

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

MÁSTER EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL

TIPO

TRABAJO FIN DE MÁSTER

TÍTULO

**SISTEMA DE LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA REHABILITACIÓN
HIDROLÓGICA DE INFRAESTRUCTURAS VIALES URBANAS**

AUTOR

DANIEL JATO ESPINO

DIRECTORES

**JORGE RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ
ELENA CASTILLO LÓPEZ**

FECHA

Santander, a 11 de Noviembre de 2014

Resumen

El presente trabajo fin de Máster se ha llevado a cabo a partir del proyecto “Rehabilitación Hidrológica de Infraestructuras Viales Urbanas (RHIVU)”, con referencia BIA2012-32463 y financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad con cargo al Presupuesto General del Estado (PGE) y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), y que actualmente está siendo desarrollado por el Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO) de la Universidad de Cantabria.

La finalidad general del proyecto es generar conocimiento sobre la rehabilitación hidrológica de infraestructuras viales urbanas, que ayude a prevenir inundaciones y fenómenos de contaminación difusa mediante superficies multifuncionales, que además de resistir el tráfico para el que estén diseñadas, ofrezcan un comportamiento hidrológico mejorado. De este modo, se pretende aprovechar la oportunidad que supone el proceso de rehabilitación urbana para evitar el empleo de superficies impermeables, cuya instalación masiva ha agravado los problemas de inundaciones y contaminación difusa dentro de las ciudades.

Una de objetivos específicos de dicho proyecto consiste en el desarrollo de una metodología de localización para la correcta rehabilitación hidrológica de infraestructuras viales urbanas. Para ello, se procede a la identificación espacial mediante el uso combinado de sistemas de información geográfica y modelos de cálculo hidrológico informatizados de aquellas zonas pertenecientes a las ciudades representadas por los EPOs del proyecto (Santander, San Sebastián y Barcelona) que sean especialmente susceptibles de padecer problemas de inundaciones y contaminación difusa.

El trabajo fin de Máster que se presenta a continuación recoge los principales progresos y conclusiones alcanzados hasta la fecha en la ciudad de Santander para lograr este objetivo.

Agradecimientos

La realización de este trabajo fin de Máster ha sido posible gracias al proyecto “Rehabilitación Hidrológica de Infraestructuras Viales Urbanas (RHIVU)”, con referencia BIA2012-32463 y financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad con cargo al Presupuesto General del Estado (PGE) y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Quiero mostrar mi más sincero agradecimiento al Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO) y a la Universidad de Cantabria por darme la oportunidad de participar en este proyecto. Igualmente, especial gratitud merecen los grupos de investigación de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y FLUMEN (Universidad Politécnica de Catalunya), así como las EPOs asociadas a las actividades del proyecto en que se basa este trabajo: Sustainable Drainage Applied Research Group (Coventry University), Ayuntamiento de Santander, Ayuntamiento de San Sebastián, BAGURSA, PME, SUDS, Ugarbi, Enviro y Arnaiz.

En último lugar, agradezco a mis directores, Jorge Rodríguez y Elena Castillo, su plena atención y disponibilidad durante la realización de este trabajo, así como a mis compañeros de GITECO por el apoyo diario que me han prestado.

Tabla de contenidos

1. MEMORIA SOBRE LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE	19
1.1. Memoria sobre la enseñanza y el aprendizaje	20
1.2. Estructura del documento	23
2. INTRODUCCIÓN.....	25
2.1. Marco de trabajo y antecedentes	26
2.2. Objetivos	26
2.2.1. Generales.....	26
2.2.2. Particulares	26
2.3. Hipótesis de partida	26
3. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE	29
3.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	30
3.1.1. Generalidades	30
3.1.2. Estado actual del software SIG.....	34
3.2. Hidrología urbana	41
3.2.1. Incidencia de la urbanización en la escorrentía.....	41
3.2.2. Modelos matemáticos de cálculo informatizados	43
3.3. Revisión bibliográfica	47
3.4. Justificación de la metodología adoptada	53
4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	55
4.1. Recogida de información	56
4.2. Modelo físico.....	59
4.2.1. Acondicionamiento del terreno.....	59
4.2.2. Relleno	59
4.2.3. Dirección de flujo.....	60
4.2.4. Acumulación de flujo	61
4.2.5. Creación de la red de flujo	61
4.2.6. Delineación de cuencas hidrográficas	62
4.3. Modelo meteorológico	63
4.3.1. Ajuste de datos pluviométricos	63
4.3.2. Interpolación espacial	68
4.3.3. Lluvia de diseño	78
4.4. Modelo hidrológico.....	82
4.4.1. Exceso de precipitación	82
4.4.2. Transformación	85

4.4.3. Tránsito	86
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	89
5.1. Modelo físico.....	90
5.2. Modelo meteorológico	93
5.3. Modelo hidrológico.....	100
6. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	111
6.1. Conclusiones	112
6.2. Futuras líneas de investigación	114
REFERENCIAS.....	115
ANEXO I: AJUSTE DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS	127
ANEXO II: HIETOGRAMAS DE DISEÑO	143
ANEXO III: SIMULACIÓN HIDROLÓGICA	163

Listado de figuras

Figura 1. Componentes de un SIG [9].....	31
Figura 2. Subsistemas de un SIG [6]	33
Figura 3. Variación del caudal en función de la impermeabilización [46]	41
Figura 4. Influencia de la urbanización en el tiempo de respuesta [46].....	42
Figura 5. Influencia del área urbanizada y de la red de saneamiento en la variación del caudal [46] .	42
Figura 6. Influencia de la intensidad de lluvia y la pendiente de la cuenca en la escorrentía [46]	43
Figura 7. Esquema de la metodología propuesta	58
Figura 8. Vistas de perfil de una depresión y un pico antes y después de rellenar [127].....	60
Figura 9. Codificación de la dirección de flujo [130].....	60
Figura 10. Determinación de la acumulación de flujo [132]	61
Figura 11. Componentes de una cuenca hidrográfica [135]	62
Figura 12. Pesos relativos a aplicar en función de la distancia y potencia consideradas [151]	70
Figura 13. Paso por puntos muestreados [152]	70
Figura 14. Dificultades de ajuste de la interpolación global polinómica [153].....	71
Figura 15. Influencia del tamaño de la vecindad en el ajuste polinómico local [153]	71
Figura 16. Distancia al cuadrado entre los puntos muestreados [154].....	73
Figura 17. Semivariograma empírico [154]	73
Figura 18. Modelos de semivarianza [154]	74
Figura 19. Componentes de un semivariograma [154].....	75
Figura 20. Ejemplo de kriging ordinario en una dimensión espacial [159].....	75
Figura 21. Semivariogramas simulados [161].....	77
Figura 22. Validación cruzada [164].....	78
Figura 23. Mapa para la estimación del factor regional [46]	79
Figura 24. Método de los bloques alternados [46]	80
Figura 25. Separación de la precipitación neta [169].....	82
Figura 26. Gráfico de las curvas numeradas [170]	83
Figura 27. Profundidad media utilizada en la capacidad de desagüe de un imbornal [46]	84
Figura 28. Hidrograma sintético triangular [174].....	85
Figura 29. Hidrograma adimensional del SCS [174].....	86
Figura 30. Efecto del tránsito a través de un canal o corriente de agua [176].....	87
Figura 31. Almacenamiento en un cauce según el método de Muskingum [176]	87
Figura 32. Modelo Digital del Terreno y Mapa de Pendientes	90
Figura 33. Operaciones sobre el Modelo Digital del Terreno.....	90
Figura 34. Dirección y acumulación de flujo.....	91

Figura 35. Elementos de flujo.....	91
Figura 36. Esquema de los elementos hidrológicos a importar a HEC-HMS	92
Figura 37. Ubicación de los puntos con información pluviométrica	93
Figura 38. Valores atípicos.....	94
Figura 39. Análisis exploratorio de los datos.....	95
Figura 40. Semivariograma	96
Figura 41. Métodos de interpolación espacial.....	97
Figura 42. Validación cruzada de los valores obtenidos para los seis métodos de interpolación	97
Figura 43. Mapa de precipitaciones para el área de estudio	98
Figura 44. Hietogramas de diseño de las 67 subcuencas	99
Figura 45. Usos del suelo en Cantabria del Corine Land Cover 2006.....	100
Figura 46. Números de Curva y porcentaje de impermeabilidad para la zona de estudio	101
Figura 47. Representación esquemática de la cuenca en HEC-HMS	104
Figura 48. a) Subcuenca 1 b) Subcuenca 2.....	164
Figura 49. a) Subcuenca 3 b) Subcuenca 4.....	164
Figura 50. a) Subcuenca 5 b) Subcuenca 6.....	165
Figura 51. a) Subcuenca 7 b) Subcuenca 8.....	165
Figura 52. a) Subcuenca 9 b) Subcuenca 10.....	166
Figura 53. a) Subcuenca 11 b) Subcuenca 12.....	166
Figura 54. a) Subcuenca 13 b) Subcuenca 14.....	167
Figura 55. a) Subcuenca 15 b) Subcuenca 16.....	167
Figura 56. a) Subcuenca 17 b) Subcuenca 18.....	168
Figura 57. a) Subcuenca 19 b) Subcuenca 20.....	168
Figura 58. a) Subcuenca 21 b) Subcuenca 22.....	169
Figura 59. a) Subcuenca 23 b) Subcuenca 24.....	169
Figura 60. a) Subcuenca 25 b) Subcuenca 26.....	170
Figura 61. a) Subcuenca 27 b) Subcuenca 28.....	170
Figura 62. a) Subcuenca 29 b) Subcuenca 30.....	171
Figura 63. a) Subcuenca 31 b) Subcuenca 32.....	171
Figura 64. a) Subcuenca 33 b) Subcuenca 34.....	172
Figura 65. a) Subcuenca 35 b) Subcuenca 36.....	172
Figura 66. a) Subcuenca 37 b) Subcuenca 38.....	173
Figura 67. a) Subcuenca 39 b) Subcuenca 40.....	173
Figura 68. a) Subcuenca 41 b) Subcuenca 42.....	174
Figura 69. a) Subcuenca 43 b) Subcuenca 44.....	174
Figura 70. a) Subcuenca 45 b) Subcuenca 46.....	175

Figura 71. a) Subcuenca 47 b) Subcuenca 48.....	175
Figura 72. a) Subcuenca 49 b) Subcuenca 50.....	176
Figura 73. a) Subcuenca 51 b) Subcuenca 52.....	176
Figura 74. a) Subcuenca 53 b) Subcuenca 54.....	177
Figura 75. a) Subcuenca 55 b) Subcuenca 56.....	177
Figura 76. a) Subcuenca 57 b) Subcuenca 58.....	178
Figura 77. a) Subcuenca 59 b) Subcuenca 60.....	178
Figura 78. a) Subcuenca 61 b) Subcuenca 62.....	179
Figura 79. a) Subcuenca 63 b) Subcuenca 64.....	179
Figura 80. a) Subcuenca 65 b) Subcuenca 66.....	180
Figura 81. Subcuenca 67	180
Figura 82. Elemento de descarga 1. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	181
Figura 83. Elemento de descarga 2. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	181
Figura 84. Elemento de descarga 5. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	182
Figura 85. Elemento de descarga 6. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	182
Figura 86. Elemento de descarga 9. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	183
Figura 87. Elemento de descarga 16-20. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	183
Figura 88. Elemento de descarga 17. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	184
Figura 89. Elemento de descarga 18. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	184
Figura 90. Elemento de descarga 19. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	185
Figura 91. Elemento de descarga 23-33. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	185
Figura 92. Elemento de descarga 26. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	186
Figura 93. Elemento de descarga 27. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	186
Figura 94. Elemento de descarga 28. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	187
Figura 95. Elemento de descarga 29-34. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	187
Figura 96. Elemento de descarga 30-40. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	188
Figura 97. Elemento de descarga 31. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	188
Figura 98. Elemento de descarga 32. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	189
Figura 99. Elemento de descarga 35. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	189
Figura 100. Elemento de descarga 36-37. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	190
Figura 101. Elemento de descarga 38. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	190
Figura 102. Elemento de descarga 39. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	191
Figura 103. Elemento de descarga 44-46. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	191
Figura 104. Elemento de descarga 45. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	192
Figura 105. Elemento de descarga 47. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	192
Figura 106. Elemento de descarga 48. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	193

Figura 107. Elemento de descarga 51. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	193
Figura 108. Elemento de descarga 52. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	194
Figura 109. Elemento de descarga 54. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	194
Figura 110. Elemento de descarga 59. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	195
Figura 111. Elemento de descarga 60. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	195
Figura 112. Elemento de unión 3-4. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	196
Figura 113. Elemento de unión 7-8. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	196
Figura 114. Elemento de unión 10-11. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	197
Figura 115. Elemento de unión 12-13. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	197
Figura 116. Elemento de unión 14-15. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	198
Figura 117. Elemento de unión 21-22. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	198
Figura 118. Elemento de unión 24-25. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	199
Figura 119. Elemento de unión 41-49. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	199
Figura 120. Elemento de unión 42-43. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	200
Figura 121. Elemento de unión 50-53. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	200
Figura 122. Elemento de unión 55-56. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	201
Figura 123. Elemento de unión 57-58. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	201
Figura 124. Elemento de unión 61-62. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	202
Figura 125. Elemento de unión 63-64. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	202
Figura 126. Elemento de unión 65-66. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	203
Figura 127. Elemento de desagüe 67. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	203
Figura 128. Tramo 3. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	204
Figura 129. Tramo 4. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	204
Figura 130. Tramo 7. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	205
Figura 131. Tramo 8. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	205
Figura 132. Tramo 11. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	206
Figura 133. Tramo 12. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	206
Figura 134. Tramo 13. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	207
Figura 135. Tramo 15. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	207
Figura 136. Tramo 17. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	208
Figura 137. Tramo 18. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	208
Figura 138. Tramo 19. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	209
Figura 139. Tramo 20. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	209
Figura 140. Tramo 21. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	210
Figura 141. Tramo 25. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	210
Figura 142. Tramo 26. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial	211

Figura 143. Tramo 27. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	211
Figura 144. Tramo 28. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	212
Figura 145. Tramo 29. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	212
Figura 146. Tramo 30. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	213
Figura 147. Tramo 32. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	213
Figura 148. Tramo 33. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	214
Figura 149. Tramo 34. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	214
Figura 150. Tramo 36. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	215
Figura 151. Tramo 37. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	215
Figura 152. Tramo 38. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	216
Figura 153. Tramo 40. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	216
Figura 154. Tramo 41. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	217
Figura 155. Tramo 42. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	217
Figura 156. Tramo 43. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	218
Figura 157. Tramo 44. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	218
Figura 158. Tramo 46. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	219
Figura 159. Tramo 48. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	219
Figura 160. Tramo 49. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	220
Figura 161. Tramo 50. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	220
Figura 162. Tramo 53. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	221
Figura 163. Tramo 54. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	221
Figura 164. Tramo 58. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	222
Figura 165. Tramo 61. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	222
Figura 166. Tramo 62. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	223
Figura 167. Tramo 63. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	223
Figura 168. Tramo 64. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	224
Figura 169. Tramo 65. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	224
Figura 170. Tramo 66. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	225
Figura 171. Tramo 67. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial.....	225

Listado de tablas

Tabla 1. Cuadro comparativo de los principales SIG de escritorio [6]	40
Tabla 2. Cuadro comparativo de los principales modelos de simulación hidrológica.....	46
Tabla 3. Fuentes de información para el desarrollo del trabajo	56
Tabla 4. Coeficientes de desagüe de distintas rejillas	85
Tabla 5. Tests de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk de los datos ajustados.....	95
Tabla 6. Coeficientes de correlación de Pearson para los seis métodos de interpolación.....	98
Tabla 7. Tiempo de retardo de cada subcuenca.....	101
Tabla 8. Tránsito de caudales	103
Tabla 9. Tabla resumen de la simulación hidrológica para la cuenca de Monte Corbanera	105
Tabla 10. Ajuste de datos en P1	128
Tabla 11. Ajuste de datos en P2	128
Tabla 12. Ajuste de datos en P3	128
Tabla 13. Ajuste de datos en P4	128
Tabla 14. Ajuste de datos en P5	128
Tabla 15. Ajuste de datos en P6	128
Tabla 16. Ajuste de datos en P7	129
Tabla 17. Ajuste de datos en P8	129
Tabla 18. Ajuste de datos en P9	129
Tabla 19. Ajuste de datos en P10	129
Tabla 20. Ajuste de datos en P11	129
Tabla 21. Ajuste de datos en P12	129
Tabla 22. Ajuste de datos en P13	129
Tabla 23. Ajuste de datos en P14	129
Tabla 24. Ajuste de datos en P15	130
Tabla 25. Ajuste de datos en P16	130
Tabla 26. Ajuste de datos en P17	130
Tabla 27. Ajuste de datos en P18	130
Tabla 28. Ajuste de datos en P19	130
Tabla 29. Ajuste de datos en P20	130
Tabla 30. Ajuste de datos en P21	130
Tabla 31. Ajuste de datos en P22	130
Tabla 32. Ajuste de datos en P23	131
Tabla 33. Ajuste de datos en P24	131
Tabla 34. Ajuste de datos en P25	131

Tabla 35. Ajuste de datos en P26	131
Tabla 36. Ajuste de datos en P27	131
Tabla 37. Ajuste de datos en P28	131
Tabla 38. Ajuste de datos en P29	131
Tabla 39. Ajuste de datos en P30	131
Tabla 40. Ajuste de datos en P31	132
Tabla 41. Ajuste de datos en P32	132
Tabla 42. Ajuste de datos en P33	132
Tabla 43. Ajuste de datos en P34	132
Tabla 44. Ajuste de datos en P35	132
Tabla 45. Ajuste de datos en P36	132
Tabla 46. Ajuste de datos en P37	132
Tabla 47. Ajuste de datos en P38	132
Tabla 48. Ajuste de datos en P39	133
Tabla 49. Ajuste de datos en P40	133
Tabla 50. Ajuste de datos en P41	133
Tabla 51. Ajuste de datos en P42	133
Tabla 52. Ajuste de datos en P43	133
Tabla 53. Ajuste de datos en P44	133
Tabla 54. Ajuste de datos en P45	133
Tabla 55. Ajuste de datos en P46	133
Tabla 56. Ajuste de datos en P47	134
Tabla 57. Ajuste de datos en P48	134
Tabla 58. Ajuste de datos en P49	134
Tabla 59. Ajuste de datos en P50	134
Tabla 60. Ajuste de datos en P51	134
Tabla 61. Ajuste de datos en P52	134
Tabla 62. Ajuste de datos en P53	134
Tabla 63. Ajuste de datos en P54	134
Tabla 64. Ajuste de datos en P55	135
Tabla 65. Ajuste de datos en P56	135
Tabla 66. Ajuste de datos en P57	135
Tabla 67. Ajuste de datos en P58	135
Tabla 68. Ajuste de datos en P59	135
Tabla 69. Ajuste de datos en P60	135
Tabla 70. Ajuste de datos en P61	135

Tabla 71. Ajuste de datos en P62	135
Tabla 72. Ajuste de datos en P63	136
Tabla 73. Ajuste de datos en P64	136
Tabla 74. Ajuste de datos en P65	136
Tabla 75. Ajuste de datos en P66	136
Tabla 76. Ajuste de datos en P67	136
Tabla 77. Ajuste de datos en P68	136
Tabla 78. Ajuste de datos en P69	136
Tabla 79. Ajuste de datos en P70	136
Tabla 80. Ajuste de datos en P71	137
Tabla 81. Ajuste de datos en P72	137
Tabla 82. Ajuste de datos en P73	137
Tabla 83. Ajuste de datos en P74	137
Tabla 84. Ajuste de datos en P75	137
Tabla 85. Ajuste de datos en P76	137
Tabla 86. Ajuste de datos en P77	137
Tabla 87. Ajuste de datos en P78	137
Tabla 88. Ajuste de datos en P79	138
Tabla 89. Ajuste de datos en P80	138
Tabla 90. Ajuste de datos en P81	138
Tabla 91. Ajuste de datos en P82	138
Tabla 92. Ajuste de datos en P83	138
Tabla 93. Ajuste de datos en P84	138
Tabla 94. Ajuste de datos en P85	138
Tabla 95. Ajuste de datos en P86	138
Tabla 96. Ajuste de datos en P87	139
Tabla 97. Ajuste de datos en P88	139
Tabla 98. Ajuste de datos en P89	139
Tabla 99. Ajuste de datos en P90	139
Tabla 100. Ajuste de datos en P91	139
Tabla 101. Ajuste de datos en P92	139
Tabla 102. Ajuste de datos en P93	139
Tabla 103. Ajuste de datos en P94	139
Tabla 104. Ajuste de datos en P95	140
Tabla 105. Ajuste de datos en P96	140
Tabla 106. Ajuste de datos en P97	140

Tabla 107. Ajuste de datos en P98	140
Tabla 108. Ajuste de datos en P99	140
Tabla 109. Ajuste de datos en P100	140
Tabla 110. Ajuste de datos en P101	140
Tabla 111. Ajuste de datos en P102	140
Tabla 112. Ajuste de datos en P103	141
Tabla 113. Ajuste de datos en P104	141
Tabla 114. Ajuste de datos en P105	141
Tabla 115. Ajuste de datos en P106	141
Tabla 116. Ajuste de datos en P107	141
Tabla 117. Ajuste de datos en P108	141
Tabla 118. Ajuste de datos en P109	141
Tabla 119. Ajuste de datos en P110	141
Tabla 120. Ajuste de datos en P111	142
Tabla 121. Ajuste de datos en P112	142
Tabla 122. Ajuste de datos en P113	142
Tabla 123. Ajuste de datos en P114	142
Tabla 124. Ajuste de datos en P115	142
Tabla 125. Ajuste de datos en P116	142
Tabla 126. Hietogramas de diseño para las subcuencas 1-13.....	144
Tabla 127. Hietogramas de diseño para las subcuencas 14-26.....	147
Tabla 128. Hietogramas de diseño para las subcuencas 27-39.....	151
Tabla 129. Hietogramas de diseño para las subcuencas 40-53.....	154
Tabla 130. Hietogramas de diseño para las subcuencas 54-67.....	158

Listado de ecuaciones

(1) 60
(2) 63
(3) 64
(4) 64
(5) 64
(6) 64
(7) 64
(8) 65
(9) 65
(10) 65
(11) 66
(12) 66
(13) 66
(14) 66
(15) 66
(16) 66
(17) 67
(18) 67
(19) 68
(20) 68
(21) 68
(22) 69
(23) 70
(24) 72
(25) 72
(26) 72
(27) 75
(28) 76
(29) 76
(30) 76
(31) 76
(32) 76
(33) 79
(34) 79

(35) 79
(36) 79
(37) 80
(38) 80
(39) 80
(40) 83
(41) 83
(42) 83
(43) 83
(44) 83
(45) 84
(46) 84
(47) 84
(48) 85
(49) 86
(50) 86
(51) 86
(52) 87
(53) 87
(54) 87
(55) 87
(56) 88
(57) 88
(58) 88
(59) 88
(60) 88
(61) 88
(62) 88

1. MEMORIA SOBRE LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE

1.1. Memoria sobre la enseñanza y el aprendizaje

La Memoria sobre la Enseñanza y el Aprendizaje es un capítulo relacionado con la metodología seguida durante el Master en Investigación en Ingeniería Civil para adquirir las competencias asociadas al mismo. Esta memoria se divide en 9 actividades diferenciadas:

1. **Asignaturas cursadas durante el Máster.** A lo largo del desarrollo del Máster, el alumno ha tenido la oportunidad de cursar las siguientes asignaturas, que han servido como base para la realización del posterior Trabajo Fin de Máster.

Asignatura	Créditos	Nota
Dirección de Proyectos y Obras en Ingeniería Civil	3	9
Diseño de Redes de Transporte y Almacenamiento en Sistemas Logísticos	3	9,5
Diseño y Aplicación de Geosintéticos en Carreteras	3	9
Elementos de Ingeniería Ambiental	3	10
Herramientas Básicas para Hidráulica Ambiental	2	8
Modelos Matemáticos y Aplicación a la Ingeniería de Tráfico	3	9
Modelos de Datos y Metodologías de Sistemas de Información Georreferenciada	3	10
Patología y Rehabilitación en la Construcción	4	6
Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia	3	8
Seminarios de Investigación I	4	9
Seminarios de Investigación II	6	9
Sistemas de Estabilización y Protección en Taludes y Laderas	3	9

2. **Trabajo individual dirigido.** Este Trabajo de Fin de Máster ha sido dirigido por los profesores de universidad Jorge Rodríguez Hernández, profesor contratado doctor en el departamento de "Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos" y responsable de la línea de investigación "Construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible" del grupo GITECO, y Elena Castillo López, profesora asociada en el departamento de "Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica" y Directora de Gabinete de la Consejería de Obras Públicas y Vivienda del Gobierno de Cantabria.
3. **Medios de investigación.** Se han utilizado todos los medios de investigación al alcance del estudiante, tales como:
 - Bases de datos: Web of Science, Scopus, Google académico y tesis en red.
 - Gestores de bases datos y citas bibliográficas: RefWorks y Write-N-Cite.
4. **Herramientas analíticas.** Se han empleado las herramientas analíticas necesarias para la obtención, procesamiento e interpretación de resultados, asistiendo para ello a diversos cursos impartidos en la Universidad de Cantabria, destacando el uso de los siguientes paquetes de software: ArcGIS 10.2, EasyFit 5.5, HEC-HMS 4.0, IBM SPSS Statistics 22 y MATLAB R2013a.
5. **Presentación de resultados parciales con discusión por parte del profesor tutor.** A lo largo de todo el proceso de investigación llevado a cabo en el Máster se han presentado de forma periódica los resultados a los tutores. Del mismo modo, se ha discutido con ellos todos

los aspectos relacionados con la investigación y su metodología, los cuales han derivado en la obtención de los resultados finales y su posterior discusión.

6. **Comunicación tutor-estudiante.** La comunicación entre tutor y estudiante ha sido fluida en todo momento mediante reuniones periódicas, seguimiento de la investigación y discusión de resultados.
7. **Reuniones de seguimiento.** A lo largo del Máster se han celebrado reuniones periódicas de seguimiento de la investigación llevada a cabo por el estudiante.
8. **Consultas dirigidas al análisis de la bibliografía científica. Análisis crítico de proyectos.** En relación con este punto, se ha asistido al curso que da la Biblioteca de la Universidad de Cantabria sobre referencias bibliográficas, utilización de bases de datos, gestores de referencias y citas. Además, se ha tenido acceso a otros proyectos similares para su análisis crítico, como base de la investigación a desarrollar.
9. **Exposición de trabajos.** La exposición de trabajos ha sido una constante a lo largo de todo el proceso de aprendizaje del Máster. Se han realizado trabajos en todas las asignaturas fomentando la relación entre el profesor y el estudiante, y el conocimiento más cercano de las temáticas impartidas en cada asignatura. Finalmente, cada trabajo ha sido expuesto en una presentación oral para su calificación posterior.
10. **Publicaciones, congresos y patentes.** A lo largo del desarrollo de este trabajo fin de Máster se han generado las siguientes publicaciones en revistas indexadas, congresos y patentes:

- Artículos en revistas indexadas:

Daniel Jato-Espino, Elena Castillo-Lopez, Jorge Rodriguez-Hernandez, Juan Carlos Canteras-Jordana (2014): *A review of application of multi-criteria decision making methods in construction.* Automation in Construction; 45: 151–162. **Estado: Publicado.**

Daniel Jato-Espino, Jorge Rodriguez-Hernandez, Valerio Carlos Andrés-Valeri, Francisco Ballester-Muñoz (2014): *A fuzzy stochastic multi-criteria model for the selection of urban pervious pavements.* Expert Systems with Applications; 41(15): 6807–6817. **Estado: Publicado.**

Joseba R. Bayon, Daniel Jato-Espino, Elena Blanco-Fernandez, Daniel Castro-Fresno (2014): *Behaviour of geotextiles as a support for biofilm development when used in pervious pavements.* Geotextiles and Geomembranes. **Estado: En revisión.**

Daniel Jato-Espino, Elena Blanco-Fernandez, Jaime Carpio-García, Daniel Castro-Fresno (2014): *A new approach for hierarchically structured decision-making problems based on nonlinear normalization and prioritized correlated aggregation.* European Journal of Operational Research. **Estado: En revisión.**

- Congresos:

Daniel Jato-Espino, Iñaki Tejero-Monzón, Daniel Castro-Fresno, Javier Temprano-González, Amaya Lobo-García de Cortázar (2014): *Análisis multicriterio integral para optimizar la gestión de residuos sólidos municipales.* 7ª Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos, Instituto Tecnológico de Toluca,

Metepec (México). **Estado: Publicado.**

- Patentes:

Daniel Castro-Fresno, Elena Blanco-Fernandez, Francisco Ballester-Muñoz, Daniel Jato-Espino, Carlos Real-Gutiérrez, José Pedro Mery-García (2014): *Wire rope net*. Applicant: NV Bekaert SA. Application No.: 14156539.0. Patent No.: 1702. **Estado: Aceptada.**

- Revisiones:

Automation in Construction (2 artículos)

Environmental Monitoring and Assessment (1 artículo)

Expert Systems with Applications (6 artículos)

1.2. Estructura del documento

Este trabajo está estructurado en base a las sugerencias de procedimiento de realización del trabajo de Fin de Máster de la dirección del Máster en Investigación en Ingeniería Civil de la Universidad de Cantabria. El documento se inicia con dos apartados de resumen y agradecimientos, seguidos del índice del trabajo Fin de Máster, el índice de figuras y el índice de tablas. Después de esto, se desarrolla el trabajo en 6 grandes capítulos. En el capítulo 7, y último, se incluyen las referencias bibliográficas.

El primer capítulo presenta la memoria sobre la enseñanza y el aprendizaje, que muestra la metodología seguida durante el Máster para adquirir las competencias asociadas al mismo. Esta memoria se divide en 9 actividades y finaliza con un último apartado que presenta la estructura del presente documento.

El capítulo 2 es una introducción al Trabajo Fin de Máster, que presenta el marco y antecedentes de este trabajo, y los objetivos e hipótesis en que se basa el mismo.

En el tercer capítulo del trabajo se desarrolla el estudio del estado del arte, que incluye un análisis de los principales sistemas de información geográfica y modelos informatizados de cálculo hidrológico presentes en el mercado, concluyendo con una recopilación bibliográfica de las contribuciones científicas más relevantes de los últimos años en que se haga un uso combinado de ambos elementos.

El capítulo 4 refleja la metodología de la investigación seguida en este trabajo. Se describen en este apartado las herramientas y modelos teóricos propuestos para la elaboración del trabajo.

El quinto capítulo muestra los resultados obtenidos tras la aplicación de las metodologías descritas en el capítulo 4, con el consiguiente análisis y discusión de los mismos.

Por último, el capítulo sexto recoge las conclusiones de los resultados alcanzados y da respuesta a los objetivos e hipótesis planteados en el inicio del trabajo. Además, en el apartado final de este capítulo se proponen una serie de líneas futuras de investigación como continuación del presente trabajo.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Marco de trabajo y antecedentes

El presente trabajo fin de Máster es el resultado de las actividades realizadas dentro de la línea de investigación “Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible”, desarrollada por el Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO), de la universidad de Cantabria.

Dentro de esta línea de investigación se está realizando el proyecto de “Rehabilitación Hidrológica de Infraestructuras Viales Urbanas (RHIVU)”, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad con cargo al Presupuesto General del Estado (PGE) y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), a partir del cual se ha desarrollado el presente trabajo de fin de Máster.

2.2. Objetivos

El proyecto que respalda el presente trabajo fin de Máster surge como respuesta a la necesidad de un cambio en la gestión del agua de lluvia en superficie y la oportunidad que supone el proceso de rehabilitación urbana durante los próximos años en nuestro país. Este proceso de rehabilitación urbana es una oportunidad inmejorable para corregir los problemas existentes desde el punto de vista hidrológico, particularmente en lo que se refiere a la falta de control en origen del agua de lluvia.

2.2.1. Generales

El objetivo general del trabajo es elaborar una metodología de localización geográfica que permita identificar aquellos tramos del viario urbano más susceptibles de verse afectados por inundaciones y fenómenos de contaminación difusa.

2.2.2. Particulares

- Generar la información física georreferenciada que se necesita para caracterizar hidrológicamente una cuenca hidrográfica.
- Desarrollar un modelo meteorológico a partir de una serie de registros pluviométricos que permita obtener una lluvia sintética de diseño.
- Simular los procesos hidrológicos de pérdidas de precipitación, transformación de lluvia en caudal y tránsito de caudal.
- Interpretar los resultados obtenidos para lograr la identificación de las zonas problemáticas.

2.3. Hipótesis de partida

Este trabajo se basa en la hipótesis de partida básica de que es posible combinar la acción de dos herramientas como los sistemas de información geográfica y los modelos de cálculo hidrológico para identificar los tramos viales urbanos en que se concentran mayores volúmenes de escorrentía. En base a esta premisa fundamental, se asumen otras hipótesis específicas como:

- Una cuenca hidrográfica está caracterizada por una serie de parámetros espaciales cuya gestión

es viable utilizando sistemas de información geográfica.

- Puede determinarse una lluvia sintética de diseño para un período de retorno establecido a partir de las precipitaciones máximas diarias de una serie de medidas pluviométricas.
- Es posible simular los procesos hidrológicos que tienen lugar en una cuenca hidrográfica mediante modelos matemáticos de cálculo informatizados.

3. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE

El objetivo del estado del arte es recabar información relacionada con los objetivos propuestos en el presente trabajo fin de Máster. En este sentido, el Capítulo 3 se divide en cuatro secciones: en la primera se describe el funcionamiento de un SIG (Sistema de Información Geográfica), así como sus principales componentes y utilidades relacionados; en la segunda se exponen las características principales de los métodos de cálculo de hidrología urbana y escorrentía superficial más comúnmente empleados; en la tercera se presenta una revisión bibliográfica de las publicaciones científicas más relevantes en los últimos años sobre el uso combinado de SIGs y modelos matemáticos hidrológicos y en la cuarta se justifica la metodología adoptada para la realización del trabajo de acuerdo a todo lo explicado previamente en el capítulo.

3.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

En esta sección se presentan los conceptos fundamentales ligados a los Sistemas de Información Geográfica, describiéndolos y exponiendo sus capacidades y posibilidades de uso. Estos sistemas se introducen como mecanismos complejos y masivos, proporcionando la información necesaria para comprender el funcionamiento de sus componentes principales. Así, la presente sección ofrece una visión general de la disciplina científica que ocupan los SIG, para después incidir en el ámbito de aplicación de esos sistemas a la gestión del agua y de los recursos hídricos.

3.1.1. Generalidades

La literatura especializada al respecto ofrece diversas definiciones de lo que es un Sistema de Información Geográfica, destacando algunas como: (1) *“base de datos computerizada que contiene información espacial”* [1]; (2) *“tecnología informática para gestionar y analizar la información espacial”* [2]; (3) *“conjunto de herramientas para reunir, introducir (en el ordenador), almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos”* [3]; o (4) *“tipo especializado de base de datos, que se caracteriza por su capacidad para manejar datos geográficos, es decir, espacialmente referenciados, los cuales se pueden representar gráficamente como imágenes”* [4]. Por último, el manual del NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis) propone la siguiente definición: *“sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión”* [5].

Es habitual cuantificar la creciente importancia de los SIG como herramientas de gestión en base al hecho de que un elevado porcentaje de la información que se maneja en cualquier ámbito o disciplina, en torno a un 70 % de acuerdo a Olaya [6], está georreferenciada. De esta forma, que los atributos o características de los que se quiere obtener conocimiento vienen acompañados por una información adicional relativa a su ubicación geográfica. Además del avance tecnológico que sistemas como los SIG han supuesto para la manipulación de este tipo de información, también existe un fenómeno de concienciación por parte de los usuarios acerca de la influencia que tiene la localización en el desarrollo y caracterización de casi cualquier fenómeno científico o social.

Los SIG son una extensión del concepto de Sistema de Información (SI) [7], cuyo cometido es dar respuesta a preguntas no predefinidas de antemano, empleando para ello una base de datos, una base de conocimiento (procesos de análisis y manejo de datos) y un sistema de interacción con el usuario [2]. Tales elementos se encuentran también dentro de la estructura general de un SIG.

3.1.1.1. Componentes de un SIG

Es habitual limitar el concepto de SIG al del software específico diseñado para la manipulación de información georreferenciada; sin embargo, estos sistemas son mucho más que una mera conjunción de software y hardware. A este respecto, Maguire [8] señala otros dos componentes fundamentales para que un SIG tenga vida: datos y personal cualificado (ver Figura 1). Por obvio que resulte, si no se dispone de datos (georreferenciados y no georreferenciados), no podría hablarse de Sistema de Información, ya que precisamente se carece de esa información [9]. Además, también es evidente que un SIG no puede funcionar si no existe un usuario especializado haciendo uso de los otros tres componentes.

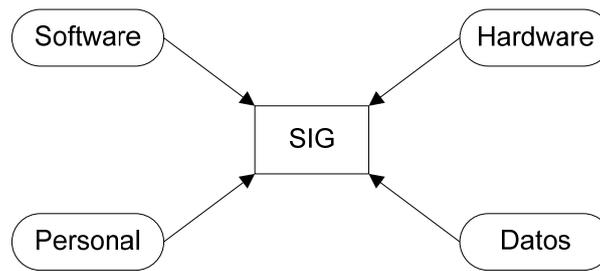


Figura 1. Componentes de un SIG [9]

A continuación, se describen brevemente las características de cada uno de los cuatro componentes mencionados, cuyo comportamiento sinérgico es fundamental para poder conformar un SIG de calidad [9].

- **Software** (soporte lógico): existen una gran cantidad de sistemas comerciales y no comerciales (software libre) en el mercado. Antiguamente, se englobaban en dos familias en función de su forma de tratar la información espacial: modelos vectoriales y modelos ráster. Las características, precios y soporte de unos y otros varían ostensiblemente. Dada la amplitud de mercado y diversidad de alternativas que existen relacionadas con el software de los SIG, en el apartado 3.1.2 se profundizará en este componente.
- **Hardware** (soporte físico): en virtud de su menor coste y gran extensión en uso, los ordenadores (PC) son actualmente la opción más empleada, siendo las estaciones de trabajo (en inglés *workstation*) la principal alternativa. No obstante, a pesar de sus altas prestaciones computacionales, su mayor coste y la necesidad de disponer de ciertos periféricos adicionales para el procesamiento de datos disminuyen su competitividad respecto a los ordenadores convencionales.
- **Datos**: hoy en día, debido a la evolución tecnológica y a los continuos avances desarrollados en los dos primeros componentes, la creación o adquisición de datos de calidad es la principal debilidad de los SIG. La primera opción, la captura y elaboración propia de los datos necesarios, habitualmente es inviable por insuficiencia de recursos y, en todo caso, de ser factible, es una solución que ocupa mucho tiempo, parte del cual debería dedicarse a otros propósitos como análisis o producción de resultados. En cuanto a la segunda solución, a menudo resulta complicado encontrar datos específicos al problema que quiere analizarse, pudiendo ser los mismos además de poca calidad o de elevado precio.

- Personal: por últimos, los usuarios finales de los SIG pueden considerarse como los motores de estos sistemas [6]. Con el paso de los años, las reivindicaciones hechas por algunos autores como Frank [10], que demandaban una mayor formación de personal especializado en SIG, pueden darse por cumplidas, estando hoy en día muy extendido el uso y manejo de estos sistemas.

Los datos son el motor que pone en marcha el resto de componentes de un SIG [6]. La forma en que dichos datos son gestionados es el pilar fundamental para definir la naturaleza del sistema, así como sus prestaciones, limitaciones y características generales.

A este respecto, debe diferenciarse entre los conceptos de datos e información, ya que ambos suelen confundirse pero representan cosas bien diferentes. Cuando se es capaz de interpretar un dato es cuando realmente éste adquiere su significado, y es en ese momento cuando puede ser analizado con algún fin. La información es, por tanto, el resultado de un dato y una interpretación. Un ejemplo de este concepto es el de modelo digital de elevaciones, a partir del cual pueden calcularse parámetros tales como la pendiente, la orientación o extraer el trazado de la red de drenaje.

Desde un punto de vista conceptual, los SIG pueden dividirse en otros dos componentes: espacial y temático. El primero alude a la posición ocupada respecto a un determinado sistema de referencia, mientras que el segundo se refiere a los procesos y fenómenos que tienen lugar en tales ubicaciones.

3.1.1.2. Funciones de un SIG

Otra forma de entender un SIG es como un ente formado por varios subsistemas, cada uno de ellos al cargo de una serie de funciones concretas. Olaya [6] cita tres subsistemas principales (ver Figura 2): subsistema de datos, subsistema de visualización cartográfica y subsistema de análisis. En base a ellos, pueden definirse las funciones de un SIG como [2]:

- Funciones para la entrada de información: procesos que posibilitan la transformación de información en formato analógico al digital que es capaz de trabajar un ordenador. El procedimiento de conversión no debe alterar las características originales de los datos; por ello, estos mecanismos incluyen las herramientas necesarias para detectar posibles fuentes de error en la transformación y eliminarlas previamente a la incorporación al SIG. Se considera implícitamente el paso anterior de recogida de la información destinada a ser convertida a posteriori.
- Funciones para la representación gráfica de la información: procedimientos destinados a mostrar los datos introducidos en el SIG y los resultados de las operaciones y manipulaciones realizadas sobre ellos. Permiten la obtención de distintos outputs como mapas, gráficos diversos o tablas numéricas.
- Funciones de gestión de la información espacial: encargadas de extraer de la base de datos la porción de información necesaria en cada momento, haciendo posible la reestructuración del total de elementos incorporados en el SIG hasta el momento.
- Funciones analíticas: son las capacidades más representativas de un Sistema de Información Geográfica. Su procesamiento y tratamiento de los datos permiten obtener una mayor información de los mismos y generar nuevo conocimiento a partir de ellos.

Combinando la acción de estos grupos de funciones pueden obtenerse modelos cartográficos capaces de resolver multitud de problemas definidos espacialmente.

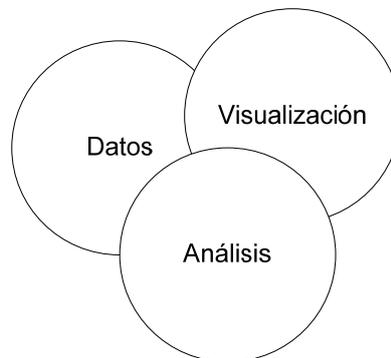


Figura 2. Subsistemas de un SIG [6]

3.1.1.3. Diferenciación respecto a otros sistemas informáticos

Como ya se ha visto, el concepto de SIG se ha redefiniendo a lo largo de los últimos años, haciendo a menudo difícil establecer los límites de lo que efectivamente es un SIG y lo que no. En este sentido, el presente subapartado tiene por objetivo establecer las diferencias entre los SIG y otras herramientas informáticas que comparten ciertas características con estos sistemas, como el CAD (*Computer-Aided Design*), la cartografía automática, los sistemas de gestión de bases de datos y los sistemas para el tratamiento de imágenes de satélite. Todas estas herramientas son anteriores a los SIG; de hecho, puede decirse que los SIG han crecido en base a los fundamentos de estos sistemas, presentando, sin embargo, ciertos rasgos diferenciadores respecto a aquellos [8].

- CAD: estos sistemas nacieron con el propósito de servir para el trazado y diseño de objetos nuevos [8]. Son herramientas muy profusamente empleadas por ingenieros, arquitectos o delineantes, y su principal valor radican en sus funcionalidades gráficas [9]. De acuerdo a Burrough [3], la mayor diferencia entre los sistemas SIG y CAD reside en la diversidad y cantidad de datos mucho mayor que son capaces de gestionar los SIG, así como en la riqueza de métodos analíticos que estos ofrecen. Tanto Cowen [11] como Aronoff [12] inciden en la capacidad de los SIG para realizar operaciones analíticas, como la búsqueda espacial o la superposición de mapas, que escapan a las posibilidades de los CAD.
- Cartografía automática: estos sistemas centran su foco en el dibujo de mapas, permitiendo conseguir cartografía de alta calidad. Sin embargo, adolecen de la capacidad analítica de la información de los SIG. Dicho de otra forma, los sistemas de cartografía automática no pueden generar topología [13], lo que limita enormemente su utilidad analítica (sólo dibujan mapas). Existe geometría, pero no topología ni conectividad en la red [14].
- Sistemas de gestión de bases de datos (SGBD): antagónicamente a lo expuesto para los sistemas de cartografía automática, los SGBD pueden almacenar y tratar grandes volúmenes de información, pero, sin embargo, apenas poseen funcionalidades gráficas. Son, por tanto, un componente fundamental de los SIG [15], pero no están diseñados para trabajar por sí solos con información espacial.

- **Teledetección:** la teledetección y los SIGs guardan una estrecha relación desde sus comienzos y han seguido trayectorias paralelas. Hoy en día, los sistemas para el tratamiento de imágenes de satélite se consideran una variable auxiliar de los SIG, sirviendo como una fuente más de información para la realización de un estudio espacial [16]. De esta forma, algunos de estos sistemas pueden conectarse a un SIG como una herramienta auxiliar o estar directamente integrados dentro del mismo. Davis y Simonett [17] ahondan en el carácter complementario de ambas tecnologías, aunque originariamente se desarrollasen de manera independiente.

En resumen, las diferencias entre estos sistemas y los SIG se pueden establecer en función de los objetivos que persigue cada uno. En el caso del CAD, el objetivo es dibujar un objeto. De forma similar pero con un nicho más específico, los sistemas de cartografía automática tienen como propósito la creación de mapas. La finalidad de los SGDB es la gestión de datos dispuestos de forma tabulada, de acuerdo a las necesidades del usuario. Por último, el objetivo de la teledetección es la reproducción de atributos temáticos mediante la interpretación de los valores de radiación emitidos por la superficie terrestre [9]. Por lo tanto, ninguno de estos sistemas es capaz de crear, administrar y compartir información geográfica de forma integrada como un SIG.

3.1.2. Estado actual del software SIG

El software es el componente de los SIG que ofrece un mayor mercado de alternativas y variedad, siendo necesario proporcionar una visión global de las características y límites que presentan estas herramientas. En este capítulo se describen brevemente las aplicaciones principales existentes al respecto, distinguiendo para ello entre dos grandes familias: software propietario y software libre, en función de las limitaciones de uso, redistribución y modificación que sean de aplicación en cada caso.

3.1.2.1. Aplicaciones SIG propietarias

El incipiente crecimiento de las soluciones libres ha equilibrado la proporción de uso entre estas y las propietarias, que tradicionalmente han sido las más empleadas. No obstante, en lo referente a aplicaciones de escritorio, se encuentran más desarrolladas que las soluciones libres, además de estar más orientadas a una utilización industrial [6].

Servidores de bases de datos geográficas

- SQL Server [18]

Servidor de bases de datos de Microsoft. Dispone de soporte de un tipo de dato *geometry* para el almacenamiento de información espacial, cumpliendo con las especificaciones de SFS (*Simple Features for SQL*) para SQL.

- DB2 Spatial Extender [19]

Extensión de la base de datos DB2 de IBM que implementa el almacenamiento de los tipos de datos y las funcionalidades definidas por ISO (*International Organization for Standardization*) SQL/MM y el OGC (*Open Geospatial Consortium*). Se encuentra disponible tanto para Windows como para Linux, y la mayoría de aplicaciones SIG permiten el acceso a esta base de datos.

- Oracle Spatial [20]

Componente para la base de datos Oracle que no sólo permite la manipulación de datos geométricos, sino también otras operaciones como indexación espacial, operaciones analíticas espaciales, modelos de datos de topología y redes y tratamiento de capas ráster junto a sus respectivos metadatos. Para versiones anteriores a la 8 de Oracle, esta base de datos aparece con el nombre de SDO (*Spatial Data Option*).

Servidores

Originalmente, los servidores propietarios se limitaban a funcionar como servidores de mapas, pero, en la actualidad, incluyen el soporte de estándares como una de sus características principales. Algunas compañías como ESRI forman parte de entes como OGC, dedicados a la promoción de estándares [6].

- ArcGISServer [21]

ArcGISServer es la herramienta empleada por la empresa ESRI para la distribución de servicios geográficos vía Web. Soporta el uso de estándares OGC y W3C (*World Wide Web Consortium*), disponiendo además de servicios de mapas, edición cartográfica o geoprocésamiento avanzado. ESRI dispone de una tecnología independiente para los servicios de mapas, denominada ArcIMS, pero, al estar implícita dentro de ArcGISServer, la compañía recomienda el uso de este último.

Herramientas de metadatos

- GeoMedia Catalog [22]

Aplicación desarrollada por Intergraph para el manejo de metadatos. Es una herramienta dependiente de la aplicación SIG de escritorio de la misma compañía, no pudiendo utilizarse si no se dispone de la versión estándar o profesional de este. Soporta los estándares FGDC (*Federal Geographic Data Committee*) e ISO 19115, ofreciendo también la posibilidad de exportar metadatos en el estándar ISO 19139. Incluye funcionalidades para la generación automática de metadatos a partir de ficheros SIG en diversos formatos, publicación en HTML y realización de consultas (*queries*) relacionadas con los metadatos.

- ArcCatalog [23]

Herramienta de ESRI para la generación y almacenamiento de metadatos. Soporta los estándares FGDC e ISO, pudiendo extenderse sus funcionalidades para la adaptación a otros distintos (p.e. incluye un módulo específico para la creación de metadatos de acuerdo al Núcleo Español de Metadatos). Además, la aplicación incluye varias funcionalidades de conexión con otros elementos de la familia ESRI.

Clientes de escritorio

- ArcMap [24]

Componente principal del conjunto de aplicaciones ArcGIS de ESRI. ArcMap permite la visualización y manipulación de información geográfica y admite la adición de numerosos

paquetes y módulos extensibles que aumentan sus capacidades hasta cubrir la práctica totalidad de funciones exigibles a un SIG actual. Algunos de los paquetes más destacables son los de funcionalidad analíticas, como *Spatial Analyst*, *3D Analyst* o *Geostatistical Analyst*. Dispone además de interfaz y lenguajes de programación para el desarrollo de nuevas herramientas.

- GeoMedia [25]

Aplicación de escritorio de la compañía Intergraph y pilar principal de su gama de productos. Es un SIG con funcionalidades completas de tratamiento y visualización de datos, así como de análisis y creación de cartografía. Permite el acceso a datos remotos a través estándares OGC, extensibles mediante códigos de programación sencillos. Su nicho de mercado está especialmente enfocado al uso industrial, en respuesta a la necesidad de trabajar con grandes volúmenes de datos por parte de grandes empresas y entidades.

- Idrisi [26]

SIG de escritorio desarrollado por la empresa Clark Labs, que destaca por el avanzado nivel de sus herramientas analíticas. Además de las formulaciones normalmente empleadas por la mayoría de clientes de escritorio, Idrisi incorpora una serie de algoritmos de mayor complejidad e incluso de carácter experimental. La mayoría de estas funcionalidades están destinadas al procesamiento de entidades ráster. Habida cuenta de su carácter matemático, esta aplicación tiene una orientación eminentemente científica.

- Manifold [27]

Esta aplicación combina las propiedades principales de un SIG de escritorio convencional junto con otras competencias como los servicios de mapas. A diferencia de otros de sus competidores, que cuentan con una familia de aplicaciones de diversa índole, Manifold aúna todas sus capacidades en una única herramienta.

- Erdas Imagine [28]

Producto de referencia para la manipulación y procesamiento de imágenes. Se sirve de un amplio conjunto de algoritmos matemáticos para el análisis de imágenes, con especial hincapié en aquellos que hacen posible la generación de nuevas capas, empleando para ello sistemas de clasificación o vectorización y detección de componentes.

- Google Earth [29]

Google Earth no es un SIG de escritorio propiamente dicho, ya que carece de muchas de las capacidades de procesamiento y análisis habituales en estos. Más bien, consiste en un globo 3D que permite la visualización de cartografía propia, el acceso a servicios WMS (*Web Map Service*) y la exploración cartográfica ofrecida por Google, que incluye imágenes en alta resolución de todo el mundo, incorporando capas con información diversa (calles, puntos de interés, etcétera).

3.1.2.2. Aplicaciones SIG libres

La principal propiedad de aplicaciones SIG libres es su modularidad, una característica que favorece la conexión y reutilización de elementos entre distintos proyectos. Existen áreas donde las soluciones libres todavía no están al nivel de las propietarias, sobre todo en lo relativo al procesamiento de imágenes y a la teledetección. Sin embargo, en otros aspectos como el acceso a datos o las herramientas de análisis las soluciones libres se muestran cuando menos igual de competentes que las propietarias [6].

Servidores de bases de datos geográficas

Un requisito básico de los servidores de bases de datos geográficas es el cumplimiento de normas estándar, aspecto en el que los productos libres están en primera línea de cumplimiento, ofreciendo productos enfocados a proporcionar la mayor interoperabilidad posible.

- PostGIS [30]

Módulo para la base de datos libre PostgreSQL, desarrollado en esencia por la compañía Refrations Research Inc. Con este complemento, PostgreSQL tiene la capacidad de realizar operaciones de análisis espacial, además de almacenar información geográfica de acuerdo a la norma SFSS (*Simple Features Specification*).

- MySQL [31]

Base de datos de mayor éxito en aplicaciones Web, pero que actualmente no cumple la norma SFSS y, por tanto, no puede considerarse como un verdadero gestor de base de datos georreferenciados, sino como un mero almacén de información espacial.

Servidores

La publicación de información geográfica en Internet ha sido uno de los campos en que las aplicaciones libres de SIG han tenido más presencia. Esto puede deberse a las dificultades de manejo y encorsetamiento de los productos comerciales respecto a los libres. En general, los servidores de aplicaciones libres son servidores de mapas, aunque también se encuentran soluciones capaces de ofrecer servicios relacionados con procesos.

- UMN MapServer [32]

Este proyecto originalmente nació como un script para ArcInfo capaz de crear de forma dinámica impresiones de cartografía para posteriores publicaciones en Web. Desde entonces, ha evolucionado considerablemente y ahora se presenta en dos modalidades: como ejecutable CGI y como biblioteca.

- GeoServer [33]

Servidor de mapas asociado a la nueva generación de aplicaciones desarrolladas bajo el entorno J2EE (*Java 2 Platform Enterprise Edition*). El objeto de estos servidores es la explotación de las últimas tecnologías en desarrollo Web empresarial, utilizando para ello el

lenguaje de programación Java. Destacar por proporcionar soporte para el protocolo WFS-T (*Web Feature Service Transactional*), posibilitando la edición remota de información espacial mediante estándares.

- deegree [34]

Servidor de mapas nacido de un proyecto del Departamento de Geografía de la Universidad de Bonn y que destaca por el gran número de especificaciones OGC que presume cumplir, como WMS, WFS-T, WCS, CSW, WPS o SOS, entre otras.

- MapGuide Open Source [35]

Servidor de mapas recientemente liberado por el grupo Autodesk, pasando a ser distribuido de forma libre. Dispone de un sistema de publicación online que lo convierte en un elemento fácilmente configurable y administrable. Además, dispone de herramientas comerciales para su conexión con AutoCAD, software de la misma empresa pero de carácter propietario. Por último, cabe destacar su uso de la biblioteca FDO (*Feature Data Objects*) para el acceso de datos.

- 52north [36]

Servidor de procesos que comprende todas las funcionalidades y elementos del estándar WPS 1.0 para dar servicio a procesos remotos. Está desarrollado en lenguaje Java y presenta una arquitectura modular, permitiendo la incorporación de nuevos procesos de forma sencilla. Puede servir tanto procesos basados en librerías libres (p.e. SEXTANTE) como en propietarias (p.e. ArcGIS).

Herramientas de metadatos

- Geonetwork [37]

Proyecto financiado por la FAO-UN (*Food and Agriculture Organization - United Nations*) que se ha convertido en referencia para la publicación de metadatos con información geográfica. Soporta los estándares ISO 19115, FGDC y Dublin Core y permite la búsqueda de información espacial en catálogos locales o remotos.

- CatMDEdit [38]

Aplicación de escritorio diseñada para la creación y edición de metadatos, de acuerdo a los estándares ISO 19115, el Núcleo Español de Metadatos, Dublin Core y CSDGM (*Content Standard for Digital Geospatial Metadata*). Esta herramienta ha sido desarrollada por el consorcio español TeiDE, fruto de la colaboración de tres grupos de tres universidades: Grupo MERCATOR de la Universidad Politécnica de Madrid, Grupo de Sistemas de Información Avanzados de la Universidad de Zaragoza y Grupo de Información Geográfica de la Universidad Jaime I de Castellón.

Clientes de escritorio

Los representantes libres de este grupo adolecen del rendimiento de sus homónimos propietarios y, generalmente, están más enfocados al análisis o a la simple visualización de datos espaciales con ciertas funcionalidades de edición y procesamiento.

- GRASS [39]

Este SIG surgió como un proyecto del *Construction Engineering Research Laboratory* (CERL) del ejército norteamericano, que requería de alguna herramienta capaz de gestionar la gran cantidad de recursos a su disposición. Cuenta con un gran número de funcionalidades, favorecidas por el desarrollo modular del programa y la consecuente retroalimentación de aportaciones al proyecto por parte de usuarios individuales. Tradicionalmente, su gran desventaja es su complejidad y su lento aprendizaje, careciendo de una interfaz amigable y no siendo adecuado para un entorno de producción. De hecho, GRASS era originalmente un sistema creado para trabajar en UNIX, aunque a día de hoy ya existe una versión para Windows. Además, han aparecido herramientas que facilitan el uso de GRASS, siendo QGIS la más destacada a este respecto.

- QGIS [40]

Aplicación de escritorio que ofrece las necesidades básicas de un SIG de escritorio en un entorno sencillo y agradable. Hasta no hace mucho tiempo, era el único editor de PostGIS para Windows, destacando por su sencillez y velocidad. Puede ejercer además como una interfaz amigable para trabajar con bases de datos de GRASS. En relación con este último, permite operaciones de visualización y acceso a datos y análisis ráster y vectorial, utilizando para ello las capacidades de GRASS.

- gvSIG [41]

Herramienta de escritorio completa y multiplataforma con capacidades de lectura vectorial y ráster, procesamiento vectorial, maquetación de mapas, edición de cartografía y gestión avanzada de sistemas de referencia. El proyecto gvSIG ha tenido muy buena acogida y su crecimiento y expansión son notables. Su comunidad de usuarios es grande y sigue en aumento, garantizando un buen futuro para el programa.

- SAGA [42]

SIG de escritorio desarrollado en Alemania y enfocado principalmente al análisis de datos geoespaciales, disponiendo de una gran cantidad de algoritmos matemáticos y una estructura que favorece la programación de nuevas funciones analíticas. Sin embargo, otras características como la creación y edición de cartografía, aun encontrándose presente, se encuentran muy poco desarrolladas.

- OpenJUMP [43]

JUMP (Java Unified Mapping Platform) es un SIG de escritorio fundamentalmente vectorial, con ciertas capacidades de análisis y edición. A raíz de JUMP surgió el proyecto JPP (The Jump Pilot Project), cuyo principal resultado fue la creación del software OpenJUMP, que incorpora algunas funcionalidades más a las propias de JUMP, como un mejor manejo de datos

ráster.

- uDig [44]

Cliente de escritorio desarrollado por la empresa canadiense Refrations Research Inc, cuyo principal objetivo es dar soporte a un gran número de fuentes de datos locales y remotos, especialmente las basadas en protocolos OGC como WMS y WFS. Es un producto construido sobre la biblioteca SIG de código libre GeoTools, que se combina con el conocimiento adquirido en el desarrollo del proyecto JUMP, con el que comparte origen [45]. Por sí solo, uDig presenta únicamente capacidades de análisis y edición vectorial, pero el proyecto JGrass añade funcionalidades ráster desde GRASS, posibilitando su ejecución desde uDig. En este aspecto, se convierte, al igual que Quantum GIS, en una interfaz amigable para trabajar con las bases de datos y capacidades de GRASS.

Para concluir este apartado, la [Tabla 1](#) muestra una comparativa entre los SIG de escritorio, tanto propietarios como libres, descritos con anterioridad, indicando qué funcionalidades de entre las exigibles habitualmente a un SIG son capaces de llevar a cabo.

	ArcGIS	Geomedia	Idrisi	Manifold	Erdas Imagine	Google Earth	GRASS	QGIS	gvSIG	SAGA	OpenJUMP	uDig
Lectura ráster	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Lectura vectorial	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Escritura ráster	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Escritura vectorial	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Conexión BBDD	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Edición vectorial	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Análisis ráster	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Análisis vectorial	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Servicios de mapas	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
Datos remotos	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗

Tabla 1. Cuadro comparativo de los principales SIG de escritorio [6]

3.2. Hidrología urbana

El crecimiento urbano producido en la segunda mitad del siglo XX puso de manifiesto las deficiencias existentes en materia de infraestructuras urbanas para el drenaje de aguas de lluvia, lo que favoreció la aparición de fenómenos incontrolados de inundación y contaminación difusa. Ante tal escenario, se hizo necesaria la extensión y aplicación de los conceptos clásicos de Hidráulica e Hidrología al medio urbano, desde el estudio de las precipitaciones y su posterior transformación en caudal de escorrentía, hasta el análisis de la capacidad hidráulica de los sistemas de drenaje. Bajo estas premisas tuvo su origen la disciplina conocida como Hidrología Urbana [46].

3.2.1. Incidencia de la urbanización en la escorrentía

De acuerdo a los datos demográficos del Grupo del Banco Mundial [47], el porcentaje de población que vive en zonas urbanas en países europeos como España, Reino Unido, Francia o Alemania se estimaba en torno al 80 % en el año 2013. La necesidad social del estudio de la hidrología urbana queda, por tanto, más que patente de acuerdo a estas cifras.

La urbanización de una cuenca hidrográfica conlleva la existencia de obstáculos al transcurso natural de la escorrentía (edificios y construcciones), la modificación de la red de drenaje natural (redes de saneamiento) y un aumento del porcentaje de área impermeable en la superficie. El proceso de urbanización aguas arriba de una cuenca provoca una alteración en el hidrograma de entrada a la misma, incrementando el volumen de escorrentía y el caudal resultante. Por otra parte, el tiempo que transcurre desde el inicio de la lluvia hasta que se alcanza el máximo caudal (es decir, el tiempo de concentración) disminuye. Como consecuencia, las probabilidades de que se produzcan inundaciones aguas abajo de la cuenca se incrementan. La Figura 3 muestra la evolución del caudal máximo en una cuenca en función del grado de impermeabilización que implica su urbanización [48].

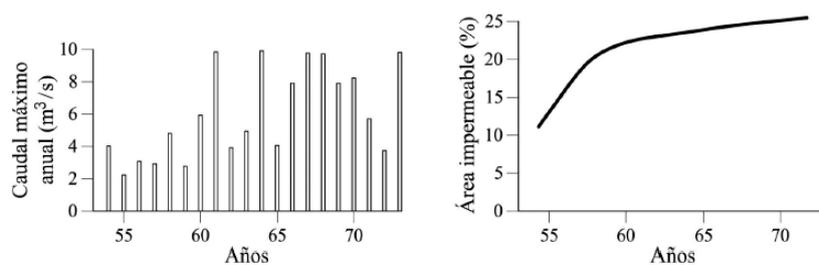


Figura 3. Variación del caudal en función de la impermeabilización [46]

El Ministerio de Construcción de Japón llevó a cabo un estudio experimental en 1969 para analizar la influencia de la urbanización de una serie de cuencas urbanas. Los resultados correspondientes a una de las cuencas estudiadas llevaron a las siguientes conclusiones [49]:

- El coeficiente de escorrentía pasó de estar comprendido entre valores de 0,03 - 0,46 a 0,11 - 0,64 tras la urbanización.
- El tiempo de concentración pasó de estar comprendido entre valores de 60 - 100 minutos a 35 - 50 minutos tras la urbanización.

En base a un estudio realizado para cuencas localizadas en Michigan, Delleur [50] presentó la relación entre el porcentaje de área impermeabilizada por urbanización (I) y la densidad de población en habitantes por milla cuadrada (h), tal que: $I = 1,38 \cdot h$. Por otra parte, la Figura 4 muestra los resultados expuestos por este mismo autor relacionando la reducción del tiempo de respuesta (tiempo entre los centros de gravedad del hietograma y del hidrograma) en función del grado de urbanización [50].

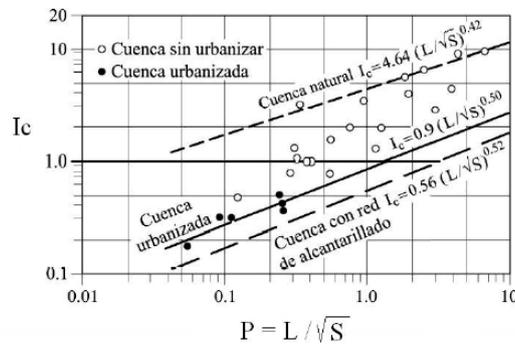


Figura 4. Influencia de la urbanización en el tiempo de respuesta [46]

donde I_c es el tiempo de respuesta y el parámetro P relaciona la longitud (L) en millas y la pendiente (s) en pies/milla de la cuenca.

Por último, Delleur [50] obtuvo las curvas representadas en la Figura 5 tras estudiar una cuenca de una milla cuadrada de superficie situada en Washington DC, mostrando la influencia del área urbanizada (a) y de la red de saneamiento (b) en los caudales correspondientes a un período de retorno de un año (caudal después de urbanización / caudal antes de urbanización).

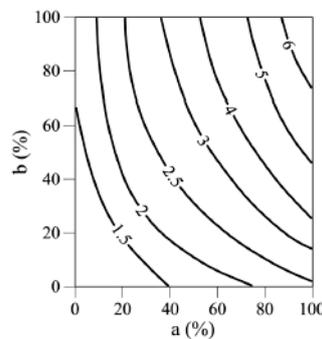


Figura 5. Influencia del área urbanizada y de la red de saneamiento en la variación del caudal [46]

Los problemas descritos con anterioridad se incrementan en regiones mediterráneas, donde el crecimiento urbano es rápido y descontrolado y existen condiciones hidrológicas desfavorables, con lluvias de gran intensidad y cuencas de pequeño tamaño y fuerte pendiente [51]. Estos dos aspectos influyen de forma inversa en el coeficiente de escorrentía, como puede apreciarse en la Figura 6 [52].

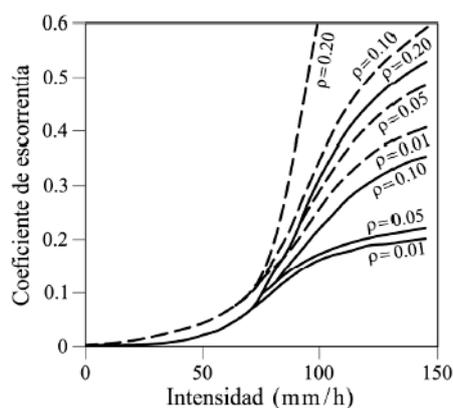


Figura 6. Influencia de la intensidad de lluvia y la pendiente de la cuenca en la escorrentía [46]

3.2.2. Modelos matemáticos de cálculo informatizados

En las últimas tres décadas se ha producido un gran avance en la formulación y computación de modelos numéricos para el estudio del drenaje urbano [53]. Dichos modelos están destinados a proporcionar análisis sobre los procesos hidráulicos e hidrológicos que acontecen en una red de drenaje urbano. A continuación se citan algunos modelos utilizados para el análisis de la escorrentía superficial.

3.2.2.1. DR3M-QUAL (Distributed Routing Rainfall Runoff Model-Quality) [54-56]

Este modelo, propuesto originalmente por Dawdy et al. [57], es de aplicación específica a hidrología urbana e incluye posibilidades de simulación de la calidad de las aguas de escorrentía utilizando funciones de acumulación y lavado. La generación y transcurso de ésta, por su parte, se simula mediante el método de la onda cinemática.

3.2.2.2. HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) [53-56]

El Hydrological Simulation Program-Fortran, desarrollado en el Athens Laboratory de la U.S. EPA, modela subrutinas hidrológicas y de calidad de aguas, incluyendo un bloque específico (*Impervious Land Segment*) para áreas urbanas. Permite también la manipulación de las series temporales resultantes de una simulación continua, ofreciendo además un balance hídrico integral de la zona bajo estudio, analizando aguas superficiales, subterráneas y las interacciones entre ambas.

3.2.2.3. HYDROCOMP (Simulation Program) [56,58]

Mediante el uso de ecuaciones empíricas y teóricas, este modelo proporciona resultados sobre el comportamiento del agua, caudales, calidad, volúmenes de almacenamiento, humedad del suelo y precipitaciones. Inicialmente, su aplicación estaba limitada a zonas rurales, pero posteriores modificaciones permitieron su aplicación también en áreas dotadas de redes de saneamiento.

3.2.2.4. TR20 [53,56]

Basado en el método del número de curva del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) [59], este modelo es capaz de predecir la frecuencia de las curvas de caudales. Destaca por su sencillez de utilización, aunque los hidrogramas unitarios y los resultados obtenidos dependen de las condiciones

específicas del suelo analizado, por lo que su extrapolación a otras condiciones no es aconsejable.

3.2.2.5. MITCAT (M.I.T. Catchment Model) [53,56]

Desarrollado por el Instituto Tecnológico de Masschusetts (*Massachusetts Institute Technology*) a principios de los 70, este modelo surgió con el propósito exclusivo de simular escorrentía (sin otras opciones como calidad de aguas). Para ello, utiliza el método de la onda cinemática para la determinación de las pérdidas y un cálculo lineal para el tránsito del caudal.

3.2.2.6. TR55 [54-56]

La metodología genérica propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos [59] en su modelo TR20 fue posteriormente adaptada al ámbito urbano, dando lugar al modelo TR55, que se fundamenta en la utilización del método del hidrograma unitario para realizar la conversión de precipitación a escorrentía.

3.2.2.7. HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) [60-63]

HEC-HMS aúna toda la experiencia adquirida por el Centro de Ingeniería Hidrológica (*Hydrologic Engineering Center*) del cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (*U.S. Army Corps of Engineers*) durante más de 30 años trabajando con software de simulación hidrológica. Muchos de los algoritmos desarrollados para versiones anteriores del programa o módulos del mismo (HEC-1, HEC-1F, PRECIP o HEC-IFH) se integran en este software, dando lugar a una librería extensa de rutinas de simulación hidrológica [63].

Las operaciones realizadas por el programa pueden agruparse en tres procesos fundamentales [61]:

- Pérdidas: separación de la lluvia neta para determinar qué parte de la misma va a generar escorrentía directa. Puede determinarse utilizando alguno de los siguientes métodos: ratio constante, ratio exponencial, Green-Ampt, número de curva del SCS o Smith-Parlange.
- Transformación: cálculo de la escorrentía directa causada por la precipitación neta. Puede determinarse utilizando alguno de los siguientes métodos: hidrograma unitario de Clark, hidrograma unitario de Clark modificado, onda cinemática, hidrograma unitario del SCS o hidrograma unitario de Snyder.
- Tránsito: evolución del hidrograma a medida que transcurre a lo largo del cauce. Puede determinarse utilizando alguno de los siguientes métodos: onda cinemática, tiempo de retardo, Muskingum, Muskingum-Cunge, Puls modificado o Straddle Stagger.

Además, puede establecerse también una escorrentía base a la que sumar la escorrentía directa, en caso de existir previamente. Como datos de entrada, se introducen propiedades físicas de la cuenca e información sobre la meteorología de la misma, que se caracteriza por tres fenómenos diferentes: precipitación, evapotranspiración y deshielo.

3.2.2.8. MOUSE (Modelling Package for Urban Drainage and Sewer Systems) [56,64,65]

Paquete computacional profesional desarrollado por el consorcio MOUSE y el Instituto de Hidráulica de Dinamarca (*Danish Hydraulic Institute*) a mediados de los años 80, con el propósito de simular cuencas

urbanas y sistemas de alcantarillado (escorrentía superficial, flujo en tuberías, calidad del agua y transporte de contaminantes), considerando flujo tanto en lámina libre como a presión. Dentro de los módulos de que dispone el software, los que permiten realizar simulaciones de escorrentía superficial son los siguientes:

- STANDARD: trabaja como modelo de depósito lineal en base al principio de las curvas tiempo-área o mediante hidrogramas obtenidos a partir de depósitos no lineales.
- NAM: simula en detalle (procesos de precipitación, almacenamiento, evapotranspiración...) el proceso hidrológico en cuencas rurales y urbanas indistintamente, permitiendo simular, además de eventos secos, períodos continuos en los que existan fases secas y húmedas.

El resto de modelos (DESIGN, TRAP, PILOT, CAD o SAMBA) ofrecen otro tipo de funcionalidades relacionadas con la calidad del agua, estrategias de control o digitalización de la geometría.

3.2.2.9. SWMM (Stormwater Management Model) [53-56,58,66,67]

Modelo completo de simulación específicamente desarrollado para cuencas urbanas, que determina la cantidad y calidad de las aguas de escorrentía superficial resultantes. Fue desarrollado a principios de los 70 por tres grupos: Metcalf&Eddy Inc., Universidad de Florida y *Water Resources Engineers Inc.* Desde entonces, la versión original ha sido actualizada y mejorada en más de una ocasión por expertos en la materia como Wanielista, Huber o James [58,66,68,69]. Contempla casi todos los fenómenos asociados a un proceso hidrológico urbano: sucesos discretos y continuos de lluvia, formación de aguas de escorrentía, transporte de aguas, vertido por aliviaderos y almacenamiento en depósitos [66,68,70].

SWMM dispone de un bloque de escorrentía (*Runoff Block*) que permite calcular los hidrogramas y polutogramas de salida en cada subcuenca, para un determinado aguacero de diseño. Las pérdidas por infiltración se determinan de acuerdo a la ecuación de Horton o a la de Green-Ampt [66]. Para ello, como inputs requiere el porcentaje de superficie impermeable, la pendiente, el coeficiente de rugosidad de Manning y varios parámetros de infiltración.

El programa cuenta también con un bloque de transporte (*Transport Block*), que simula la propagación de los hidrogramas de escorrentía superficial a lo largo de la red mediante el método de la onda cinemática. Existe incluso una versión extendida de este bloque (*Extran Block*) que realiza la simulación hidráulica resolviendo de manera explícita las ecuaciones de Saint-Venant, posibilitando el estudio de conductos en carga y la transmisión de efectos hacia aguas arriba [56].

3.2.2.10. SPIDA [56,64,71]

Creado por el *Hydraulic Research Wallingford Software* en Reino Unido, es similar en concepto al MOUSE e incluye todos los procesos que tienen lugar en la hidrología urbana (precipitaciones, conversión de lluvia a cauda, escorrentía...). La lluvia remanente tras considerar la pérdida de carga inicial se aproxima a un coeficiente de escorrentía, que puede calcularse a través del modelo de regresión de U.K. Wallingford o del método del Servicio de Conservación de Suelos.

3.2.2.11. RUNOFF [72,73]

El modelo RUNOFF, escrito en ANSI FORTRAN 77, es una versión actualizada del bloque RUNOFF

del modelo de aguas pluviales de San Francisco, que a su vez es similar al bloque RUNOFF de SWMM. Como señalaron Labadie et al. [74], RUNOFF emplea el método de la onda cinemática para el cálculo de la transformación de lluvia en caudal. El análisis de las infiltraciones y el consiguiente exceso de precipitación, por su parte, se realiza según la formulación de Green-Ampt. También de una forma similar a SWMM, este modelo ofrece la posibilidad de generar polutogramas a partir de los resultados de una simulación.

3.2.2.12. SWAT (Soil and Water Assessment Tool) [75]

Modelo creado por la USDA Agricultural Research Service para la gestión de las interferencias de prácticas relacionadas con el suelo en el agua, permitiendo realizar distintas operaciones relacionadas con la escorrentía superficial, flujo lateral a nivel del suelo, evapotranspiración, tránsito de avenidas, almacenamiento en depósitos o aporte de sedimentos y agrotóxicos.

3.2.2.13. KINEROS (Kinematic Runoff Erosion Model) [76]

Modelo físico basado en el método de la onda cinemática que simula los procesos de intercepción, infiltración, escorrentía superficial y erosión en pequeñas cuencas agrícolas y urbanas. La cuenca hidrográfica se representa mediante una cascada de planos de escurrimientos, canales y almacenamientos. Las ecuaciones diferenciales que gobiernan el flujo superficial y en canales, la erosión y el transporte de sedimentos se resuelven mediante técnicas de diferencias finitas.

3.2.2.14. PENN STATE (Penn State Urban Runoff Model) [54-56]

Desarrollado con la colaboración del gobierno de Philadelphia para analizar sistemas de drenaje, tuvo su primera aplicación en el estudio de la red de alcantarillado de dicha ciudad. Emplea el método del depósito lineal para la generación de hidrogramas, permitiendo además realizar operaciones de dimensionamiento de elementos de drenaje como tuberías. Sin embargo, no ofrece opciones de simulación de calidad de aguas.

La [Tabla 2](#) resume las características de los principales modelos hidrológicos, indicando sus métodos de cálculo para los tres procesos que tienen lugar en la transformación de lluvia a escorrentía, su compatibilidad con los SIG y su disponibilidad mercantil.

Modelo	Pérdidas	Transformación	Transporte	Compatibilidad	Disponibilidad
DR3M	Green-Ampt	Onda cinemática	Onda cinemática	Baja	Propietario
HEC-HMS	Green-Ampt	Hidrograma de Clark	Muskingum	Alta	Libre
	Curvas SCS	Onda cinemática	Onda cinemática		
	Smith-Parlange	Hidrograma del SCS	Straddle Stagger		
HSPF	Modelo Stanford	Onda cinemática	Onda cinemática	Baja	Libre
MOUSE	Horton	Tiempo-Área	Onda cinemática	Alta	Propietario
		Onda cinemática	Onda difusiva		
			Onda dinámica		
SWAT	Green-Ampt	Método racional mod.	Coef. de almacenamiento	Alta	Libre
	Curvas SCS	TR55	Muskingum		
SWMM	Horton Green Ampt	Depósito no lineal	Onda cinemática	Media	Libre

Tabla 2. Cuadro comparativo de los principales modelos de simulación hidrológica

3.3. Revisión bibliográfica

En esta sección se recopilan los trabajos científicos más relevantes de los últimos años, atendiendo a su número de citas y al factor de impacto de las revistas a que pertenecen, sobre el empleo integrado de sistemas de información geográfica y modelos hidrológicos de cálculo. Cada uno de estos trabajos se describe sucintamente de forma individual y en orden cronológico, resumiendo su propósito y las herramientas que se utilizaron para alcanzarlo. En cuanto a la procedencia de las publicaciones observadas, es notoria la preponderancia en uso de estas técnicas por parte de entidades ubicadas en los Estados Unidos. Esta circunstancia puede deberse, aparte del hecho de que la mayoría del software descrito fue creado en este país, al gran número de entidades que ofrecen datos sobre el agua y el clima norteamericano, lo cual facilita enormemente el proceso y permite realizar calibraciones de los modelos propuestos.

Berry y Sailor [77] investigaron la utilidad de técnicas de mapeado geográfico para la predicción de la escorrentía provocada por un aguacero en una pequeña cuenca situada en USA. Mediante un procedimiento automatizado de cálculo de los parámetros del método del Servicio de Conservación de Suelos, se sostiene que la caracterización que ofrece el modelo sobre el flujo de agua es buena.

Stuebe y Johnston [78] calcularon la escorrentía producida por el agua de lluvia correspondiente a seis cuencas hidrográficas, utilizando para ello el método del número de curva del Servicio de Conservación de Suelos. El proceso se realizó de forma manual y con el apoyo de un SIG para la generación de datos de elevación y ocupación del suelo, demostrándose las ventajas que ofrecen estas tecnologías cuando las áreas de estudio son grandes y/o numerosas.

Djokic y Maidment [79] se sirvieron de un SIG como Arc/Info para obtener los parámetros necesarios para analizar el sistema de drenaje de aguas pluviales en la ciudad de Asheville, situada en North Carolina. Una vez en disposición de los datos sobre el terreno, el cálculo hidrológico se llevó a cabo utilizando el método racional para dos períodos diferentes, diez y veinticinco años.

Bhaskar et al. [80] ahondaron en las facilidades que ofrecen los sistemas de información geográfica a la hora de gestionar los datos físicos y espaciales requeridos por un programa de simulación hidrológica. En concreto, analizaron la cuenca del río Big Sandy en el noreste de Kentucky sirviéndose del funcionamiento conjunto de Arc/Info y WAHS (*Watershed Hydrology Simulation*).

Devantier y Feldman [81] revisaron el estado actual de uso de modelo digitales de terreno y sistemas de información geográfica para llevar a cabo análisis hidrológicos. En primer lugar, se discuten tres métodos de almacenamiento de información geográfica: ráster o en cuadrícula, red irregular de triángulos y redes basadas en curvas de nivel. Además, se repasa el uso de la teledetección en los SIG y el modelado hidráulico. Finalmente, se valoran los modelos hidrológicos en relación a los inputs que requieren y se describen diversas aplicaciones derivadas de la combinación de ambos elementos.

Meyer et al. [82] profundizaron en los factores que influyen en la conectividad entre sistemas de información geográfica y modelos de cálculo hidrológico. Con este propósito, se utilizaron tres sistemas de codificación de datos en formato ráster para evaluar el acoplamiento entre el SIG Idrisi y el modelo hidrológico RUNOFF.

Shea et al. [83] propusieron un plan de gestión de aguas superficiales basado en la combinación de un SIG con HEC-1 y HEC-2 para el condado de Polk, situado en Florida. Habida cuenta de la corta

evolución de los SIG en la fecha de publicación de este trabajo, los autores tuvieron que crearlo artesanalmente a partir de diseño asistido por ordenador (CAD), un sistema de gestión de bases de datos y un software de procesamiento ráster denominado AEGIS. Como resultado, se postuló al sistema como una herramienta de actualización continua que podía ser usada para la gestión diaria del agua de lluvia.

Vieux [84] analizó la variabilidad inherente al proceso de delineación de cuencas en función del nivel de detalle del modelo digital del terreno a partir del cual se realice tal proceso. La magnitud del error se midió mediante un método de elementos finitos de cálculo de la escorrentía superficial, con el fin de determinar el tamaño de celda que se necesita para el modelado hidrológico de una cuenca.

Warwick y Hanes [85] testearon la eficacia del SIG Arc/Info a la hora de generar la inputs espaciales necesarios para el modelo hidrológico HEC-1. El sistema mostró ofrecer buenos resultados en operaciones de promedio de información espacial (áreas y números de curva de las cuencas), pero, sin embargo, se detectaron dificultades en el uso del TIN (Red Irregular de Triángulos) para determinar las intensidades de lluvia.

Greene y Cruise [86] presentaron un modelo hidrológico a simular en HEC-1 en el que se utilizaban los métodos de cálculo del número de curva para el exceso de precipitación y de la onda cinemática para la descarga de las cuencas hidrográficas. Las unidades de respuesta hidrológica y la localización de los elementos se obtuvieron en Arc/Info para después ser importados a HEC-1.

Julien et al. [87] ahondaron en la capacidad de combinación de sistemas de información geográfica con funcionalidades ráster y un modelo de simulación hidrológica en dos dimensiones como CASC2D, que incorpora el método de infiltración de Green-Ampt y la formulación de onda difusiva para el tránsito del caudal. Mediante un proceso de calibración se comprobó que el modelo es capaz de simular de forma precisa la escorrentía generada en áreas parciales de la cuenca por inundaciones repentinas procedentes de tormentas intensas.

Bingner [88] demostró la capacidad de simulación de SWAT y su potencial cuando se combina con GRASS mediante un caso de aplicación en que se modeló una cuenca hidrográfica ubicada al norte de Mississippi en un período de diez años. Dicha cuenca fue dividida en catorce subcuencas, cada una de ellas caracterizada meteorológicamente a través de una estación pluviométrica. Los autores defienden la precisión del modelo a la hora de predecir la escorrentía superficial y la presencia de sustancias químicas, nutrientes y sedimentos en el agua.

García-Martín et al. [89] utilizaron los registros meteorológicos de una serie de estaciones para determinar relaciones entre lluvia, descarga y elevación. Se obtuvieron correlaciones significativas entre elevación y lluvia media anual, elevación y número medio de días secos anual y descarga media anual y elevación media. Dichas correlaciones fueron integradas en un SIG mediante los programas Arc/Info, Idrisi y Erdas.

Shamsi [90] presentó una combinación del modelo hidrológico PSRM y los SIG Arc/Info y Erdas, con el propósito de explotar las virtudes de uno y otro en la gestión de recursos en formatos vectorial y ráster, respectivamente. La metodología resultante se empleó para simular los hidrogramas de escorrentía correspondientes a distintos pares de valores de duración y frecuencia.

Arnold et al. [91,92] presentaron el modelo de cálculo continuo SWAT para la gestión de la cantidad y

calidad de aguas en cuencas hidrográficas. El modelo de cálculo fue aplicado para simular el ciclo hidrológico, la erosión del suelo y el transporte de sedimentos en la cuenca Richiand-Chambers perteneciente al río Trinity en Texas. La recogida e integración de los datos necesarios para aplicar el modelo SWAT a este caso se realizó apoyándose en el uso del sistema de información geográfica GRASS.

De Roo [93] discutió la aplicabilidad de los sistemas de información geográfica a la hora de generar la información necesaria para construir un modelo hidrológico de cálculo de escorrentía y transporte de sedimentos. Como debilidad de los modelos espaciales, se apunta a la incertidumbre inherente a la estimación y medida del gran número de variables que se requieren para caracterizar una cuenca hidrográfica.

Krysanova et al. [94] desarrollaron un nuevo modelo hidrológico de nombre SWIM (*Soil and Water Integrated Model*) y cuyo funcionamiento se basa en la acción combinada de dos herramientas previamente existentes como SWAT y MATSALU. Dicho modelo se diseñó de modo que pudiese integrarse en GRASS para adquirir desde este SIG la información espacial.

Frankenberger et al. [95] aplicaron el modelo hidrológico *Soil Moisture Routing*, en coordinación con el SIG de escritorio GRASS, para predecir la distribución espacial de humedad del suelo, evapotranspiración y escorrentía superficial de una cuenca de poca pendiente en la región de Catskills (New York). Como resultado, se obtuvieron coeficientes de correlación de 0,71 entre los valores simulados y medidos de esas variables.

Gurtz et al. [96] utilizaron el modelo PREVAH (*Precipitation-Runoff-Evapotranspiration-Hydrotope*) para analizar espaciotemporalmente los principales componentes hidrológicos, sobre todo escorrentía superficial y evapotranspiración, de las cuencas del río Thur en Suiza. Para caracterizar física y superficialmente las cuencas bajo estudio, se recurrió a un SIG con información discretizada en forma de rejilla.

Con el objetivo de automatizar la conexión entre Sistemas de Información Geográfica y modelos hidrológicos de cálculo, Hellweger y Maidment [97] desarrollaron un procedimiento llamado CRWR-PREPRO integrable en Arc/Info destinado a generar un archivo en formato ASCII que incluyese los elementos y parámetros que requiere HEC-HMS para ser ejecutado.

Thieken et al. [98] estudiaron el problema de escala que supone la división de una cuenca hidrográfica en varias subcuencas de menor tamaño para el desarrollo de un modelo hidrológico. Para ello, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el que el umbral de división de la cuenca variaba para obtener distintas configuraciones espaciales, a través del uso de Arc/Info. Los resultados, basados en tormentas sintéticas y un modelo de escorrentía calculado en KINEROS, revelaron que la escorrentía dependía directamente de la magnitud del flujo superficial, llevando a considerar el uso de la longitud media de estos cauces como un posible parámetro de escala.

A partir del método del número de curva del Servicio de Conservación de Suelos, Bhaduri et al. [99] desarrollaron un modelo de evaluación de impacto hidrológico a largo plazo, llamado L-THIA (*Long-Term Hydrologic Impact Assessment*), conectado a un sistema de información geográfica como ArcView. El sistema se aplicó a una cuenca urbana en Indiana para estimar las variaciones anuales de volúmenes de escorrentía y concentración de contaminantes en el agua para tres períodos temporales distintos.

Brun y Band [100] analizaron las relaciones entre escorrentía y caudal base como una función de los porcentajes de área impermeable y saturación del suelo para la cuenca Gwynns Falls en Baltimore, combinando para ello el uso de ArcView con el software de simulación hidrológica HSPF (*Hydrologic Simulation Program - Fortran*). Como resultado, se sugiere un porcentaje de cobertura impermeable del 20 %, a partir del cual la relación de escorrentía varía más fuertemente.

Hernandez et al. [101] utilizaron capas con información espacial procedentes del USGS (*U.S. Geological Survey*), STATSGO (*State Soil Geographic Database*) y NALC (*North American Landscape Characterization classification*) para crear un SIG en el que la delineación de elementos hidrológicos fue llevada a cabo a través de la herramienta TOPAZ, que dispone de un algoritmo capaz de determinar direcciones y acumulaciones de flujo. A partir de estos datos, se aplicaron dos modelos hidrológicos en una pequeña cuenca semiárida, uno simulado en KINEROS y otro en SWAT.

Tanto Pullar y Springer [102] como He [103] integraron el modelo de contaminación agrícola no puntual AGNPS (*Agricultural Nonpoint Source Pollution Model*) con ArcView, desarrollando así una interfaz para facilitar el modelado de cuencas desde un punto de vista agrícola. Además de para analizar la contaminación de las aguas, el modelo sirvió para señalar la relación directa que existe entre la expansión del suelo urbano y la escorrentía superficial.

Schumann et al. [104] analizaron la parametrización que habitualmente llevan a cabo los sistemas de información geográfica para generar los datos de entrada que demanda un modelo matemático de cálculo hidrológico para poder realizar una simulación, incidiendo especialmente en la heterogeneidad que suele existir en una cuenca hidrográfica y en la diferenciación entre procesos laterales y verticales.

Olivera [105] profundizó en las operaciones de extracción de la información topográfica, topológica e hidrológica que se requiere para trabajar con HEC-HMS. Así, se discuten los algoritmos implementados por ESRI en su SIG para el cálculo de los parámetros hidrológicos, como el número de curva, el área o el tiempo de retardo de las cuencas.

Sample et al. [106] incidieron en la utilidad de los sistemas de información geográfica para caracterizar el impacto del agua de lluvia en barrios urbanos. Con este propósito, se empleó el método del número de curva del SCS para estimar la abstracción inicial de la precipitación y poder calcular a posterior los volúmenes de almacenamiento necesarios. En base a ello, se planteó un problema de programación lineal para optimizar el proceso de selección de un sistema de drenaje sostenible que atenuase los efectos del agua de lluvia.

Weng [107] estudió la influencia del crecimiento urbano en la generación de escorrentía superficial mediante un enfoque que integraba dos conceptos tan unidos como teledetección y sistemas de información geográfica. Los resultados muestran que la escorrentía aumentó en algo más de 8 mm entre 1989 y 1997, en clara consonancia con el desarrollo urbano del área analizada.

Choi et al. [108] introdujeron el modelo CELTHYM (*Cell Based Long Term Hydrological Model*), capaz de resolver el balance hídrico en una cuenca a partir de datos de cuadrícula, con pre- y post-procesadores para interactuar con sistemas de información geográfica. El modelo permite realizar diversas operaciones, como cálculo de escorrentía, humedad del suelo o evapotranspiración.

