61%	454,08	86,4	180,85	57,02%
#200	357,71	416,44	58,73	69,56	15,56%	438,93	81,22	94,45	29,78%
P200	405,69		10,83	10,83	2,42%	418,92	13,23	13,23	4,17%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,102	0,129
D30 [mm]	0,183	0,283
D50 [mm]	0,274	0,272
D60 [mm]	0,338	0,297
Cu	3,33	2,31
Cc	0,98	2,10

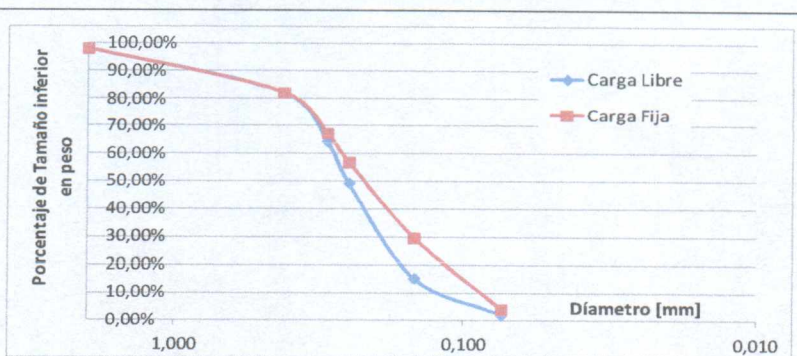
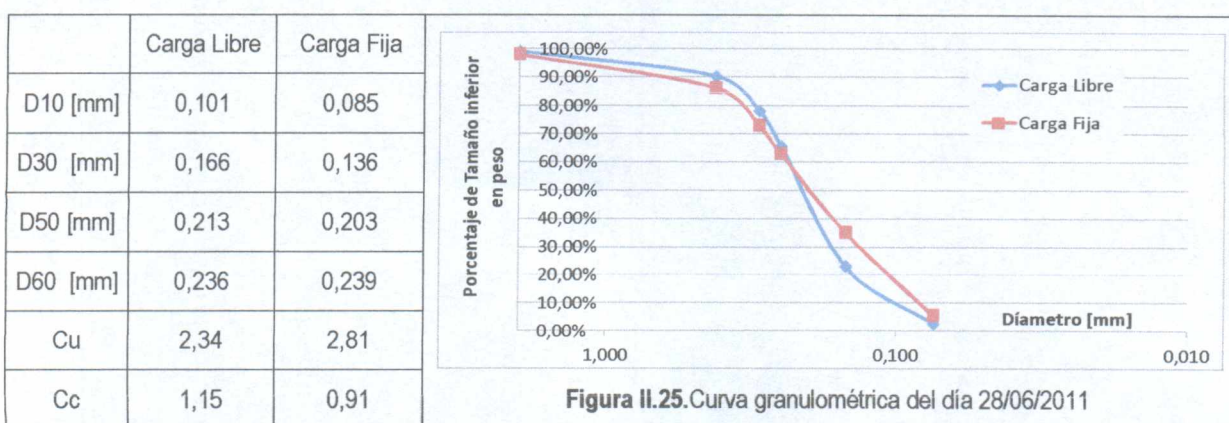


Figura II.24. Curva granulométrica del día 27/06/2011



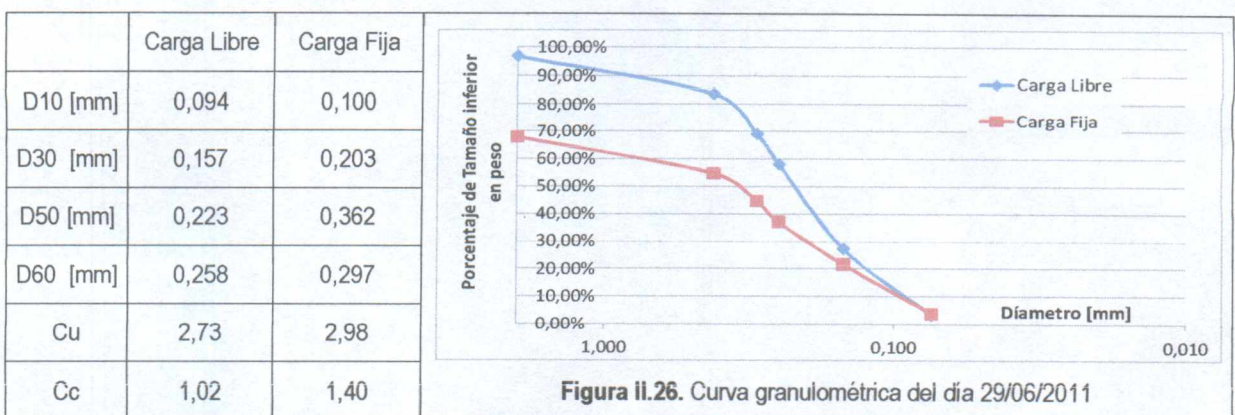
Día 28/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,21	367,84	2,63	310,62	100,00%	369,25	4,04	231,33	100,00%
#40	400,28	427,95	27,67	307,99	99,15%	427,72	27,44	227,29	98,25%
#50	374,7	412,33	37,63	280,32	90,25%	405,33	30,63	199,85	86,39%
#60	372,37	410,82	38,45	242,69	78,13%	395,65	23,28	169,22	73,15%
#100	367,68	500,50	132,82	204,24	65,75%	432,29	64,61	145,94	63,09%
#200	357,71	420,81	63,10	71,42	22,99%	425,75	68,04	81,33	35,16%
P200	405,69	414,01	8,32	8,32	2,68%	418,98	13,29	13,29	5,75%



