

# **ANEXOS:**

---

**CALIBRACIÓN DE MODELOS  
HIDROLÓGICOS-HIDRÁULICOS Y  
ANÁLISIS DE LA RESPUESTA  
HIDROLÓGICA FRENTE A POSIBLES  
ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO  
EN LA CUENCA DE ARNÁS**

## INDICE

ANEXO I: INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA .....	49
I.I QUÉ ES HIDROLOGÍA .....	49
I.II CICLO HIDROLÓGICO .....	49
I.II.I Precipitación: Lluvia .....	50
I.II.II Evaporación .....	51
I.II.III Infiltración .....	51
I.II.IV Escorrentía .....	52
ANEXO II: PRE-PROCESO DE DATOS .....	53
II.I Mapas .....	53
II.II Utilización de SAGA .....	54
ANEXO III: MÉTODOS UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN. ....	58
III.1 Estimaciones del número de curva .....	58
III.1.1. Condiciones antecedentes de humedad .....	58
III.1.2 Clasificación del tipo de suelo .....	59
III.II. Utilización de Guad1D .....	61
III.III Parámetros del modelo simplificado de onda difusiva .....	64
ANEXO IV: RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MÉTODO SCS .....	66
IV.I. Evento 13 Octubre 2005 .....	66
IV.II. Evento 15 Agosto 2006 .....	68
IV.III. Evento 23 Noviembre 2003 .....	70
IV.IV. Evento 23 Septiembre 2006 .....	72
ANEXO V: RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MÉTODO SIMPLIFICADO DE ONDA DIFUSIVA .....	74
ANEXO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO ...	77
VI.I. Número de curva 67 constante durante todos los años de estudio .....	78
VI.I.I Trayectoria seca: .....	78
VI.I.II Trayectoria corriente: .....	81
VI.I.III Trayectoria húmeda: .....	85
VI.II. Cambio del número de curva para los últimos 30 años por reforestación. ....	90
VI.II.I Trayectoria seca .....	91
VI.II.II Trayectoria corriente .....	93
VI.II.III Trayectoria húmeda .....	95

VI.III. Cambio del número de curva para los últimos 30 años por desertización. ....	99
VI.III.I Trayectoria seca .....	99
VI.III.II Trayectoria corriente .....	101
VI.III.III Trayectoria húmeda .....	103

## INDICE DE FIGURAS

Figura I. 1 Esquema del ciclo del agua. ....	50
Figura II. 1 Mapa de vegetación de la cuenca de Arnás.....	53
Figura II. 2 Mapa de tipo de suelo en la cuenca de Arnás. ....	53
Figura II. 3 Red de canales a partir de la cual divide la cuenca en una subcuenca.....	55
Figura II. 4 Secciones del cauce principal. ....	55
Figura II. 5 Red de canales a partir de la cual divide la cuenca en 3 subcuencas. ....	55
Figura II. 6 Cuenca de Arnás dividida en 3 subcuencas y secciones del cauce principal. ....	55
Figura II. 7 Red de canales a partir de la cual divide la cuenca en 5 subcuenca.....	56
Figura II. 8 Cuenca de Arnás dividida en 5 subcuencas y secciones del cauce principal. ....	56
Figura II. 10 Cuenca de Arnás dividida en 7 subcuencas y secciones del cauce principal. ....	57
Figura II. 9 Red de canales a partir de la cual divide la cuenca en 7 subcuencas. ....	57
Figura III. 1 Caudal de esorrentía (Direct runoff) en función de la precipitación (Rainfall) y el número de curva. ....	59
Figura III. 2 Números de curva para distintos tipos de suelo en condiciones normales de humedad. ....	60
Figura III. 3 Corte de la sección 13 del cauce principal de la cuenca de Arnás.....	61
Figura III. 4 Introducción de datos de la sección 13 en un archivo "xml".....	62
Figura III. 5 Introducción de datos de caudal en la sección 18 y 23 para la subcuenca 2 y 3 respectivamente en un archivo "xml".. ....	63
Figura III. 6 Resultado de caudal a la salida con Guad1D del evento 15 agosto 2006 para 3 subcuencas con número de curva 63.....	64
Figura IV. 1 Gráficas de precipitación y esorrentía medida y obtenida con el SCS para el evento del 13 de octubre de 2005 cuando la cuenca se trata como una sola (a), como 3 (b), como 5 (c) o como 7(d). ....	67
Figura IV. 2 Precipitación y esorrentía medidos y obtenidos con el SCS para el evento del 15 de agosto de 2006 cuando la cuenca se trata como una sola (a), como (b), como 5 (c) o como 7(d). ....	69
Figura IV. 3 Precipitación y esorrentía medidos y obtenidos con el SCS para el evento del 23 de noviembre de 2003 cuando la cuenca se trata como una sola (a), como (b), como 5 (c) o como 7(d). ....	71
Figura IV. 4 Precipitación y esorrentía medidos y obtenidos con el SCS para el evento del 23 de septiembre 2006 cuando la cuenca se trata como una sola (a), como (b), como 5 (c) o como 7(d). ....	73



Figura V. 1 Precipitación-Escorrentía (13 octubre 2005) .....	74
Figura V. 2 Precipitación-Escorrentía (15 agosto 2006).....	75
Figura V. 3 Precipitación-Escorrentía (23 noviembre 2003). ....	75
Figura V. 4 Precipitación-Escorrentía (23 septiembre 2006). ....	76
Figura VI. 1 Gráfica precipitación-esorrentía (2031-2035) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	78
Figura VI. 2 Gráfica precipitación-esorrentía (2035-2038) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	78
Figura VI. 3 Gráfica precipitación-esorrentía (2039-2042) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	78
Figura VI. 4 Gráfica precipitación-esorrentía (2043-2046) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	78
Figura VI. 5 Gráfica precipitación-esorrentía (2047-2050) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	79
Figura VI. 6 Gráfica precipitación-esorrentía (2051-2055) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	79
Figura VI. 7 Gráfica precipitación-esorrentía (2056-2060) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	79
Figura VI. 8 Gráfica precipitación-esorrentía (2071-2074) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	79
Figura VI. 9 Gráfica precipitación-esorrentía (2075-2078) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	80
Figura VI. 10 Gráfica precipitación-esorrentía (2079-2082) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	80
Figura VI. 11 Gráfica precipitación-esorrentía (2083-2086) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	80
Figura VI. 12 Gráfica precipitación-esorrentía (2087-2090) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	80
Figura VI. 13 Gráfica precipitación-esorrentía (2091-2095) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	81
Figura VI. 14 Gráfica precipitación-esorrentía (2096-2100) para Número de curva 67 en trayectoria seca. ....	81
Figura VI. 15 Gráfica precipitación-esorrentía (2031-2035) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	81
Figura VI. 16 Gráfica precipitación-esorrentía (2035-2038) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	81
Figura VI. 17 Gráfica precipitación-esorrentía (2039-2042) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	82
Figura VI. 18 Gráfica precipitación-esorrentía (2043-2046) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	82