Lee y Heaney [109] combinaron el uso de ArcView y SWMM para evaluar los efectos que provoca la urbanización en los sistemas de drenaje pluvial. Los resultados presentados muestran un caso de estudio en el que el porcentaje de área impermeable cubre un 44 % de la cuenca, contribuyendo de forma directa a la creación de un 72 % de la escorrentía total generada durante un período de 52 años.

Di Luzio et al. [110] introdujeron un sistema hidrológico basado en información SIG denominado AVSWAT, en virtud de la integración de sus dos componentes: ArcView y SWAT. El primero opera como una herramienta destinada a producir los datos espaciales referentes a la delineación de cuencas, usos del suelo y estaciones meteorológicas que SWAT demanda para poder realizar la simulación hidrológica posterior, en este caso enfocada al cálculo de la calidad del agua de escorrentía. La misma combinación de componentes (ArcView y SWAT) fue elegida por Gosain y Rao [111] para realizar una gestión integral y sostenible de una cuenca situada en el distrito de Bijapur en Karnataka.

Al-Abed et al. [112] calibraron los caudales medidos en la cuenca del río Zarqa durante una serie de cuatro años mediante un modelo hidrológico construido en HEC-HMS a partir de información geográfica exportada desde ArcGIS a través de HEC-GeoHMS. Los resultados fueron satisfactorios, alcanzado un coeficiente de determinación de 0,9 entre registrado y simulado.

Knebl et al. [113] propusieron una metodología para el modelado de inundaciones a escala regional basada en la combinación de tres componentes: meteorológico (NEXRAD Nivel III), geográfico (ArcGIS) e hidrológico (HEC-HMS/RAS). Tras procesar y generar la información georreferenciada que se requería, la conversión de lluvia en escorrentía vía HEC-HMS permitió la obtención de una serie de hidrogramas que fueron posteriormente introducidos en HEC-RAS para determinar el flujo a través del canal bajo estudio (situado en la cuenca del río San Antonio en Central Texas).

Qi y Grunwald [114] utilizaron el modelo SWAT, asistido por su interfaz específica en ArcView, para simular el flujo superficial, subterráneo y total en la cuenca Sandusky en Ohio. Los resultados así obtenidos se compararon con los realmente medidos en esa subcuenca, obteniéndose mejor ajuste para las simulaciones superficiales que para las subterráneas. En cuanto al flujo total, se consiguieron coeficientes de determinación entre 0,7 y 0,9.

de Winnaar et al. [115] aplicaron las funcionalidades de ArcGIS en la determinación de los usos de suelo, lluvia y pendientes en la Cuenca Potshini, localizada en Sudáfrica. El objetivo final consistía en hacer uso de esa información para elaborar una estrategia de identificación de zonas con potencial para ser utilizadas como puntos de almacenamiento de aguas de escorrentía.

Barco et al. [116] adaptaron y calibraron el modelo hidrológico SWMM en una cuenca urbana de gran tamaño ubicada en el sur de California, con el apoyo del SIG Arc/Info para el procesamiento de los usos del suelo y las precipitaciones. Los resultados mostraron ser precisos en la predicción, observándose la mayor sensibilidad de los mismos al efecto de la impermeabilidad que al coeficiente de Manning de la superficie por la que discurre el agua.

Park et al. [117] analizaron la influencia que el umbral que se adopte para dividir una cuenca en subcuencas de menor tamaño tiene en los resultados que se obtengan de una posterior simulación hidrológica ejecutada en SWMM. De esta forma, la división se realiza mediante un SIG en función de las pendientes, direcciones de flujo y drenaje pluvial de la zona de estudio. Los resultados mostraron que la resolución espacial da lugar a pequeñas diferencias en la escorrentía total, pero no así en la escorrentía a la salida de los elementos de drenaje.

Chen et al. [118] desarrollaron y testearon un modelo basado en el uso de sistemas de información geográfica para evaluar el riesgo de inundación en áreas urbanas. Como input para el cálculo de la inundabilidad, se requiere un conocimiento previo de la transformación de precipitación en escorrentía, para lo que se propone una adaptación del método Green-Ampt.

Dongquan et al. [119] utilizaron la herramienta hidrológica ArcHydro del software ArcGIS, combinando técnicas como dirección de flujo, división de cuencas o conversión de ráster a vector para generar un modelo de lluvia-escorrentía con el que poder trabajar después en SWMM. La metodología propuesta se aplicó exitosamente a un caso de estudio en Macau, destacándose la eficacia del proceso propuesto en el SIG para obtener los parámetros hidrológicos necesarios para realizar la simulación hidrológica.

Han y Burian [120] presentaron un procedimiento en dos fases para estimar el porcentaje de área impermeable a efectos hidráulicos en cuencas urbanas. El primer paso aplica una clasificación probabilística a partir de imágenes de satélite multispectral para obtener la ocupación del suelo urbano. La segunda fase integra una macro en ArcGIS 9 para trazar el flujo de agua a partir de los píxeles previamente clasificados como efectivos o inefectivos en términos de impermeabilidad. La metodología fue posteriormente validada mediante una serie de simulaciones hidrológicas realizadas con el programa SWMM.

Mwenge Kahinda et al. [121] propusieron una metodología de apoyo a la decisión de nombre RHADESS (*Rainwater Harvesting Decision Support Systems*) destinada a valorar la idoneidad de almacenar agua de lluvia en cualquier lugar de Sudáfrica, cuantificando los impactos potenciales asociados a tal operación, como la reducción de la escorrentía superficial.

Verma et al. [122] establecieron una comparación entre dos modelos de simulación hidrológica distintos: HEC-HMS y WEPP (*Water Erosion Prediction Project*). Los datos necesarios para tal propósito (usos del suelo, mapa de pendientes...) fueron procesados en el editor ráster ERDAS Imagine y utilizados para concluir que HEC-HMS ofrece resultados más fiables y precisos que WEPP.

Abushandi y Merkel [123] realizaron una calibración de un evento de lluvia registrado principios del año 2008 en la cuenca de Wadi Dhuliel en el norte de Jordania. Tras utilizar ArcView 3.3 para obtener información sobre las características del terreno (características del suelo y pendientes), se procedió a la simulación tanto en HEC-HMS como en IHACRES (*Identification of unit Hydrograph And Component flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow*), ofreciendo el primero resultantes mucho más próximos a los medidos.

3.4. Justificación de la metodología adoptada

En base a la discusión de las secciones 3.1, 3.2 y 3.3, se está en disposición ahora de proceder a la selección de los componentes necesarios para elaborar una metodología de localización que integre la capacidad de gestión de la información de un SIG con el potencial de cálculo de un modelo matemático informatizado de simulación hidrológica.

Atendiendo al resumen comparativo representado en la [Tabla 1](#), cuatro clientes de escritorio SIG, dos propietarios y dos libres, destacan sobre el resto por su versatilidad y completitud: ArcGIS y Geomedia, por un lado, y GRASS y gvSIG, por otro. La accesibilidad es el primer factor discriminante a la hora de elegir entre tales alternativas. En este sentido, la Universidad de Cantabria, a través del Máster de Investigación en Ingeniería Civil y, en concreto, de la asignatura “Modelos de Datos y Metodologías de Sistemas de Información Georreferenciada”, ofrece al alumno una licencia de la versión de estudiante de ArcGIS válida durante un año. Sin embargo, no se conoce ninguna vía que facilite la adquisición de Geomedia, por lo que esta opción fue el primer descarte. Entre las tres restantes, se valoraron dos aspectos fundamentales: primero, la disposición de herramientas que permitiesen realizar el tipo de procesamiento de datos requerido para este trabajo; segundo, el grado de extensión en uso del software, en cuanto a la existencia de manuales y guías y foros en que se discutiese sobre los mismos. En ambos casos, ArcGIS se muestra extremadamente competitivo; por un lado, contando con una extensión específica para la ejecución de operaciones hidrológicas como ArcHydro y, por otro, disponiendo de una extensa y clarificadora ayuda en línea sobre todas y cada una de las herramientas y funcionalidades del programa. Por ello, ArcGIS fue el SIG de escritorio elegido para la realización del presente trabajo.

Respecto al modelo de simulación hidrológica, de acuerdo a sus posibilidades de cálculo y a la revisión bibliográfica llevada a cabo, también cuatro programas sobresalen por encima de los demás: HEC-HMS, MOUSE, SWAT y SWMM. Siguiendo una lógica similar a la expuesta para la selección del SIG, se desechó en primer lugar la opción del software danés MOUSE por ser el único de los cuatro cuya adquisición está sujeta a pago. En segundo lugar, y en reciprocidad con la elección del SIG, se contempló como un criterio decisivo la conectividad entre ambos componentes. En este aspecto, tanto HEC-HMS como SWAT disponen de módulos específicos para la extracción de la información geográfica generada en ArcGIS, HEC-GeoHMS y ArcSWAT, mientras que los procesos de importación y exportación en SWMM son más laboriosos al no ofrecer ese nivel de automatización. Por último, se atendió a la capacidad computacional y a los recursos de cálculo de las dos alternativas finalistas. HEC-HMS cuenta con hasta más de cinco métodos de cálculo distintos para la simulación de cada uno de los procesos hidrológicos que se contemplan en este trabajo, estando además más enfocado a la obtención de parámetros de cantidad que de calidad de las aguas, a diferencia de SWAT. Como consecuencia, HEC-HMS fue el programa de cálculo hidrológico seleccionado para actuar en combinación con ArcGIS.

4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Recogida de información

El pilar básico para el desarrollo de cualquier metodología de localización geográfica es la calidad de los datos en que se asienta la misma. No en vano, el objetivo de esta disciplina es la explotación de la información para mejorar la eficiencia en la gestión de una determinada actividad o proceso. De esta forma, por muy compleja y sofisticada que pueda ser una de estas metodologías, su valía quedará en entredicho si la rigurosidad de los datos en que se basa es escasa. Bajo estas premisas, se ha considerado la adquisición y posterior tratamiento de la información como una de las tareas principales del presente trabajo.

Dado que la metodología se ha aplicado en la ciudad de Santander, además de a ciertas fuentes de nivel estatal, se recurrió también a información a escala local y regional. La [Tabla 3](#) resume los datos utilizados para la ejecución de este trabajo, indicando la fuente, el formato original de los mismos y una breve descripción de la información que contienen.

Fuente	Nombre	Descripción	Formato	Resolución
Ayuntamiento de Santander	Registros	Ubicación de los sumideros e imbornales de la ciudad de Santander.	dgn	1/5.000
	Callejero	Nombre, tipo y longitud de los tramos viales que forman la ciudad.	shp	1/5.000
	Edificios	Representación poligonal de los edificios de la ciudad, incluyendo su área.	shp	1/5.000
	Límites	Extensión espacial georreferenciada de la ciudad de Santander.	shp	1/5.000
Centro Nacional de Información Geográfica	Modelo Digital del Terreno	Hojas cartográficas del MDT en Cantabria, obtenido mediante tecnología LIDAR.	ASCII	0,5 ptos/m ²
Territorio Cantabria	Corine Land Cover 2006	Tipos de ocupación del suelo en la región de Cantabria.	shp	1:100.000
Santander Meteorology Group	Precipitación máxima diaria	Dataset con datos de precipitación diaria entre 1950 y 2003.	nc	1 km

Tabla 3. Fuentes de información para el desarrollo del trabajo

Se ahondará en el uso y manipulación de estos datos a lo largo de las siguientes secciones, si bien su obtención y características merecen ciertos comentarios.

Los datos de precipitación máxima diaria, básicos para el desarrollo del modelo meteorológico que se expondrá a continuación, provienen de un trabajo realizado por el Grupo de Meteorología de la Universidad de Cantabria, cuyo objetivo era regionalizar los escenarios globales de cambio climático del cuarto informe del IPCC [124], adaptándolos a la orografía y variedad climática de Cantabria. Para ello, se emplearon métodos estadísticos y dinámicos de downscaling que permiten proyectar regionalmente la circulación de larga escala de los modelos globales en base a las observaciones disponibles en la región, interpoladas espacialmente a una resolución de 1 km [125].

Por su parte, el modelo de terreno sobre el que se ha trabajado fue elaborado mediante LIDAR (Light Detection and Ranging), una tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. De esta manera, este sistema posibilita la obtención de una nube de puntos mediante un escáner láser aerotransportado. Dicho escaneado se basa en la combinación de dos movimientos: uno longitudinal impuesto por la trayectoria del avión y otro transversal facilitado por un espejo móvil que desvía el haz de luz láser emitido por el escáner. Para conocer las coordenadas de los puntos, el sistema se apoya en un GPS diferencial y un sensor

inercial de navegación, que permiten determinar la posición del sensor y el ángulo del espejo en cada instante. Con estos datos y la distancia entre el sensor y el terreno, calculada mediante el distanciómetro, se obtienen las coordenadas buscadas. Como resultado, esta tecnología alcanza registros de un orden de magnitud de decenas de miles de puntos por segundo.

Los datos facilitados por el Ayuntamiento de Santander son poligonales para la representación de edificios y límites, polilineales en el caso de los viales y en formato CAD en el de los elementos de drenaje superficial. El acabado de estos últimos está en ejecución, por lo que únicamente se cuenta con la ubicación de estos elementos en algunos barrios o zonas aisladas, lo que restringe su utilidad considerablemente. Para paliar esta carencia de información, se recurrió a Google Earth para localizar manualmente la ubicación de tales dispositivos.

Por último, la información sobre los usos del suelo en Cantabria se adquirió a partir del proyecto Corine Land Cover 2006 [126], también en formato vectorial poligonal. El objetivo básico de este proyecto es construir una base de datos a nivel europeo que contenga información sobre la ocupación del suelo a escala 1:100.000, facilitando los procesos de análisis territorial y gestión de políticas europeas.

En los siguientes apartados se procederá a desgranar la metodología planteada para alcanzar los objetivos propuestos a partir de los datos que se recogen en la [Tabla 3](#). Dicha metodología se divide en tres modelos principales: físico, meteorológico e hidrológico, en función del tipo de caracterización que llevan a cabo sobre las cuencas hidrográficas. La [Figura 7](#) esquematiza las operaciones que comprenden cada uno de estos tres modelos que constituyen la metodología seguida en el presente trabajo.

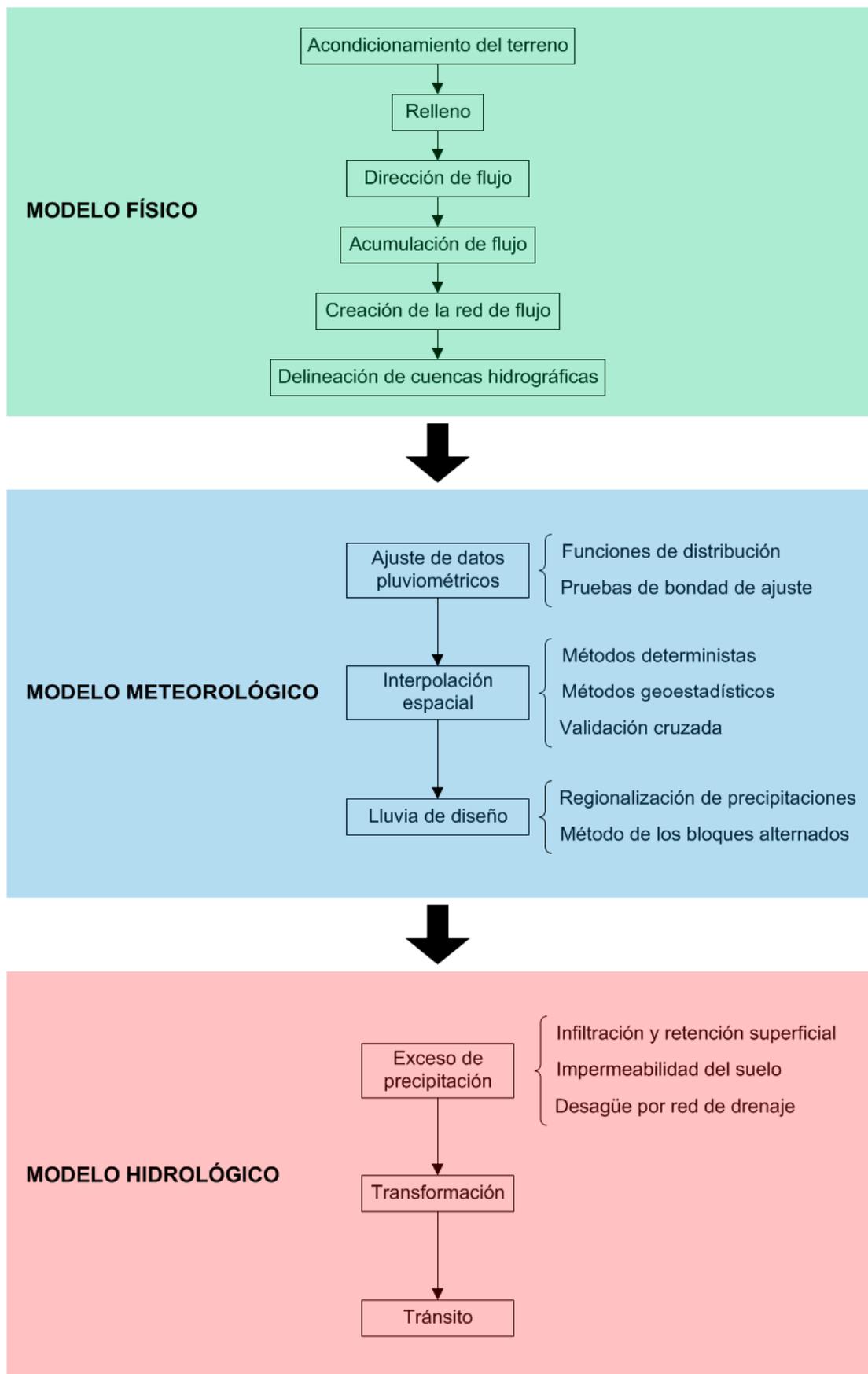


Figura 7. Esquema de la metodología propuesta

4.2. Modelo físico

Uno de los primeros y más importantes pasos para alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo es generar la información hidrológica espacial necesaria para poder modelar los fenómenos de precipitación y propagación de escorrentía. En el caso más desfavorable en cuanto a existencia de datos espaciales, únicamente se requieren dos fuentes de información iniciales para llevar a cabo esta fase: una en formato ráster representando el Modelo Digital del Terreno (MDT) y otra en formato vectorial conteniendo la localización de los edificios y tramos viales ubicados en la zona. Combinando las mismas puede obtenerse un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) “artificial” sobre el que desarrollar las operaciones sucesivas, generando así una alternativa artesanal a un MDE real, cuya adquisición no siempre es posible.

Una vez realizada esta actuación preliminar, el resto de operaciones son comandos de ejecución directa del software ArcGIS, contenidos en el conjunto de herramientas “Hydrology” de *Spatial Analyst* o en la extensión “ArcHydro”. Los siguientes apartados describen los pasos sucesivos que deben realizarse para la caracterización hidrológica y la obtención de los elementos de flujo necesarios del área de estudio.

4.2.1. Acondicionamiento del terreno

El motivo que impide trabajar con el MDT directamente reside en el tipo de suelo del área de estudio; estos modelos no recogen ninguna información sobre elementos no pertenecientes al terreno, como edificios o estructuras, muy presentes en zonas urbanizadas y cuya existencia entorpece o corta el posible flujo de escorrentía a tratar. Por ello, como se ha comentado en el párrafo anterior, las capas que contienen la información referente a estos elementos deben incorporarse al MDT para conseguir un reflejo lo más real posible de la topografía entre la que va a discurrir la escorrentía. En la mayoría de casos, la práctica totalidad de tales elementos puede considerarse incluida dentro de los datos relevantes a edificios y al viario urbano del área.

El procedimiento a seguir para incorporar la información relativa a edificios y viales, generalmente en formato vectorial, al MDT, en formato ráster, consiste en manipular las dimensiones, especialmente las elevaciones, de los primeros. En el caso de los edificios, normalmente representados por polígonos planos, se añade una pequeña cota a los mismos para que luego, una vez transformados a formato ráster, puedan añadirse al MDT y añadir esta sobreelevación al nivel del terreno.

Por su parte, el viario suele representarse por sus ejes, por lo que, en este caso, las polilíneas correspondientes deberán ensancharse previamente de 2,5 a 3 m a cada lado para después inducir una pequeña depresión en los polígonos resultantes, con el objetivo de simular la presencia de bordillos y forzar a que el agua no pueda salir libremente de la carretera una vez dentro. Nótese que la exactitud no es un factor decisivo a la hora de elegir las cifras en que manipular estos elementos, ya que el cometido de esta operación es simplemente coaccionar el movimiento del flujo de escorrentía, de modo que bordeé los edificios y estructuras y discurra por los viales cuando corresponda.

4.2.2. Relleno

Antes de comenzar con la manipulación hidrológica de los datos, existe otro paso previo de corrección del MDT acondicionado que resulta recomendable efectuar. Es frecuente que el MDT contenga

imperfecciones o que su resolución sea insuficiente, dando lugar a puntos que representen picos (*peaks*) o depresiones (*sinks*) ilógicos respecto a sus celdas colindantes [127]. Si estos errores no se subsanan en esta fase, la red de flujo resultante en última instancia puede ser discontinua y dar lugar a incongruencias desde el punto de vista físico [128]. La Figura 8 representa el antes y después de ejecutar un relleno de una depresión y un pico, respectivamente.

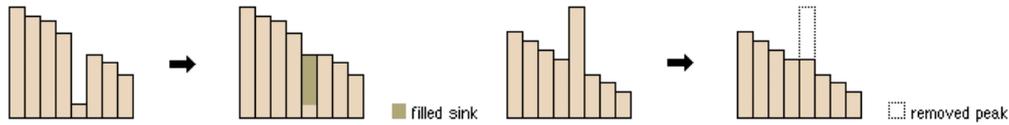


Figura 8. Vistas de perfil de una depresión y un pico antes y después de rellenar [127]

4.2.3. Dirección de flujo

Una de las operaciones fundamentales para la caracterización hidrológica de una superficie es la determinación de la dirección de flujo desde cada celda del ráster con la información topográfica. En esta fase se toma como input el MDT acondicionado y rellenado y se obtiene como output una capa ráster con la dirección del flujo que sale desde cada celda del mismo. El fundamento teórico en que se basa este proceso es el denominado modelo de flujo de ocho direcciones (D8) (ver Figura 9), basado en el enfoque propuesto por Jenson y Dominique [129].

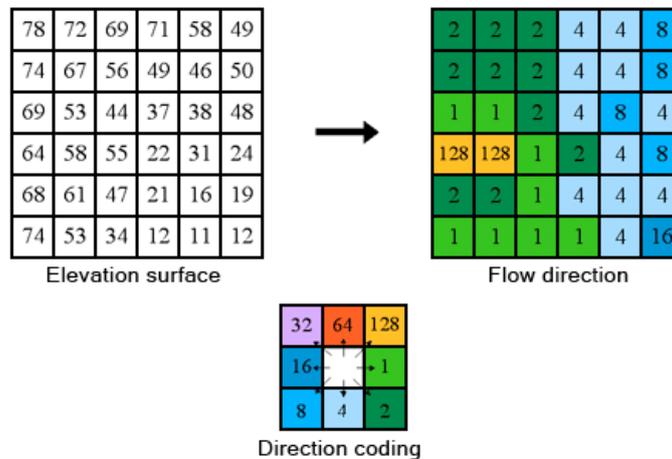


Figura 9. Codificación de la dirección de flujo [130]

La dirección de flujo viene marcada por la dirección de la máxima caída desde cada celda, pudiendo expresarse analíticamente como sigue [130]:

$$\text{Máxima caída} = \frac{\text{Cambio en la dimensión } z}{\text{Distancia}} \cdot 100 \quad (1)$$

La distancia se calcula entre los centros de las celdas del ráster; de esta forma, si el tamaño de celda es 1, la distancia entre dos celdas ortogonales es 1 y entre dos celdas diagonales es 1,414. Las direcciones de descenso máximas se codifican con el valor correspondiente, de acuerdo al esquema inferior de la Figura 9. Si una celda es más baja que sus vecinas, se le asigna el valor de las más bajas y el flujo se direcciona hacia esta celda. Si son varias las celdas vecinas con el valor más bajo, a la

celda se le atribuye ese valor igualmente, pero la dirección se determina de acuerdo a uno de los dos siguientes métodos [130]:

- 1) Si una celda tiene mismo cambio en z en varias direcciones y es parte de una depresión, la dirección de flujo no está definida. En estas situaciones, el valor de la celda será la suma de esas direcciones. Por ejemplo, si el cambio en z es igual hacia la izquierda ($D = 16$) y hacia arriba ($D = 64$), la dirección de flujo para la celda bajo análisis será $16 + 64 = 80$.
- 2) Si una celda tiene el mismo cambio en z en varias direcciones y no es parte de una depresión, la dirección de flujo se define de acuerdo a una tabla señalando la ruta más probable [131].

4.2.4. Acumulación de flujo

Esta herramienta determina el flujo acumulado integrando la influencia de todas las celdas que fluyen en cada celda de pendiente descendente [132]. La Figura 10 muestra el número de vecinas que fluyen hacia cada celda (derecha), calculable a partir de las direcciones de flujo correspondientes (izquierda).

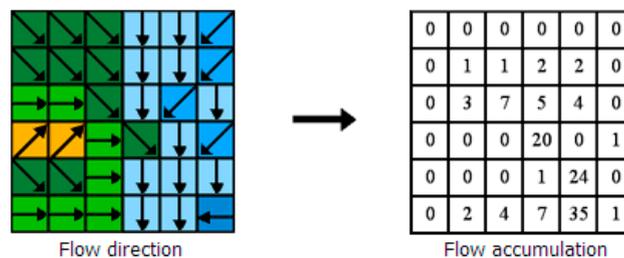


Figura 10. Determinación de la acumulación de flujo [132]

Así, las celdas con valores elevados son zonas de flujo concentrado y pueden tomarse como punto de partida para la creación de una red de flujo. Por el contrario, las celdas con valor igual a 0 denotan crestas topográficas localizadas en las que no se produce acumulación [128,129].

4.2.5. Creación de la red de flujo

Como se ha introducido en el apartado anterior, la generación de una red de flujo puede llevarse a cabo a partir de la capa de acumulación de flujo. Para ello, se define un valor umbral de acumulación de flujo a partir del cual seleccionar qué celdas pertenecen a la red flujo y cuáles no [128,133]. Por ejemplo, si se establece un umbral igual a 2500, a todas las celdas con más de 2500 vecinas fluyendo hacia ellas se les asigna un valor 1 y entrar a formar parte de la red. La elección de este umbral debe realizarse cuidadosamente, teniendo en cuenta que un valor alto implicará la inclusión de un número de celdas elevado en la red de flujo, y viceversa.

Una vez calculada y generada la red de flujo, resulta muy recomendable realizar una operación de segmentación de la misma. Con ello se consigue fragmentar la red en secciones que conectan cruces sucesivos, creando así una entrada de gran ayuda de cara a la obtención de las cuencas hidrográficas [134].

4.2.6. Delineación de cuencas hidrográficas

Una cuenca hidrográfica se define como el área de contribución al flujo de agua (*stream network*) hacia una salida común en que se concentra el drenaje. Puede formar parte de una cuenca más grande que la encierre (*watershed boundary*) o puede contener cuencas más pequeñas, comúnmente denominadas subcuencas (*subbasin*). Los límites que separan unas cuencas de otras se conocen como divisiones de drenaje (*drainage divides*). El punto de salida o drenaje (*outlet*) es el lugar en el que agua fluye hacia fuera del área delimitada de contribución, siendo este el punto de menor cota dentro de los límites de la cuenca a la que pertenece [135]. La Figura 11 muestra un esquema de los elementos descritos.

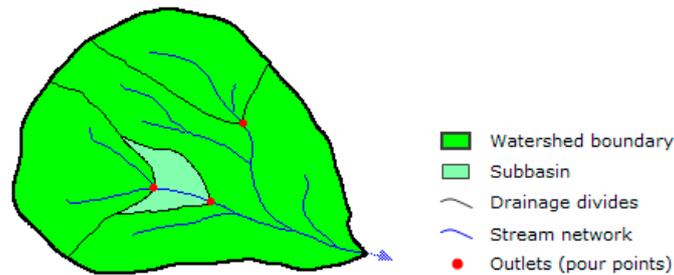


Figura 11. Componentes de una cuenca hidrográfica [135]

Los datos de entrada necesarios para delinear las cuencas hidrográficas son un ráster representando la dirección de flujo y la red de flujo segmentada de acuerdo al umbral de acumulación seleccionado, de forma que los cruces así generados se conviertan en los puntos de salida de las cuencas y subcuencas [135].

4.3. Modelo meteorológico

4.3.1. Ajuste de datos pluviométricos

Los datos pluviométricos empleados consisten en un registro de medidas de precipitación diaria cuyo patrón de distribución es desconocido a priori. De cara a la obtención de las precipitaciones máximas diarias para un determinado período de retorno, resulta fundamental encontrar una distribución de probabilidad que maximice el ajuste al comportamiento de la variable hidrológica bajo estudio.

Para ello, se han utilizado como indicadores los test de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling, cuyos valores fueron calculados para 64 distribuciones probabilísticas distintas:

Beta, Burr, Burr (4P), Cauchy, Chi-Squared, Chi-Squared (2P), Dagum, Dagum (4P), Erlang, Erlang (3P), Error, Error Function, Exponential, Exponential (2P), Fatigue Life, Fatigue Life (3P), Frechet, Frechet (3P), Gamma, Gamma (3P), Generalized Extreme Value, Generalized Gamma, Generalized Gamma (4P), Generalized Logistic, Generalized Pareto, Gumbel Max, Gumbel Min, Hypersecant, Inverse Gaussian, Inverse Gaussian (3P), Johnson SB, Kumaraswamy, Laplace, Levy, Levy (2P), Log-Gamma, Log-Logistic, Log-Logistic (3P), Log-Pearson 3, Logistic, Lognormal, Lognormal (3P), Nakagami, Normal, Pareto, Pareto 2, Pearson 5, Pearson 5 (3P), Pearson 6, Pearson 6 (4P), Pert, Phased Bi-Exponential, Phased Bi-Weibull, Power Function, Rayleigh, Rayleigh (2P), Reciprocal, Rice, Student's t, Triangular, Uniform, Wakeby, Weibull y Weibull (3P).

A continuación, se describe la formulación correspondiente a las distribuciones de probabilidad que mostraron al menos tener el mejor ajuste para dos del total de datasets pluviométricos empleados, así como los métodos de bondad de ajuste utilizados.

4.3.1.1. Funciones de distribución

Las distribuciones de Wakeby y Johnson S_B se desarrollan con mayor detalle, ya que fueron las que mejor ajuste presentaron para la mayoría de puntos; del resto de distribuciones únicamente se incluye su formulación básica.

1) Distribución de Wakeby

La distribución de Wakeby, introducida por Houghton [136] y posteriormente definida por Looney y Gullledge Jr. [137], se caracteriza por la siguiente función cuantil:

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{\beta} (1 - (1 - F)^\beta) - \frac{\gamma}{\delta} (1 - (1 - F)^{-\delta}) \quad (2)$$

donde $F \equiv F(x) = P[X \leq x]$.

El hecho de contar con hasta cinco parámetros - ξ (localización), α (escala 1), γ (escala 2), β (forma 1) y δ (forma 2) - permite que esta distribución ofrezca buenos resultados en el ajuste de datos de naturaleza muy diversa. Estos parámetros están sometidos a las siguientes restricciones [138]:

- $(\beta + \delta) \geq 0$;

- $(\beta + \delta) > 0$ o $\beta = \delta = 0$;
- Si $\gamma > 0$ entonces $\delta > 0$;
- $\gamma \geq 0$; y
- $(\alpha + \gamma) \geq 0$

Además, la distribución de Wakeby se convierte en una Pareto Generalizada cuando $\gamma = 0$. El dominio de x varía desde ξ a ∞ si $\delta \geq 0$ y $\gamma \geq 0$ y desde ξ a $\xi + \alpha/\beta - \gamma/\delta$ si $\delta < 0$ o $\gamma < 0$. No existe una fórmula analítica explícita para la función de distribución acumulada (CDF), que, en cambio, se calcula invirtiendo numéricamente la Ec. (2). De este modo, la función de densidad se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación [139]:

$$f(x) = [\alpha\{1 - F(x)\}^{\beta-1} + \gamma\{1 - F(x)\}^{-\delta-1}]^{-1} = \frac{(1 - F(x))^{\delta+1}}{\alpha t + \gamma} \quad (3)$$

donde F es la CDF y t adopta el valor expresado en la Ec. (4):

$$t = (1 - F(x))^{\beta+\delta} \quad (4)$$

2) Distribución de Johnson SB

La familia de distribuciones de Johnson [140] se basa en la transformación de la variable normal estándar, ofreciendo para ello cuatro variantes distintas: acotada (S_B), no acotada (S_U), lognormal (S_L) y normal (S_N). La función de densidad de probabilidad (PDF) de la primera de ellas, que es la utilizada en el presente trabajo, se formula de acuerdo a la Ec. (5):

$$f(x) = \frac{\delta}{\lambda\sqrt{2\pi z(1-z)}} e^{\left(-\frac{1}{2}(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right))^2\right)} \quad (5)$$

Esta distribución puede ser simétrica o asimétrica y consta de cuatro parámetros - γ (forma 1), δ (forma 2), λ (escala) y ξ (localización) - sujetos a las siguientes restricciones:

- $\delta > 0$; y
- $\lambda > 0$

La variable x varía dentro del rango finito $\xi \leq x \leq \xi + \lambda$. La función de distribución acumulada se expresa analíticamente como sigue:

$$F(x) = \Phi\left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right)\right) \quad (6)$$

donde $z \equiv \frac{x-\xi}{\lambda}$ y Φ es la función de distribución acumulada de la normal estándar.

3) Distribución Beta

Función de densidad de probabilidad:

$$f(x) = \frac{\alpha}{B(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{(x-a)^{\alpha_1-1}(b-x)^{\alpha_2-1}}{(b-a)^{\alpha_1+\alpha_2-1}} \quad (7)$$

Función de distribución acumulada:

$$F(x) = I_z(\alpha_1, \alpha_2) \quad (8)$$

donde $z \equiv \frac{x-a}{b-a}$, B es la función Beta e I_z la función Beta incompleta regularizada.

Parámetros:

α_1 - forma 1 ($\alpha_1 > 0$)

α_2 - forma 2 ($\alpha_2 > 0$)

a, b - contorno ($a < b$)

Dominio:

$$a \leq x \leq b$$

4) *Distribución Generalized Extreme Value*

Función de densidad de probabilidad:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} e^{-(1+kz)^{-1/k}}, & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} e^{(-z-e^{-z})}, & k = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Función de distribución acumulada:

$$F(x) = \begin{cases} e^{-(1+kz)^{-1/k}}, & k \neq 0 \\ e^{(-e^{-z})}, & k = 0 \end{cases} \quad (10)$$

donde $z \equiv \frac{x-\mu}{\sigma}$

Parámetros:

k - forma

σ - escala ($\sigma > 0$)

μ - localización

Dominio:

$$\begin{aligned} 1 + k \frac{(x-\mu)}{\sigma} > 0, & \quad k \neq 0 \\ -\infty < x < \infty, & \quad k = 0 \end{aligned}$$

5) Distribución Pert

Descripción:

$$\alpha_1 = \frac{4m + b - 5a}{b - a} \quad (11)$$

$$\alpha_2 = \frac{5b - a - 4m}{b - a} \quad (12)$$

Función de densidad de probabilidad:

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{(x - a)^{\alpha_1 - 1} (b - x)^{\alpha_2 - 1}}{(b - a)^{\alpha_1 + \alpha_2 - 1}} \quad (13)$$

Función de distribución acumulada:

$$F(x) = I_z(\alpha_1, \alpha_2) \quad (14)$$

donde $z \equiv \frac{x-a}{b-a}$, B es la función Beta e I_z la función Beta incompleta regularizada.

Parámetros:

m - moda ($a \leq m \leq b$)

a, b - contorno ($a < b$)

Dominio:

$$a \leq x \leq b$$

6) Distribución Dagum

Función de densidad de probabilidad:

$$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha k - 1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right)^{k+1}} \quad (15)$$

Función de distribución acumulada:

$$F(x) = \left(1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right)^{-k} \quad (16)$$

Parámetros:

k - forma 1 ($k > 0$)

α - forma 2 ($\alpha > 0$)

β - escala ($\beta > 0$)

Dominio:

$\gamma \leq x < \infty$

7) *Distribución de Nakagami*

Función de densidad de probabilidad:

$$f(x) = \frac{2m^m}{\Gamma(m)\Omega^m} x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega}x^2} \quad (17)$$

Función de distribución acumulada:

$$F(x) = \frac{\Gamma_{mx^2/\Omega}(m)}{\Gamma(m)} \quad (18)$$

Parámetros:

m ($m \geq 0,5$)

Ω ($\Omega > 0$)

Dominio:

$0 \leq x < \infty$

4.3.1.2. Pruebas de bondad de ajuste

Estas pruebas permiten probar la bondad del ajuste de los resultados a una distribución teórica, en base a la comparación de frecuencias absolutas observadas y esperadas. Las pruebas de bondad de ajuste más empleadas son: Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi-Cuadrado. Las dos primeras son sólo de aplicación en distribuciones continuas, mientras que la última es específica para distribuciones discretas [141]. En este caso, la variable bajo estudio es continua, por lo que se desestimó el uso de la prueba de Chi-Cuadrado, habida cuenta de que su uso requeriría una discretización previa de los datos. Así, los tests aplicados para corroborar la bondad del ajuste de las distribuciones probabilísticas a los datos fueron los de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling, cuyos fundamentos básicos se describen a continuación.

1) *Test de Kolmogorov-Smirnov*

El test de Kolmogorov-Smirnov [142] se basa en el concepto de función de distribución acumulada empírica (ECDF); sea una muestra aleatoria de datos $\langle x_1, \dots, x_n \rangle$ de una distribución con una $CDF = F(x)$, la ECDF se expresa como:

$$F_n(x) = \frac{1}{n} [\text{Number of observations} \leq x] \quad (19)$$

El estadístico de Kolmogorov-Smirnov (D) indica la mayor diferencia vertical entre las funciones de distribución teórica y empírica:

$$D = \max_{1 \leq i \leq n} \left(F(x_i) - \frac{i-1}{n}, \quad \frac{i}{n} - F(x_i) \right) \quad (20)$$

Se consideran las dos siguientes hipótesis:

- H_0 : los datos se ajustan a la distribución analizada;
- H_A : los datos no se ajustan a la distribución analizada.

Para el nivel de significancia α impuesto (normalmente igual a 0,05), la hipótesis nula se rechaza si el valor del estadístico D es mayor que el límite correspondiente en la tabla de valores críticos de la prueba de Kolmogorov-Smirnov [142]. A diferencia de un nivel de significancia α impuesto, el P-valor señala el umbral a partir del cual la hipótesis nula se acepta a cualquier nivel menor que P. Este valor puede resultar de interés cuando la hipótesis nula sea rechazada para los niveles de significancia habituales (0,01; 0,02; 0,05...) y se quiera conocer a qué nivel exacto podría ser aceptada.

2) Test de Anderson-Darling

La prueba de Anderson-Darling [143] es una modificación de la de Kolmogorov-Smirnov en la que se otorga mayor peso a las colas que en este último.

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1) [\ln F(x_i) + \ln(1 - F(x_{n-i+1}))] \quad (21)$$

Análogamente a lo expuesto para el test de Kolmogorov-Smirnov, para un nivel de significancia α , la hipótesis nula (H_0) se rechaza si el valor de estadístico A^2 es mayor que el valor crítico correspondiente. Esta prueba tiene la desventaja de que la tabla de valores críticos es específica para cada distribución que se esté analizando; por el contrario, ofrece mayor sensibilidad en los resultados, lo cual la hace especialmente adecuada para muestras de datos pequeñas [141].

4.3.2. Interpolación espacial

La interpolación espacial es un proceso que permite crear una superficie continua a partir de datos de observaciones puntuales, prediciendo o estimando los valores de atributos de puntos no muestreados dentro de la misma área de trabajo [144]. En el caso que ocupa el presente trabajo, se interpola para construir mapas de precipitación continuos a partir de una serie de medidas puntuales como los registros pluviométricos históricos. Disponiendo de esa información a nivel de píxel, pueden obtenerse a posteriori las precipitaciones medias correspondientes a cada subcuenca en que se divida el área de estudio mediante técnicas de estadística zonal.

Existen diferentes técnicas para modelar una predicción superficial; cada una de ellos se basa en diferentes principios y asume ciertas hipótesis respecto a los datos observados. Generalmente, estas

herramientas de interpolación pueden dividirse en dos grandes familias: métodos deterministas y geoestadísticos [146].

- Los métodos deterministas generan predicciones en base a los puntos medidos y de acuerdo a formulaciones matemáticas específicas, cuyas características intrínsecas definen la suavidad de la superficie resultante [147].
- Los métodos geoestadísticos incorporan las propiedades estadísticas de los datos muestrales (autocorrelación), proporcionando así, además de una superficie de predicción, diversas medidas de la precisión y fiabilidad de la estimación [148].

A continuación se desarrollan las herramientas específicas de interpolación pertenecientes a ambas familias que fueron utilizadas en el presente trabajo.

4.3.2.2. Métodos deterministas

1) Distancia Inversa Ponderada

Esta técnica de interpolación predice los valores de las celdas de cálculo empleando una ponderación dependiente de la distancia inversa de los puntos muestreados u observados. Se basa, por tanto, en la primera ley de la geografía enunciada por Tobler: “*todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes.*” [149] La fórmula general de este método se muestra en la Ec (22):

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \frac{1}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (22)$$

donde z_0 es el valor estimado en el punto x , z_i es el valor z en un punto conocido i , d es la distancia entre los puntos i y 0 , n es el número de puntos conocidos usados para la predicción y p es el parámetro de potencia que mide el grado de influencia local [150]. Si $p = 0$, no hay disminución de los pesos con la distancia; a medida que aumenta, los pesos para puntos alejados decrecen rápidamente. Si el valor de p es muy elevado, sólo los puntos inmediatamente circundantes tendrán influencia en la predicción (ver Figura 12). La formulación analítica de esta técnica no está sustentada por ningún fenómeno físico real, por lo que la acotación del parámetro de potencia no es sencilla. No obstante, a modo genérico, valores de potencia alrededor de 30 se consideran excesivos y susceptibles afectar a la exactitud de los resultados [151]. De forma similar, incluir puntos demasiado alejados de la zona en que se quiere realizar la estimación puede inducir también a errores, ya que la correlación espacial tiende a disminuir o incluso desaparecer.

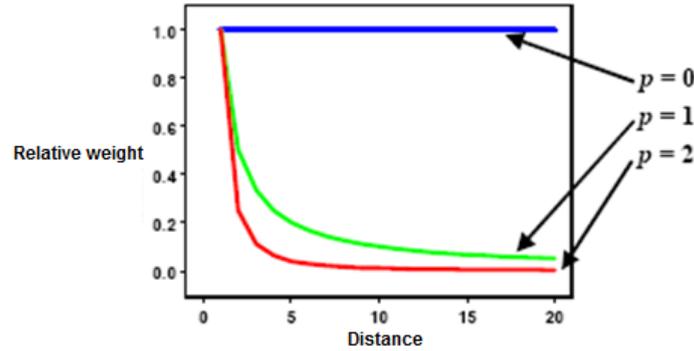


Figura 12. Pesos relativos a aplicar en función de la distancia y potencia consideradas [151]

2) Funciones de Base Radial

Las funciones de base radial son una serie de algoritmos exactos de interpolación, lo cual implica que la superficie estimada pasa por cada uno de los puntos de medida. Existen diferentes sub-métodos dentro de esta familia, cada uno de ellos basado en una función diferente, resultando en superficies de interpolación ligeramente distintas. Entre ellos cabe destacar algunos como Thin-Plate Spline, Spline with Tension, Completely Regularized Spline, Multiquadric Function o Inverse Multiquadric Function [146]. En cualquier caso, todos ellos modelan valores desconocidos resolviendo un conjunto de ecuaciones lineales localizadas mediante funciones de base. Se representan según:

$$z(x) = \sum_{i=1}^m a_i f_i(x) + \sum_{j=1}^n b_j \Psi(d_j) \quad (23)$$

donde $\Psi(d_j)$ es la función de base radial de la distancia d_j desde cada punto de muestreo al punto de cálculo x , $f_i(x)$ es una función de tendencia y a_i y b_j son coeficientes obtenidos de forma separada. A diferencia de otro método exacto de interpolación como el de la distancia inversa ponderada, las funciones de base radial pueden predecir valores por encima y por debajo de los máximos y mínimos medidos, respectivamente (ver Figura 13).

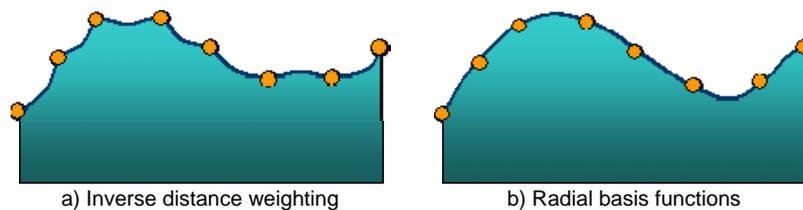


Figura 13. Paso por puntos muestreados [152]

Por tanto, este método es adecuado cuando se buscan resultados suavizados y progresivos, no resultando recomendable en situaciones en las que se produzcan cambios bruscos en distancias cortas en los valores del atributo bajo estudio [152].

3) Interpolación Local Polinómica

La interpolación global polinómica emplea un ajuste por mínimos cuadrados a los datos para la

determinación de superficies estimadas. De esta forma, un polinomio global de orden uno se ajusta a un plano a través de los datos, uno de segundo orden se ajusta a una superficie con una curvatura, uno de tercer orden a una superficie con dos curvaturas, y así sucesivamente [146]. Sin embargo, en el caso genérico y más habitual de que la superficie tenga una forma variable, que cambie continuamente y en espacios reducidos, un simple polinomio global no ofrecen un buen ajuste, debiendo recurrirse a múltiples planos polinómicos para representar la superficie adecuadamente (ver Figura 14 [153]).

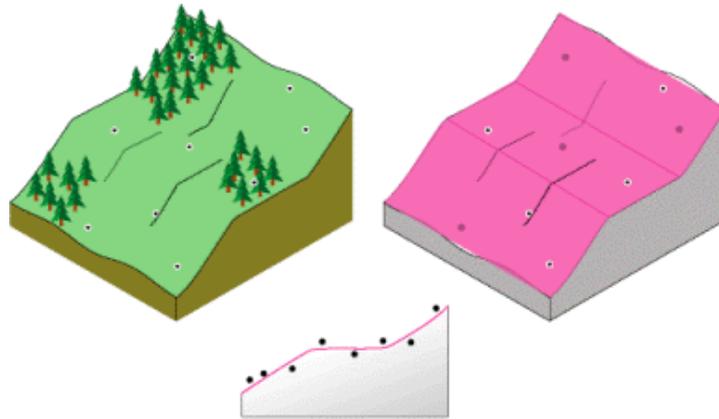


Figura 14. Dificultades de ajuste de la interpolación global polinómica [153]

En esta línea, el método de interpolación local polinómica realiza el ajuste utilizando únicamente los puntos que se encuentren dentro de una vecindad definida por el usuario. Así, las vecindades se superponen y el valor usado para cada predicción es del polinomio ajustado en el centro de cada vecindad. El tamaño de las vecindades necesita ser lo suficientemente grande como para que queden incluidos un número considerable de puntos en el proceso. El ajuste por mínimos cuadrados para a ser, en realidad, un ajuste por mínimos cuadrados ponderados. Tales pesos o ponderaciones son función de la distancia como una fracción del tamaño de la vecindad [146]. La Figura 15 representa la influencia de la ponderación en la predicción. En la imagen izquierda, los tres puntos observados (en rojo), se utilizan para predecir el punto azul, dando lugar al polinomio de primer orden que forma la línea roja. En el esquema de la derecha, el punto amarillo se estima mediante otro polinomio de primer orden (línea azul). Aunque los puntos de muestreo empleados son los mismos, los pesos son diferentes, dando lugar a un ajuste polinómico ligeramente distinto (diferencia entre las líneas roja y azul).

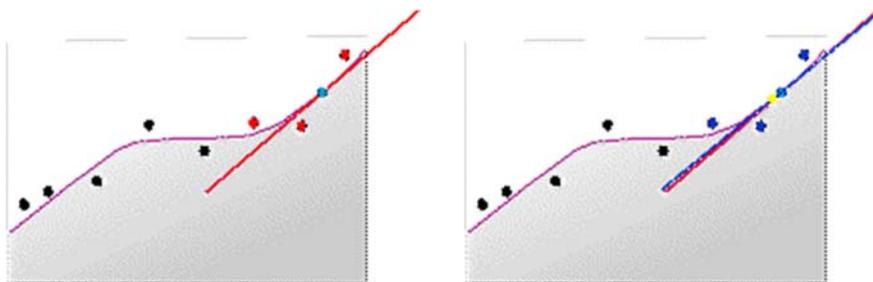


Figura 15. Influencia del tamaño de la vecindad en el ajuste polinómico local [153]

4.3.2.3. Métodos geoestadísticos

1) Generalidades

Los métodos kriging se basan en el concepto de autocorrelación. La noción clásica de correlación indica la tendencia que presentan dos variables a estar relacionadas entre sí [154]. En términos geográficos, esta tendencia se muestra en el hecho de que dos puntos tienden a ser más similares a medida que la distancia que los separa se reduce [3].

La autocorrelación, pues, es una función de la distancia que puede ser modelada haciendo uso de conceptos geoestadísticos. En un contexto geográfico, el concepto de tendencia puede expresarse analíticamente según la Ec. (33):

$$Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s) \quad (24)$$

donde $Z(s)$ es la variable de interés, descompuesta en una componente de tendencia determinista $\mu(s)$ y en una componente residual $\varepsilon(s)$. El símbolo s simplemente hace referencia a una localización espacial genérica. El valor esperado o esperanza de Z en la posición s representa el valor de la tendencia en dicha posición [155]:

$$E[Z(s)] = \mu(s) \quad (25)$$

Las variaciones sobre esta fórmula base dan lugar a los diferentes tipos de kriging existentes [154].

2) Semivariograma

Un concepto fundamental en los métodos kriging es el de semivarianza. La semivarianza no es más que una medida del grado de dependencia espacial entre dos puntos [154]. Si la distancia entre ambos es pequeña, la semivarianza será también pequeña, y viceversa. El gráfico de las semivarianzas en función de la distancia a un punto se conoce como semivariograma. Puede construirse un semivariograma empírico para todos los pares de puntos medidos separados por una distancia h de acuerdo a la siguiente ecuación [156]:

$$\text{Semivariograma}(h = \text{distancia}_{ip}) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (f_i - f_p)^2 \quad (26)$$

donde n es el número de puntos muestreados, p el punto de cálculo y f el valor que toma cada punto. Esta fórmula implica el cálculo de la diferencia cuadrada entre los valores de los puntos incluidos en el dominio. En la Figura 16 se muestra la asociación de un punto (en rojo) con el resto de ubicaciones muestreadas. Este proceso se repite para cada punto medido.

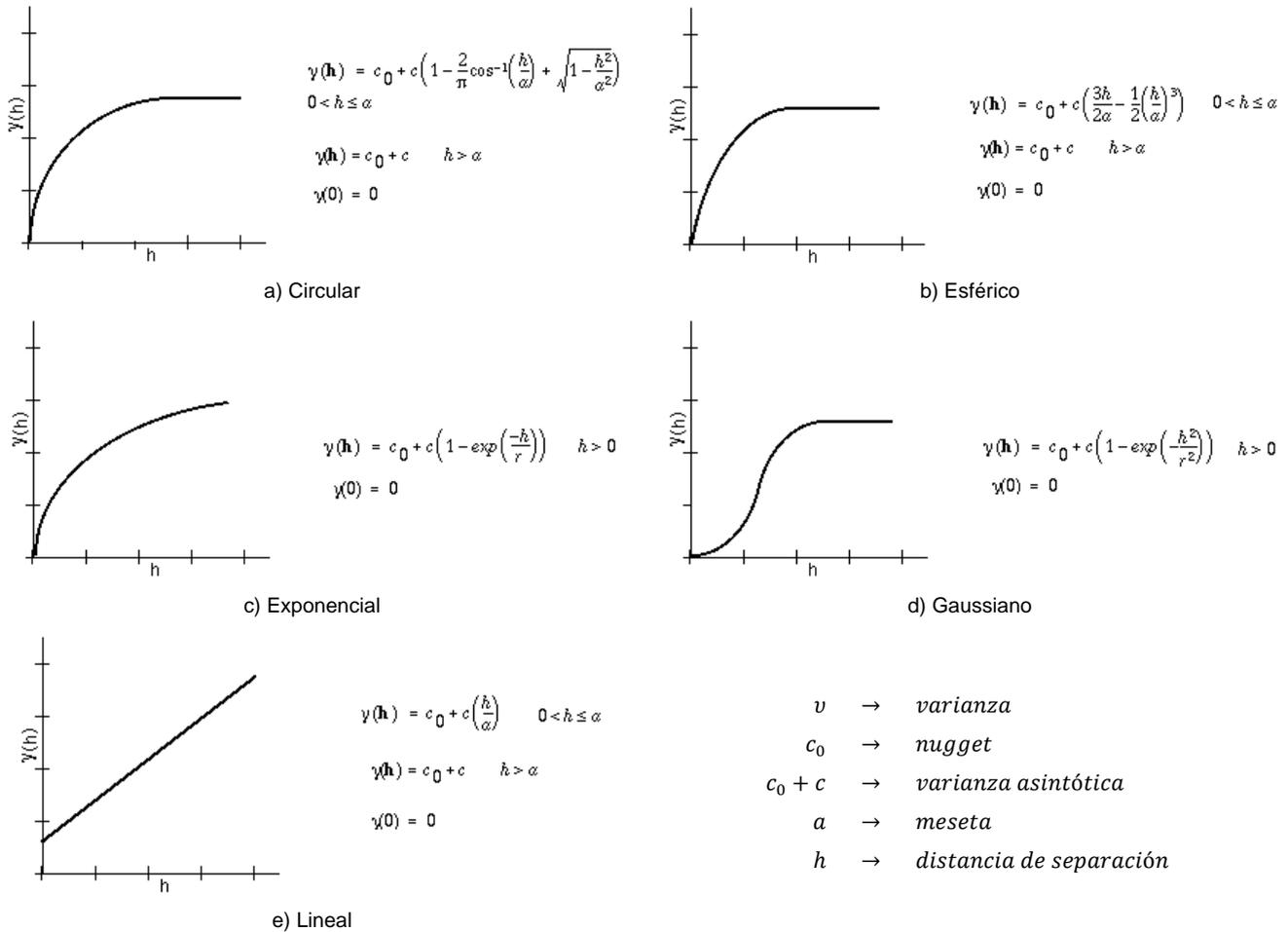


Figura 18. Modelos de semivarianza [154]

Tómese como ejemplo un modelo esférico como el de la Figura 19 para definir estos y otros conceptos asociados a un semivariograma. Puede observarse, en primer lugar, que el modelo deja de crecer llegado a una determinada distancia. Esa distancia en la que el modelo se vuelve horizontalmente asintótico se denomina rango (*range*). Los puntos separados por una distancia inferior al rango se encuentran autocorrelacionados, mientras que los que exceden tal límite, no. El valor en el eje de ordenadas correspondiente al rango en el de abscisas se conoce como meseta (*sill*) [157].

Desde un punto de vista teórico, el valor del semivariograma a una distancia igual 0 es 0. Sin embargo, a menudo los semivariogramas muestran el conocido como efecto nugget, por el que toman un valor mayor que 0 en ese punto. Este efecto puede deberse a errores de medición y/o variaciones sobre distancias mucho más pequeñas que los intervalos de muestreo utilizados [158]. Por último, en relación a los dos últimos conceptos mencionados, una meseta parcial (*partial sill*) es la meseta menos el nugget.

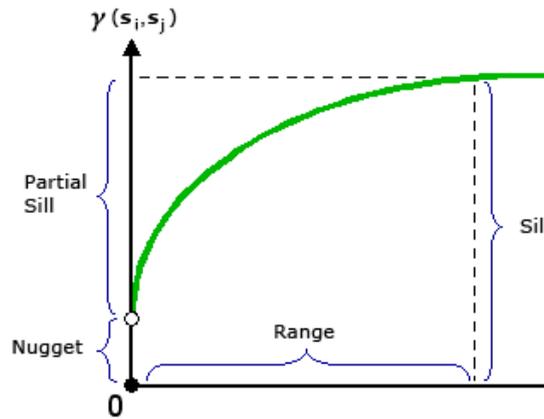


Figura 19. Componentes de un semivariograma [154]

3) Kriging Ordinario

El kriging ordinario supone que la tendencia es constante ($\mu(s) = \mu$) pero desconocida [159]. La Figura 20 representa un ejemplo unidimensional de esta situación. La tendencia μ se expresa mediante la línea de puntos. Puede observarse que existe mayor variabilidad en la parte izquierda del gráfico, mientras que en la derecha esta circunstancia se suaviza considerablemente. Se infiere, por tanto, que el kriging ordinario puede usarse con datos que muestren cierta tendencia.

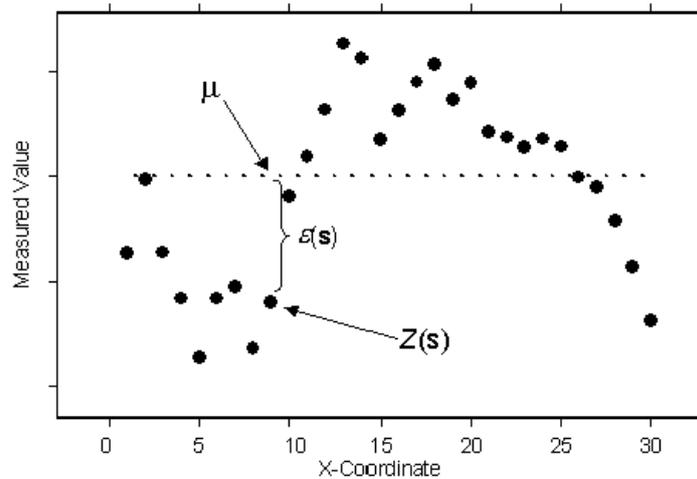


Figura 20. Ejemplo de kriging ordinario en una dimensión espacial [159]

Las bases de cálculo de este método son las siguientes: supóngase que se dispone de un conjunto de mediciones sobre la variable de interés Z en los puntos $s_i, i = \{1,2,3, \dots, n\}$ y se desea predecir Z en el punto s_0 mediante el predictor $Z^*(s_0)$, donde no se dispone de registro. En base a las consideraciones expuestas en el subapartado 4.3.2.3, el kriging ordinario propone la predicción del valor de $Z(s_0)$ como una combinación lineal de las n variables Z conocidas [156]:

$$Z^*(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(s_i) \tag{27}$$

donde λ_i son los pesos o ponderaciones que se otorgan a los valores de las variables muestreadas, en función de las distancias que las separen de la ubicación del punto a predecir. Los pesos deben cumplir el requisito de insesgamiento, es decir, la suma de los mismos debe ser igual a 1 para que la esperanza matemática del predictor sea igual a la de la variable [156]. Estadísticamente, la propiedad de insesgamiento se expresa como:

$$E[Z^*(s_0)] = E[Z(s_0)] \quad (28)$$

Se dice entonces que $Z^*(s_0)$ es el mejor predictor posible, porque los pesos se obtienen de modo que la varianza del error de predicción sea mínima:

$$V[Z^*(s_0) - Z(s_0)] \quad \text{sujeto a} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (29)$$

Partiendo de la Ec. (29), combinando la aplicación del método de los multiplicadores de Lagrange como técnica de optimización con la determinación de la matriz de covarianzas en base a la estructura de autocorrelación espacial, puede determinarse el conjunto de pesos λ_i óptimos.

4) Kriging Simple

El kriging simple extiende el supuesto del kriging ordinario y asume que la tendencia es constante y conocida en todo el dominio de trabajo. Dado que se asume un conocimiento exacto de μ , también se conoce $\varepsilon(s)$ en las ubicaciones de los puntos. Esto contrasta con el kriging ordinario, donde el valor μ provenía de una estimación, al igual que el de $\varepsilon(s)$. Aunque conociendo exactamente $\varepsilon(s)$ se puede estimar mejor la autocorrelación que si su valor procede de una estimación, el supuesto de que se conoce μ a menudo no se ajusta a la realidad. No obstante, asumir que un modelo físicamente fundamentado da lugar a una tendencia conocida a veces puede ser acertado [160].

De nuevo, sea $Z(s)$ la variable de interés medida en s , su predictor en un punto s_0 no muestreado se define como [156]:

$$Z^*(s_0) = \mu + \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \varepsilon(s) \quad (30)$$

Por tanto, el predictor será insesgado si:

$$E[Z^*(s_0)] = E[Z(s_0)] = \mu \quad (31)$$

O, lo que es lo mismo, si: $E[\varepsilon^*(s_0)] = 0$. Se deduce así que, en este caso, el cumplimiento de la condición de insesgamiento no está sujeta a restricciones en las ponderaciones, obteniendo los pesos mediante la minimización de la siguiente expresión [156]:

$$V[\varepsilon^*(s_0) - \varepsilon(s_0)] \quad (32)$$

5) Kriging Empírico Bayesiano

El kriging empírico bayesiano es un método que automatiza algunas de las operaciones que se realizan

manualmente para construir un modelo kriging convencional, mediante procesos de filtrado y simulaciones numéricas [161]. Este método también se diferencia de otros modelos de kriging por tener en cuenta el error inducido en la estimación del variograma. Como ya se ha explicado, el proceso habitual consiste en calcular el semivariograma empírico a partir del dataset conocido y usarlo para realizar predicciones en los puntos no muestreados. Procediendo de esta manera se asume que el semivariograma así generado es el verdadero para el dominio de interpolación, sin considerar la incertidumbre inherente a la estimación y subestimando, por ende, los errores estándar de la predicción [162]. Por otra parte, esta restricción de parámetros limita la caracterización personalizada y exhaustiva del semivariograma por parte del usuario.

A diferencia de otros métodos kriging, que se sirven de la técnica de mínimos cuadrados ponderados, el kriging bayesiano empírico estima los parámetros del semivariograma por máxima verosimilitud restringida. Debido a las limitaciones computacionales del método, el dataset original es dividido en subconjuntos de un tamaño determinado en caso de ser necesario. Para cada subconjunto, el proceso de simulación consiste en repetir los siguientes pasos un número especificado de veces [163]:

- Se estima un semivariograma a partir de los datos del subconjunto.
- Usando el semivariograma estimado como modelo, se simulan nuevos datos de forma incondicional en cada una de las localizaciones de los puntos del subconjunto.
- Se estima un nuevo semivariograma a partir de los datos simulados.

El resultado de realizar este proceso iterativamente es una distribución de semivariogramas sombreados de acuerdo a su densidad (cuanto más oscuro sea el azul, más semivariogramas pasan a través de esa zona). Además, la mediana y los percentiles del 25 y el 75 son representados por la línea roja continua y las líneas rojas discontinuas, respectivamente (ver Figura 21).

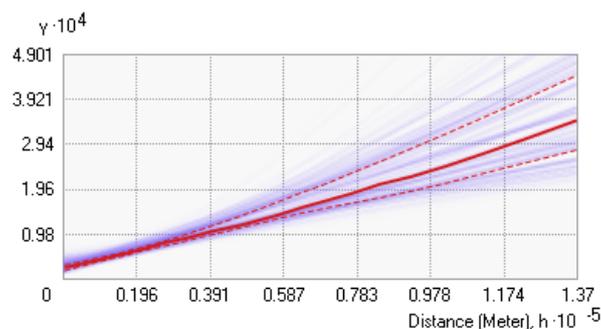


Figura 21. Semivariogramas simulados [161]

4.3.2.4. Evaluación de los resultados de la interpolación (validación cruzada)

Antes de dar por buena la superficie generada tras la interpolación, debe tenerse cierta noción acerca de la bondad de predicción de los valores en puntos no muestreados. La validación cruzada es una técnica destinada a dar solución a tal problema. Se trata de un proceso algorítmico en el que se van eliminando uno a uno los puntos muestreados para predecir su valor empleando los puntos remanentes [164]. De esta forma, se puede comparar el valor predicho en un punto con el observado realmente y obtener información acerca de la calidad del modelo de predicción. La Figura 22 muestra un conjunto de 10 puntos en el que se está realizando una validación cruzada. Se elimina el punto rojo del proceso

y se calcula el valor en esa ubicación utilizando los puntos restantes (en azul). El valor predicho se compara con el observado y se repite el procedimiento para los demás puntos.

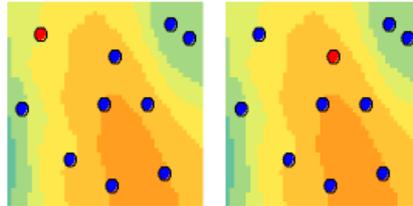


Figura 22. Validación cruzada [164]

ArcGIS genera dos gráficos relacionados a partir de la validación cruzada: uno mostrando la convergencia entre valores observados y predichos y otro señalando el error que inducido en el proceso de interpolación. Ambos deben ser usados como indicativo para valorar la calidad del modelo predictivo.

4.3.3. Lluvia de diseño

Una cuenca urbana puede considerarse como un sistema en el que se produce una modificación de un input, la precipitación, que hace que esta se transforme en un output distinto, el caudal. La información pluviométrica generalmente proviene de registros de medida con lecturas cada 24 horas, no disponiendo de datos que describan la evolución de la precipitación en el tiempo [46]. Sin embargo, si se quiere emplear un procedimiento de cálculo que permita obtener una evolución temporal de los caudales de escorrentía, debe partirse de un hietograma, es decir, de datos pluviométricos que varíen a lo largo del tiempo.

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) constituyen una fuente de información sobre el comportamiento pluviométrico de una zona, relacionando las intensidades medias máximas esperables para cada duración de precipitación con un período de retorno establecido [165]. Nótese que los períodos de retorno habitualmente empleados en cuencas urbanas no exceden los 10 años, por lo que una serie temporal de 20-30 puede ser suficiente para obtener una curva IDF fiable [46]. Dado que estas curvas contienen información acerca de los registros históricos de precipitación, pueden ser utilizadas como punto de partida para la generación de la lluvia de diseño a emplear en el proceso hidrológico.

Puesto que la región de estudio se encuentra en España, se tomará el modelo propuesto por Témez como base para el cálculo de intensidades dependientes de la duración. Posteriormente, tales valores serán utilizados para construir el hietograma de diseño mediante el método de los Bloques Alternados.

4.3.3.2. Regionalización de precipitaciones en España

Un análisis de regionalización permite obtener valores de precipitación para duraciones inferiores a la observada (24 horas, generalmente). Témez [166] realizó un estudio de este tipo en España, posibilitando la obtención de valores de precipitación de duraciones cortas a partir de datos de lluvias diarias sin necesidad de elaborar curvas IDF.

Si se analiza la forma habitual de una curva IDF, se observa que el valor de la intensidad I es inversamente proporcional a la duración D . Experimentalmente, se demuestra que todas las curvas de

un mismo punto son similares para distintos períodos de retorno, por lo que todas ellas podrían regirse por una única ley adimensional, que sería independiente a los valores absolutos de precipitación. Dado que en las estaciones meteorológicas españolas se registran lecturas cada 24 horas, el parámetro de referencia para obtener dicha ley sería la lluvia media durante esas 24 horas:

$$I_d = \frac{P_d}{24} \tag{33}$$

De esta forma, la ley adimensional para una familia de curvas IDF se expresa como:

$$\frac{I}{I_d} = \phi(D) \tag{34}$$

donde I representa la intensidad de precipitación para una duración D genérica. Esta ley varía según el punto de medida, reflejando las diferencias climáticas en función de la localización. Témez concluye en su estudio que, a partir de los datos de estaciones meteorológicas distribuidas por toda la superficie española, la ley expresada por la Ec. (34) puede ampliarse a:

$$\frac{I}{I_d} = \phi(D, FR) \tag{35}$$

donde el parámetro FR o factor regional denota la variación producida en la precipitación debida a la ubicación del punto de medida. Se expresa como la relación I_1/I_d , donde I_1 es la intensidad horaria que corresponda. Así, se propone una formulación que omite el parámetro Frecuencia de las curvas IDF, es decir, una ley Intensidad-Duración [166]:

$$I = \frac{P_d}{24} \cdot FR \frac{28^{0,1-D^{0,1}}}{28^{0,1}-1} \tag{36}$$

Para la determinación del factor regional, cociente entre la intensidad horaria y la diaria para un mismo período de retorno en la zona de estudio, puede emplearse el mapa que se muestra en la Figura 23.

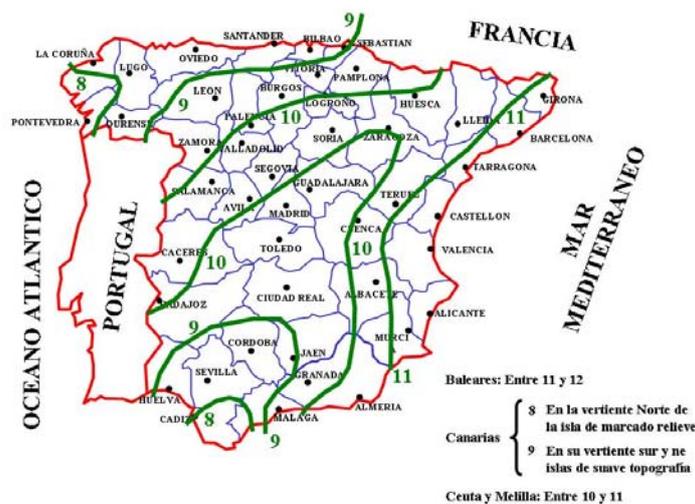


Figura 23. Mapa para la estimación del factor regional [46]

El éxito del estudio realizado por Témez propició su inclusión en la Instrucción de Carreteras 5.2-IC “Drenaje Superficial” [167], extendiéndose notablemente el uso de sus expresiones por toda España.

4.3.3.3. Método de los bloques alternados

El método de los bloques alternados [168] es el más difundido a la hora de crear una lluvia de diseño a partir de una relación Intensidad-Duración [46]. El hietograma producido tras la aplicación de este método da como resultados los valores de precipitación para un número de n intervalos de tiempo Δt , pertenecientes a una duración de lluvia total $D = n \cdot \Delta t$. Establecido un período de retorno, se determinan los datos de intensidad para duraciones $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t \dots$ de acuerdo a la Ec. (36), para luego obtener la precipitación total mediante el producto de intensidades por duraciones. Así, pueden estimarse los intervalos de tiempo lluvioso más desfavorables, de acuerdo al esquema representado en la Figura 24.

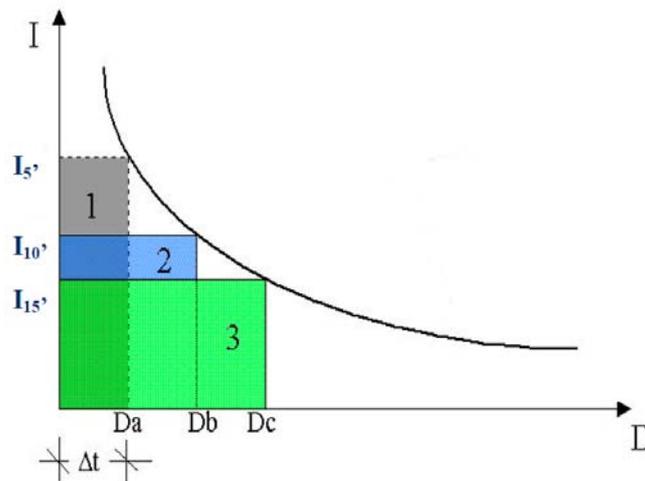


Figura 24. Método de los bloques alternados [46]

Para el primer intervalo de tiempo Δt , la cantidad de lluvia máxima es el resultado directo de aplicar la Ec. (36):

$$P_{bloque_1} = I_{\Delta t} \cdot \Delta t \tag{37}$$

Para una duración $2\Delta t$, la cantidad de lluvia máxima corresponde al dato obtenido de la Ec. (36), es decir, a un bloque de precipitación de duración $2\Delta t$. No obstante, se admite que, dentro de esa duración $2\Delta t$, el intervalo de tiempo Δt más desfavorable corresponde a una precipitación igual al bloque de lluvia obtenido en la Ec. (37). Entonces, para el segundo intervalo Δt (de Δt a $2\Delta t$), el bloque de lluvia a incluir en el hietograma será:

$$P_{bloque_2} = I_{2\Delta t} \cdot 2\Delta t - I_{\Delta t} \cdot \Delta t = I_{2\Delta t} \cdot 2\Delta t - P_{bloque_1} \tag{38}$$

Análogamente, para un tiempo $3\Delta t$, la precipitación correspondiente al tercer bloque de intervalo Δt (de $2\Delta t$ a $3\Delta t$) equivaldrá a:

$$P_{bloque_3} = I_{3\Delta t} \cdot 3\Delta t - I_{2\Delta t} \cdot 2\Delta t = I_{3\Delta t} \cdot 3\Delta t - P_{bloque_1} - P_{bloque_2} \tag{39}$$

Y así sucesivamente hasta obtener la precipitación de todos los bloques en que se divide la duración de lluvia establecida. Finalmente, los bloques de lluvia así determinados se distribuyen de forma alternada a cada lado alrededor del bloque de lluvia de mayor intensidad. En caso de disponer de hietogramas reales de la región de estudio, se redistribuirán los bloques de acuerdo a los mismos; por ejemplo, si se observa que el máximo se produce normalmente en el primer tercio de la tormenta, en el segundo, etcétera [168].

Este proceso permite sintetizar los datos de precipitación media obtenidos para una subcuenca mediante técnicas de interpolación espacial en una lluvia de diseño de duración determinada. Dicha lluvia es el input meteorológico que se requiere para llevar a cabo la posterior simulación hidrológica.

4.4. Modelo hidrológico

El cálculo de los valores de caudal o escorrentía definitivos a partir de la lluvia de diseño está sujeto a una serie de fenómenos hidrológicos que van modificando el estado y volumen del agua hasta alcanzar su condición final. Estos procesos pueden dividirse en tres grupos: (1) exceso de precipitación, (2) transformación y (3) tránsito.

La selección de los métodos concretos propuestos para llevar a cabo cada uno de estos tres procesos se fundamenta en la naturaleza de los datos que requieren. Las formulaciones y modelos de cálculo de que se componen tales métodos se nutren de información sobre las características físicas de la cuenca, cuya obtención es automática mediante un SIG.

4.4.1. Exceso de precipitación

Partiendo de un hietograma que represente la precipitación total caída en una subcuenca, el objetivo que se persigue en esta fase es separar la lluvia que va a generar escorrentía directa. Para ello, se consideran tres procesos básicos: infiltración y retención superficial, porcentaje de superficie impermeable y desagüe puntual en imbornales y sumideros

4.4.1.1. Infiltración y retención superficial

A la fracción de lluvia remanente tras los procesos de infiltración y retención superficial (ver [Figura 25](#)) se la conoce normalmente como P_{neta} o $P_{efectiva}$. A la escorrentía perdida por esos fenómenos se la denomina genéricamente “abstracción” [169].

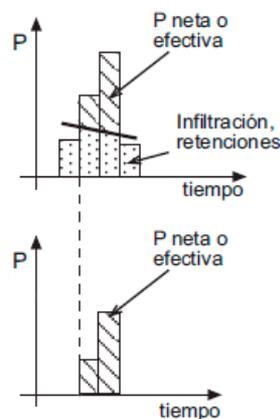


Figura 25. Separación de la precipitación neta [169]

El método de cálculo empleado para caracterizar este fenómeno es el conocido como método del número de curva (*The Runoff Curve Number Method*), elaborado de manera empírica por el Servicio de Conservación de Suelos [59]. Este procedimiento se fundamenta en las dos siguientes hipótesis:

- 1) La precipitación neta (P_n) empieza a producirse cuando la precipitación total caída hasta ese momento ($\sum P_t$) supera un umbral o abstracción inicial I_a (el denominado umbral de escorrentía P_0 en España). Se considera que ese umbral es el 20 % de la máxima abstracción posible S .

- 2) Si en un instante del transcurso de la precipitación la capacidad de abstracción del suelo está al $X\%$ de su capacidad máxima, se habrá generado escorrentía directa del $X\%$ de la precipitación caída (descontando I_a). Expresado de forma matemática:

$$\frac{\text{Abstracción producida}}{\text{Abstracción máxima}} = \frac{P \text{ neta producida}}{P \text{ neta máxima}} \quad (40)$$

Sustituyendo en la Ec. (40):

$$\frac{(\sum P_t - I_a) - \sum P_n}{S} = \frac{\sum P_n}{\sum P_t - I_a} \quad (41)$$

Despejando $\sum P_n$:

$$\sum P_n = \frac{(\sum P_t - I_a)^2}{S + (\sum P_t - I_a)} \quad (42)$$

Si se añade la condición de la hipótesis 1) ($I_a = 0,2 \cdot S$), resulta:

$$\sum P_n = \frac{(\sum P_t - 0,2 \cdot S)^2}{\sum P_t + 0,8 \cdot S} \quad (43)$$

Para facilitar la representación gráfica la precipitación neta en función de la total, se realizó el siguiente cambio de variable en la Ec. (43):

$$CN = \frac{1000}{10 + S} \quad (44)$$

donde CN es el número de curva. La Figura 26 muestra el gráfico resultante, expresando la escorrentía directa por medio del caudal en lugar de la precipitación (ambos son equivalentes).

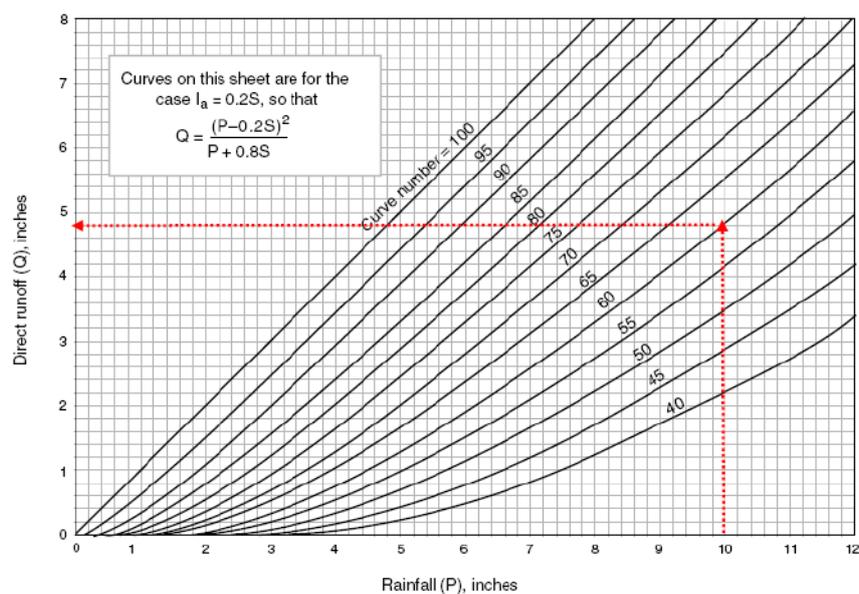


Figura 26. Gráfico de las curvas numeradas [170]

La Ec. (44) está expresada en pulgadas. Si se transforma al Sistema Internacional, se obtiene:

$$CN = \frac{25400}{254 + S} \quad (45)$$

Por último, si se ajusta la expresión de la Ec. (45) a la terminología empleada en España, el número de curva queda como una función exclusiva del umbral de escorrentía (P_0):

$$CN = \frac{25400}{254 + \frac{P_0}{0,2}} \quad (46)$$

4.4.1.2. Impermeabilidad del suelo

Otro factor que influye en el cálculo del exceso de lluvia es el porcentaje de superficie impermeable que cubra la cuenca hidrográfica que se está estudiando. Se asume que el área correspondiente a carreteras, edificios, aceras y aparcamientos es esencialmente impermeable. Sirviéndose del trabajo realizado para llevar a cabo el acondicionamiento del terreno (apartado 4.2.1), la determinación de las superficies que ocupan los tramos de carretera y los edificios es inmediata. Para el resto de elementos impermeables cuya área no pueda obtenerse de manera directa a partir de una capa vectorial, puede recurrirse a ortofotos de la zona sobre las que realizar operaciones de trazado que permitan el cálculo de ese valor.

4.4.1.3. Desagüe por red de drenaje superficial

De acuerdo a los estudios realizados por Subramanya [171], el flujo sobre una reja puede asimilarse a un flujo espacialmente variable en el que el caudal captado por la misma se aproxima mediante una ecuación unidimensional de tipo orificio [46]:

$$Q = C_d \cdot A_h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \bar{d}} \quad (47)$$

donde C_d es el coeficiente de desagüe de la reja, A_h el área de sus huecos y \bar{d} un valor de profundidad dependiente de las condiciones del flujo de aproximación (ver Figura 27).

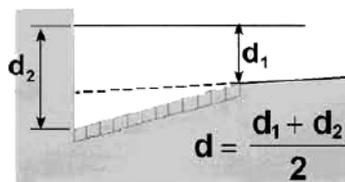


Figura 27. Profundidad media utilizada en la capacidad de desagüe de un imbornal [46]

El coeficiente de desagüe varía en función de la geometría de la reja. La Tabla 4 muestra los coeficientes de desagüe para distintas disposiciones geométricas de rejilla, tanto a nivel de contorno como de huecos [46].

	Longitud (cm)	Anchura (cm)	Área total (cm ²)	Área de huecos (cm ²)	C _d
Reja 1	78,0	36,4	2839	1214	0,200
Reja 2	78,0	34,1	2659	873	0,245
Reja 3	64,0	30,0	1920	693	0,330
Reja 4	77,6	34,5	2677	1050	0,270
Reja 7	97,5	47,5	4825	1400	0,240
Reja 8	97,5	95,0	9650	2800	0,220
Reja 9	195,0	47,5	9650	2800	0,160

Tabla 4. Coeficientes de desagüe de distintas rejillas

4.4.2. Transformación

Los hidrogramas sintéticos proporcionan una idea sobre la respuesta de una cuenca pequeña ante precipitaciones cortas y uniformes, utilizando para ello formulaciones empíricas basadas en las características físicas de la cuenca. Entre las diversas aproximaciones de este tipo que pueden encontrarse en la bibliografía, en este trabajo se tomará de nuevo el método propuesto por el Soil Conservation Service (SCS) [59], un enfoque muy presente en cualquier referencia sobre hidrología superficial [172,173]. La forma de hidrograma propuesta es triangular (ver Figura 28), la representación más sencilla para proporcionar los parámetros hidrológicos fundamentales del hidrograma: caudal punta (Q_p), tiempo base (t_b), tiempo en que se produce la punta (t_p), duración de la precipitación neta (D) y tiempo de retardo (t_r).

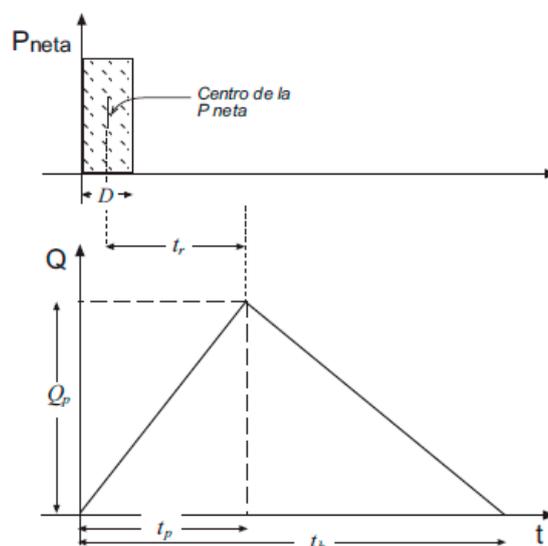


Figura 28. Hidrograma sintético triangular [174]

El parámetro de partida necesario para la aplicación de este método es el tiempo de retardo o *lag time*, que se calcula como una función de algunas características físicas de la cuenca [175]:

$$t_r = L^{0,8} \cdot \frac{(S + 1)^{0,7}}{1900 \cdot \sqrt{Y}} \quad (48)$$

donde L es la longitud del cauce de la cuenca, S es la máxima abstracción posible e Y es la pendiente

media de la cuenca. Por otra parte, se desarrollaron una serie de expresiones a partir de observaciones de los hidrogramas provocados por precipitaciones cortas y uniformes en numerosas cuencas:

$$t_p = 0,5 \cdot D + t_r \approx 0,5 \cdot D + 0,6 \cdot t_c \quad (49)$$

$$t_b = 2,67 \cdot t_p \quad (50)$$

$$Q_p = \frac{P_n \cdot A}{1,8 \cdot t_b} \quad (51)$$

donde t_c , P_n y A hacen referencia al tiempo de concentración, a la precipitación neta y al área de la cuenca, respectivamente. La constante 2,67 que aparece en la Ec. (50) es un coeficiente empírico promediado por el que se considera que el descenso (parte derecha) es 1,67 veces mayor que la crecida (parte izquierda).

Dada la excesiva simplicidad que conlleva la adopción de un hidrograma triangular, los técnicos del SCS, en base al estudio y análisis de un gran número de hidrogramas, propusieron una conversión del par de valores (t, Q) , de modo que la punta en todos fueran $Q_p = 1$ y $t_p = 1$. Se observó que aplicando esta transformación se podía delinear de manera más precisa la forma de la mayoría de hidrogramas de crecida observados (ver Figura 29). De esta forma, si se dispone de datos sobre la punta del hidrograma (sus "coordenadas" Q_p y t_p), puede tratarse el hidrograma resultante en base a la tabla adjunta, consiguiendo una representación mucho más realista de lo que puede suceder verdaderamente en una cuenca.

t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p
0,0	0,000	1,4	0,750
0,1	0,015	1,6	0,570
0,2	0,075	1,8	0,430
0,3	0,160	2,0	0,320
0,4	0,280	2,2	0,240
0,5	0,430	2,4	0,180
0,6	0,600	2,6	0,130
0,7	0,770	3,0	0,075
0,8	0,890	3,5	0,036
0,9	0,970	4,0	0,018
1,0	1,000	4,5	0,009
1,2	0,920	5,0	0,004

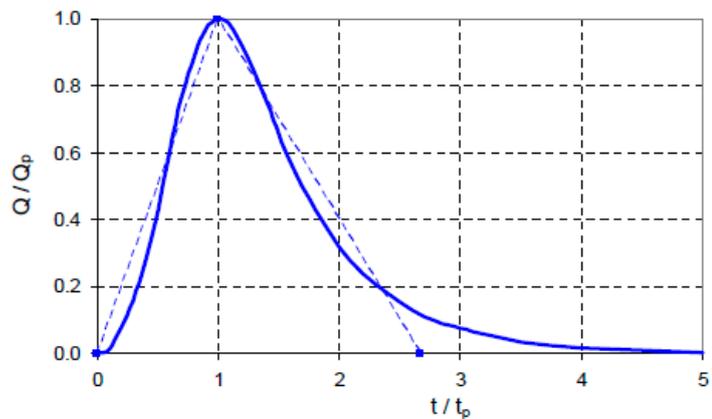


Figura 29. Hidrograma adimensional del SCS [174]

4.4.3. Tránsito

Calcular el tránsito de un hidrograma es determinar el hidrograma en un punto a partir del hidrograma conocido de otro punto situado aguas arriba de aquel [176]. Este procedimiento sirve para evaluar la disminución que se produce en el caudal máximo (pico del hidrograma) a medida que el agua se mueve hacia aguas abajo. En la Figura 30 se aprecia este efecto de atenuación en el aplanamiento del hidrograma producido desde el punto A hasta el C.

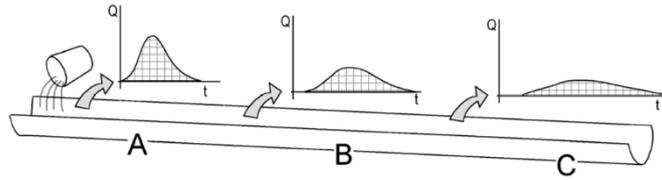


Figura 30. Efecto del tránsito a través de un canal o corriente de agua [176]

Uno de los métodos más empleados para caracterizar este proceso es el de Muskingum, debido a su sencillez y facilidad de aplicación [177]. Dicho método fue desarrollado por el Servicio de Conservación del distrito de Muskingum (Ohio, USA) como medida preventiva ante la aparición de avenidas en esa zona. El almacenamiento que se produce en el tránsito en un tramo del cauce puede descomponerse en dos partes: almacenamiento en prisma, proporcional al caudal de salida, y almacenamiento en cuña, función de la diferencia entre el caudal de entrada y el de salida (ver Figura 31). En el tramo inicial, la cuña es positiva ($I > O$) y se suma al almacenamiento en prisma, mientras que, una vez que la punta del hidrograma ha tenido lugar ($I < O$), la cuña es negativa y se resta al almacenamiento en prisma.

$$S_{prisma} = K \cdot O \quad (52)$$

$$S_{cuña} = b \cdot (I - O) \quad (53)$$

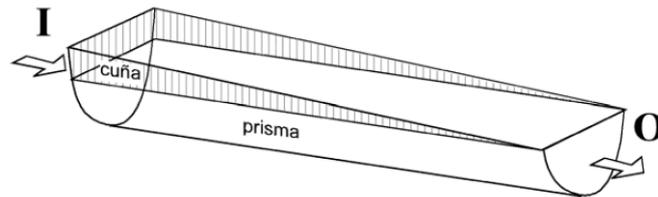


Figura 31. Almacenamiento en un cauce según el método de Muskingum [176]

donde:

- S → almacenamiento
- I → caudal de entrada
- O → caudal de salida
- K → constante referente al almacenamiento en prisma
- b → constante referente al almacenamiento en cuña

Si se suman las Ecs. (52) y (53), se obtiene la siguiente expresión:

$$S = b \cdot I + (K - b) \cdot O = K \cdot \left[\frac{b}{K} \cdot I + \left(1 - \frac{b}{K} \right) \cdot O \right] \quad (54)$$

Denominando X a la relación entre las dos constantes definidas con anterioridad (b/K), la Ec. (54) se convierte en:

$$S = K \cdot [X \cdot I + (1 - X) \cdot O] \quad (55)$$

tal que X es una constante adimensional que asigna mayor o menor importancia al almacenamiento en prisma o en cuña. Desde un punto de vista teórico, su valor oscila entre 0 y 0,5, dependiendo de la pendiente media del tramo (a mayor pendiente, mayor X). En general, en España se utilizan valores de 0,2 para las pendientes más bajas y 0,35 para las más altas [61].