Día 29/06/2011

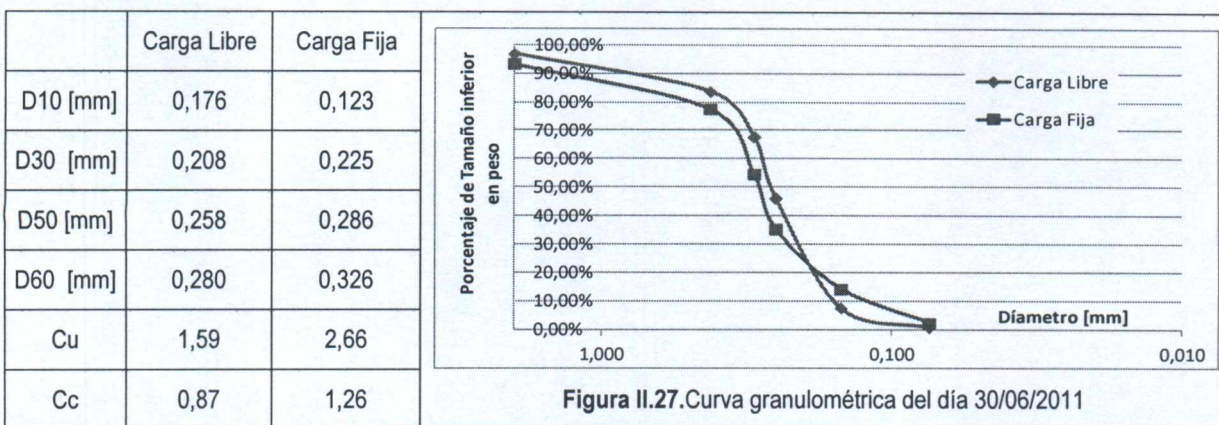
Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,21	373,88	8,67	288,05	100,00%	515,09	149,88	466,65	100,00%
#40	400,28	437,71	37,43	279,38	96,99%	461,49	61,21	316,77	67,88%
#50	374,7	417,43	42,73	241,95	84,00%	421,69	46,99	255,56	54,76%
#60	372,37	403,94	31,57	199,22	69,16%	408,13	35,76	208,57	44,70%
#100	367,68	456,27	88,59	167,65	58,20%	438,81	71,13	172,81	37,03%
#200	357,71	426,84	69,13	79,06	27,45%	441,20	83,49	101,68	21,79%
P200	405,69	415,62	9,93	9,93	3,45%	423,88	18,19	18,19	3,90%





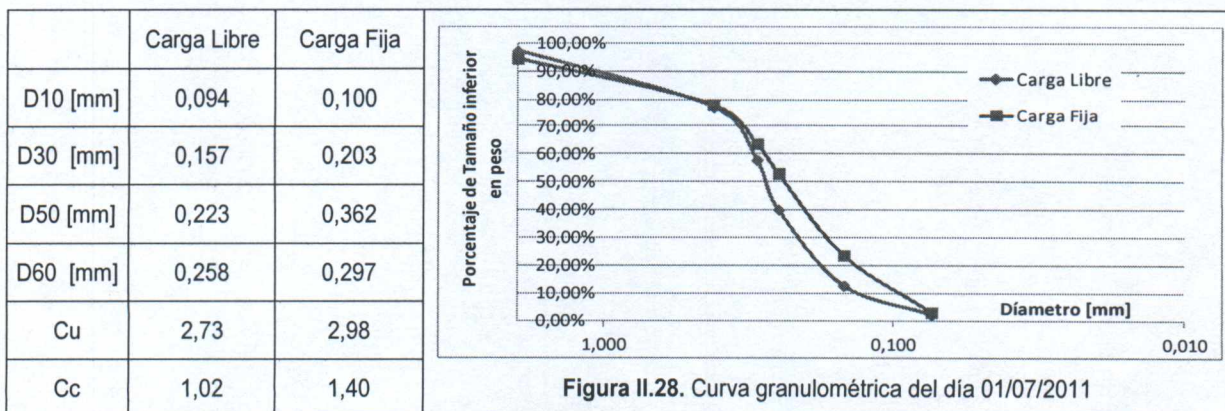
Día 30/06/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,21	374,01	8,80	286,47	100,00%	393,61	28,4	432,21	100,00%
#40	400,28	438,19	37,91	277,67	96,93%	468,94	68,66	403,81	93,43%
#50	374,7	420,39	45,69	239,76	83,69%	473,84	99,14	335,15	77,54%
#60	372,37	433,92	61,55	194,07	67,75%	455,80	83,43	236,01	54,61%
#100	367,68	478,56	110,88	132,52	46,26%	458,83	91,15	152,58	35,30%
#200	357,71	377,29	19,58	21,64	7,55%	409,62	51,91	61,43	14,21%
P200	405,69	407,75	2,06	2,06	0,72%	415,21	9,52	9,52	2,20%



Día 01/07/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,21	373,88	8,67	288,05	100,00%	515,09	149,88	466,65	100,00%
#40	400,28	437,71	37,43	279,38	96,99%	461,49	61,21	316,77	67,88%
#50	374,7	417,43	42,73	241,95	84,00%	421,69	46,99	255,56	54,76%
#60	372,37	403,94	31,57	199,22	69,16%	408,13	35,76	208,57	44,70%
#100	367,68	456,27	88,59	167,65	58,20%	438,81	71,13	172,81	37,03%
#200	357,71	426,84	69,13	79,06	27,45%	441,20	83,49	101,68	21,79%
P200	405,69	415,62	9,93	9,93	3,45%	423,88	18,19	18,19	3,90%





Día 02/07/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,21	380,31	15,10	530,97	100,00%	387,06	21,85	391,35	100,00%
#40	400,28	507,85	107,57	515,87	97,16%	486,40	86,12	369,5	94,42%
#50	374,7	486,83	112,13	408,30	76,90%	484,95	110,25	283,38	72,41%
#60	372,37	422,4	50,03	296,17	55,78%	446,76	74,39	173,13	44,24%
#100	367,68	484,64	116,96	246,14	46,36%	436,70	69,02	98,74	25,23%
#200	357,71	465,54	107,83	129,18	24,33%	380,84	23,13	29,72	7,59%
P200	405,69	427,04	21,35	21,35	4,02%	412,28	6,59	6,59	1,68%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,096	0,163
D30 [mm]	0,175	0,262
D50 [mm]	0,268	0,322
D60 [mm]	0,322	0,366
Cu	3,35	2,25
Cc	0,99	1,15