Figura VI. 19 Gráfica precipitación-escorrentía (2047-2050) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	82
Figura VI. 20 Gráfica precipitación-escorrentía (2051-2055) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	82
Figura VI. 21 Gráfica precipitación-escorrentía (2056-2060) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	83
Figura VI. 22 Gráfica precipitación-escorrentía (2071-2074) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	83
Figura VI. 23 Gráfica precipitación-escorrentía (2075-2078) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	83
Figura VI. 24 Gráfica precipitación-escorrentía (2079-2082) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	83
Figura VI. 25 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	84
Figura VI. 26 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	84
Figura VI. 27 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	84
Figura VI. 28 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 67 en trayectoria corriente .....	84
Figura VI. 29 Gráfica precipitación-escorrentía (2031-2035) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	85
Figura VI. 30 Gráfica precipitación-escorrentía (2035-2038) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	85
Figura VI. 31 Gráfica precipitación-escorrentía (2039-2042) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	85
Figura VI. 32 Gráfica precipitación-escorrentía (2043-2046) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	85
Figura VI. 33 Gráfica precipitación-escorrentía (2047-2050) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	86
Figura VI. 34 Gráfica precipitación-escorrentía (2051-2055) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	86
Figura VI. 35 Gráfica precipitación-escorrentía (2056-2060) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	86
Figura VI. 36 Gráfica precipitación-escorrentía (2071-2075) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	86
Figura VI. 37 Gráfica precipitación-escorrentía (2075-2078) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	87
Figura VI. 38 Gráfica precipitación-escorrentía (2079-2082) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	87

Figura VI. 39 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	87
Figura VI. 40 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	87
Figura VI. 41 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	88
Figura VI. 42 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda.....	88
Figura VI. 43 Gráfica precipitación-escorrentía (2071-2074) para Número de curva 46 en trayectoria seca .....	91
Figura VI. 44 Gráfica precipitación-escorrentía (2075-2078) para Número de curva 46 en trayectoria seca .....	91
Figura VI. 45 Gráfica precipitación-escorrentía (2079-2082) para Número de curva 46 en trayectoria seca .....	91
Figura VI. 46 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 46 en trayectoria seca .....	92
Figura VI. 47 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 46 en trayectoria seca .....	92
Figura VI. 48 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 46 en trayectoria seca .....	92
Figura VI. 49 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 46 en trayectoria seca .....	92
Figura VI. 50 Gráfica precipitación-escorrentía (2071-2074) para Número de curva 46 en trayectoria corriente .....	93
Figura VI. 51 Gráfica precipitación-escorrentía (2075-2078) para Número de curva 46 en trayectoria corriente .....	93
Figura VI. 52 Gráfica precipitación-escorrentía (2079-2082) para Número de curva 46 en trayectoria corriente .....	93
Figura VI. 53 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 46 en trayectoria corriente .....	94
Figura VI. 54 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 46 en trayectoria corriente .....	94
Figura VI. 55 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 46 en trayectoria corriente .....	94
Figura VI. 56 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 46 en trayectoria corriente .....	94
Figura VI. 57 Gráfica precipitación-escorrentía (2071-2074) para Número de curva 46 en trayectoria húmeda.....	95
Figura VI. 58 Gráfica precipitación-escorrentía (2075-2078) para Número de curva 46 en trayectoria húmeda.....	95

Figura VI. 59 Gráfica precipitación-escorrentía (2079-2082) para Número de curva 46 en trayectoria húmeda.....	95
Figura VI. 60 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 46 en trayectoria húmeda.....	96
Figura VI. 61 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 46 en trayectoria húmeda.....	96
Figura VI. 62 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 46 en trayectoria húmeda.....	96
Figura VI. 63 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 46 en trayectoria húmeda.....	96
Figura VI. 64 Gráfica precipitación-escorrentía (2071-2074) para Número de curva 72 en trayectoria seca .....	99
Figura VI. 65 Gráfica precipitación-escorrentía (2075-2078) para Número de curva 72 en trayectoria seca .....	99
Figura VI. 66 Gráfica precipitación-escorrentía (2079-2082) para Número de curva 72 en trayectoria seca .....	99
Figura VI. 67 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 72 en trayectoria seca .....	100
Figura VI. 68 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 72 en trayectoria seca .....	100
Figura VI. 69 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 72 en trayectoria seca .....	100
Figura VI. 70 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 72 en trayectoria seca .....	100
Figura VI. 71 Gráfica precipitación-escorrentía (2071-2074) para Número de curva 72 en trayectoria corriente .....	101
Figura VI. 72 Gráfica precipitación-escorrentía (2075-2078) para Número de curva 72 en trayectoria corriente .....	101
Figura VI. 73 Gráfica precipitación-escorrentía (2079-2082) para Número de curva 72 en trayectoria corriente .....	101
Figura VI. 74 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 72 en trayectoria corriente .....	102
Figura VI. 75 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 72 en trayectoria corriente .....	102
Figura VI. 76 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 72 en trayectoria corriente .....	102
Figura VI. 77 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 72 en trayectoria corriente .....	102
Figura VI. 78 Gráfica precipitación-escorrentía (2071-2074) para Número de curva 72 en trayectoria húmeda.....	103

Figura VI. 79 Gráfica precipitación-escorrentía (2075-2078) para Número de curva 72 en trayectoria húmeda.....	103
Figura VI. 80 Gráfica precipitación-escorrentía (2079-2082) para Número de curva 72 en trayectoria húmeda.....	103
Figura VI. 81 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 72 en trayectoria húmeda.....	104
Figura VI. 82 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 72 en trayectoria húmeda.....	104
Figura VI. 83 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 72 en trayectoria húmeda.....	104
Figura VI. 84 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 72 en trayectoria húmeda.....	104