Por su parte, K puede asimilarse al tiempo de recorrido de la onda cinemática desde un extremo al otro del tramo estudiado [176], pudiendo expresarse de forma analítica como [61]:

$$K = 0,18 \cdot \left(\frac{L}{Y^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (56)$$

donde L e Y son la longitud y la pendiente del cauce. Si se aplica la Ec. (56) a dos instantes consecutivos t_1 y t_2 separados por un intervalo de tiempo Δt :

$$S_1 = K \cdot [X \cdot I_1 + (1 - X) \cdot O_1] \quad (57)$$

$$S_2 = K \cdot [X \cdot I_2 + (1 - X) \cdot O_2] \quad (58)$$

Es posible que el caudal de entrada y el de salida no sean constante a lo largo del Δt establecido; por ello, se toman las respectivas medias de los valores de ambos caudales al principio y al final de Δt , de forma que:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} \quad (59)$$

Si se sustituyen las Ecs. (57) y (58) en la Ec. (59) y se despeja O_2 , se obtiene:

$$O_2 = I_2 \cdot \frac{-K \cdot X + 0,5 \cdot \Delta t}{K - K \cdot X + 0,5 \cdot \Delta t} + I_1 \cdot \frac{K \cdot X + 0,5 \cdot \Delta t}{K - K \cdot X + 0,5 \cdot \Delta t} + O_1 \cdot \frac{K - K \cdot X - 0,5 \cdot \Delta t}{K - K \cdot X + 0,5 \cdot \Delta t} \quad (60)$$

Los parámetros K y X tienen que cumplir la siguiente restricción:

$$\Delta t > 2 \cdot K \cdot X \quad (61)$$

Si no se cumple esta condición, deberá segmentarse el tramo del cauce en varios subtramos hasta lograrlo, de acuerdo a:

$$n > \frac{2 \cdot K \cdot X}{\Delta t} \quad (62)$$

siendo n el número de subtramos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Modelo físico

En primer lugar, se procedió a la manipulación de la información geomorfológica de Santander para generar la información necesaria de este tipo en el área de trabajo. Partiendo del Modelo Digital del Terreno (MDT) obtenido por tecnología LIDAR para las hojas cartográficas 0034 y 0035 del territorio español, se construyeron los mapas de elevaciones superficiales y de pendientes correspondiente a la ciudad de Santander (ver [Figura 32](#)).

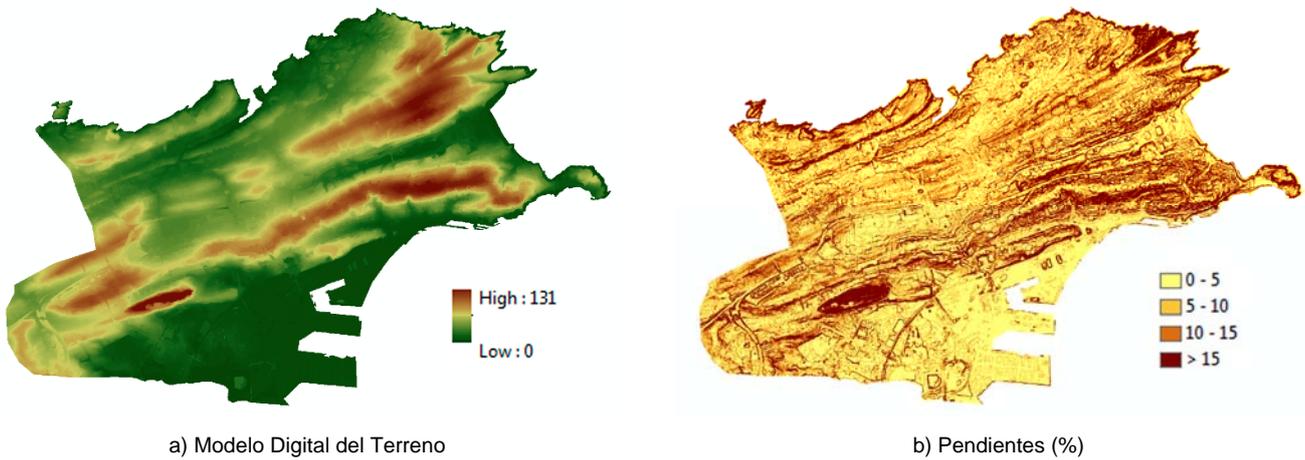


Figura 32. Modelo Digital del Terreno y Mapa de Pendientes

A partir del Modelo Digital del Terreno representado en la [Figura 32a](#)), se aplicaron los conceptos relativos al modelado físico de la cuenca (apartado 4.2) para generar la información relativa al acondicionamiento y relleno del terreno ([Figura 33](#)), dirección y acumulación de flujo ([Figura 34](#)) y creación de la red de flujo y delineación de cuencas hidrográficas ([Figura 35](#)). Esta última operación es especialmente sensible al umbral que se establezca de número de celdas confluyentes en un punto a partir del cual se considera que se inicia un cauce. Tras varias pruebas con diferentes umbrales, se consideró que un valor límite de 5000 (aquellas celdas en que desemboquen más de 5000 píxeles forman parte de la red de flujo) daba lugar a una red suficientemente ramificada como para conseguir resultados precisos, sin incurrir tampoco en un exceso de detalle que pudiese ralentizar el proceso.

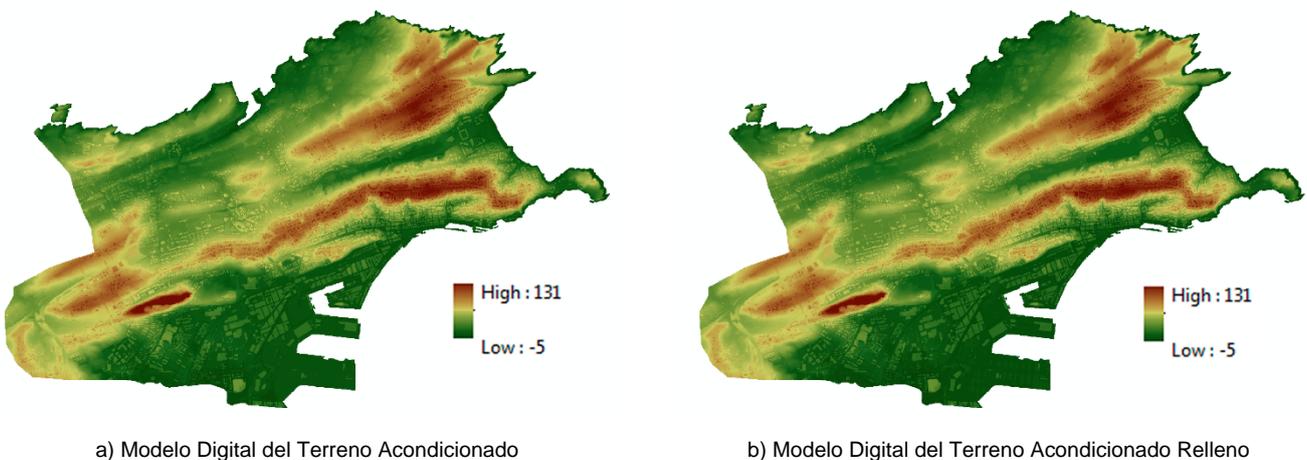


Figura 33. Operaciones sobre el Modelo Digital del Terreno

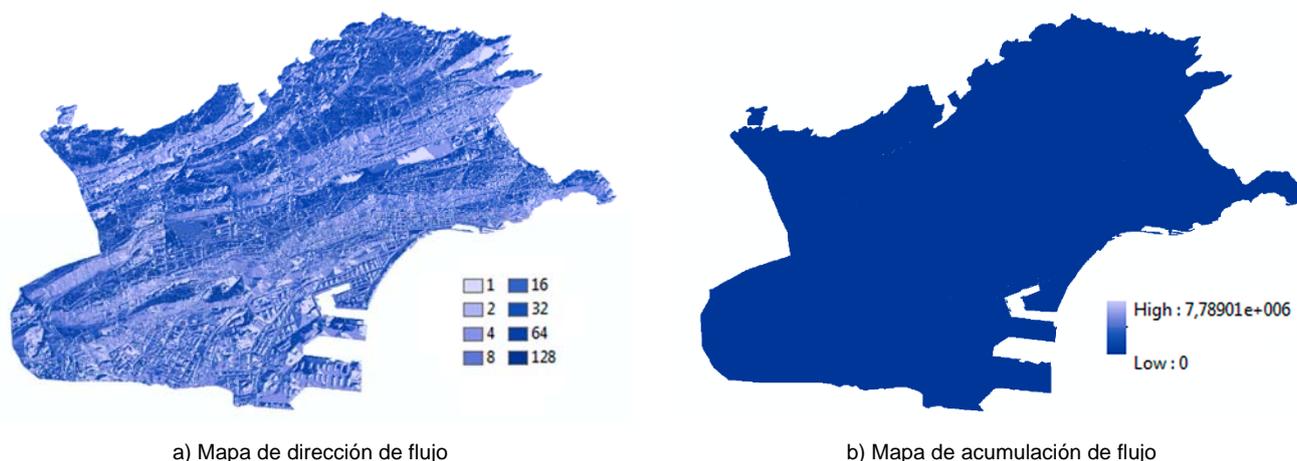


Figura 34. Dirección y acumulación de flujo

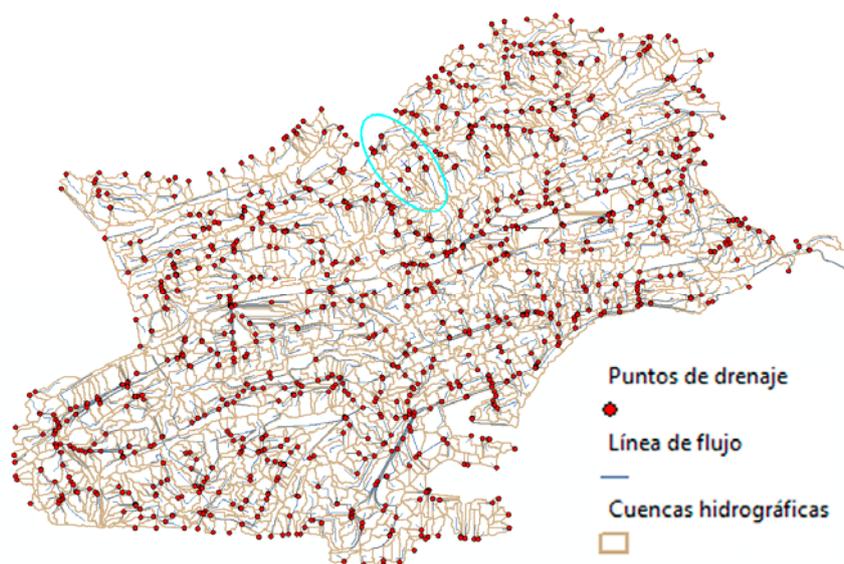


Figura 35. Elementos de flujo

Dado que la implementación de la metodología propuesta en la totalidad de la ciudad de Santander excede con mucho la extensión del presente trabajo, en la [Figura 35](#) se señala el barrio en el que se particularizará su aplicación final (Monte Corbanera). En este punto, se utilizó el complemento HEC-GeoHMS para convertir los elementos de flujo originalmente proporcionados por ArcGIS (tal y como se muestran en la [Figura 35](#)) en un esquema procesable por HEC-HMS, el software a emplear para la simulación hidrológica. De esta forma, se crearon una serie de nodos y enlaces de subcuenca (watershed) y unión (junction) a partir de datos físicos de la cuenca y su red de flujo: pendientes, longitudes y áreas. La inclusión de los elementos de drenaje superficial resultó en una nueva división de algunas subcuencas en porciones más pequeñas, tal y como se aprecia en la [Figura 36](#), que no es más que una demostración gráfica del cumplimiento del primer objetivo parcial planteado (subapartado [2.2.2](#)): es posible caracterizar una cuenca desde un punto de vista hidrológico a partir del procesamiento de sus características físicas en un SIG.

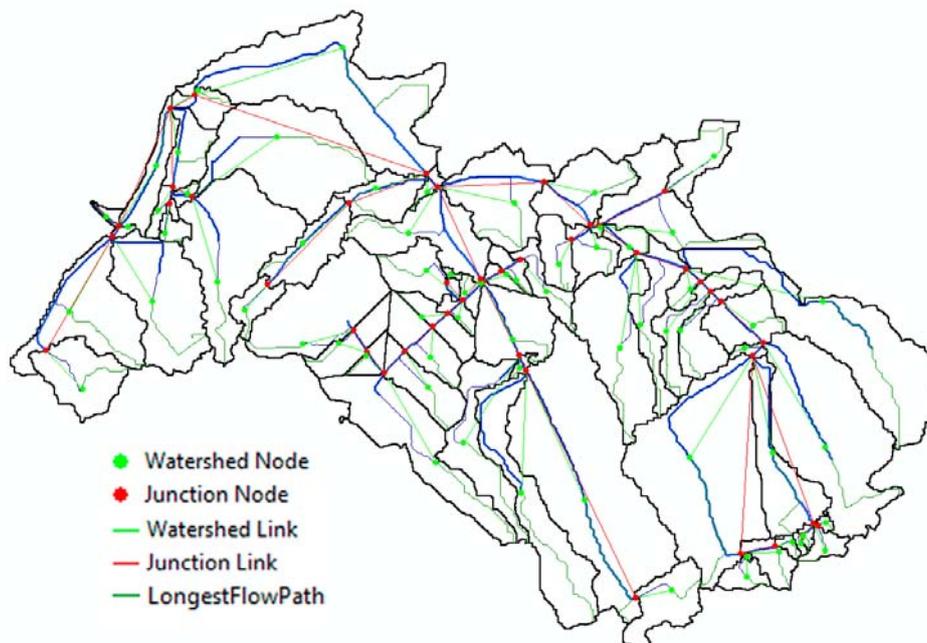


Figura 36. Esquema de los elementos hidrológicos a importar a HEC-HMS

5.2. Modelo meteorológico

Tal y como se introdujo en la sección 4.1, los datos de precipitaciones diarias fueron facilitados por el Grupo de Meteorología de la Universidad de Cantabria en formato NetCDF. El contenido de tal archivo consistía en una matriz tridimensional de dimensiones 240x120x19273, de forma que las dos primeras cifras hacen referencia a las coordenadas de los puntos de la malla (longitud y latitud) y el tercer dígito a los valores de precipitación en cada uno de los mismos, a lo largo de los 19273 días que separan el 1 de Enero de 1950 con el 31 de Diciembre de 2003. La lectura de estos datos se llevó a cabo con el programa informático MATLAB 2013a, extrayendo los valores máximos de los últimos 50 años (1954-2003) en un conjunto de 116 puntos seleccionados de modo que se cubriese el área de trabajo correspondiente a la ciudad de Santander (ver Figura 37).

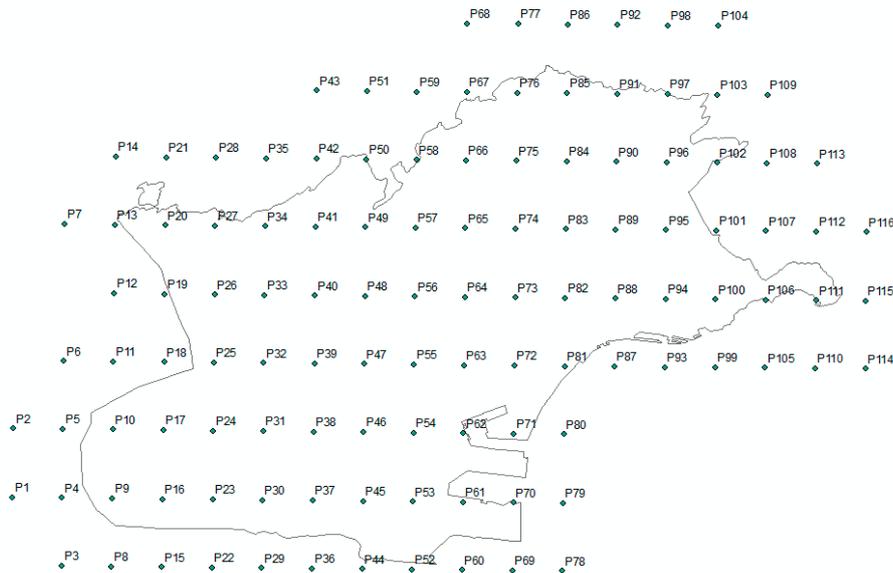
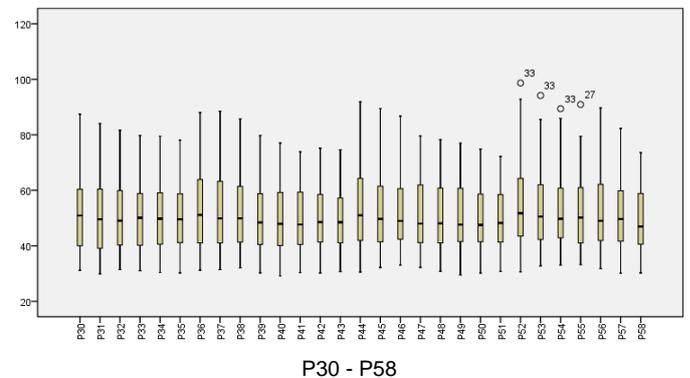
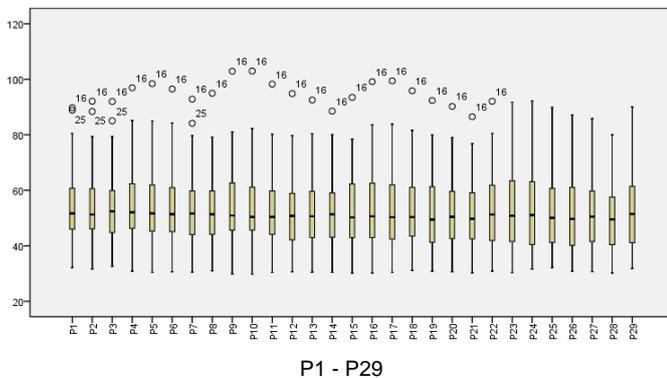


Figura 37. Ubicación de los puntos con información pluviométrica

Un análisis exploratorio de los datos almacenados en cada uno de estos puntos permitió identificar la presencia de valores atípicos en las series (ver Figura 38), entendiendo como tales aquellos que se encuentran a una distancia de 1,5 veces el rango intercuartil del primer o tercer cuartil.



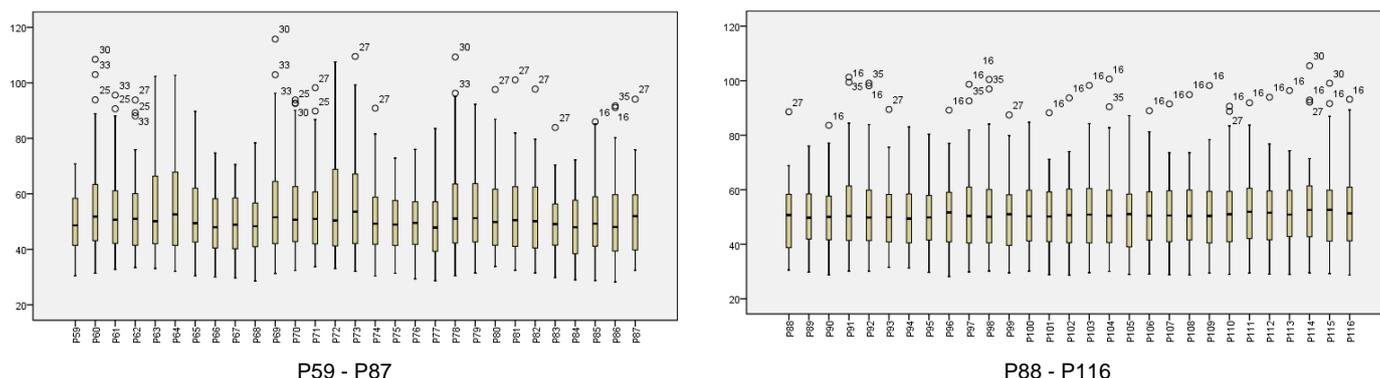


Figura 38. Valores atípicos

Conocidos y eliminados los valores atípicos, cuya inclusión es susceptible de poder distorsionar los resultados sucesivos, se procedió a la optimización del ajuste de las series de precipitaciones a aquellas distribuciones de probabilidad que mejor se amoldasen a las mismas. Para ello, se utilizó el software estadístico EasyFit 5.5, ajustando cada serie de datos a 64 distribuciones de probabilidad distintas (ver subapartado 4.3.1.1). En términos globales, destacan los buenos resultados ofrecidos por las distribuciones de Wakeby y Johnson SB, siendo las mejores opciones de ajuste para 93 de los 116 puntos, de acuerdo a los valores de los estadísticos de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling. Por el contrario, llama la atención negativamente las pobres posiciones que ocupan las distribuciones tradicionalmente empleadas en España (Gumbel, Log-Pearson 3), quedando situadas por lo general en la mitad inferior del conjunto de distribuciones testeadas. Dado que el espacio de trabajo era urbano y el área de las subcuencas obtenidas inferior a 100 hectáreas, se adoptó un período de retorno de 10 años para el diseño, en consonancia a las recomendaciones habituales que pueden encontrarse en bibliografía especializada a este respecto [178,179]. Para mayor detalle sobre los resultados obtenidos en esta fase, consultar el [ANEXO I: AJUSTE DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS](#).

Los valores de precipitación máxima diaria para el período de retorno establecido fueron posteriormente importados a ArcGIS. A pesar de constituir una nube de puntos considerablemente tupida, se procedió a realizar una interpolación espacial entre los mismos, a fin de elaborar un mapa de precipitaciones con información en cada píxel del área de trabajo, permitiendo así obtener estadísticas zonales de los valores medios de cada cuenca. En consonancia con lo descrito en el apartado 4.3.2, se emplearon seis métodos de interpolación distintos, tres deterministas (Distancia Inversa Ponderada, Funciones de Base Radial, Interpolación Local Polinómica) y tres geoestadísticos (Kriging Ordinario, Kriging Simple, Kriging Empírico Bayesiano). Dado que los métodos geoestadísticos requieren cumplir los supuestos de normalidad y estacionariedad, en primer lugar se llevó a cabo un análisis exploratorio de los datos previamente ajustados probabilísticamente. En la [Figura 39](#) se muestran los puntos que presentan valores atípicos de precipitación, que serán eliminados de cara a cálculos posteriores. Asimismo, puede observarse la tendencia normal en la distribución del conjunto de datos, cuyo cumplimiento estricto queda corroborado de acuerdo a los valores arrojados por los tests de Kolmogorov-Smirnov (con corrección de Lilliefors) y Shapiro-Wilk que se recogen en la [Tabla 5](#) (P-valor > 0,05 en ambos casos).

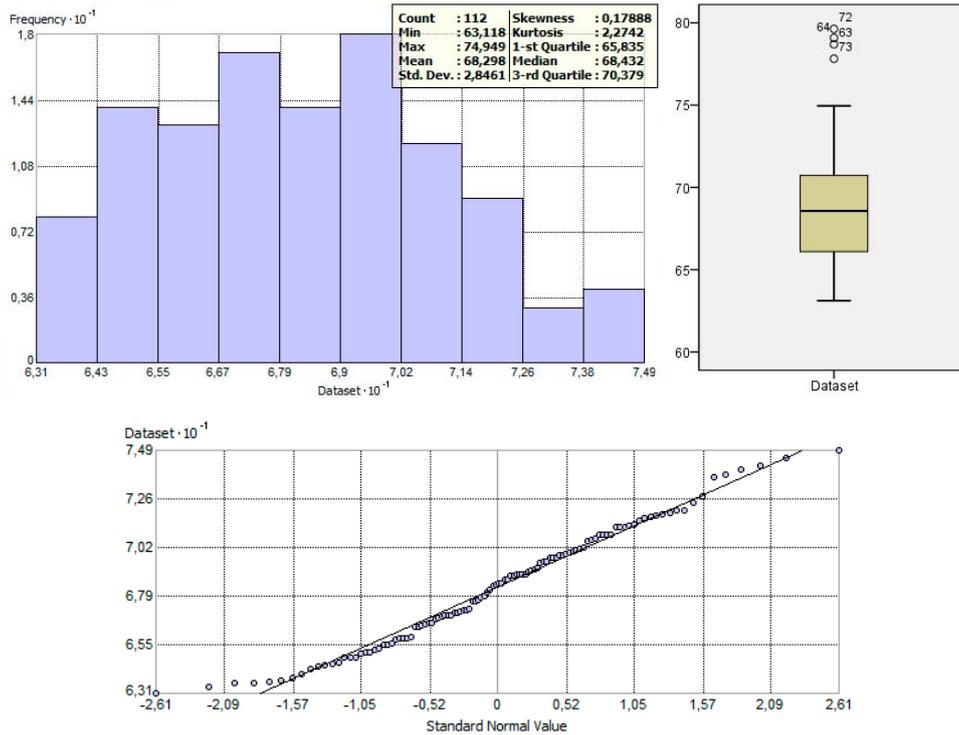


Figura 39. Análisis exploratorio de los datos

Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
0,067	112	0,200	0,979	112	0,073

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 5. Tests de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk de los datos ajustados

Para la comprobación de la estacionariedad, se construyó un semivariograma a partir de la relación entre la diferencia al cuadrado en los valores de cada par de puntos (eje de ordenadas) y la distancia que los separa (eje de abscisas). El aspecto de la nube de puntos representada en la [Figura 40](#) es el habitual en un semivariograma: la diferencia entre valores va aumentando desde la izquierda (puntos cercanos, precipitaciones similares) a la zona central del gráfico (mayor distancia, precipitaciones distintas), para después volver a disminuir hasta el mínimo (dos puntos muy alejados se sitúan alrededor de la misma isoyeta).

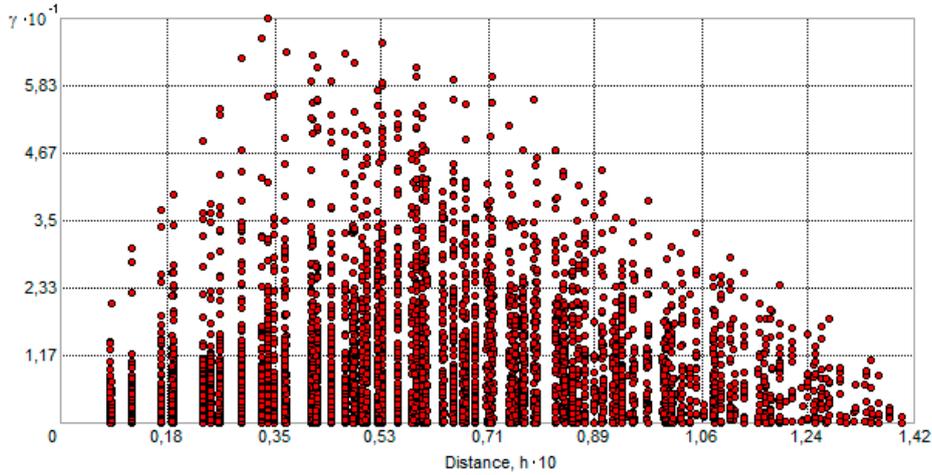
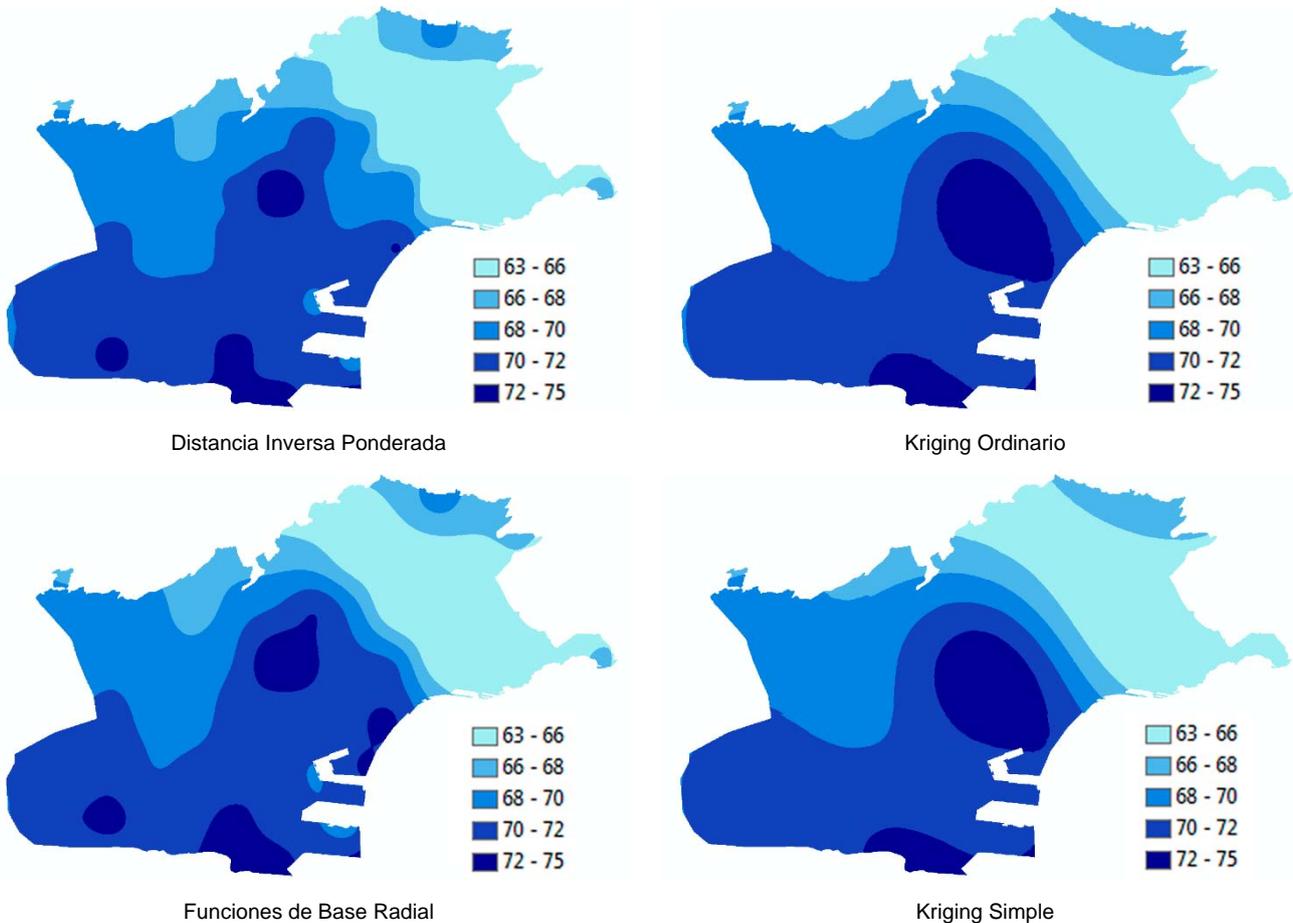


Figura 40. Semivariograma

El cumplimiento de los supuestos de normalidad y estacionariedad permite aprovechar al máximo el potencial y precisión de las técnicas de interpolación geoestadística. Una vez se han comprobado ambos con éxito, puede procederse a la aplicación de los seis métodos referidos anteriormente. Los mapas así obtenidos y los ajustes entre los datos originales o medidos y los predichos se muestran en la [Figura 41](#) y en la [Figura 42](#), respectivamente.



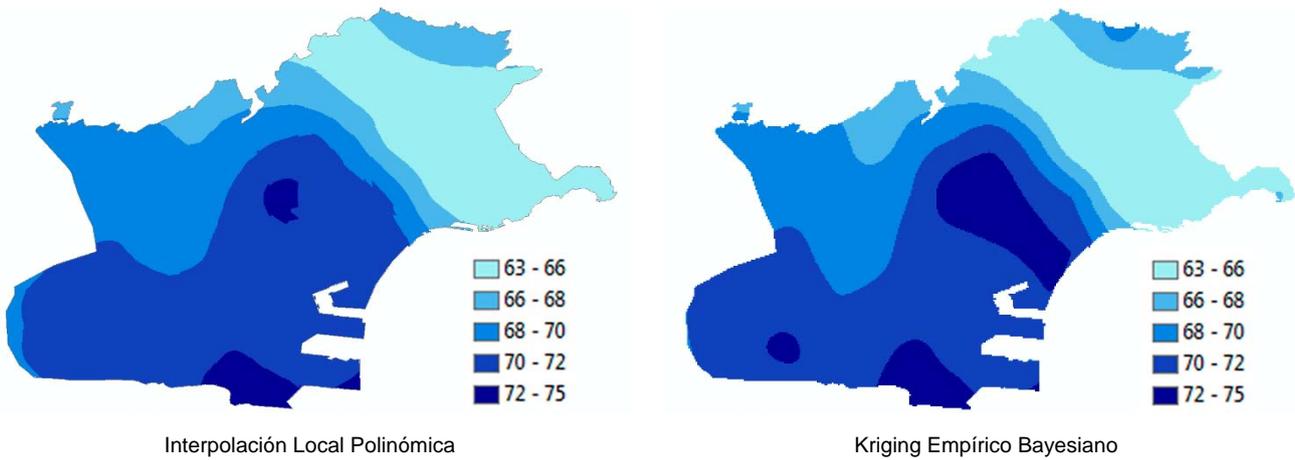


Figura 41. Métodos de interpolación espacial

A simple vista, puede apreciarse la gran convergencia entre los métodos geoestadísticos, cuyos mapas de precipitación siguen distribuciones espaciales muy similares. Por el contrario, los resultados ofrecidos por las técnicas deterministas, aun presentando ciertas semejanzas, adolecen de suficiente continuidad y gradualidad. Para clarificar estas diferencias, la [Figura 42](#) muestra el ajuste entre valores medidos y predichos y los errores asociados a cada uno de los seis métodos aplicados.

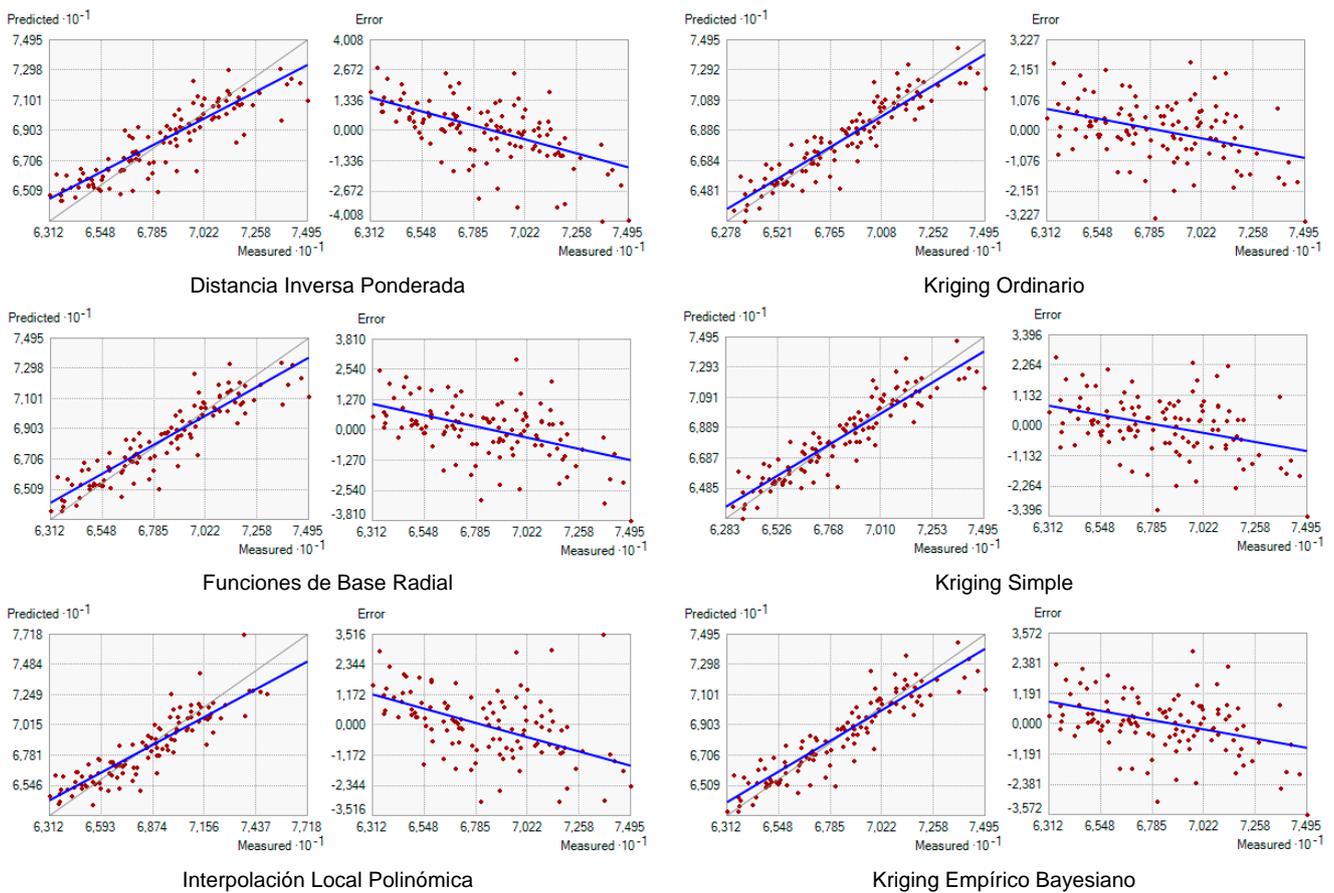


Figura 42. Validación cruzada de los valores obtenidos para los seis métodos de interpolación

De forma analítica, la correlación lineal entre valores medidos y predichos puede determinarse

calculando los coeficientes de Pearson entre ambos conjuntos de datos (ver [Tabla 6](#)).

Método	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)	N
Distancia Inversa Ponderada	0,882**	0,000	112
Funciones de Base Radial	0,910**	0,000	112
Interpolación Local Polinómica	0,895**	0,000	112
Kriging Ordinario	0,926**	0,000	112
Kriging Simple	0,921**	0,000	112
Kriging Empírico Bayesiano	0,918**	0,000	112

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Tabla 6. Coeficientes de correlación de Pearson para los seis métodos de interpolación

Como era de esperar, dado el número de puntos con el que se contaba, los coeficientes de correlación son muy elevados en todo caso. No obstante, los métodos de interpolación geoestadística presentan valores especialmente altos, sobre todo el Kriging Ordinario, cuyos resultados serán utilizados de ahora en adelante. Si se delimitan los valores obtenidos mediante este método a la zona de trabajo en la que se realizará la simulación hidrológica, se obtiene un mapa de precipitaciones como el que se muestra en la [Figura 43](#).

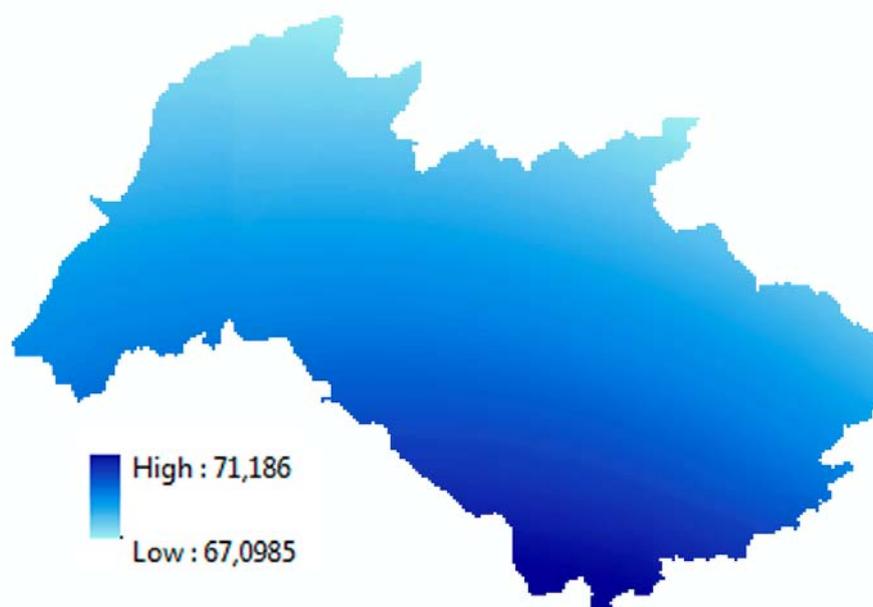


Figura 43. Mapa de precipitaciones para el área de estudio

A partir de esta información, se obtuvieron las precipitaciones medias de cada subcuenca perteneciente a la cuenca de Monte Corbanera mediante operaciones de estadística zonal. Para obtener las lluvias sintéticas de diseño de las subcuencas, estos valores fueron introducidos en el software de distribución de lluvia por Bloques Alternados creado por el grupo FLUMEN (Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica) de la Universidad Politécnica de Cataluña. La duración de la lluvia se determinó de acuerdo al tiempo de concentración de la cuenca según la Ec. (49), a partir del tiempo de retardo o *lag time* mayor de la misma, resultando en 150 minutos. Se estableció además un intervalo de tiempo para el cálculo de 1 minuto y un factor regional de 8,75 (ver [Figura 23](#)). Con estas cuatro entradas se

determinaron los hietogramas para cada una de las 67 subcuencas (*subbasins* - *SB*) (ver [Figura 44](#)); es decir, se obtuvieron las lluvias sintéticas correspondientes a cada subcuenca a partir de una serie de registros pluviométricos, tal y como se proponía en el segundo objetivo parcial del trabajo (ver subapartado [2.2.2](#)).

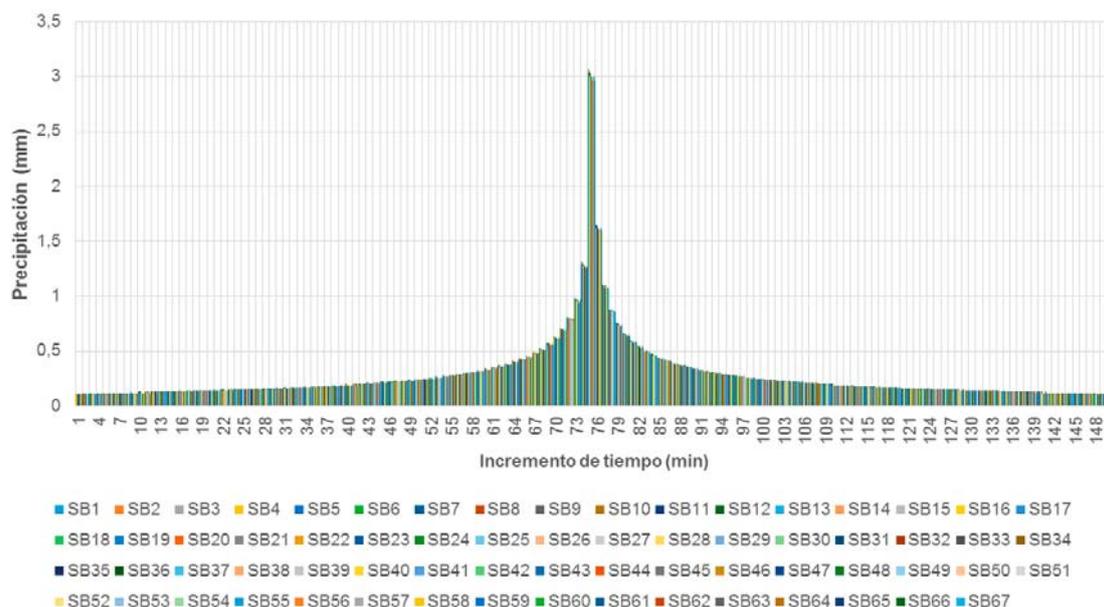


Figura 44. Hietogramas de diseño de las 67 subcuencas

Como puede observarse en la [Figura 44](#), existe una gran convergencia entre los hietogramas de las 67 subcuencas. Esto se debe a la homogeneidad de las precipitaciones máximas diarias de la zona para el período de retorno establecido, que oscilan en un rango moderado de 67 a 71 mm (ver [Figura 43](#)). En vista de estos resultados, de cara a la extensión de esta metodología a mayor escala, podría considerarse la adopción de un valor promediado de todas las subcuencas del área como dato para la determinación de una única lluvia de diseño. No obstante, en el presente trabajo el cálculo se ha aplicado a cada subcuenca individualmente, obteniéndose los hietogramas presentados en el [ANEXO II: HIETOGRAMAS DE DISEÑO](#).

5.3. Modelo hidrológico

En virtud del método de cálculo propuesto para la determinación de las pérdidas hidrológicas (ver apartado 4.4.1), además de los datos físicos de la cuenca obtenidos en la sección 5.1, se necesita conocer el número de curva que corresponde a cada subcuenca para poder calcular el tiempo de retardo o *lag time* de las mismas. Para ello, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente dispone de una capa SIG en formato ráster indicando los valores del umbral de escorrentía correspondientes a toda España, obtenidos a partir de los usos de suelo del CORINE Land Cover 2000 [180]. No obstante, la resolución de dicha capa resultó ser demasiado gruesa para el nivel de detalle deseado, por lo que se decidió realizar el proceso de forma manual: a partir de una capa con los usos de suelo de Cantabria según el proyecto CORINE Land Cover 2006 (ver Figura 45), se generó un mapa en formato ráster con los valores de umbral escorrentía para cada subcuenca mediante estadísticas zonales.

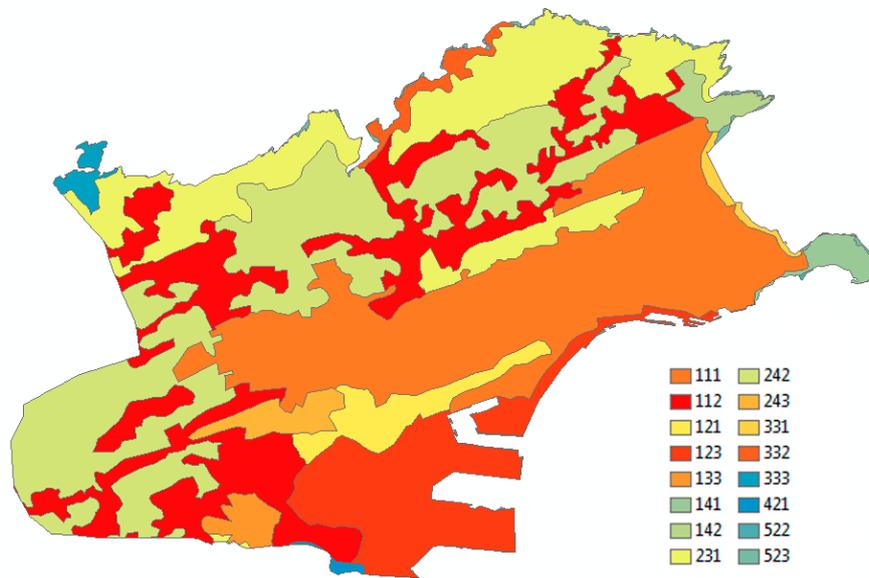


Figura 45. Usos del suelo en Cantabria del Corine Land Cover 2006

A su vez, dichos valores fueron utilizados para calcular el número de curva correspondiente a cada subcuenca de acuerdo a la Ec. (46). Paralelamente, se efectuaron las operaciones de identificación de zonas impermeables en cada subcuenca (ver 4.4.1.2). Como resultado de ambos procesos, se obtuvo la Figura 46.

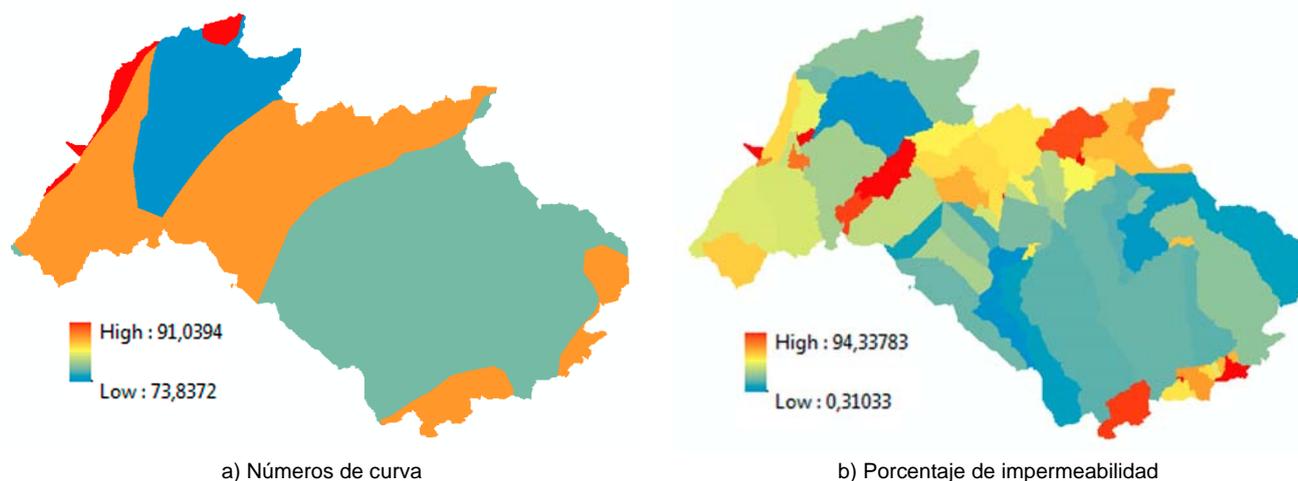


Figura 46. Números de Curva y porcentaje de impermeabilidad para la zona de estudio

Conocidos los números de curva correspondientes al conjunto total de subcuencas, además de sus pendientes medias y la longitud media los cauces que discurren por las mismas, puede determinarse el tiempo de retardo de cada una de acuerdo a la Ec. (48) (ver [Tabla 7](#)):

Subcuenca	Pendiente media (%)	Número de curva	Longitud del cauce (m)	Tiempo de retardo (h)
SB1	9,20666	86,39460	134,97413	0,04403
SB2	7,06496	85,73862	83,61880	0,03509
SB3	17,92587	86,39460	11,24264	0,00754
SB4	8,16374	77,81666	56,97056	0,06009
SB5	10,58057	77,20360	59,29899	0,02871
SB6	10,08222	77,20360	40,71320	0,02177
SB7	9,14306	77,20360	26,79899	0,02807
SB8	5,98221	80,27138	96,71930	0,05142
SB9	10,97953	77,26214	31,71320	0,01705
SB10	9,25314	77,63180	258,37110	0,17096
SB11	8,95111	77,79973	419,85996	0,15976
SB12	10,94028	77,97090	435,38030	0,14662
SB13	10,19762	77,20360	299,96551	0,11602
SB14	12,00708	78,47325	229,74369	0,12296
SB15	11,70370	77,20360	27,62742	0,02993
SB16	10,09578	79,96243	417,14066	0,17130
SB17	8,16589	77,20360	93,19596	0,06562
SB18	8,92776	77,20360	21,21320	0,07795
SB19	6,59374	77,20360	21,21320	0,11227
SB20	4,63439	77,20360	30,28427	0,05944
SB21	7,03641	77,20360	84,94113	0,13289
SB22	6,46095	77,20360	67,20458	0,14735
SB23	3,97865	80,56320	40,99138	0,18431
SB24	5,22632	77,20360	47,89087	0,19078

1 de 2 ↓

Tabla 7. Tiempo de retardo de cada subcuenca

Subcuenca	Pendiente media (%)	Número de curva	Longitud del cauce (m)	Tiempo de retardo (h)
SB25	10,35577	77,20360	28,55635	0,02464
SB26	3,11895	80,20767	46,84062	0,10474
SB27	3,39544	82,04717	57,32590	0,08385
SB28	4,01276	81,01359	31,28427	0,06705
SB29	3,53007	79,85092	30,64718	0,05838
SB30	4,95524	80,65719	44,17719	0,04676
SB31	8,11897	86,39460	18,43503	0,06177
SB32	1,51803	86,39460	40,28427	0,11149
SB33	1,00000	86,39460	43,76955	0,09565
SB34	4,74132	86,38427	38,87006	0,07930
SB35	3,41189	86,39460	33,98528	0,02399
SB36	5,06391	77,20360	133,18939	0,11494
SB37	4,70766	79,81063	33,62742	0,05262
SB38	4,81751	81,32581	36,27770	0,04465
SB39	5,94034	78,93552	176,31728	0,08696
SB40	3,53553	81,07349	12,12132	0,01238
SB41	6,63312	86,39460	167,92388	0,08598
SB42	7,03295	81,68099	120,53911	0,12276
SB43	4,38372	77,20360	74,39697	0,07825
SB44	5,11701	78,41320	40,45584	0,07741
SB45	7,16721	80,97999	115,06245	0,05279
SB46	1,40828	78,73543	16,30714	0,05082
SB47	8,24226	83,87756	195,90916	0,06849
SB48	8,96122	86,39460	104,36753	0,05993
SB49	6,49691	86,39460	170,52691	0,10368
SB50	5,76023	86,39460	26,62742	0,03491
SB51	7,14036	83,31208	113,83200	0,04858
SB52	8,52842	85,74483	179,63456	0,06209
SB53	7,94987	86,39460	138,56854	0,05899
SB54	7,46896	77,53794	512,67114	0,19756
SB55	10,37166	74,67136	126,55992	0,13384
SB56	11,34770	76,36035	83,82590	0,10224
SB57	11,73090	86,23410	130,67767	0,08497
SB58	15,57010	86,44108	228,11984	0,06907
SB59	9,04334	86,39460	197,87363	0,06033
SB60	12,58234	86,39460	97,05635	0,02893
SB61	9,36227	86,39460	28,07107	0,03318
SB62	7,53569	86,39460	42,11643	0,02470
SB63	8,41952	86,91845	146,74385	0,05712
SB64	10,60956	85,20213	50,97056	0,03889
SB65	6,80797	88,63656	211,89444	0,07227
SB66	19,88060	86,39460	20,97056	0,00874
SB67	9,30838	90,66394	53,79037	0,01856

2 de 2

Tabla 7. Tiempo de retardo de cada subcuenca

Por otra parte, aplicando las Ecs. (56), (61) y (62) se obtuvieron los parámetros necesarios para modelar el tránsito del caudal a través de la cuenca estudiada (ver [Tabla 8](#)):

Tramo	K	x	$\zeta\Delta t > 2*K*x?$	n	Subtramos	Tramo	K	x	$\zeta\Delta t > 2*K*x?$	n	Subtramos
R3	0,071	0,25	NO	2,125	3	R36	0,071	0,30	NO	2,563	3
R4	0,069	0,30	NO	2,485	3	R37	0,073	0,30	NO	2,619	3
R7	0,066	0,30	NO	2,386	3	R38	0,076	0,25	NO	2,275	3
R8	0,067	0,30	NO	2,406	3	R40	0,127	0,20	NO	3,038	4
R11	0,055	0,35	NO	2,299	3	R41	0,020	0,30	SÍ	0,737	1
R12	0,061	0,35	NO	2,548	3	R42	0,046	0,35	NO	1,948	2
R13	0,058	0,35	NO	2,439	3	R43	0,024	0,25	SÍ	0,709	1
R15	0,025	0,30	SÍ	0,914	1	R44	0,032	0,25	SÍ	0,959	1
R17	0,056	0,30	NO	2,032	3	R46	0,035	0,25	NO	1,038	2
R18	0,058	0,30	NO	2,104	3	R48	0,048	0,35	NO	1,995	2
R19	0,064	0,25	NO	1,934	2	R50	0,021	0,25	SÍ	0,636	1
R20	0,066	0,25	NO	1,974	2	R52	0,048	0,35	NO	1,998	2
R21	0,023	0,30	SÍ	0,828	1	R53	0,051	0,30	NO	1,830	2
R25	0,027	0,30	SÍ	0,986	1	R54	0,041	0,35	NO	1,717	2
R26	0,046	0,25	NO	1,369	2	R58	0,038	0,35	NO	1,576	2
R27	0,045	0,25	NO	1,358	2	R61	0,045	0,35	NO	1,909	2
R28	0,042	0,25	NO	1,270	2	R62	0,052	0,25	NO	1,564	2
R29	0,042	0,25	NO	1,246	2	R63	0,047	0,30	NO	1,708	2
R30	0,038	0,25	NO	1,132	2	R64	0,045	0,30	NO	1,635	2
R32	0,049	0,25	NO	1,477	2	R65	0,017	0,30	SÍ	0,619	1
R33	0,077	0,20	NO	1,855	2	R66	0,022	0,30	SÍ	0,774	1
R34	0,037	0,25	NO	1,120	2	R67	0,019	0,35	SÍ	0,784	1

Tabla 8. Tránsito de caudales

Tras realizar la importación desde ArcGIS vía HEC-GeoHMS y renombrar los elementos hidrológicos de acuerdo a una nomenclatura más intuitiva, la cuenca adopta en HEC-HMS el aspecto que se observa en la [Figura 47](#).

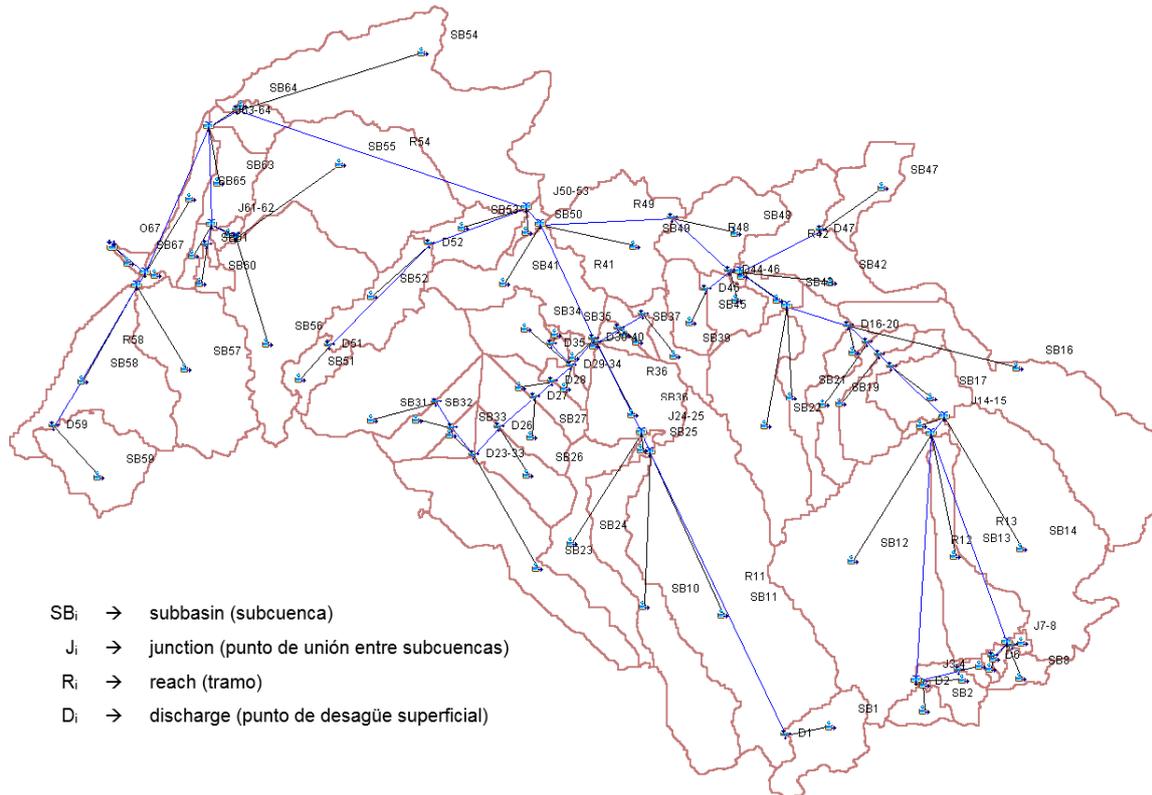


Figura 47. Representación esquemática de la cuenca en HEC-HMS

Por último, una vez se calcularon todos los parámetros que requiere HEC-HMS para simular los procesos hidrológicos según los métodos elegidos, se procedió a ejecutar la simulación. A pesar de que la duración de la lluvia de diseño era de 150 minutos, esta cifra tuvo que incrementarse a la hora de fijar la duración de la simulación en las especificaciones de control, ya que, a pesar de haber terminado el aguacero, la existencia de escorrentía no termina hasta un período adicional posterior. Por ello, se estableció una duración de 240 minutos para la simulación (en la fecha simbólica del 1 de Enero de 2000, desde las 0:00 horas hasta las 4:00 horas), suficiente para que la escorrentía se extinguiese por completo. Además, se adoptó el mínimo intervalo de cálculo que permite el software (1 minuto), a fin de conseguir la mayor precisión posible en los cálculos.

Para cuantificar el efecto que la red de drenaje superficial tiene en la disminución de la escorrentía, se realizó una simulación previa en la que no se tuvo en cuenta el alivio producido por estos elementos de desagüe. La [Tabla 9](#) muestra un resumen de los resultados obtenidos en ambas situaciones, indicando los picos de caudal de cada elemento hidrológico, los instantes en que se produjeron y el volumen de escorrentía asociado. Para mayor detalle sobre los resultados de esta sección, consultar el [ANEXO III: SIMULACIÓN HIDROLÓGICA](#).

ID	A _{drenaje} (km ²)	Sin elementos de drenaje superficial			Con elementos de drenaje superficial		
		Q _{pico} (m ³ /s)	t _{pico}	Vol. (mm)	Q _{pico} (m ³ /s)	t _{pico}	Vol. (mm)
SB2	0,00254	0,03634	01ene2000, 01:17	19,31074	0,03634	01ene2000, 01:17	19,31074
D2	0,00254	0,03634	01ene2000, 01:17	19,31074	0,01073	01ene2000, 01:16	0,62165
R3	0,00254	0,02990	01ene2000, 01:21	19,31074	0,00453	01ene2000, 01:19	0,62165
SB5	0,00076	0,00629	01ene2000, 01:17	12,58770	0,00629	01ene2000, 01:17	12,58770
D5	0,00076	0,00629	01ene2000, 01:17	12,58770	0,00067	01ene2000, 02:31	0,12918
R4	0,00076	0,00526	01ene2000, 01:21	12,58770	0,00033	01ene2000, 02:35	0,12918
SB4	0,00375	0,02823	01ene2000, 01:19	14,29515	0,02823	01ene2000, 01:19	14,29515
SB3	0,00013	0,00397	01ene2000, 01:15	29,52180	0,00397	01ene2000, 01:15	29,52180
J3-4	0,00717	0,06112	01ene2000, 01:21	16,16319	0,03408	01ene2000, 01:19	8,23679
R12	0,00717	0,05881	01ene2000, 01:24	16,16319	0,03164	01ene2000, 01:23	8,23679
SB9	0,00047	0,00478	01ene2000, 01:16	13,30141	0,00478	01ene2000, 01:16	13,30141
D9	0,00047	0,00478	01ene2000, 01:16	13,30141	0,00031	01ene2000, 02:31	0,08137
R8	0,00047	0,00372	01ene2000, 01:20	13,30141	0,00012	01ene2000, 02:35	0,08137
SB6	0,00043	0,00337	01ene2000, 01:16	11,34352	0,00337	01ene2000, 01:16	11,34352
D6	0,00043	0,00337	01ene2000, 01:16	11,34352	0,00032	01ene2000, 02:31	0,11089
R7	0,00043	0,00272	01ene2000, 01:20	11,34352	0,00014	01ene2000, 02:35	0,11089
SB8	0,00224	0,02379	01ene2000, 01:18	18,06554	0,02379	01ene2000, 01:18	18,06554
SB7	0,00061	0,00529	01ene2000, 01:17	13,21601	0,00529	01ene2000, 01:17	13,21601
J7-8	0,00374	0,03283	01ene2000, 01:19	15,91125	0,02835	01ene2000, 01:18	12,96014
R13	0,00374	0,03147	01ene2000, 01:22	15,91125	0,02653	01ene2000, 01:22	12,96014
SB12	0,04596	0,15611	01ene2000, 01:27	9,48429	0,15611	01ene2000, 01:27	9,48429
SB13	0,01306	0,04338	01ene2000, 01:25	8,72734	0,04338	01ene2000, 01:25	8,72734
J12-13	0,06993	0,27879	01ene2000, 01:25	10,37171	0,24160	01ene2000, 01:25	9,40080
R15	0,06993	0,27520	01ene2000, 01:27	10,37171	0,23900	01ene2000, 01:27	9,40080
SB14	0,03674	0,14637	01ene2000, 01:25	10,21885	0,14637	01ene2000, 01:25	10,21885
SB15	0,00090	0,00740	01ene2000, 01:17	12,66184	0,00740	01ene2000, 01:17	12,66184
J14-15	0,10757	0,42053	01ene2000, 01:26	10,33871	0,38514	01ene2000, 01:26	9,70753
R17	0,10757	0,41290	01ene2000, 01:30	10,33871	0,37905	01ene2000, 01:29	9,70753
SB17	0,00780	0,03398	01ene2000, 01:20	9,20823	0,03398	01ene2000, 01:20	9,20823
D17	0,11537	0,43215	01ene2000, 01:29	10,26226	0,12917	01ene2000, 01:30	1,61091
R18	0,11537	0,42638	01ene2000, 01:33	10,26226	0,12282	01ene2000, 01:34	1,61091
SB18	0,00727	0,02328	01ene2000, 01:22	7,43819	0,02328	01ene2000, 01:22	7,43819
D18	0,12264	0,44125	01ene2000, 01:33	10,09486	0,11335	01ene2000, 02:37	0,78313
R19	0,12264	0,42776	01ene2000, 01:37	10,09486	0,10508	01ene2000, 02:42	0,78313
SB19	0,00656	0,01866	01ene2000, 01:25	7,49689	0,01866	01ene2000, 01:25	7,49689
D19	0,12920	0,44072	01ene2000, 01:37	9,96301	0,10624	01ene2000, 02:42	0,76014
R20	0,12920	0,42910	01ene2000, 01:41	9,96301	0,10041	01ene2000, 02:46	0,76014
SB16	0,03305	0,11189	01ene2000, 01:29	9,56452	0,11189	01ene2000, 01:29	9,56452
SB20	0,00220	0,00955	01ene2000, 01:20	8,97765	0,00955	01ene2000, 01:20	8,97765
D16-20	0,16445	0,51476	01ene2000, 01:41	9,86976	0,11002	01ene2000, 02:46	0,76492
R21	0,16445	0,51257	01ene2000, 01:42	9,86976	0,10915	01ene2000, 02:47	0,76492
SB22	0,01986	0,06007	01ene2000, 01:27	8,74465	0,06007	01ene2000, 01:27	8,74465

1 de 4 ↓

Tabla 9. Tabla resumen de la simulación hidrológica para la cuenca de Monte Corbanera

ID	A _{drenaje} (km ²)	Sin elementos de drenaje superficial			Con elementos de drenaje superficial		
		Q _{pico} (m ³ /s)	t _{pico}	Vol. (mm)	Q _{pico} (m ³ /s)	t _{pico}	Vol. (mm)
SB21	0,00930	0,02815	01ene2000, 01:26	8,44662	0,02815	01ene2000, 01:26	8,44662
J21-22	0,19361	0,57032	01ene2000, 01:42	9,68598	0,11312	01ene2000, 02:47	1,95255
R43	0,19361	0,56724	01ene2000, 01:43	9,68598	0,11186	01ene2000, 02:48	1,95255
SB47	0,00642	0,06266	01ene2000, 01:19	17,60996	0,06266	01ene2000, 01:19	17,60996
D47	0,00642	0,06266	01ene2000, 01:19	17,60996	0,00829	01ene2000, 02:31	0,38853
R42	0,00642	0,06049	01ene2000, 01:22	17,60996	0,00668	01ene2000, 02:35	0,38853
SB42	0,01529	0,09944	01ene2000, 01:24	15,46248	0,09944	01ene2000, 01:24	15,46248
SB43	0,00255	0,01404	01ene2000, 01:21	12,07189	0,01404	01ene2000, 01:21	12,07189
J42-43	0,21787	0,63285	01ene2000, 01:43	10,35294	0,18720	01ene2000, 01:26	2,97313
R46	0,21787	0,63016	01ene2000, 01:45	10,35294	0,18566	01ene2000, 01:28	2,97313
SB45	0,00498	0,03681	01ene2000, 01:19	12,63234	0,03681	01ene2000, 01:19	12,63234
D45	0,00498	0,03681	01ene2000, 01:19	12,63234	0,00535	01ene2000, 02:31	0,24962
R44	0,00498	0,03397	01ene2000, 01:21	12,63234	0,00375	01ene2000, 02:33	0,24962
SB44	0,00471	0,02682	01ene2000, 01:21	12,08407	0,02682	01ene2000, 01:21	12,08407
SB46	0,00035	0,00465	01ene2000, 01:18	22,39231	0,00465	01ene2000, 01:18	22,39231
D44-46	0,22792	0,65042	01ene2000, 01:45	10,45724	0,11214	01ene2000, 02:50	0,74220
R48	0,22792	0,64755	01ene2000, 01:48	10,45724	0,11094	01ene2000, 02:53	0,74220
SB48	0,01074	0,13687	01ene2000, 01:19	21,15205	0,13687	01ene2000, 01:19	21,15205
D48	0,23866	0,67582	01ene2000, 01:48	10,93839	0,11094	01ene2000, 02:53	0,72543
R49	0,23866	0,67000	01ene2000, 01:51	10,93839	0,10828	01ene2000, 02:56	0,72543
SB1	0,00853	0,13091	01ene2000, 01:18	22,73314	0,13091	01ene2000, 01:18	22,73314
D1	0,00853	0,13091	01ene2000, 01:18	22,73314	0,01248	01ene2000, 02:31	0,28177
R11	0,00853	0,12321	01ene2000, 01:21	22,73314	0,00891	01ene2000, 02:35	0,28177
SB11	0,05580	0,17971	01ene2000, 01:28	9,32423	0,17971	01ene2000, 01:28	9,32423
SB10	0,02026	0,05737	01ene2000, 01:30	8,48194	0,05737	01ene2000, 01:30	8,48194
J10-11	0,08459	0,29795	01ene2000, 01:26	10,47463	0,23621	01ene2000, 01:28	8,21063
R25	0,08459	0,29657	01ene2000, 01:28	10,47463	0,23471	01ene2000, 01:30	8,21063
SB24	0,01217	0,02869	01ene2000, 01:32	7,47797	0,02869	01ene2000, 01:32	7,47797
SB25	0,00068	0,00543	01ene2000, 01:17	12,15411	0,00543	01ene2000, 01:17	12,15411
J24-25	0,09744	0,32460	01ene2000, 01:28	10,11188	0,26448	01ene2000, 01:30	8,14645
R36	0,09744	0,32125	01ene2000, 01:33	10,11188	0,26038	01ene2000, 01:35	8,14645
SB39	0,00427	0,02123	01ene2000, 01:22	10,93019	0,02123	01ene2000, 01:22	10,93019
D39	0,00427	0,02123	01ene2000, 01:22	10,93019	0,00443	01ene2000, 02:31	0,39598
R38	0,00427	0,01988	01ene2000, 01:26	10,93019	0,00328	01ene2000, 02:37	0,39598
SB38	0,00211	0,01917	01ene2000, 01:18	14,46051	0,01917	01ene2000, 01:18	14,46051
D38	0,00638	0,02856	01ene2000, 01:25	12,09627	0,00345	01ene2000, 02:37	0,33648
R37	0,00638	0,02793	01ene2000, 01:30	12,09627	0,00315	01ene2000, 02:41	0,33648
SB36	0,01197	0,04149	01ene2000, 01:24	9,07268	0,04149	01ene2000, 01:24	9,07268
SB37	0,00132	0,00901	01ene2000, 01:19	12,05421	0,00901	01ene2000, 01:19	12,05421
D36-37	0,11711	0,38284	01ene2000, 01:32	10,13555	0,25896	01ene2000, 01:35	6,57150
R40	0,11711	0,36800	01ene2000, 01:40	10,13555	0,24702	01ene2000, 01:43	6,57150
SB31	0,02094	0,23251	01ene2000, 01:19	18,04591	0,23251	01ene2000, 01:19	18,04591

2 de 4 ↓

Tabla 9. Tabla resumen de la simulación hidrológica para la cuenca de Monte Corbanera

ID	A _{drenaje} (km ²)	Sin elementos de drenaje superficial			Con elementos de drenaje superficial		
		Q _{pico} (m ³ /s)	t _{pico}	Vol. (mm)	Q _{pico} (m ³ /s)	t _{pico}	Vol. (mm)
D31	0,02094	0,23251	01ene2000, 01:19	18,04591	0,02893	01ene2000, 02:31	0,37162
R32	0,02094	0,21508	01ene2000, 01:22	18,04591	0,02056	01ene2000, 02:35	0,37162
SB32	0,00597	0,04798	01ene2000, 01:23	16,35413	0,04798	01ene2000, 01:23	16,35413
D32	0,02691	0,26271	01ene2000, 01:22	17,67056	0,02718	01ene2000, 02:35	0,44337
R33	0,02691	0,23149	01ene2000, 01:27	17,67056	0,02046	01ene2000, 02:39	0,44337
SB23	0,02077	0,08423	01ene2000, 01:29	11,58637	0,08423	01ene2000, 01:29	11,58637
SB33	0,00209	0,01926	01ene2000, 01:21	17,85412	0,01926	01ene2000, 01:21	17,85412
D23-33	0,04977	0,32693	01ene2000, 01:27	15,13954	0,04027	01ene2000, 02:38	0,67368
R26	0,04977	0,31988	01ene2000, 01:30	15,13954	0,03882	01ene2000, 02:41	0,67368
SB26	0,00730	0,03925	01ene2000, 01:23	12,18321	0,03925	01ene2000, 01:23	12,18321
D26	0,05707	0,34771	01ene2000, 01:30	14,76138	0,04076	01ene2000, 02:40	0,65505
R27	0,05707	0,34126	01ene2000, 01:33	14,76138	0,03988	01ene2000, 02:43	0,65505
SB27	0,00741	0,04936	01ene2000, 01:21	13,09048	0,04936	01ene2000, 01:21	13,09048
D27	0,06448	0,36606	01ene2000, 01:32	14,56936	0,04042	01ene2000, 02:43	0,62972
R28	0,06448	0,36175	01ene2000, 01:35	14,56936	0,03979	01ene2000, 02:45	0,62972
SB28	0,00418	0,02533	01ene2000, 01:20	11,18281	0,02533	01ene2000, 01:20	11,18281
D28	0,06866	0,37244	01ene2000, 01:35	14,36305	0,03984	01ene2000, 02:45	0,61067
R29	0,06866	0,36765	01ene2000, 01:38	14,36305	0,03917	01ene2000, 02:47	0,61067
SB35	0,00031	0,00509	01ene2000, 01:16	19,71403	0,00509	01ene2000, 01:16	19,71403
D35	0,00031	0,00509	01ene2000, 01:16	19,71403	0,00035	01ene2000, 02:31	0,15823
R34	0,00031	0,00444	01ene2000, 01:19	19,71403	0,00019	01ene2000, 02:33	0,15823
SB34	0,00712	0,07808	01ene2000, 01:20	20,03786	0,07808	01ene2000, 01:20	20,03786
SB29	0,00166	0,01149	01ene2000, 01:19	12,54088	0,01149	01ene2000, 01:19	12,54088
D29-34	0,07776	0,39877	01ene2000, 01:37	14,86537	0,03932	01ene2000, 02:47	0,59134
R30	0,07776	0,39548	01ene2000, 01:40	14,86537	0,03882	01ene2000, 02:50	0,59134
SB30	0,00149	0,01303	01ene2000, 01:18	14,35870	0,01303	01ene2000, 01:18	14,35870
SB40	0,00004	0,00102	01ene2000, 01:15	31,31133	0,00102	01ene2000, 01:15	31,31133
D30-40	0,19639	0,76708	01ene2000, 01:40	12,04435	0,13192	01ene2000, 02:45	1,83082
R41	0,19639	0,76480	01ene2000, 01:41	12,04435	0,13161	01ene2000, 02:47	1,83082
SB49	0,01606	0,14923	01ene2000, 01:22	18,93630	0,14923	01ene2000, 01:22	18,93630
SB41	0,01442	0,14704	01ene2000, 01:21	19,22934	0,14704	01ene2000, 01:21	19,22934
J41-49	0,46553	1,41238	01ene2000, 01:44	11,93769	0,29379	01ene2000, 01:21	2,39318
R50	0,46553	1,41128	01ene2000, 01:45	11,93769	0,28873	01ene2000, 01:23	2,39318
SB51	0,00365	0,04413	01ene2000, 01:18	19,19495	0,04413	01ene2000, 01:18	19,19495
D51	0,00365	0,04413	01ene2000, 01:18	19,19495	0,00471	01ene2000, 02:31	0,27606
R52	0,00365	0,04129	01ene2000, 01:21	19,19495	0,00335	01ene2000, 02:34	0,27606
SB52	0,00866	0,11487	01ene2000, 01:19	22,60384	0,11487	01ene2000, 01:19	22,60384
D52	0,01230	0,14959	01ene2000, 01:20	21,59369	0,01252	01ene2000, 02:31	0,35754
R53	0,01230	0,14105	01ene2000, 01:23	21,59369	0,01053	01ene2000, 02:36	0,35754
SB53	0,00639	0,07444	01ene2000, 01:19	18,82980	0,07444	01ene2000, 01:19	18,82980
SB50	0,00111	0,01555	01ene2000, 01:17	18,79215	0,01555	01ene2000, 01:17	18,79215
J50-53	0,48533	1,46914	01ene2000, 01:44	12,28891	0,35150	01ene2000, 01:22	2,59548

3 de 4 ↓

Tabla 9. Tabla resumen de la simulación hidrológica para la cuenca de Monte Corbanera

ID	A _{drenaje} (km ²)	Sin elementos de drenaje superficial			Con elementos de drenaje superficial		
		Q _{pico} (m ³ /s)	t _{pico}	Vol. (mm)	Q _{pico} (m ³ /s)	t _{pico}	Vol. (mm)
R54	0,48533	1,46787	01ene2000, 01:47	12,28891	0,34542	01ene2000, 01:24	2,59548
SB54	0,04138	0,11715	01ene2000, 01:31	9,20340	0,11715	01ene2000, 01:31	9,20340
D54	0,52671	1,55043	01ene2000, 01:46	12,04648	0,22496	01ene2000, 02:46	0,85364
R64	0,52671	1,54773	01ene2000, 01:49	12,04648	0,22425	01ene2000, 02:49	0,85364
SB55	0,02991	0,05013	01ene2000, 01:29	5,41816	0,05013	01ene2000, 01:29	5,41816
SB56	0,02689	0,09561	01ene2000, 01:23	9,16649	0,09561	01ene2000, 01:23	9,16649
J55-56	0,05680	0,13626	01ene2000, 01:25	7,19244	0,13626	01ene2000, 01:25	7,19244
R62	0,05680	0,13345	01ene2000, 01:28	7,19244	0,13345	01ene2000, 01:28	7,19244
SB60	0,00164	0,02639	01ene2000, 01:17	20,81157	0,02639	01ene2000, 01:17	20,81157
D60	0,00164	0,02639	01ene2000, 01:17	20,81157	0,00202	01ene2000, 02:31	0,16771
R61	0,00164	0,02378	01ene2000, 01:19	20,81157	0,00122	01ene2000, 02:34	0,16771
SB61	0,00177	0,02428	01ene2000, 01:17	17,84245	0,02428	01ene2000, 01:17	17,84245
SB62	0,00089	0,01710	01ene2000, 01:16	24,35478	0,01710	01ene2000, 01:16	24,35478
J61-62	0,06110	0,15391	01ene2000, 01:28	8,11596	0,14516	01ene2000, 01:28	7,56147
R63	0,06110	0,15233	01ene2000, 01:31	8,11596	0,14355	01ene2000, 01:31	7,56147
SB63	0,00603	0,07144	01ene2000, 01:19	18,83714	0,07144	01ene2000, 01:19	18,83714
SB64	0,00349	0,03746	01ene2000, 01:17	15,17341	0,03746	01ene2000, 01:17	15,17341
J63-64	0,59732	1,66901	01ene2000, 01:49	11,73124	0,24321	01ene2000, 02:43	1,80478
R65	0,59732	1,66827	01ene2000, 01:50	11,73124	0,24279	01ene2000, 02:44	1,80478
SB59	0,01090	0,13203	01ene2000, 01:19	19,78348	0,13203	01ene2000, 01:19	19,78348
D59	0,01090	0,13203	01ene2000, 01:19	19,78348	0,01541	01ene2000, 02:31	0,37210
R58	0,01090	0,12784	01ene2000, 01:21	19,78348	0,01281	01ene2000, 02:34	0,37210
SB57	0,02128	0,20749	01ene2000, 01:21	18,17349	0,20749	01ene2000, 01:21	18,17349
SB58	0,01920	0,20634	01ene2000, 01:20	18,44343	0,20634	01ene2000, 01:20	18,44343
J57-58	0,05138	0,53274	01ene2000, 01:20	18,61583	0,41221	01ene2000, 01:20	14,49902
R66	0,05138	0,52428	01ene2000, 01:22	18,61583	0,40275	01ene2000, 01:21	14,49902
SB65	0,00624	0,07800	01ene2000, 01:20	21,52236	0,07800	01ene2000, 01:20	21,52236
SB66	0,00047	0,01002	01ene2000, 01:15	20,34358	0,01002	01ene2000, 01:15	20,34358
J65-66	0,65541	1,82136	01ene2000, 01:49	12,37025	0,63296	01ene2000, 01:21	3,00077
R67	0,65541	1,82066	01ene2000, 01:50	12,37025	0,62711	01ene2000, 01:22	3,00077
SB67	0,00077	0,02563	01ene2000, 01:16	40,49845	0,02563	01ene2000, 01:16	40,49845
O67	0,65617	1,82315	01ene2000, 01:50	12,40313	0,63462	01ene2000, 01:22	3,04460

4 de 4

Tabla 9. Tabla resumen de la simulación hidrológica para la cuenca de Monte Corbanera

De acuerdo con el tercer objetivo parcial del trabajo (ver subapartado 2.2.2), los resultados recogidos en la [Tabla 9](#) confirman que el modelo hidrológico propuesto permite simular los procesos hidrológicos de pérdidas de precipitación, transformación de lluvia en caudal y tránsito de caudal, a partir de la caracterización física y las lluvias de diseño de cada subcuenca.

Además, dichos resultados también dan respuesta al objetivo general del trabajo (ver subapartado 2.2.1), en tanto se demuestra que la metodología global planteada permite identificar los tramos del viario urbano más afectados por la generación de escorrentía urbana. Ya sea atendiendo a los picos de caudal o a los volúmenes acumulados en cada elemento hidrológico, puede observarse que existen ciertos puntos especialmente sensibles a este fenómeno. Además, la diferencia de valores entre los

dos casos simulados pone de manifiesto el efecto de la red de drenaje superficial, cuya presencia atenúa considerablemente la magnitud del caudal circulante y la acumulación de volúmenes de escorrentía. Sin embargo, algunos puntos (J3-4, J7-8, J10-11, J12-13, J14-15, J24-25, D36-37, J55-56, J57-58 o J61-62) siguen acumulando volúmenes de escorrentía entre 7 y 15 mm. La presencia de estos valores pone de manifiesto la necesidad y validez de la metodología a la hora de detectar zonas que necesiten de un proceso de rehabilitación hidrológica. A partir de ellos, deberían plantearse estrategias de rehabilitación como la extensión de la red de drenaje superficial convencional o la inclusión de algún sistema alternativo basado en técnicas de drenaje sostenible (pavimentos permeables, depósitos de retención...).

6. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

6.1. Conclusiones

El sistema de localización geográfica propuesto en este trabajo fin de Máster está destinado a aportar un salto de calidad en la gestión del drenaje superficial existente en espacios urbanos. La utilización combinada de dos herramientas de gran potencial como los sistemas de información geográfica (SIG) y los modelos matemáticos de simulación hidrológica se postula como una solución integral para la detección de zonas en que se acumule un exceso de volumen de escorrentía, pudiendo llegar a motivar problemas de inundaciones.

La primera determinación que ha de tomarse cuando se desarrolla un sistema como este, que combina el uso de dos herramientas con amplio soporte informático, es la elección del software a emplear en cada caso. Como criterio global principal, se atendió a la conectividad entre ambas, dado que la información procesada en el SIG debe ser posteriormente trasladada al software de cálculo hidrológico para la simulación. En este sentido, ArcGIS destaca por encima del resto de SIGs por disponer de extensiones específicas para la conexión con dos programas de simulación hidrológica: HEC-HMS y SWAT. Además, en lo concerniente al SIG como ente independiente, se valoraron tres aspectos fundamentales: disponibilidad de recursos hidrológicos y extensión en uso. De nuevo, ArcGIS ofrece la mejor respuesta a ambos requerimientos: por un lado, cuenta con una extensión específica para el procesamiento de operaciones hidrológicas (ArcHydro) y, por otro, es con mucho el SIG sobre el que más ayuda puede encontrarse en línea. Por otra parte, para discernir qué modelo de simulación hidrológica escoger entre los dos mencionados (HEC-HMS y SWAT), se contempló la capacidad de cálculo de ambos. Como resultado, HEC-HMS fue el programa seleccionado, ya que dispone de hasta más de cinco métodos de cálculo distintos para simular cada uno de los tres procesos hidrológicos que tienen lugar en la transformación de lluvia en escorrentía. Además, a diferencia de SWAT, su uso está más orientado a la obtención de parámetros de cantidad que de calidad de aguas.

En lo referente a la caracterización física de cuencas hidrográficas urbanas, la metodología propuesta demuestra que puede generarse un modelo digital de elevaciones artificial a partir de un modelo digital del terreno de la zona y de capas vectoriales con información sobre los edificios y viales urbanos existentes. La rasterización de estos dos últimos elementos, previa poligonización de los viales, permite asignarles un determinado valor de elevación a partir del cual superponer ambos sobre el terreno. De esta forma, se fuerza a que el flujo de agua discorra por los viales y bordeando los edificios, siempre que así corresponda. Además, se plantea un valor de 5000 celdas como umbral para la formación de dicha red de flujo. Con este límite se obtiene una red lo suficientemente tupida como para alcanzar resultados precisos y realistas.

El tratamiento de los datos pluviométricos para la construcción del modelo meteorológico pone de manifiesto la gran capacidad de ajuste de dos funciones de entre las más de cincuenta testeadas: Johnson SB y Wakeby. Esta última se muestra especialmente polivalente, ya que dispone de hasta tres parámetros de forma distintos, lo cual posibilita su ajuste a una gran variedad de distribuciones de datos. La interpolación de tales registros pluviométricos alcanza resultados más precisos cuando se utilizan métodos geoestadísticos, toda vez que se cumplen los supuestos de normalidad y estacionariedad. En particular, los coeficientes de correlación calculados a partir de los valores registrados y los obtenidos por validación cruzada muestran una ligera preponderancia por parte del Kriging Ordinario sobre el Simple y el Empírico Bayesiano. Las lluvias sintéticas de diseño calculadas dan lugar a valores muy homogéneos para el total de subcuencas en que se divide el área de estudio. Estos resultados sugieren que, de cara a la extensión de este estudio a otras zonas, bastaría con tomar una lluvia de diseño única para la cuenca, ya que el rango de superficies en que puede oscilar la misma

no es lo suficientemente grande como para requerir de una diferenciación por subcuenca.

Por último, la metodología parcial propuesta para la construcción del modelo hidrológico se considera especialmente adecuada en este contexto, ya que los datos que se requieren para implementar sus formulaciones y modelos de cálculo subyacentes pueden obtenerse de manera sencilla mediante un SIG. Se tratan en todo caso de métodos de simulación que se sirven de información física sobre la cuenca, los tipos de suelo y las características geométricas de los elementos hidrográficos, lo que permite tener una imagen clara de los tres procesos fundamentales que modifican el agua desde su estado inicial (precipitación) hasta su estado final (escorrentía): exceso de precipitación (método del número de curva del SCS), transformación (hidrograma unitario modificado del SCS) y tránsito (método de Muskingum).

En consonancia con los objetivos expuestos al inicio del presente trabajo, a raíz de los resultados obtenidos se concluye que la metodología planteada es capaz de:

- Gestionar datos geomorfológicos espaciales mediante un sistema de información geográfica (SIG) para realizar operaciones de procesamiento del agua (dirección de flujo, acumulación de flujo, delineación de cuencas hidrográficas) que permitan generar los inputs de naturaleza física, meteorología e hidrológica que se requieren para ejecutar un modelo matemático de simulación.
- Diseñar una lluvia sintética de proyecto utilizando el método de los bloques alternados a partir de una serie larga de registros de precipitación para un período de retorno establecido, adaptando la distribución de los datos a funciones conocidas mediante pruebas de bondad de ajuste y creando un mapa de lluvias sirviéndose de técnicas de interpolación geoestadística.
- Simular los procesos hidrológicos que tienen lugar entre la caída de precipitación y su conversión final en escorrentía superficial mediante un modelo matemático de cálculo, considerando para ello los procesos de determinación del exceso de precipitación, la transformación de lluvia en caudal y el tránsito o propagación del caudal a través de la cuenca.

En resumen, el sistema de localización geográfica propuesto se ha construido a partir de un conjunto de herramientas, métodos y técnicas cuya selección se ha llevado a cabo con el propósito de obtener la mayor sinergia entre la capacidad de un SIG y un modelo de simulación hidrológica, de modo que se pueda generar el conocimiento necesario sobre el fenómeno de acumulación de escorrentía en espacios urbanos. Dicho conocimiento está llamado a resultar en una mejora de los procesos de gestión del agua, de modo que puedan diseñarse estrategias de actuación orientadas a fortalecer los sistemas de drenaje en las zonas detectadas mediante el sistema de localización propuesto. Dado que el modelo incluye parámetros relativos al tipo de superficie y su grado de impermeabilidad, su utilidad no está limitada a espacios urbanos, sino que también es de aplicación en cuencas rurales. Sin embargo, sí debe tenerse en cuenta que el alcance de la metodología no contempla el cálculo de parámetros relativos a la calidad del agua, sino que se ciñe al estudio de fenómenos que afectan a la cantidad en que esta se acumula.

6.2. Futuras líneas de investigación

Se enumeran a continuación una serie de propuestas para futuras líneas de investigación, que servirán como complemento o mejora de las aportaciones de este trabajo a la disciplina de estudio en que queda encuadrado:

- Contrastar los resultados obtenidos en este trabajo utilizando los programas ArcGIS y HEC-HMS con otra combinación de alternativas como GRASS o gvSIG y SWAT o SWMM, respectivamente. Teniendo en cuenta que no todos se sirven de los mismos métodos para procesar la información y realizar los cálculos hidrológicos, un análisis comparativo entre varios de ellos podría utilizarse para calibrar el sistema aquí propuesto. Además, su adaptación a otros entornos no haría sino extender su difusión y conocimiento.
- Diseñar una o varias macros que permitan integrar en ArcGIS los métodos de cálculo y los procesos que ejecutan los programas de simulación hidrológica, de forma que, además de la generación de información física sobre la cuenca, puedan llevarse a cabo en un entorno SIG las operaciones correspondientes a los modelos meteorológico e hidrológico. Contar con una herramienta de este tipo evitaría el tedioso proceso de exportación de datos, además de extender el uso de los SIGs con fines hidrológicos.
- Extender el alcance de la simulación hidrológica, de modo que no sólo se determine la cantidad del agua generada sino también la calidad de la misma. De este modo, la gestión del agua urbana podría afrontarse de forma integral, incluyendo también la calidad de la misma como un aspecto del proceso de planificación de rehabilitación. Nótese en este sentido que algunos sistemas de drenaje sostenible son capaces de realizar labores de depuración del agua, lo cual podría favorecer su utilización en algunos casos.
- Desarrollar una metodología multicriterio a implementar a continuación del sistema de localización aquí expuesto que permita seleccionar la mejor solución al problema de acumulación de escorrentía detectado. Las circunstancias y el contexto en que se encuentre cada tramo vial en riesgo por acumulación de escorrentía pueden ser muy diversos, debiendo afrontarse su gestión de manera integrada y teniendo en cuenta todas las condiciones que deban satisfacerse de cara a su rehabilitación. Los métodos de análisis multicriterio están destinados a hacer frente a este tipo de problemática, posibilitando la elección de la alternativa que mejor se adapte a los requerimientos de cada situación.