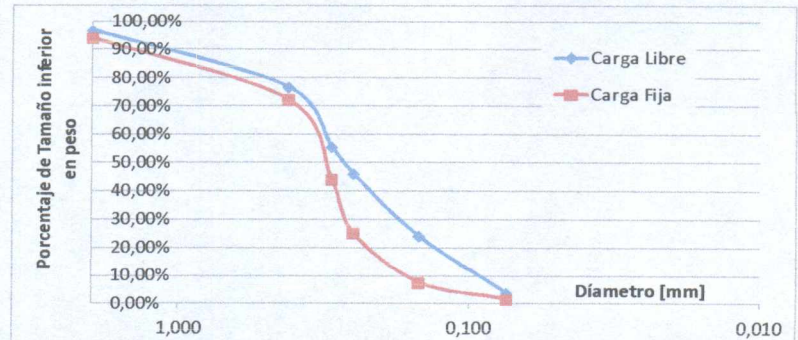


Figura II.29. Curva granulométrica del día 02/07/2011

Día 03/07/2011

Pasa Tamiz	Peso Tamiz [g]	Carga Libre				Carga Fija			
		PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]	PS+Tamiz [g]	Peso [g]	Acumulado [g]	Acumulado [%]
#10	365,21	382,71	17,50	496,03	100,00%	397,77	32,56	417,92	100,00%
#40	400,28	493,04	92,76	478,53	96,47%	474,65	74,37	385,36	92,21%
#50	374,7	466,41	91,71	385,77	77,77%	437,11	62,41	310,99	74,41%
#60	372,37	419,36	46,99	294,06	59,28%	413,07	40,7	248,58	59,48%
#100	367,68	500,58	132,90	247,07	49,81%	470,41	102,73	207,88	49,74%
#200	357,71	452,66	94,95	114,17	23,02%	446,57	88,86	105,15	25,16%
P200	405,69	424,91	19,22	19,22	3,87%	421,98	16,29	16,29	3,90%

	Carga Libre	Carga Fija
D10 [mm]	0,098	0,096
D30 [mm]	0,175	0,169
D50 [mm]	0,251	0,250
D60 [mm]	0,302	0,301
Cu	3,08	3,15
Cc	1,04	0,99