## INDICE DE TABLAS

Tabla II. 1 Correspondencia entre coordenadas X,Y y coordenadas según el cauce principal. .....	54
Tabla VI. 1 Máximos de precipitación y esorrentía para número de curva de 2030 a 2100 de 67. ....	89
Tabla VI. 2 División en eventos según los avances producidos desde 2030 a 2100 con número de curva de 67. ....	90
Tabla VI. 3 Máximos de precipitación y esorrentía para número de curva de 2030 a 2060 de 67 y de 2070 a 2100 de 46. ....	97
Tabla VI. 4 División en eventos según los avances producidos desde 2030 a 2060 con número de curva de 67 y de 2070 a 2100 con número de curva de 46. ....	98
Tabla VI. 5 División en eventos según los avances producidos desde 2030 a 2060 con número de curva de 67 y de 2070 a 2100 con número de curva de 72. ....	105
Tabla VI. 6 División en eventos según los avances producidos desde 2030 a 2060 con número de curva de 67 y de 2070 a 2100 con número de curva de 72. ....	106

## **ANEXO I: INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA**

### **I.I QUÉ ES HIDROLOGÍA**

El agua es la sustancia más abundante en la Tierra. Es un factor clave en la climatización de nuestro planeta para la existencia humana. El agua está sometida constantemente cambiando en la superficie terrestre. [Chow et al. 1994]

La hidrología es la ciencia que cubre todas las fases del agua en La Tierra. Según Mays, 2001, el Consejo de Investigación Nacional estadounidense define hidrología como la ciencia que trata el agua de La Tierra, lo que ocurre con ella, su circulación y distribución, sus propiedades químicas y físicas, y su reacción con el medio ambiente y con los seres vivos. Así, la hidrología es el movimiento, distribución y calidad del agua en todas las zonas de la Tierra y se dedica tanto al ciclo hidrológico como a los recursos de agua [<http://www.ciclohidrologico.com/>].

Por parte de la Ingeniería Hidrológica, se cuantifican principalmente las cantidades de agua en función del tiempo en la zona que se quiere estudiar. No es más que una aplicación de los conocimientos de hidrología para resolver problemas ingenieriles [Mays, 2001].

### **I.II CICLO HIDROLÓGICO**

El agua circula en la hidrosfera siguiendo unos caminos que constituyen el ciclo hidrológico. El ciclo hidrológico es el principio fundamental de la hidrología. Los procesos ocurren de manera continua. En primer lugar el agua se evapora de los océanos, mares y superficie terrestre. Este vapor de agua pasa a formar parte de la atmósfera, donde se transporta hasta que se condensa y precipita. Una parte de la precipitación terrestre es interceptada por la vegetación. Otra parte se infiltra en el suelo, y una última parte queda como flujo superficial y subsuperficial y como escorrentía superficial (descarga en ríos). La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía vuelve a la atmósfera por evaporación. El agua infiltrada puede percolar profundamente hasta formar parte del agua subterránea. Este agua subterránea emerge en manantiales o se desliza hacia los ríos para formar parte de la escorrentía superficial, para finalmente fluir hacia el mar o evaporarse en la atmósfera.

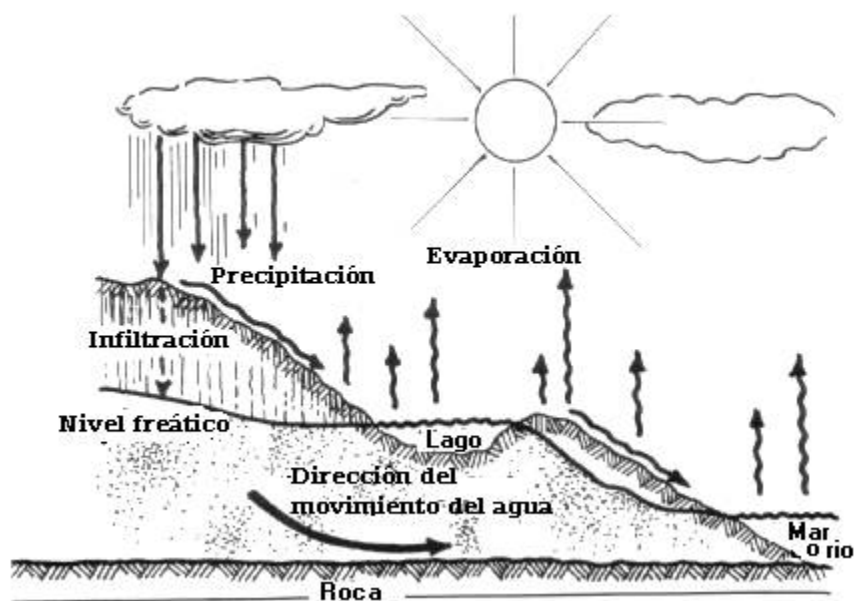


Figura I. 1 Esquema del ciclo del agua.

De todo el agua que hay en la tierra, un 96.5% corresponde al agua oceánica, el 1.7% a hielos polares, otro 1.7% corresponde a manantiales y un 0.1% son sistemas de agua superficial y atmosférica. La evaporación desde la superficie terrestre consume un 61 % de la precipitación, y el 39% restante conforma la escorrentía hacia los océanos. El 90% de la humedad atmosférica corresponde a la evaporación desde océanos. Aunque el volumen total de agua en el ciclo hidrológico permanece constante, su distribución está cambiando continuamente en continentes, regiones y cuencas locales de drenaje.

La hidrología de una región queda determinada por la topografía, la geología y la vegetación. También está determinada por otros factores como por ejemplo, el incremento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera debido a que las acciones humanas intervienen gradualmente en el medio ambiente, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico.

### I.II.I Precipitación: Lluvia

La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra [<http://www.ciclohidrologico.com/>]. Incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nieve. La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera. Cuando la masa de agua (en forma de vapor de agua) se enfría, parte de su humedad se condensa y cae en forma de precipitación.

La formación de precipitación en las nubes se denomina condensación, que tiene lugar en la atmósfera. A medida que el aire sube y se enfría, el agua se condensa, y pasa de un estado de vapor a un estado líquido. Si la temperatura se encuentra por debajo del punto de congelamiento, se forman cristales de hielo. Se requiere para este proceso un *núcleo de condensación* a partir del cual las moléculas del agua se pueden unir o nuclear. Algunas partículas de polvo que flotan en el aire pueden actuar como núcleos de condensación. Son



partículas que contienen iones que atraen por electrostática las partículas de agua enlazadas polarmente. Estos iones pueden ser partículas de sal debido a la condensación marina, o compuestos de sulfuro y nitrógeno resultantes de procesos de combustión. Las gotas de agua crecen mediante condensación o impacto con otras hasta que alcanzan un tamaño lo suficientemente grande para que la fuerza de gravedad actúe y empiecen a caer.