REFERENCIAS

- [1] J. Cebrián, D. Mark, Modelos topográficos digitales, Métodos Cuantitativos En Geografía: Enseñanza, Investigación Y Planeamiento, AGE, Madrid, 1986, pp. 1-354.
- [2] J. Bosque Sendra, Sistemas De Información Geográfica, 2nd ed., RIALP, Madrid (España), 1997.
- [3] P.A. Burrough, Principles of Geographical Systems for Land Resources Assessment, 1st ed., OUP Oxford, New York (USA), 1986.
- [4] I. Bracken, C.J. Webster, Information Technology in Geography and Planning: Including Principles of GIS, Routledge, London (UK), 1989.
- [5] NCGIA, Core curriculum in GIS, 1990.
- [6] V. Olaya, Sistemas De Información Geográfica, 2011.
- [7] M.A. Igarzábal, Los sistemas de información territorial en la planificación urbana y regional, Estudios Geográficos. 194 (1989) 157-165.
- [8] D.J. Maguire, An overview and definition of GIS, Geographical Information Systems: principles and applications. 1 (1991) 9-20.
- [9] J. Gutiérrez Puebla, M. Gould, SIG: Sistemas De Información Geográfica, Síntesis, Madrid (España), 1994.
- [10] A.U. Frank, The use of geographical information systems: the interface is the system, in: D. Medyckyj-Scott, H. Heranhaw (Eds.), Human Factors in Geographical Information Systems, London (UK), 1993, pp. 3-14.
- [11] D.J. Cowen, GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 54 (1988) 1551-1555.
- [12] S. Aronoff, Geographic Information Systems: A Management Perspective, WDL Publications, Ottawa (Canada), 1989.
- [13] K.J. Dueker, Geographic information systems and computer-aided mapping. American Planning Association. 53 (1987) 383-390.
- [14] H.J. Simkowitz, Geographic Information Systems: An Important Technology for Transportation Planning and Operations, 1236th ed., Transportation Research Record, 1989.
- [15] R.G. Healey, Database management systems, Geographic Information Systems: Principles and Applications. 1 (1991) 251-267.
- [16] E. Chuvieco, Teledetección Ambiental: La Observación De La Tierra Desde El Espacio, Ariel, Madrid (España), 2002.
- [17] F.W. Davis, D.S. Simonett, GIS and remote sensing, Geographical information systems: principles and applications. 14 (1991) 191-213.
- [18] Microsoft, SQL Server, <http://www.microsoft.com/es-es/server-cloud/products/sql-server/>.
- [19] IBM, DB2 Spatial Extender for Linux, UNIX and Windows, <http://www-03.ibm.com/software/products/en/db2spaext>.
- [20] Oracle, Oracle Spatial y Oracle Locator, <http://www.oracle.com/es/products/database/options/spatial/index.html>.

- [21] ESRI, ArcGIS for Server, <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisserver>.
- [22] Geo Info Strategies, GeoMedia® Catalog, http://www.geoinfo.rs/E/intergraph/geoMediaCatalog_e.asp.
- [23] ArcGIS Help 10.0, What is ArcCatalog? <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//006m00000069000000>. htm.
- [24] ArcGIS Help 10.0, What is ArcMap? <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//006600000001000000>.
- [25] Hexagon Geospatial, GeoMedia, <http://www.hexagongeospatial.com/products/geomedia/Details.aspx>.
- [26] Clark Labs, Idrisi, <http://www.clarklabs.org/>.
- [27] Manifold, Manifold® System, <http://www.manifold.net/>.
- [28] Hexagon Geospatial, Erdas Imagine, <http://www.hexagongeospatial.com/products/ERDAS-IMAGINE/details.aspx>.
- [29] Google, Google Earth, <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>.
- [30] PostGIS, About PostGIS, <http://postgis.net/>.
- [31] Oracle, MySQL, <http://www.mysql.com/>.
- [32] MapServer, Welcome to MapServer, <http://mapserver.org/index.html>.
- [33] The GeoServer Project, GeoServer, <http://geoserver.org/>.
- [34] OSGeo, deegree, <http://www.deegree.org/>.
- [35] OSGeo, MapGuide Project Home, <https://mapguide.osgeo.org/>.
- [36] 52north, 52north exploring horizons, <http://52north.org/>.
- [37] OSGeo, GeoNetwork opensource, <http://geonetwork-opensource.org/>.
- [38] CatMDEdit, About CatMDEdit, <http://catmdedit.sourceforge.net/>.
- [39] OSGeo, GRASS GIS, <http://grass.osgeo.org/>.
- [40] QGIS, QGIS - A Free and Open Source Geographic Information System, <http://www.qgis.org/en/site/>.
- [41] gvSIG Association, gvSIG Association: New ideas for a new model, <http://www.gvsig.com/>.
- [42] SAGA GIS, SAGA - System for Automated Geoscientific Analyses, <http://www.saga-gis.org/>.
- [43] OpenJUMP, OpenJUMP GIS, <http://www.openjump.org/>.
- [44] uDig, uDig: User-friendly Desktop Internet GIS, <http://udig.refractor.net/>.

- [45] P. Ramsey, User Friendly Desktop Internet GIS (uDig) for OpenGIS Spatial Data Infrastructures, Technical report, Refrations Research Inc. (2003).
- [46] M. Gómez Valentín, J. Dolz Ripollés, R. López Alonso, L. Nanía Escobar, H. Sánchez Tueros, P. Malgrat, B. Russo, D. Suñer, R. Concha Jopia, Hidrología Urbana, Grupo FLUMEN, Barcelona (Spain), 2007.
- [47] Grupo del Banco Mundial, Población urbana (% del total), <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>. (2013).
- [48] M.J. Hall, Urban Hydrology, Elsevier, London (UK), 1984.
- [49] F. Yoshino, J. Yoshitani, Estimation of runoff changes due to urbanization in Japan, Fifth International Conference on Urban Storm Drainage. (1990).
- [50] J.W. Delleur, Introduction to urban hydrology and stormwater management, in: Anonymous Urban Stormwater Hydrology, Wiley Online Library, Washington DC (USA), 1982, pp. 1-34.
- [51] R. Arandes, Planeamiento urbanístico y drenaje urbano, in: J. Dolz, M. Gómez, J.P. Martín (Eds.), Inundaciones Y Redes De Drenaje Urbano, Servicio de Publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid (Spain), 1992.
- [52] Ministère de l'Environnement, Ruisellement pluvial urbain, Ministère de l'Environnement. (1994).
- [53] Task Force on CSO Pollution Abatement, Combined sewer overflow pollution abatement, in: Anonymous Manual of Practice N° FD-17 for Water Pollution Control, Water Pollution Control Federation, Alexandria (USA), 1989.
- [54] ASCE, Design and construction of urban stormwater management systems, Manual and reports of engineering practices. 77 (1992).
- [55] B.R. Jiménez Gallardo, Modelización de la escorrentía superficial urbana, in: Anonymous Contaminación Por Escorrentía Urbana, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid (Spain), 1999, pp. 426-445.
- [56] D.R. Dawdy, R.W. Lichty, J.M. Bergmann, A Rainfall-Runoff Simulation Model for Estimation of Flood Peaks for Small Drainage Basins, U.S. Govt. Print. Off., 1972.
- [57] W. Whipple, N.S. Grigg, T. Grizzard, C.W. Randall, R.P. Shubinski, L.S. Tucker, Storm Water Management in Urbanizing Areas, Prentice Hall, New Jersey (USA), 1983.
- [58] M.P. Wanielista, A.Y. Yousef, Quantity and quality, Stormwater Management, Ann Arbor Science Publishers, Inc., Ann Arbor (USA), 1979.
- [59] V. Mockus, Hydrology, National Engineering Handbook, Soil Conservation Service (SCS), 1964.
- [60] C. Bastidas, Manual Para El Uso Del Modelo Hidrológico HEC-HMS, Universidad Central de Venezuela, Caracas (Venezuela).
- [61] FLUMEN, Manual de utilización del programa HEC-HMS, 1-35.
- [62] L.S. Nanía, Manual Básico De HEC-HMS 3.0.0. Y HEC-GeoHMS 1.1, Universidad de Granada, Granada (Spain), 2007.
- [63] W.A. Scharffenberg, Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual, 4th ed., US Army Corps of Engineers, Washington DC (USA), 2013.

- [64] L. Fuchs, Modelos de lluvia-escorrentía en Europa. Análisis de las posibilidades de los modelos, Curso de nuevas tecnologías aplicadas al diseño y renovación de alcantarillados urbanos. (1992) 207-232.
- [65] Danish Hydraulic Institute, MOUSE. An Integrated Modelling Package for Urban Drainage and Sewer Systems, Nofo print, Hørsholm (Denmark), 1993.
- [66] W.C. Huber, R.E. Dickinson, Storm Water Management Model, 4th ed., U.S. EPA, Environmental Research Laboratory, 1988.
- [67] S.J. Nix, Urban Stormwater Modeling and Simulation, Lewis Publishers, Florida (USA), 1994.
- [68] W. Huber, Experiencia En El Análisis Y Solución De Problema De Drenaje Urbano Con El Modelo SWMM, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid (Spain), 1992.
- [69] W. James, New Techniques for Modelling the Management of Stormwater Quality Impacts, Lewis Publishers, 1993.
- [70] N. Brod, Influencia De La Conceptualización De Pequeñas Cuencas Urbanas En La Simulación De Hidrogramas De Escorrentía Superficial Mediante El Stormwater Management Model (SWMM), Universidad de Cantabria, Santander (Spain), 1994.
- [71] M. Gómez, Inundaciones y redes de drenaje urbano, Análisis Hidráulico De Las Redes De Drenaje Urbano, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid (Spain), 1992, pp. 59-78.
- [72] D.F. Kibler, L.A. Roesner, J.R. Monser, San Francisco Stormwater Model: User's Manual and Program Documentation, Water Resources Engineers, Walnut Creek (USA), 1974.
- [73] W.C. Huber, J.P. Heaney, S.J. Nix, R.E. Dickinson, D.J. Polmann, Storm Water Management Model: User's Manual, Version III, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati (USA), 1983.
- [74] J.W. Labadie, N.S. Grigg, D.M. Morrow, D.K. Robinson, Cost-Effective Design and Operation of Urban Stormwater Control Systems: Decision-Support Software, Colorado State Univ Water Resources, Fort Collins (USA), 1984.
- [75] S.L. Neitsch, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, R. Srinivasan, J.R. Williams, Soil and Water Assessment Tool: User's Manual (Version 2000), Texas Water Resources Institute, College Station (USA), 2002.
- [76] D.A. Woolhiser, R.E. Smith, D.C. Goodrich, KINEROS, A Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1990.
- [77] J.K. Berry, J.K. Sailor, Use of a geographic information system for storm runoff prediction from small urban watersheds, Environmental Management. 11 (1987) 21-27.
- [78] M.M. Stuebe, D.M. Johnston, Runoff volume estimation using GIS techniques, Water Resources Bulletin. 26 (1990) 611-620.
- [79] D. Djokic, D.R. Maidment, Terrain analysis for urban stormwater modelling, Hydrological Processes. 5 (1991) 115-124.
- [80] N.R. Bhaskar, W.P. James, R.S. Devulapalli, Hydrologic parameter estimation using geographic information system, Journal of Water Resources Planning & Management. 118 (1992) 492-512.
- [81] B.A. Devantier, A.D. Feldman, Review of GIS applications in hydrologic modeling, Journal of Water Resources Planning & Management. 119 (1993) 246-261.

- [82] S.P. Meyer, T.H. Salem, J.W. Labadie, Geographic information systems in urban storm-water management, *Journal of Water Resources Planning & Management*. 119 (1993) 206-228.
- [83] C. Shea, W. Grayman, D. Darden, R.M. Males, P. Sushinsky, Integrated GIS and hydrologic modeling for countywide drainage study, *Journal of Water Resources Planning & Management*. 119 (1993) 112-128.
- [84] B.E. Vieux, DEM aggregation and smoothing effects on surface runoff modeling, *Journal of Computing in Civil Engineering*. 7 (1993) 310-338.
- [85] J.J. Warwick, S.J. Hanes, Efficacy of ARC/INFO GIS application to hydrologic modeling, *Journal of Water Resources Planning & Management*. 120 (1994) 366-381.
- [86] R.G. Greene, J.F. Cruise, Urban watershed modeling using geographic information system, *Journal of Water Resources Planning & Management*. 121 (1995) 318-325.
- [87] P.Y. Julien, B. Sagharian, F.L. Ogden, Raster-based hydrologic modeling of spatially-varied surface runoff, *Water Resources Bulletin*. 31 (1995) 523-536.
- [88] R.L. Bingner, Runoff simulated from Goodwin Creek Watershed using SWAT, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 39 (1996) 85-90.
- [89] A.R. García-Martinó, G.S. Warner, F.N. Scatena, D.L. Civco, Rainfall, runoff and elevation relationships in the Luquillo Mountains of Puerto Rico, *Caribbean Journal of Science*. 32 (1996) 413-424.
- [90] U.M. Shamsi, Storm-water management implementation through modeling and GIS, *Journal of Water Resources Planning and Management*. 122 (1996) 114-127.
- [91] J.G. Arnold, R. Srinivasan, R.S. Muttiah, J.R. Williams, Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development, *Journal of the American Water Resources Association*. 34 (1998) 73-89.
- [92] R. Srinivasan, T.S. Ramanarayanan, J.G. Arnold, S.T. Bednarz, Large area hydrologic modeling and assessment part II: Model application, *Journal of the American Water Resources Association*. 34 (1998) 91-101.
- [93] A.P.J. De Roo, Modelling runoff and sediment transport in catchments using GIS, *Hydrological Processes*. 12 (1998) 905-922.
- [94] V. Krysanova, D.-. Müller-Wohlfeil, A. Becker, Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale watersheds, *Ecological Modelling*. 106 (1998) 261-289.
- [95] J.R. Frankenberger, E.S. Brooks, M.T. Walter, M.F. Walter, T.S. Steenhuis, A GIS-based variable source area hydrology model, *Hydrological Processes*. 13 (1999) 805-822.
- [96] J. Gurtz, A. Baltensweiler, H. Lang, Spatially distributed hydrotope-based modelling of evapotranspiration and runoff in mountainous basins, *Hydrological Processes*. 13 (1999) 2751-2768.
- [97] F.L. Hellweger, D.R. Maidment, Definition and connection of hydrologic elements using geographic data, *Journal of Hydrologic Engineering*. 4 (1999) 10-18.
- [98] A.H. Thielen, A. Lücke, B. Diekkrüger, O. Richter, Scaling input data by GIS for hydrological modelling, *Hydrological Processes*. 13 (1999) 611-630.
- [99] B. Bhaduri, J. Harbor, B. Engel, M. Grove, Assessing watershed-scale, long-term hydrologic impacts of land-use change using a GIS-NPS model, *Environmental Management*. 26 (2000) 643-658.

- [100] S.E. Brun, L.E. Band, Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed, *Computers, Environment and Urban Systems*. 24 (2000) 5-22.
- [101] M. Hernandez, S.N. Miller, D.C. Goodrich, B.F. Goff, W.G. Kepner, C.M. Edmonds, K.B. Jones, Modeling runoff response to land cover and rainfall spatial variability in semi-arid watersheds, *Environmental monitoring and assessment*. 64 (2000) 285-298.
- [102] D. Pullar, D. Springer, Towards integrating GIS and catchment models, *Environmental Modelling and Software*. 15 (2000) 451-459.
- [103] C. He, Integration of geographic information systems and simulation model for watershed management, *Environmental Modelling and Software*. 18 (2003) 809-813.
- [104] A.H. Schumann, R. Funke, G.A. Schultz, Application of a geographic information system for conceptual rainfall-runoff modeling, *Journal of Hydrology*. 240 (2000) 45-61.
- [105] F. Olivera, Extracting hydrologic information from spatial data for HMS modeling, *Journal of Hydrologic Engineering*. 6 (2001) 524-531.
- [106] D.J. Sample, J.P. Heaney, L.T. Wright, R. Koustas, Geographic information systems, decision support systems, and urban storm-water management, *Journal of Water Resources Planning and Management*. 127 (2001) 155-161.
- [107] Q. Weng, Modeling urban growth effects on surface runoff with the integration of remote sensing and GIS, *Environmental Management*. 28 (2001) 737-748.
- [108] J.-. Choi, B.A. Engel, S. Muthukrishnan, J. Harbor, GIS based long term hydrologic impact evaluation for watershed urbanization, *Journal of the American Water Resources Association*. 39 (2003) 623-635.
- [109] J.G. Lee, J.P. Heaney, Estimation of urban imperviousness and its impacts on storm water systems, *Journal of Water Resources Planning and Management*. 129 (2003) 419-426.
- [110] M. Di Luzio, R. Srinivasan, J.G. Arnold, A GIS-coupled hydrological model system for the watershed assessment of agricultural nonpoint and point sources of pollution, *Transactions in GIS*. 8 (2004) 113-136.
- [111] A.K. Gosain, S. Rao, GIS-based technologies for watershed management, *Current Science*. 87 (2004) 948-953.
- [112] N. Al-Abed, F. Abdulla, A. Abu Khyarah, GIS-hydrological models for managing water resources in the Zarqa River basin, *Environmental Geology*. 47 (2005) 405-411.
- [113] M.R. Knebl, Z.-. Yang, K. Hutchison, D.R. Maidment, Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/ RAS: A case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event, *Journal of Environmental Management*. 75 (2005) 325-336.
- [114] C. Qi, S. Grunwald, GIS-based hydrologic modeling in the Sandusky watershed using SWAT, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 48 (2005) 169-180.
- [115] G. de Winnaar, G.P.W. Jewitt, M. Horan, A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River basin, South Africa, *Physics and Chemistry of the Earth*. 32 (2007) 1058-1067.
- [116] J. Barco, K.M. Wong, M.K. Stenstrom, Automatic calibration of the U.S. EPA SWMM model for a large urban catchment, *Journal of Hydraulic Engineering*. 134 (2008) 466-474.

- [117] S.Y. Park, K.W. Lee, I.H. Park, S.R. Ha, Effect of the aggregation level of surface runoff fields and sewer network for a SWMM simulation, *Desalination*. 226 (2008) 328-337.
- [118] J. Chen, A.A. Hill, L.D. Urbano, A GIS-based model for urban flood inundation, *Journal of Hydrology*. 373 (2009) 184-192.
- [119] Z. Dongquan, C. Jining, W. Haozheng, T. Qingyuan, C. Shangbing, S. Zheng, GIS-based urban rainfall-runoff modeling using an automatic catchment-discretization approach: A case study in Macau, *Environmental Earth Sciences*. 59 (2009) 465-472.
- [120] W.S. Han, S.J. Burian, Determining effective impervious area for urban hydrologic modeling, *Journal of Hydrologic Engineering*. 14 (2009) 111-120.
- [121] J. Mwenge Kahinda, A.E. Taigbenu, B.B.P. Sejamoholo, E.S.B. Lillie, R.J. Boroto, A GIS-based decision support system for rainwater harvesting (RHADESS), *Physics and Chemistry of the Earth*. 34 (2009) 767-775.
- [122] A.K. Verma, M.K. Jha, R.K. Mahana, Evaluation of HEC-HMS and WEPP for simulating watershed runoff using remote sensing and geographical information system, *Paddy and Water Environment*. 8 (2010) 131-144.
- [123] E. Abushandi, B. Merkel, Modelling Rainfall Runoff Relations Using HEC-HMS and IHACRES for a Single Rain Event in an Arid Region of Jordan, *Water Resources Management*. 27 (2013) 2391-2409.
- [124] IPCC, Fourth Assessment Report: Climate Change, AR4. 4 (2007).
- [125] J.M. Gutiérrez, S. Herrera, D. San Martín, C. Sordo, J.J. Rodríguez, M. Frochoso, R. Ancell, J. Fernández, A.S. Cofiño, M.R. Pons, Escenarios Regionales Probabilísticos De Cambio Climático En Cantabria: Termopluiometría, Gobierno de Cantabria-Consejería de Medio Ambiente y Universidad de Cantabria, Santander (Spain), 2010.
- [126] Gobierno de Cantabria, Visualizador de Información Geográfica (v 1.6), http://mapas.cantabria.es/index.html?config=config_descarga.xml.
- [127] ArcGIS Help 10.2, How Fill works, <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#//009z00000061000000>. 2014.
- [128] D.G. Tarboton, R.L. Bras, I. Rodriguez-Iturbe, On the extraction of channel networks from digital elevation data, *Hydrological Processes*. 5 (1991) 81-100.
- [129] S.K. Jenson, J.O. Domingue, Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 54 (1988) 1593-1600.
- [130] ArcGIS Help 10.2, How Flow Direction works, http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/How_Flow_Direction_works/009z00000063000000/. 2014.
- [131] D.D. Greenlee, Raster and vector processing for scanned linework, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 53 (1987) 1383-1387.
- [132] ArcGIS Help 10.2, How Flow Accumulation works, http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/How_Flow_Accumulation_works/009z00000062000000/. 2014.
- [133] ArcGIS Help 10.2, Identifying stream networks, <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/009z0000005v000000>. 2014.

- [134] ArcGIS Help 10.2, Stream Link (Spatial Analyst), <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/009z00000056000000>. 2014.
- [135] ArcGIS Help 10.2, How Watershed works, <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/na/009z00000068000000/>. 2014.
- [136] J.C. Houghton, Birth of a parent: The Wakeby distribution for modeling flood flows, *Water Resources Research*. 14 (1978) 1105-1109.
- [137] S.W. Looney, T.R. Gullett Jr, Use of the correlation coefficient with normal probability plots, *The American Statistician*. 39 (1985) 75-79.
- [138] A. Rahman, M.A. Zaman, K. Haddad, S. El Adlouni, C. Zhang, Applicability of Wakeby distribution in flood frequency analysis: A case study for eastern Australia, *Hydrological Processes*. (2014).
- [139] N.L. Johnson, *Continuous Univariate Distributions: V. 1*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York (USA), 1994.
- [140] N.L. Johnson, Systems of frequency curves generated by methods of translation, *Biometrika*. (1949) 149-176.
- [141] M.A. Stephens, EDF statistics for goodness of fit and some comparisons, *Journal of the American statistical Association*. 69 (1974) 730-737.
- [142] N. Smirnov, Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions, *The Annals of Mathematical Statistics*. (1948) 279-281.
- [143] T.W. Anderson, D.A. Darling, A test of goodness of fit, *Journal of the American Statistical Association*. 49 (1954) 765-769.
- [144] N.S.-. Lam, Spatial interpolation methods: a review, *The American Cartographer*. 10 (1983) 129-150.
- [145] E. Castillo-López, Interpolación espacial de datos, *Cursos de Verano de la UC*. (2010) 1-50.
- [146] K.A. Eldrandaly, M.S. Abu-Zaid, Comparison of six GIS-based spatial interpolation methods for estimating air temperature in western Saudi Arabia, *Journal of Environmental Informatics*. 18 (2011) 38-45.
- [147] ArcGIS Help 10.2, Deterministic methods for spatial interpolation, <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#/003100000023000000>. 2014.
- [148] ArcGIS Help 10.2, Understanding how to create surfaces using geostatistical techniques, <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#/00310000003p000000>. 2014.
- [149] W.R. Tobler, A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*. (1970) 234-240.
- [150] K. Chang, *Introduction to Geographic Information Systems*, 7th ed., McGraw-Hill New York, New York (USA), 2010.
- [151] ArcGIS Help 10.2, How inverse distance weighting works, <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#/na/00310000002m000000/>. 2014.
- [152] ArcGIS Help 10.2, How radial basis functions works, <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#/na/00310000002m000000/>. 2014.

- [153] ArcGIS Help 10.2, How local polynomial interpolation works, <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#//na/00310000002m000000/>. 2014.
- [154] ArcGIS Help 10.2, How Kriging works, <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#//na/009z00000076000000/>. 2014.
- [155] M.A. Oliver, R. Webster, Kriging: a method of interpolation for geographical information systems, *International Journal of Geographical Information Systems*. 4 (1990) 313-332.
- [156] R. Giraldo, *Introducción a La Geoestadística, Teoría Y Aplicación*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia), 2002.
- [157] A.B. McBratney, R. Webster, Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Science*. 37 (1986) 617-639.
- [158] T.M. Burgess, R. Webster, Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties, *Journal of Soil Science*. 31 (1980) 315-331.
- [159] ArcGIS Help 10.2, Understanding ordinary kriging, <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#//00310000003s000000/>. 2014.
- [160] ArcGIS Help 10.2, Understanding simple kriging, <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#//003100000040000000/>. 2014.
- [161] ArcGIS Help 10.1, What is Empirical Bayesian Kriging? <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//0031000000q9000000/>. 2014.
- [162] J. Pilz, G. Spöck, Why do we need and how should we implement Bayesian kriging methods, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 22 (2008) 621-632.
- [163] J.P. Chiles, P. Delfiner, *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*, John Wiley & Sons, New York (USA), 2009.
- [164] ArcGIS Help 10.1, Performing cross-validation and validation, <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//na/003100000059000000/>. 2014.
- [165] R. Pizarro, C. Sangüesa, E. Martínez, *Módulo 2: Curvas Intensidad Duración Frecuencia*, Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos LTDA. (2003).
- [166] J.R. Témez, *Cálculo Hidrometeorológico De Caudales Máximos En Pequeñas Cuencas Naturales*, MOPU, Madrid (Spain), 1978.
- [167] *Instrucción de Carreteras, 5.2-IC "Drenaje Superficial"*, 14th ed., MOPU, Madrid (Spain), 1990.
- [168] V.T. Chow, D.R. Maidment, L.W. Mays, *Hidrología Aplicada*, McGraw-Hill, Madrid (Spain), 1994.
- [169] J. Sánchez San Román, *Cálculo De La Precipitación Neta Mediante El Método Del SCS*, Universidad de Salamanca (USAL), Salamanca (España), 2012.
- [170] R. Cronshey, *Urban Hydrology for Small Watersheds*, Soil Conservation Service (SCS), 1986.
- [171] K. Subramanya, *Flow in Open Channels*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York (USA), 1982.
- [172] D.H. Pilgrim, I. Cordery, Flood runoff, in: *Anonymous Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill, New York (USA), 1993.

- [173] M. Wanielista, R. Kersten, R. Eaglin, Hydrology: Water Quantity and Quality Control. John Wiley and Sons, 1997.
- [174] J. Sánchez San Román, Hidrología Superficial (III): Relación Precipitación - Escorrentía, Universidad de Salamanca (USAL), Salamanca (España), 2012.
- [175] USDA, Hydrology, in: Anonymous National Engineering Handbook, 2nd ed., Soil Conservation Service (SCS), Washington, DC (USA), 1972.
- [176] J. Sánchez San Román, Tránsito De Hidrogramas, Universidad de Salamanca (USAL), Salamanca (España), 2013.
- [177] M.A. Gill, Flood routing by the Muskingum method, Journal of Hydrology. 36 (1978) 353-363.
- [178] G.E. Hollis, The effect of urbanization on floods of different recurrence interval, Water Resources Research. 11 (1975) 431-435.
- [179] D. Butler, J. Davies, Urban Drainage, 2nd ed., CRC Press, London (UK), 2004.
- [180] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Mapa de caudales máximos en régimen natural, <http://www.magrama.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/>.

ANEXO I: AJUSTE DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS

En este anexo se muestran las tablas de ajuste probabilístico para cada una de las 116 series de registros pluviométricos con que se contaron para la realización de este trabajo. Se detallan las precipitaciones máximas probables para 6 períodos de retorno distintos, así como el nombre de la función que presentó mejor ajuste en cada caso, de acuerdo a los estadísticos de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y Anderson-Darling (A-D). Estas tablas forman parte de los resultados del modelo meteorológico recogidos en el apartado 5.2 del documento.

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,475
5	0,8	60,532
10	0,9	66,779
25	0,96	74,401
50	0,98	79,723
100	0,99	84,690
Wakeby	K-S	0,05777
	A-D	0,14981

Tabla 10. Ajuste de datos en P1

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,327
5	0,8	60,547
10	0,9	66,532
25	0,96	74,493
50	0,98	80,851
100	0,99	87,637
Wakeby	K-S	0,0562
	A-D	0,18134

Tabla 11. Ajuste de datos en P2

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,919
5	0,8	61,109
10	0,9	67,178
25	0,96	74,686
50	0,98	80,009
100	0,99	85,043
Wakeby	K-S	0,05266
	A-D	0,12068

Tabla 12. Ajuste de datos en P3

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,926
5	0,8	62,244
10	0,9	68,933
25	0,96	77,735
50	0,98	84,669
100	0,99	91,972
Gen. Logistic	K-S	0,05751
	A-D	0,25178

Tabla 13. Ajuste de datos en P4

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,546
5	0,8	62,240
10	0,9	69,502
25	0,96	79,430
50	0,98	87,535
100	0,99	96,331
Dagum	K-S	0,06453
	A-D	0,23453

Tabla 14. Ajuste de datos en P5

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,151
5	0,8	62,305
10	0,9	69,073
25	0,96	77,101
50	0,98	82,777
100	0,99	88,238
Lognormal	K-S	0,05096
	A-D	0,16577

Tabla 15. Ajuste de datos en P6

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,200
5	0,8	61,256
10	0,9	67,610
25	0,96	74,841
50	0,98	79,548
100	0,99	83,864
Wakeby	K-S	0,06487
	A-D	0,12866

Tabla 16. Ajuste de datos en P7

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,346
5	0,8	62,634
10	0,9	69,238
25	0,96	76,707
50	0,98	81,680
100	0,99	86,183
Gen. Extr. Val.	K-S	0,04498
	A-D	0,14899

Tabla 17. Ajuste de datos en P8

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	52,209
5	0,8	63,919
10	0,9	70,854
25	0,96	78,940
50	0,98	84,574
100	0,99	89,937
Lognormal (3P)	K-S	0,06702
	A-D	0,29103

Tabla 18. Ajuste de datos en P9

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,686
5	0,8	63,551
10	0,9	70,630
25	0,96	78,906
50	0,98	84,678
100	0,99	90,169
Log-Pearson 3	K-S	0,08356
	A-D	0,37492

Tabla 19. Ajuste de datos en P10

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,857
5	0,8	62,490
10	0,9	69,477
25	0,96	77,564
50	0,98	83,073
100	0,99	88,159
Gen. Extr. Val.	K-S	0,06141
	A-D	0,23283

Tabla 20. Ajuste de datos en P11

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,345
5	0,8	61,460
10	0,9	68,170
25	0,96	76,067
50	0,98	81,597
100	0,99	86,871
Fatigue Life	K-S	0,05719
	A-D	0,19212

Tabla 21. Ajuste de datos en P12

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,561
5	0,8	61,858
10	0,9	68,937
25	0,96	76,777
50	0,98	81,739
100	0,99	85,996
Wakeby	K-S	0,0702
	A-D	0,17689

Tabla 22. Ajuste de datos en P13

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,345
5	0,8	60,521
10	0,9	67,074
25	0,96	74,941
50	0,98	80,352
100	0,99	85,339
Wakeby	K-S	0,07921
	A-D	0,20743

Tabla 23. Ajuste de datos en P14

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,734
5	0,8	63,753
10	0,9	69,894
25	0,96	75,183
50	0,98	77,839
100	0,99	79,754
Johnson S_B	K-S	0,0455
	A-D	0,14037

Tabla 24. Ajuste de datos en P15

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,984
5	0,8	64,720
10	0,9	71,736
25	0,96	78,219
50	0,98	81,687
100	0,99	84,303
Johnson S_B	K-S	0,05738
	A-D	0,14718

Tabla 25. Ajuste de datos en P16

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,425
5	0,8	63,918
10	0,9	70,840
25	0,96	77,269
50	0,98	80,725
100	0,99	83,343
Johnson S_B	K-S	0,06378
	A-D	0,21463

Tabla 26. Ajuste de datos en P17

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,812
5	0,8	63,052
10	0,9	70,027
25	0,96	76,486
50	0,98	79,889
100	0,99	82,387
Wakeby	K-S	0,05757
	A-D	0,16664

Tabla 27. Ajuste de datos en P18

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,721
5	0,8	62,117
10	0,9	68,654
25	0,96	74,997
50	0,98	78,575
100	0,99	81,394
Johnson S_B	K-S	0,07113
	A-D	0,15291

Tabla 28. Ajuste de datos en P19

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,885
5	0,8	61,501
10	0,9	68,414
25	0,96	75,684
50	0,98	80,048
100	0,99	83,628
Wakeby	K-S	0,05797
	A-D	0,16799

Tabla 29. Ajuste de datos en P20

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,496
5	0,8	60,360
10	0,9	66,893
25	0,96	74,016
50	0,98	78,454
100	0,99	82,213
Wakeby	K-S	0,06564
	A-D	0,16832

Tabla 30. Ajuste de datos en P21

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,455
5	0,8	63,132
10	0,9	69,041
25	0,96	74,149
50	0,98	76,738
100	0,99	78,621
Johnson S_B	K-S	0,05347
	A-D	0,12616

Tabla 31. Ajuste de datos en P22

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,180
5	0,8	64,231
10	0,9	72,417
25	0,96	81,150
50	0,98	86,538
100	0,99	91,088
Johnson S_B	K-S	0,05195
	A-D	0,1431

Tabla 32. Ajuste de datos en P23

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,982
5	0,8	63,665
10	0,9	71,537
25	0,96	80,067
50	0,98	85,398
100	0,99	89,929
Wakeby	K-S	0,05098
	A-D	0,1871

Tabla 33. Ajuste de datos en P24

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,964
5	0,8	63,054
10	0,9	70,545
25	0,96	78,798
50	0,98	84,065
100	0,99	88,627
Wakeby	K-S	0,05563
	A-D	0,16053

Tabla 34. Ajuste de datos en P25

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,506
5	0,8	62,357
10	0,9	69,718
25	0,96	77,505
50	0,98	82,289
100	0,99	86,323
Johnson S_B	K-S	0,04531
	A-D	0,12433

Tabla 35. Ajuste de datos en P26

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,724
5	0,8	62,352
10	0,9	69,529
25	0,96	77,100
50	0,98	81,748
100	0,99	85,670
Johnson S_B	K-S	0,04856
	A-D	0,09534

Tabla 36. Ajuste de datos en P27

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,633
5	0,8	60,583
10	0,9	67,027
25	0,96	73,481
50	0,98	77,249
100	0,99	80,306
Johnson S_B	K-S	0,05768
	A-D	0,17179

Tabla 37. Ajuste de datos en P28

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,186
5	0,8	63,519
10	0,9	69,693
25	0,96	77,334
50	0,98	83,545
100	0,99	90,429
Wakeby	K-S	0,05235
	A-D	0,13315

Tabla 38. Ajuste de datos en P29

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,842
5	0,8	63,440
10	0,9	70,830
25	0,96	79,525
50	0,98	85,860
100	0,99	92,147
Wakeby	K-S	0,05208
	A-D	0,09426

Tabla 39. Ajuste de datos en P30

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,960
5	0,8	62,900
10	0,9	70,072
25	0,96	76,808
50	0,98	80,460
100	0,99	83,225
Beta	K-S	0,06521
	A-D	0,22856

Tabla 40. Ajuste de datos en P31

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,252
5	0,8	62,240
10	0,9	69,153
25	0,96	75,919
50	0,98	79,764
100	0,99	82,813
Johnson S_B	K-S	0,08651
	A-D	0,2826

Tabla 41. Ajuste de datos en P32

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,333
5	0,8	62,237
10	0,9	68,892
25	0,96	75,178
50	0,98	78,628
100	0,99	81,288
Johnson S_B	K-S	0,07727
	A-D	0,31689

Tabla 42. Ajuste de datos en P33

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,544
5	0,8	62,468
10	0,9	68,644
25	0,96	74,057
50	0,98	76,790
100	0,99	78,378
Beta	K-S	0,07164
	A-D	0,32114

Tabla 43. Ajuste de datos en P34

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,844
5	0,8	60,900
10	0,9	67,170
25	0,96	73,173
50	0,98	76,518
100	0,99	79,129
Johnson S_B	K-S	0,08141
	A-D	0,26425

Tabla 44. Ajuste de datos en P35

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,986
5	0,8	64,498
10	0,9	72,015
25	0,96	79,931
50	0,98	84,734
100	0,99	88,713
Wakeby	K-S	0,05775
	A-D	0,21367

Tabla 45. Ajuste de datos en P36

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,776
5	0,8	63,761
10	0,9	71,350
25	0,96	78,747
50	0,98	82,859
100	0,99	86,019
Wakeby	K-S	0,05651
	A-D	0,16519

Tabla 46. Ajuste de datos en P37

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,494
5	0,8	63,442
10	0,9	70,615
25	0,96	77,220
50	0,98	80,685
100	0,99	83,219
Wakeby	K-S	0,04809
	A-D	0,15496

Tabla 47. Ajuste de datos en P38

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,759
5	0,8	62,425
10	0,9	68,854
25	0,96	74,257
50	0,98	76,888
100	0,99	78,736
Johnson S_B	K-S	0,06595
	A-D	0,1672

Tabla 48. Ajuste de datos en P39

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,224
5	0,8	62,758
10	0,9	68,494
25	0,96	72,891
50	0,98	74,808
100	0,99	76,012
Beta	K-S	0,06396
	A-D	0,22641

Tabla 49. Ajuste de datos en P40

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,270
5	0,8	61,727
10	0,9	66,898
25	0,96	71,392
50	0,98	73,885
100	0,99	75,917
Wakeby	K-S	0,0608
	A-D	0,17079

Tabla 50. Ajuste de datos en P41

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,057
5	0,8	61,670
10	0,9	67,061
25	0,96	71,239
50	0,98	73,082
100	0,99	74,251
Beta	K-S	0,07579
	A-D	0,36505

Tabla 51. Ajuste de datos en P42

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,644
5	0,8	60,096
10	0,9	65,793
25	0,96	71,034
50	0,98	73,848
100	0,99	75,986
Johnson S_B	K-S	0,07561
	A-D	0,31542

Tabla 52. Ajuste de datos en P43

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,761
5	0,8	65,608
10	0,9	74,203
25	0,96	83,104
50	0,98	88,386
100	0,99	92,688
Johnson S_B	K-S	0,05088
	A-D	0,11868

Tabla 53. Ajuste de datos en P44

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,681
5	0,8	64,450
10	0,9	72,703
25	0,96	80,796
50	0,98	85,318
100	0,99	88,808
Wakeby	K-S	0,05711
	A-D	0,12721

Tabla 54. Ajuste de datos en P45

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,621
5	0,8	63,667
10	0,9	71,226
25	0,96	78,443
50	0,98	82,392
100	0,99	85,412
Johnson S_B	K-S	0,06314
	A-D	0,25975

Tabla 55. Ajuste de datos en P46

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,977
5	0,8	63,995
10	0,9	71,221
25	0,96	77,167
50	0,98	79,962
100	0,99	81,862
Johnson S_B	K-S	0,06735
	A-D	0,23505

Tabla 56. Ajuste de datos en P47

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,173
5	0,8	63,484
10	0,9	70,160
25	0,96	75,654
50	0,98	78,267
100	0,99	80,066
Johnson S_B	K-S	0,05814
	A-D	0,16141

Tabla 57. Ajuste de datos en P48

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,571
5	0,8	62,693
10	0,9	68,861
25	0,96	73,980
50	0,98	76,387
100	0,99	77,992
Wakeby	K-S	0,07804
	A-D	0,18529

Tabla 58. Ajuste de datos en P49

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,037
5	0,8	61,499
10	0,9	66,838
25	0,96	70,894
50	0,98	72,631
100	0,99	73,073
Wakeby	K-S	0,06284
	A-D	0,21736

Tabla 59. Ajuste de datos en P50

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,605
5	0,8	60,306
10	0,9	65,570
25	0,96	69,758
50	0,98	71,642
100	0,99	72,852
Wakeby	K-S	0,06971
	A-D	0,22059

Tabla 60. Ajuste de datos en P51

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,878
5	0,8	65,400
10	0,9	74,574
25	0,96	84,738
50	0,98	91,172
100	0,99	96,695
Wakeby	K-S	0,04499
	A-D	0,13364

Tabla 61. Ajuste de datos en P52

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,333
5	0,8	63,636
10	0,9	71,238
25	0,96	79,222
50	0,98	84,095
100	0,99	88,183
Pert	K-S	0,05809
	A-D	0,17565

Tabla 62. Ajuste de datos en P53

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,670
5	0,8	63,955
10	0,9	71,829
25	0,96	79,406
50	0,98	83,556
100	0,99	86,719
Johnson S_B	K-S	0,05695
	A-D	0,15203

Tabla 63. Ajuste de datos en P54

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,762
5	0,8	62,552
10	0,9	70,814
25	0,96	79,746
50	0,98	85,322
100	0,99	90,075
Pert	K-S	0,07037
	A-D	0,30691

Tabla 64. Ajuste de datos en P55

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,043
5	0,8	65,372
10	0,9	73,738
25	0,96	81,690
50	0,98	85,993
100	0,99	89,242
Johnson S_B	K-S	0,05541
	A-D	0,17345

Tabla 65. Ajuste de datos en P56

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,067
5	0,8	63,105
10	0,9	69,976
25	0,96	76,682
50	0,98	80,497
100	0,99	83,528
Johnson S_B	K-S	0,04774
	A-D	0,11908

Tabla 66. Ajuste de datos en P57

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,940
5	0,8	61,086
10	0,9	66,746
25	0,96	71,405
50	0,98	73,577
100	0,99	75,014
Wakeby	K-S	0,07265
	A-D	0,19003

Tabla 67. Ajuste de datos en P58

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,960
5	0,8	60,179
10	0,9	65,020
25	0,96	68,729
50	0,98	70,334
100	0,99	71,331
Wakeby	K-S	0,05106
	A-D	0,15569

Tabla 68. Ajuste de datos en P59

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,996
5	0,8	63,910
10	0,9	71,290
25	0,96	78,824
50	0,98	83,214
100	0,99	86,724
Wakeby	K-S	0,06904
	A-D	0,17855

Tabla 69. Ajuste de datos en P60

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,795
5	0,8	61,939
10	0,9	70,213
25	0,96	80,941
50	0,98	89,101
100	0,99	97,375
Gen. Extr. Val.	K-S	0,06445
	A-D	0,22487

Tabla 70. Ajuste de datos en P61

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,241
5	0,8	63,322
10	0,9	69,872
25	0,96	75,002
50	0,98	77,295
100	0,99	78,795
Johnson S_B	K-S	0,07564
	A-D	0,21927

Tabla 71. Ajuste de datos en P62

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,046
5	0,8	68,235
10	0,9	78,692
25	0,96	89,442
50	0,98	95,619
100	0,99	100,460
Johnson S_B	K-S	0,04832
	A-D	0,12871

Tabla 72. Ajuste de datos en P63

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	52,292
5	0,8	69,133
10	0,9	79,089
25	0,96	89,799
50	0,98	96,401
100	0,99	101,940
Wakeby	K-S	0,05713
	A-D	0,16227

Tabla 73. Ajuste de datos en P64

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,231
5	0,8	63,865
10	0,9	71,638
25	0,96	79,889
50	0,98	84,992
100	0,99	89,327
Johnson S_B	K-S	0,04816
	A-D	0,14033

Tabla 74. Ajuste de datos en P65

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,170
5	0,8	60,546
10	0,9	66,338
25	0,96	71,546
50	0,98	74,209
100	0,99	76,113
Wakeby	K-S	0,05918
	A-D	0,13516

Tabla 75. Ajuste de datos en P66

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,228
5	0,8	60,002
10	0,9	64,479
25	0,96	68,075
50	0,98	69,800
100	0,99	71,011
Johnson S_B	K-S	0,04391
	A-D	0,09837

Tabla 76. Ajuste de datos en P67

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,063
5	0,8	59,636
10	0,9	65,777
25	0,96	71,832
50	0,98	75,316
100	0,99	78,109
Johnson S_B	K-S	0,04526
	A-D	0,13011

Tabla 77. Ajuste de datos en P68

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,371
5	0,8	65,448
10	0,9	73,993
25	0,96	83,670
50	0,98	90,057
100	0,99	95,780
Johnson S_B	K-S	0,06062
	A-D	0,17574

Tabla 78. Ajuste de datos en P69

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,894
5	0,8	61,861
10	0,9	69,713
25	0,96	78,039
50	0,98	83,080
100	0,99	87,245
Wakeby	K-S	0,05553
	A-D	0,13701

Tabla 79. Ajuste de datos en P70

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,610
5	0,8	64,205
10	0,9	71,901
25	0,96	78,789
50	0,98	82,275
100	0,99	84,770
Johnson S_B	K-S	0,06533
	A-D	0,2494

Tabla 80. Ajuste de datos en P71

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,669
5	0,8	68,846
10	0,9	79,630
25	0,96	91,410
50	0,98	98,675
100	0,99	104,730
Johnson S_B	K-S	0,06036
	A-D	0,1712

Tabla 81. Ajuste de datos en P72

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	53,318
5	0,8	69,070
10	0,9	77,824
25	0,96	86,777
50	0,98	92,088
100	0,99	96,441
Johnson S_B	K-S	0,0591
	A-D	0,20964

Tabla 82. Ajuste de datos en P73

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,418
5	0,8	61,734
10	0,9	68,449
25	0,96	75,100
50	0,98	78,860
100	0,99	81,792
Wakeby	K-S	0,04467
	A-D	0,11662

Tabla 83. Ajuste de datos en P74

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,497
5	0,8	59,380
10	0,9	63,854
25	0,96	68,461
50	0,98	71,337
100	0,99	73,805
Wakeby	K-S	0,04478
	A-D	0,16083

Tabla 84. Ajuste de datos en P75

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,095
5	0,8	59,894
10	0,9	65,488
25	0,96	71,004
50	0,98	74,124
100	0,99	76,558
Wakeby	K-S	0,05993
	A-D	0,14046

Tabla 85. Ajuste de datos en P76

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	47,819
5	0,8	60,298
10	0,9	67,601
25	0,96	75,496
50	0,98	80,449
100	0,99	84,698
Johnson S_B	K-S	0,0549
	A-D	0,14386

Tabla 86. Ajuste de datos en P77

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,865
5	0,8	65,014
10	0,9	73,667
25	0,96	83,428
50	0,98	89,808
100	0,99	95,464
Johnson S_B	K-S	0,05849
	A-D	0,16881

Tabla 87. Ajuste de datos en P78

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,263
5	0,8	64,789
10	0,9	74,949
25	0,96	88,023
50	0,98	97,791
100	0,99	107,510
Fatigue Life (3P)	K-S	0,05734
	A-D	0,15294

Tabla 88. Ajuste de datos en P79

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,649
5	0,8	64,082
10	0,9	71,756
25	0,96	78,856
50	0,98	82,598
100	0,99	85,370
Johnson S_B	K-S	0,05171
	A-D	0,16054

Tabla 89. Ajuste de datos en P80

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,973
5	0,8	64,637
10	0,9	72,009
25	0,96	78,391
50	0,98	81,541
100	0,99	83,761
Johnson S_B	K-S	0,06764
	A-D	0,13986

Tabla 90. Ajuste de datos en P81

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,639
5	0,8	63,230
10	0,9	69,824
25	0,96	75,563
50	0,98	78,454
100	0,99	80,537
Johnson S_B	K-S	0,05602
	A-D	0,12478

Tabla 91. Ajuste de datos en P82

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,595
5	0,8	58,599
10	0,9	63,410
25	0,96	68,167
50	0,98	70,916
100	0,99	73,106
Wakeby	K-S	0,05759
	A-D	0,16205

Tabla 92. Ajuste de datos en P83

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,544
5	0,8	59,644
10	0,9	64,415
25	0,96	68,236
50	0,98	70,000
100	0,99	71,169
Beta	K-S	0,05665
	A-D	0,17443

Tabla 93. Ajuste de datos en P84

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,374
5	0,8	59,912
10	0,9	66,495
25	0,96	73,816
50	0,98	78,678
100	0,99	83,125
Rayleigh (2P)	K-S	0,06516
	A-D	0,14123

Tabla 94. Ajuste de datos en P85

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	47,602
5	0,8	59,479
10	0,9	65,811
25	0,96	72,162
50	0,98	75,896
100	0,99	78,950
Johnson S_B	K-S	0,0545
	A-D	0,14255

Tabla 95. Ajuste de datos en P86

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,695
5	0,8	62,566
10	0,9	68,333
25	0,96	73,061
50	0,98	75,331
100	0,99	76,915
Johnson S_B	K-S	0,06493
	A-D	0,25913

Tabla 96. Ajuste de datos en P87

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,436
5	0,8	60,125
10	0,9	64,535
25	0,96	67,650
50	0,98	68,960
100	0,99	69,794
Johnson S_B	K-S	0,07402
	A-D	0,17776

Tabla 97. Ajuste de datos en P88

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,922
5	0,8	58,864
10	0,9	63,118
25	0,96	68,338
50	0,98	72,282
100	0,99	76,269
Wakeby	K-S	0,05553
	A-D	0,13677

Tabla 98. Ajuste de datos en P89

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,452
5	0,8	59,363
10	0,9	64,890
25	0,96	70,252
50	0,98	73,315
100	0,99	75,761
Pert	K-S	0,0719
	A-D	0,20243

Tabla 99. Ajuste de datos en P90

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,455
5	0,8	61,921
10	0,9	68,930
25	0,96	76,677
50	0,98	81,641
100	0,99	85,952
Wakeby	K-S	0,05898
	A-D	0,10878

Tabla 100. Ajuste de datos en P91

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,436
5	0,8	60,799
10	0,9	67,673
25	0,96	74,880
50	0,98	79,307
100	0,99	83,059
Johnson S_B	K-S	0,03869
	A-D	0,11193

Tabla 101. Ajuste de datos en P92

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,284
5	0,8	61,070
10	0,9	66,429
25	0,96	71,023
50	0,98	73,345
100	0,99	75,036
Johnson S_B	K-S	0,07668
	A-D	0,3016

Tabla 102. Ajuste de datos en P93

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,331
5	0,8	59,146
10	0,9	63,724
25	0,96	69,924
50	0,98	75,686
100	0,99	82,874
Wakeby	K-S	0,06441
	A-D	0,14505

Tabla 103. Ajuste de datos en P94

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,381
5	0,8	60,065
10	0,9	63,617
25	0,96	67,957
50	0,98	71,976
100	0,99	77,102
Wakeby	K-S	0,04997
	A-D	0,14178

Tabla 104. Ajuste de datos en P95

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,658
5	0,8	60,407
10	0,9	65,107
25	0,96	70,953
50	0,98	75,415
100	0,99	79,961
Wakeby	K-S	0,07255
	A-D	0,17708

Tabla 105. Ajuste de datos en P96

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,333
5	0,8	61,112
10	0,9	67,223
25	0,96	74,080
50	0,98	78,684
100	0,99	82,875
Wakeby	K-S	0,05312
	A-D	0,12648

Tabla 106. Ajuste de datos en P97

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	48,620
5	0,8	61,015
10	0,9	67,847
25	0,96	74,951
50	0,98	79,282
100	0,99	82,930
Johnson S_B	K-S	0,04344
	A-D	0,11693

Tabla 107. Ajuste de datos en P98

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,648
5	0,8	60,413
10	0,9	65,246
25	0,96	69,903
50	0,98	72,698
100	0,99	75,095
Error	K-S	0,07856
	A-D	0,30381

Tabla 108. Ajuste de datos en P99

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,791
5	0,8	60,114
10	0,9	64,302
25	0,96	69,651
50	0,98	74,904
100	0,99	82,053
Wakeby	K-S	0,0704
	A-D	0,22651

Tabla 109. Ajuste de datos en P100

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,290
5	0,8	60,278
10	0,9	63,677
25	0,96	66,837
50	0,98	68,894
100	0,99	70,818
Wakeby	K-S	0,0602
	A-D	0,14047

Tabla 110. Ajuste de datos en P101

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,557
5	0,8	61,240
10	0,9	65,860
25	0,96	70,462
50	0,98	73,233
100	0,99	75,537
Wakeby	K-S	0,05141
	A-D	0,12404

Tabla 111. Ajuste de datos en P102

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,666
5	0,8	61,394
10	0,9	67,818
25	0,96	74,857
50	0,98	79,498
100	0,99	83,730
Nakagami	K-S	0,05692
	A-D	0,22698

Tabla 112. Ajuste de datos en P103

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,278
5	0,8	60,511
10	0,9	66,525
25	0,96	73,586
50	0,98	78,522
100	0,99	83,165
Wakeby	K-S	0,0456
	A-D	0,10486

Tabla 113. Ajuste de datos en P104

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	49,430
5	0,8	61,465
10	0,9	68,065
25	0,96	75,301
50	0,98	80,073
100	0,99	84,425
Nakagami	K-S	0,07972
	A-D	0,46535

Tabla 114. Ajuste de datos en P105

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,293
5	0,8	60,070
10	0,9	64,074
25	0,96	68,790
50	0,98	72,523
100	0,99	76,548
Wakeby	K-S	0,04977
	A-D	0,14562

Tabla 115. Ajuste de datos en P106

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,617
5	0,8	60,294
10	0,9	63,634
25	0,96	67,294
50	0,98	70,263
100	0,99	73,627
Wakeby	K-S	0,04219
	A-D	0,1055

Tabla 116. Ajuste de datos en P107

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,616
5	0,8	61,028
10	0,9	64,869
25	0,96	68,678
50	0,98	71,222
100	0,99	73,615
Wakeby	K-S	0,04972
	A-D	0,1535

Tabla 117. Ajuste de datos en P108

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,103
5	0,8	61,358
10	0,9	65,745
25	0,96	70,783
50	0,98	75,213
100	0,99	80,745
Wakeby	K-S	0,0557
	A-D	0,15431

Tabla 118. Ajuste de datos en P109

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,322
5	0,8	61,313
10	0,9	64,613
25	0,96	67,170
50	0,98	69,235
100	0,99	72,391
Wakeby	K-S	0,04928
	A-D	0,14947

Tabla 119. Ajuste de datos en P110

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,092
5	0,8	61,690
10	0,9	66,331
25	0,96	72,222
50	0,98	77,244
100	0,99	83,008
Wakeby	K-S	0,03955
	A-D	0,09038

Tabla 120. Ajuste de datos en P111

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,874
5	0,8	60,587
10	0,9	65,131
25	0,96	70,152
50	0,98	73,469
100	0,99	76,440
Wakeby	K-S	0,05924
	A-D	0,16054

Tabla 121. Ajuste de datos en P112

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,209
5	0,8	61,240
10	0,9	65,325
25	0,96	69,684
50	0,98	72,618
100	0,99	75,323
Wakeby	K-S	0,05864
	A-D	0,14857

Tabla 122. Ajuste de datos en P113

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,953
5	0,8	61,507
10	0,9	65,458
25	0,96	69,068
50	0,98	71,198
100	0,99	72,985
Wakeby	K-S	0,04568
	A-D	0,10063

Tabla 123. Ajuste de datos en P114

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	50,922
5	0,8	61,236
10	0,9	64,847
25	0,96	69,321
50	0,98	73,946
100	0,99	80,629
Wakeby	K-S	0,04755
	A-D	0,13241

Tabla 124. Ajuste de datos en P115

T (años)	1 - Prob. Ocurr.	P _{máx} (mm)
2	0,5	51,207
5	0,8	61,405
10	0,9	66,924
25	0,96	74,875
50	0,98	81,862
100	0,99	89,886
Wakeby	K-S	0,04196
	A-D	0,1173

Tabla 125. Ajuste de datos en P116

ANEXO II: HIETOGRAMAS DE DISEÑO

En este anexo se muestran los hietogramas de diseño obtenidos mediante el método de los Bloques Alternados para las 67 subcuencas que forman la cuenca de Monte Corbanera. Estas tablas forman parte de los resultados del modelo meteorológico recogidos en el apartado 5.2 del documento.

Δt	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9	SB10	SB11	SB12	SB13
1	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11
3	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
4	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
5	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
6	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
7	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
8	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
9	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
10	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13	0,13	0,12	0,12
11	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
15	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
16	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13
17	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
18	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
19	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
20	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
21	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
22	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14
23	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
24	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
25	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
26	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
27	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15
28	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
29	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
30	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
31	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16
32	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
33	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
34	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17
35	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
36	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
37	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
38	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
39	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19

1 de 4 ↓

Tabla 126. Hietogramas de diseño para las subcuencas 1-13

Δt	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9	SB10	SB11	SB12	SB13
40	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19
41	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
42	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
43	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20
44	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
45	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,22	0,22	0,21	0,21
46	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
47	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,23	0,23	0,22	0,22
48	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
49	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23
50	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
51	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
52	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25
53	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,26	0,26	0,26
54	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
55	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
56	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
57	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
58	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
59	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
60	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	0,34	0,34	0,33	0,33
61	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
62	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,36	0,36
63	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,39	0,38	0,38	0,38
64	0,41	0,41	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,40	0,40	0,40
65	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,42	0,42
66	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
67	0,49	0,49	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,49	0,48	0,48	0,48
68	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
69	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,56	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,56	0,56
70	0,63	0,63	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,63	0,62	0,62	0,62
71	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69	0,70	0,70	0,69	0,69
72	0,81	0,81	0,81	0,81	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,81	0,80	0,80	0,80
73	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96
74	1,31	1,30	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,28	1,30	1,29	1,28	1,28
75	3,07	3,05	3,04	3,04	3,03	3,03	3,02	3,02	3,02	3,05	3,03	3,02	3,01
76	1,66	1,65	1,64	1,64	1,64	1,64	1,63	1,63	1,63	1,65	1,64	1,63	1,62
77	1,11	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09	1,10	1,10	1,09	1,09
78	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88	0,87	0,87
79	0,76	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,74	0,74
80	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,65	0,66	0,66	0,65	0,65
81	0,60	0,60	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,60	0,59	0,59	0,59
82	0,55	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54

2 de 4 ↓

Tabla 126. Hietogramas de diseño para las subcuencas 1-13

Δt	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9	SB10	SB11	SB12	SB13
83	0,51	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
84	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,47	0,47	0,47	0,46
85	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,43
86	0,42	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,41	0,41	0,41
87	0,40	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
88	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,38	0,37	0,37	0,37
89	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35
90	0,35	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
91	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
92	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,32	0,32	0,31	0,31
93	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,30	0,30	0,30
94	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,29	0,29	0,29
95	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,28	0,28	0,28
96	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,28	0,28	0,27	0,27
97	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
98	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
99	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
100	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24
101	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
102	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,23	0,23	0,23
103	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
104	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
105	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
106	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
107	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
108	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,20	0,20	0,20
109	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
110	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19
111	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
112	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
113	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19	0,18	0,18
114	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
115	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
116	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18	0,17
117	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
118	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
119	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
120	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16
121	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
122	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
123	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
124	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,15	0,15
125	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

3 de 4 ↓

Tabla 126. Hietogramas de diseño para las subcuencas 1-13

Δt	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9	SB10	SB11	SB12	SB13
126	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
127	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
128	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
129	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14
130	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
131	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
132	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
133	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
134	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,13	0,13
135	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
136	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
137	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
138	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
139	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
140	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
141	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12
142	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
143	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
144	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
145	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
146	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
147	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
148	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11
149	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11
150	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11

4 de 4

Tabla 126. Hietogramas de diseño para las subcuencas 1-13

Δt	SB14	SB15	SB16	SB17	SB18	SB19	SB20	SB21	SB22	SB23	SB24	SB25	SB26
1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11
3	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12
4	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
5	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
6	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
7	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
8	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
9	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
10	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,12	0,12
11	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13

1 de 5 ↓

Tabla 127. Hietogramas de diseño para las subcuencas 14-26

Δt	SB14	SB15	SB16	SB17	SB18	SB19	SB20	SB21	SB22	SB23	SB24	SB25	SB26
15	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
16	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14
18	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
19	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
20	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
22	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14
23	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
24	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
25	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
26	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
27	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,15	0,16
28	0,16	0,16	0,15	0,16	0,16	0,16	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
29	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
30	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
31	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,16	0,16
32	0,17	0,17	0,16	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
33	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
34	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
35	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18
36	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
37	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
38	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19
39	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
40	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
41	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
42	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
43	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,20	0,21
44	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
45	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,21	0,21
46	0,22	0,22	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
47	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,22	0,22
48	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
49	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,23	0,24
50	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
51	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
52	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,25	0,25
53	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
54	0,27	0,27	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
55	0,28	0,28	0,27	0,27	0,28	0,28	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
56	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
57	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30

2 de 5 ↓

Tabla 127. Hietogramas de diseño para las subcuencas 14-26

Δt	SB14	SB15	SB16	SB17	SB18	SB19	SB20	SB21	SB22	SB23	SB24	SB25	SB26
58	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
59	0,32	0,32	0,31	0,32	0,32	0,32	0,31	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
60	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
61	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35
62	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
63	0,38	0,38	0,37	0,37	0,38	0,38	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
64	0,40	0,40	0,39	0,39	0,40	0,40	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
65	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,42	0,42
66	0,45	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
67	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
68	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,52	0,52	0,52	0,52
69	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,55	0,55	0,56	0,57	0,56	0,56	0,56
70	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,62	0,62	0,62	0,62
71	0,69	0,68	0,68	0,68	0,68	0,69	0,68	0,68	0,69	0,70	0,70	0,69	0,69
72	0,79	0,79	0,78	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,80	0,80	0,80	0,80
73	0,95	0,95	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,96	0,96
74	1,27	1,27	1,26	1,26	1,27	1,27	1,26	1,27	1,27	1,29	1,29	1,28	1,28
75	2,99	2,97	2,95	2,97	2,97	2,98	2,96	2,97	2,99	3,03	3,03	3,00	3,01
76	1,61	1,61	1,60	1,60	1,61	1,61	1,60	1,61	1,61	1,64	1,63	1,62	1,63
77	1,08	1,08	1,07	1,07	1,08	1,08	1,07	1,08	1,08	1,10	1,10	1,09	1,09
78	0,86	0,86	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,88	0,87	0,87	0,87
79	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,74	0,75	0,74	0,74	0,74
80	0,65	0,65	0,64	0,64	0,65	0,65	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66	0,65	0,65
81	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,59	0,59	0,59	0,59
82	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,54	0,54	0,54	0,54
83	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50
84	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,46	0,46
85	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,43	0,44
86	0,41	0,41	0,40	0,40	0,41	0,41	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
87	0,39	0,39	0,38	0,38	0,39	0,39	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
88	0,37	0,37	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
89	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,35	0,35
90	0,34	0,34	0,33	0,33	0,34	0,34	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
91	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33
92	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,31	0,31
93	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
94	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
95	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
96	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,27	0,27
97	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27
98	0,26	0,26	0,25	0,25	0,26	0,26	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
99	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
100	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24

3 de 5 ↓

Tabla 127. Hietogramas de diseño para las subcuencas 14-26

Δt	SB14	SB15	SB16	SB17	SB18	SB19	SB20	SB21	SB22	SB23	SB24	SB25	SB26
101	0,24	0,24	0,23	0,23	0,24	0,24	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
102	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
103	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
104	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
105	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22
106	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
107	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
108	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
109	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
110	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,19	0,20
111	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
112	0,19	0,19	0,18	0,18	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
113	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,18	0,18
114	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
115	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
116	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,17	0,17
117	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
118	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
119	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17
120	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
121	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
122	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
123	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
124	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
125	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
126	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
127	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
128	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15
129	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
130	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
131	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
132	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
133	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
134	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,13	0,13
135	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
136	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
137	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
138	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
139	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
140	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13
141	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
142	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
143	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12

4 de 5 ↓

Tabla 127. Hietogramas de diseño para las subcuencas 14-26

Δt	SB14	SB15	SB16	SB17	SB18	SB19	SB20	SB21	SB22	SB23	SB24	SB25	SB26
144	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
145	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
146	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
147	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
148	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12
149	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
150	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11

5 de 5

Tabla 127. Hietogramas de diseño para las subcuencas 14-26

Δt	SB27	SB28	SB29	SB30	SB31	SB32	SB33	SB34	SB35	SB36	SB37	SB38	SB39
1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
3	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
4	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
5	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
6	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
7	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
8	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
9	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
10	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
11	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12
12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
15	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
16	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
18	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
19	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
20	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
22	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
23	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14
24	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
25	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
26	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
27	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
28	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
29	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
30	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
31	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
32	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17

1 de 4 ↓

Tabla 128. Hietogramas de diseño para las subcuencas 27-39

At	SB27	SB28	SB29	SB30	SB31	SB32	SB33	SB34	SB35	SB36	SB37	SB38	SB39
33	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
34	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
35	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,17	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17
36	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
37	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
38	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
39	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
40	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
41	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19
42	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
43	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
44	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
45	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
46	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
47	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
48	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
49	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
50	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
51	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24
52	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
53	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
54	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
55	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,28
56	0,29	0,29	0,29	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,29	0,28	0,28	0,28
57	0,30	0,30	0,30	0,29	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,30	0,29	0,29	0,29
58	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,31	0,30	0,30	0,30
59	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
60	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
61	0,35	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
62	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
63	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
64	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
65	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
66	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,44	0,44	0,45	0,44	0,44	0,44
67	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,48	0,47	0,47	0,47
68	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
69	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,55	0,56
70	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	0,62	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
71	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,68	0,69
72	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
73	0,96	0,96	0,96	0,95	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,96	0,95	0,95	0,95
74	1,28	1,27	1,27	1,27	1,27	1,28	1,28	1,27	1,27	1,27	1,27	1,26	1,27
75	3,00	2,99	2,99	2,98	2,99	3,00	3,00	2,98	2,98	2,99	2,98	2,97	2,98

2 de 4 ↓

Tabla 128. Hietogramas de diseño para las subcuencas 27-39

Δt	SB27	SB28	SB29	SB30	SB31	SB32	SB33	SB34	SB35	SB36	SB37	SB38	SB39
76	1,62	1,62	1,61	1,61	1,61	1,62	1,62	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
77	1,09	1,08	1,08	1,08	1,08	1,09	1,09	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
78	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
79	0,74	0,74	0,74	0,73	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,74	0,73	0,73	0,73
80	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,64	0,65
81	0,59	0,58	0,58	0,58	0,58	0,59	0,59	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
82	0,54	0,53	0,53	0,53	0,53	0,54	0,54	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
83	0,50	0,49	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
84	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
85	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
86	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
87	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
88	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
89	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
90	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
91	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
92	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
93	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
94	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
95	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
96	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
97	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
98	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
99	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
100	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
101	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
102	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
103	0,23	0,23	0,23	0,22	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22
104	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
105	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,21	0,21	0,22	0,21	0,21	0,21
106	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
107	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,21	0,20	0,20	0,20
108	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
109	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
110	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
111	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
112	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
113	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
114	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
115	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
116	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
117	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
118	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17

3 de 4 ↓

Tabla 128. Hietogramas de diseño para las subcuencas 27-39

Δt	SB27	SB28	SB29	SB30	SB31	SB32	SB33	SB34	SB35	SB36	SB37	SB38	SB39
119	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16
120	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
121	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
122	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
123	0,16	0,16	0,16	0,15	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15
124	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
125	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
126	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
127	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
128	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
129	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
130	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
131	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
132	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
133	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13
134	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
135	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
136	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
137	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
138	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
139	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
140	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
141	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
142	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
143	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
144	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
145	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
146	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
147	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11
148	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
149	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
150	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11

4 de 4

Tabla 128. Hietogramas de diseño para las subcuencas 27-39

Δt	SB40	SB41	SB42	SB43	SB44	SB45	SB46	SB47	SB48	SB49	SB50	SB51	SB52	SB53
1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
3	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
4	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11
5	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
6	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
7	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12

1 de 5 ↓

Tabla 129. Hietogramas de diseño para las subcuencas 40-53

Δt	SB40	SB41	SB42	SB43	SB44	SB45	SB46	SB47	SB48	SB49	SB50	SB51	SB52	SB53
8	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
9	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
10	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12
12	0,13	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
15	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
16	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
18	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,13
19	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
20	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
22	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
23	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14
24	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
25	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
26	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
27	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
28	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,15
29	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
30	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
31	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
32	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,16
33	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
34	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
35	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
36	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
37	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
38	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
39	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
40	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
41	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19
42	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
43	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
44	0,21	0,21	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
45	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
46	0,22	0,22	0,21	0,21	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22
47	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
48	0,23	0,23	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
49	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
50	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

2 de 5 ↓

Tabla 129. Hietogramas de diseño para las subcuencas 40-53

Δt	SB40	SB41	SB42	SB43	SB44	SB45	SB46	SB47	SB48	SB49	SB50	SB51	SB52	SB53
51	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,24	0,24
52	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
53	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
54	0,27	0,27	0,26	0,26	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27
55	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,27	0,27
56	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,28	0,28
57	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,29	0,29
58	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,30	0,30
59	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,31
60	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
61	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
62	0,36	0,36	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
63	0,38	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38	0,37
64	0,40	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,40	0,40	0,39
65	0,42	0,42	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42
66	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,45	0,44	0,44
67	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,48	0,47	0,47
68	0,51	0,51	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
69	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,55	0,55
70	0,61	0,61	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
71	0,69	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69	0,68	0,68
72	0,79	0,79	0,78	0,78	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,79	0,79	0,78
73	0,95	0,95	0,94	0,95	0,95	0,95	0,94	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95
74	1,27	1,26	1,25	1,26	1,26	1,26	1,26	1,24	1,25	1,26	1,26	1,27	1,26	1,26
75	2,98	2,97	2,94	2,96	2,96	2,97	2,96	2,92	2,94	2,95	2,95	2,99	2,97	2,96
76	1,61	1,60	1,59	1,60	1,60	1,60	1,60	1,58	1,59	1,59	1,59	1,61	1,60	1,60
77	1,08	1,07	1,06	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,07	1,07	1,07	1,08	1,08	1,07
78	0,86	0,86	0,85	0,85	0,86	0,86	0,85	0,84	0,85	0,85	0,85	0,86	0,86	0,85
79	0,73	0,73	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
80	0,65	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63	0,64	0,64	0,64	0,65	0,64	0,64
81	0,58	0,58	0,57	0,58	0,58	0,58	0,58	0,57	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
82	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
83	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
84	0,46	0,46	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46
85	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
86	0,41	0,41	0,40	0,40	0,40	0,41	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,40
87	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,39	0,38	0,38
88	0,37	0,37	0,36	0,36	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,36
89	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
90	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,34	0,34	0,33
91	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
92	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
93	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30

3 de 5 ↓

Tabla 129. Hietogramas de diseño para las subcuencas 40-53

Δt	SB40	SB41	SB42	SB43	SB44	SB45	SB46	SB47	SB48	SB49	SB50	SB51	SB52	SB53
94	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
95	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
96	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
97	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
98	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,25	0,25
99	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
100	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
101	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,23
102	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
103	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
104	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
105	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
106	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
107	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,20	0,20
108	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
109	0,20	0,20	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
110	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
111	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
112	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,18
113	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
114	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
115	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,17
116	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
117	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
118	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
119	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
120	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
121	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
122	0,16	0,16	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
123	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
124	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
125	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
126	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
127	0,15	0,15	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14
128	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
129	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
130	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
131	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
132	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
133	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13
134	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
135	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
136	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13

4 de 5 ↓

Tabla 129. Hietogramas de diseño para las subcuencas 40-53

Δt	SB40	SB41	SB42	SB43	SB44	SB45	SB46	SB47	SB48	SB49	SB50	SB51	SB52	SB53
137	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
138	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
139	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,12
140	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
141	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
142	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
143	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
144	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
145	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
146	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
147	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11
148	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
149	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
150	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11

5 de 5

Tabla 129. Hietogramas de diseño para las subcuencas 40-53

Δt	SB54	SB55	SB56	SB57	SB58	SB59	SB60	SB61	SB62	SB63	SB64	SB65	SB66	SB67
1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
3	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
4	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
5	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
6	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
7	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
8	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
9	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
10	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13
13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
15	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
16	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
17	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
18	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13
19	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
20	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
21	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
22	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
23	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
24	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15
25	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

1 de 4 ↓

Tabla 130. Hietogramas de diseño para las subcuencas 54-67

Δt	SB54	SB55	SB56	SB57	SB58	SB59	SB60	SB61	SB62	SB63	SB64	SB65	SB66	SB67
26	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
27	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
28	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
29	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
30	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
31	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
32	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
33	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
34	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
35	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
36	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18
37	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
38	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
39	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19	0,19
40	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
41	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
42	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
43	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
44	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21
45	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
46	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22
47	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
48	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23
49	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
50	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
51	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
52	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
53	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
54	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27
55	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
56	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
57	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
58	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
59	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
60	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32	0,33	0,33	0,33
61	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
62	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36
63	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
64	0,39	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
65	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42
66	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,45	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
67	0,47	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
68	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,50	0,51	0,51	0,51

2 de 4 ↓

Tabla 130. Hietogramas de diseño para las subcuencas 54-67

Δt	SB54	SB55	SB56	SB57	SB58	SB59	SB60	SB61	SB62	SB63	SB64	SB65	SB66	SB67
69	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
70	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60	0,61	0,61	0,61
71	0,67	0,68	0,68	0,69	0,69	0,69	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
72	0,78	0,78	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78	0,79	0,78
73	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95
74	1,25	1,25	1,26	1,27	1,27	1,27	1,26	1,26	1,26	1,25	1,25	1,26	1,26	1,26
75	2,93	2,95	2,97	2,98	2,98	3,00	2,97	2,96	2,96	2,95	2,94	2,95	2,96	2,96
76	1,58	1,59	1,60	1,61	1,61	1,62	1,60	1,60	1,60	1,59	1,58	1,59	1,60	1,60
77	1,06	1,07	1,08	1,08	1,08	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,07	1,07	1,07
78	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,86	0,86
79	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73	0,74	0,73	0,73	0,73	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73
80	0,64	0,64	0,64	0,65	0,65	0,65	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
81	0,57	0,58	0,58	0,58	0,58	0,59	0,58	0,58	0,58	0,58	0,57	0,58	0,58	0,58
82	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53	0,54	0,53	0,53	0,53	0,53	0,52	0,53	0,53	0,53
83	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
84	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46
85	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,42	0,43	0,43	0,43
86	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
87	0,38	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
88	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,36	0,37	0,36
89	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
90	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
91	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
92	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
93	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
94	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
95	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
96	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
97	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
98	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
99	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,25	0,25	0,25
100	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
101	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
102	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
103	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
104	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
105	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
106	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
107	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
108	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
109	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20
110	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
111	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19

3 de 4 ↓

Tabla 130. Hietogramas de diseño para las subcuencas 54-67

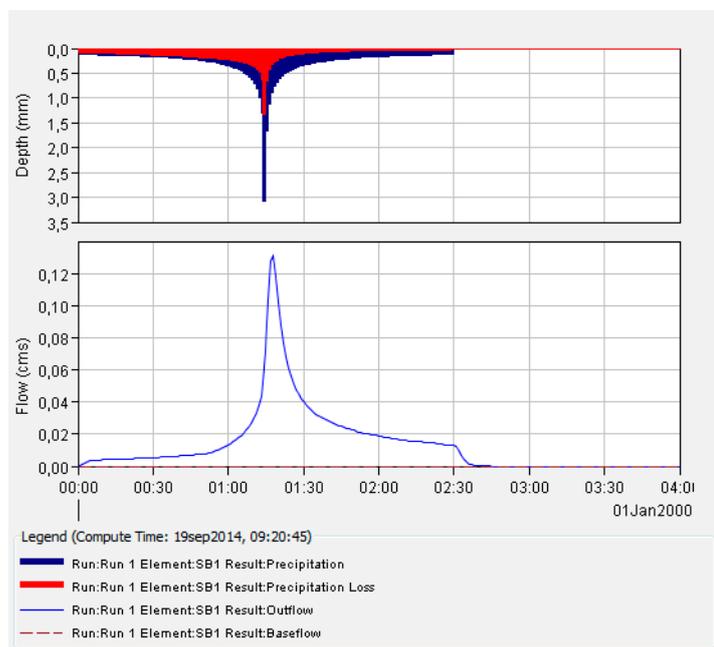
Δt	SB54	SB55	SB56	SB57	SB58	SB59	SB60	SB61	SB62	SB63	SB64	SB65	SB66	SB67
112	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
113	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
114	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
115	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
116	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
117	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
118	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,17	0,17
119	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
120	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
121	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
122	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,16	0,16	0,16
123	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
124	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
125	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
126	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
127	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15
128	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
129	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
130	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
131	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
132	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14
133	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
134	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
135	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
136	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
137	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
138	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
139	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
140	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
141	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
142	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
143	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
144	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
145	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
146	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12
147	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
148	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
149	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
150	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11

4 de 4

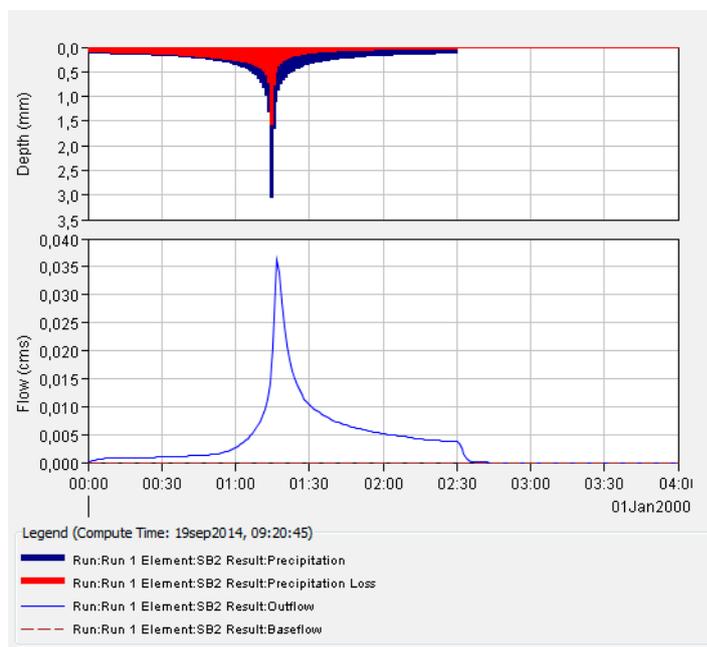
Tabla 130. Hietogramas de diseño para las subcuencas 54-67

ANEXO III: SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

En este anexo se muestran los resultados parciales correspondientes a la simulación de cada uno de los elementos hidrológicos de que consta la cuenca de Monte Corbanera. Estos gráficos forman parte de los resultados del modelo hidrológico recogidos en el apartado 5.3 del documento.