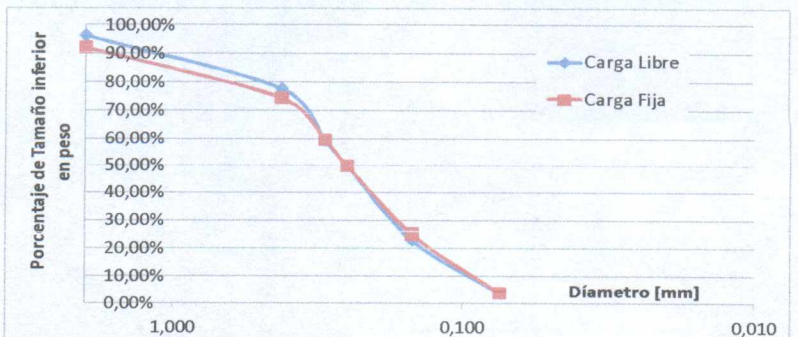


Figura II.30. Curva granulométrica del día 03/07/2011





ANEXO IV - PLANILLA DE MEDICIONES HIDROSEDIMENTOLÓGICA

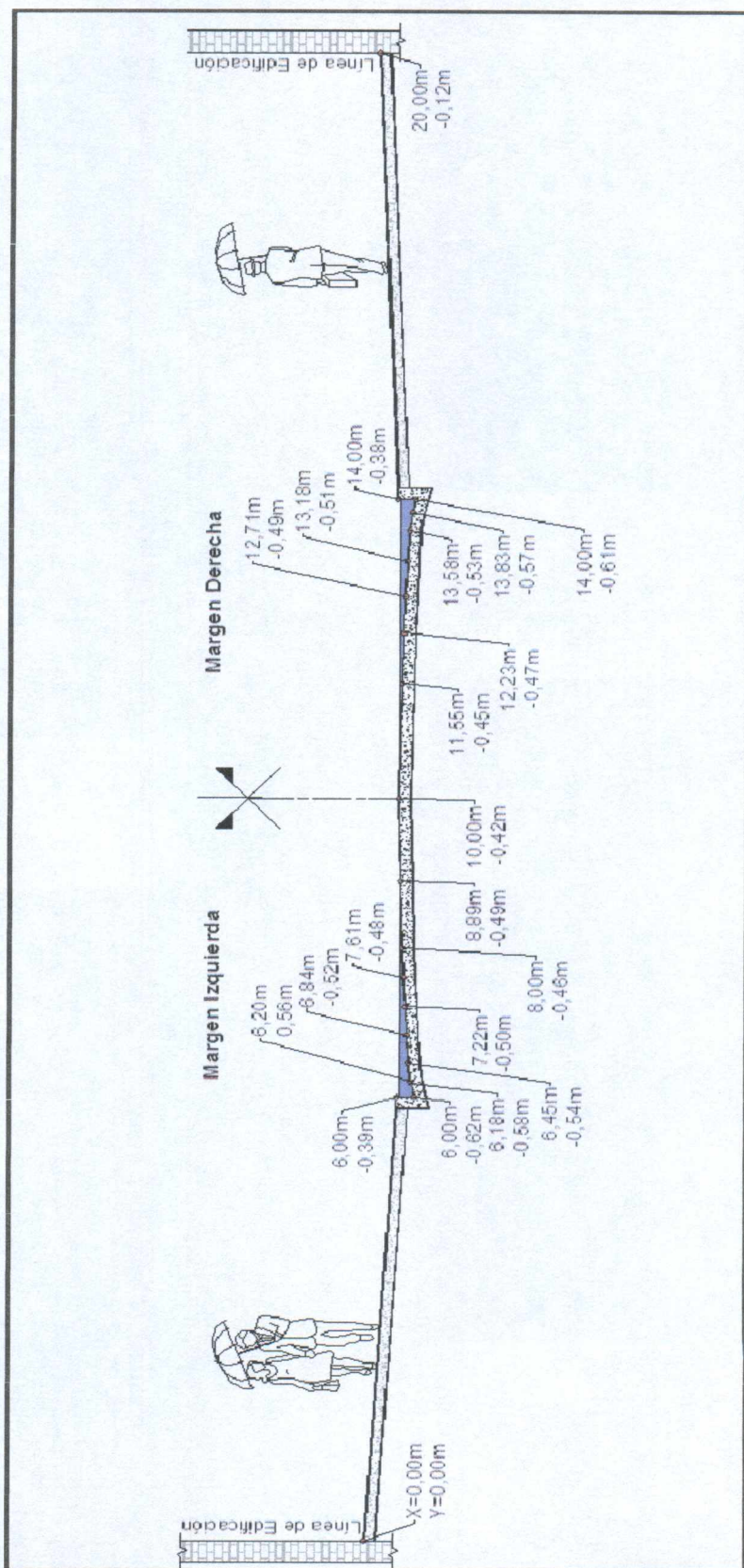


Figura III.1. Sección de la Calle San Lorenzo en sitio de medición (Kutnich, 2008)

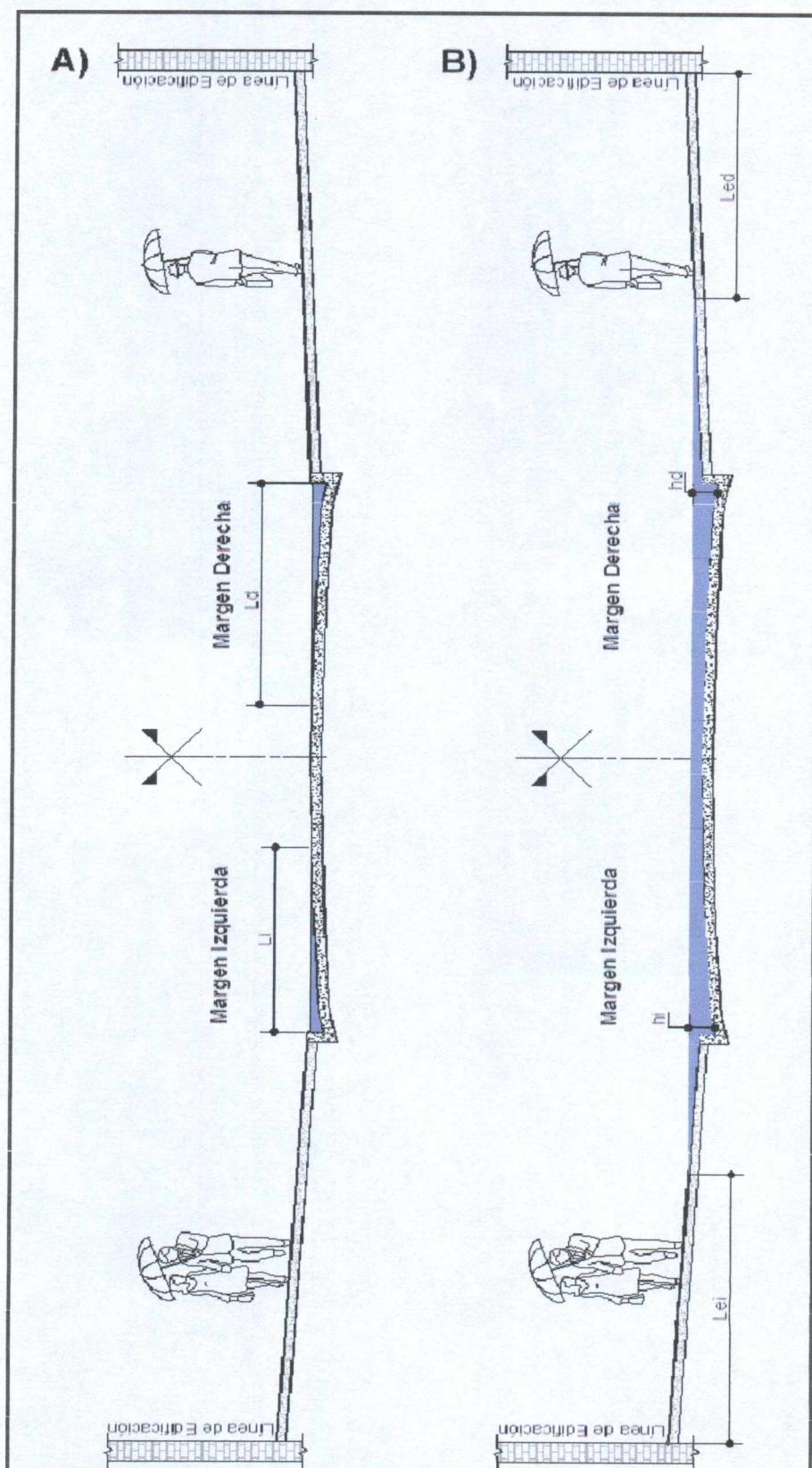


Figura III.2. Mediciones realizadas en la calle San Lorenzo a) cuando la escorrentía está contenida en las cunetas b) cuando la escorrentía desborda las cunetas.