La lluvia presenta una gran variación en el espacio y en el tiempo. Las medidas de lluvia, se realizan por medio de pluviómetros que se distribuyen uniformemente sobre un área. El pluviómetro registra información de intensidad de lluvia para incrementos sucesivos de tiempo. Un hietograma representa la lluvia acumulada o la lluvia incremental con respecto a intervalos de tiempo [Chow et al. 1994].

### **I.II.II Evaporación**

Evaporación es el proceso mediante el cual el agua cambia de un estado líquido a un estado vapor. Este proceso se produce a partir de masas de agua, de suelos saturados o de superficies no saturadas. La evaporación puede distinguirse por la desaparición de agua cuando se expone a una masa grande de gas. Sobre la superficie del agua donde se evapora parte hacia la atmósfera ocurren numerosos procesos. Encima de la superficie del agua se encuentra el aire, un gas constituido principalmente por nitrógeno y oxígeno, vapor de agua, dióxido de carbono, argón y otras sustancias. Sobre las moléculas de agua se encuentran otras moléculas de agua en forma de vapor, que conviven con moléculas de oxígeno y nitrógeno. De esta manera, molécula a molécula el agua se evapora [Mays, 2001].

### **I.II.III Infiltración**

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la Tierra penetra en el suelo. La infiltración está gobernada por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar. Los factores que influyen en la tasa de infiltración son: la condición de la superficie del suelo, la cubierta vegetal, la porosidad y conductividad hidráulica, y el contenido de humedad del suelo. Existe una gran variabilidad espacial y temporal de las propiedades del suelo que ocurren a medida que cambia el contenido de humedad de éste [Chow et al.,1994]. Por ejemplo, los suelos arenosos de grano grueso tienen espacios grandes entre cada grano y permiten que el agua se infiltre rápidamente. La vegetación crea más suelos porosos, protegiendo el suelo del estancamiento de la precipitación, que puede cerrar los huecos naturales entre las partículas del suelo, y soltando el suelo a través de la acción de las raíces. A esto se debe que las áreas arboladas tengan las tasas de infiltración más altas de todos los tipos de vegetación. Otros eventos que pueden bajar las tasas de infiltración o bloquearla son los restos de plantas secas que son resistentes al remojo, o las heladas. Si el suelo está saturado en un período glacial intenso, puede convertirse en un cemento congelado en el cual no se produce casi ninguna infiltración. Sobre una línea divisoria de aguas probablemente habrá huecos en el cemento helado o el suelo hidrofóbico por donde el agua puede infiltrarse [<http://www.ciclohidrologico.com/>]. Así pues, la infiltración es un proceso complejo, que puede describirse mediante ecuaciones de forma aproximada.

Existen cuatro zonas de humedad dentro del perfil de suelo: zona saturada, zona de transmisión de flujo (no saturada y contenido de humedad uniforme), una zona de mojado, en la cual la humedad decrece con la profundidad, y un frente de mojado.

La tasa de infiltración ( $f$ ) es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación. Se mide en pulgadas por hora o milímetros por hora. Las disminuciones de tasa hacen que el suelo se sature. Si la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración, se producirá escorrentía a menos que haya alguna barrera física. La infiltración de agua acumulada ( $F$ ) es la profundidad acumulada de agua infiltrada dentro de un periodo dado y es igual a la integral de la tasa de infiltración en ese periodo [Chow et al., 1994]:

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt$$

Hay varias formas de estimar la tasa de infiltración del agua en el suelo. Algunos métodos son el método de Green-Ampt, el método de SCS, el método de Horton, y la ley de Darcy.

#### **I.II.IV Escorrentía**

Ante una tormenta, una porción grande de agua contribuye al almacenamiento superficial, y a medida que el agua se infiltra en el suelo, también hay almacenamiento de humedad del suelo. Existen dos tipos de almacenamiento: por retención y por detención. El almacenamiento por retención es aquel que se sostiene por un largo periodo y después se agota por evaporación. La detención es un almacenamiento a corto plazo que se agota por medio de flujo hacia fuera del lugar de almacenamiento: flujo no saturado a través del suelo no saturado de la superficie terrestre, flujo de aguas subterráneas (acuíferos cercanos a la superficie terrestre) y escorrentía superficial a través de la superficie terrestre. El flujo en canales es la forma principal de flujo de agua superficial. La precipitación que se convierte en caudal puede llegar al canal mediante la escorrentía superficial, el flujo subsuperficial o ambos [Chow et al., 1994].

La escorrentía superficial describe el flujo de agua en la Tierra, y es un factor fundamental en el ciclo hidrológico. Al área de tierra que produce el drenaje de la escorrentía a un punto común se la conoce como línea divisoria de aguas. No toda la precipitación se convierte en escorrentía superficial. Como se ha dicho en el apartado anterior, la tasa de infiltración es un factor determinante en cuanto al nivel de escorrentía que se puede alcanzar. Cuando el suelo está saturado y la cuenca de almacenamiento llena, la precipitación producirá inmediatamente una escorrentía superficial. La condición de humedad del suelo es un factor que afecta al tiempo que pasará hasta que el suelo se sature. Esta escorrentía se conoce también como flujo terrestre saturado.

## ANEXO II: PRE-PROCESO DE DATOS

### II.I Mapas

A continuación se muestran el mapa de vegetación y de tipo de suelo de la cuenca de Arnás a partir de los cuales se ha buscado de forma orientativa el número de curva idóneo para utilizarlo con el método del número de curva. También se dispone del mapa de elevaciones y el de secciones transversales como se ha detallado en la memoria.