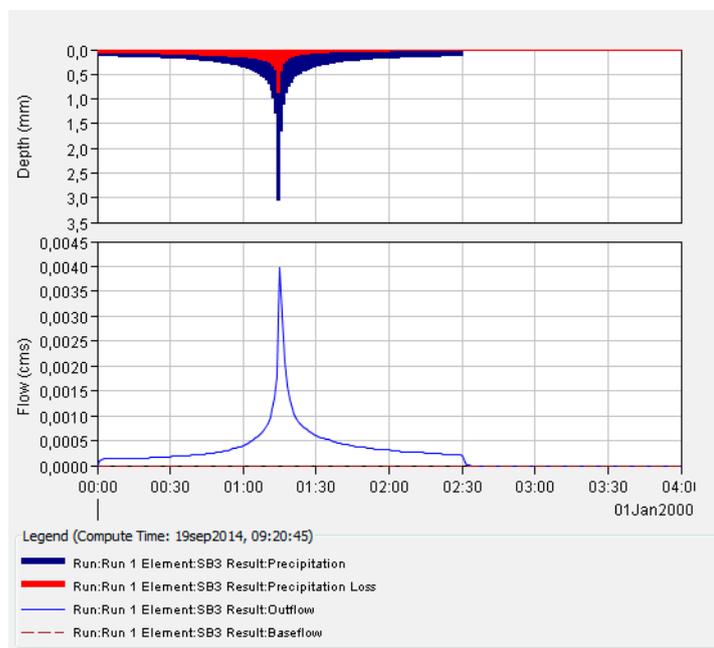


a)

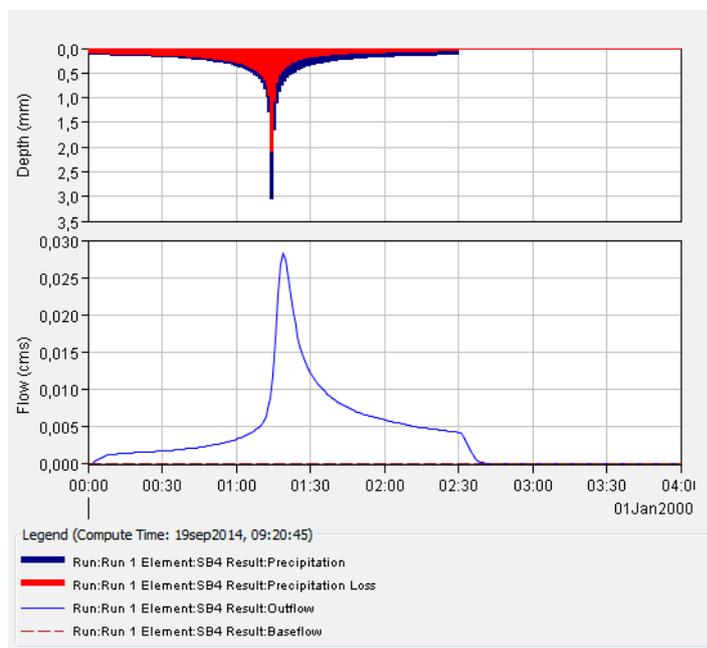


b)

Figura 48. a) Subcuenca 1 b) Subcuenca 2

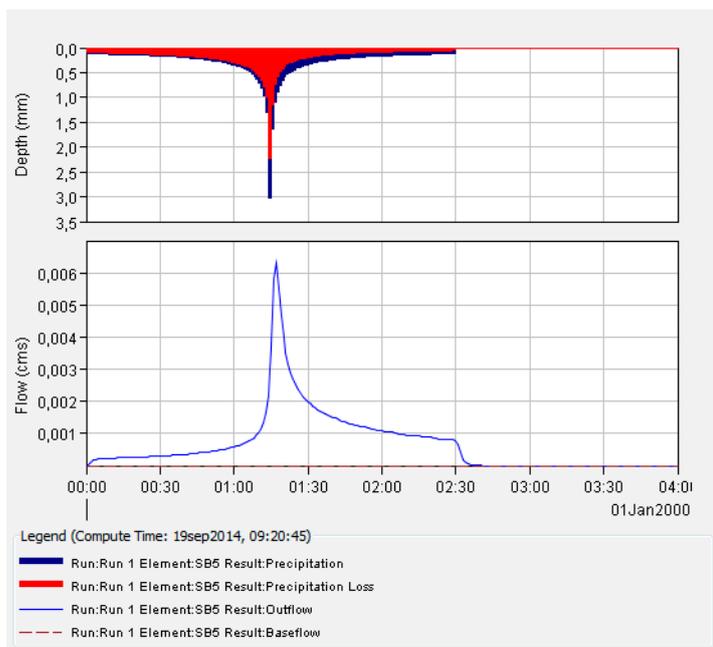


a)

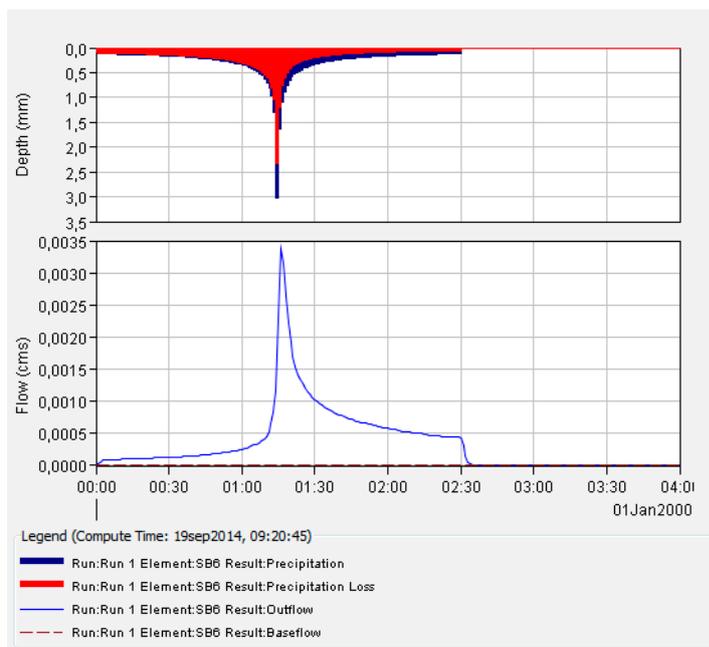


b)

Figura 49. a) Subcuenca 3 b) Subcuenca 4

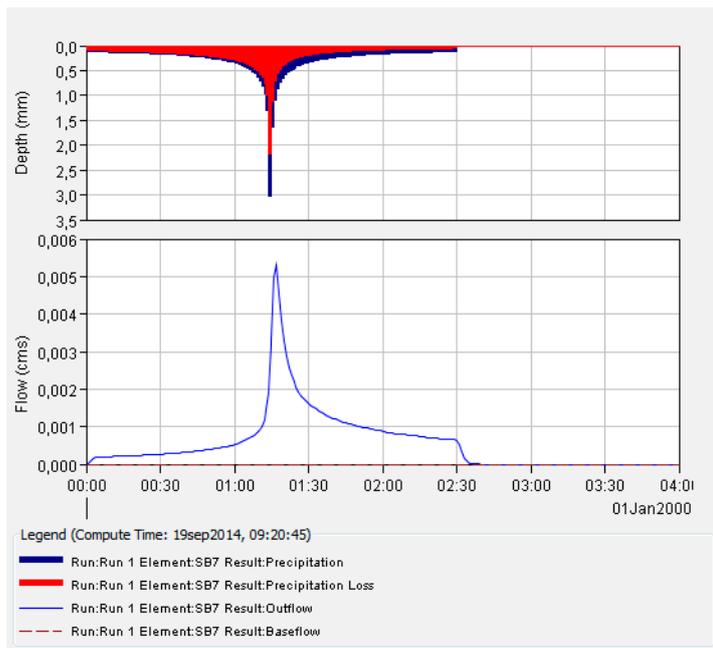


a)

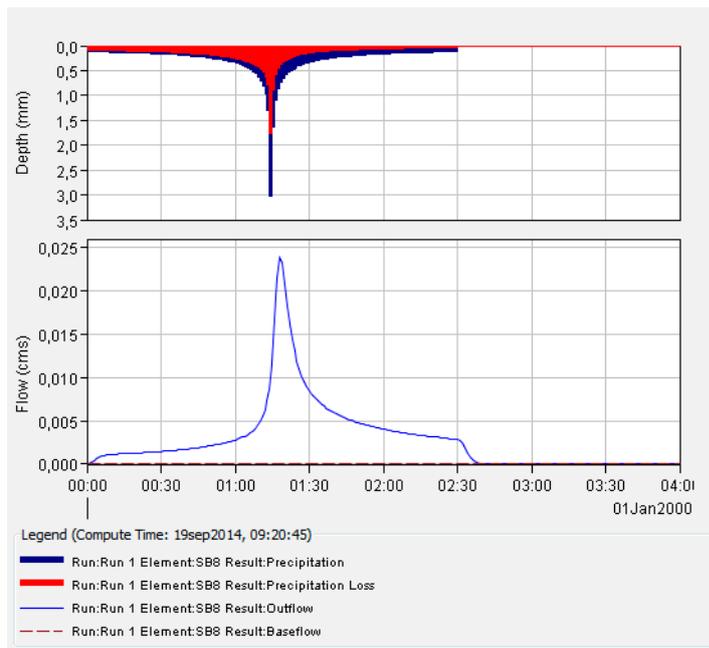


b)

Figura 50. a) Subcuenca 5 b) Subcuenca 6

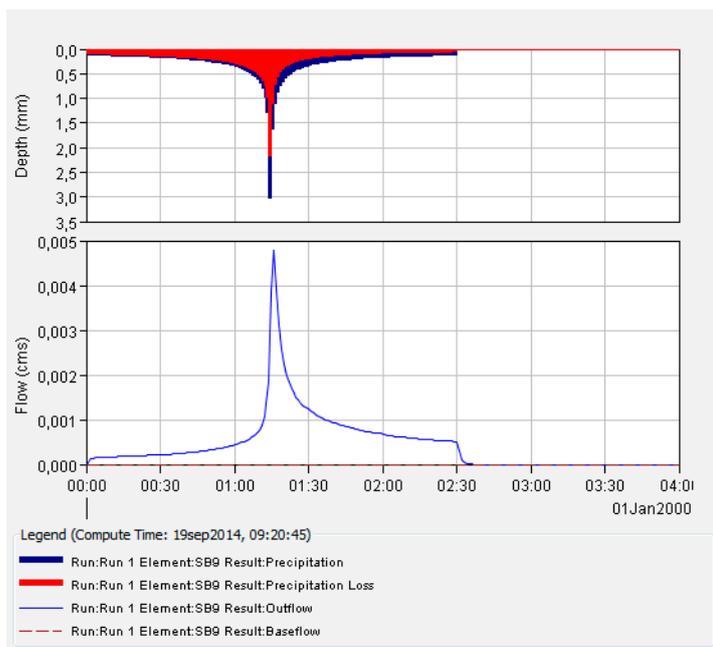


a)

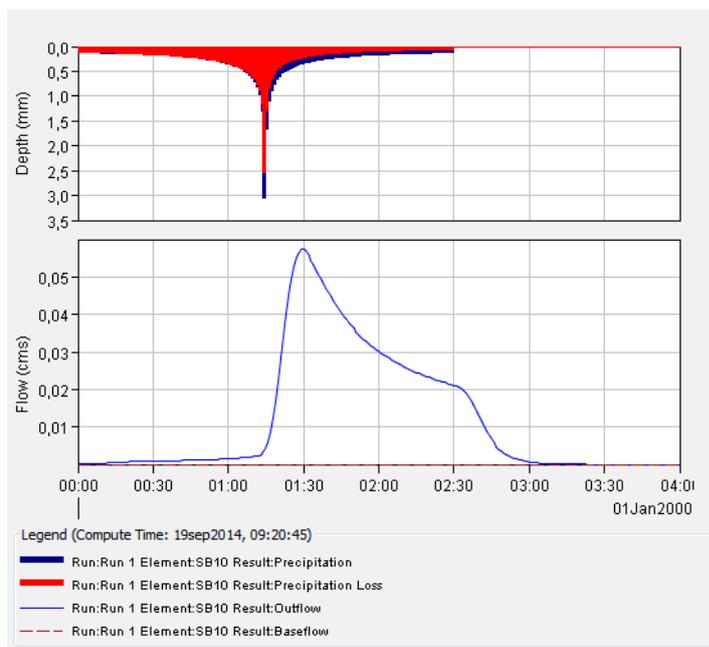


b)

Figura 51. a) Subcuenca 7 b) Subcuenca 8

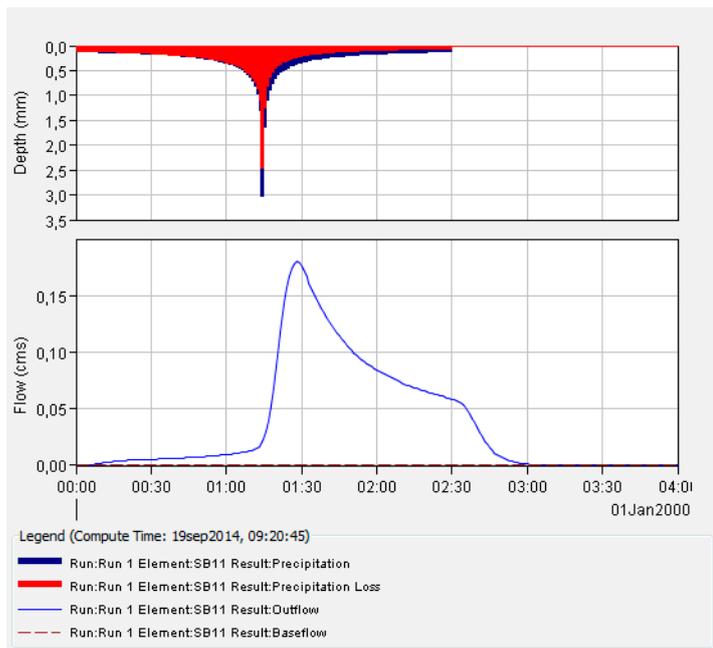


a)

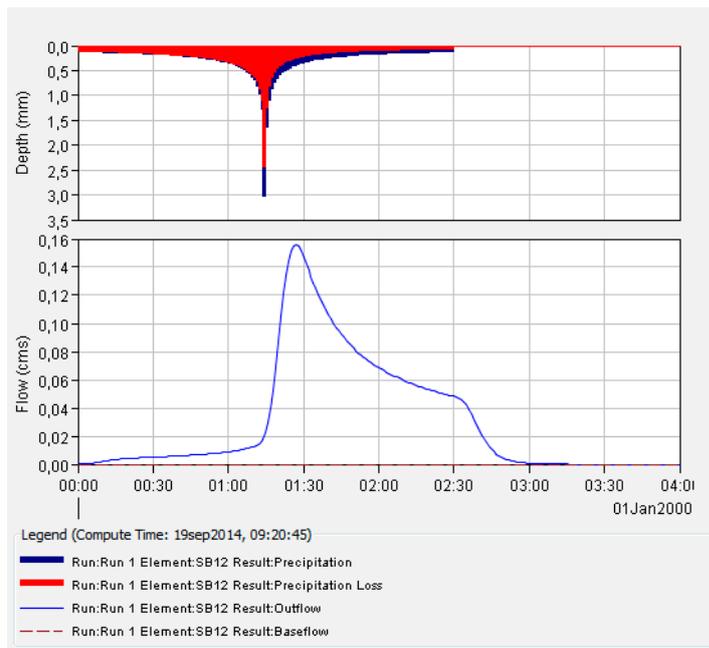


b)

Figura 52. a) Subcuenca 9 b) Subcuenca 10

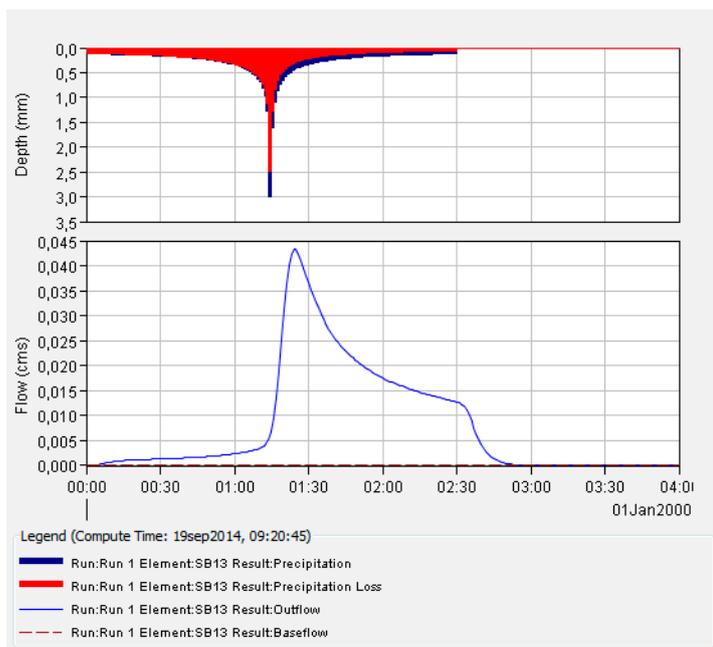


a)

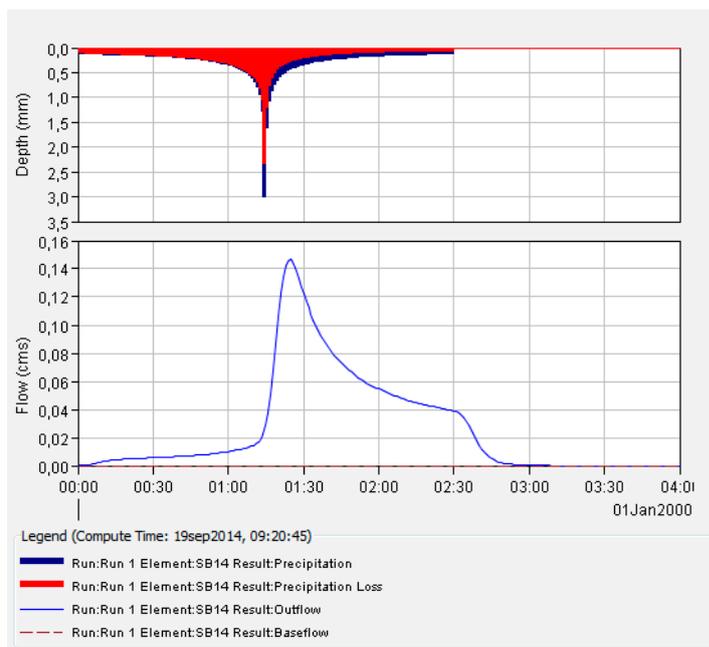


b)

Figura 53. a) Subcuenca 11 b) Subcuenca 12

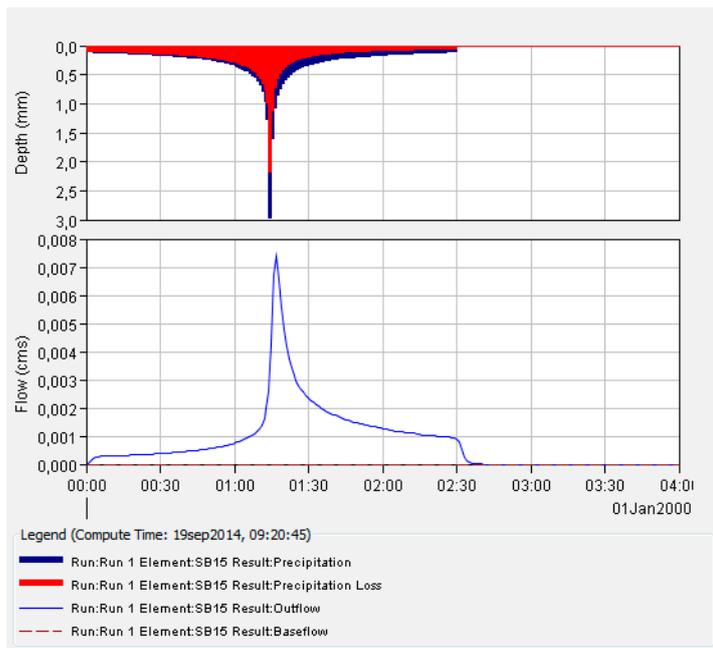


a)

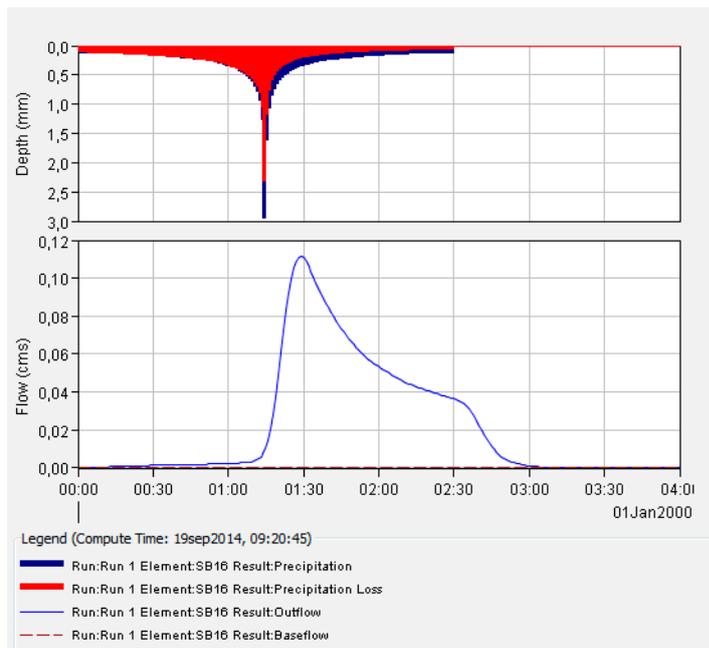


b)

Figura 54. a) Subcuenca 13 b) Subcuenca 14

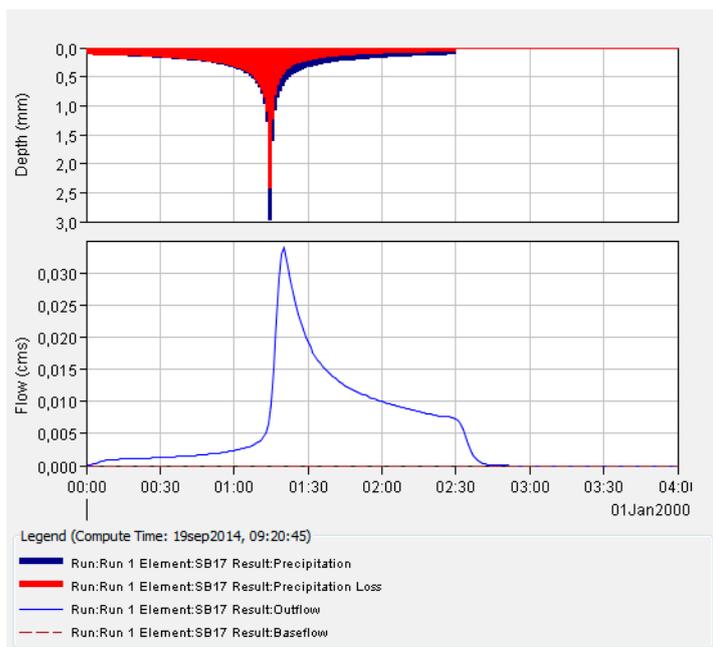


a)

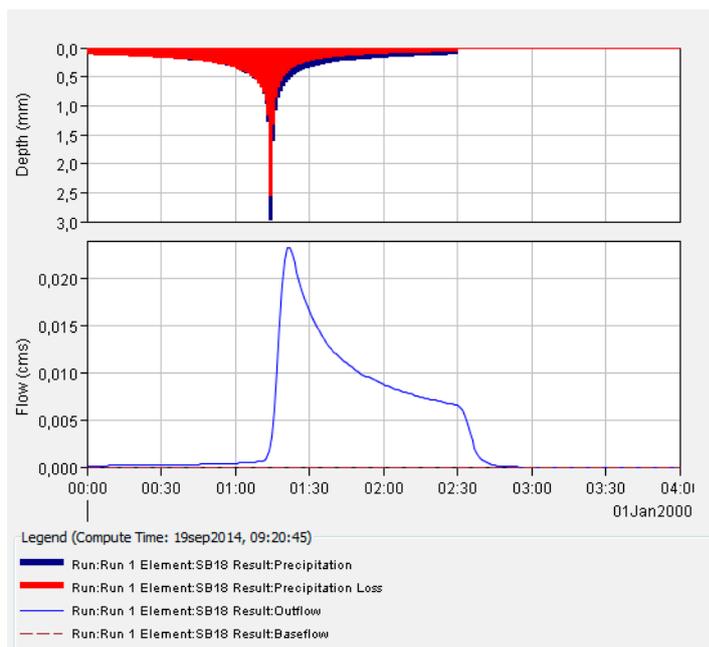


b)

Figura 55. a) Subcuenca 15 b) Subcuenca 16

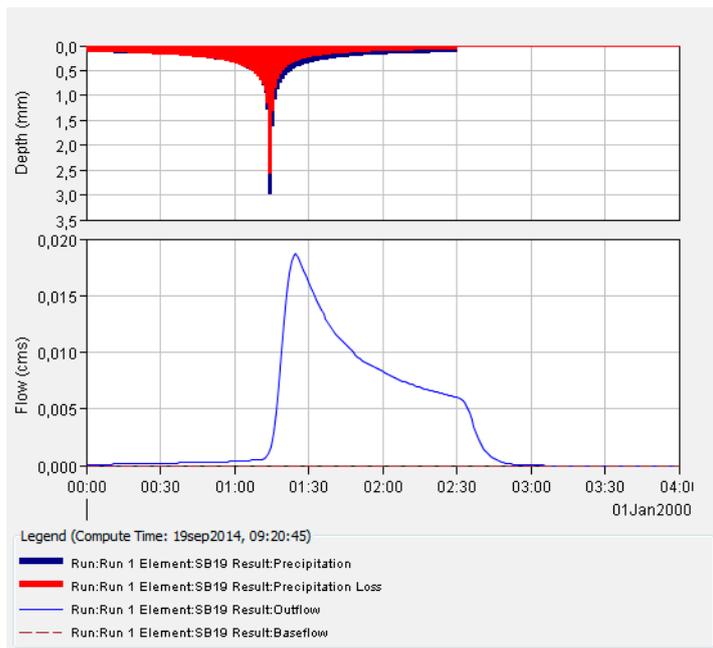


a)

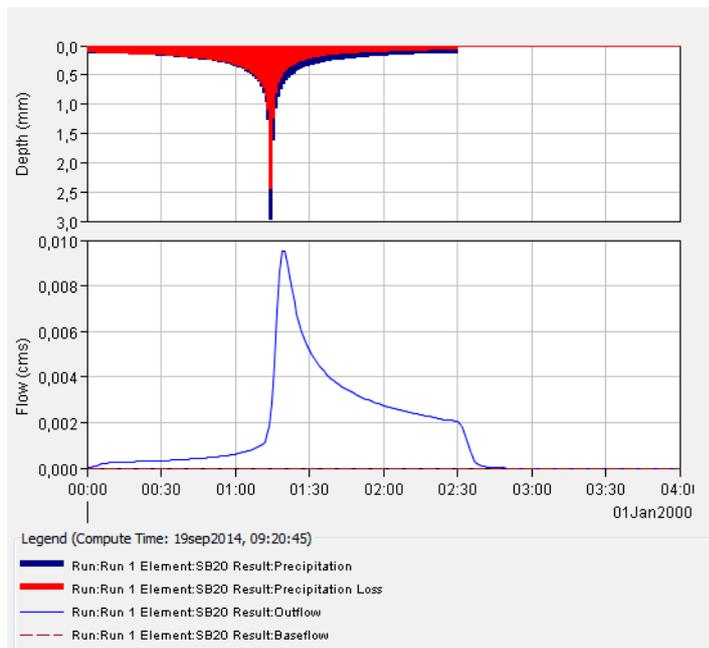


b)

Figura 56. a) Subcuenca 17 b) Subcuenca 18

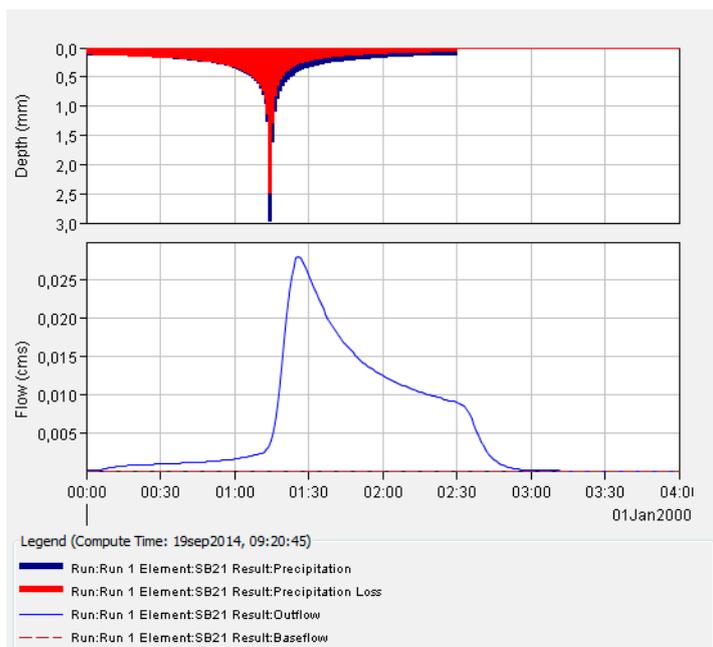


a)

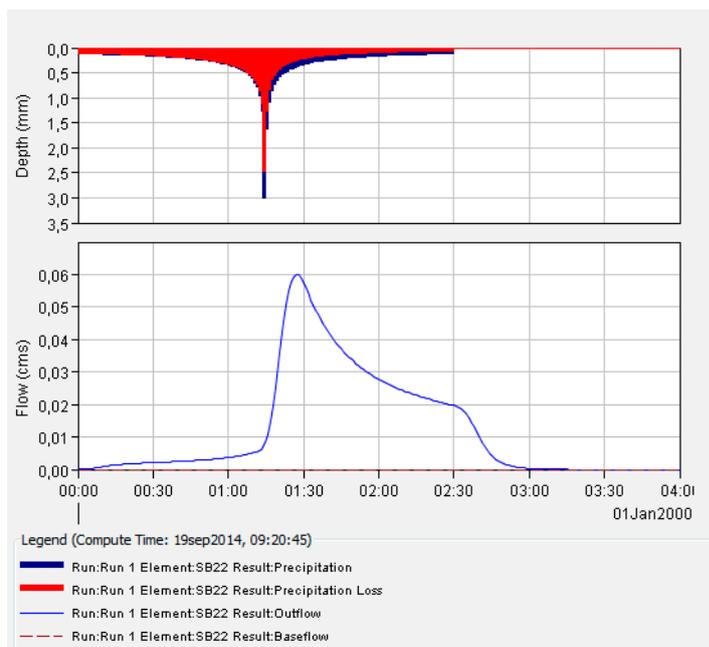


b)

Figura 57. a) Subcuenca 19 b) Subcuenca 20

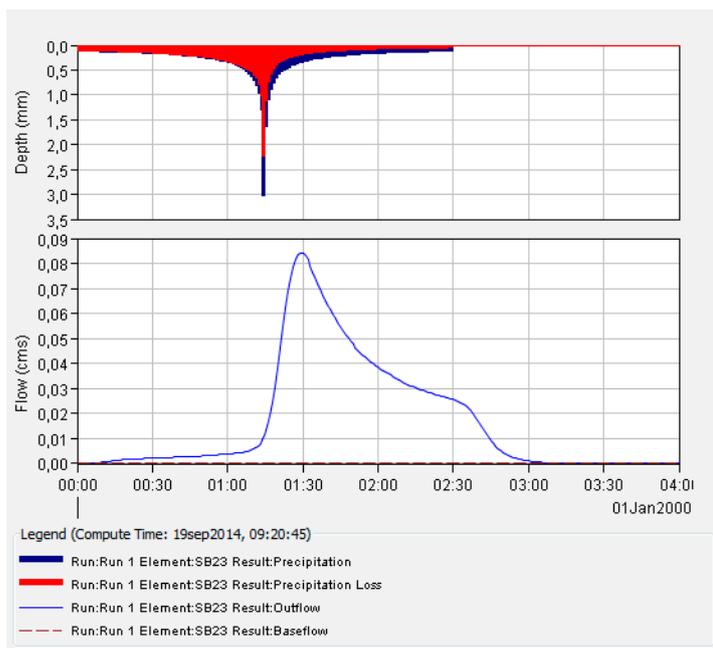


a)

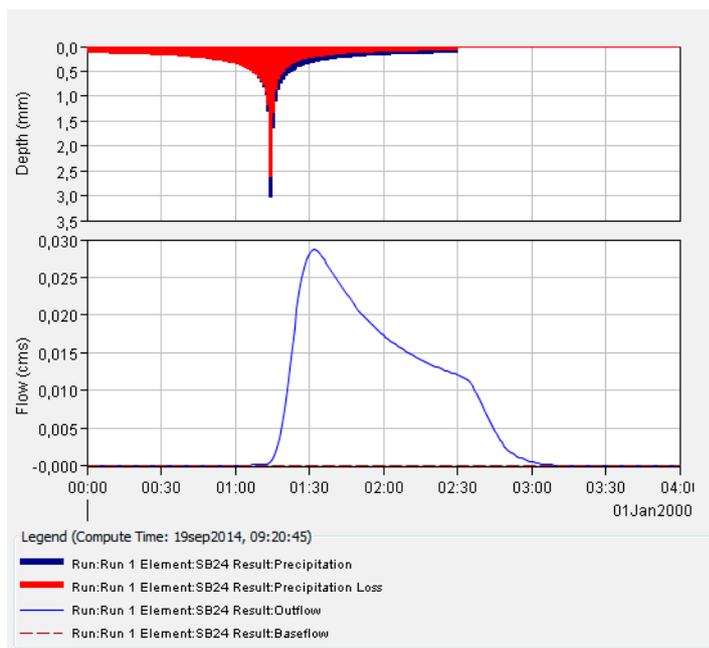


b)

Figura 58. a) Subcuenca 21 b) Subcuenca 22

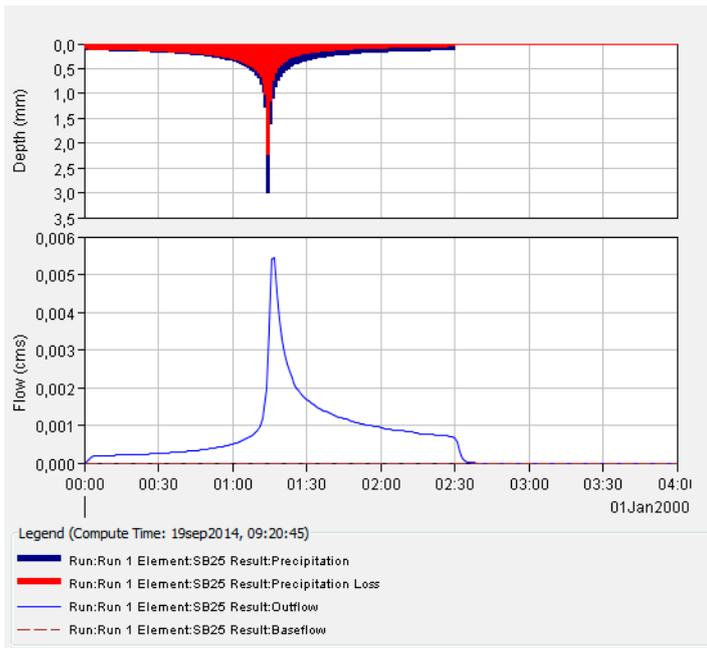


a)

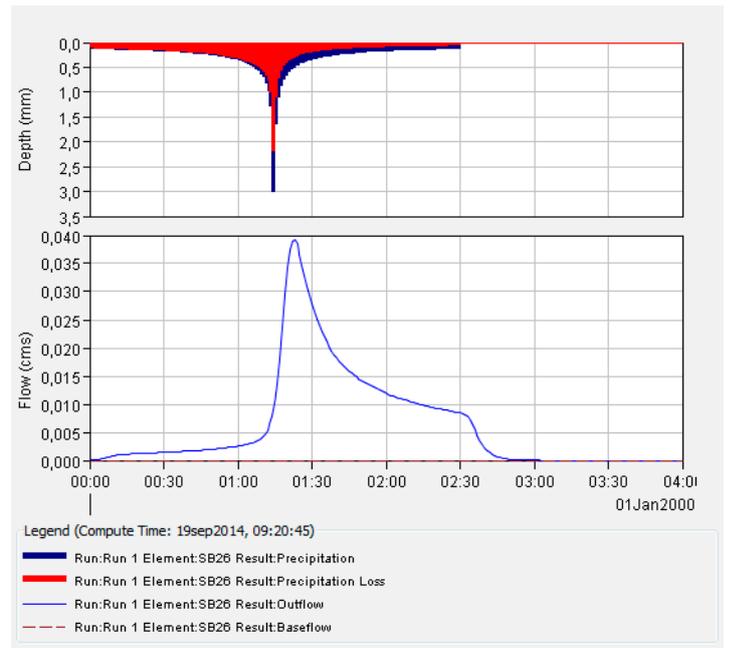


b)

Figura 59. a) Subcuenca 23 b) Subcuenca 24

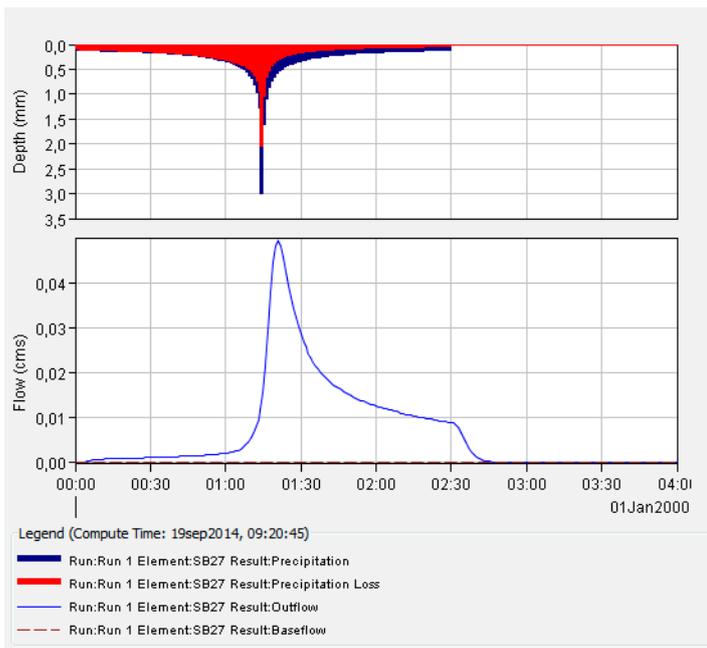


a)

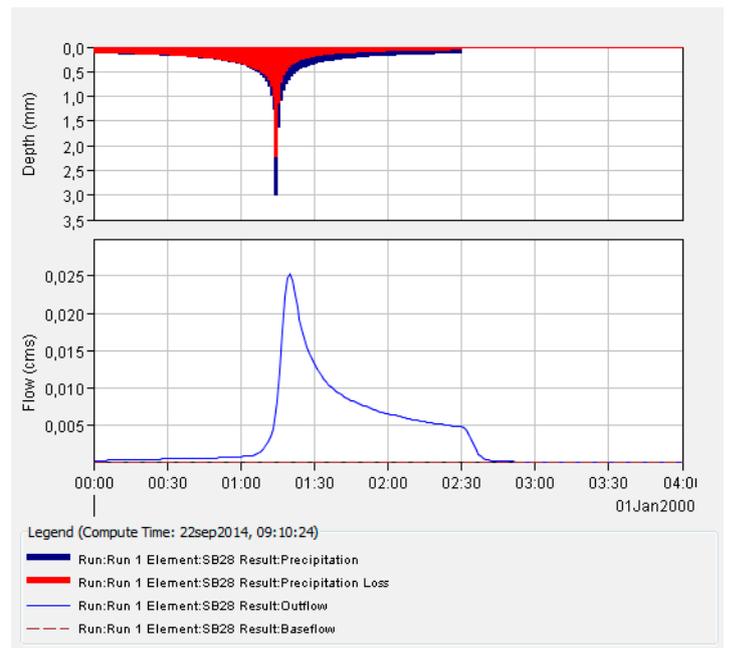


b)

Figura 60. a) Subcuenca 25 b) Subcuenca 26

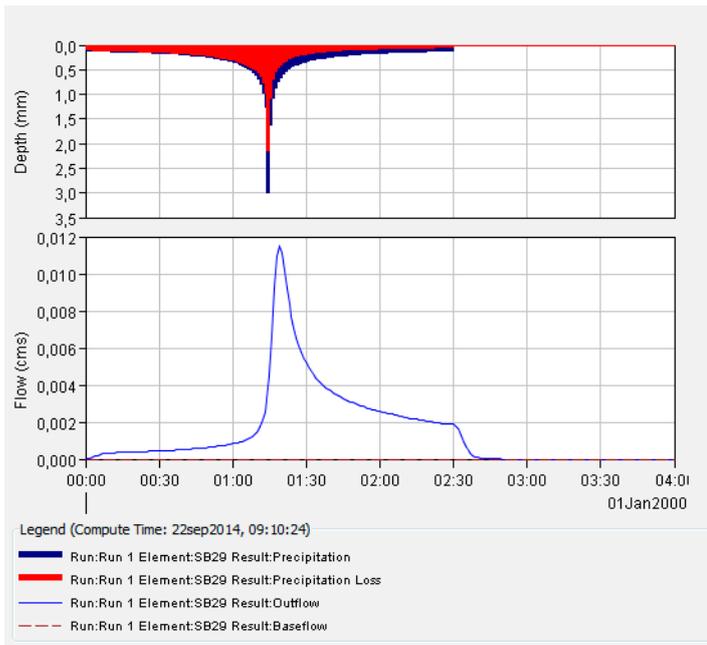


a)

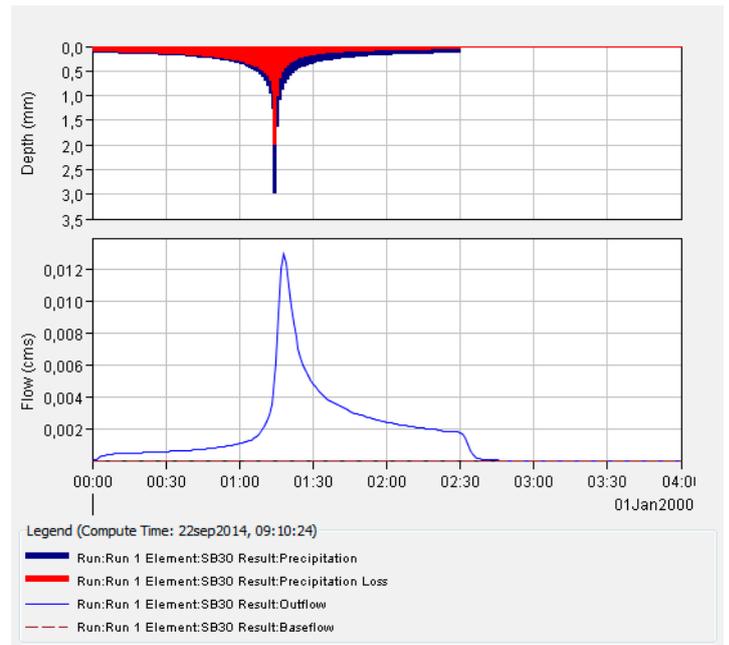


b)

Figura 61. a) Subcuenca 27 b) Subcuenca 28

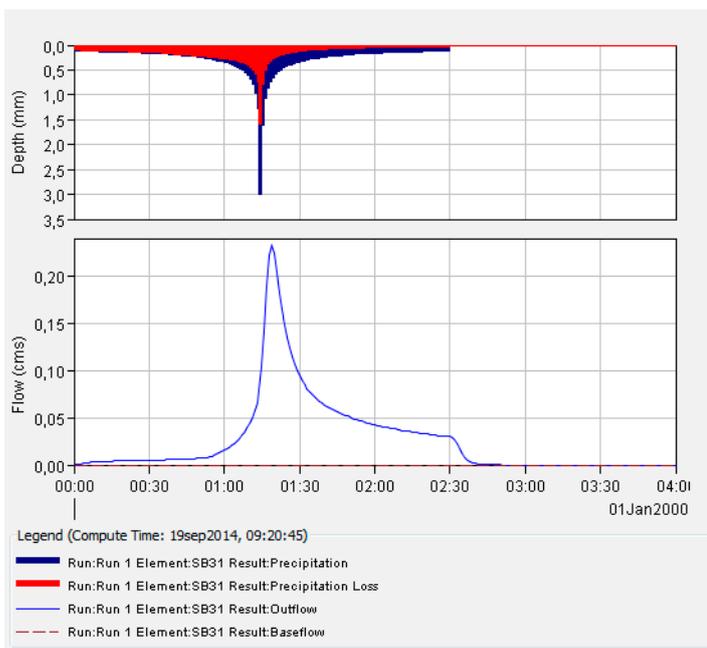


a)

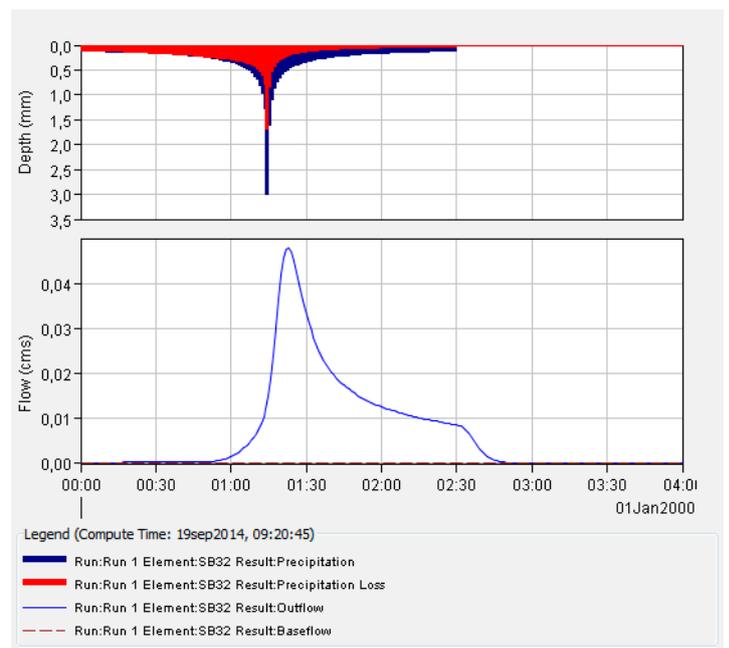


b)

Figura 62. a) Subcuenca 29 b) Subcuenca 30

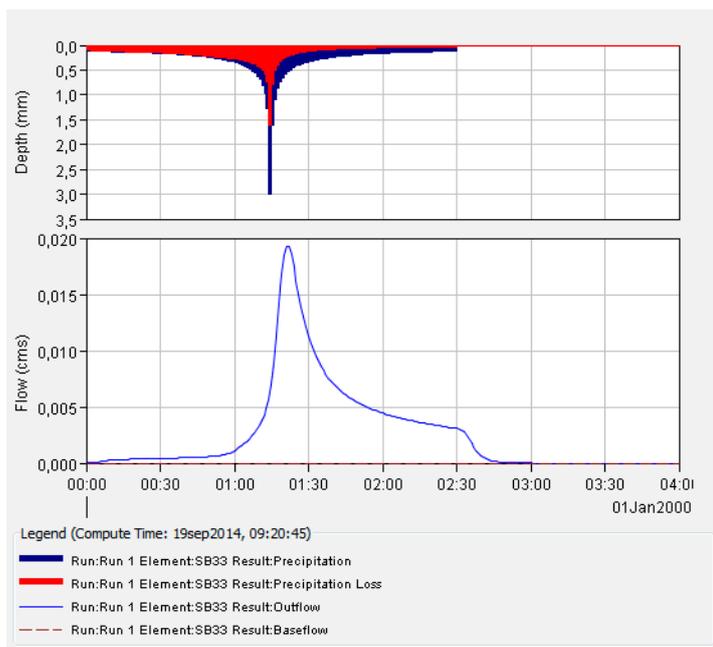


a)

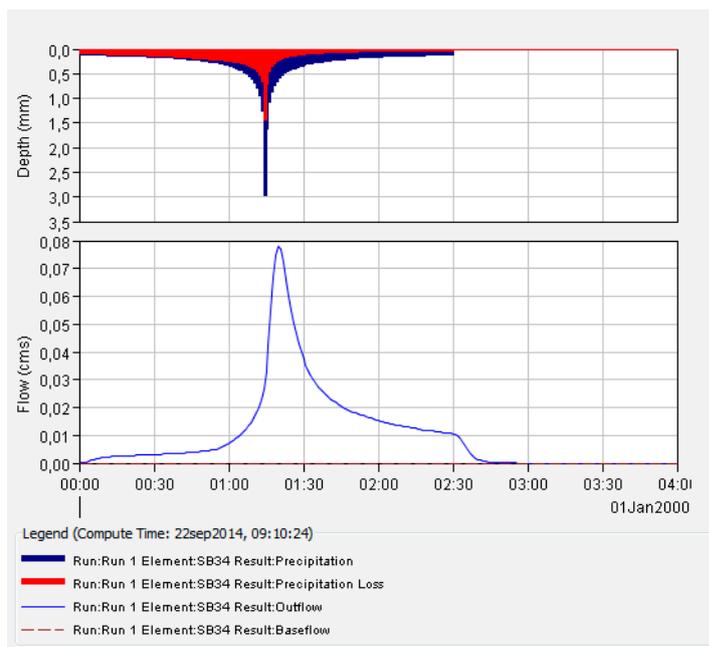


b)

Figura 63. a) Subcuenca 31 b) Subcuenca 32

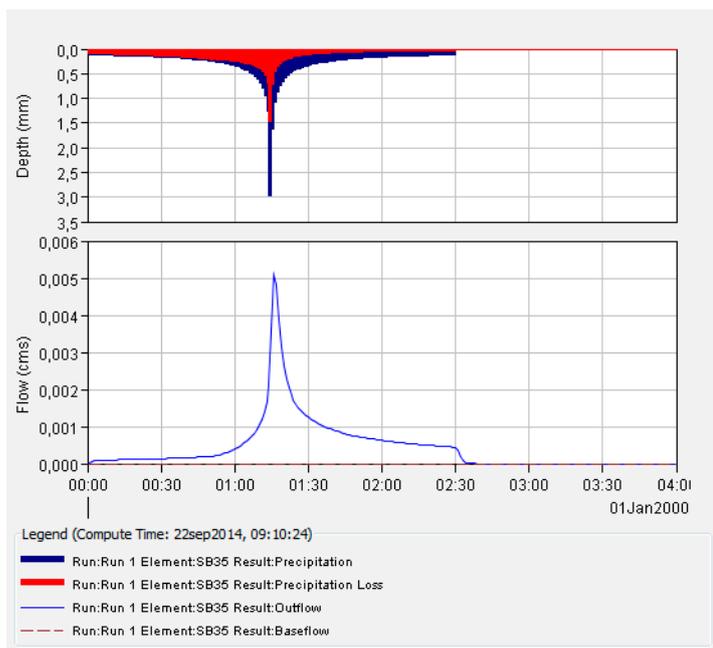


a)

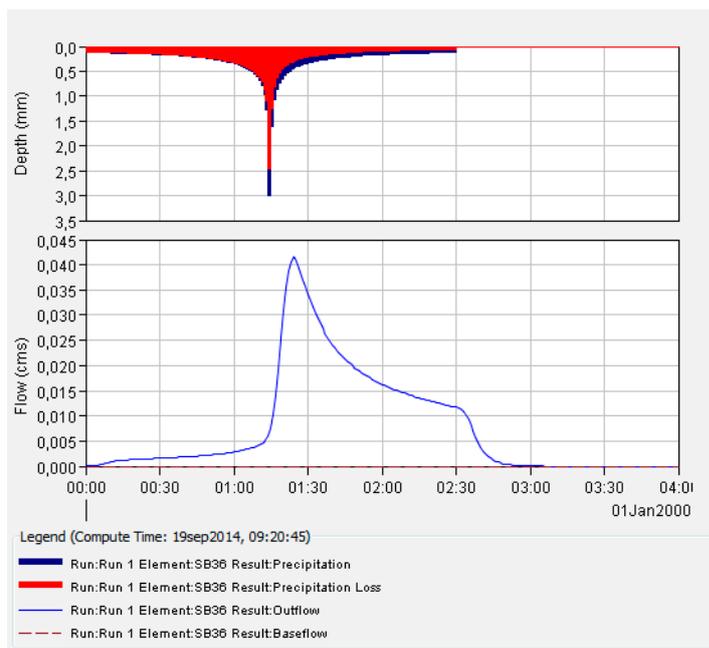


b)

Figura 64. a) Subcuenca 33 b) Subcuenca 34

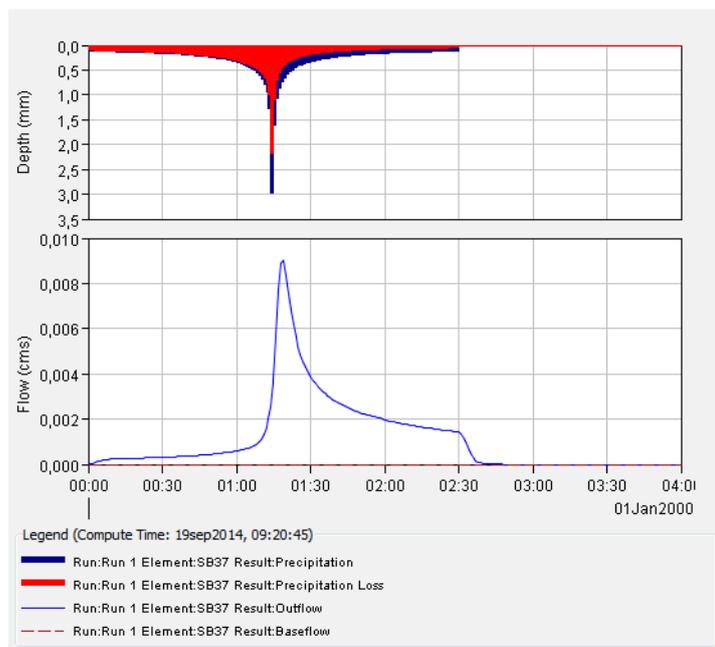


a)

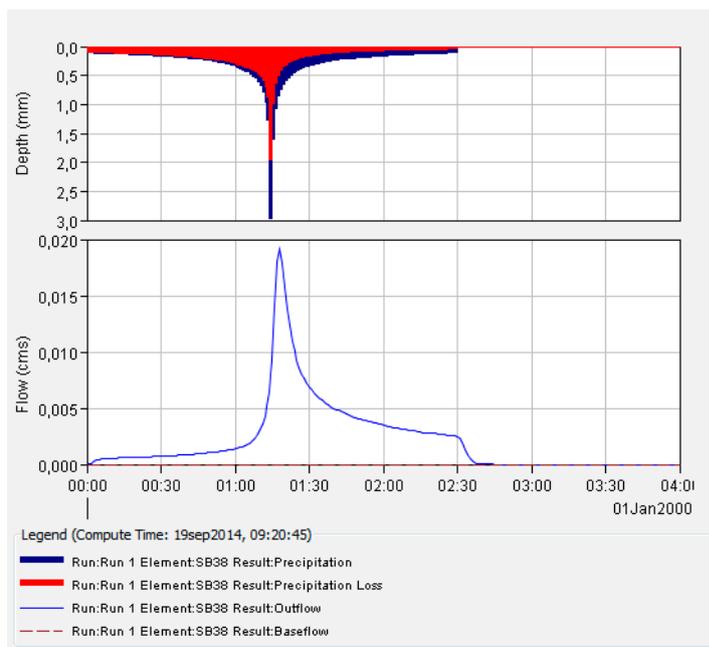


b)

Figura 65. a) Subcuenca 35 b) Subcuenca 36

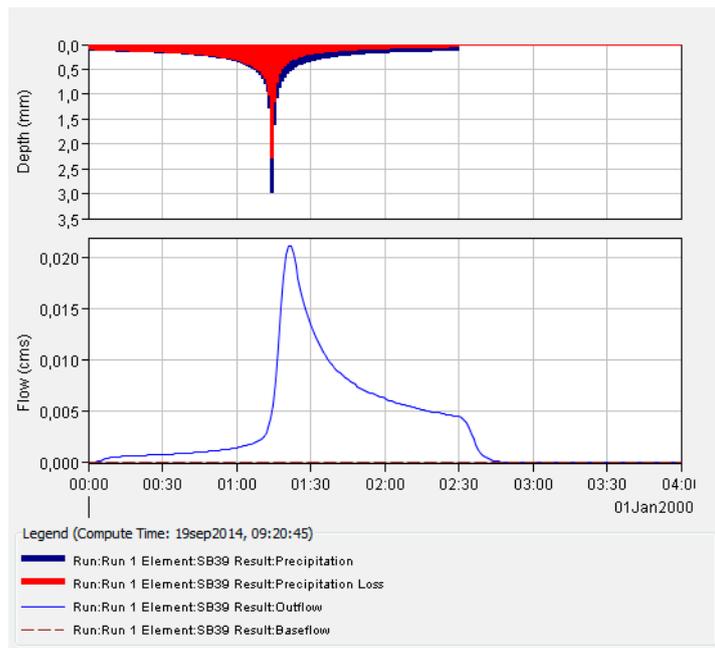


a)

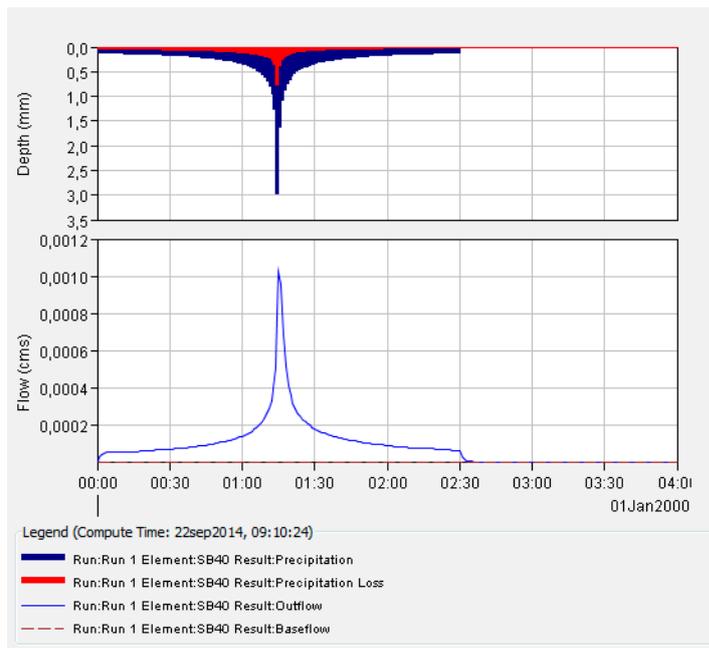


b)

Figura 66. a) Subcuenca 37 b) Subcuenca 38

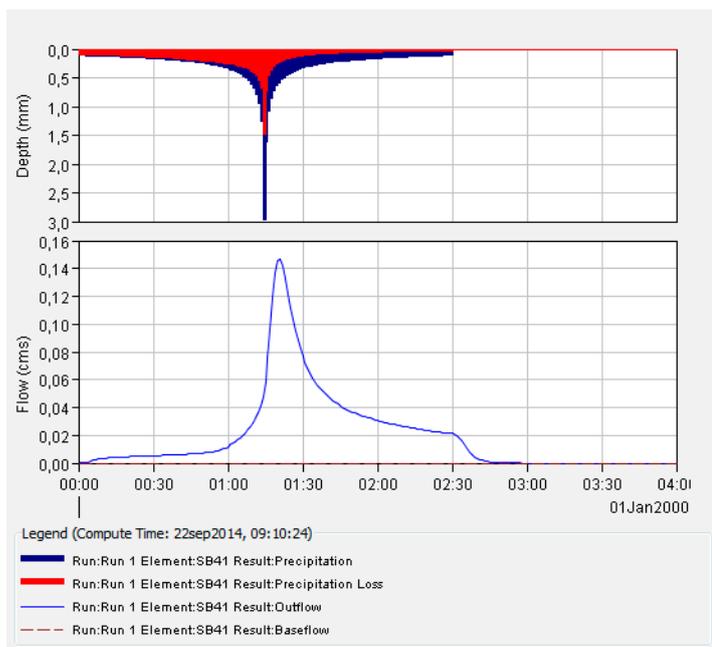


a)

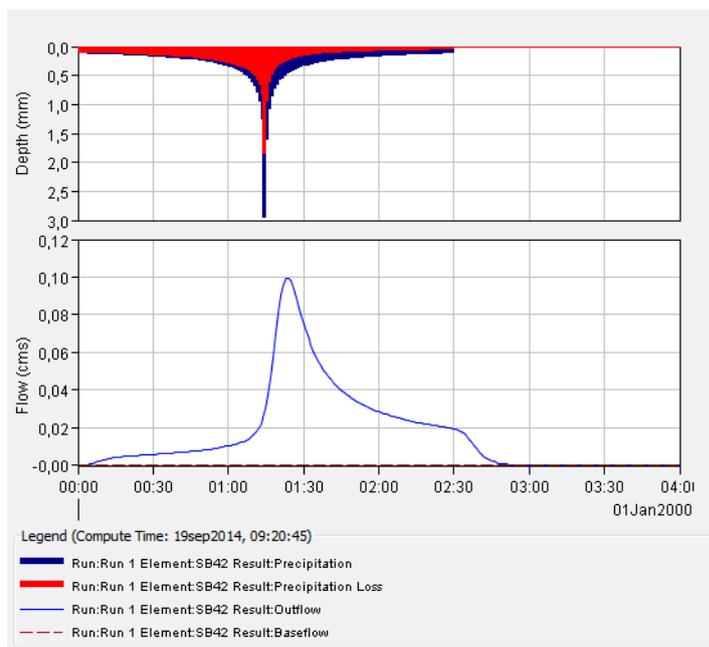


b)

Figura 67. a) Subcuenca 39 b) Subcuenca 40

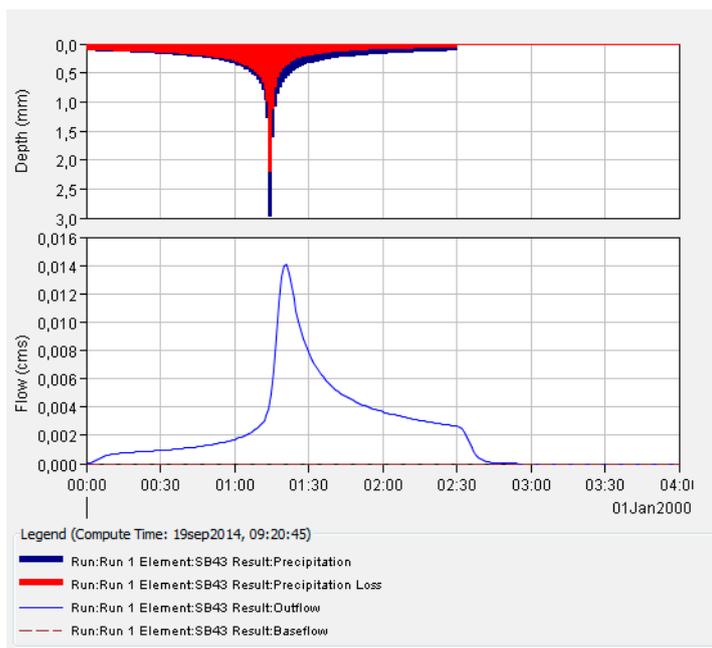


a)

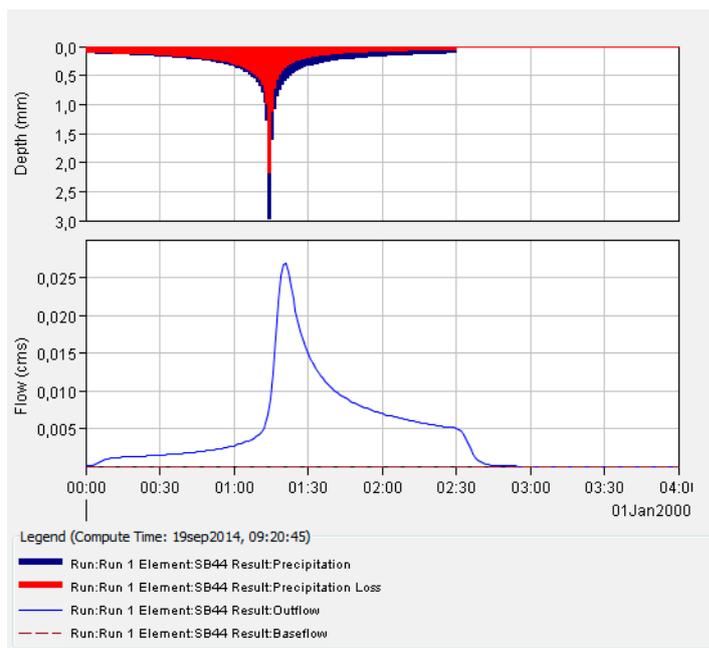


b)

Figura 68. a) Subcuenca 41 b) Subcuenca 42

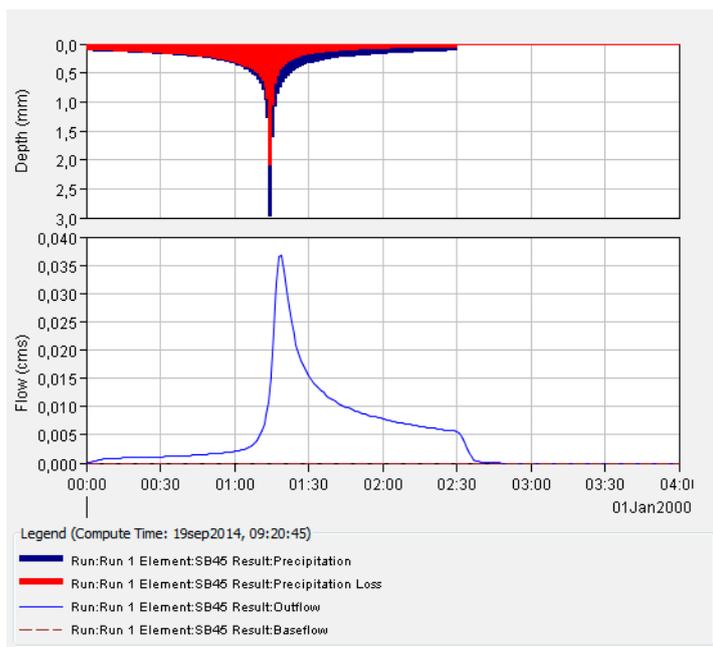


a)

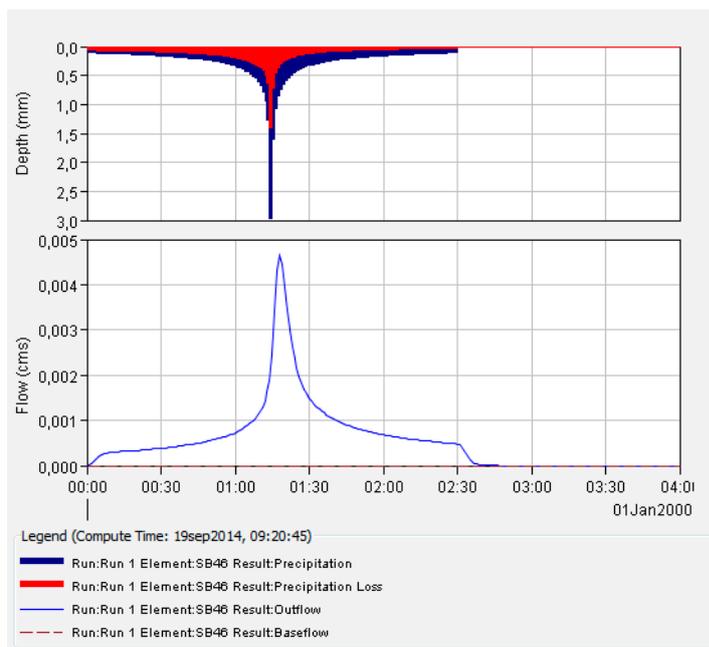


b)

Figura 69. a) Subcuenca 43 b) Subcuenca 44

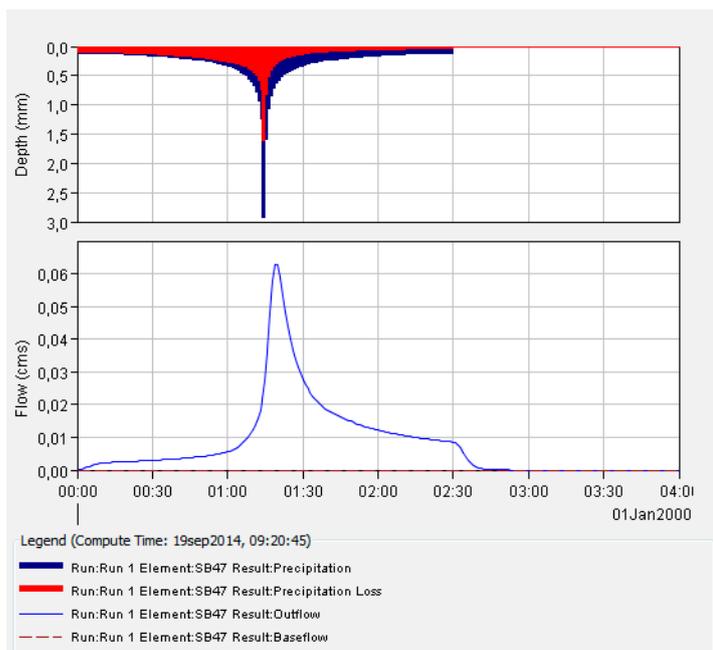


a)

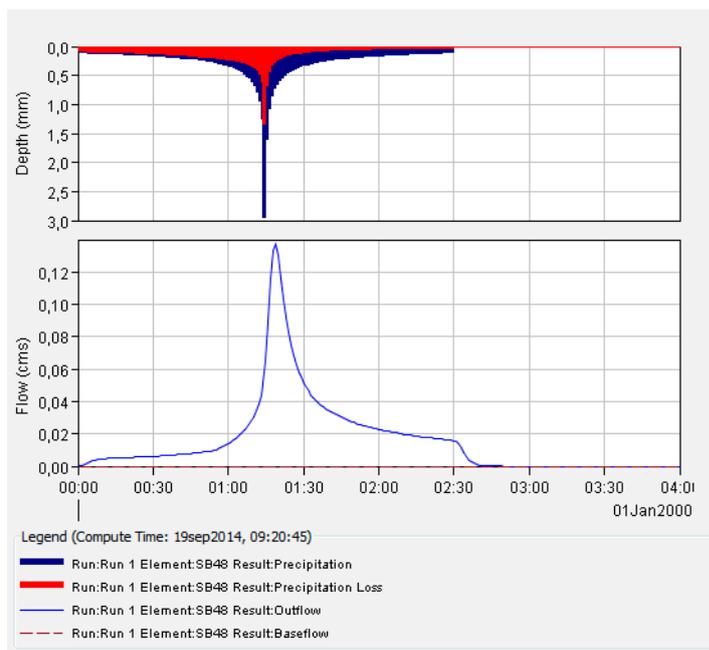


b)

Figura 70. a) Subcuenca 45 b) Subcuenca 46

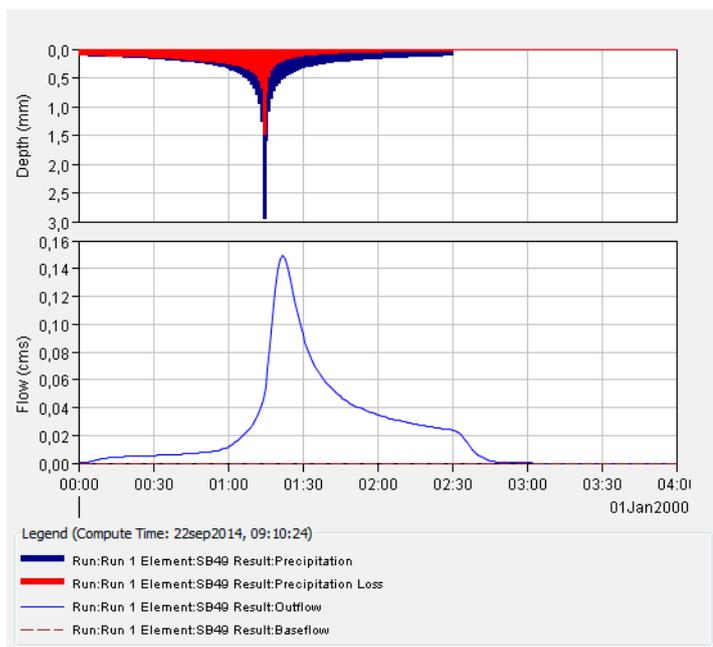


a)

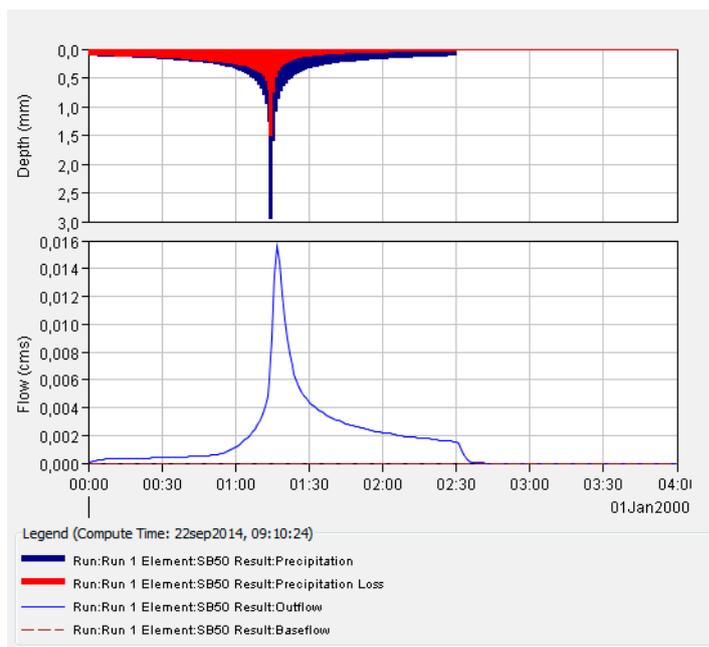


b)

Figura 71. a) Subcuenca 47 b) Subcuenca 48

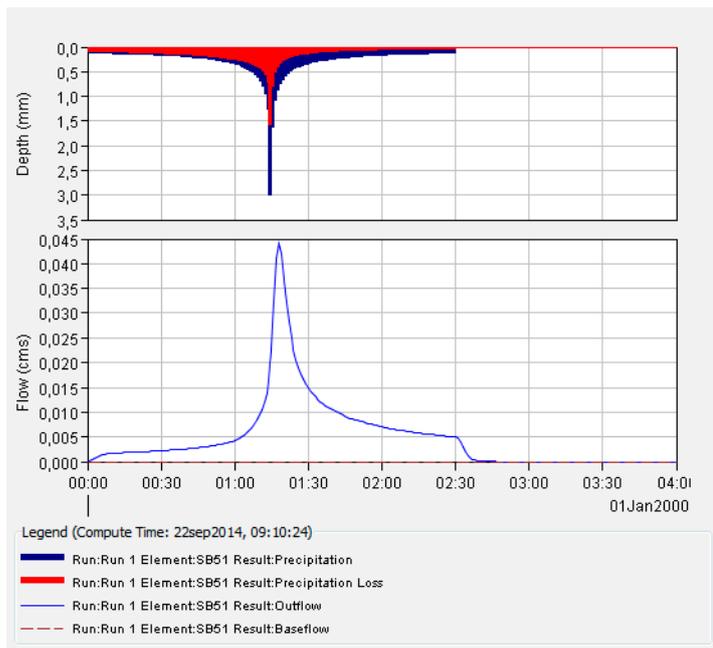


a)

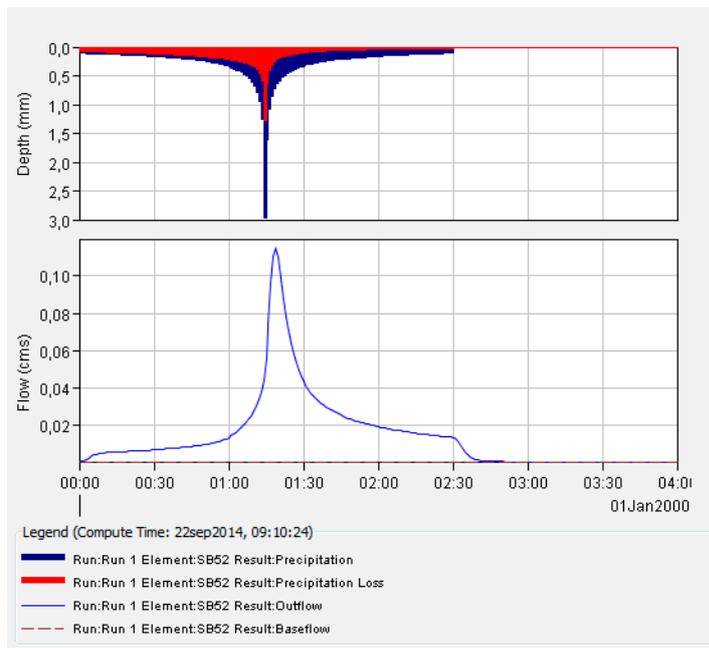


b)

Figura 72. a) Subcuenca 49 b) Subcuenca 50

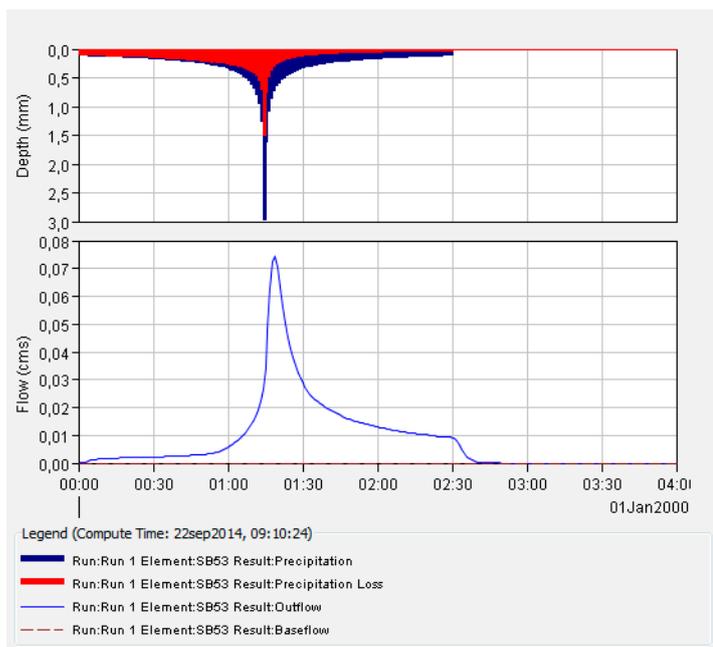


a)

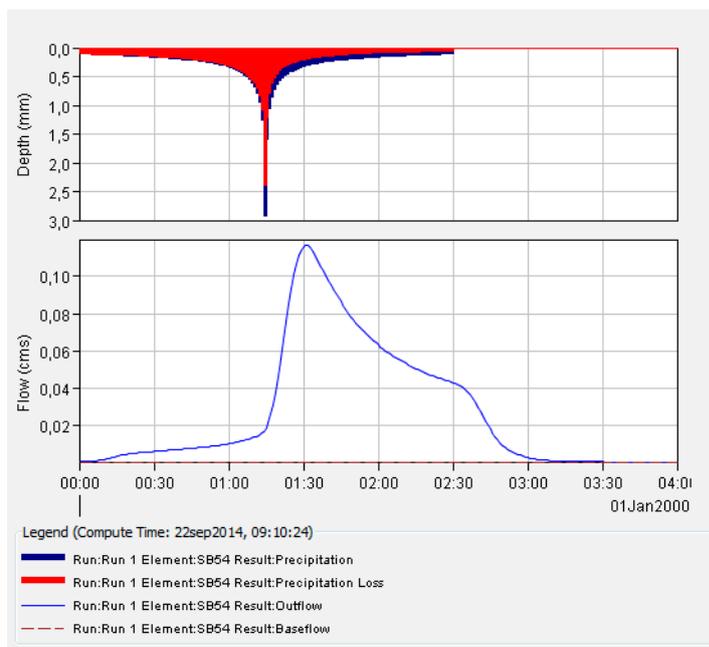


b)

Figura 73. a) Subcuenca 51 b) Subcuenca 52

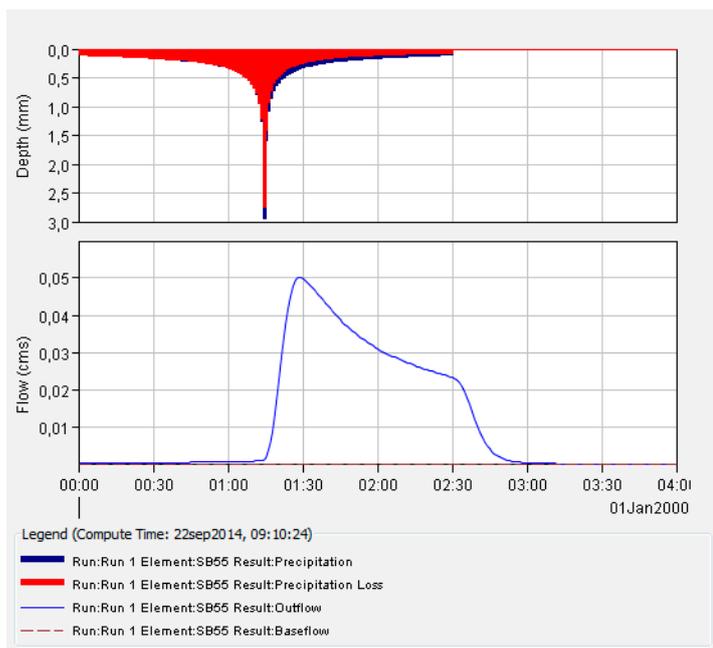


a)

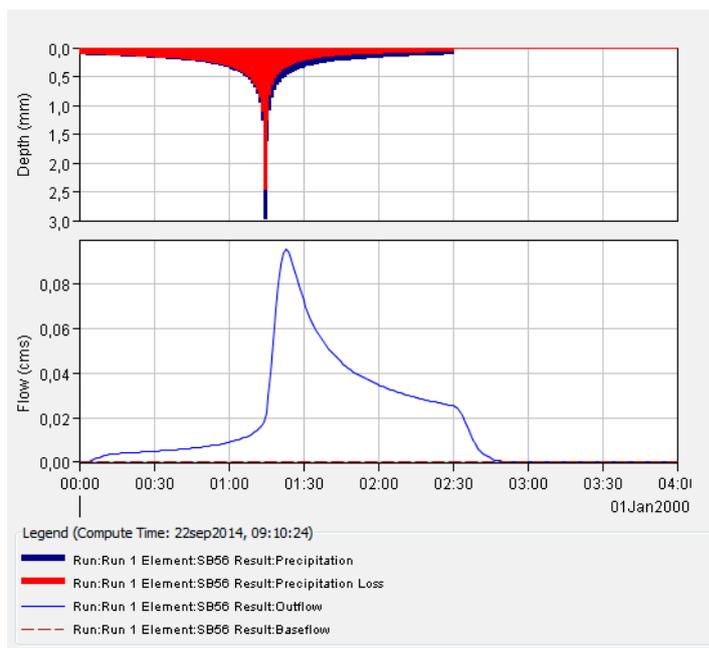


b)

Figura 74. a) Subcuenca 53 b) Subcuenca 54

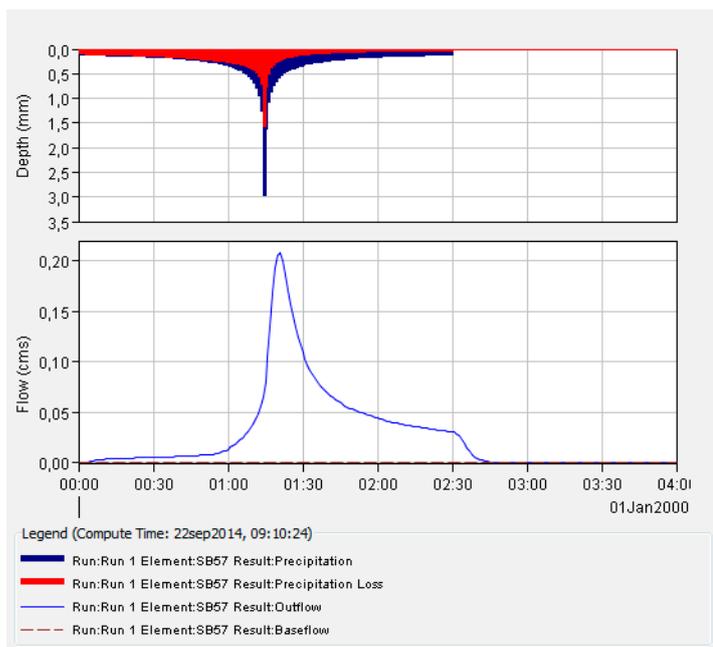


a)

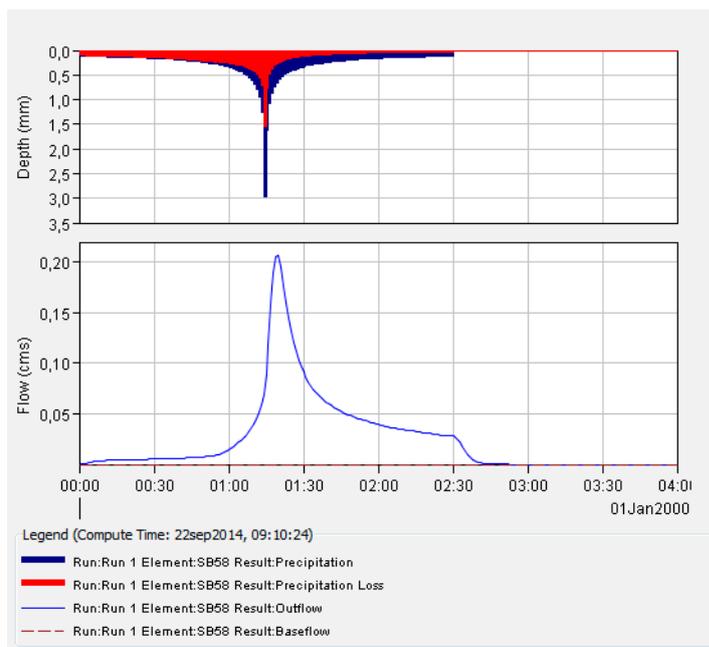


b)

Figura 75. a) Subcuenca 55 b) Subcuenca 56

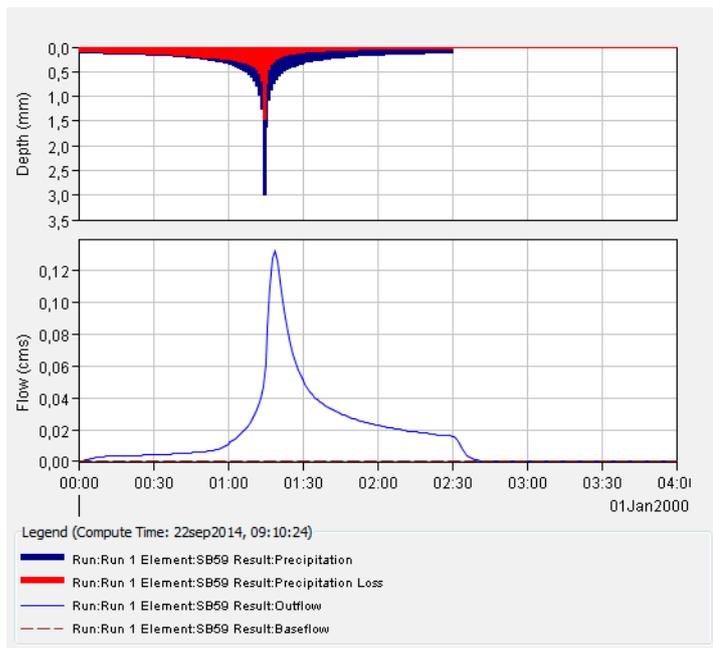


a)

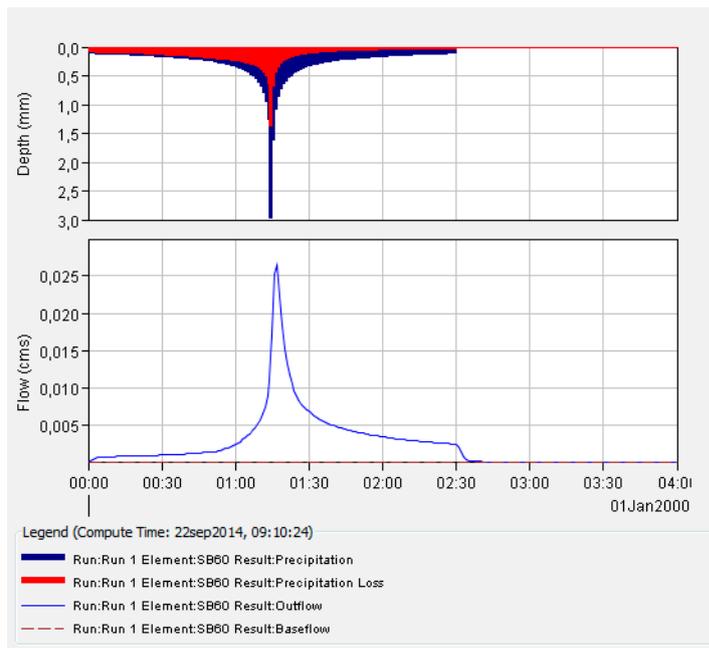


b)

Figura 76. a) Subcuenca 57 b) Subcuenca 58

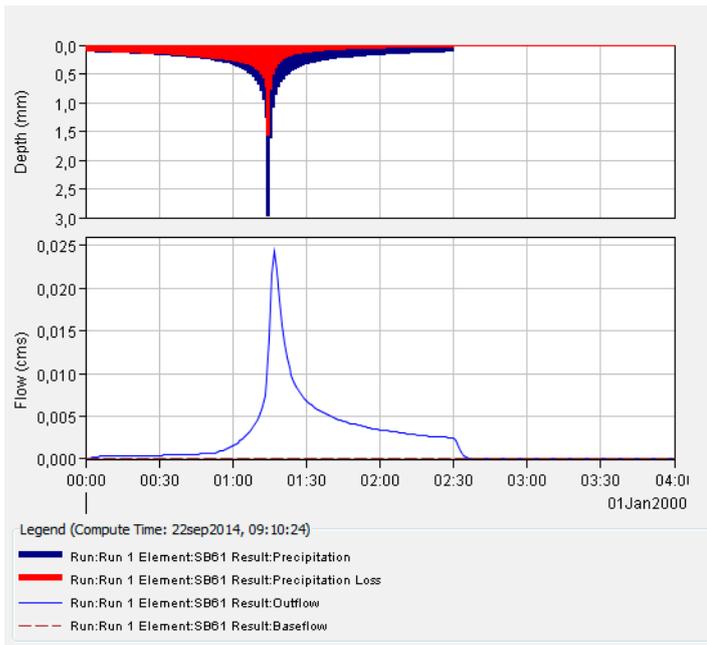


a)

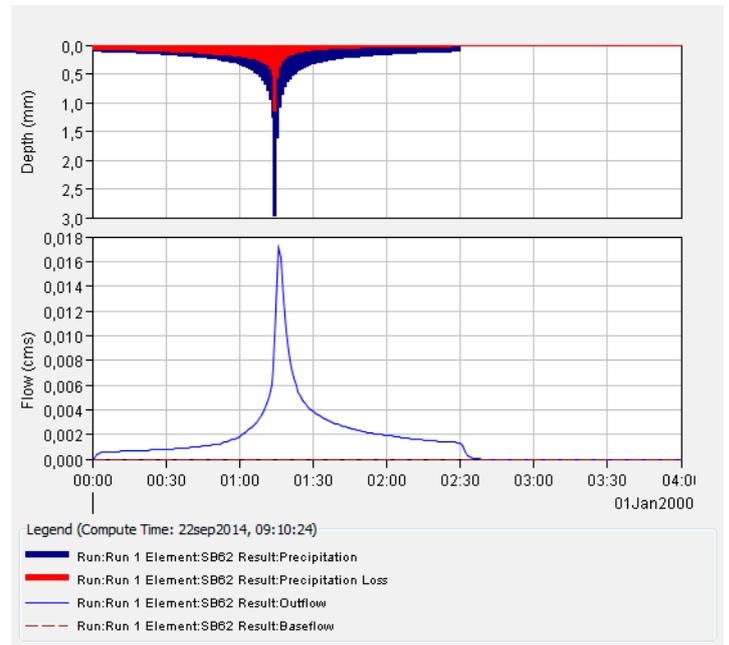


b)

Figura 77. a) Subcuenca 59 b) Subcuenca 60

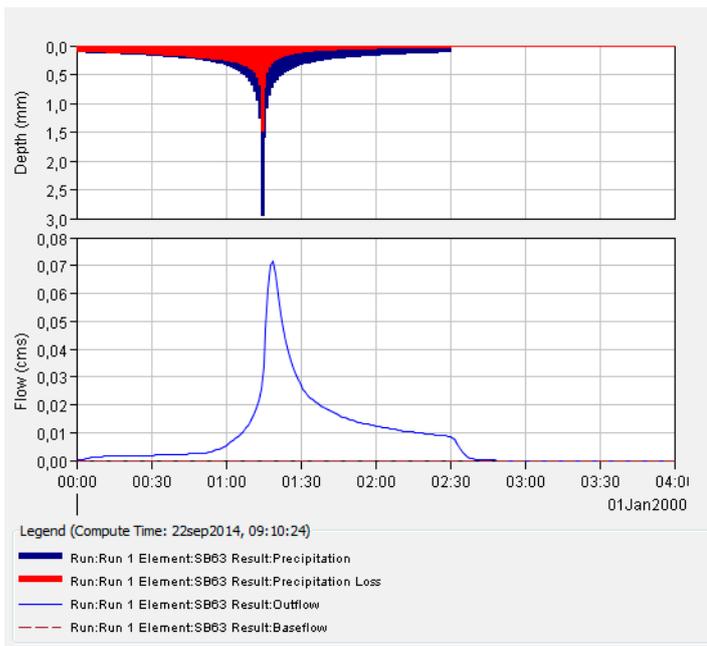


a)

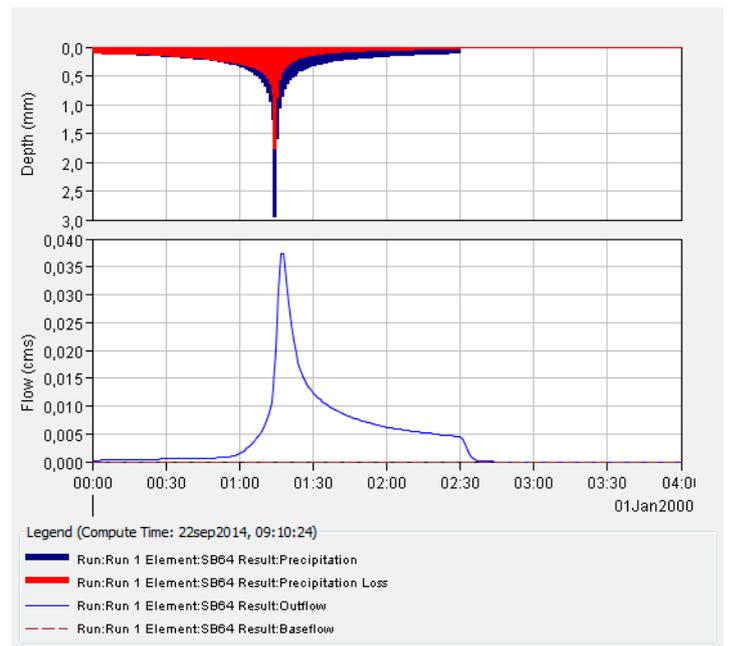


b)

Figura 78. a) Subcuenca 61 b) Subcuenca 62

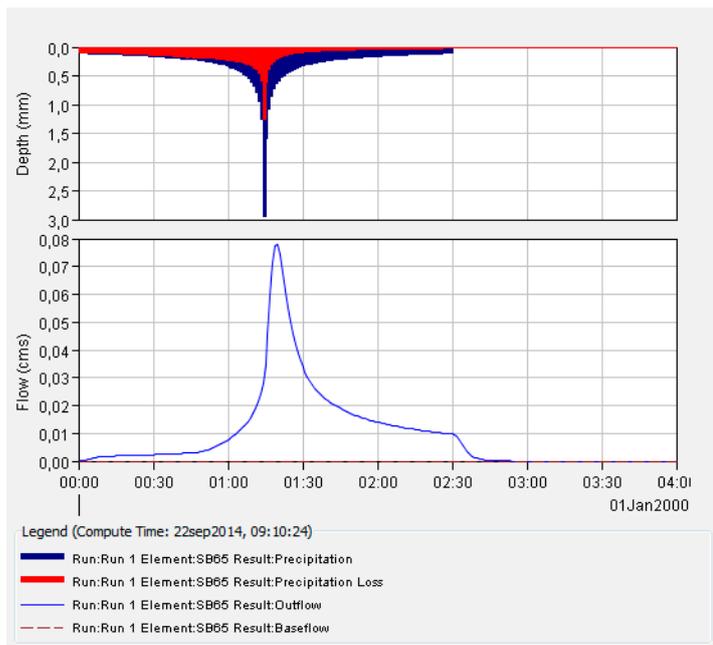


a)

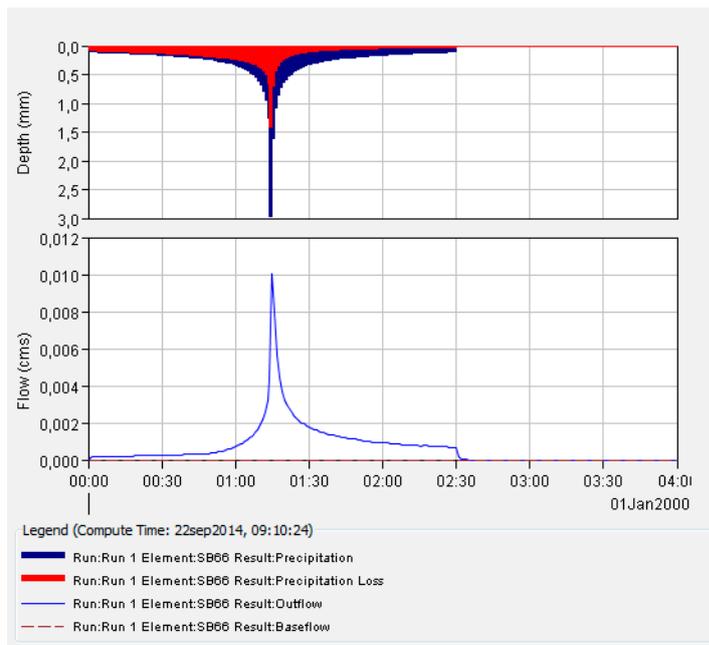


b)

Figura 79. a) Subcuenca 63 b) Subcuenca 64



a)



b)

Figura 80. a) Subcuenca 65 b) Subcuenca 66

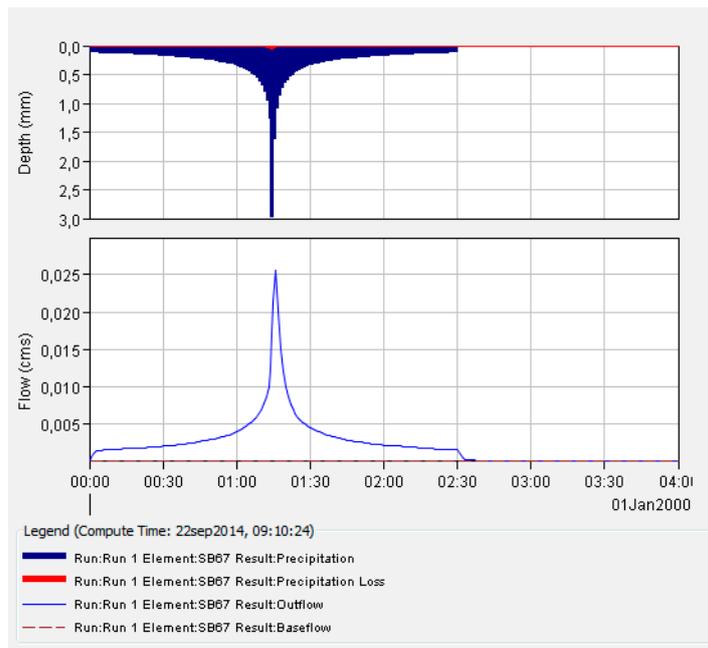
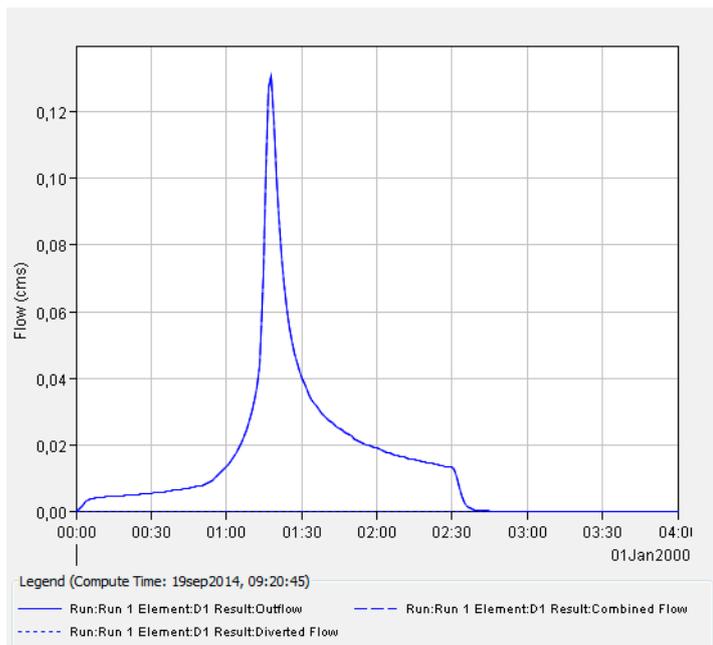
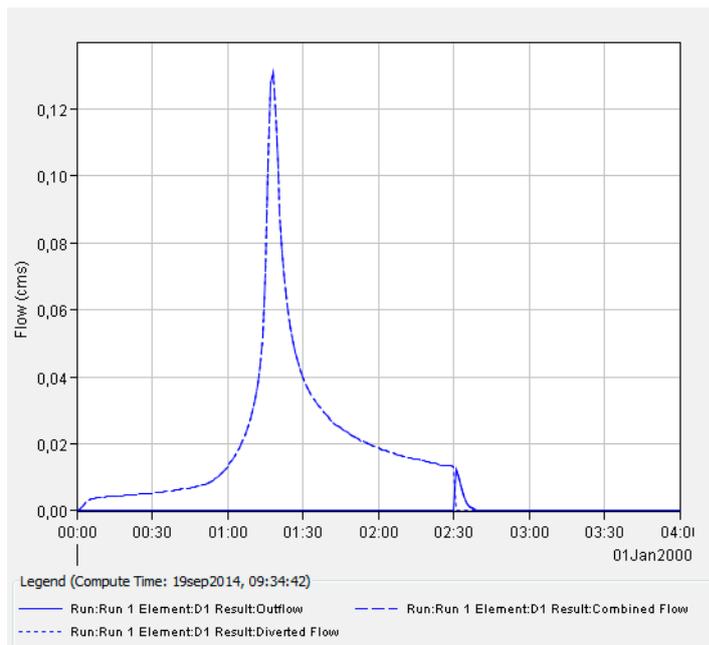