Tabla IV.1. Caudales líquidos aforados

Nº Evento	Fecha	Hora	Margen	L [m]	Le [m]	h [m]	Pm [m]	A [m²]	Rh [m]	V [m/s]	Q [l/s]
1	03/09/2009	10:17	Derecha	0,41	---	0,080	0,498	0,0145	0,029	0,230	3,338
		10:23	Derecha	0,61	---	0,090	0,708	0,0196	0,028	0,223	4,362
		10:27	Derecha	0,71	---	0,095	0,813	0,0229	0,028	0,225	5,155
		10:33	Derecha	0,61	---	0,090	0,708	0,0196	0,028	0,223	4,362
		10:43	Derecha	0,41	---	0,080	0,498	0,0145	0,029	0,230	3,338
		11:05	Derecha	0,41	---	0,080	0,498	0,0145	0,029	0,230	3,338
		11:20	Derecha	0,41	---	0,080	0,498	0,0145	0,029	0,230	3,338
		11:35	Derecha	0,41	---	0,080	0,498	0,0145	0,029	0,230	3,338
		11:40	Derecha	0,41	---	0,080	0,498	0,0145	0,029	0,230	3,338
		10:17	Izquierda	0,82	---	0,100	0,925	0,0260	0,028	0,225	5,836
		10:23	Izquierda	0,96	---	0,105	1,080	0,0325	0,030	0,235	7,649
		10:27	Izquierda	1,05	---	0,110	1,175	0,0372	0,032	0,244	9,072
		10:33	Izquierda	0,96	---	0,105	1,080	0,0325	0,030	0,235	7,649
		10:43	Izquierda	1,03	---	0,110	1,150	0,0362	0,031	0,242	8,759
		10:50	Izquierda	0,84	---	0,100	0,954	0,0268	0,028	0,225	6,025
		11:05	Izquierda	0,84	---	0,100	0,954	0,0268	0,028	0,225	6,025
		11:20	Izquierda	0,84	---	0,100	0,954	0,0268	0,028	0,225	6,025
		11:35	Izquierda	0,84	---	0,100	0,954	0,0268	0,028	0,225	6,025
		11:40	Izquierda	0,84	---	0,100	0,954	0,0268	0,028	0,225	6,025
2	14/10/2009	16:46	Derecha	0,50	---	0,085	0,593	0,0165	0,028	0,224	3,705
		17:07	Derecha	0,63	---	0,090	0,729	0,0202	0,028	0,223	4,498
		17:16	Derecha	0,59	---	0,090	0,687	0,0190	0,028	0,222	4,226
		16:43	Izquierda	0,70	---	0,093	0,807	0,0212	0,026	0,215	4,559
		17:04	Izquierda	1,00	---	0,108	1,123	0,0345	0,031	0,239	8,253
		17:16	Izquierda	0,95	---	0,106	1,070	0,0320	0,030	0,234	7,492
3	06/11/2009	09:16	Derecha	2,10	---	0,150	2,260	0,0973	0,043	0,299	29,078
		09:41	Derecha	2,50	---	0,161	2,670	0,1233	0,046	0,313	38,606
		09:51	Derecha	2,30	---	0,159	2,466	0,1102	0,045	0,306	33,782
		09:57	Derecha	1,60	---	0,133	1,743	0,0688	0,039	0,282	19,402
		10:13	Derecha	1,00	---	0,108	1,117	0,0340	0,030	0,237	8,070
		10:18	Derecha	0,80	---	0,099	0,908	0,0263	0,029	0,229	6,030
		09:20	Izquierda	2,50	---	0,171	2,687	0,1370	0,051	0,334	45,823
		09:45	Izquierda	3,00	---	0,182	3,198	0,1679	0,052	0,341	57,263
		09:51	Izquierda	2,70	---	0,176	2,891	0,1487	0,051	0,336	50,028
		10:13	Izquierda	1,20	---	0,119	1,353	0,0468	0,035	0,258	12,067
4	20/11/2009	10:18	Izquierda	1,00	---	0,108	1,123	0,0345	0,031	0,239	8,253
		09:23	Derecha	1,80	---	0,141	1,950	0,0800	0,041	0,289	23,148
		09:33	Derecha	1,40	---	0,125	1,530	0,0543	0,035	0,263	14,265
		09:41	Derecha	1,10	---	0,112	1,220	0,0384	0,031	0,242	9,312
		09:50	Derecha	1,00	---	0,108	1,117	0,0340	0,030	0,237	8,070
		09:58	Derecha	1,70	---	0,137	1,831	0,0726	0,040	0,283	20,535
		10:06	Derecha	3,07	---	0,170	3,064	0,1466	0,048	0,321	46,999
		10:19	Derecha	---	3,60	0,334	12,637	1,8155	0,144	0,667	1211,400
		09:25	Izquierda	2,40	---	0,169	2,585	0,1315	0,051	0,334	43,921
		09:35	Izquierda	2,20	---	0,164	2,380	0,1212	0,051	0,334	40,526
		09:43	Izquierda	1,50	---	0,134	1,649	0,0669	0,041	0,287	19,214
		09:53	Izquierda	1,30	---	0,124	1,438	0,0526	0,037	0,268	14,085