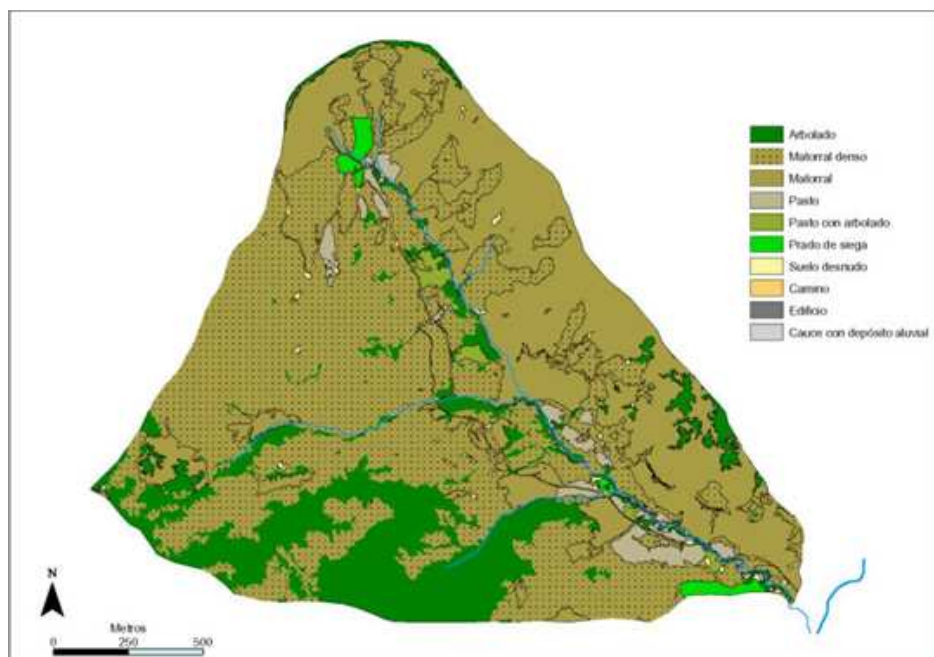


Figura II. 1 Mapa de vegetación de la cuenca de Arnás.

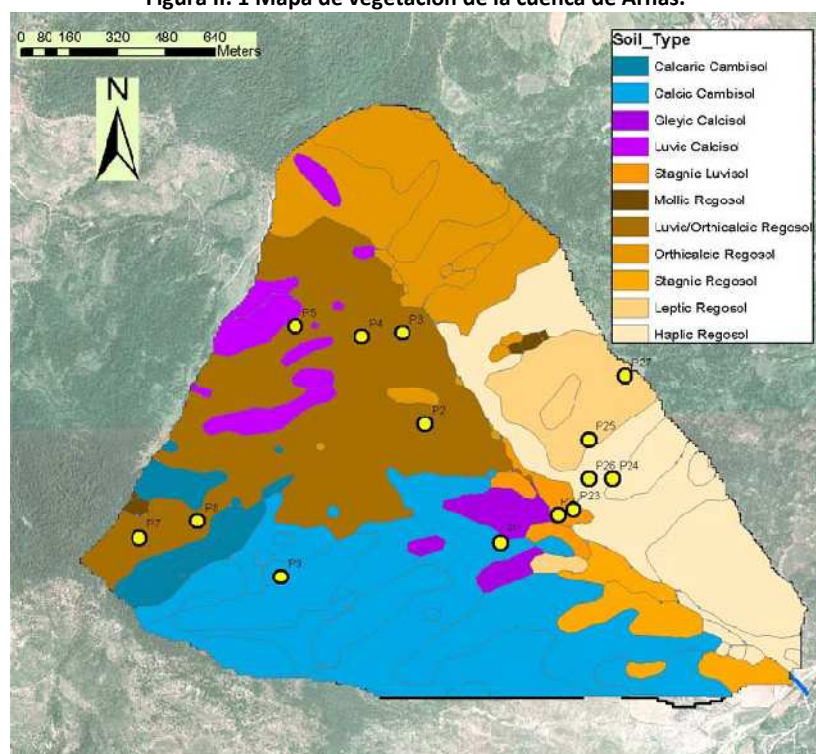


Figura II. 2 Mapa de tipo de suelo en la cuenca de Arnás.

## II.II Utilización de SAGA

Con el objetivo de realizar la simulación numérica de eventos de precipitación-escorrentía con el método del número de curva junto al programa Guad1D, se ha procedido a evaluar ciertos parámetros necesarios con el programa SAGA. A continuación se detalla en una tabla el número de secciones en los que se divide el cauce a estudio de la cuenca de Arnás, con sus correspondientes coordenadas (x,y) geo-referenciadas, la distancia entre la sección y la siguiente, la distancia de cada una de estas secciones respecto a la primera y el número de sección que se le asigna en el programa Guad1D para proceder al cálculo.

Número de sección (z)	X	Y	Distancia entre puntos	Distancia con respecto al primer punto	Sección correspondiente en Guad1D
1	696712.603	4725091.81		0	1
2	696714.285	4725088.54	3.67900911	3.67900911	2
3	696721.109	4725080.23	10.7559087	14.4349178	3
4	696731.012	4725071.78	13.0161906	27.4511084	4
5	696759.954	4725048.59	37.0847183	64.5358267	5
6	696787.048	4725022.09	37.8997076	102.435534	6
7	696796.071	4725001.15	22.8049483	125.240483	7
8	696808.65	4724962.65	40.4971515	165.737634	8
9	696873.323	4724870.48	112.597026	278.33466	9
10	696888.616	4724859.93	18.5772726	296.911932	10
11	696940.15	4724742.39	128.341887	425.253819	11
12	696946.203	4724728.81	14.8688389	440.122658	12
13	696960.349	4724709.72	23.7624065	463.885064	13
18	696986.2	4724660.11	55.9412755	519.82634	14
19	696998.591	4724642.17	21.8015762	541.627916	15
20	697071.645	4724533.7	130.775357	672.403273	16
21	697135.434	4724423.57	127.273463	799.676736	17
28	697241.296	4724295.09	166.472528	966.149264	18
29	697256.292	4724266.1	32.6433767	998.792641	19
30	697346.481	4724133.99	159.958055	1158.7507	20
31	697425.648	4724082.94	94.19826	1252.94896	21
37	697541.458	4724003.33	140.533655	1393.48261	22
38	697591.547	4723961.94	64.975316	1458.45793	23
39	697716.426	4723896.82	140.841367	1599.29929	24
40	697897.693	4723800.89	205.084185	1804.38348	25
41	697988.197	4723744.97	106.388814	1910.77229	26
42	698018.145	4723708.48	47.2059615	1957.97825	27

Tabla II. 1 Correspondencia entre coordenadas X,Y y coordenadas según el cauce principal.

El índice Z indica el número de sección real, mientras que en la última columna de la tabla se puede ver el número de sección al que corresponde en el archivo “xml” de entrada al programa Guad1D. En este caso se tienen en cuenta únicamente las secciones del cauce principal.

Las figuras que aparecen de aquí en adelante, en las que aparecen las secciones, sirven para ver en que sección va a verter cada subcuenca, lo que se va a utilizar en el programa Guad1D. Los mapas de red de canales nos van a dar el número de subcuencas en que conviene dividir la cuenca de Arnás.