Figura 81. Subcuenca 67

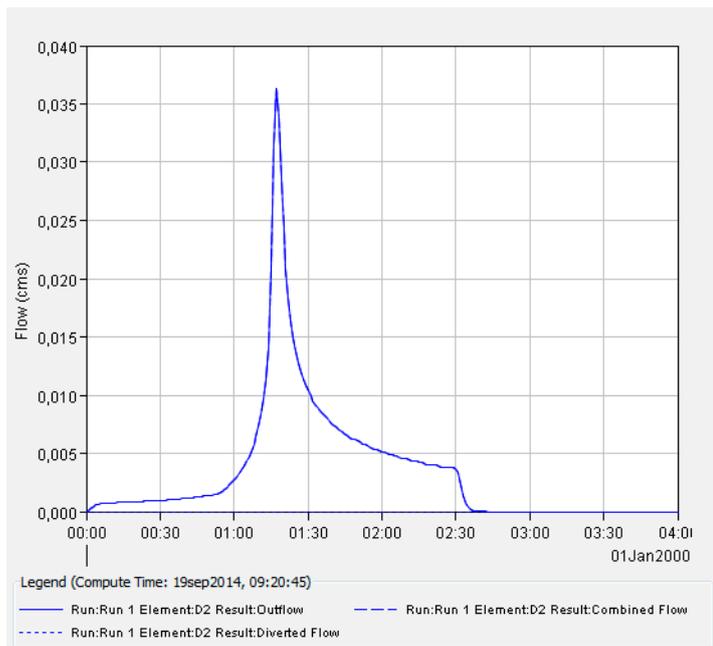


a)

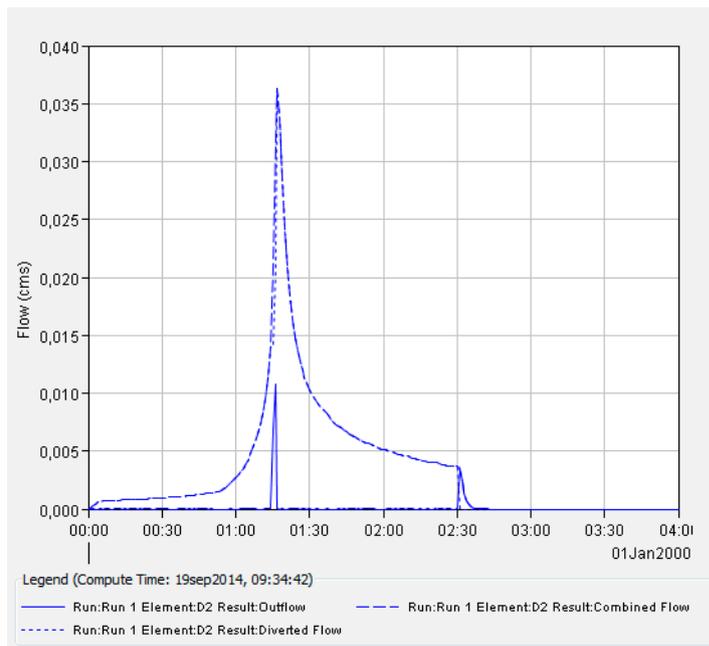


b)

Figura 82. Elemento de descarga 1. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

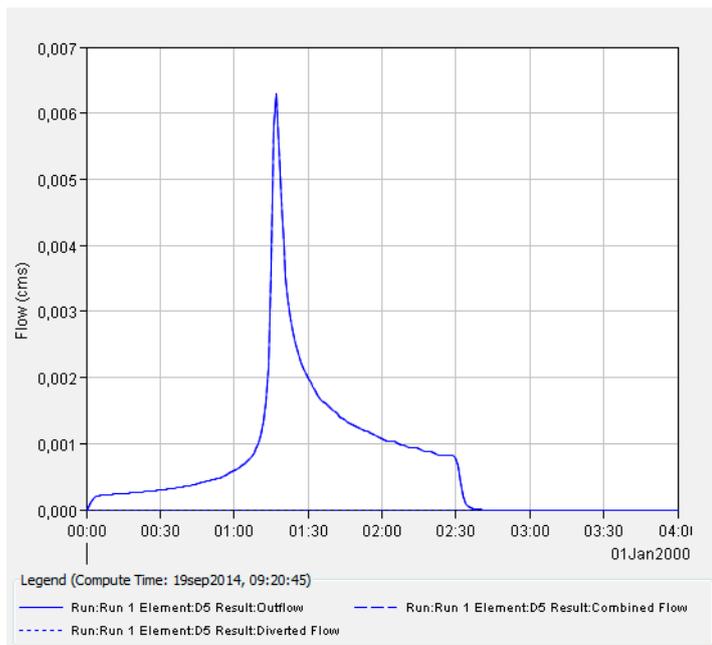


a)

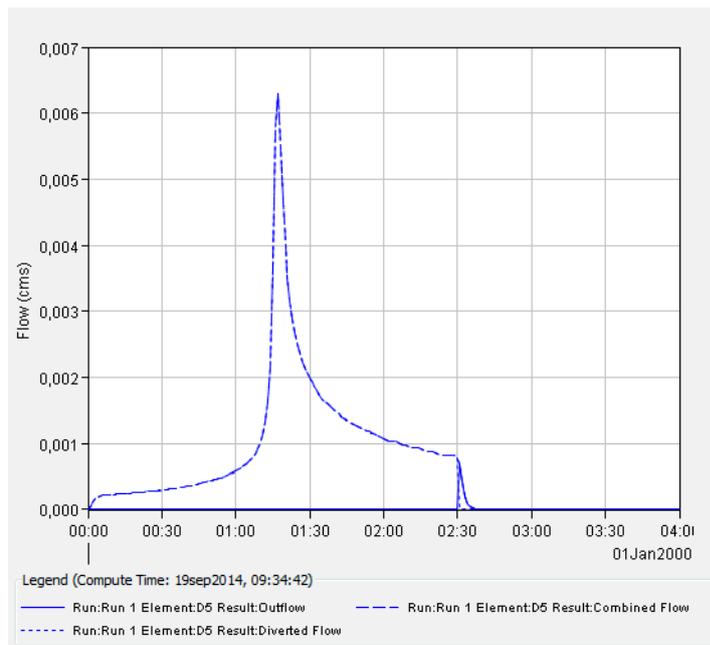


b)

Figura 83. Elemento de descarga 2. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

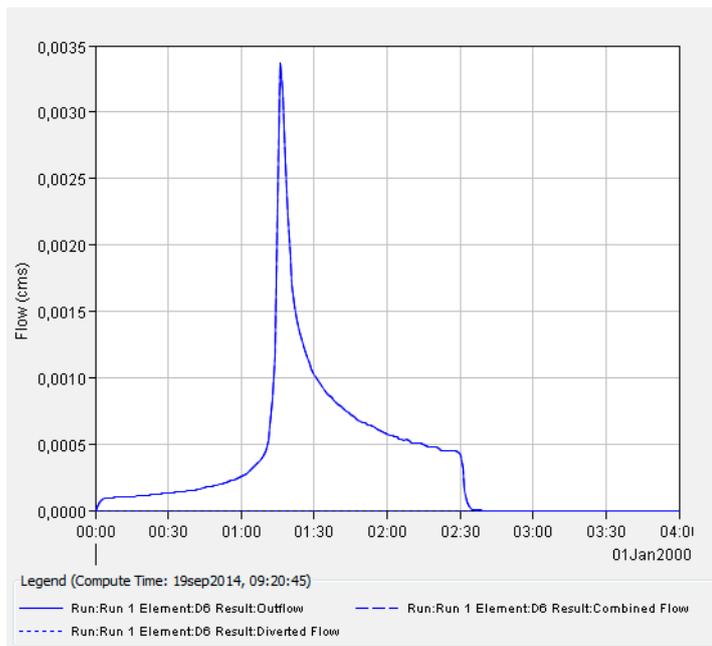


a)

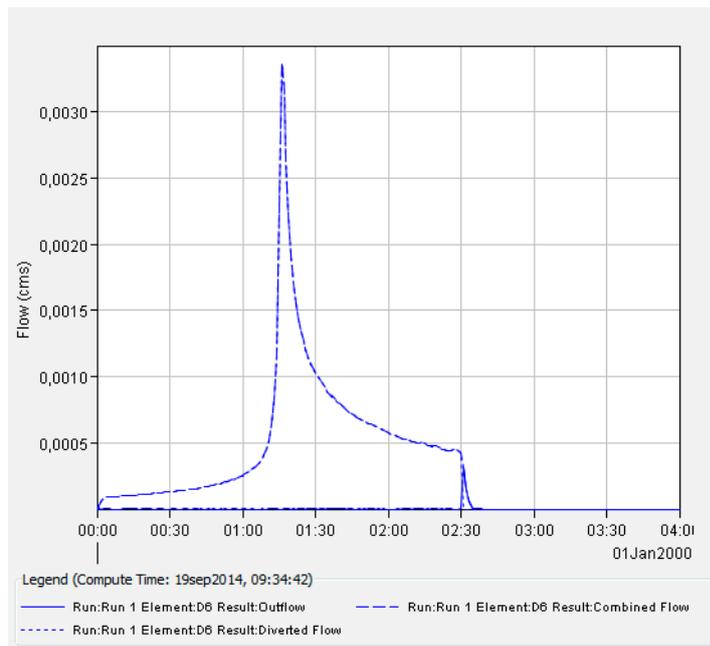


b)

Figura 84. Elemento de descarga 5. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

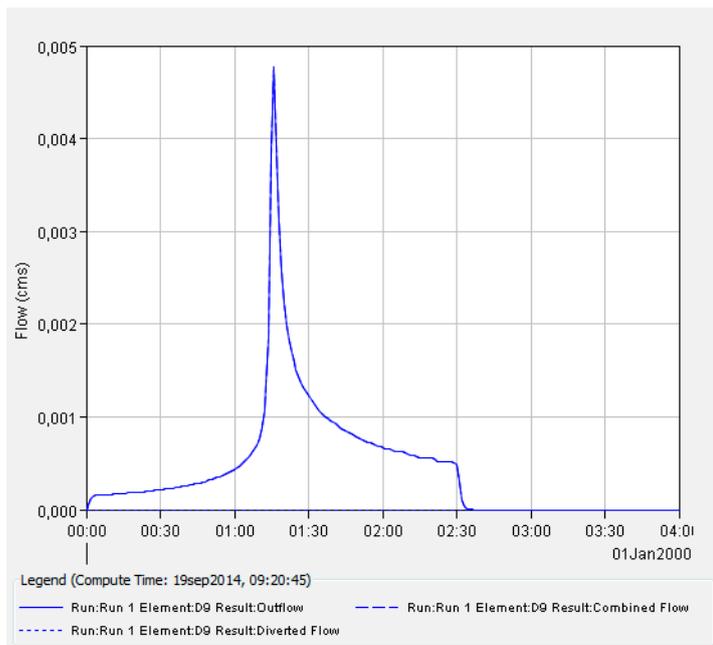


a)

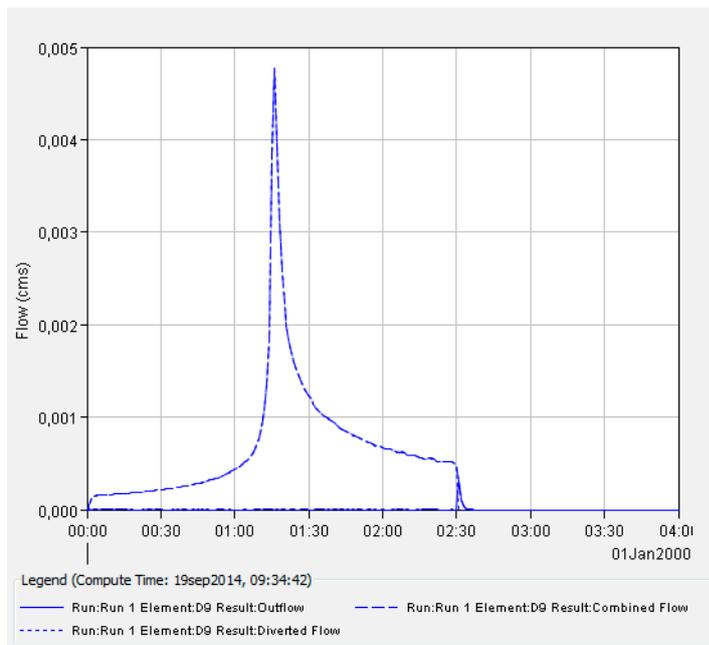


b)

Figura 85. Elemento de descarga 6. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

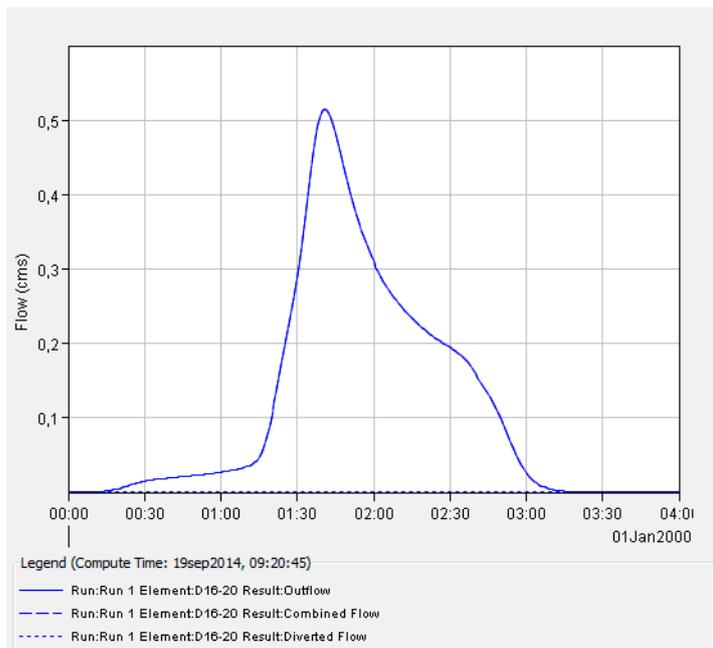


a)

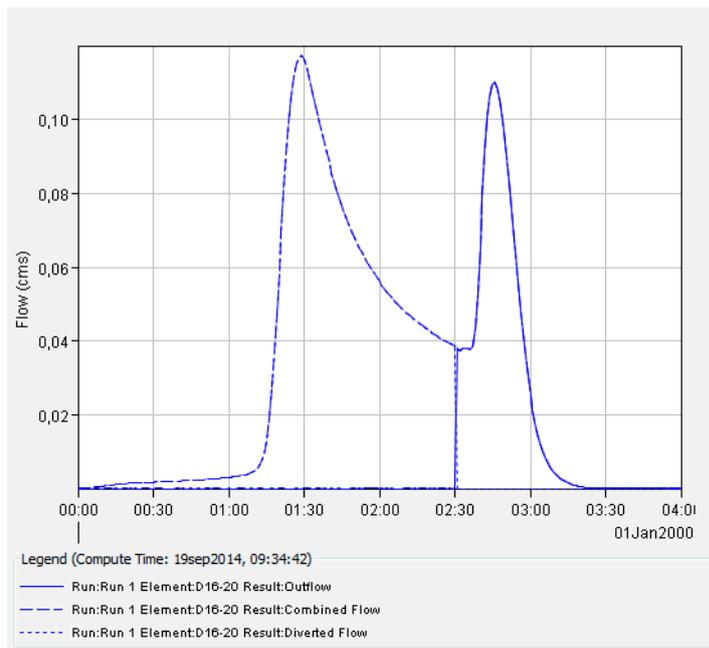


b)

Figura 86. Elemento de descarga 9. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

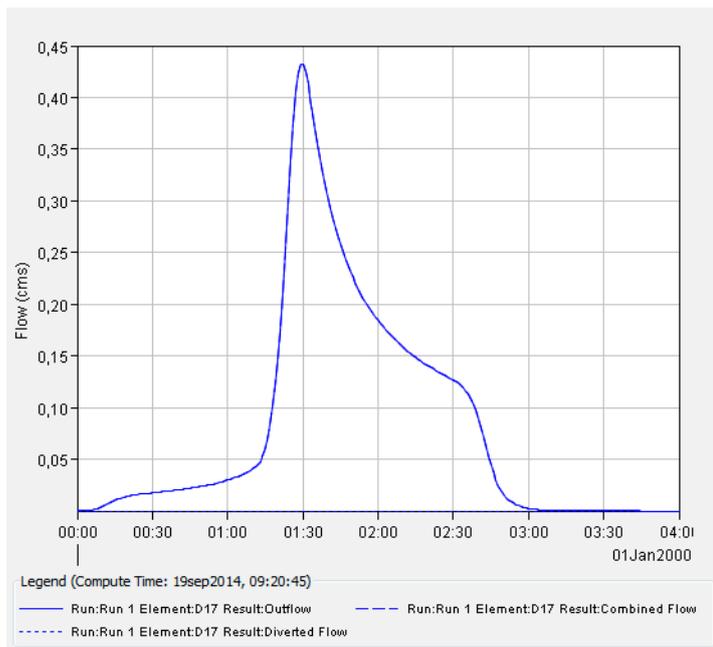


a)

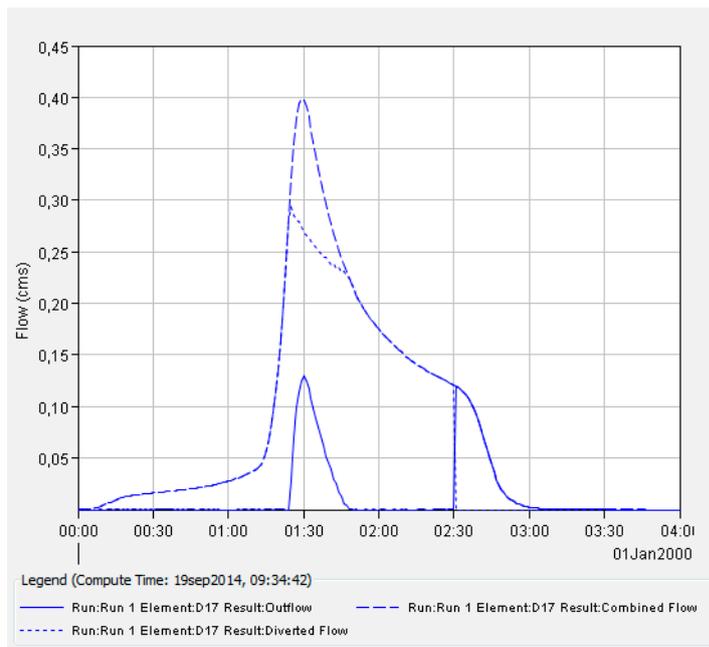


b)

Figura 87. Elemento de descarga 16-20. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

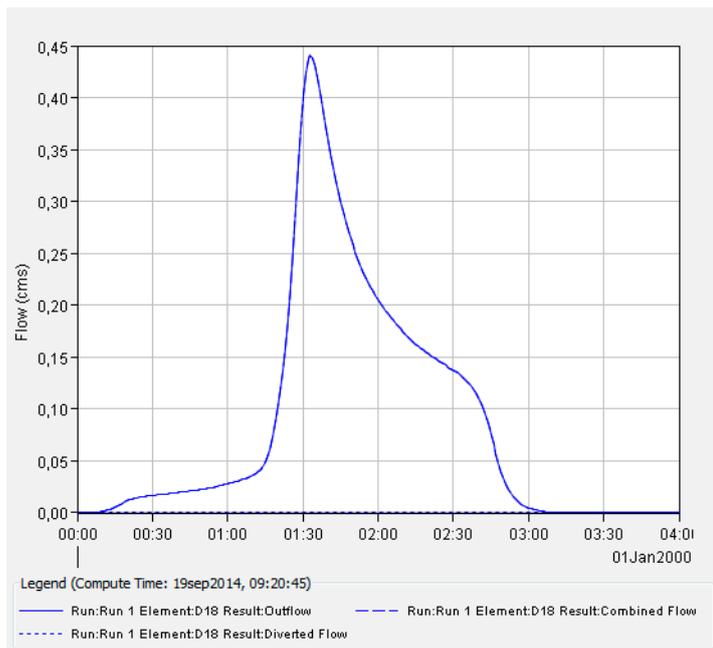


a)

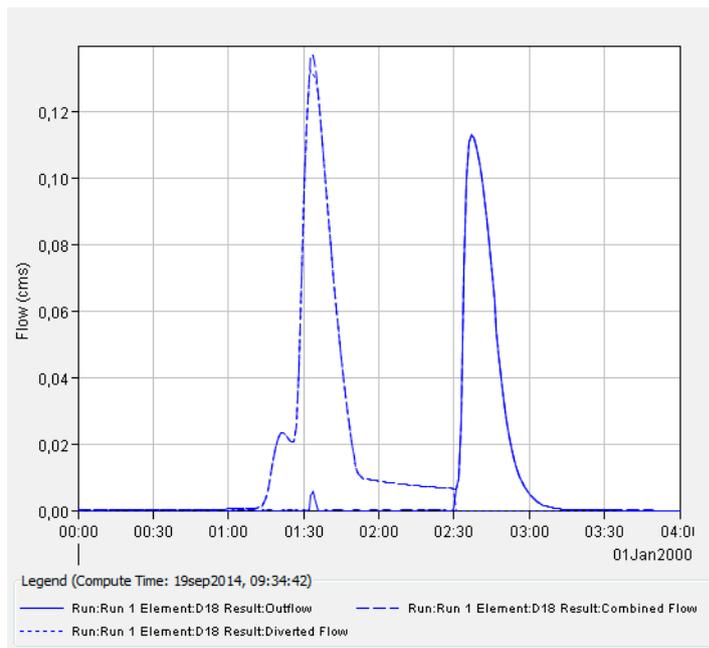


b)

Figura 88. Elemento de descarga 17. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

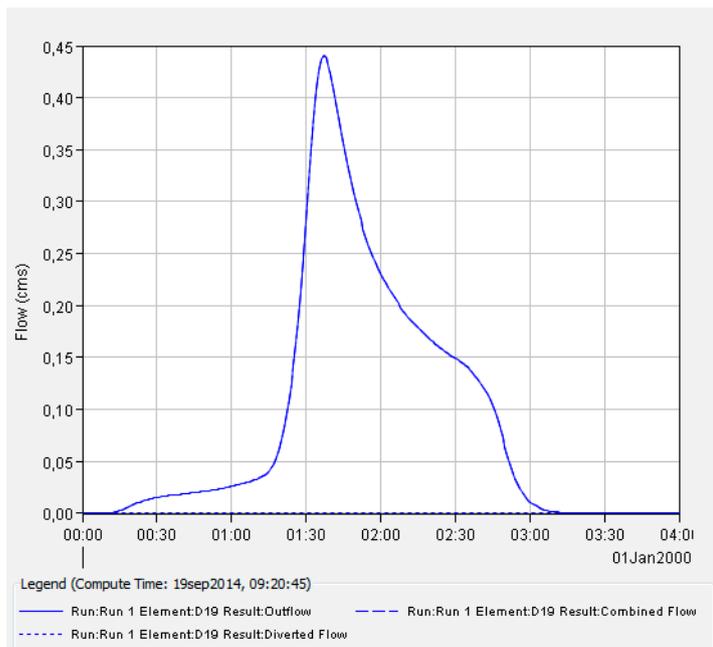


a)

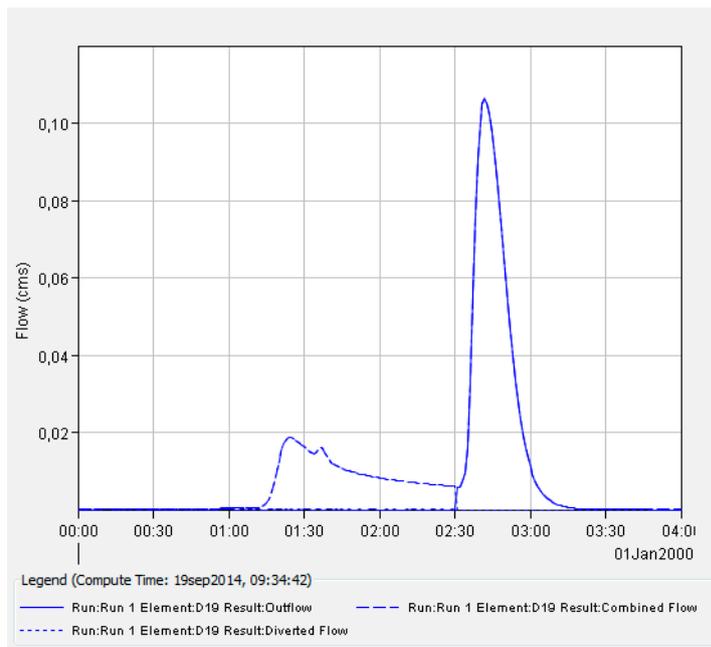


b)

Figura 89. Elemento de descarga 18. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

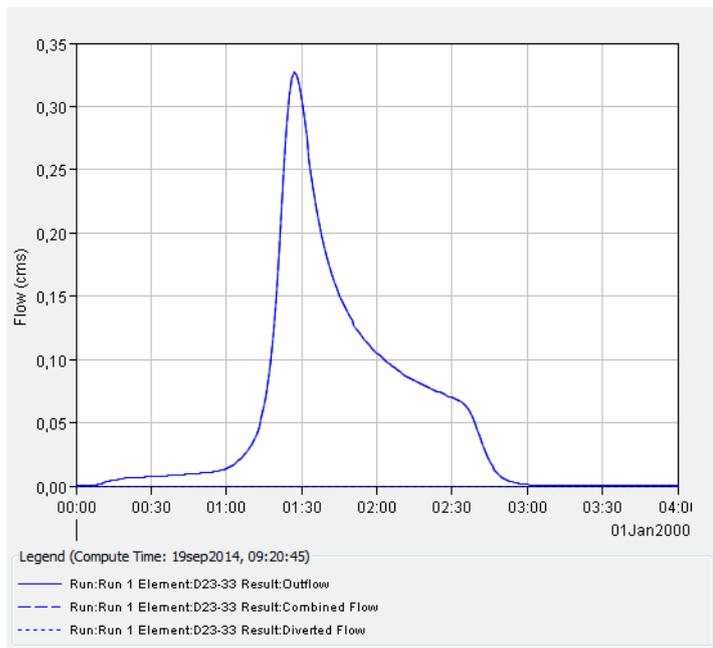


a)

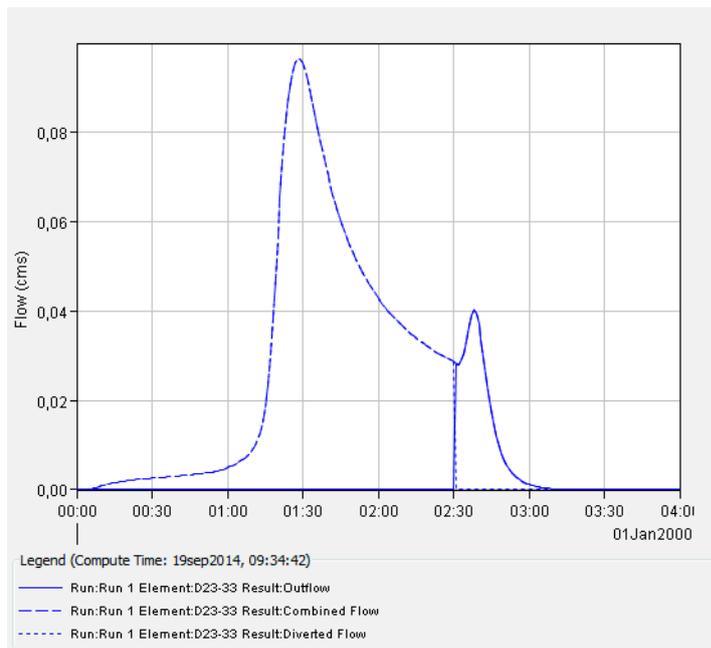


b)

Figura 90. Elemento de descarga 19. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

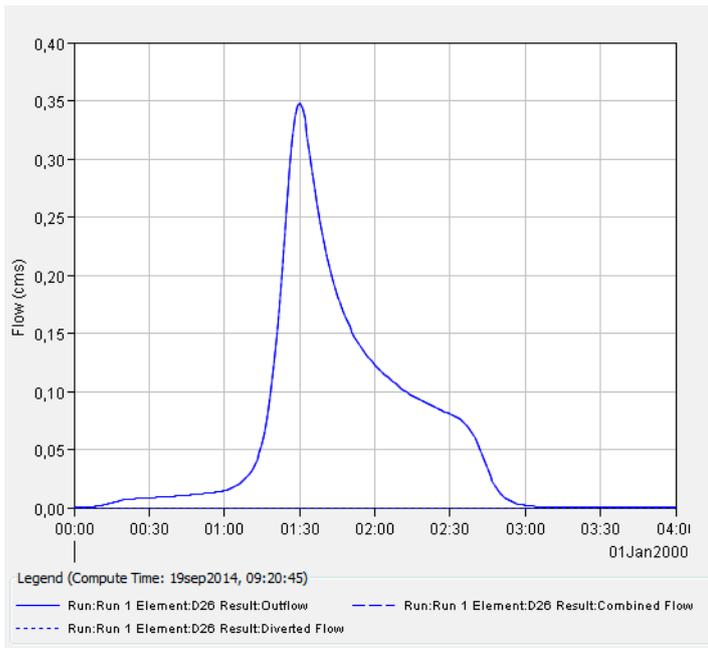


a)

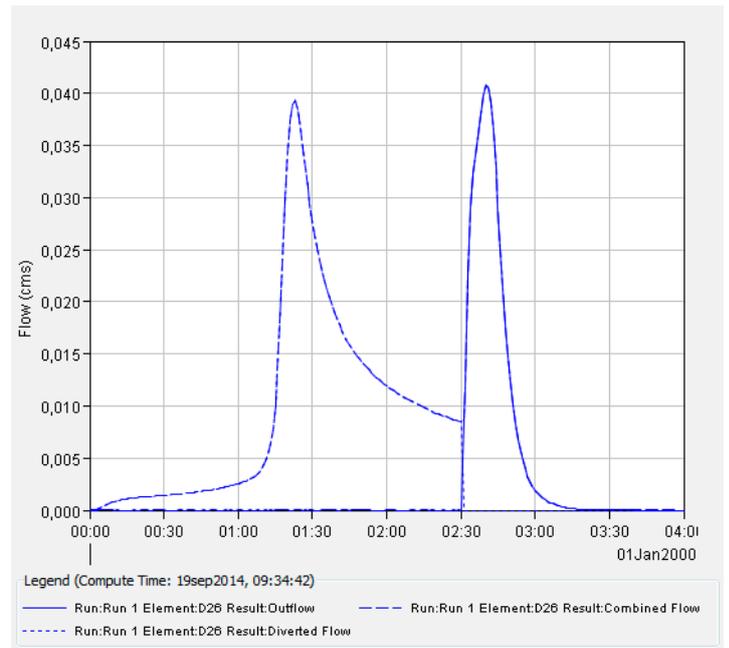


b)

Figura 91. Elemento de descarga 23-33. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

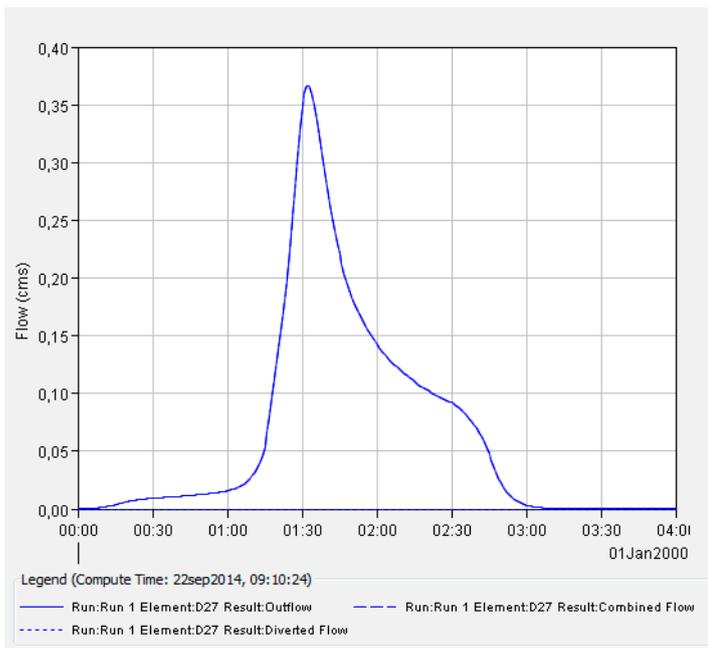


a)

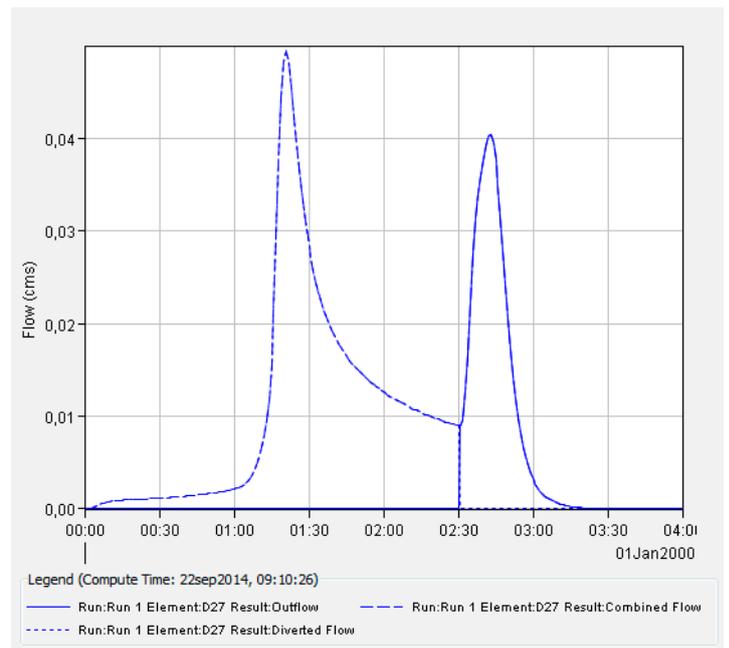


b)

Figura 92. Elemento de descarga 26. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

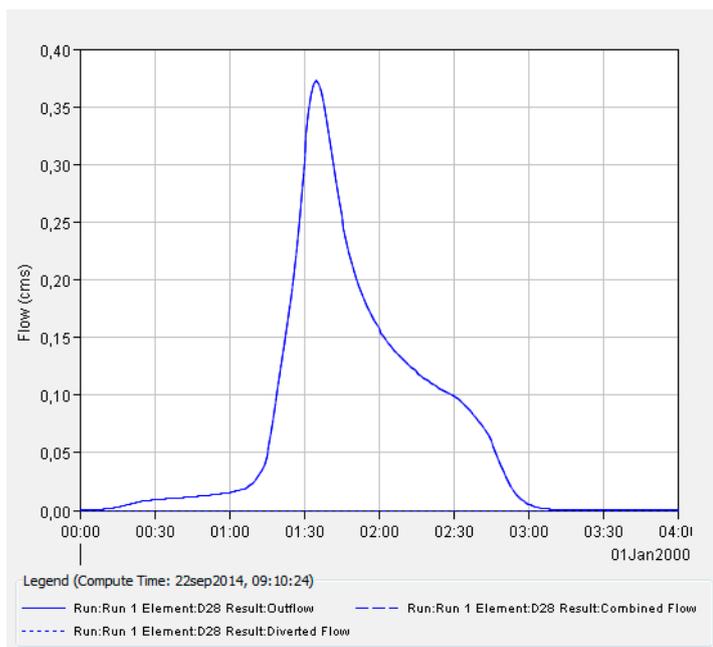


a)

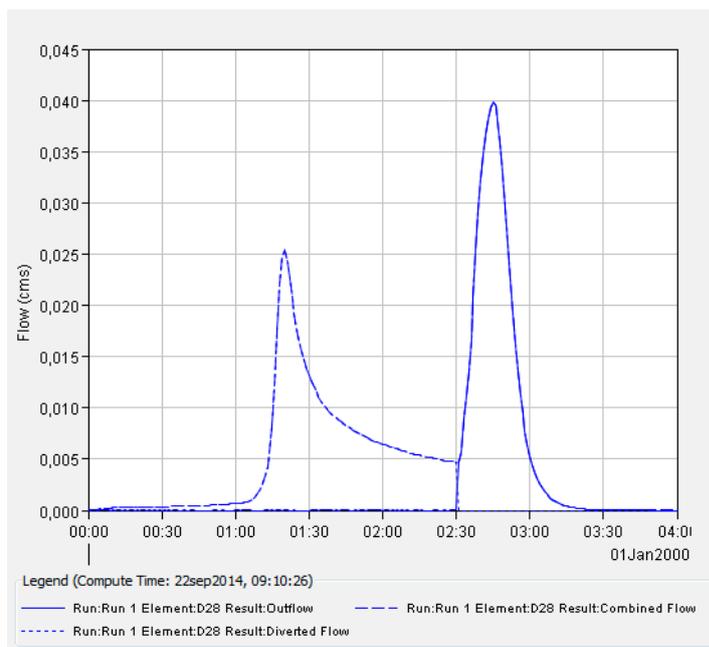


b)

Figura 93. Elemento de descarga 27. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

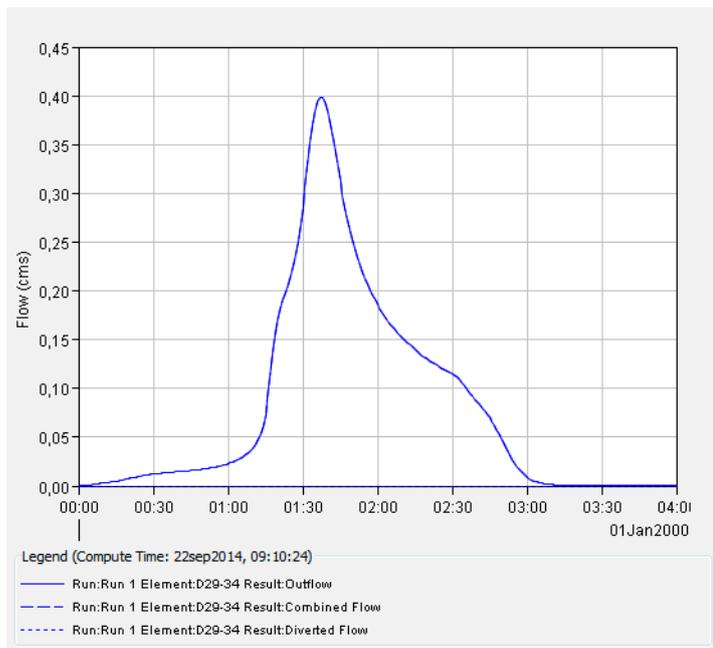


a)

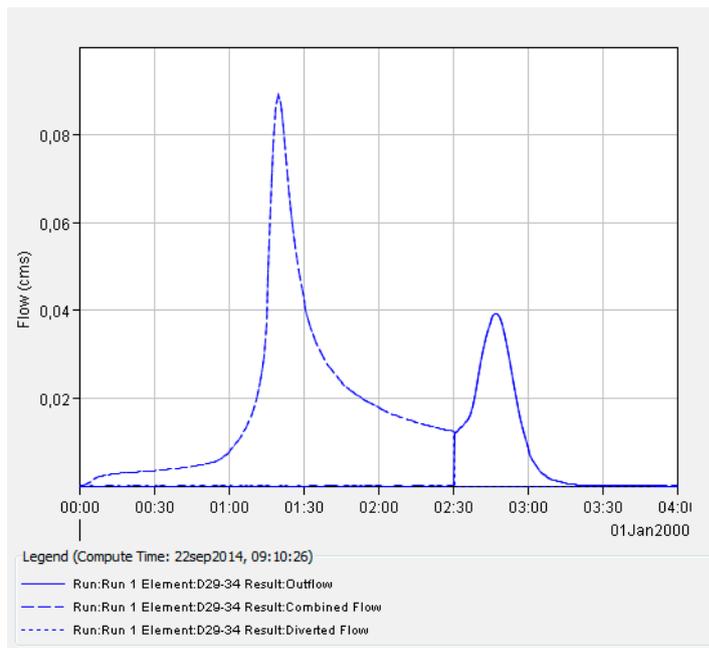


b)

Figura 94. Elemento de descarga 28. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

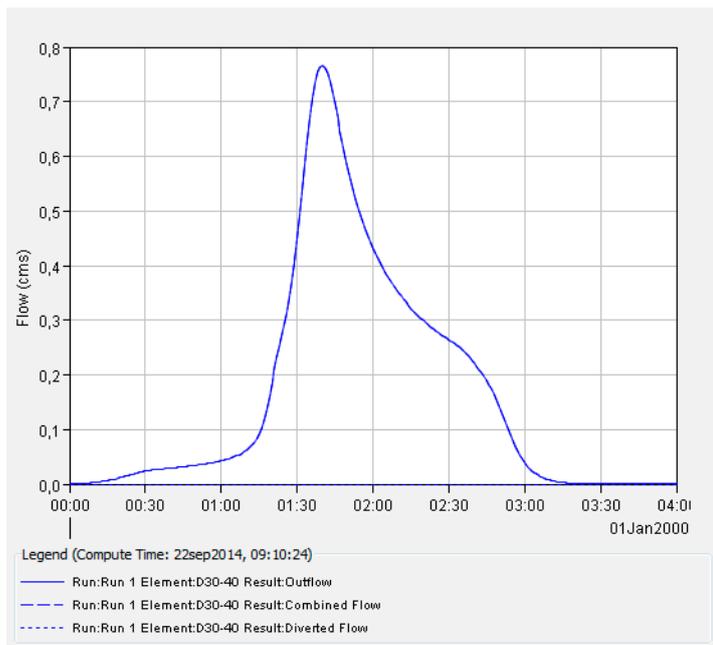


a)

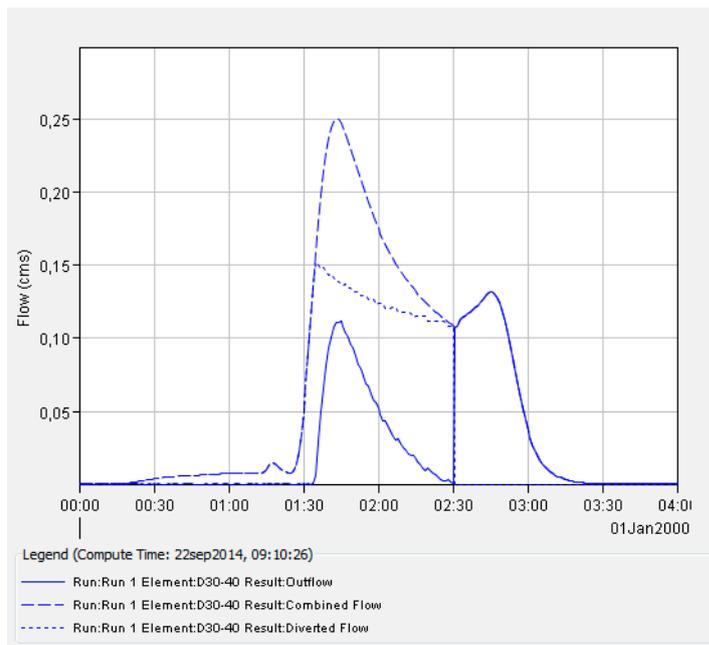


b)

Figura 95. Elemento de descarga 29-34. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

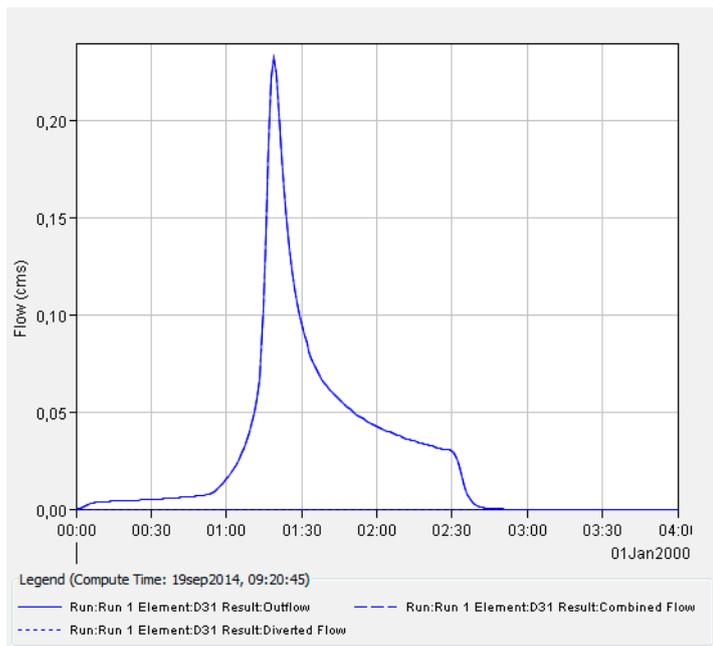


a)

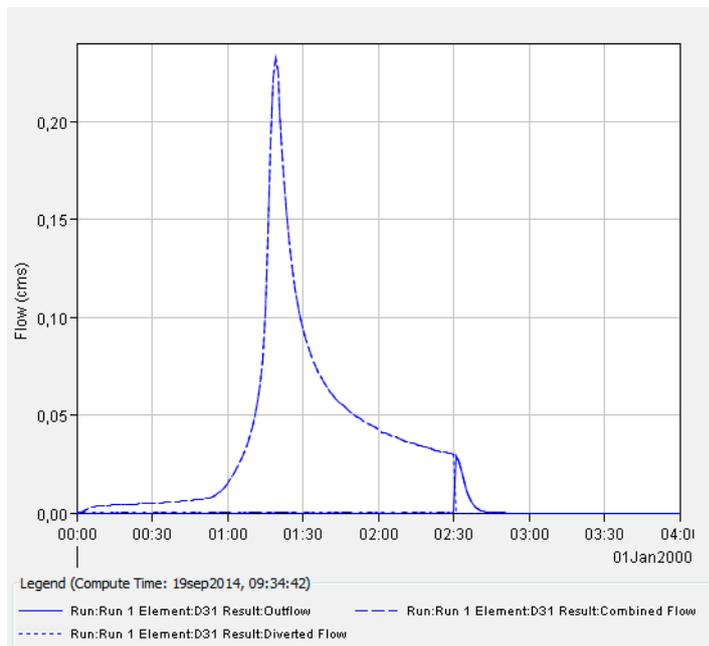


b)

Figura 96. Elemento de descarga 30-40. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

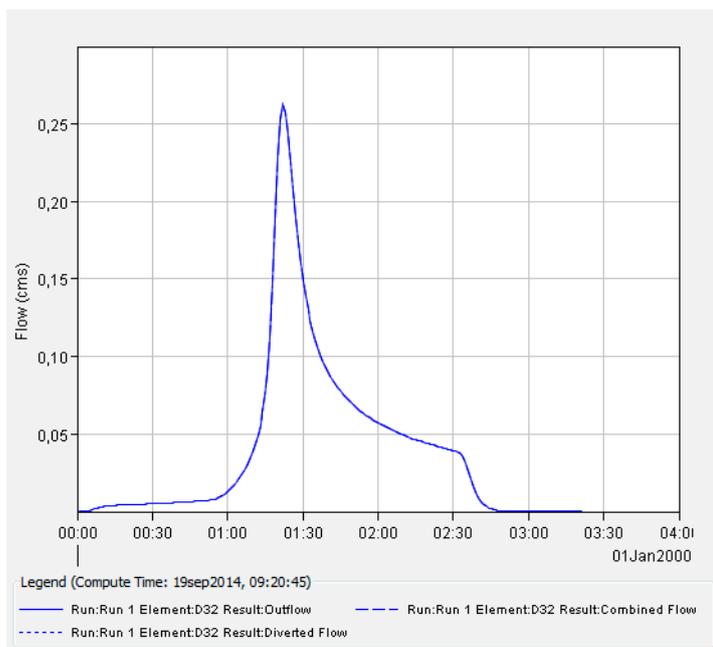


a)

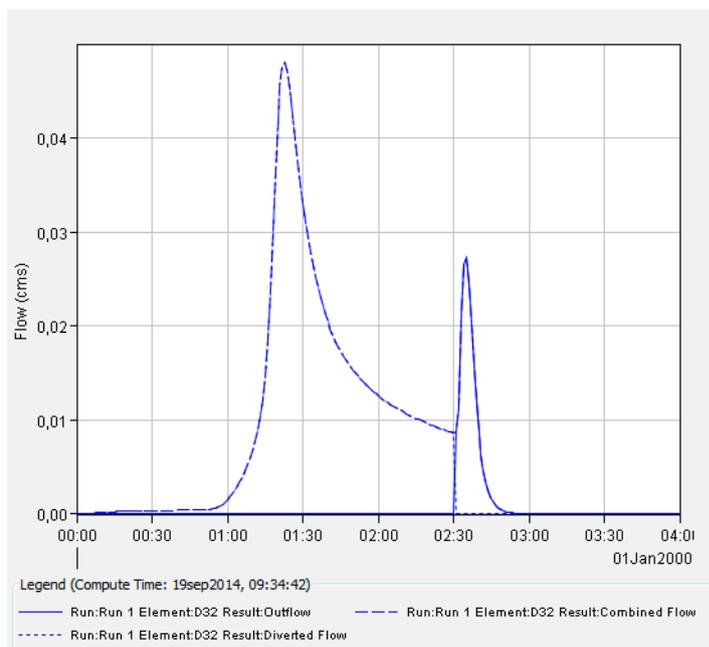


b)

Figura 97. Elemento de descarga 31. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

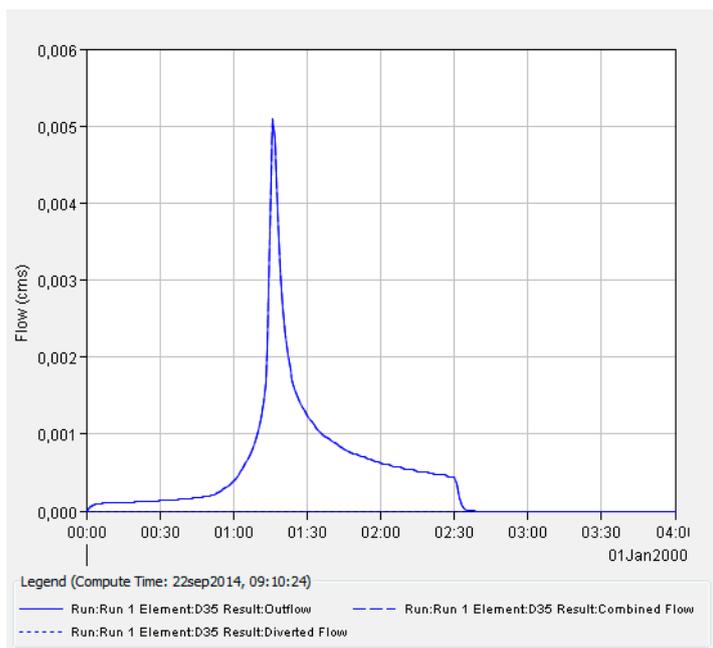


a)

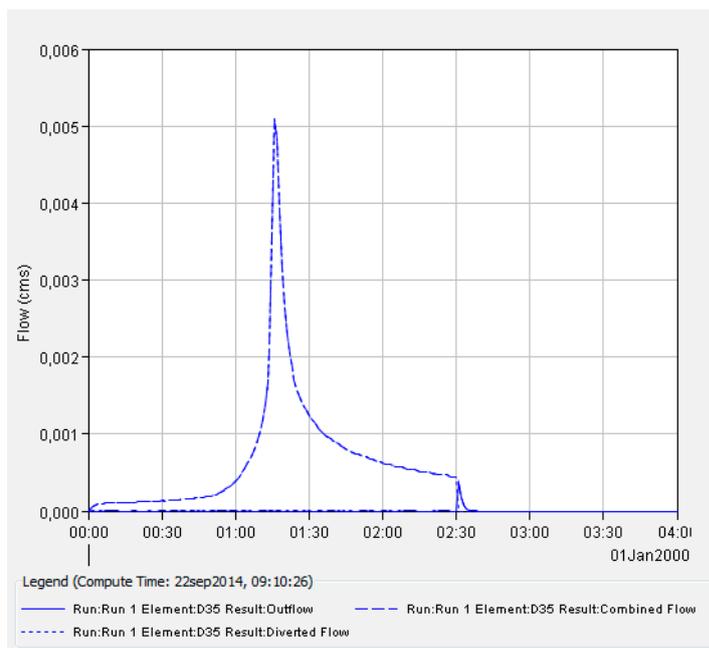


b)

Figura 98. Elemento de descarga 32. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

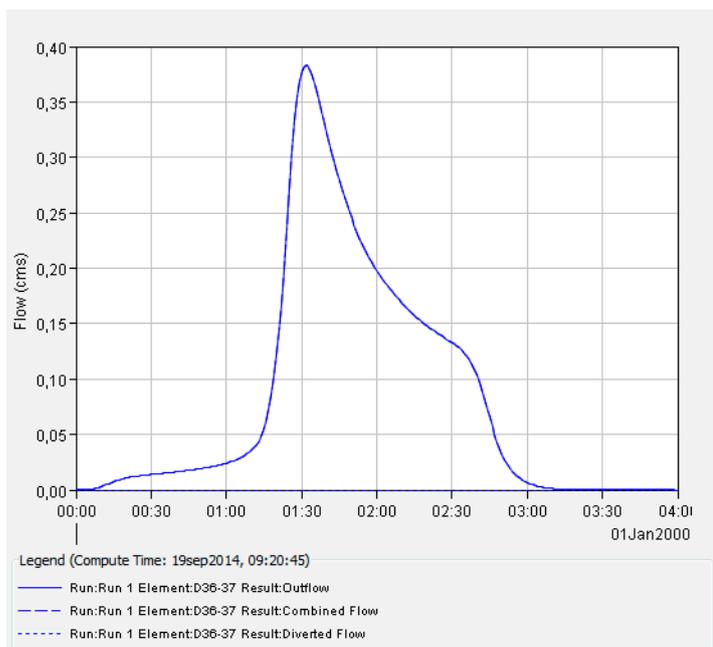


a)

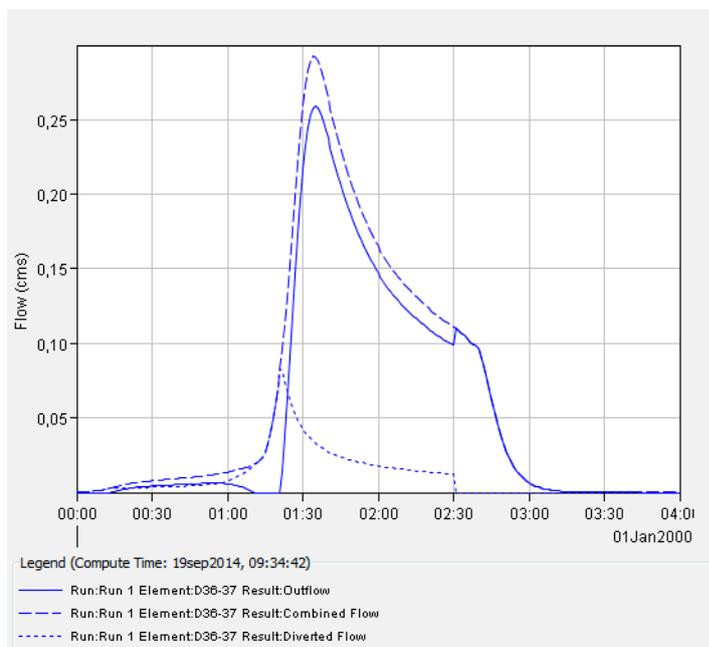


b)

Figura 99. Elemento de descarga 35. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

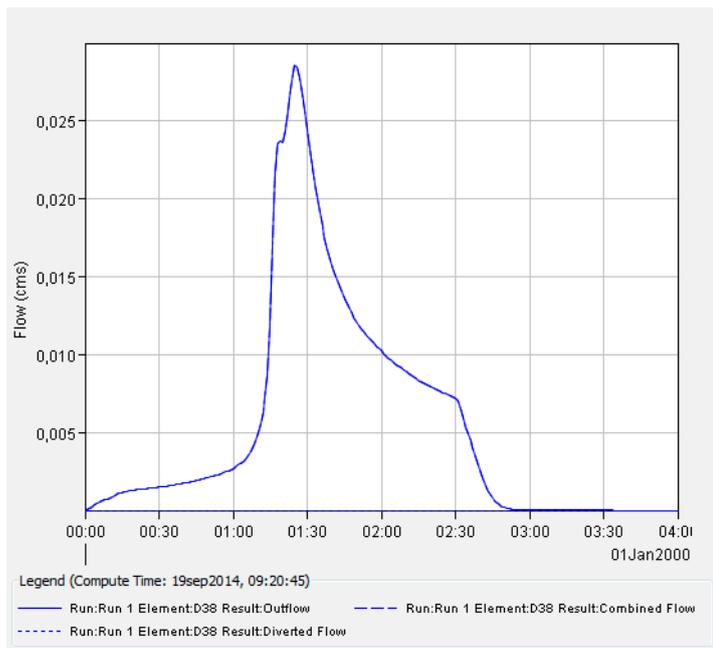


a)

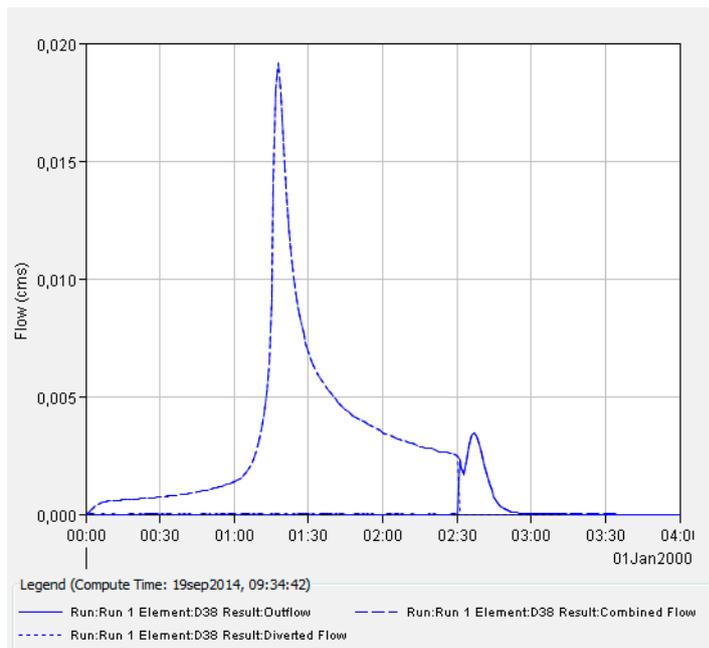


b)

Figura 100. Elemento de descarga 36-37. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

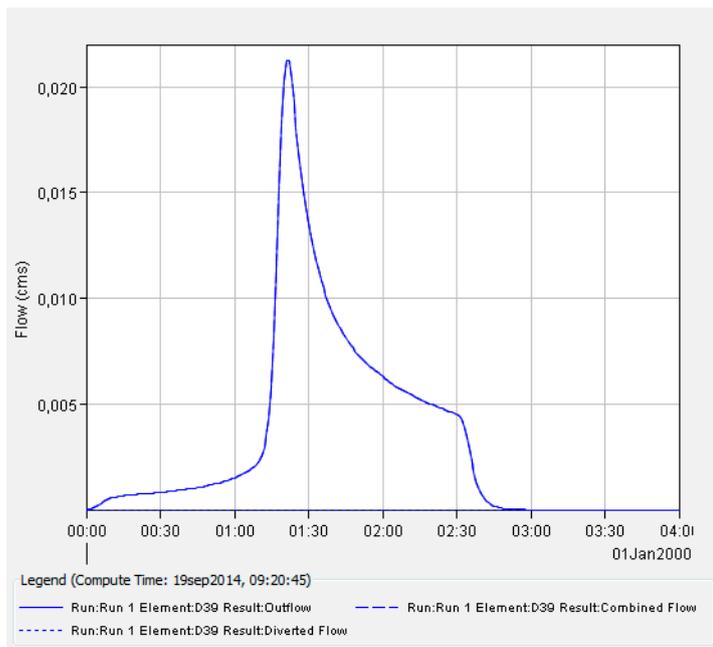


a)

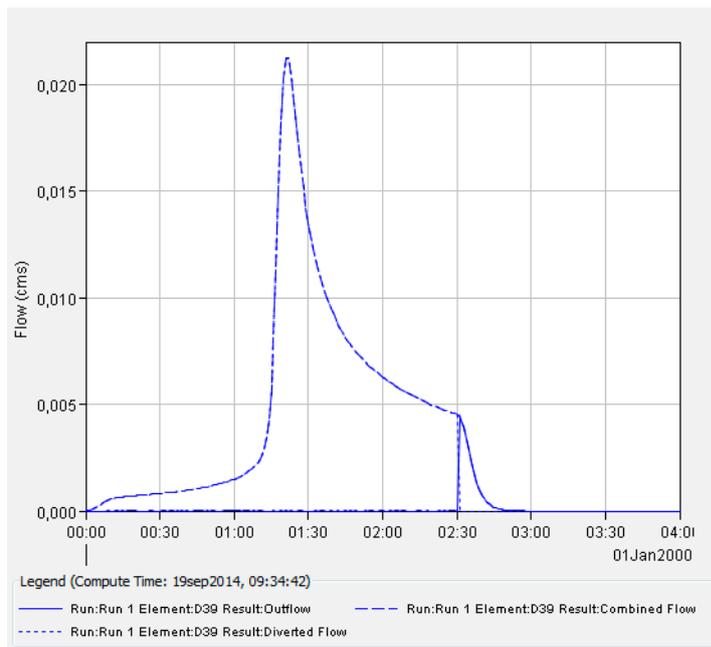


b)

Figura 101. Elemento de descarga 38. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

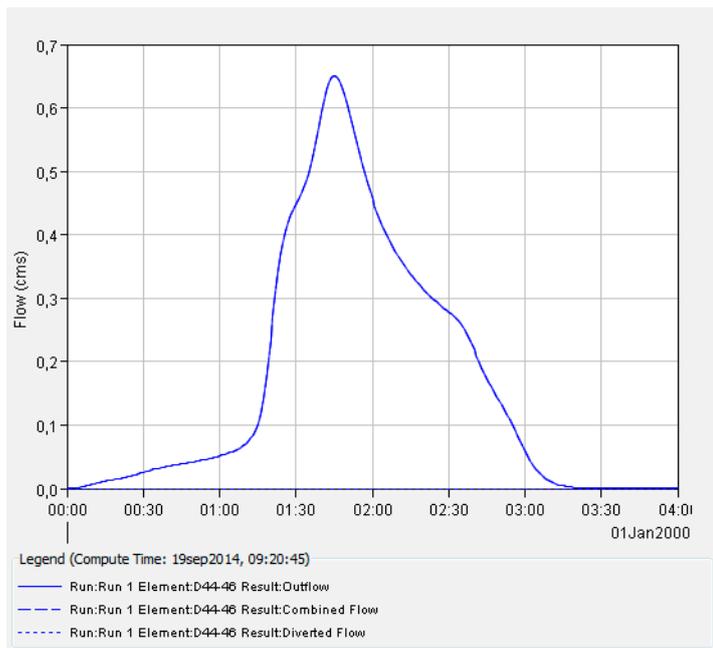


a)

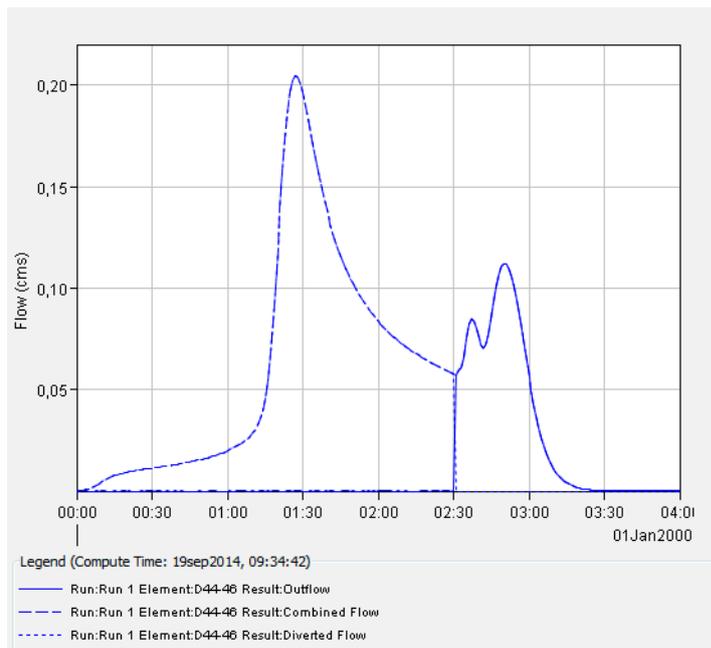


b)

Figura 102. Elemento de descarga 39. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

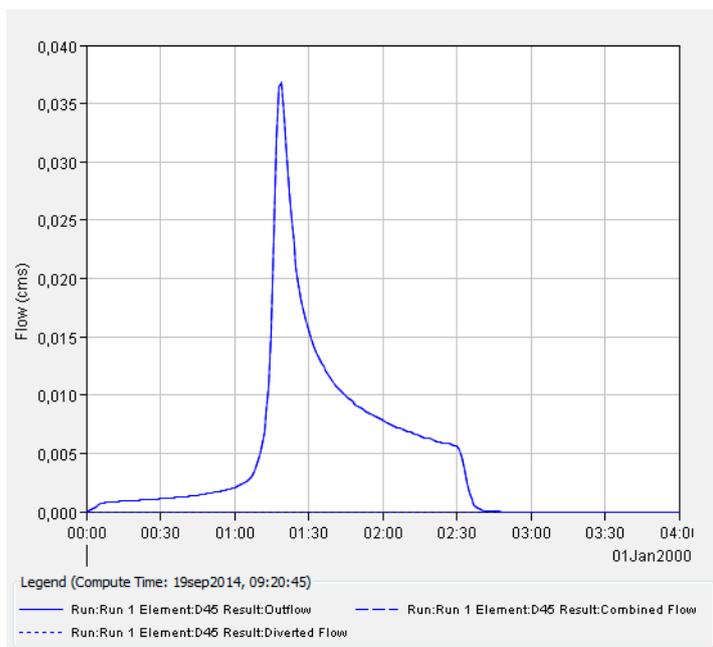


a)

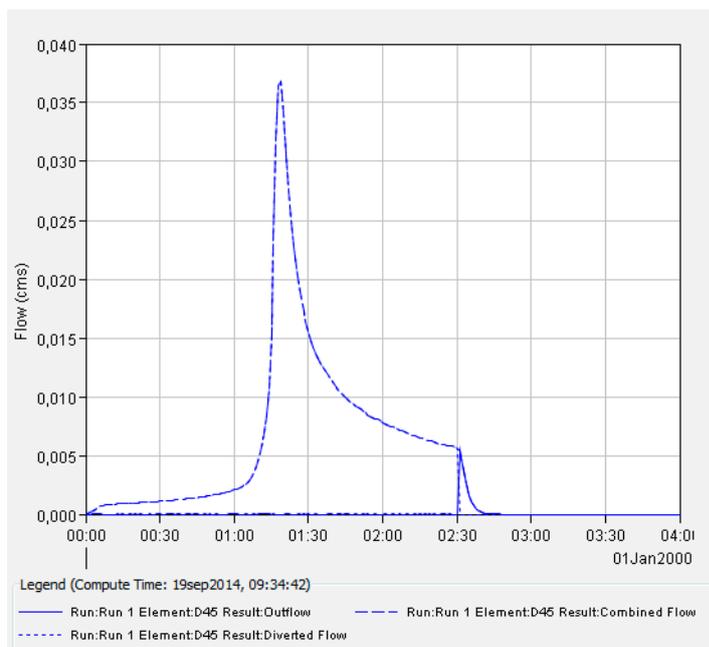


b)

Figura 103. Elemento de descarga 44-46. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

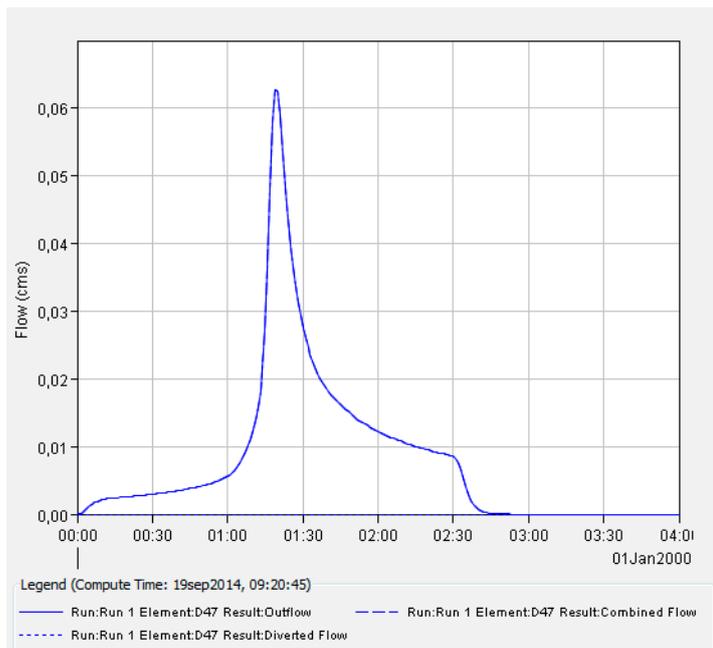


a)

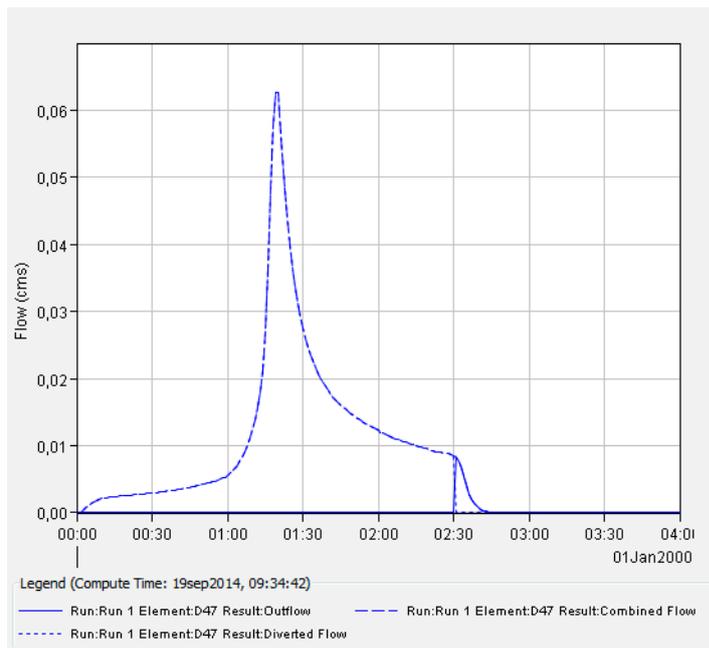


b)

Figura 104. Elemento de descarga 45. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

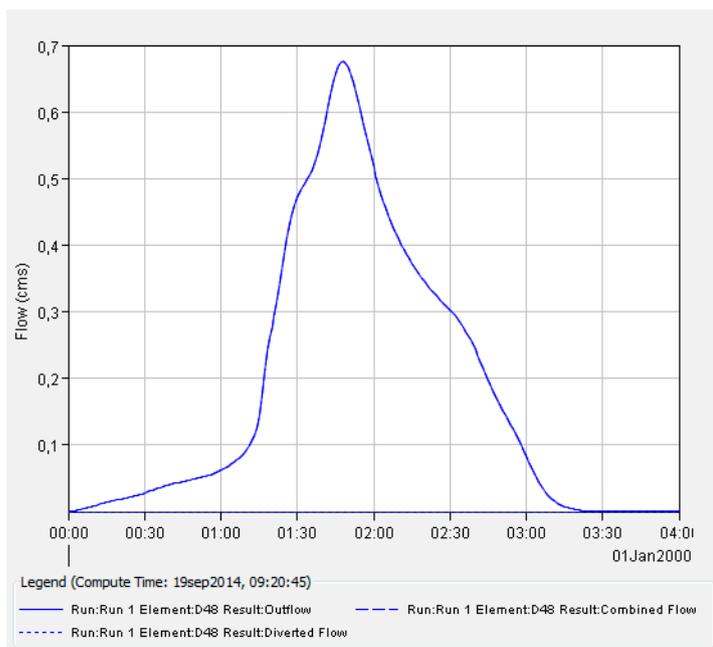


a)

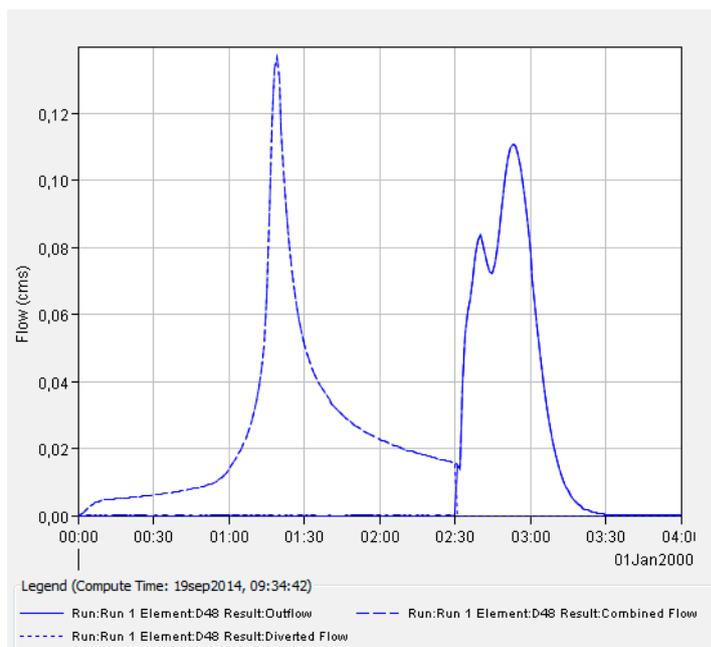


b)

Figura 105. Elemento de descarga 47. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

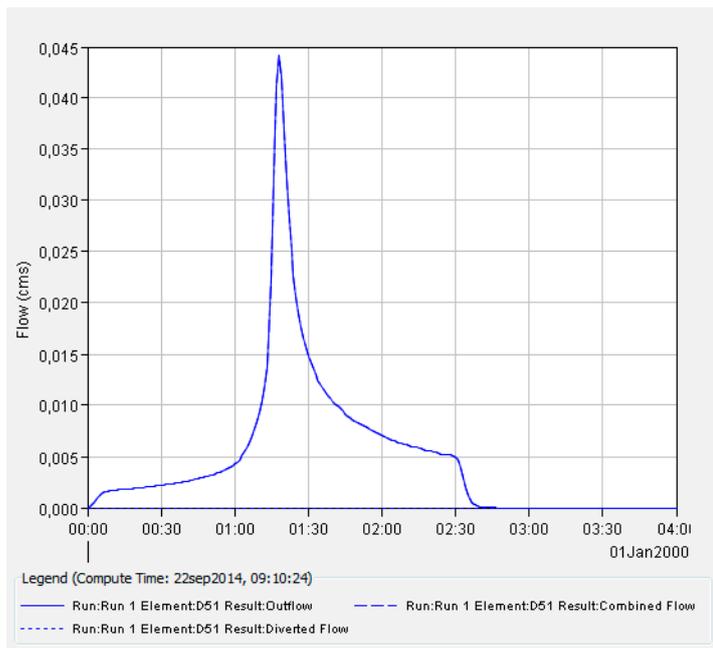


a)

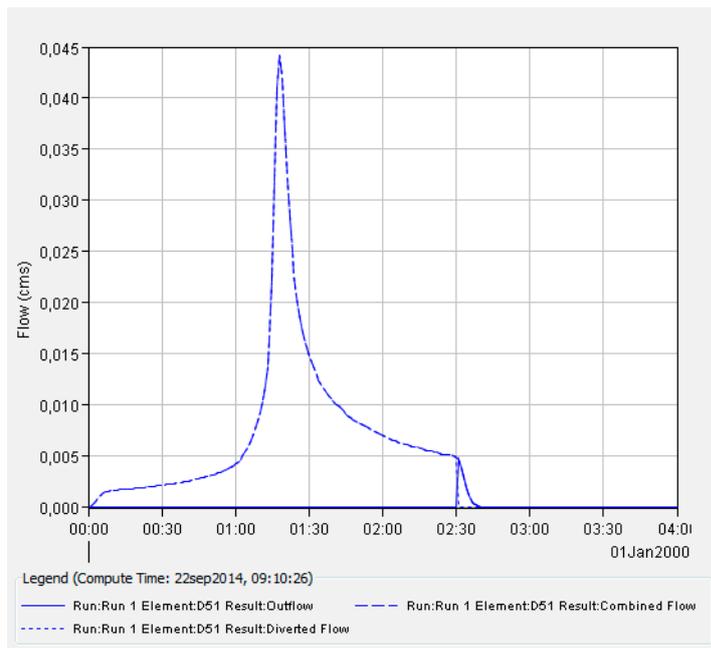


b)

Figura 106. Elemento de descarga 48. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

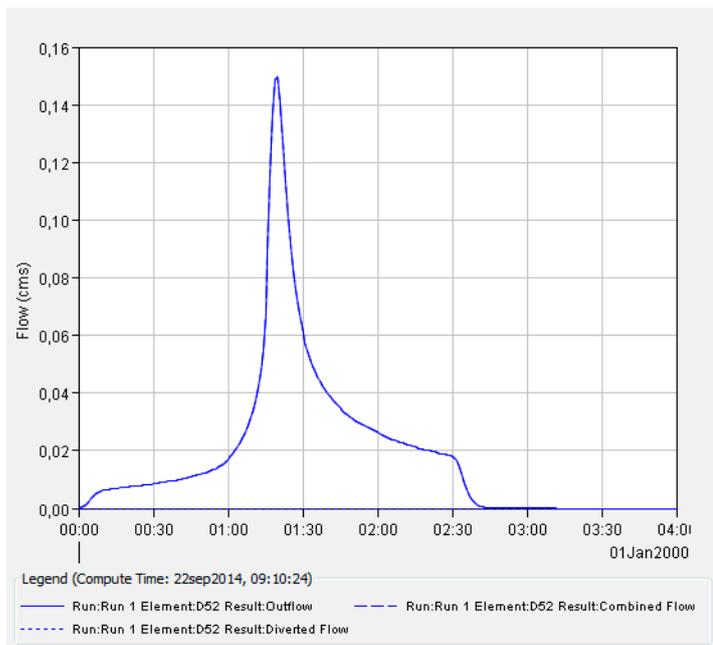


a)

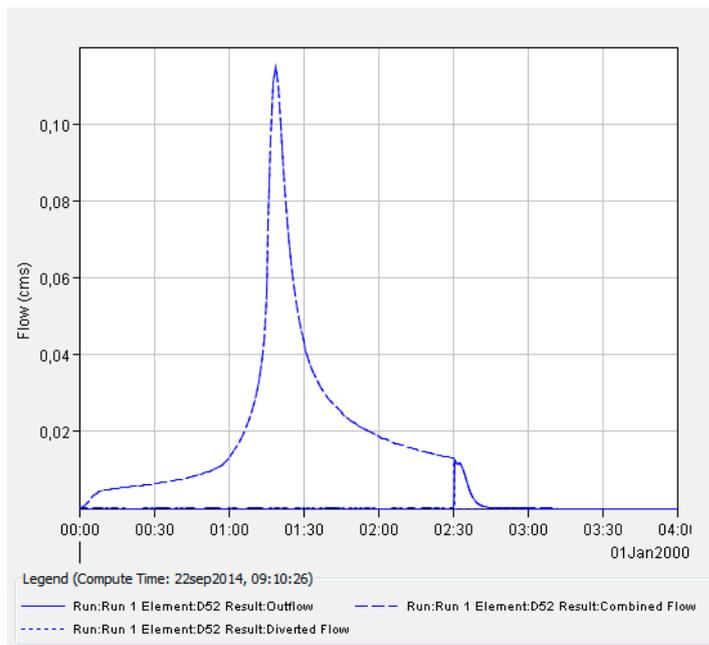


b)

Figura 107. Elemento de descarga 51. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

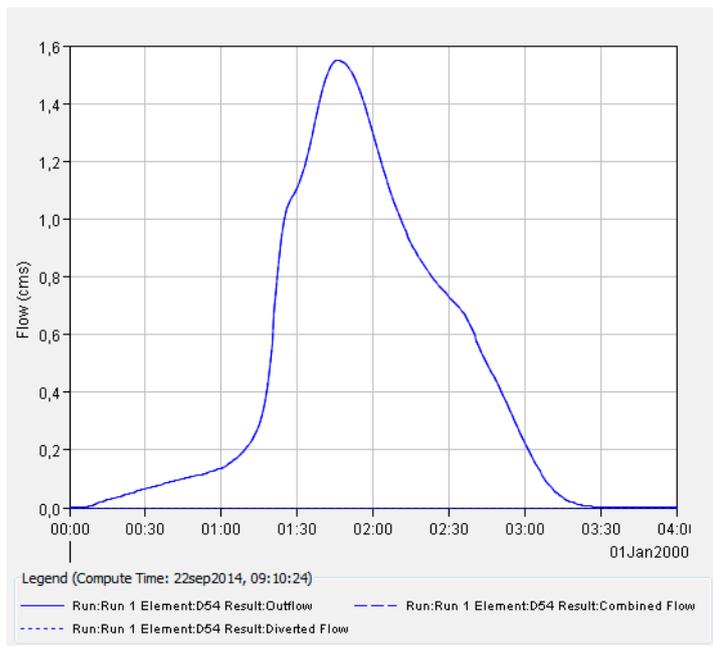


a)

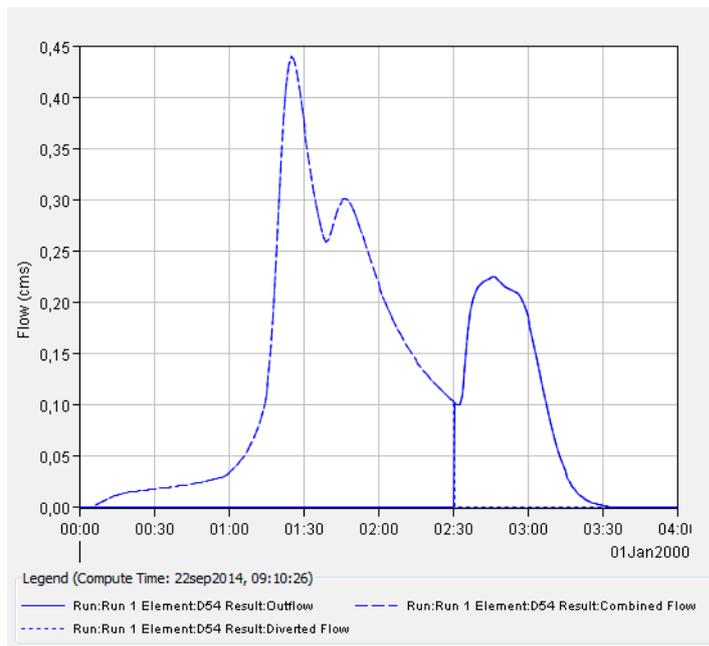


b)

Figura 108. Elemento de descarga 52. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

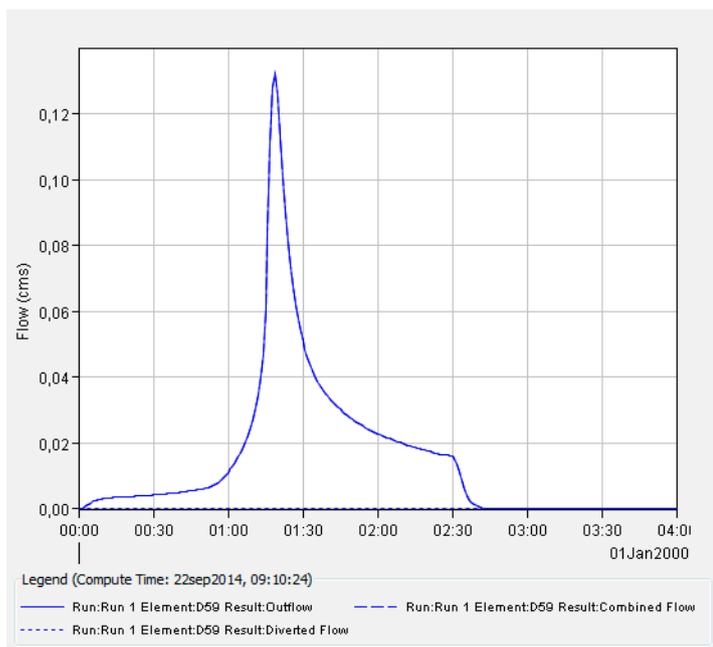


a)

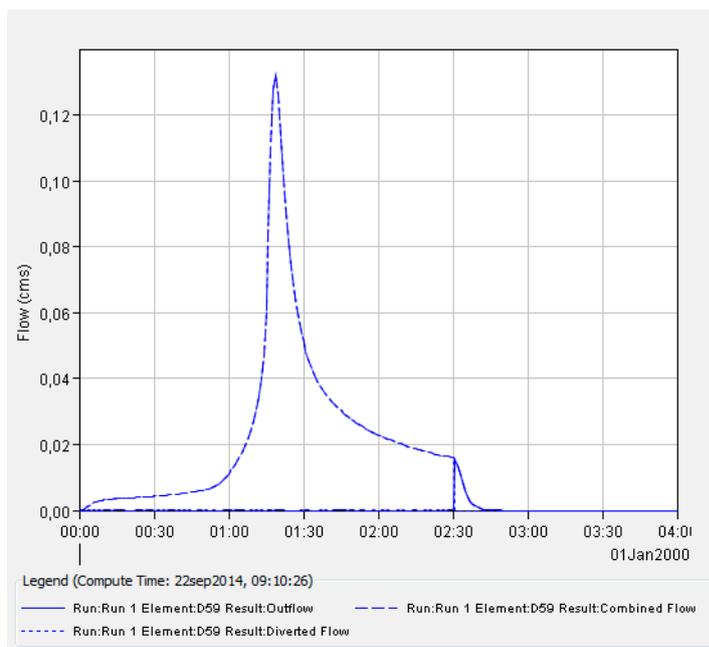


b)

Figura 109. Elemento de descarga 54. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

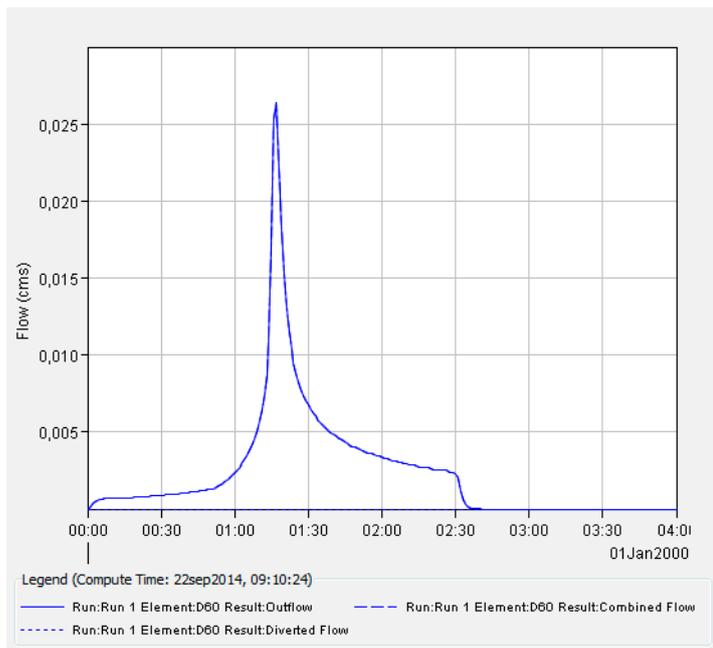


a)

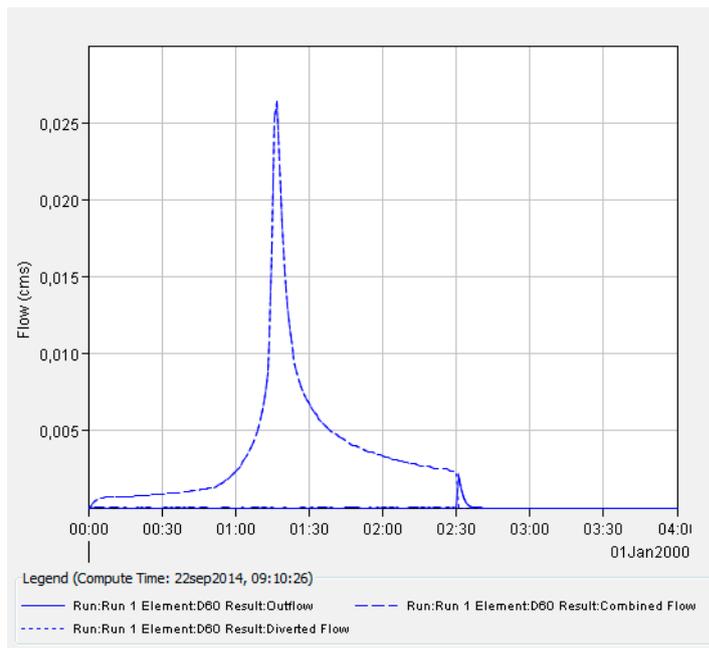


b)

Figura 110. Elemento de descarga 59. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

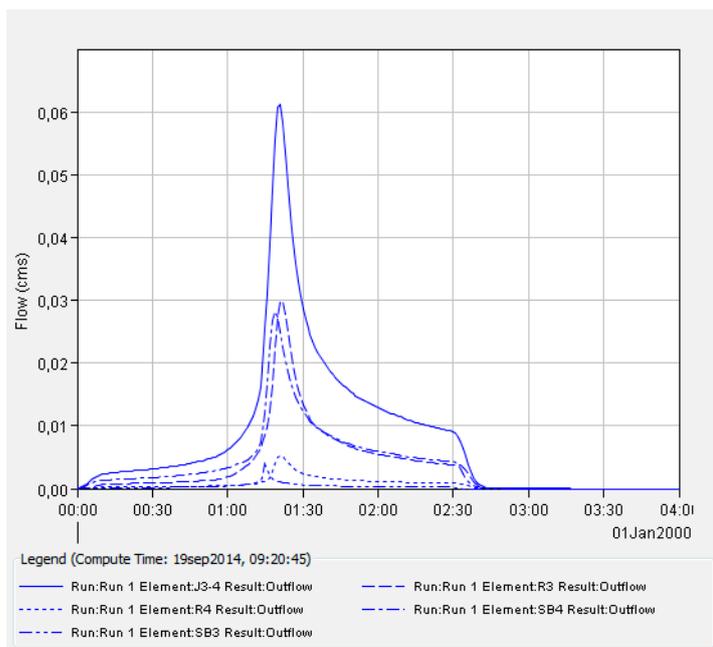


a)