		10:00	Izquierda	2,50	---	0,1712	2,687	0,1370	0,051	0,334	45,825
		10:06	Izquierda	2,00	---	0,160	2,175	0,1118	0,051	0,336	37,597
		10:21	Izquierda	---	4,92	0,300	10,939	1,3171	0,120	0,593	781,23
5	08/02/2010	15:21	Derecha	0,50	---	0,084	0,593	0,0165	0,028	0,223	3,687
		15:29	Derecha	0,55	---	0,087	0,645	0,0179	0,028	0,223	3,976
		15:38	Derecha	0,70	---	0,095	0,803	0,0225	0,028	0,225	5,067
		15:52	Derecha	0,80	---	0,100	0,908	0,0263	0,029	0,229	6,033
		16:06	Derecha	0,73	---	0,096	0,834	0,0236	0,028	0,226	5,338
		16:26	Derecha	0,56	---	0,084	0,652	0,0180	0,028	0,222	4,014
		15:27	Izquierda	0,40	---	0,076	0,489	0,0122	0,025	0,208	2,533
		15:35	Izquierda	0,60	---	0,088	0,701	0,0179	0,026	0,211	3,788
		15:46	Izquierda	0,90	---	0,103	1,017	0,0295	0,029	0,230	6,792
		15:56	Izquierda	0,90	---	0,103	1,017	0,0295	0,029	0,230	6,792
		16:10	Izquierda	0,65	---	0,090	0,748	0,0198	0,026	0,216	4,259
		16:30	Izquierda	0,47	---	0,081	0,565	0,0144	0,025	0,210	3,025
6	15/02/2010	15:50	Derecha	1,01	---	0,109	1,127	0,0344	0,031	0,238	8,173
		16:02	Derecha	1,15	---	0,114	1,273	0,0409	0,032	0,246	10,046
		16:19	Derecha	1,17	---	0,115	1,294	0,0419	0,032	0,247	10,340
		16:33	Derecha	1,10	---	0,112	1,221	0,0385	0,032	0,243	9,340
		16:50	Derecha	0,90	---	0,104	1,012	0,0300	0,030	0,233	6,978
		15:55	Izquierda	1,30	---	0,124	1,439	0,0526	0,037	0,268	14,081
		16:07	Izquierda	1,64	---	0,142	1,797	0,0782	0,044	0,301	23,538
		16:22	Izquierda	1,70	---	0,145	1,860	0,0833	0,045	0,307	25,557
		16:37	Izquierda	1,10	---	0,114	1,228	0,0407	0,033	0,251	10,228
7	22/02/2010	16:52	Izquierda	1,14	---	0,116	1,270	0,0424	0,033	0,252	10,693
		12:13	Derecha	1,52	---	0,130	1,659	0,0616	0,037	0,271	16,677
		12:18	Derecha	1,46	---	0,128	1,597	0,0579	0,036	0,266	15,420
		12:23	Derecha	1,36	---	0,123	1,492	0,0520	0,035	0,260	13,495
		12:28	Derecha	1,22	---	0,117	1,346	0,0441	0,033	0,249	10,974
		12:33	Derecha	1,10	---	0,112	1,221	0,0384	0,031	0,242	9,307
		12:41	Derecha	0,81	---	0,100	0,919	0,0267	0,029	0,230	6,140
		12:13	Izquierda	2,28	---	0,166	2,463	0,1253	0,051	0,334	41,852
		12:18	Izquierda	1,92	---	0,156	2,091	0,1038	0,050	0,329	34,105
		12:23	Izquierda	1,84	---	0,152	2,007	0,0960	0,048	0,321	30,795
		12:28	Izquierda	1,53	---	0,136	1,681	0,0692	0,041	0,290	20,070
8	03/03/2010	12:33	Izquierda	1,18	---	0,118	1,312	0,0449	0,034	0,256	11,499
		12:41	Izquierda	1,02	---	0,109	1,144	0,0356	0,031	0,241	8,573
		16:58	Derecha	2,00	---	0,147	2,157	0,0913	0,042	0,295	26,963
		17:13	Derecha	1,60	---	0,133	1,743	0,0668	0,038	0,277	18,474
		17:25	Derecha	1,26	---	0,119	1,388	0,0462	0,033	0,252	11,624
		17:35	Derecha	0,90	---	0,104	1,012	0,0300	0,030	0,233	6,978
		17:00	Izquierda	2,40	---	0,169	2,585	0,1315	0,051	0,334	43,921
		17:15	Izquierda	2,00	---	0,160	2,175	0,1118	0,051	0,336	37,594
9	19/03/2010	17:27	Izquierda	1,65	---	0,142	1,807	0,0790	0,044	0,302	23,869
		17:38	Izquierda	1,04	---	0,111	1,165	0,0367	0,032	0,243	8,904
		17:50	Derecha	1,28	---	0,120	1,409	0,0476	0,034	0,254	12,103
		18:00	Derecha	0,81	---	0,100	0,919	0,0267	0,029	0,230	6,140
		18:10	Derecha	0,61	---	0,090	0,708	0,0196	0,028	0,223	4,362
		17:53	Izquierda	1,15	---	0,116	1,281	0,0430	0,034	0,253	10,900
		18:02	Izquierda	1,02	---	0,109	1,147	0,0356	0,031	0,240	8,555
		18:15	Izquierda	0,73	---	0,094	0,838	0,0224	0,027	0,217	4,860



Tabla IV. 2. Concentración de sólidos suspendidos aforados

N° de porta muestra	Margen	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Filtro N°	Volúmen Filtrado (ml)	Peso Filtro (g)	Peso Filtro + Sedimento (g)	Concentración (mg/l)	Turbidez (NTU)
HU-1	Derecha	03/09/09	10:50	1	25	0,0815	0,0892	308	160
HU-3	Derecha		11:05	3	25	0,0816	0,0868	208	120
HU-5	Derecha		11:20	5	25	0,0823	0,0864	164	100
HU-7	Derecha		11:35	7	25	0,0818	0,0877	236	140
HU-9	Derecha		11:53	9	25	0,0815	0,0885	280	105
HU-2	Izquierda		10:58	2	25	0,0813	0,1063	1000	350
HU-4	Izquierda		11:10	4	25	0,0809	0,0901	368	195
HU-6	Izquierda		11:20	6	25	0,0813	0,0966	612	295
HU-8	Izquierda		11:40	8	25	0,0813	0,0968	620	245
1	Derecha	14/10/09	16:46	F11	25	0,0797	0,0876	316	130
3	Derecha		17:07	F12	25	0,0806	0,0883	308	160
4	Derecha		17:16	HU -1	25	0,0795	0,0924	516	220
5	Izquierda		16:43	HU-2	25	0,0794	0,0946	608	240
6	Izquierda		17:04	HU-3	25	0,0796	0,1032	944	240
7	Izquierda		17:16	HU-4	25	0,0791	0,0849	232	110
2	Derecha	06/11/09	09:16	HU-6	25	0,079	0,0871	324	120
11	Derecha		09:41	HU-14	25	0,0762	0,0864	408	80
8	Derecha		09:51	HU-8	25	0,0763	0,0829	264	160
10	Derecha		09:57	HU-23	25	0,0784	0,084	224	110
21	Derecha		10:13	HU-10	25	0,0766	0,0802	144	80
23	Derecha		10:18	13	25	0,0912	0,0935	92	95
13	Izquierda		09:20	HU-5	25	0,079	0,0871	324	210
9	Izquierda		09:45	HU-25	25	0,0785	0,0862	308	160
12	Izquierda		09:51	HU-13	25	0,0754	0,0864	440	240
22	Izquierda		10:13						
24	Izquierda		10:18	27	50	0,0938	0,104	204	
4	Derecha	20/11/09	09:23	HU-17	25	0,0788	0,0826	152	90
6	Derecha		09:33	HU-21	25	0,0777	0,0811	136	90
5	Derecha		09:41	HU20	25	0,0784	0,0809	100	70
27	Derecha		09:50	HU-15	25	0,0771	0,0792	84	80
20	Derecha		09:58	HU-9	25	0,077	0,083	240	100
24	Derecha		10:06	HU-18	25	0,0774	0,0851	308	
15	Derecha		10:19	HU-24	25	0,0774	0,0842	272	100
3	Izquierda		09:25	HU-12	25	0,0756	0,0927	684	220
1	Izquierda		09:35	HU-7	25	0,0762	0,0824	248	120
7	Izquierda		09:43	HU16	50	0,0761	0,0812	102	140
30	Izquierda		09:53	HU-22	25	0,0773	0,0817	176	110
34	Izquierda		10:00	HU-26	25	0,0781	0,0848	268	140
18	Izquierda		10:06	HU-11	50	0,0759	0,0889	260	180
19	Izquierda		10:21	HU-19	25	0,0781	0,0861	320	120
28	Derecha	08/02/10	15:21	11	25	0,0962	0,0981	76	100
17	Derecha		15:29	12	25	0,092	0,0952	128	130
21	Derecha		15:38	6	25	0,0953	0,099	148	110
26	Derecha		15:52	3	25	0,0948	0,0979	124	105