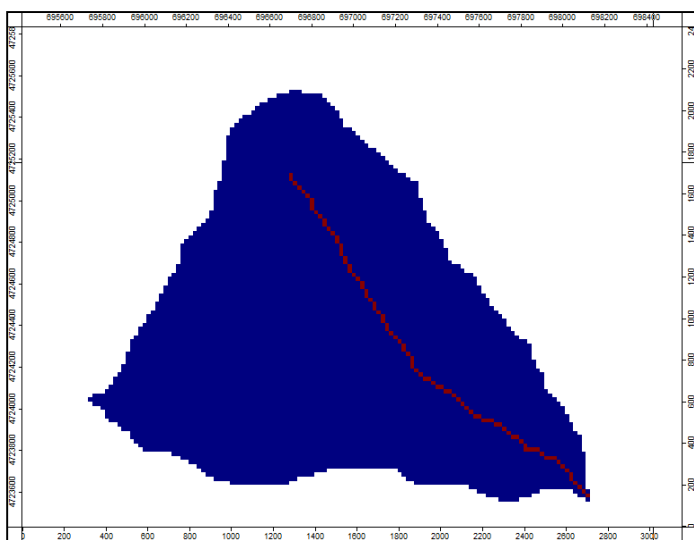


Figura II. 4 Red de canales a partir de la cual divide la cuenca en una subcuenca.

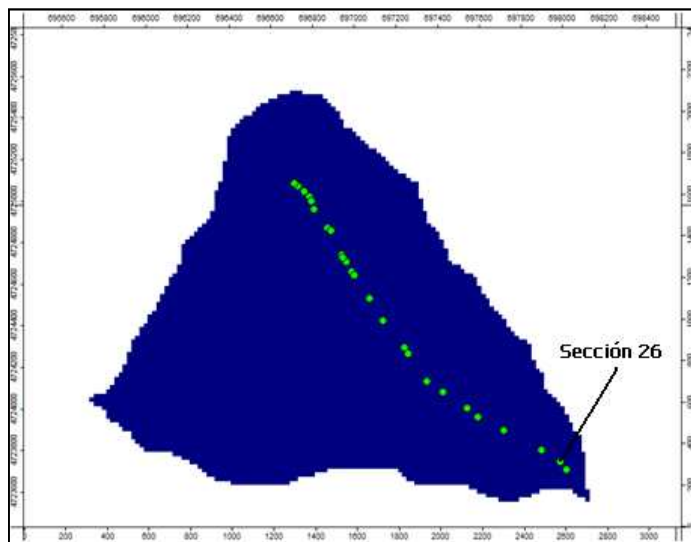


Figura II. 3 Secciones del cauce principal.

En el caso de una sola cuenca, la sección en la que vierte toda ella es en la última. Para evitar errores en las condiciones de contorno, en lugar de elegir la última sección, elegimos la sección 26, ya que están muy cerca, y la cuenca podría verter indistintamente en cualquiera de las dos.

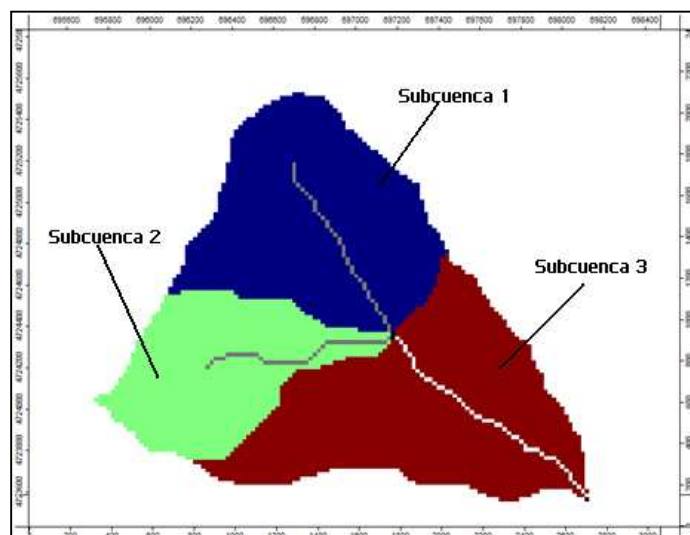


Figura II. 5 Red de canales a partir de la cual divide la cuenca en 3 subcuencas.

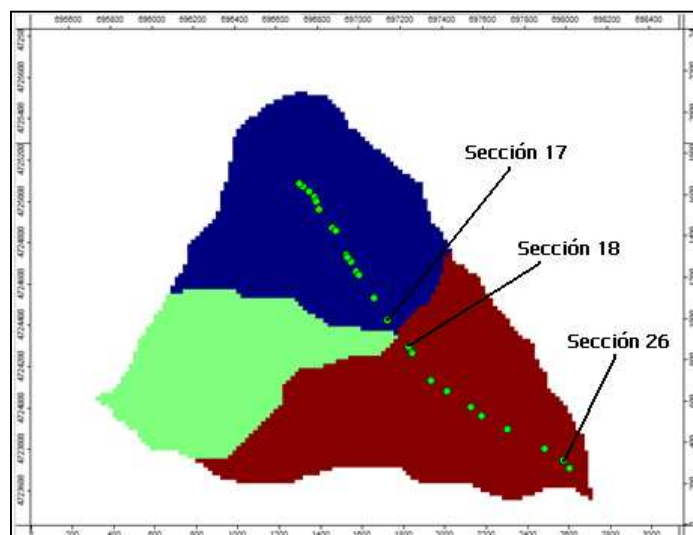


Figura II. 6 Cuenca de Arnás dividida en 3 subcuencas y secciones del cauce principal.

En caso de dividir la cuenca en 3 subcuencas, cada una de ellas va a verter en una sección diferente, supuestamente en la sección que esté más cercana a la subcuenca, y represente el último punto de ella. Según la tabla anterior de convalidación entre posición en Saga y sección en coordenadas (X,Y), las subcuencas citadas verterán en las secciones siguientes:

Subcuenca1	→	Z=20	→	Sección 17
Subcuenca2	→	Z=21	→	Sección 18
Subcuenca3	→	Z=30	→	Sección 26

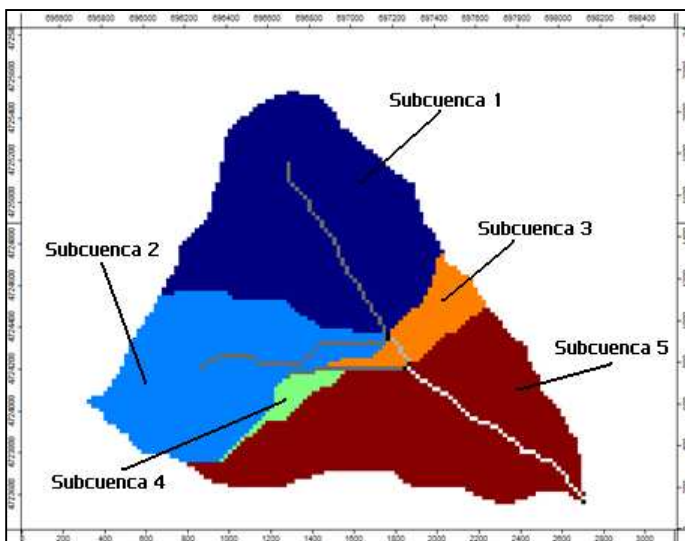


Figura II. 7 Red de canales a partir de la cual divide la cuenca en 5 subcuencas.