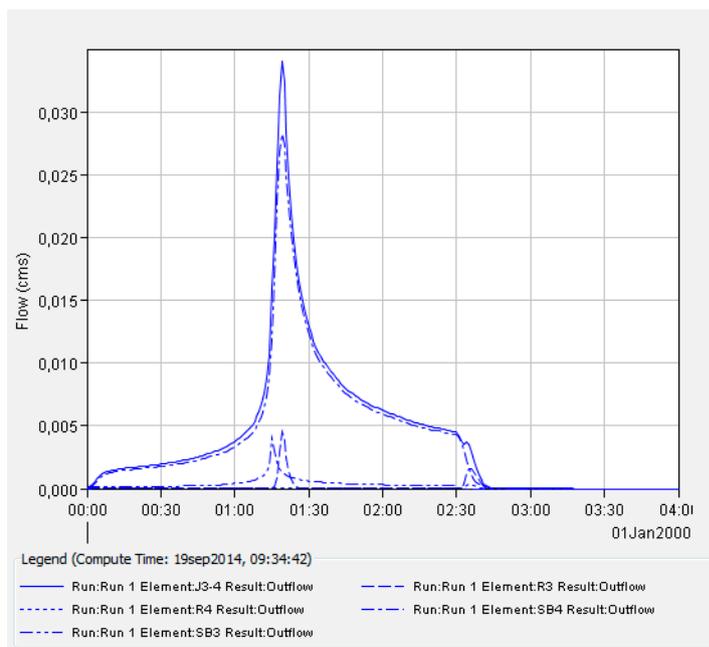


b)

Figura 111. Elemento de descarga 60. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

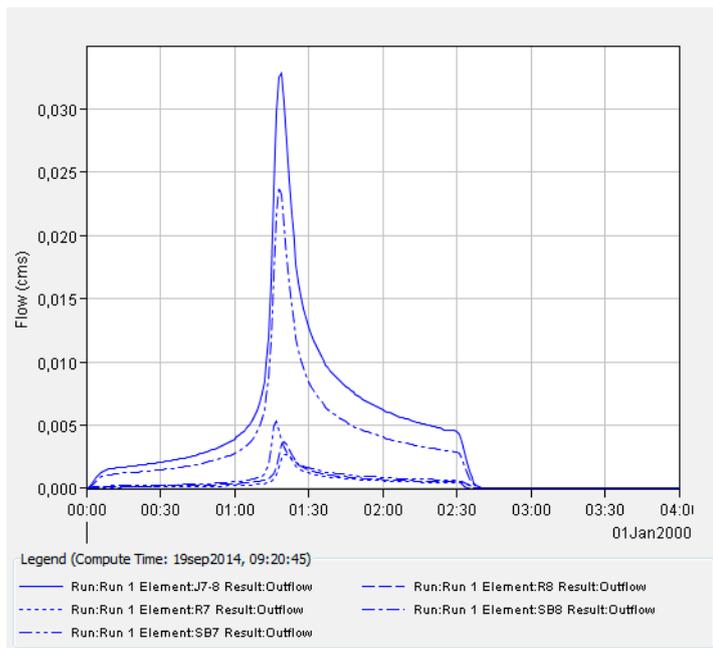


a)

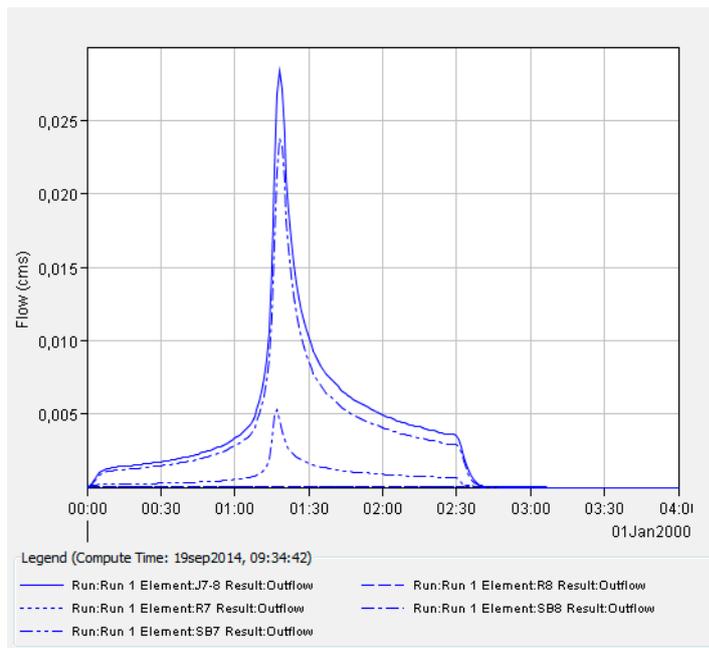


b)

Figura 112. Elemento de unión 3-4. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

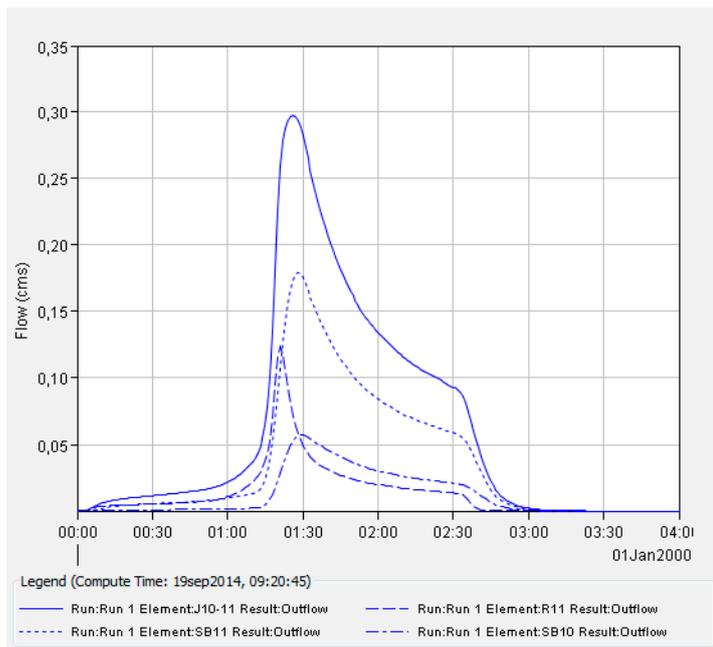


a)

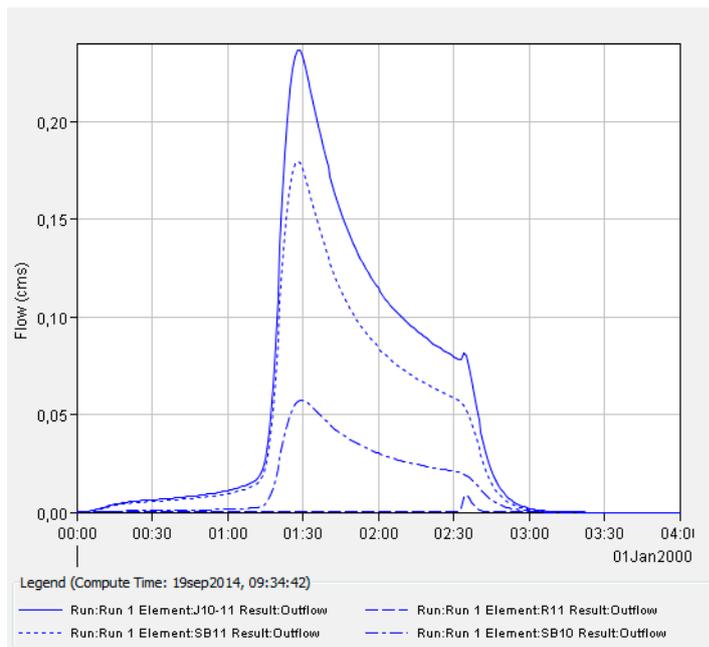


b)

Figura 113. Elemento de unión 7-8. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

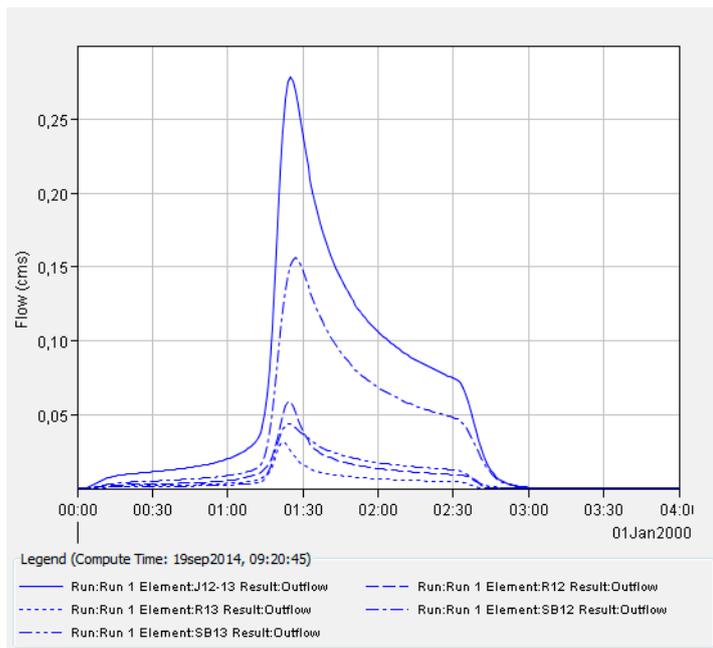


a)

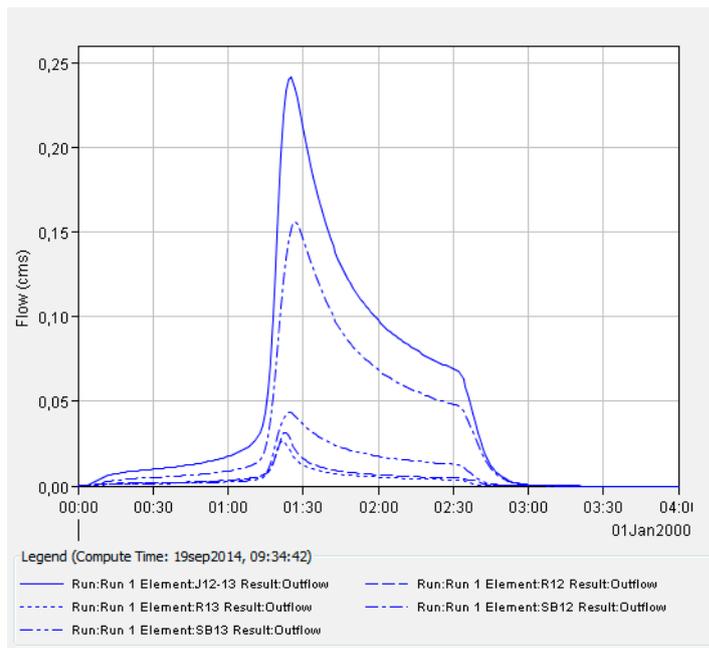


b)

Figura 114. Elemento de unión 10-11. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

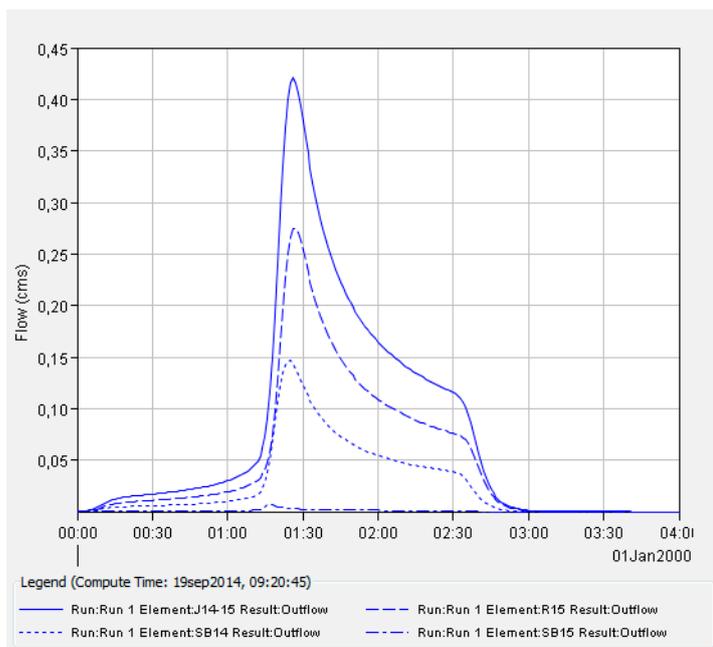


a)

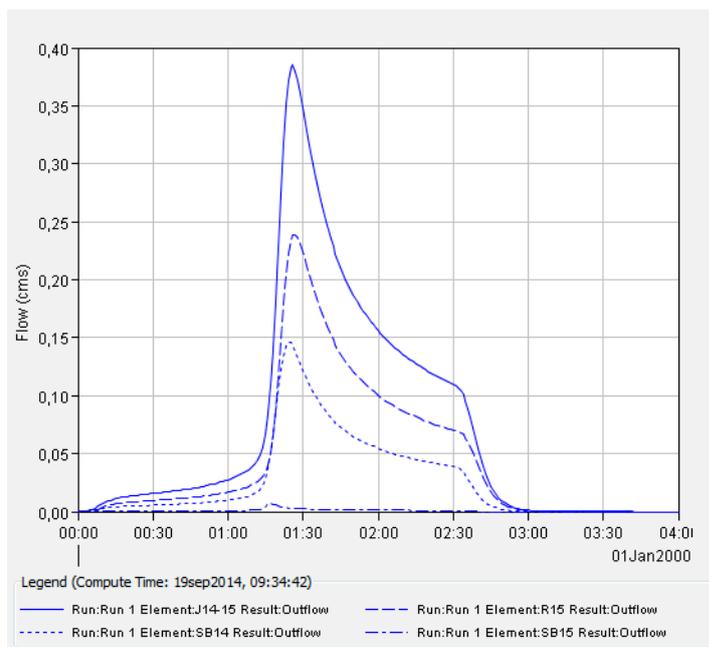


b)

Figura 115. Elemento de unión 12-13. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

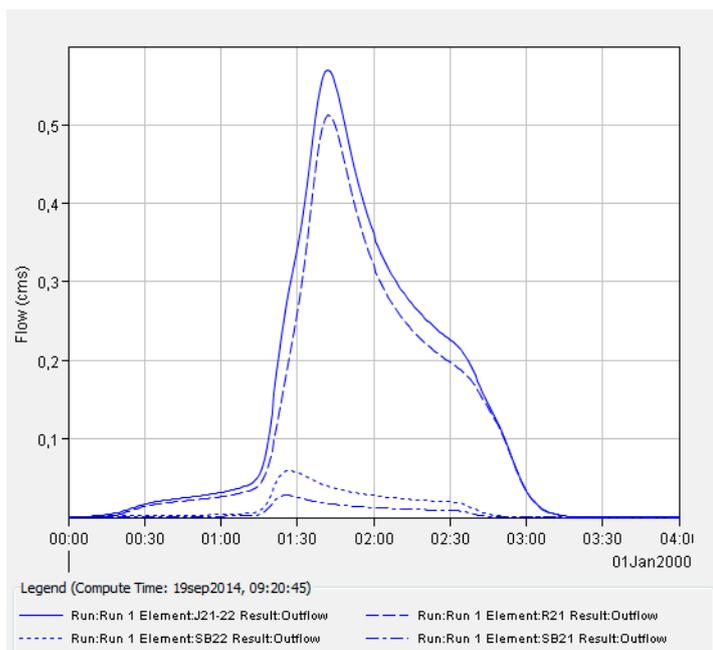


a)

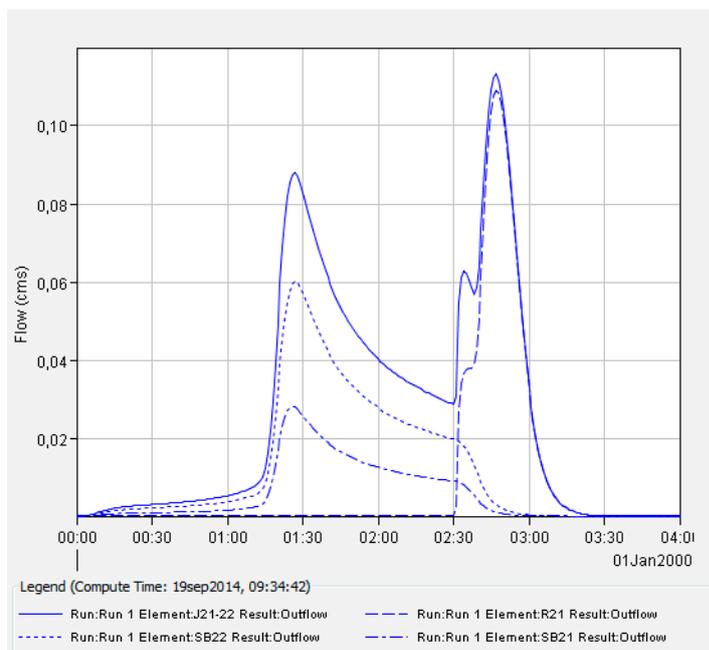


b)

Figura 116. Elemento de unión 14-15. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

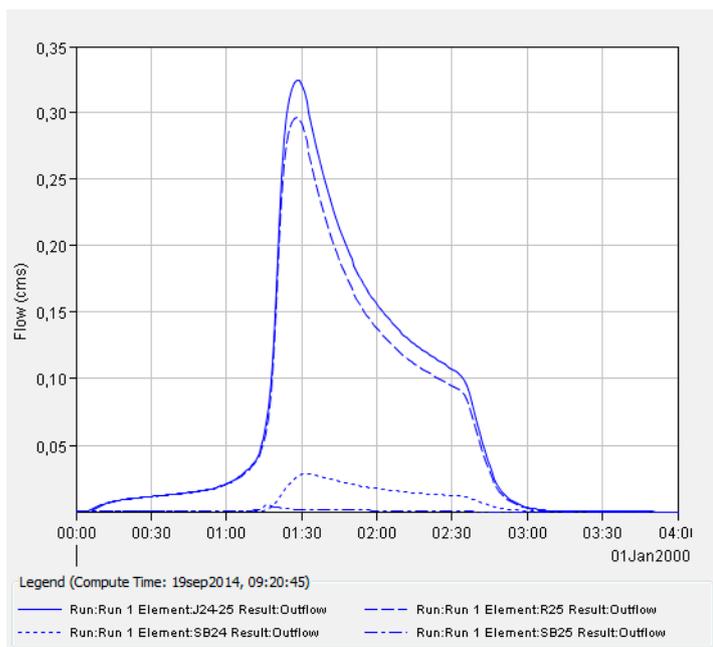


a)

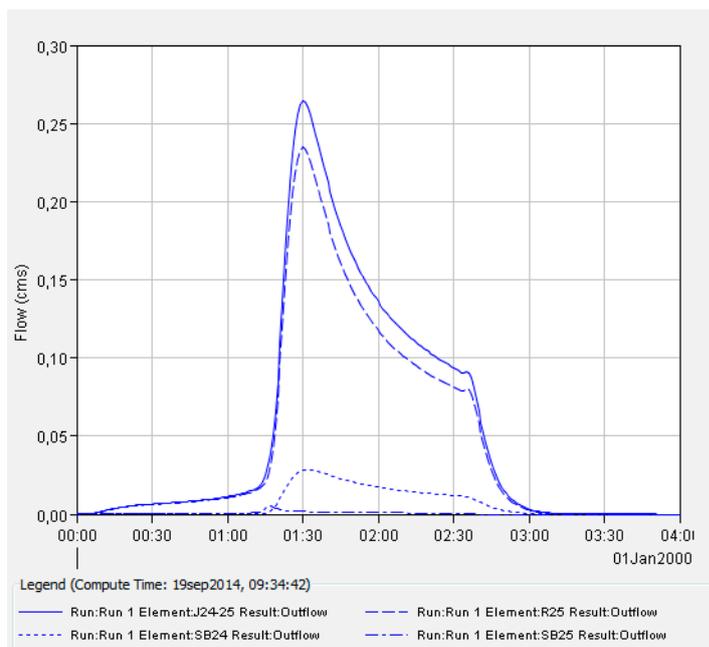


b)

Figura 117. Elemento de unión 21-22. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

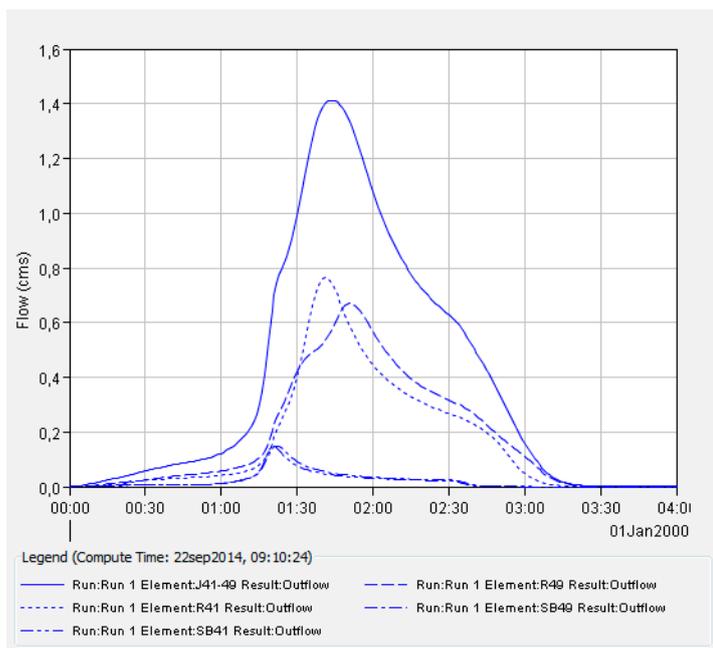


a)

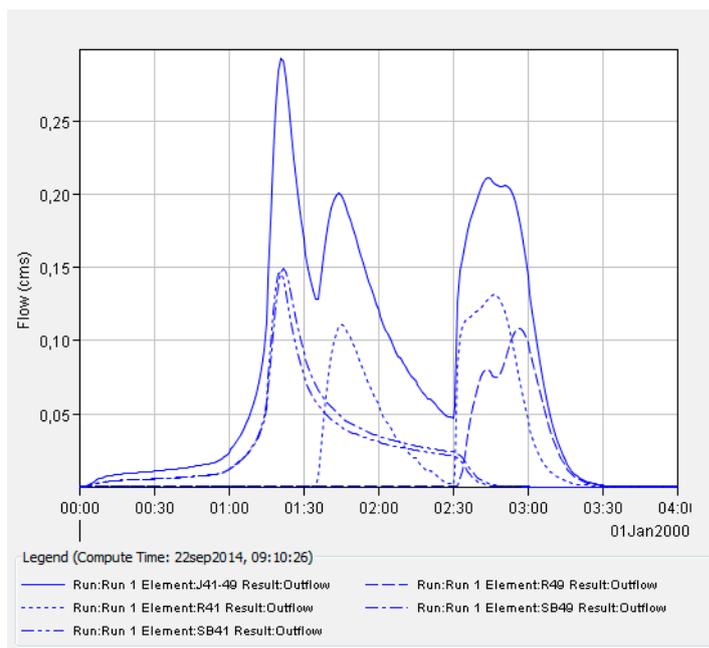


b)

Figura 118. Elemento de unión 24-25. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

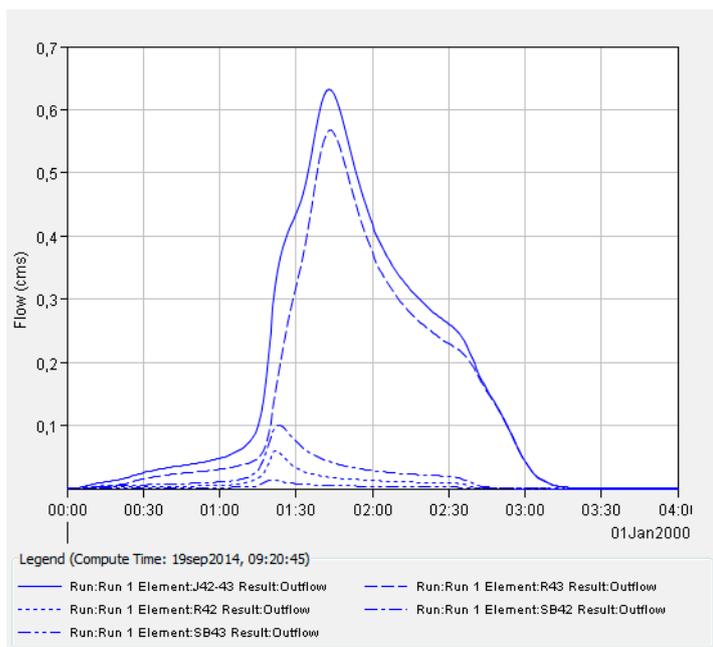


a)

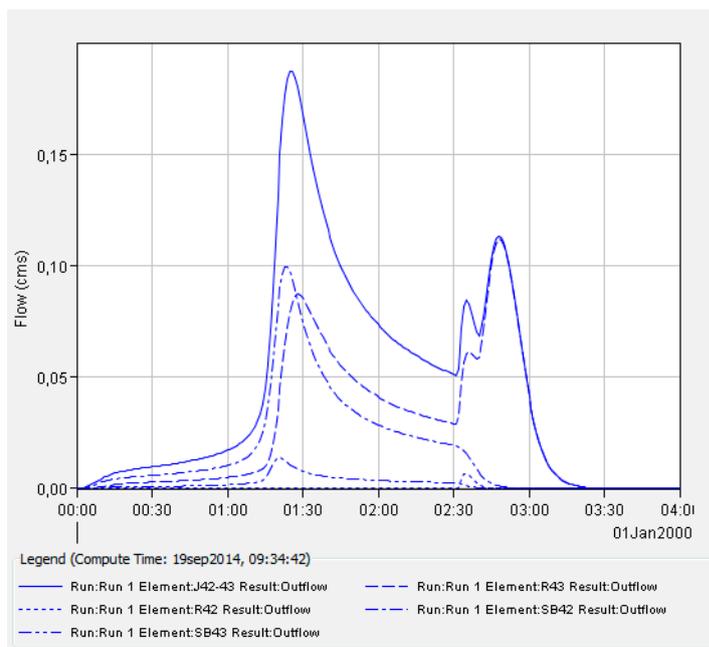


b)

Figura 119. Elemento de unión 41-49. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

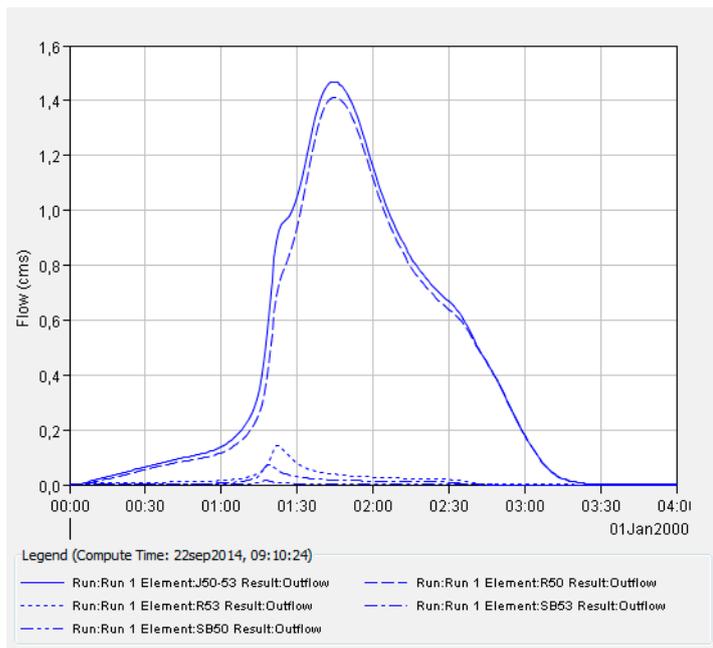


a)

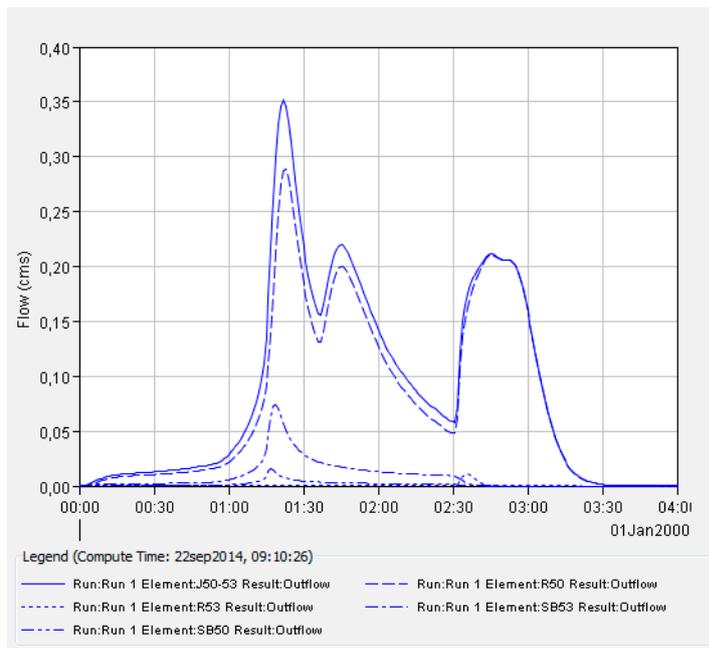


b)

Figura 120. Elemento de unión 42-43. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

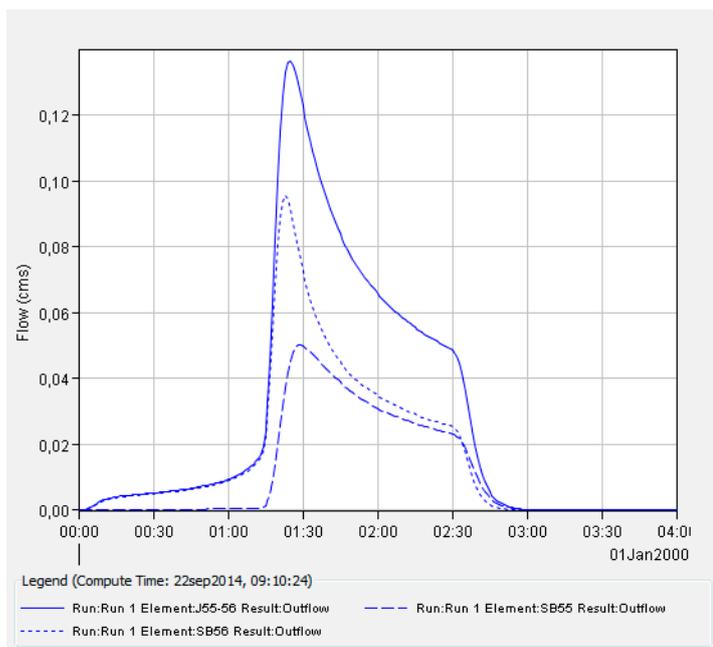


a)

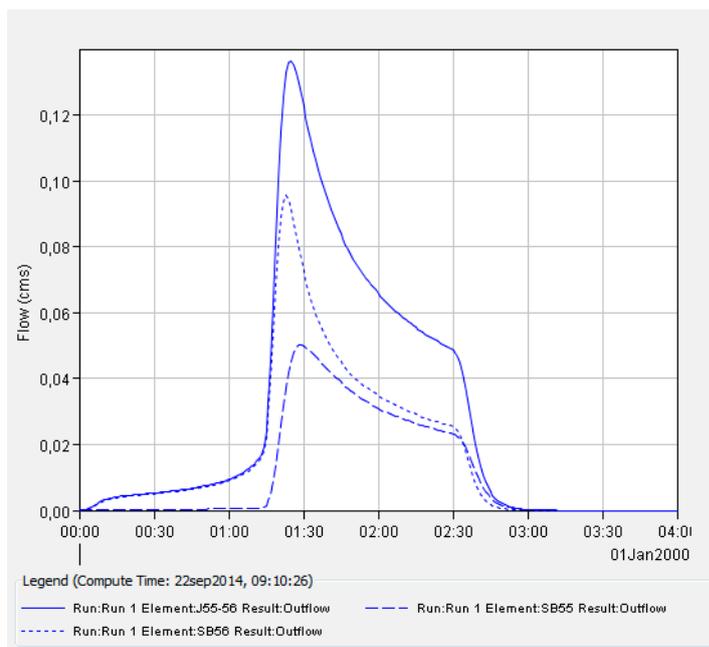


b)

Figura 121. Elemento de unión 50-53. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

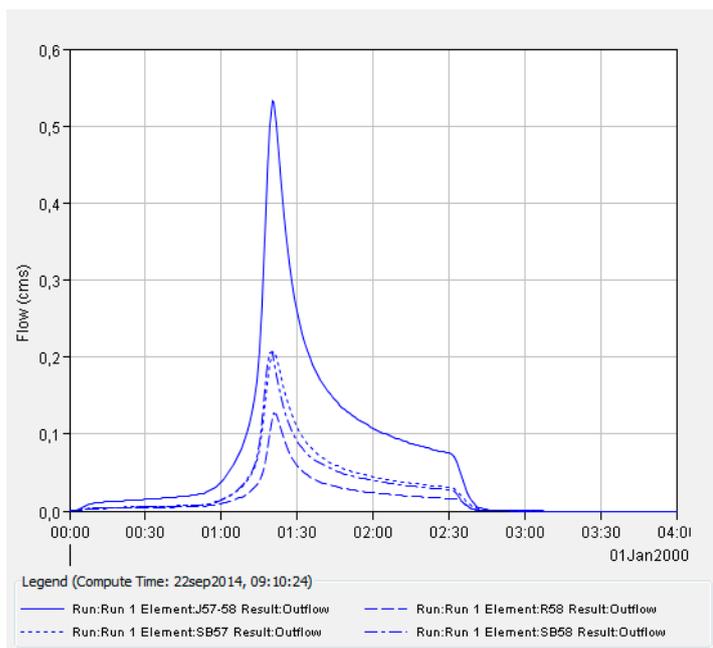


a)

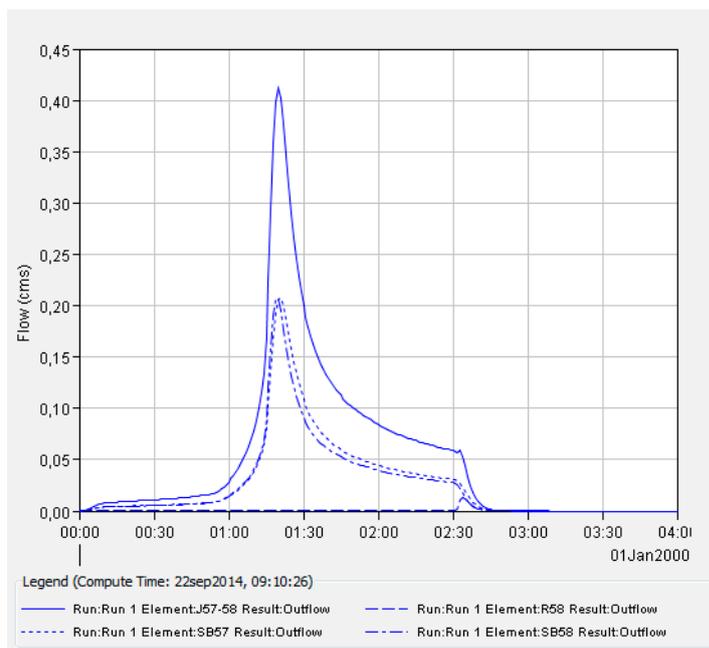


b)

Figura 122. Elemento de unión 55-56. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

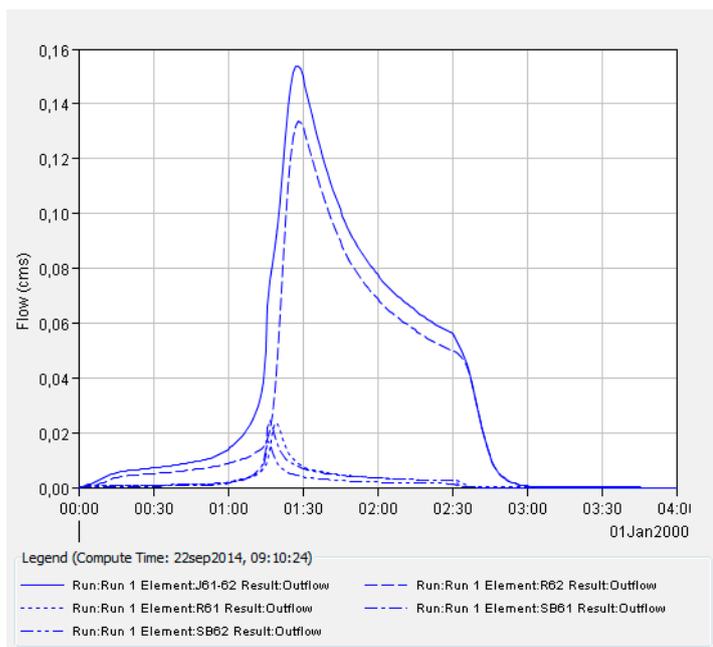


a)

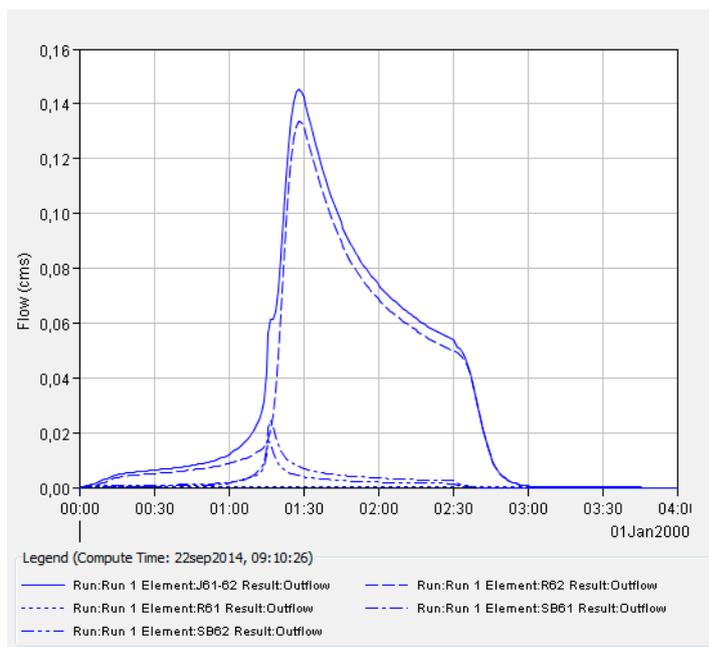


b)

Figura 123. Elemento de unión 57-58. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

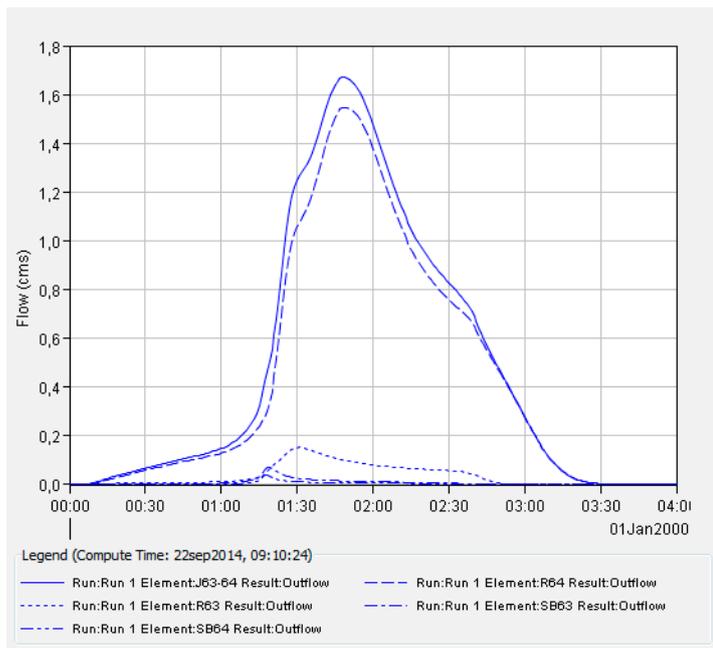


a)

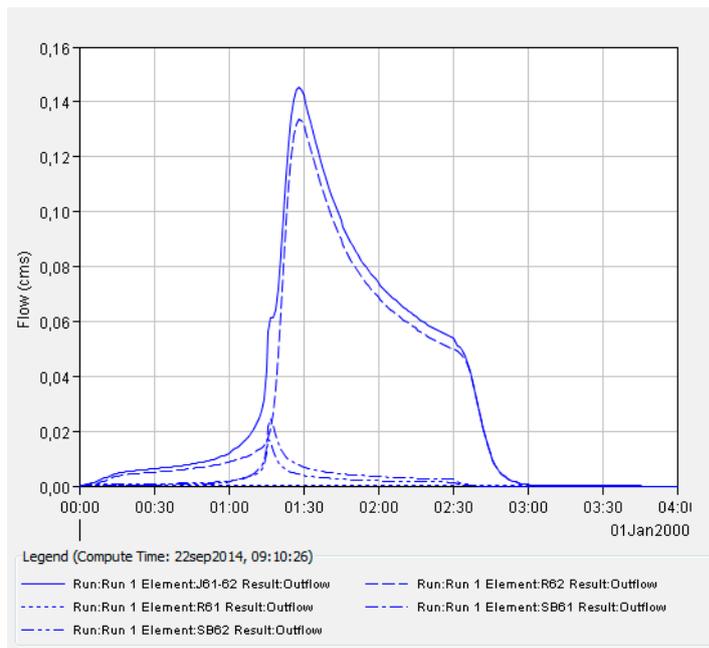


b)

Figura 124. Elemento de unión 61-62. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

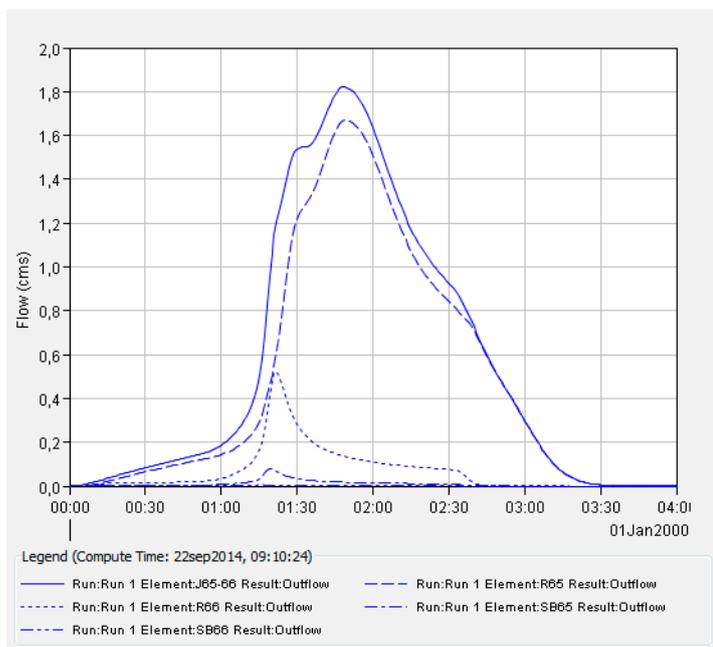


a)

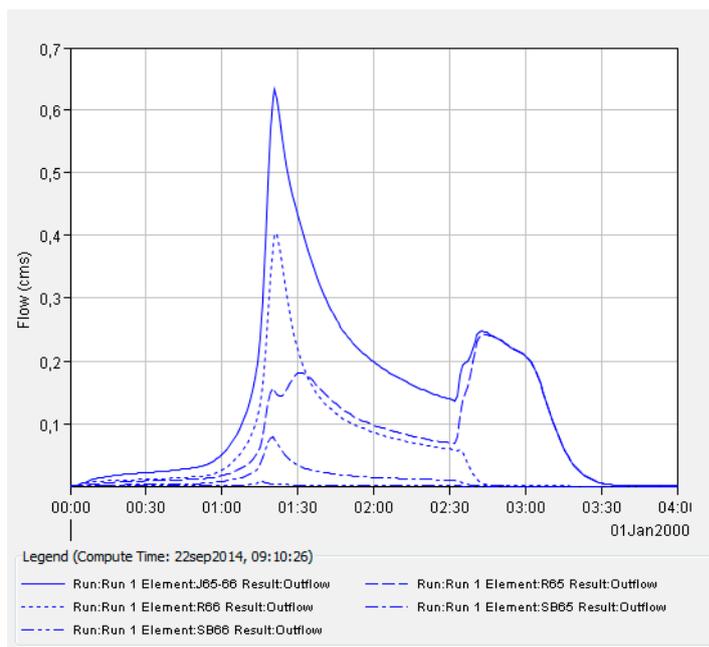


b)

Figura 125. Elemento de unión 63-64. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

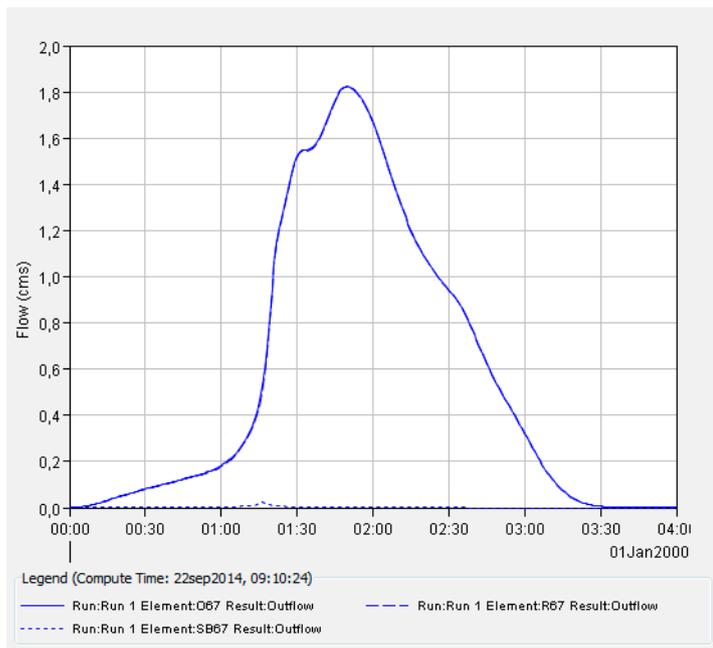


a)

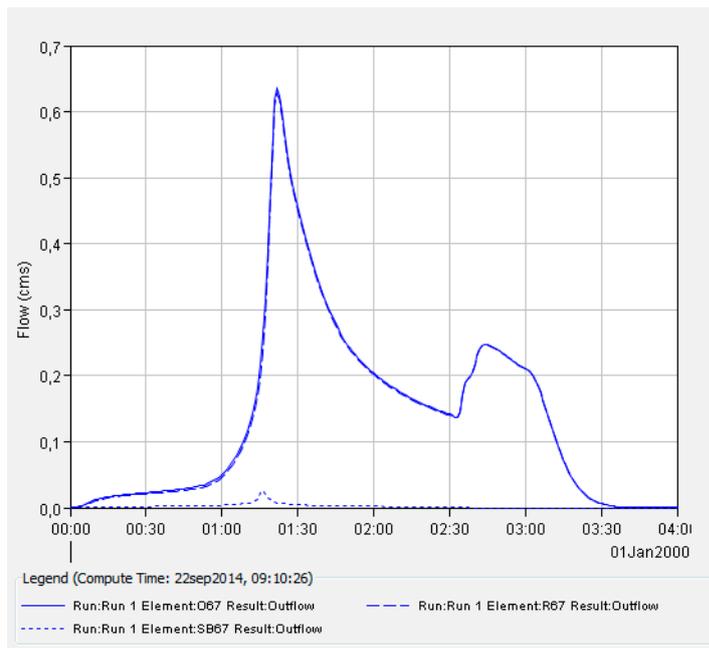


b)

Figura 126. Elemento de unión 65-66. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

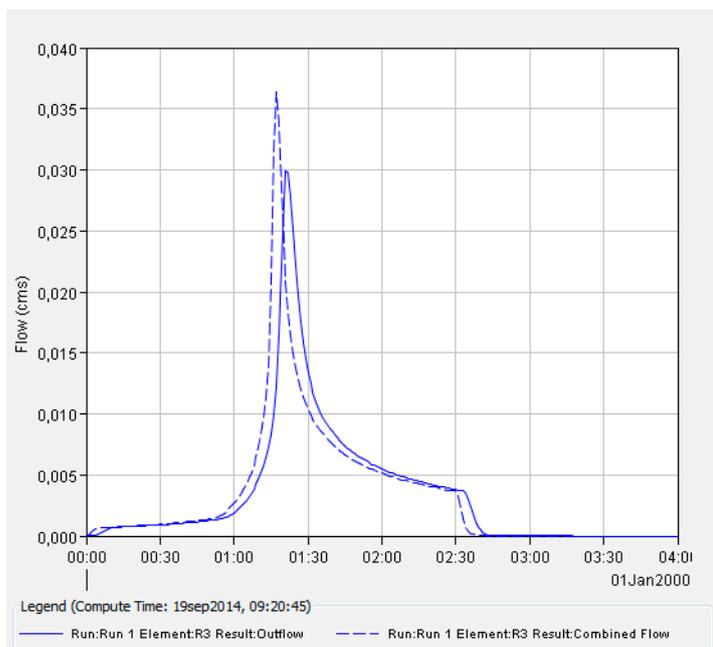


a)

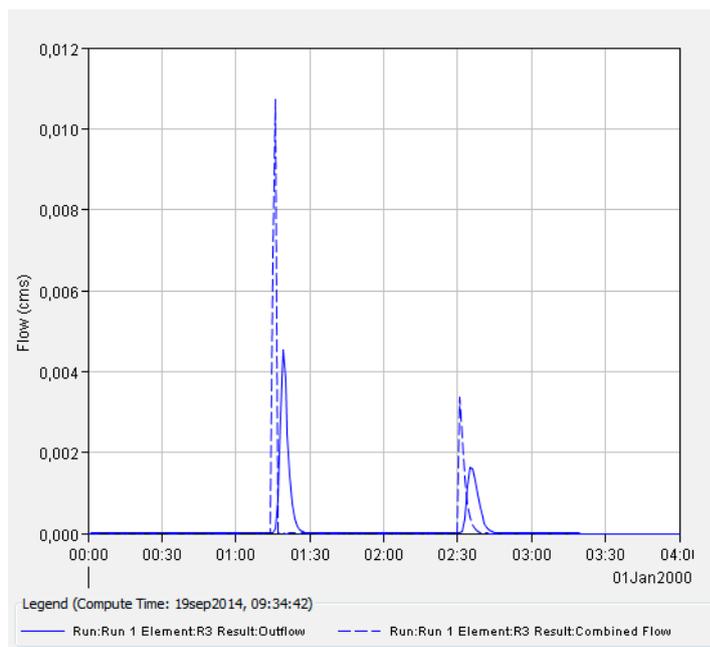


b)

Figura 127. Elemento de desagüe 67. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

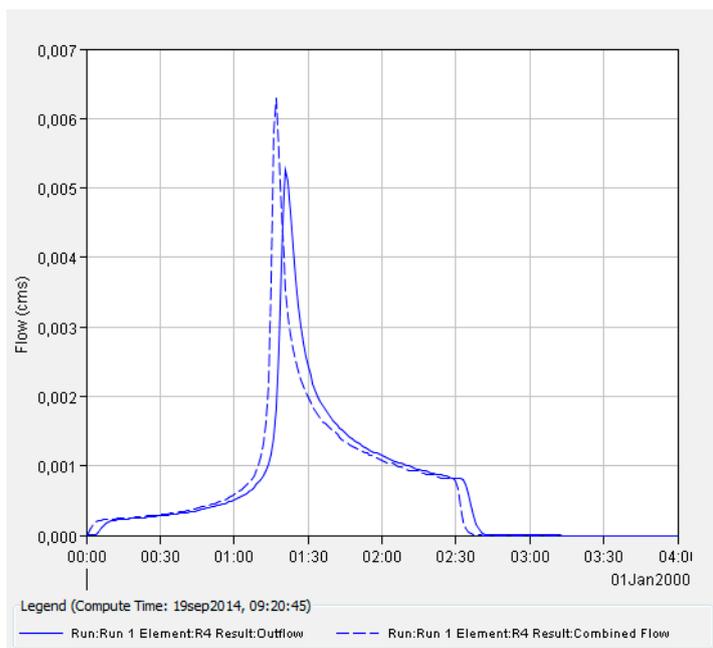


a)

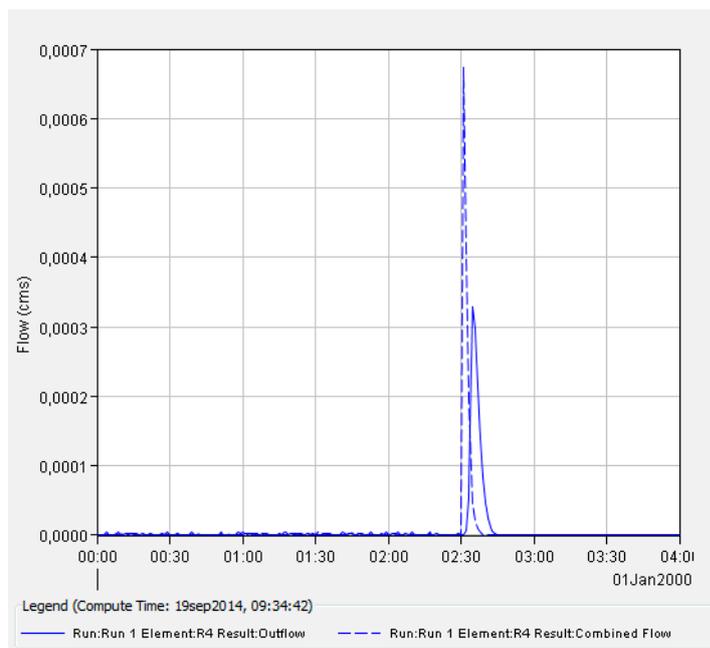


b)

Figura 128. Tramo 3. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

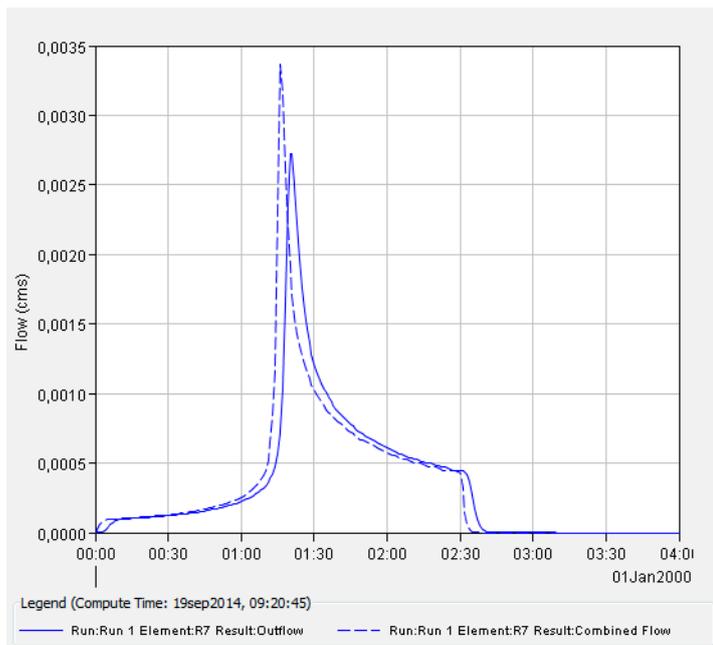


a)

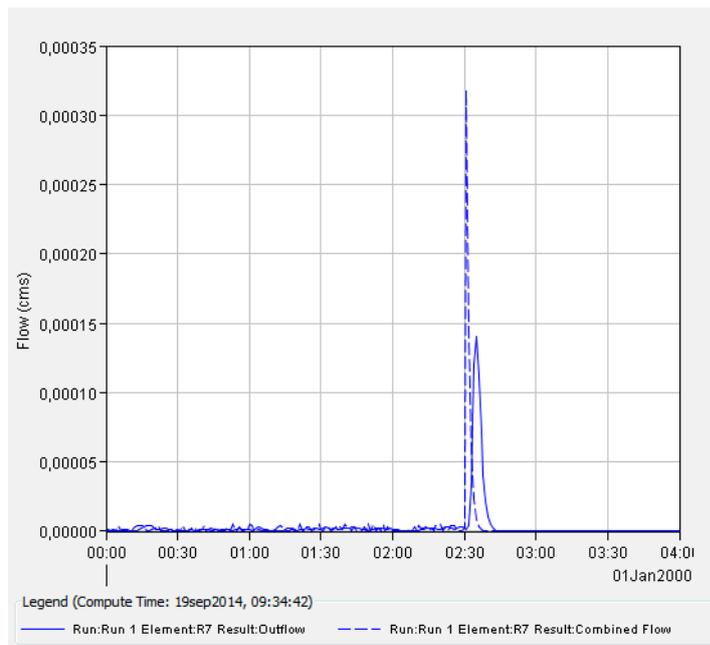


b)

Figura 129. Tramo 4. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

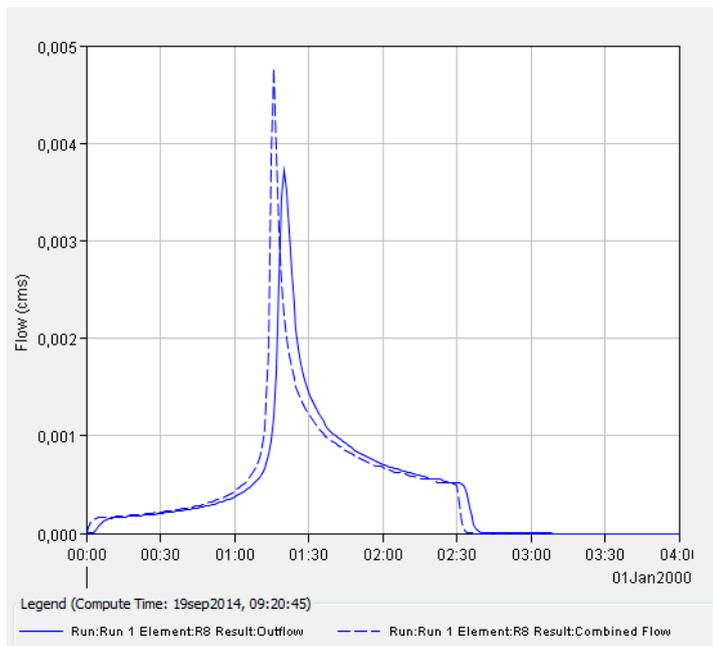


a)

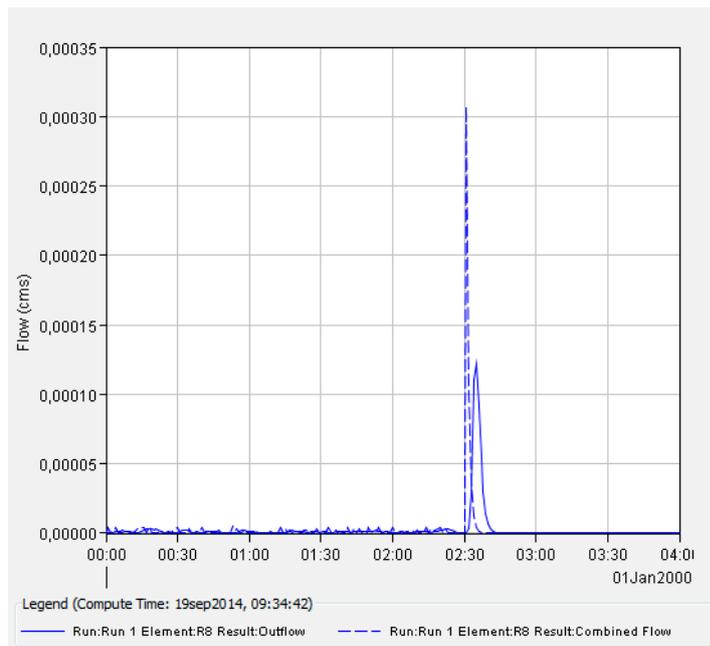


b)

Figura 130. Tramo 7. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

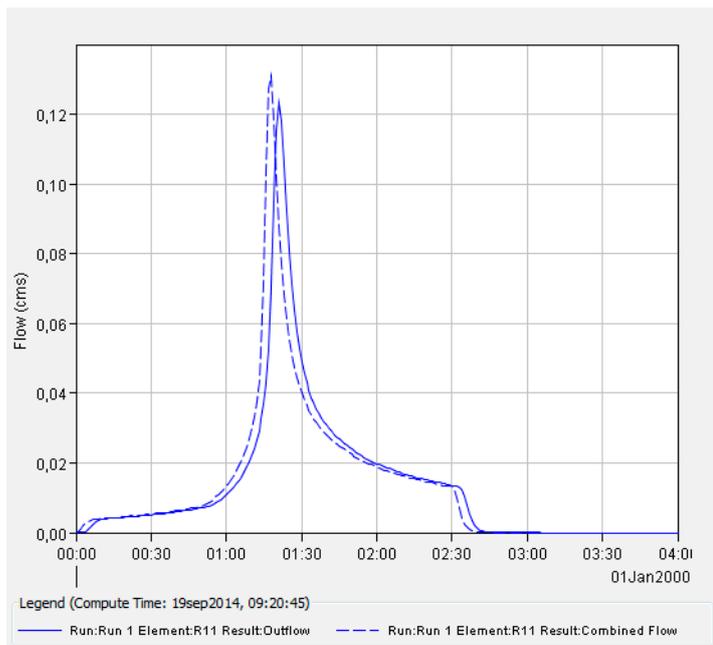


a)

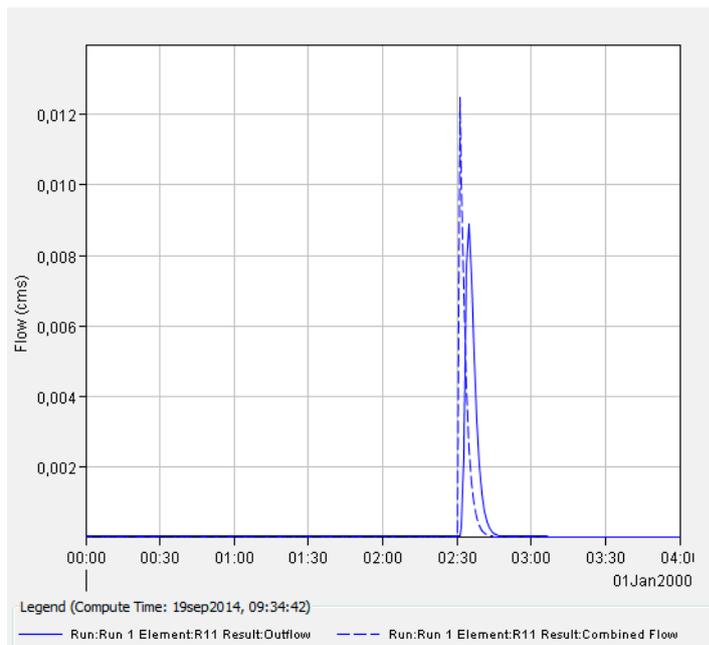


b)

Figura 131. Tramo 8. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

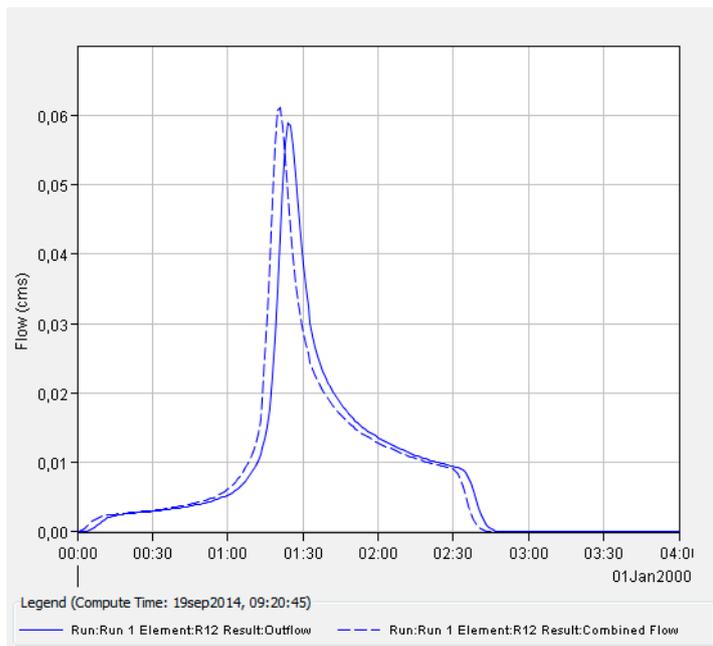


a)

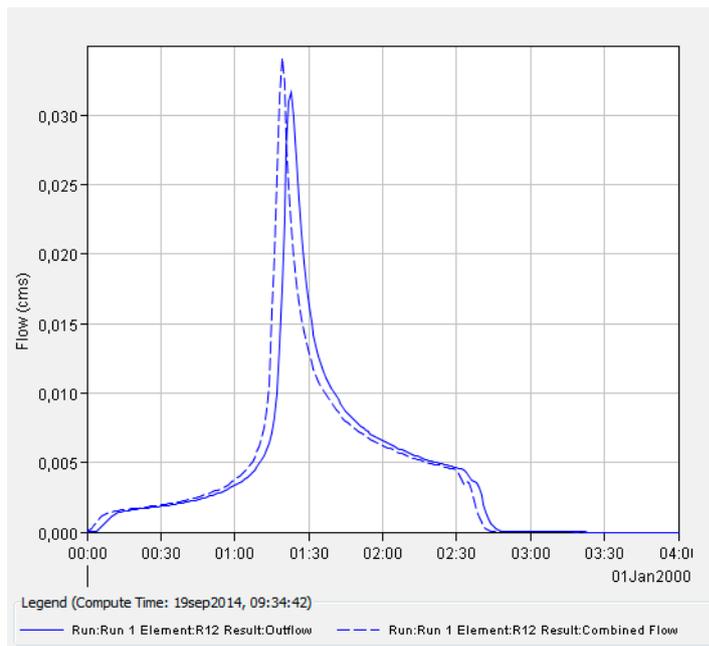


b)

Figura 132. Tramo 11. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

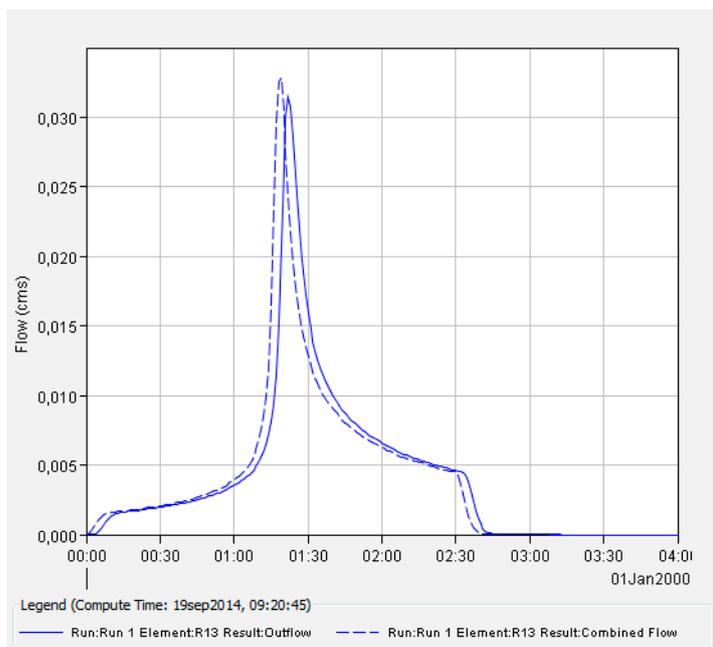


a)

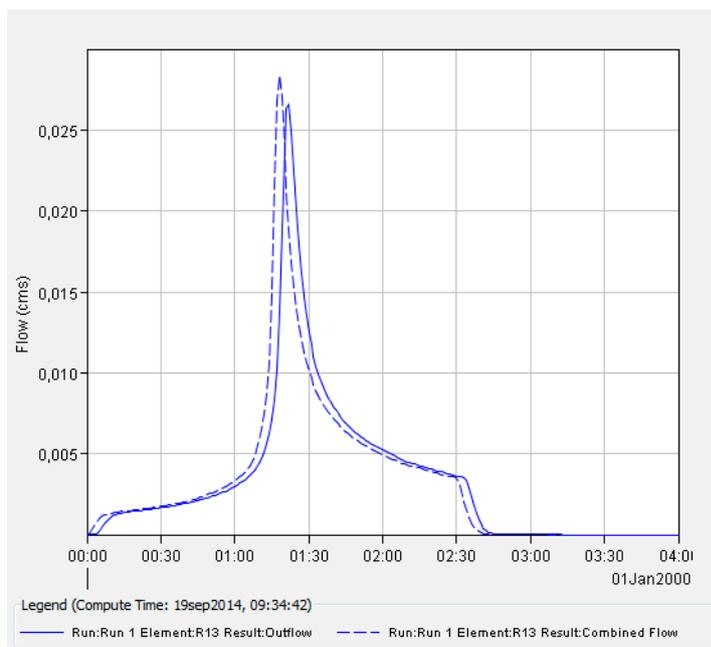


b)

Figura 133. Tramo 12. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

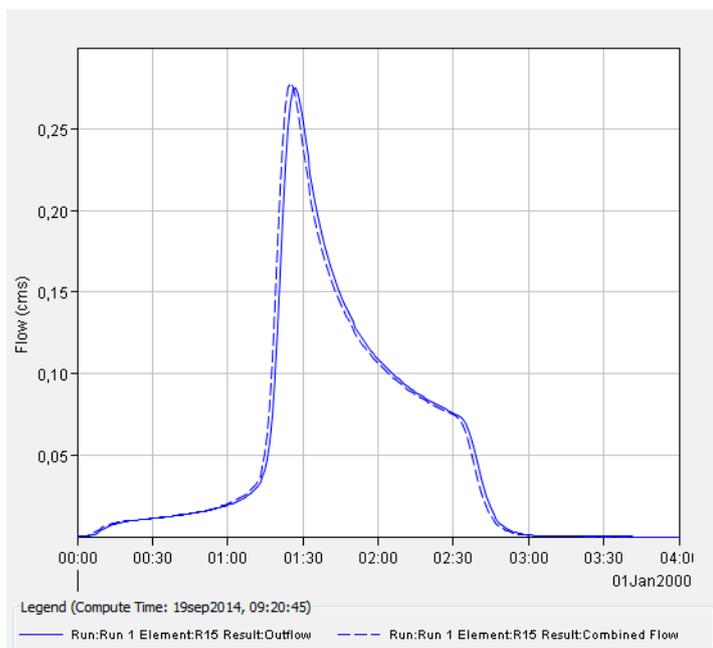


a)

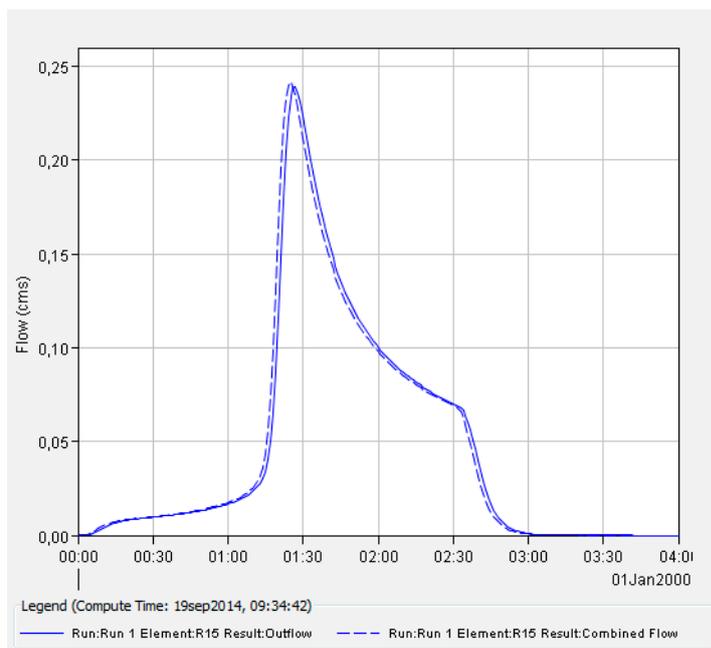


b)

Figura 134. Tramo 13. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

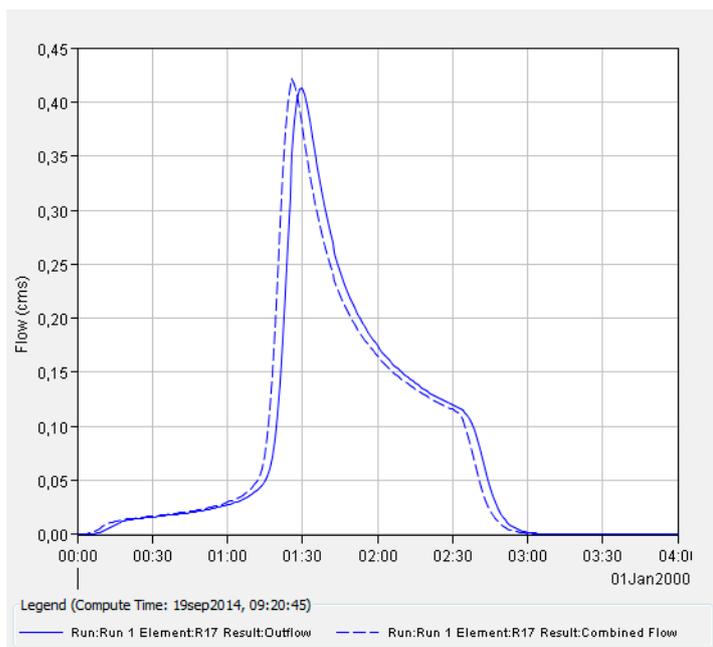


a)

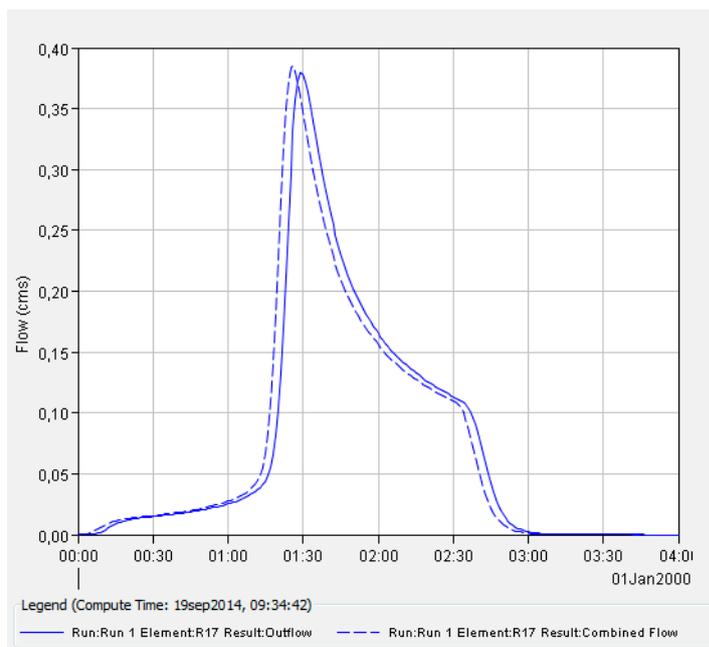


b)

Figura 135. Tramo 15. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

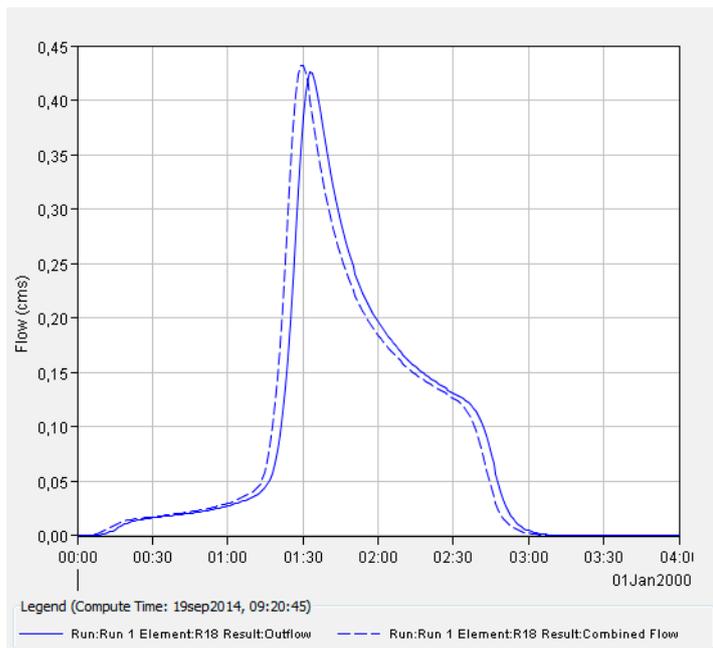


a)

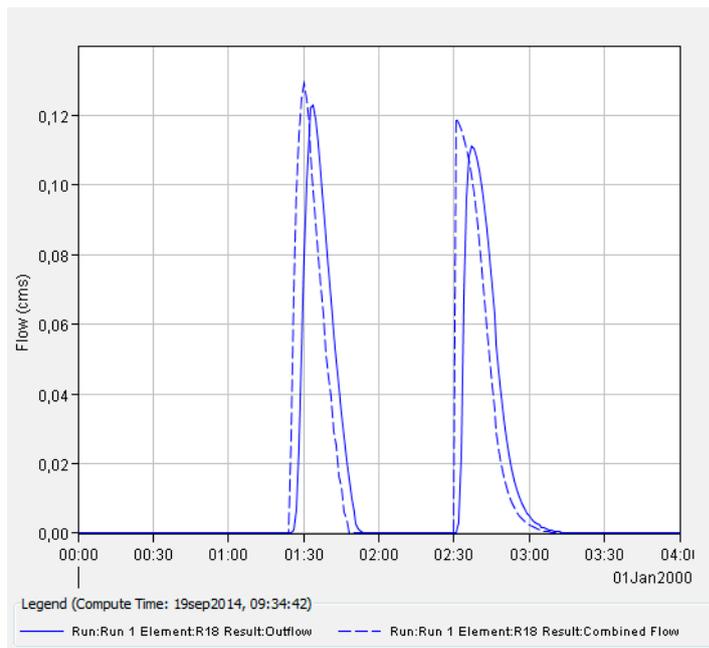


b)

Figura 136. Tramo 17. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

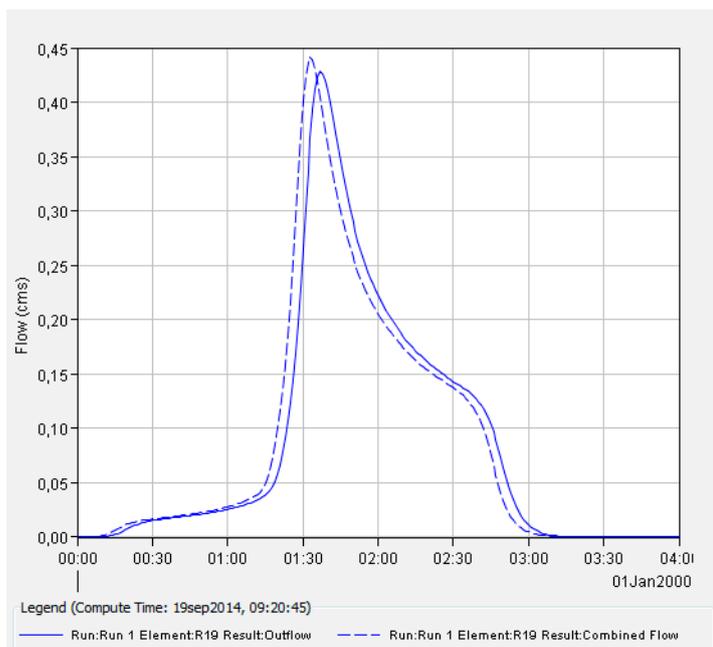


a)

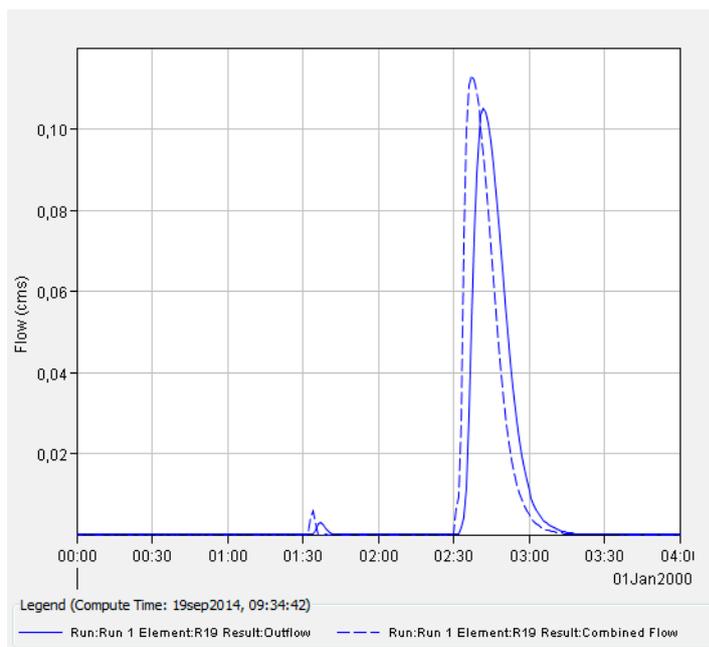


b)

Figura 137. Tramo 18. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

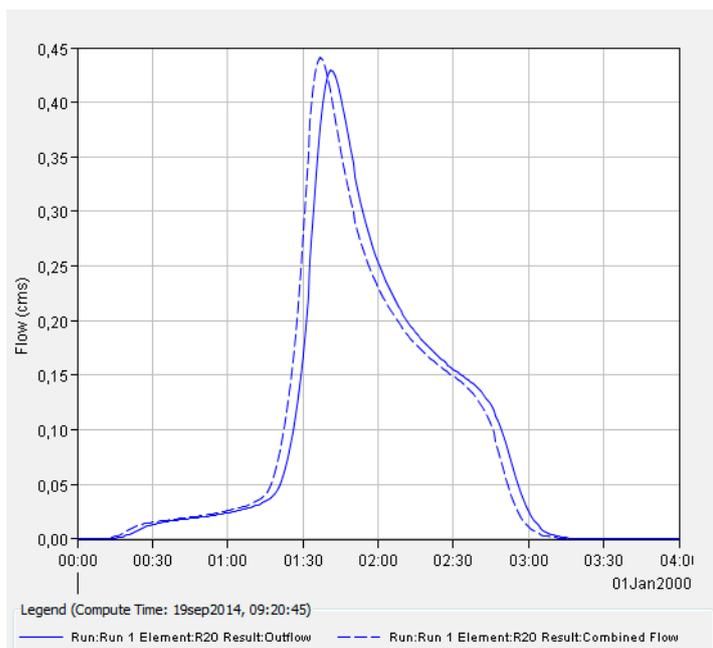


a)

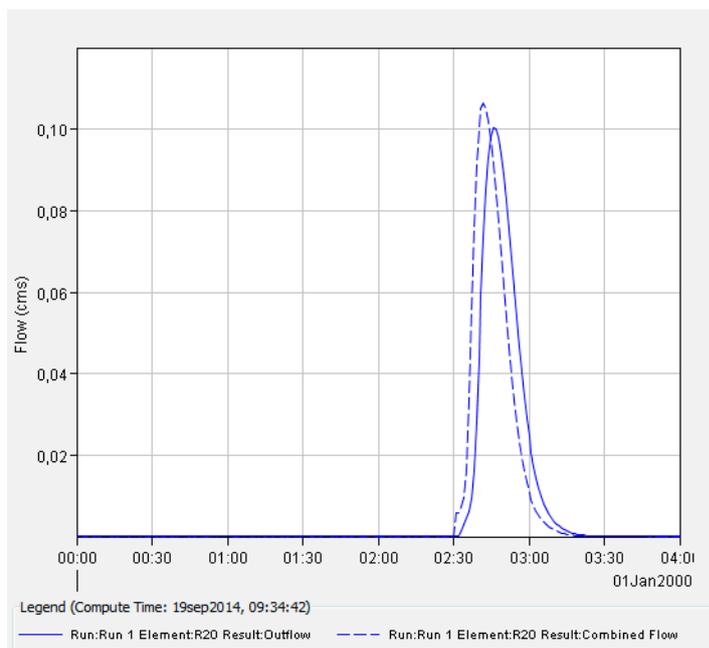


b)

Figura 138. Tramo 19. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

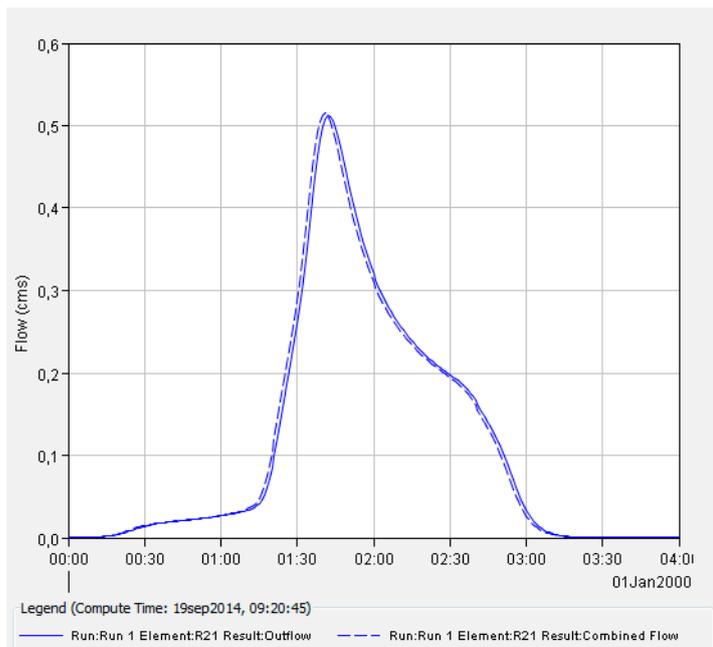


a)

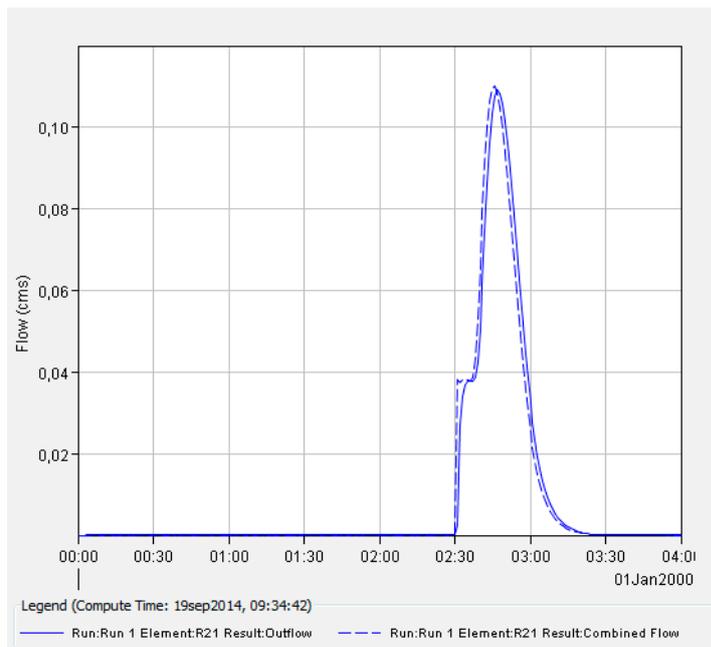


b)

Figura 139. Tramo 20. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

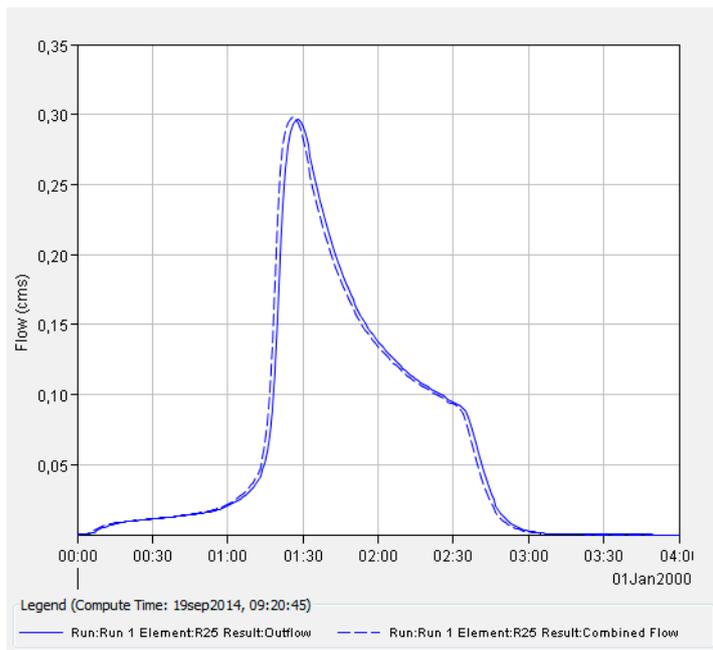


a)

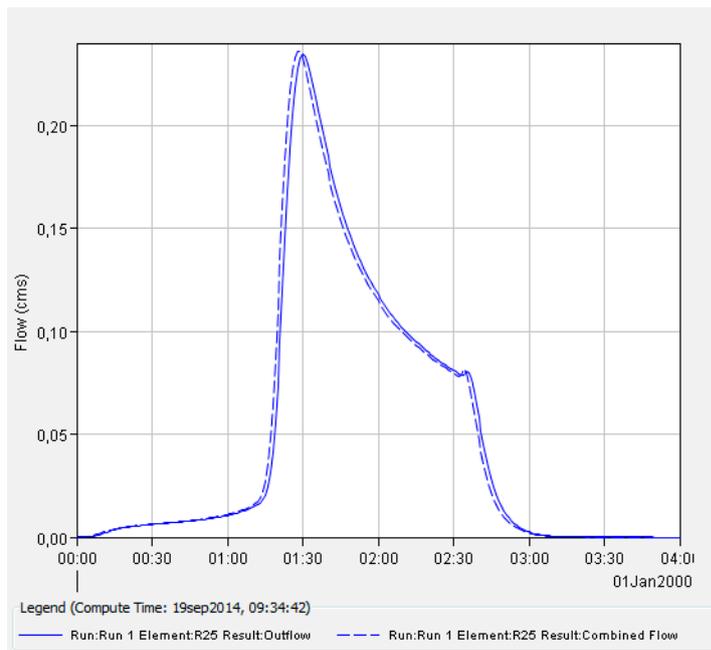


b)

Figura 140. Tramo 21. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

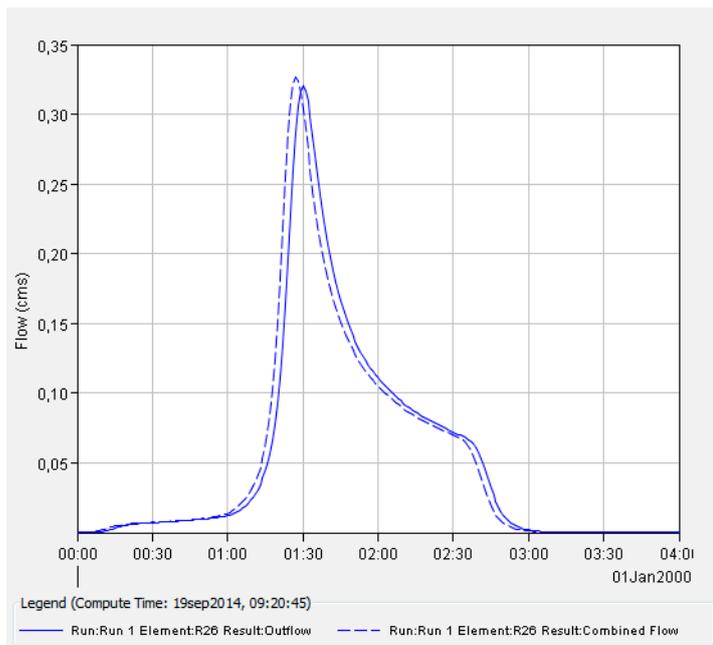


a)