16	Derecha		16:06	2	25	0,0909	0,0927	72	80
29	Derecha		16:26	4	25	0,0926	0,094	56	98
33	Izquierda		15:27	8	25	0,0911	0,0972	244	180
32	Izquierda		15:35	7	25	0,0927	0,0979	208	160
23	Izquierda		15:46	9	25	0,093	0,0984	216	130
14	Izquierda		15:56	5	25	0,0951	0,0994	172	150
25	Izquierda		16:10	1	25	0,0899	0,1036	548	135
22	Izquierda		16:30	10	25	0,093	0,0959	116	160
1	Derecha	15/02/10	15:50	29	50	0,0945	0,1034	178	60
3	Derecha		16:02	31	50	0,0912	0,0965	106	55
5	Derecha		16:19	33	50	0,0921	0,0941	40	30
7	Derecha		16:33	35	50	0,0916	0,0932	32	20
9	Derecha		16:50					35	25
2	Izquierda		15:55	30	50	0,0893	0,0939	92	65
4	Izquierda		16:07	32	50	0,0926	0,0989	126	75
6	Izquierda		16:22	34	50	0,0949	0,099	82	55
8	Izquierda		16:37	36	50	0,0922	0,1017	190	75
10	Izquierda		16:52					12	10
49	Derecha	22/02/10	12:13	21	25	0,0944	0,0971	108	
44	Derecha		12:18	17	25	0,0917	0,094	92	
50	Derecha		12:23	22	50	0,0932	0,098	96	
52	Derecha		12:28	24	50	0,0935	0,0974	78	
47	Derecha		12:33	15	25	0,0924	0,0948	96	
38	Derecha		12:41	19	25	0,0916	0,0935	76	
48	Izquierda		12:13	16	25	0,0902	0,0953	204	
46	Izquierda		12:18	20	25	0,0926	0,0965	156	
51	Izquierda		12:23	23	50	0,091	0,0974	128	
53	Izquierda		12:28	14	25	0,0921	0,0948	108	
54	Izquierda	03/03/10	12:33	25	50	0,0919	0,0978	118	
43	Izquierda		12:41	18	25	0,0928	0,0949	84	
18	Derecha		16:58	47	50	0,077	0,0917	294	
13	Derecha	19/03/10	17:13	46	50	0,0768	0,0874	212	
1	Derecha		17:25	37	50	0,0776	0,0941	330	95
27	Derecha		17:35	49	49	0,0787	0,0825	78	
11	Izquierda		17:00	44	50	0,0779	0,0995	432	195
20	Izquierda		17:15	48	50	0,0766	0,0994	456	
3	Izquierda	19/03/10	17:27	39	50	0,0786	0,0983	394	205
34	Izquierda		17:38	49	53	0,0793	0,096	315	
9	Derecha		17:50	41	50	0,0773	0,1005	464	220
2	Derecha		18:00	43	50	0,0757	0,0915	316	205
10	Derecha		18:10	42	49	0,0761	0,0855	192	155
4	Izquierda	19/03/10	17:53	38	50	0,0766	0,1094	656	270
5	Izquierda		18:02	40	50	0,0782	0,1022	480	260
7	Izquierda		18:15	45	49	0,0779	0,0995	441	250



ANEXO V – INFORME DE MODELACIÓN CON SWMM



Informe del modelo desde 01/09/2009 hasta el 31/12/2009

STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 vE (Build 5.0.018 vE)
Traducido por el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos
Universidad Politécnica de Valencia

NOTA: El resumen estadístico mostrado en este informe se
basa en los resultados obtenidos en todos los intervalos
de cálculo, no sólo en los intervalos registrados en el
informe.

***** Opciones de Análisis

Unidades de Caudal LPS
Modelos utilizados:

Lluvia/Escorrentía SI
Deshielo de Nieve NO
Flujo Subterráneo NO
Cálculo Hidráulico NO
Calidad del Agua SI
Método de Infiltración HORTON
Fecha de Comienzo SEP-01-2009 00:00:00
Fecha de Finalización DEC-31-2009 23:59:00
Días Previos sin Lluvia 28.0
Report Time Step 00:01:00
Intervalo para Tiempo de Lluvia . 00:01:00
Intervalo para Tiempo Seco 00:15:00

***** Errores de Continuidad

	Volumen	Altura
	ha·m	mm
Escorrentía Superficial	-----	-----
Precipitación Total	2.876	684.247
Pérdidas Evaporación	0.424	100.810
Pérdidas Infiltración	0.974	231.792
Escorrentía Superficial ..	1.478	351.683
Almacen. Final en Sup. ...	0.000	0.000
% Error Continuidad	-0.005	