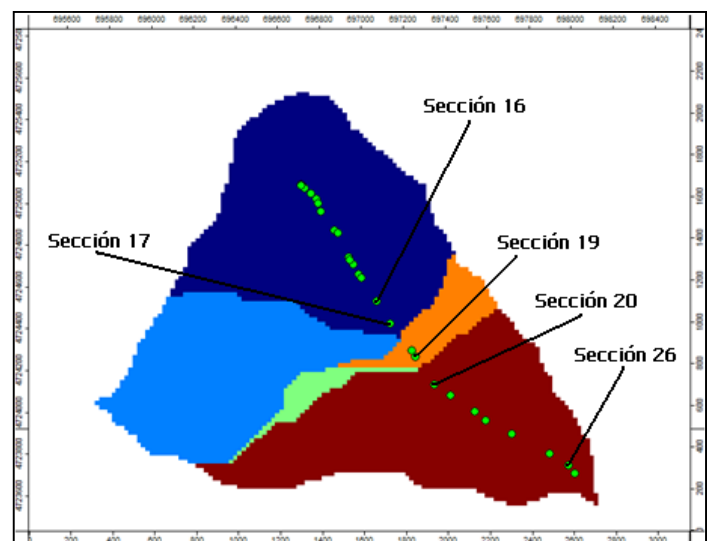


Figura II. 8 Cuenca de Arnás dividida en 5 subcuencas y secciones del cauce principal.

Cuando la cuenca se divide en 5 subcuencas las secciones en que vierten son las siguientes:

Subcuenca1	→	Z=20	→	Sección 16
Subcuenca2	→	Z=21	→	Sección 17
Subcuenca3	→	Z=29	→	Sección 19
Subcuenca4	→	Z=30	→	Sección 20
Subcuenca5	→	Z=41	→	Sección 26

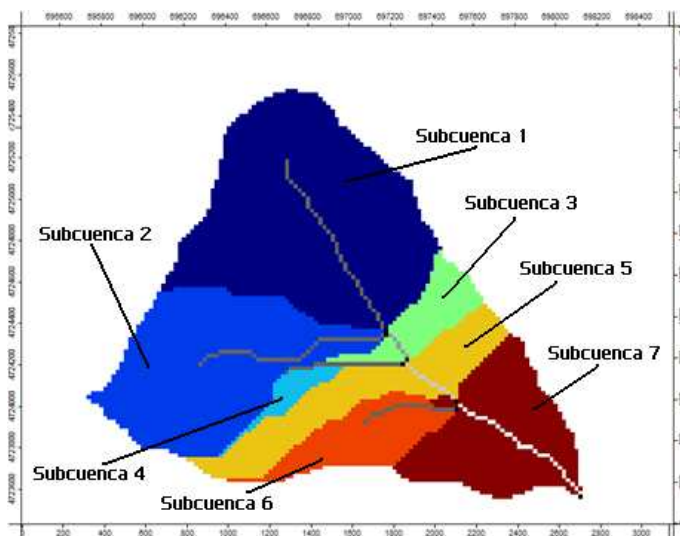


Figura II. 10 Red de canales a partir de la cual divide la cuenca en 7 subcuencas.

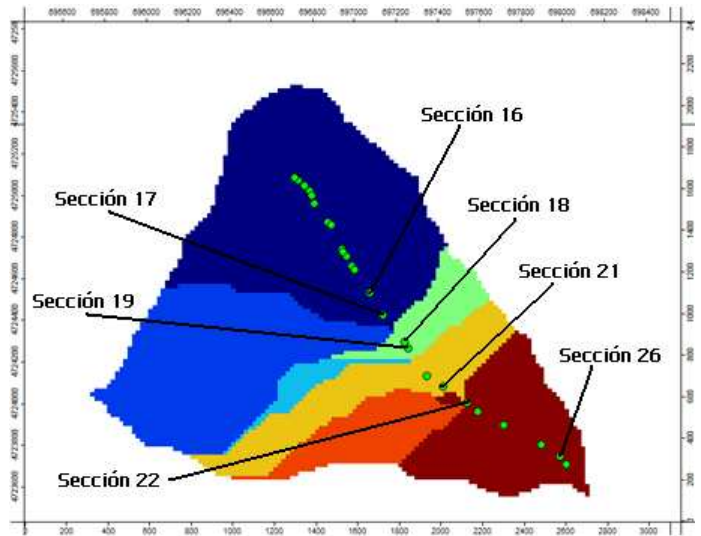


Figura II. 9 Cuenca de Arnás dividida en 7 subcuencas y secciones del cauce principal.

Por último se va a dividir la cuenca en 7 subcuencas, cada una de las cuales verterá en las siguientes secciones:

Subcuenca1	→	Z=20	→	Sección 16
Subcuenca2	→	Z=21	→	Sección 17
Subcuenca3	→	Z=28	→	Sección 18
Subcuenca4	→	Z=29	→	Sección 19
Subcuenca5	→	Z=31	→	Sección 21
Subcuenca6	→	Z=37	→	Sección 22
Subcuenca7	→	Z=41	→	Sección 26



### **ANEXO III: MÉTODOS UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN.**

Se define cuenca como el área de terreno que drena hacia una corriente en un lugar determinado. Ante una tormenta una porción grande de agua contribuye al almacenamiento superficial, y a medida que el agua se infiltra en el suelo, también hay almacenamiento de humedad del suelo. Existen dos tipos de almacenamiento: por retención y por detención. El almacenamiento por retención es aquel que se sostiene por un largo periodo y después se agota por evaporación. La detención es un almacenamiento a corto plazo que se agota por medio de flujo hacia fuera del lugar de almacenamiento: flujo no saturado a través del suelo no saturado de la superficie terrestre, flujo de aguas subterráneas (acuíferos cercanos a la superficie terrestre) y escorrentía superficial a través de la superficie terrestre. El flujo en canales es la forma principal de flujo de agua superficial. La precipitación que se convierte en caudal puede llegar al canal mediante la escorrentía superficial, el flujo subsuperficial o ambos [Chow et al., 1994].