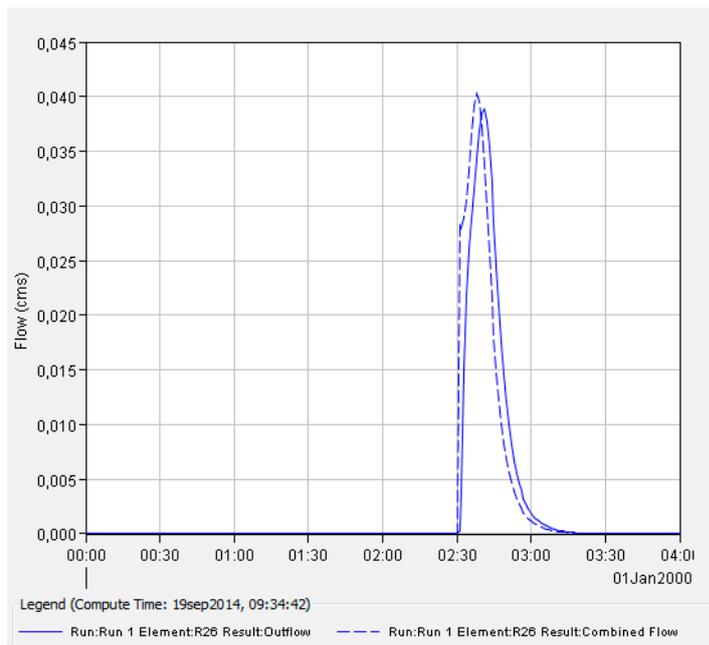


b)

Figura 141. Tramo 25. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

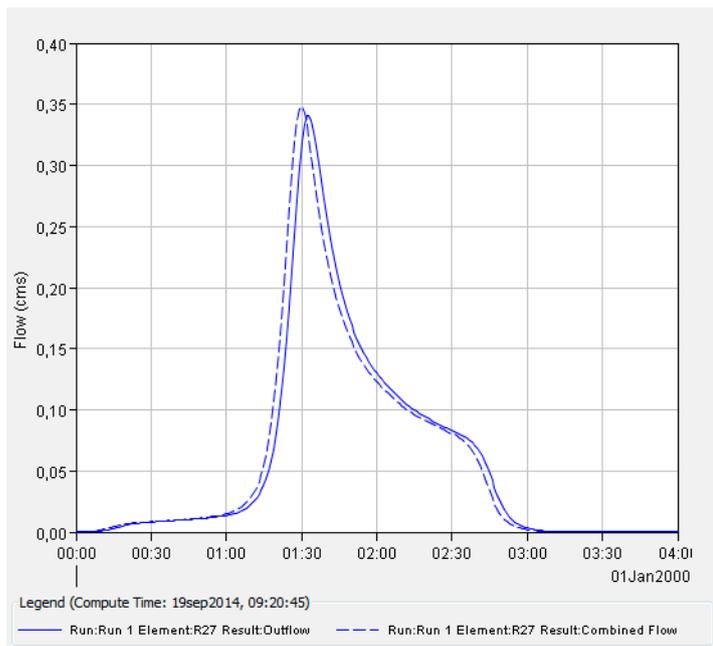


a)

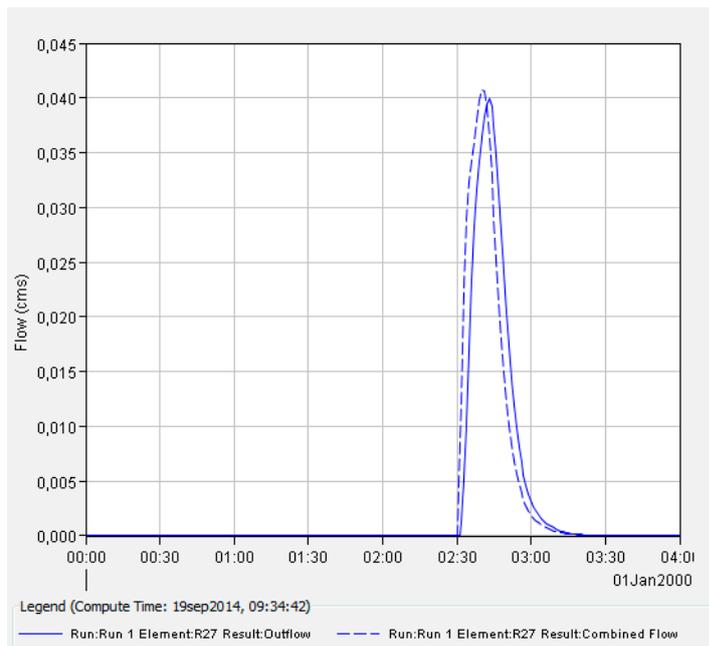


b)

Figura 142. Tramo 26. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

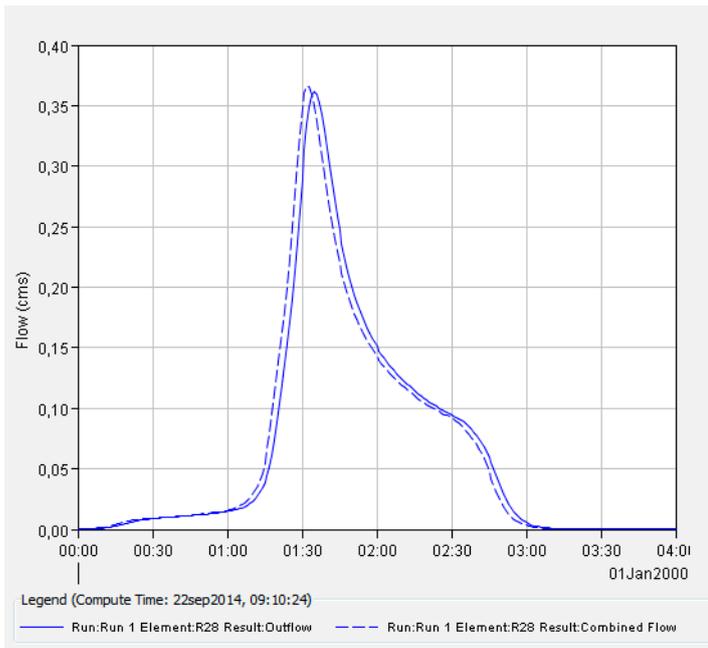


a)

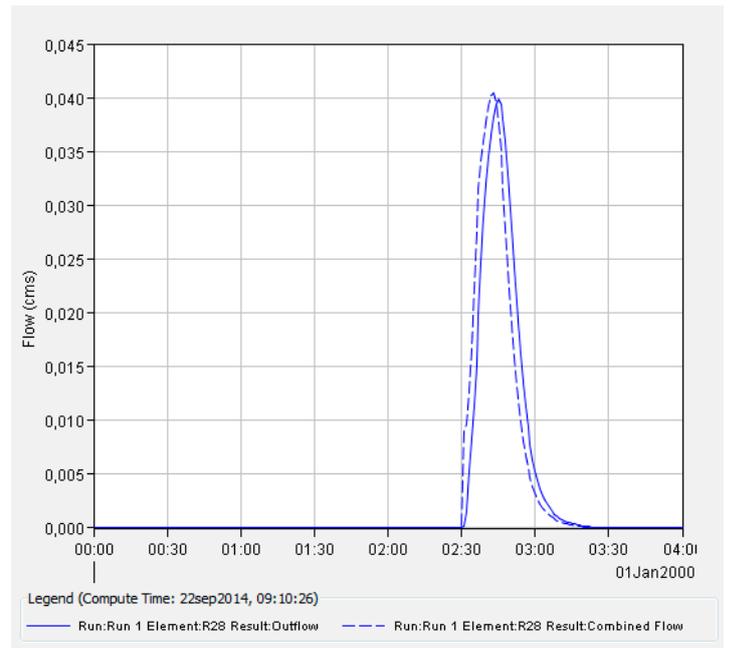


b)

Figura 143. Tramo 27. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

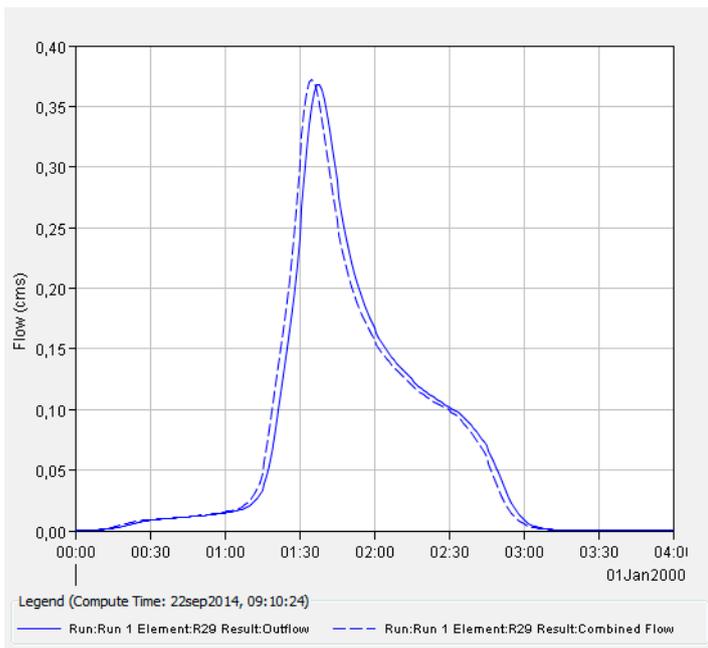


a)

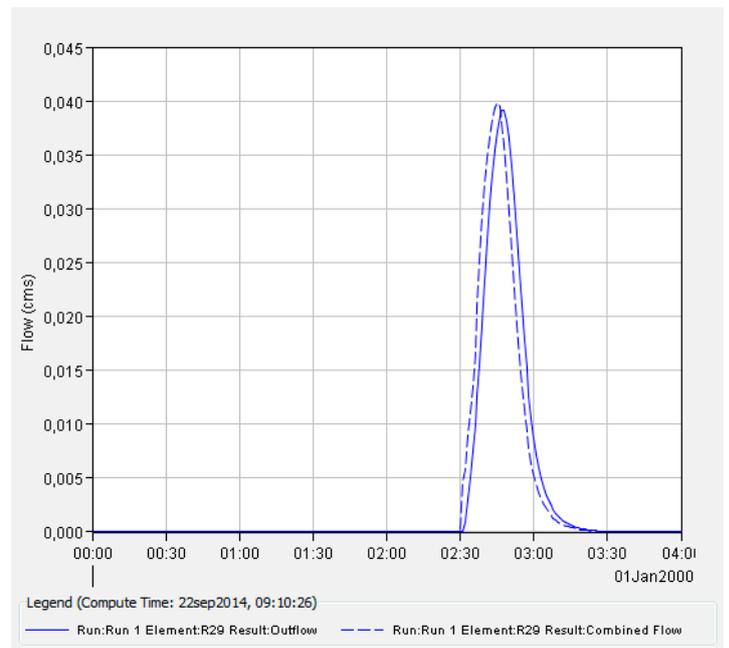


b)

Figura 144. Tramo 28. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

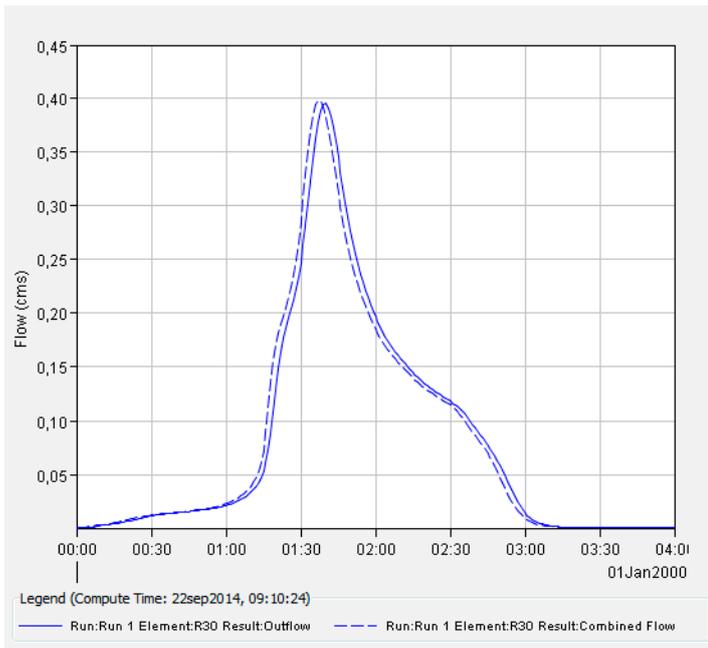


a)

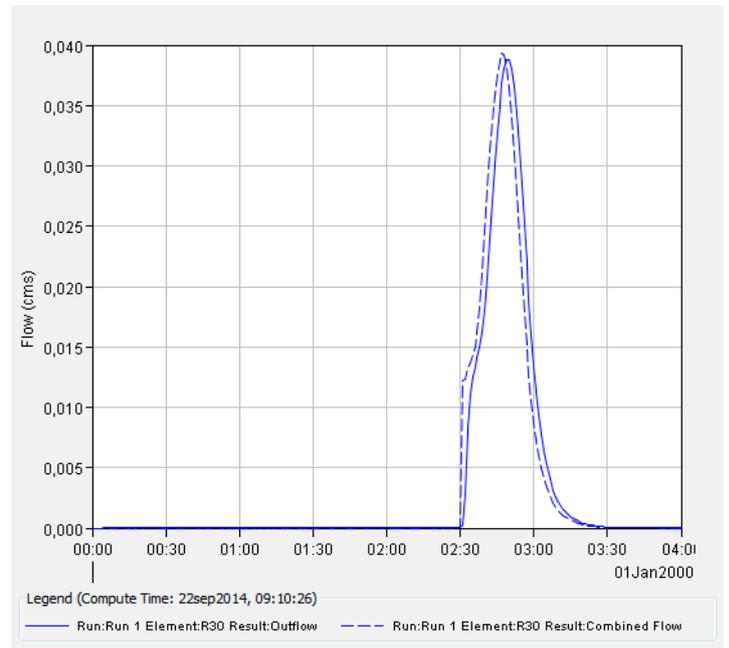


b)

Figura 145. Tramo 29. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

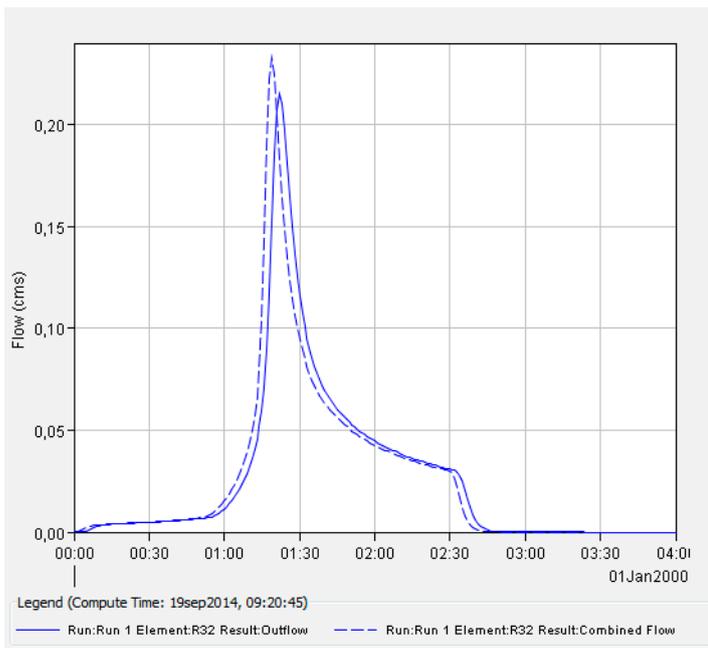


a)

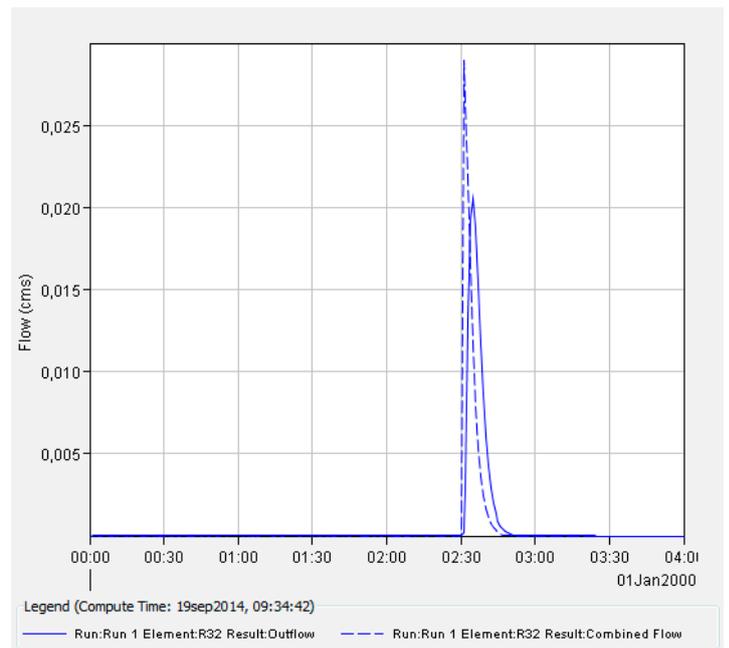


b)

Figura 146. Tramo 30. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

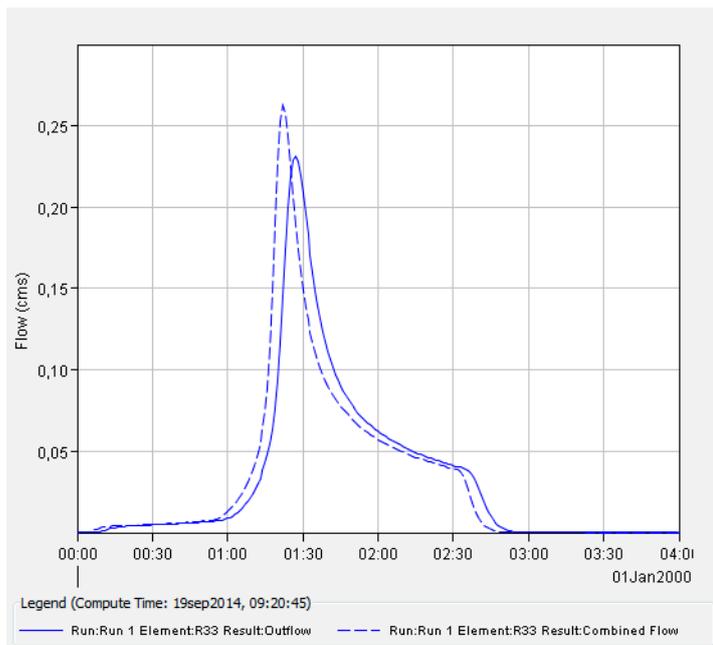


a)

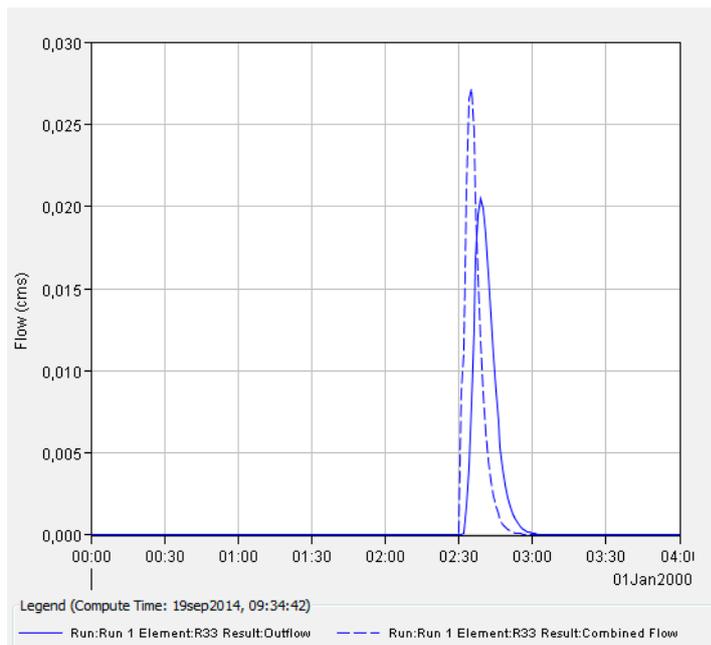


b)

Figura 147. Tramo 32. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

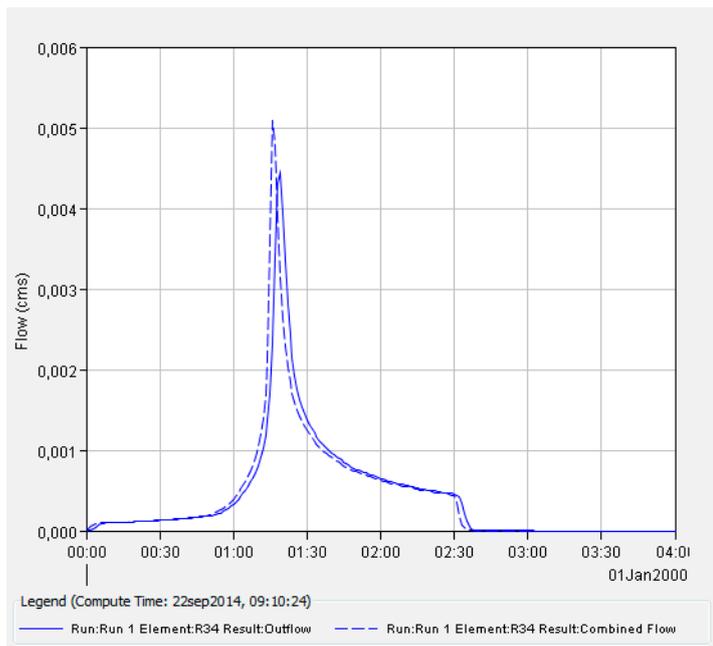


a)

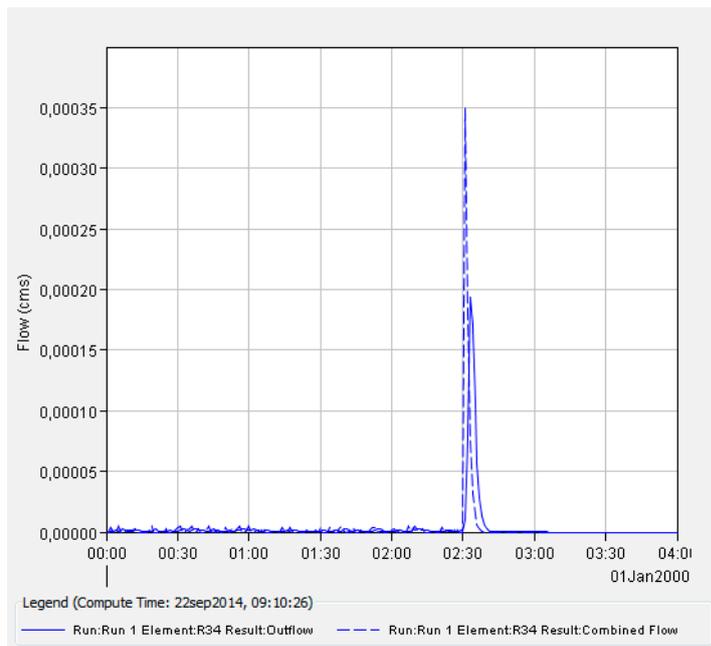


b)

Figura 148. Tramo 33. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

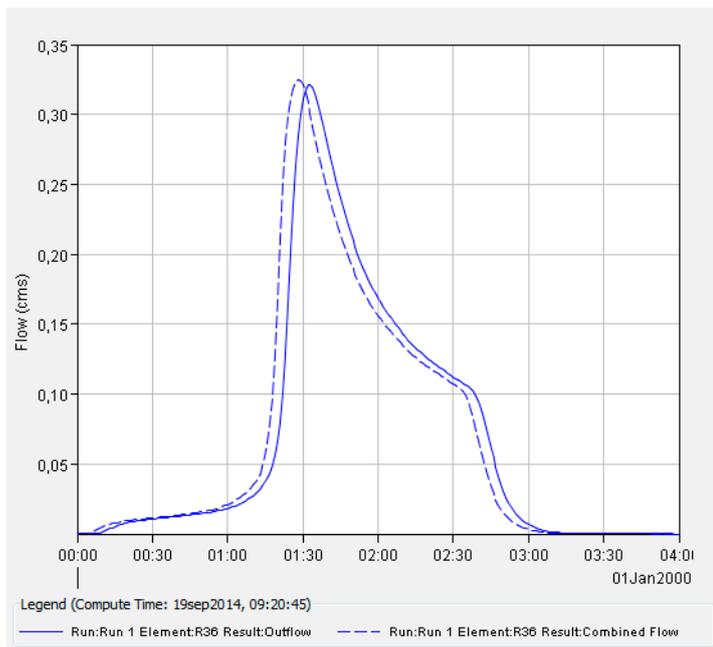


a)

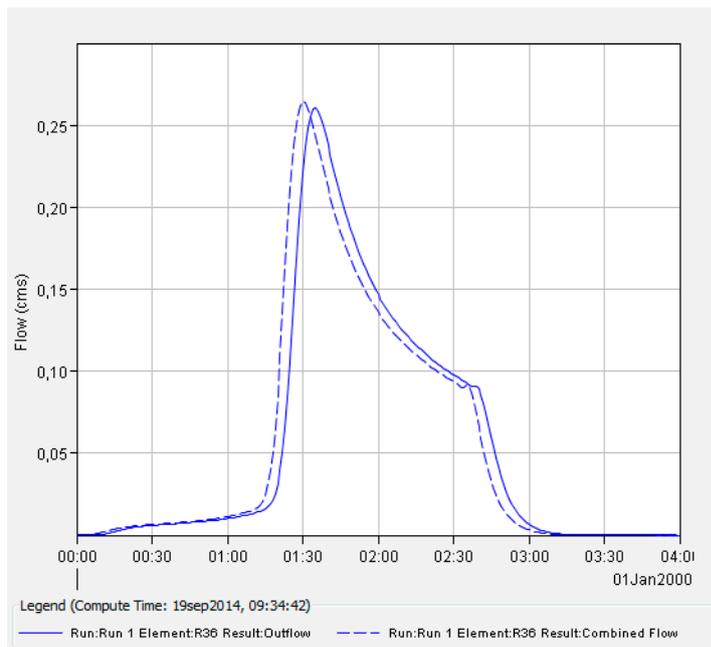


b)

Figura 149. Tramo 34. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

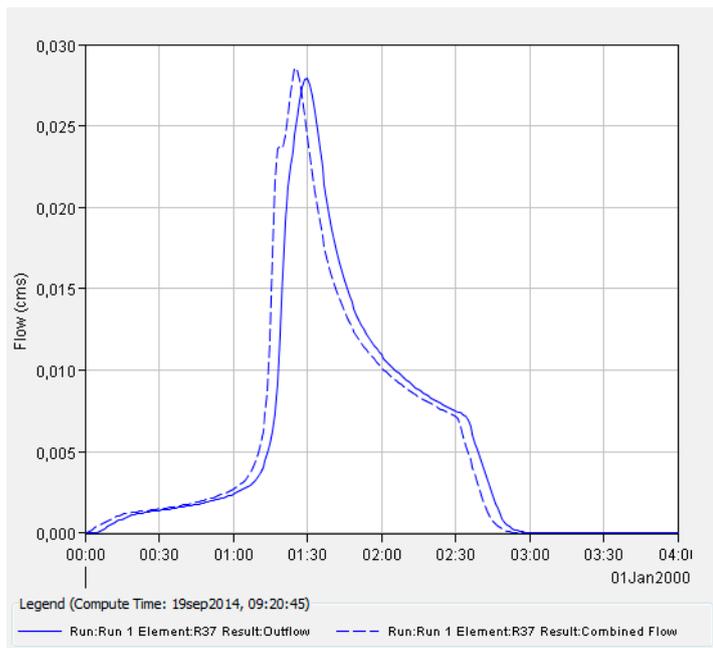


a)

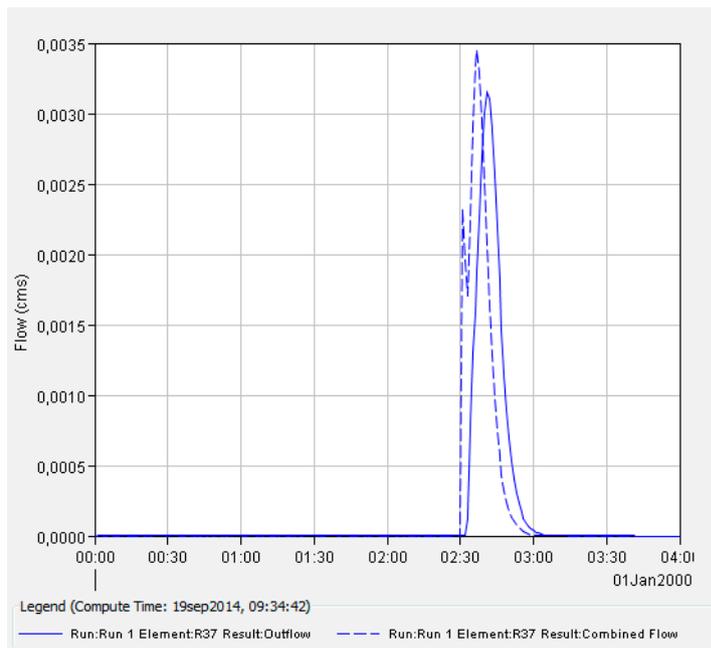


b)

Figura 150. Tramo 36. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

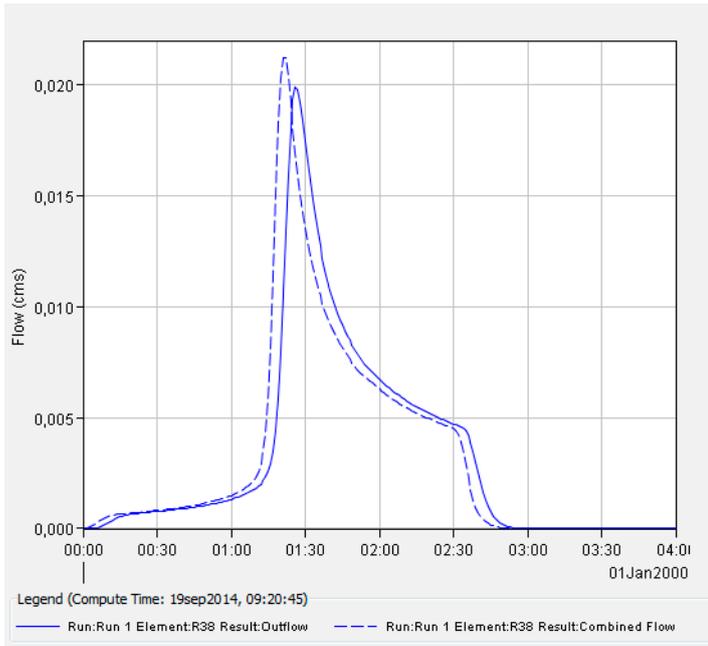


a)

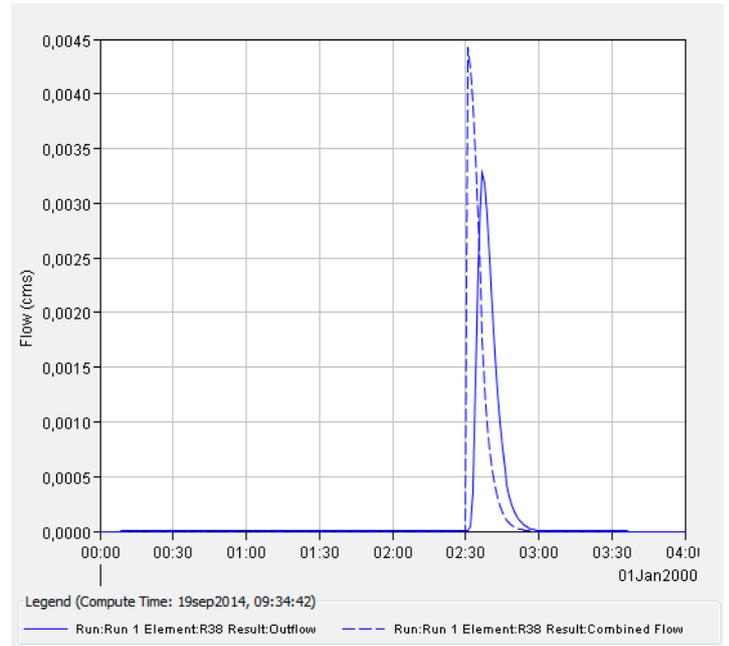


b)

Figura 151. Tramo 37. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

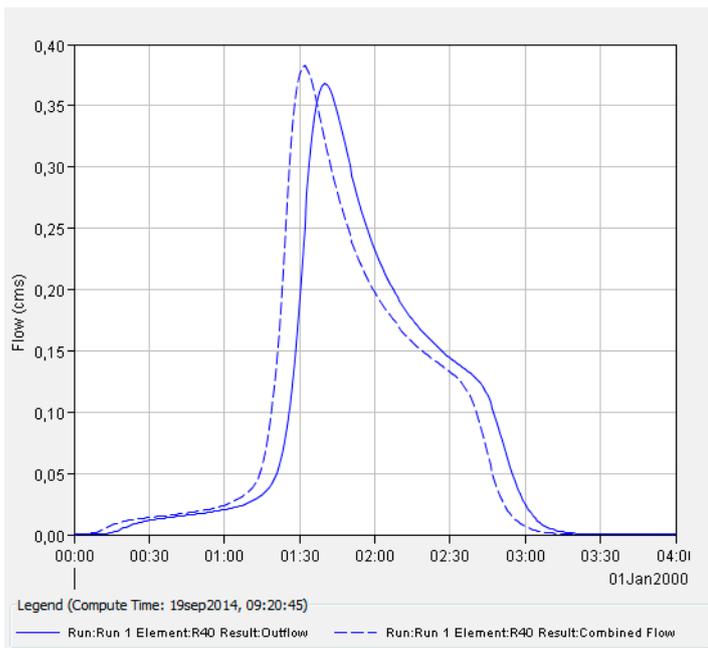


a)

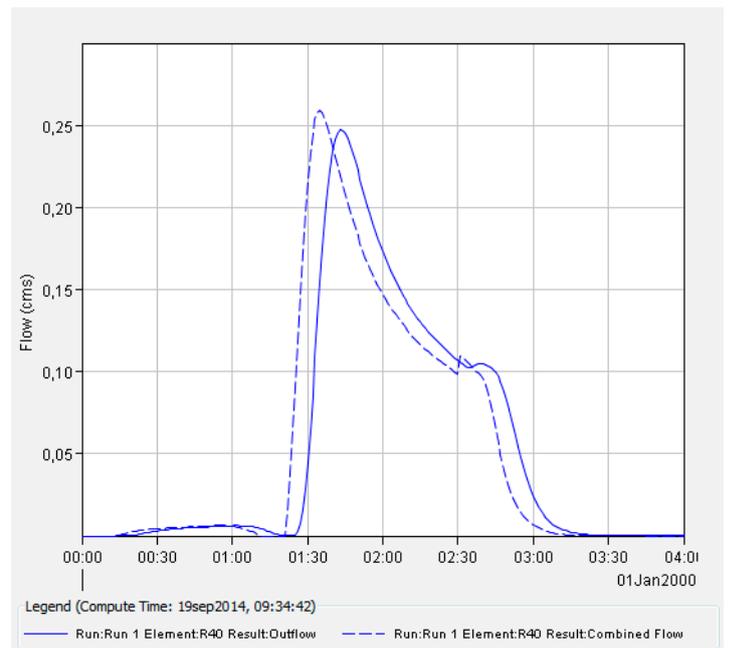


b)

Figura 152. Tramo 38. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

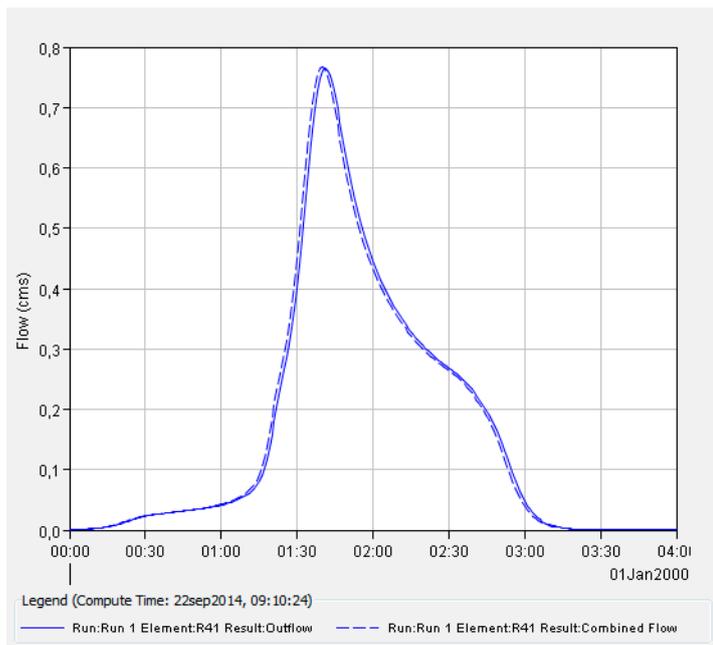


a)

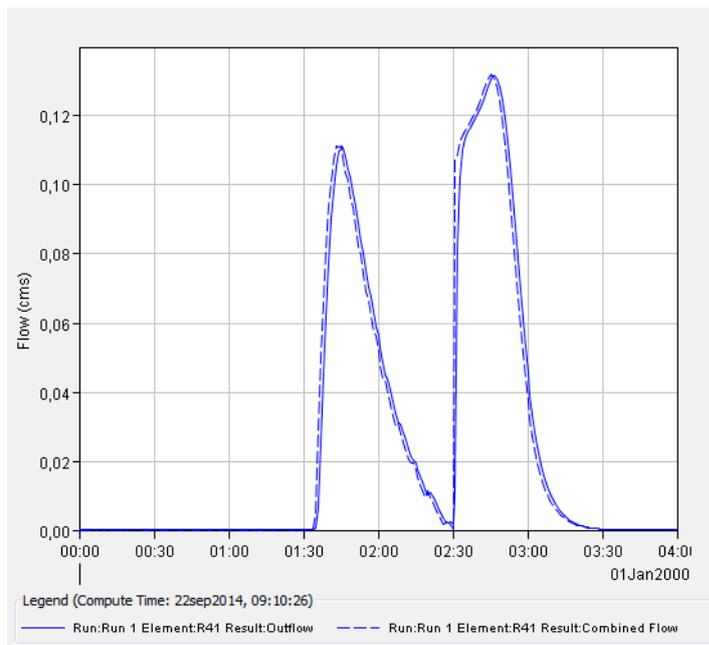


b)

Figura 153. Tramo 40. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

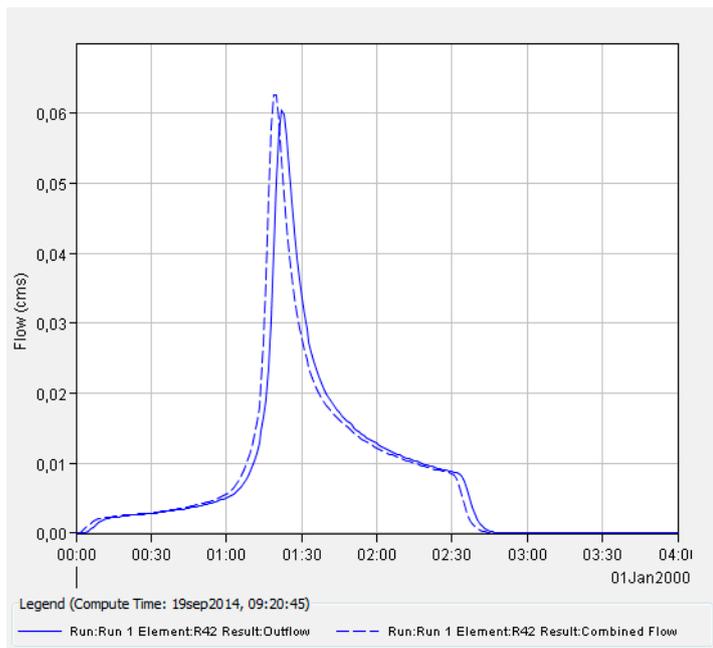


a)

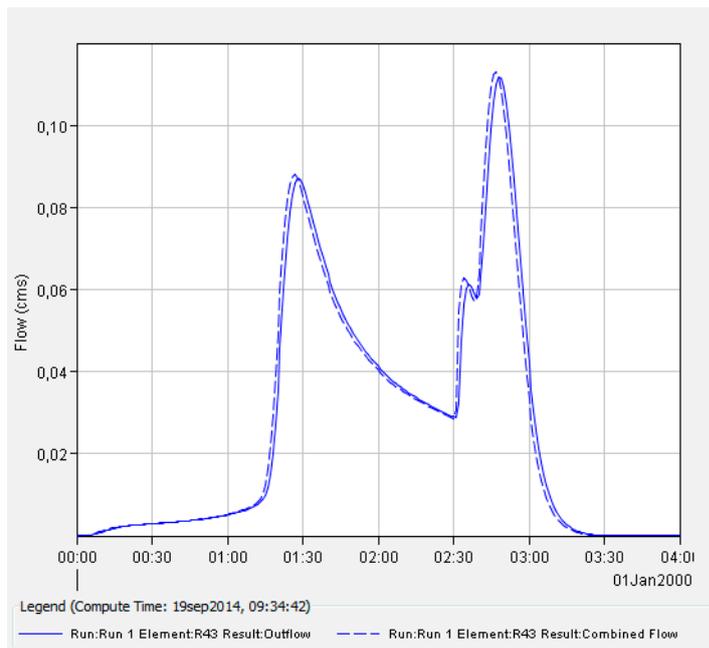


b)

Figura 154. Tramo 41. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

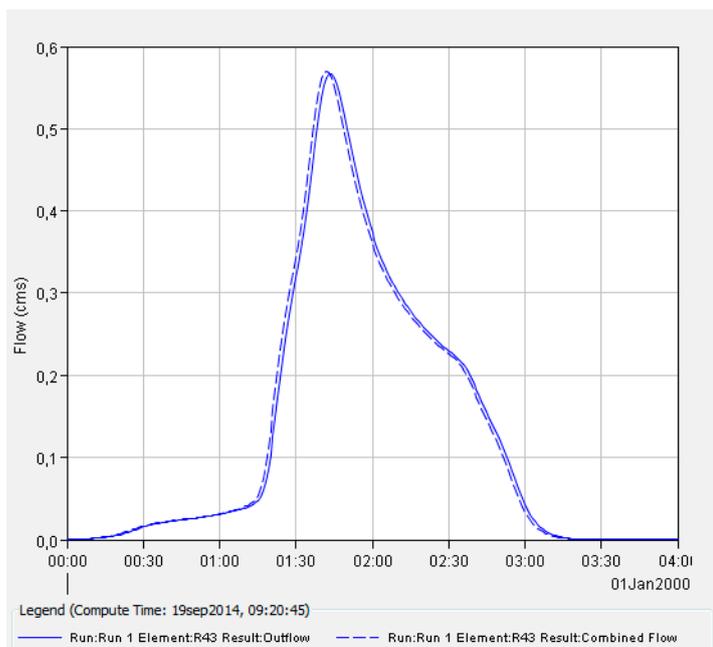


a)

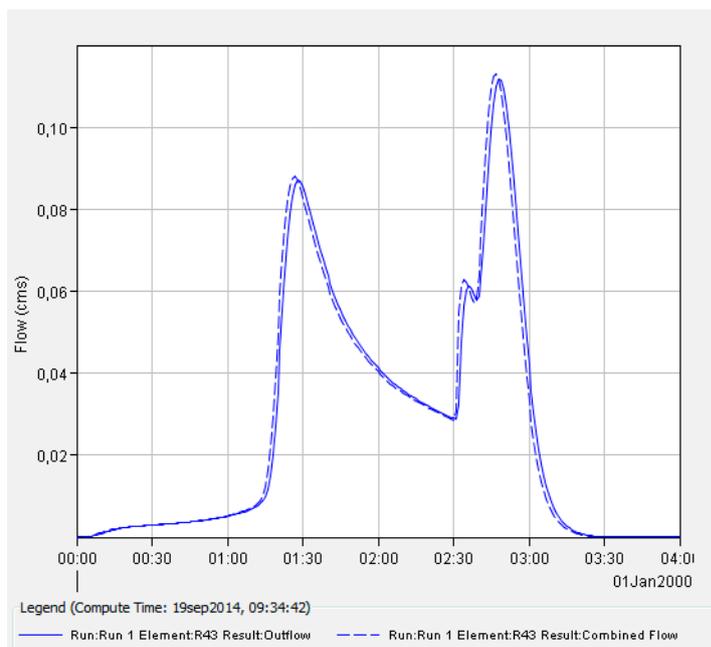


b)

Figura 155. Tramo 42. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

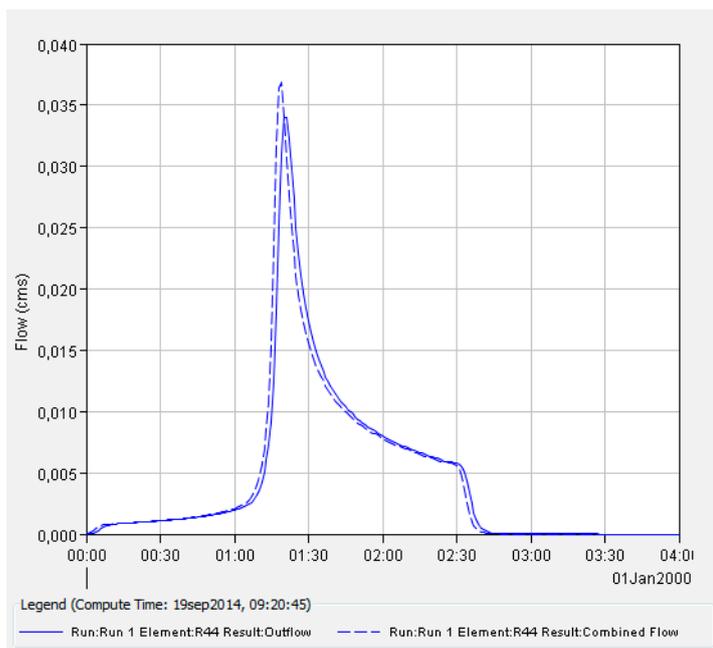


a)

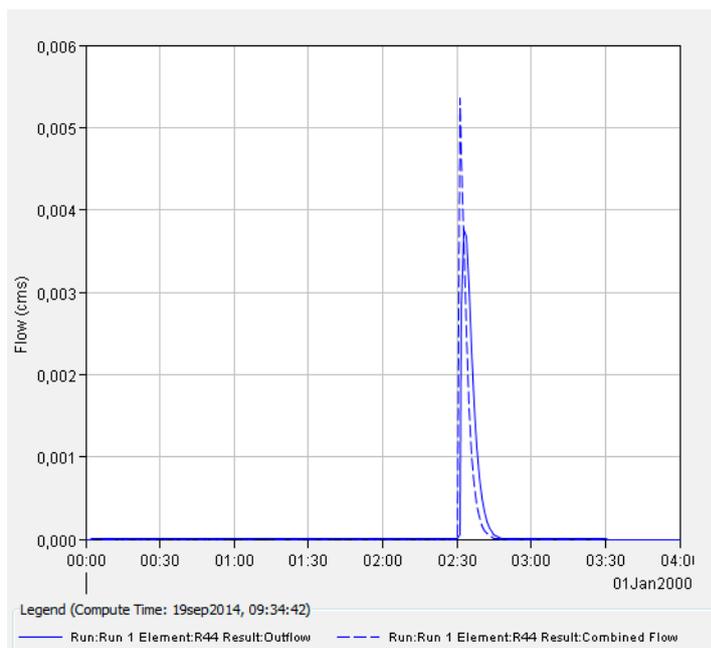


b)

Figura 156. Tramo 43. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

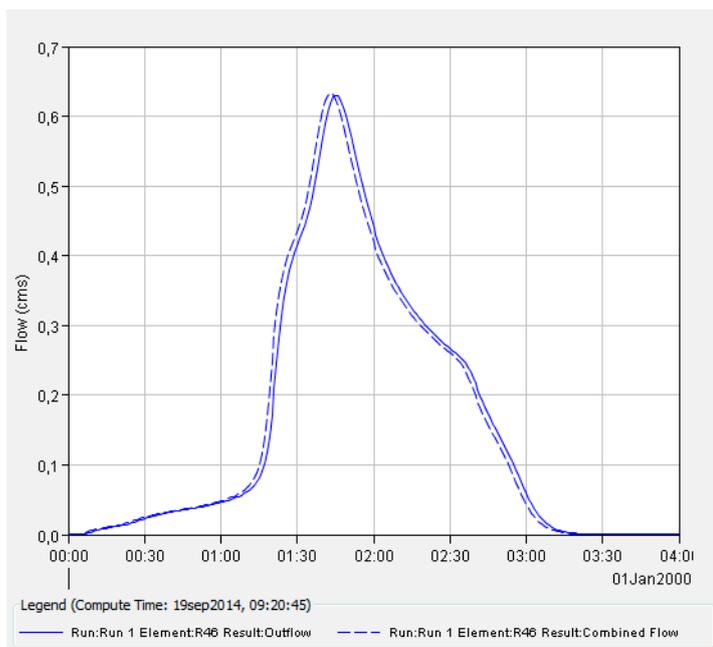


a)

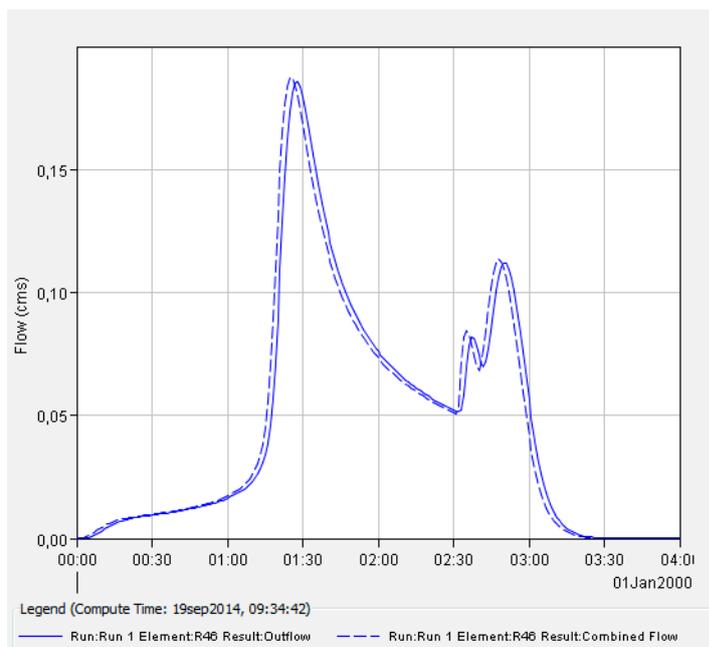


b)

Figura 157. Tramo 44. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

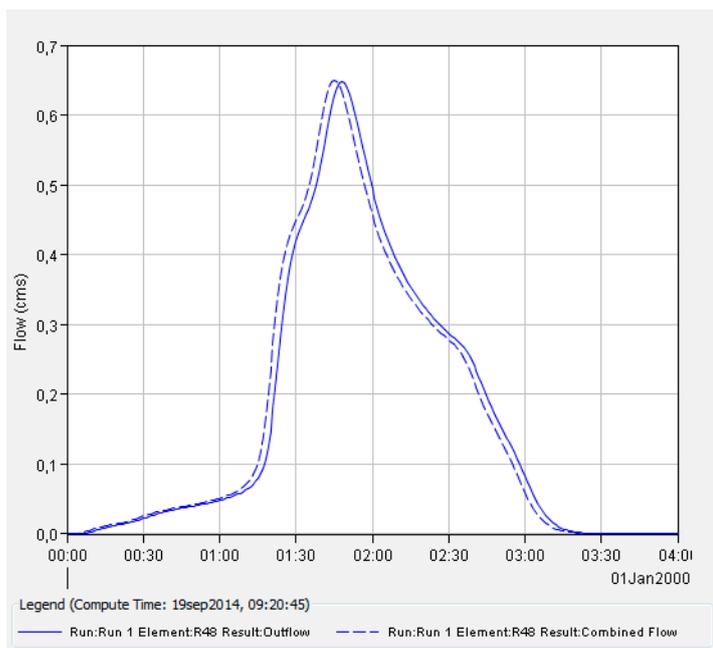


a)

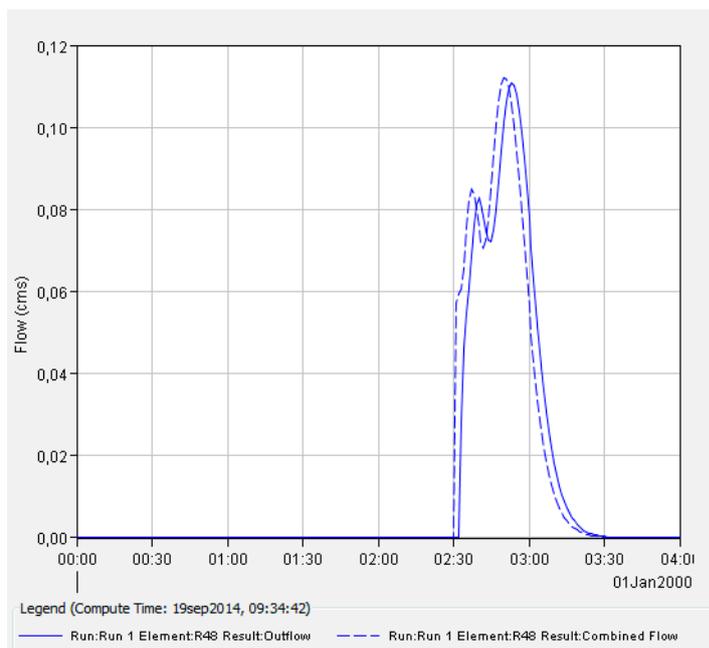


b)

Figura 158. Tramo 46. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

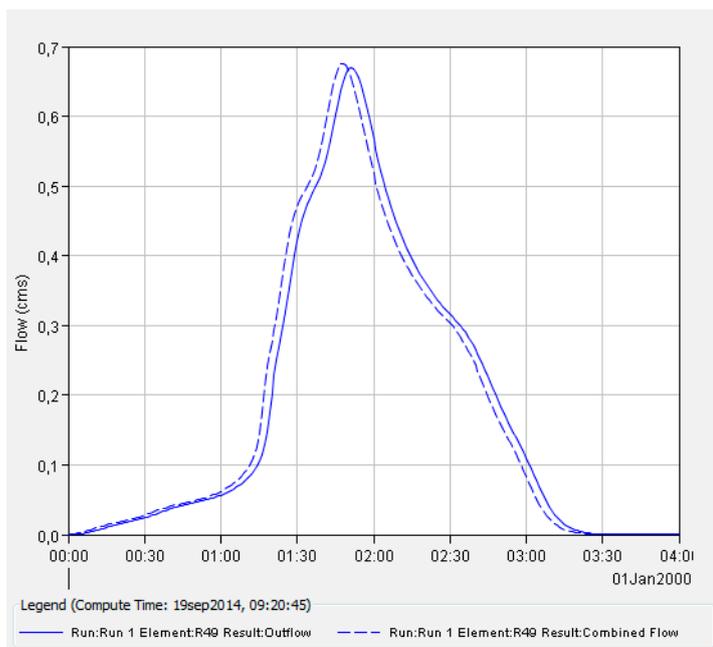


a)

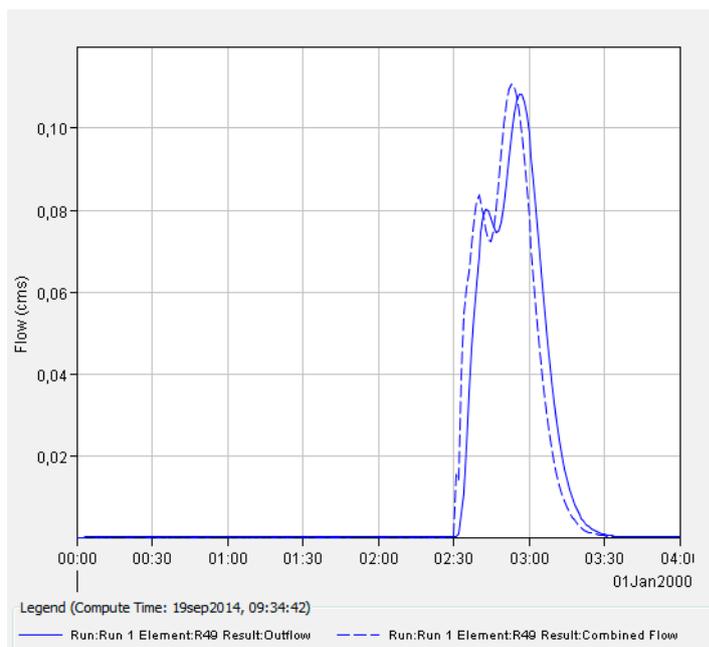


b)

Figura 159. Tramo 48. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

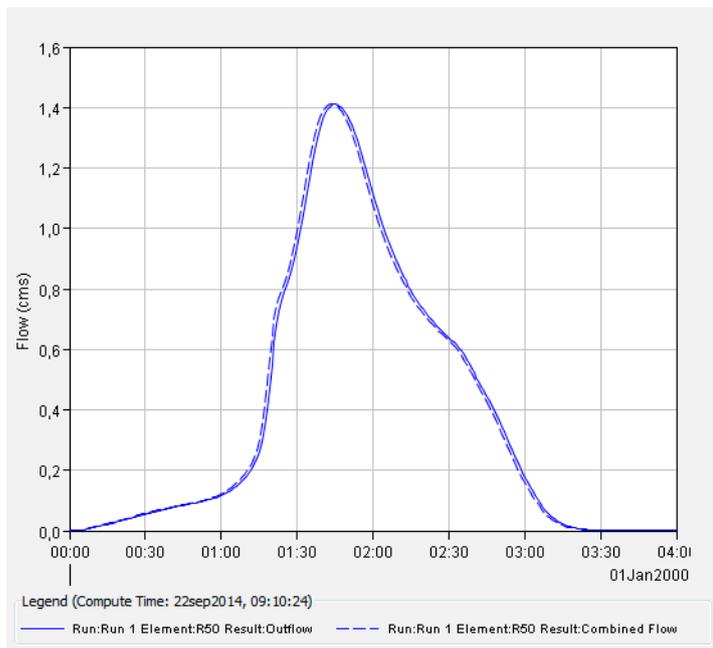


a)

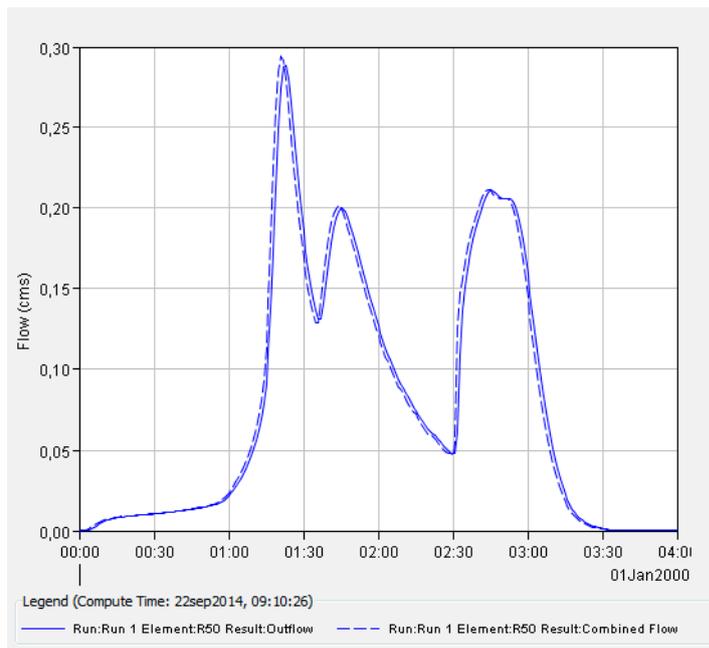


b)

Figura 160. Tramo 49. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

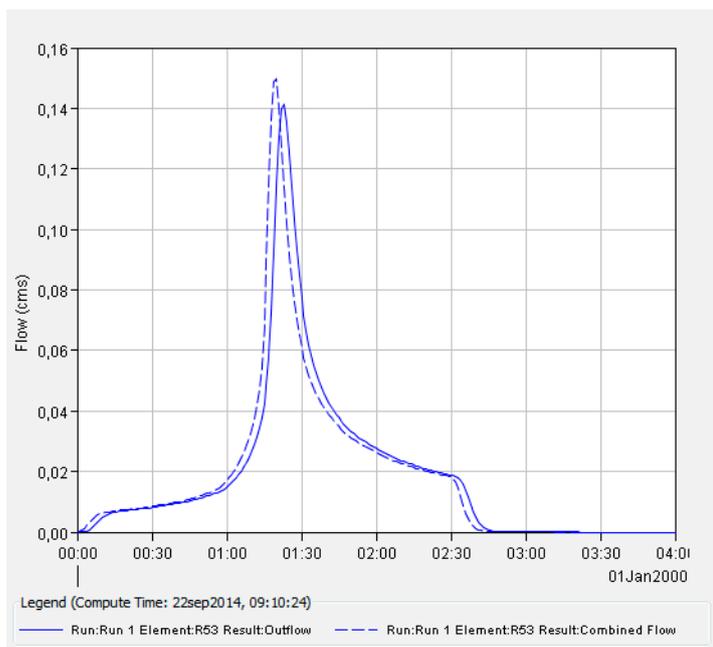


a)

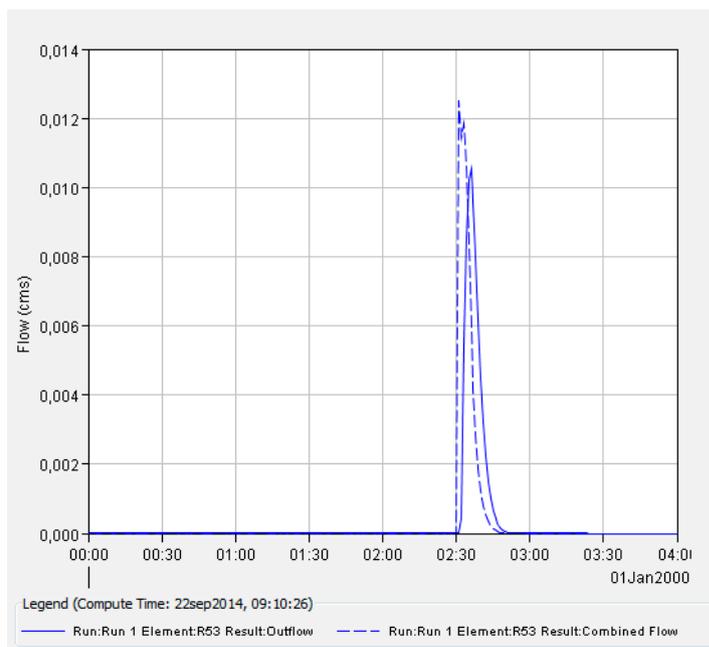


b)

Figura 161. Tramo 50. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

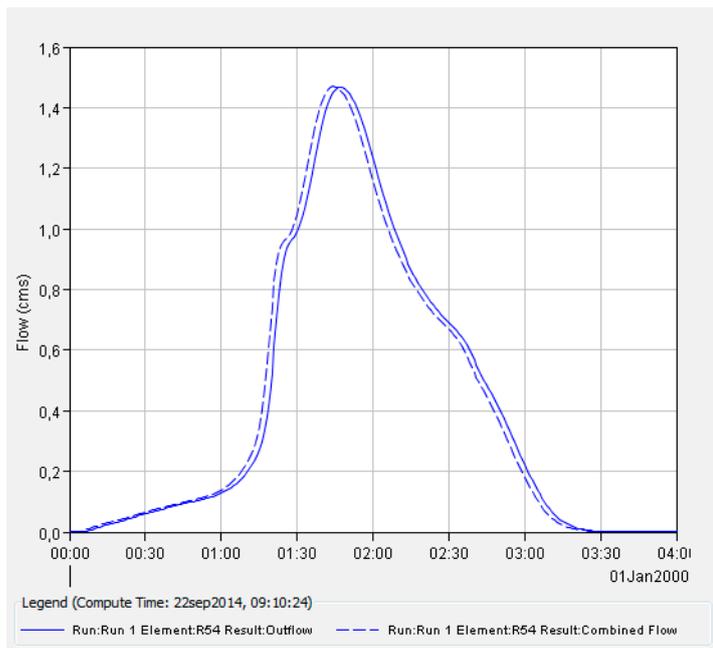


a)

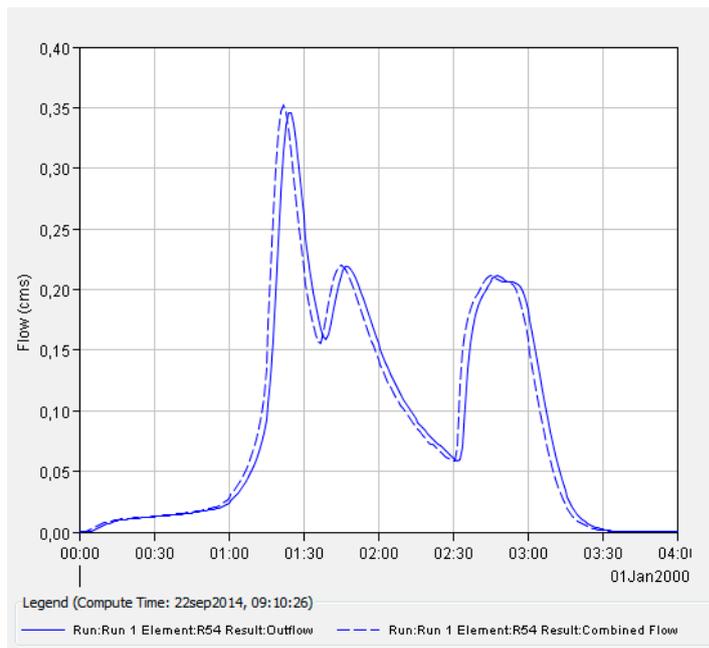


b)

Figura 162. Tramo 53. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

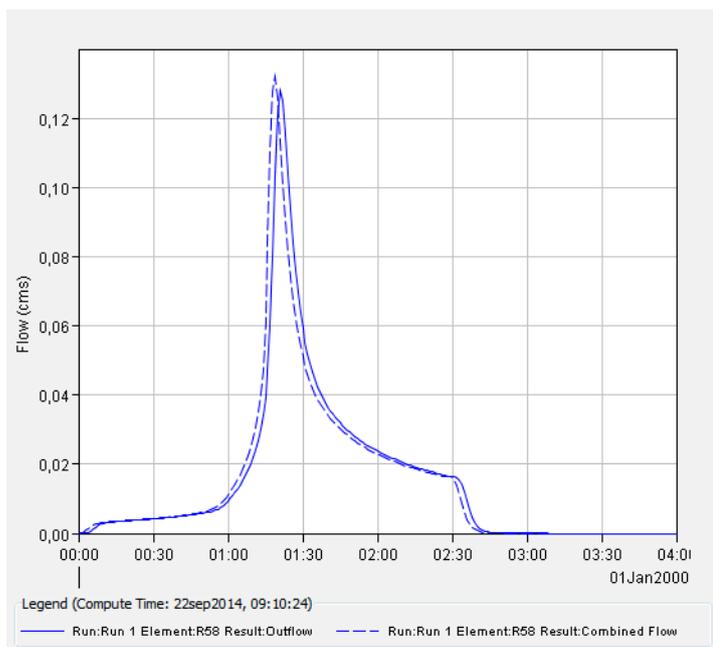


a)

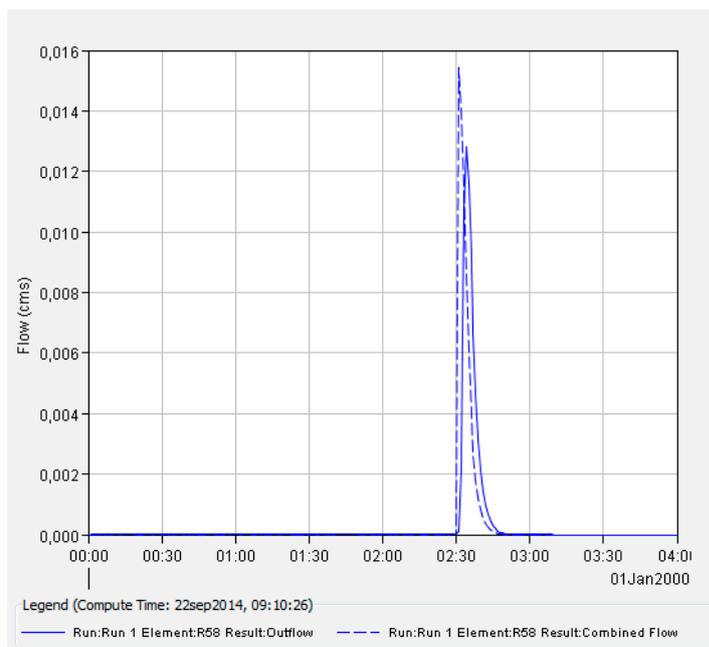


b)

Figura 163. Tramo 54. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

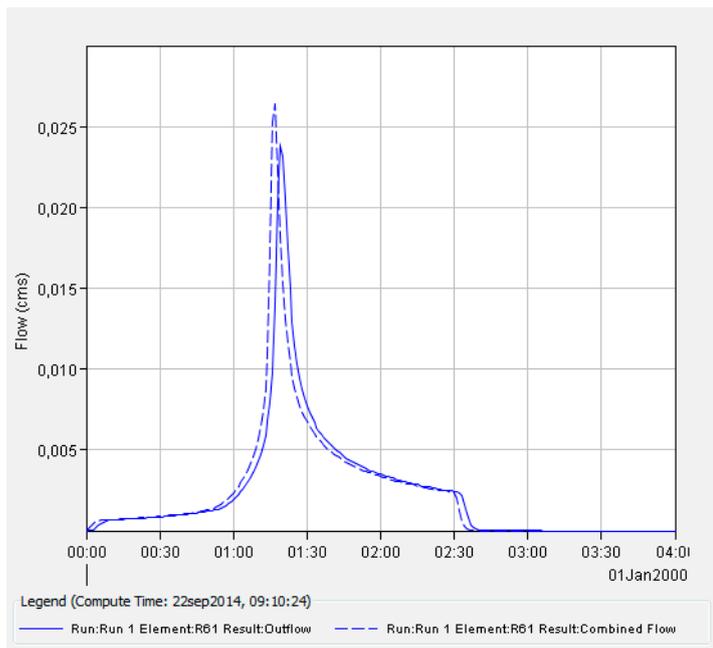


a)

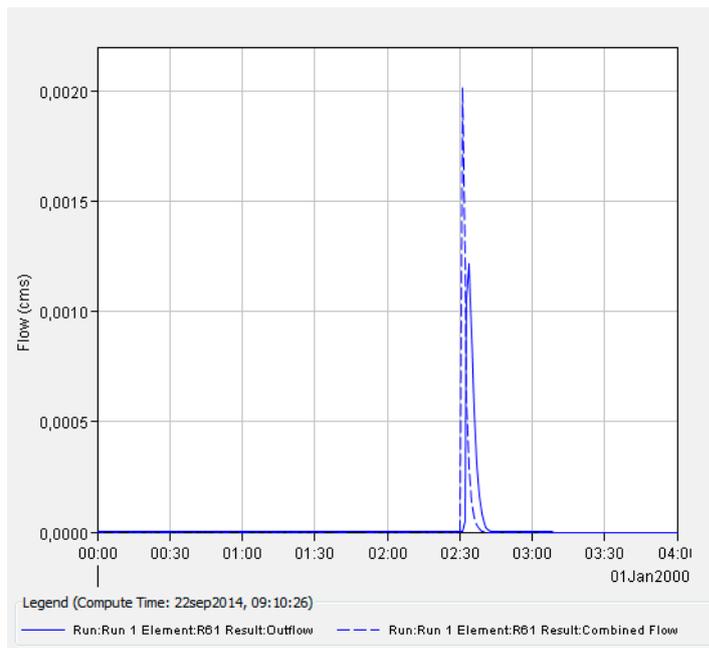


b)

Figura 164. Tramo 58. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

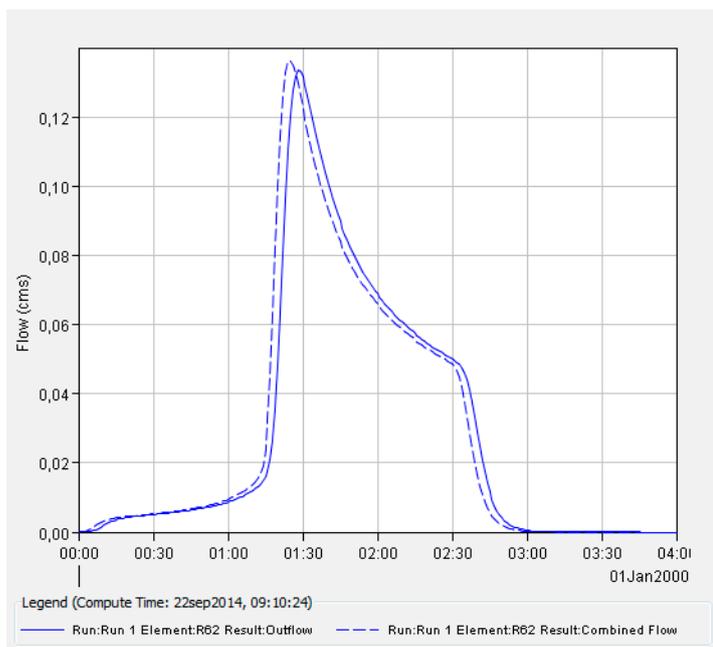


a)

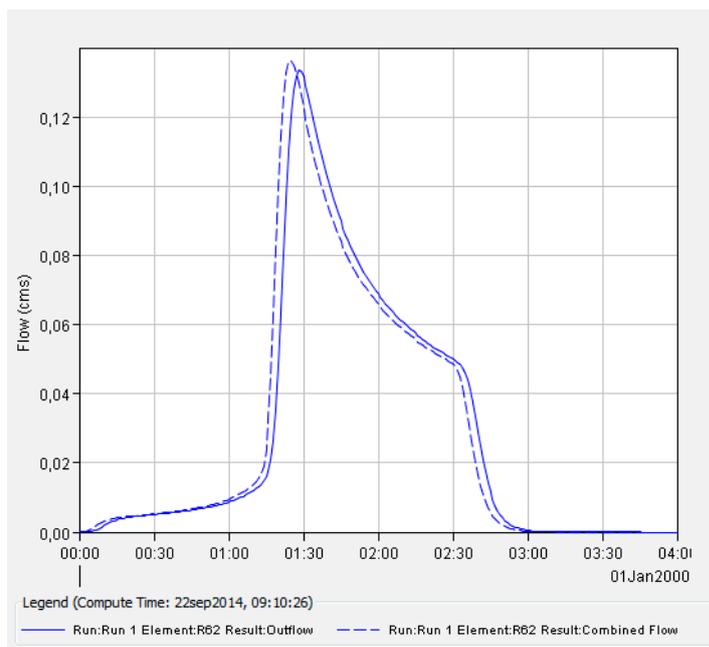


b)

Figura 165. Tramo 61. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

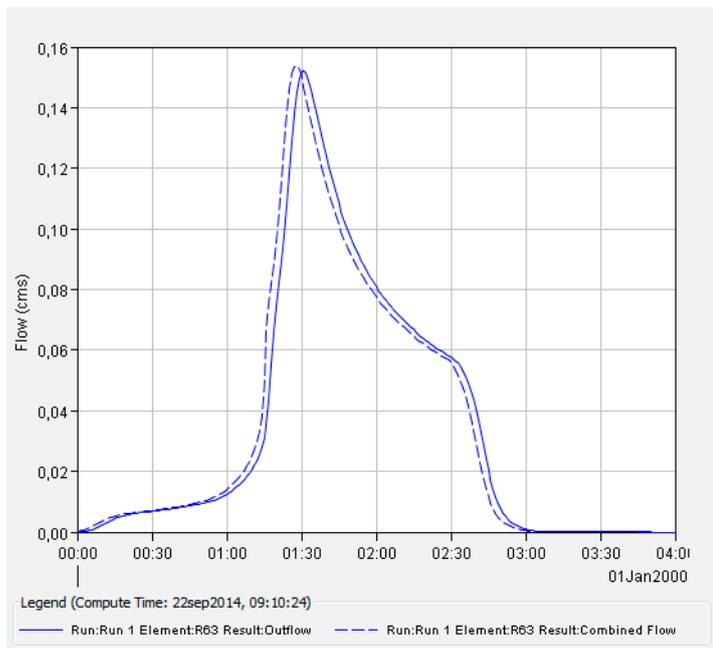


a)

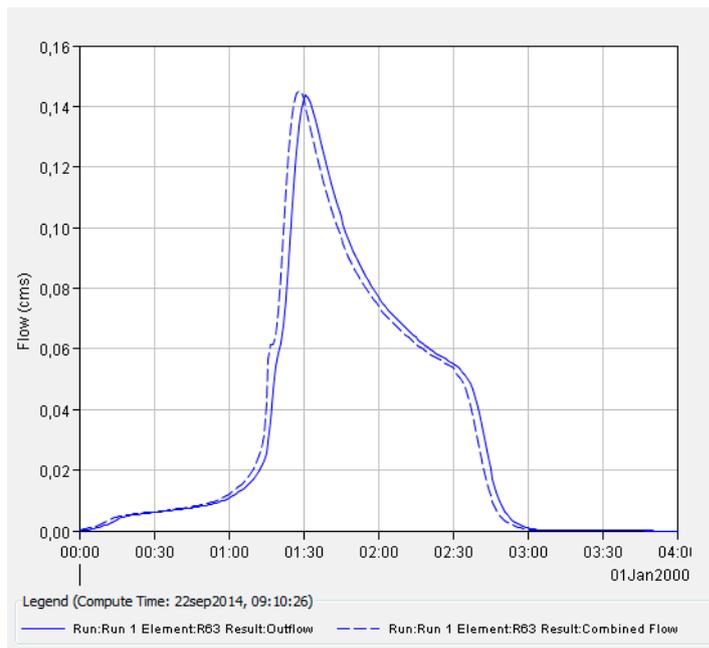


b)

Figura 166. Tramo 62. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

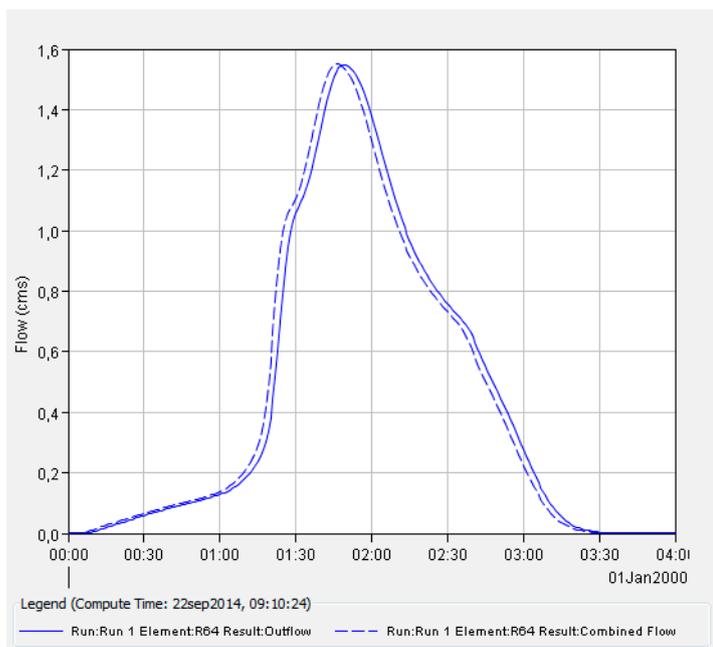


a)

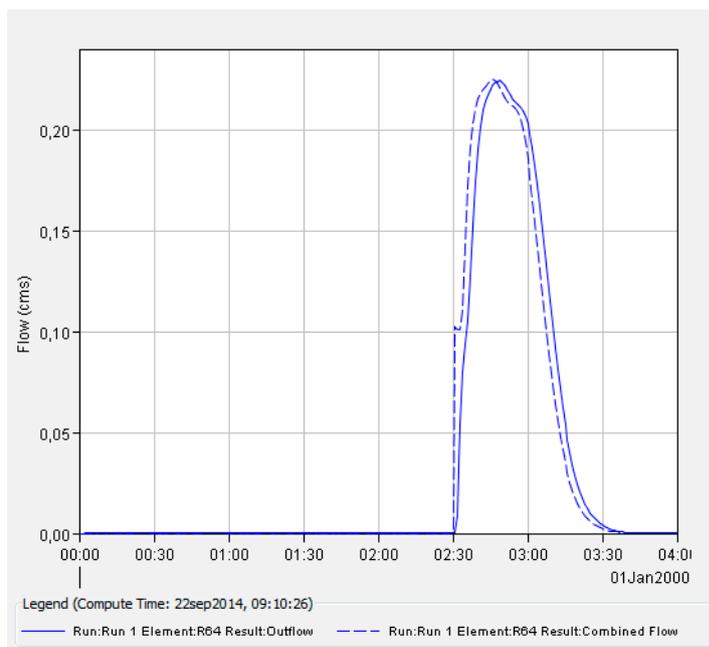


b)

Figura 167. Tramo 63. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

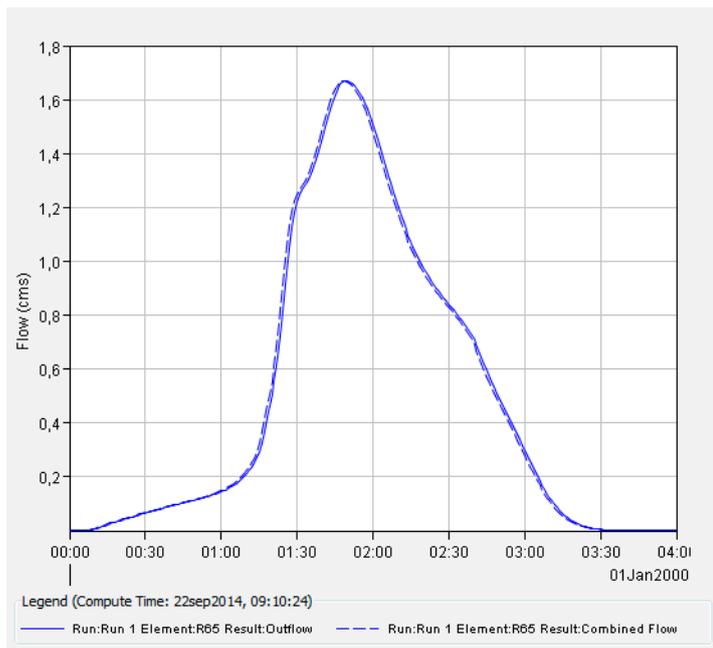


a)

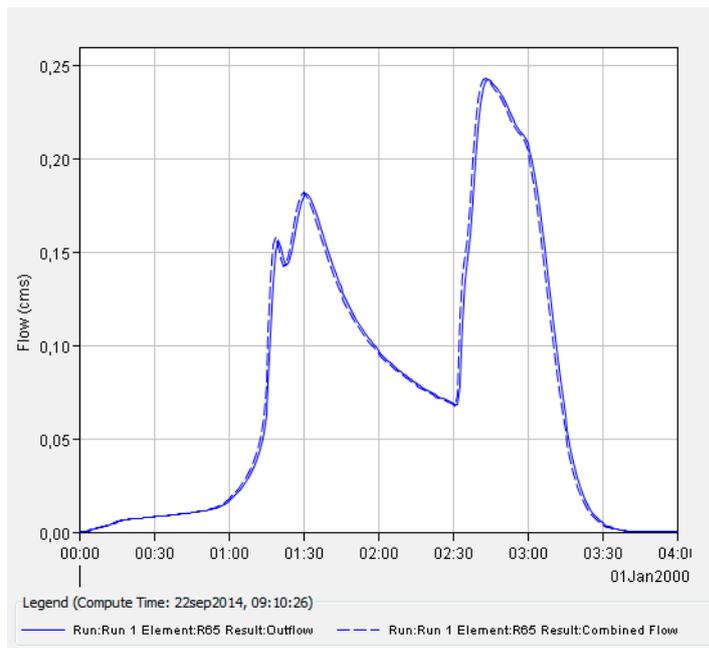


b)

Figura 168. Tramo 64. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

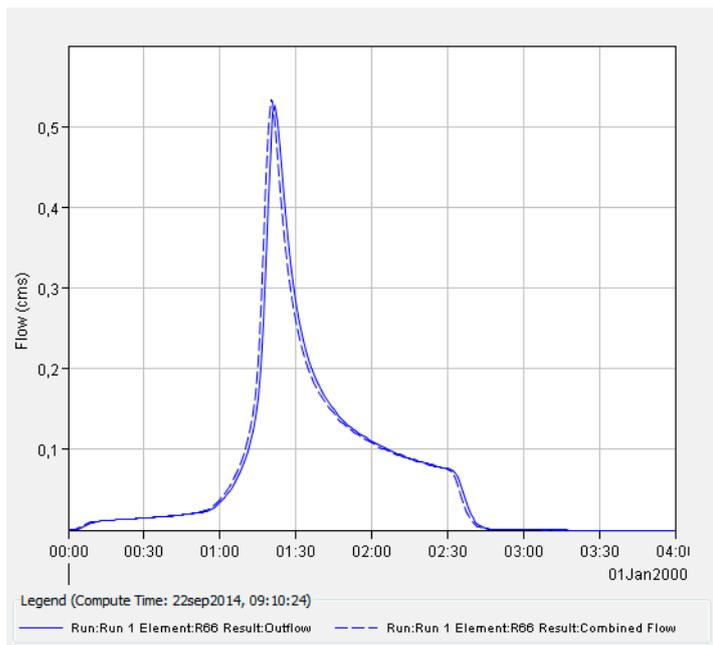


a)

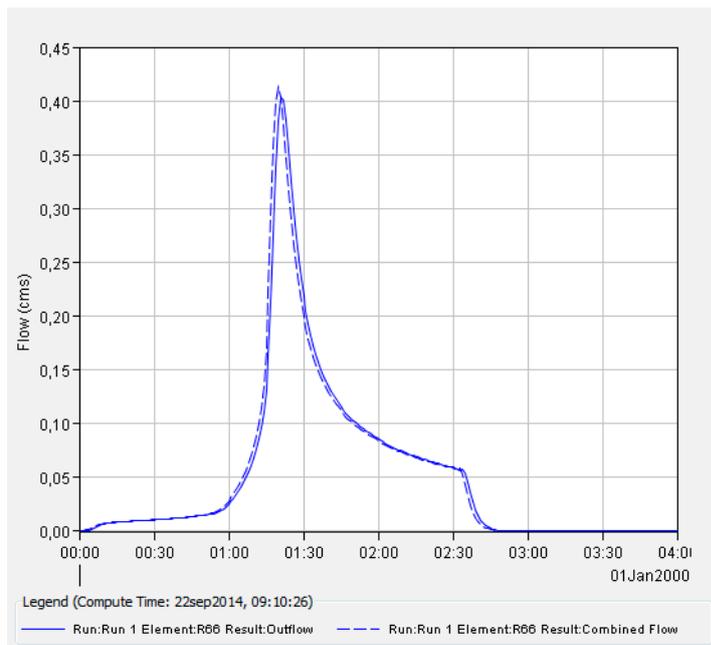


b)

Figura 169. Tramo 65. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial

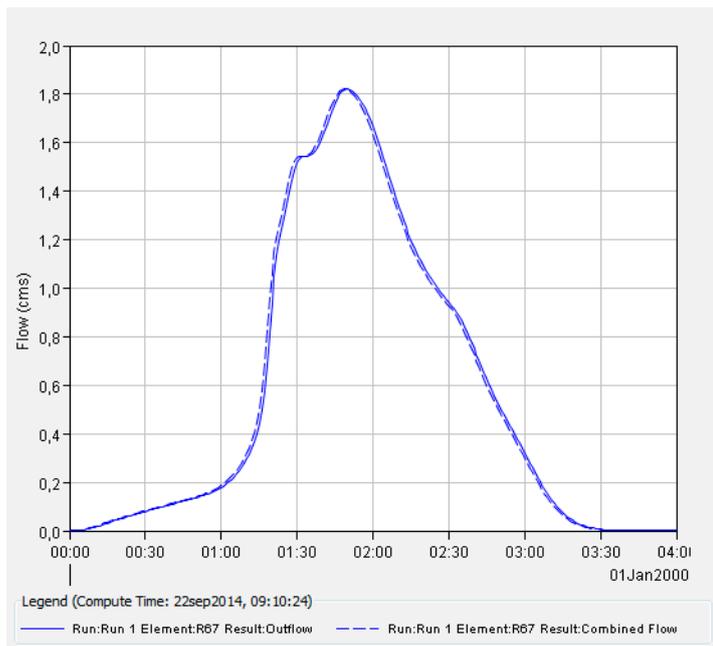


a)

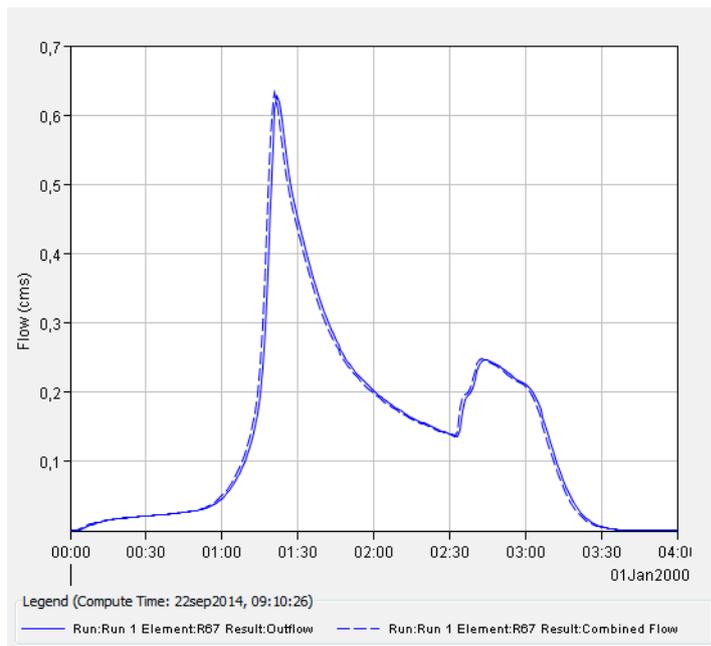


b)

Figura 170. Tramo 66. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial



a)



b)

Figura 171. Tramo 67. a) Sin drenaje superficial b) Con drenaje superficial