	TSS
	kg
Calidad de la Escorrentía	-----
Acumulación Inicial	497.731
Acumulación en Sup	6639.102
Sedimentación	0.000
Eliminación Limpieza	2173.289
Elim. Buenas Prácticas ...	0.000
Escorrentía Superficial ..	3695.436
Acumulación Restante	122.587
% Error Continuidad	16.051

	Volumen	Volumen
	ha·m	10 ³ m ³
Cálculo Hidráulico	-----	-----
Aporte Tiempo Seco	0.000	0.000
Aporte Tiempo Lluvia	1.478	14.780
Aporte Ag. Subterránea ...	0.000	0.000
Aportes dep. Lluvia	0.000	0.000
Aportes Externos	0.000	0.000
Descargas Externas	1.478	14.780
Descargas Internas	0.000	0.000
Perdidas Almacenamiento ..	0.000	0.000
Vol. Almacenado Inicial ..	0.000	0.000
Vol. Almacenado Final	0.000	0.000
% Error Continuidad	0.000	

	TSS
	kg
Cálculos calidad del agua	-----
Aporte Tiempo Seco	0.000
Aporte Tiempo Lluvia	3695.286
Aporte Ag. Subterránea ...	0.000
Aportes dep. Lluvia	0.000
Aportes Externos	0.000
Inundación Interna	0.000
Descargas al Exterior	3695.286
Masa reaccionada	0.000
Masa almacenada Inicial ..	0.000
Masa almacenada Final	0.000
% Error Continuidad	0.000



Resumen de Escorrentía en Subcuencas

Subcuenca	Precip Total mm	Aporte Total mm	Evap Total mm	Infil Total mm	Escor. Total mm	Escor. Total 10 ⁶ ltr	Escor. Punta LPS	Coef. Escor.
Derecha	684.247	0.000	107.024	202.107	375.156	6.581	186.010	0.548
Izquierda	684.247	0.000	96.357	253.061	334.865	8.199	239.712	0.489
Sistema	684.247	0.000	100.810	231.792	351.683	14.780	425.722	0.514

Resumen de Arrastre en Subcuencas

Subcuenca	TSS kg
Derecha	1376.476
Izquierda	2318.960
Sistema	3695.436

Instante de inicio del análisis: Sun Nov 11 20:31:38 2012
Instante de finalización del análisis: Sun Nov 11 20:31:39 2012

Informe del modelo desde 01/01/2010 hasta el 19/03/2010

STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 vE (Build 5.0.018 vE)
Traducido por el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos
Universidad Politécnica de Valencia

NOTA: El resumen estadístico mostrado en este informe se basa en los resultados obtenidos en todos los intervalos de cálculo, no sólo en los intervalos registrados en el informe.

Opciones de Análisis

Unidades de Caudal LPS
Modelos utilizados:
Lluvia/Escorrentía SI
Deshielo de Nieve NO
Flujo Subterráneo NO
Cálculo Hidráulico NO
Calidad del Agua SI
Método de Infiltración HORTON
Fecha de Comienzo JAN-01-2010 00:00:00
Fecha de Finalización MAR-19-2010 21:00:00
Días Previos sin Lluvia 5.0
Report Time Step 00:01:00
Intervalo para Tiempo de Lluvia 00:01:00
Intervalo para Tiempo Seco 00:15:00

Errores de Continuidad

	Volumen ha·m	Altura mm
Escorrentía Superficial	-----	-----
Precipitación Total	1.691	402.438
Pérdidas Evaporación	0.141	33.494
Pérdidas Infiltración	0.663	157.675
Escorrentía Superficial	0.873	207.700
Almacen. Final en Sup.	0.015	3.589
% Error Continuidad	-0.005	

	TSS kg
Calidad de la Escorrentía	-----
Acumulación Inicial	146.134
Acumulación en Sup	3712.815
Sedimentación	0.000
Eliminación Limpieza	528.722
Elim. Buenas Prácticas	0.000
Escorrentía Superficial	2388.439
Acumulación Restante	143.537



% Error Continuidad 20.686

```
*****
Cálculo Hidráulico
*****
Volumen      Volumen
ha-m         10^3 m3
-----
Aporte Tiempo Seco ..... 0.000 0.000
Aporte Tiempo Lluvia .... 0.873 8.729
Aporte Ag. Subterránea ... 0.000 0.000
Aportes dep. Lluvia ..... 0.000 0.000
Aportes Externos ..... 0.000 0.000
Descargas Externas ..... 0.873 8.729
Descargas Internas ..... 0.000 0.000
Perdidas Almacenamiento .. 0.000 0.000
Vol. Almacenado Inicial .. 0.000 0.000
Vol. Almacenado Final .... 0.000 0.000
% Error Continuidad ..... 0.000
```

```
*****
Cálculos calidad del agua
*****
TSS
kg
-----
Aporte Tiempo Seco ..... 0.000
Aporte Tiempo Lluvia .... 2388.727
Aporte Ag. Subterránea ... 0.000
Aportes dep. Lluvia ..... 0.000
Aportes Externos ..... 0.000
Inundación Interna ..... 0.000
Descargas al Exterior .... 2388.727
Masa reaccionada ..... 0.000
Masa almacenada Inicial .. 0.000
Masa almacenada Final .... 0.000
% Error Continuidad ..... 0.000
```

Resumen de Escorrentía en Subcuencas

Subcuenca	Precip Total mm	Aporte Total mm	Evap Total mm	Infil Total mm	Escor. Total mm	Escor. Total 10^6 ltr	Escor. Punta LPS	Coef. Escor.
Derecha	402.438	0.000	35.600	142.294	220.691	3.871	172.909	0.548
Izquierda	402.438	0.000	31.984	168.696	198.393	4.857	224.732	0.493
Sistema	402.438	0.000	33.494	157.675	207.700	8.729	397.640	0.516

Resumen de Arrastre en Subcuencas

```
-----
Subcuenca      TSS
kg
-----
Derecha        789.151
Izquierda      1599.288
-----
Sistema        2388.439
```

Instante de inicio del análisis: Sun Nov 18 17:26:48 2012
Instante de finalización del análisis: Sun Nov 18 17:26:49 2012