Para realizar el análisis de flujo superficial existen algunos modelos, entre los cuales dos, han sido descritos en la memoria de este proyecto. A continuación se da información complementaria en la utilización de dichos modelos.

#### **III.I Estimaciones del número de curva**

El procedimiento más generalizado y fácil de adaptar a cualquier región es el método del número de curva (NC) desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos (1972). Este método se basa en la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso del mismo y de su cubierta vegetal. A partir de la representación de la precipitación (P) y precipitación efectiva (Pe) se obtuvo una familia de curvas que fueron estandarizadas para definir un número adimensional de curvas NC, que varía de 1 a 100 según sea el grado de escurrimiento directo [Gaspari et al. 2007].

##### **III.I.I. Condiciones antecedentes de humedad**

Los números de curva que se muestran en la figura III.1 se aplican para condiciones antecedentes de humedad normales (AMC II). Representan la relación empírica entre la precipitación (representada en el eje de abscisas) y la escorrentía generada por esa precipitación (representada en el eje de ordenadas).

Como se ha dicho en la memoria un valor del número de curva de 1 corresponde a una capacidad de retención máxima en la cuenca, mientras que un número de curva de 100 significa una capacidad de retención nula, siendo entre 40 y 80 los valores más frecuentes en que está comprendido el número de curva.



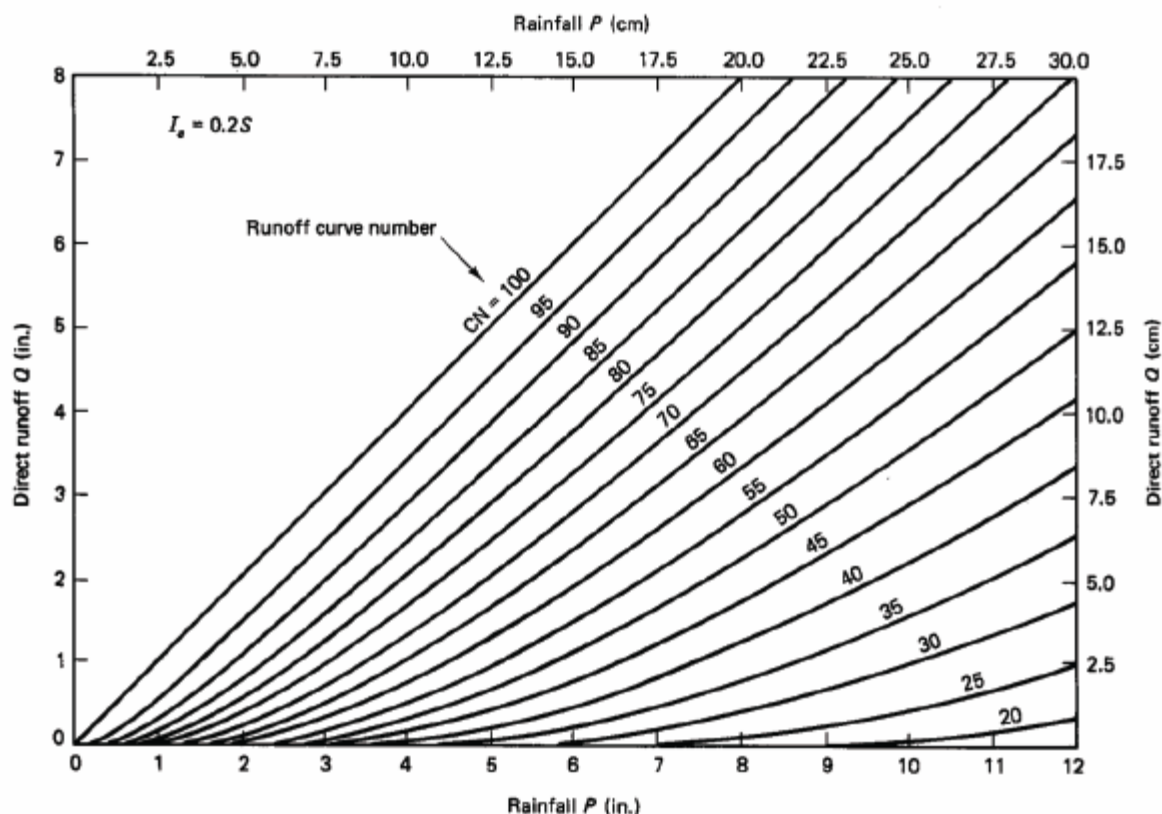


Figura III. 1 Caudal de escorrentía (Direct runoff) en función de la precipitación (Rainfall) y el número de curva.

También se ha dejado claro en la memoria que las condiciones antecedentes de humedad se pueden clasificar como secas, normales y húmedas.

### III.I.II Clasificación del tipo de suelo

Los números de curva han sido tabulados por el Servicio de Conservación de Suelos en base al tipo y uso de suelo. En función del tipo de suelo se definen cuatro grupos:

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento y limos agregados.

Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento y margas arenosa.

Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Los valores de CN para varios tipos de usos de suelos se pueden encontrar en la bibliografía [Mays, 2001; Chow et al., 2004] y se muestran en la tabla siguiente. Para una cuenca hecha de varios tipos y usos de suelos se puede calcular un CN compuesto mediante el promedio ponderado.

Descripción del uso de la tierra	Detalles de la descripción	Tratamiento o uso	Condición hidrológica	Grupo hidrológico de suelo			
				A	B	C	D
Tierra cultivada	baldío	filas rectas	no aplicable	77	86	91	94
	general	sin tratamientos de conservación	no disponible	72	81	88	91
	cultivos en filas	filas rectas	pobre	72	81	88	91
			bueno	67	78	85	89
		en contorno	pobre	70	79	84	88
			bueno	65	75	82	86
		en contorno y terraza	pobre	66	74	80	82
			bueno	62	71	78	81
	general	con tratamientos de conservación	no disponible	62	71	78	81
	granos pequeños	filas rectas	pobre	65	76	84	88
			bueno	63	75	83	87
		en contorno	pobre	63	74	82	85
			bueno	61	73	81	84
		en contorno y terraza	pobre	61	72	79	82
			bueno	59	70	78	81
	grano cerrado	filas rectas	pobre	66	77	85	89
	grano cerrado: legumbres o pradera de rotación	filas rectas	bueno	58	72	81	85
		en contorno	pobre	64	75	83	85
			bueno	55	69	78	83
		en contorno y terraza	pobre	63	73	80	83
			bueno	51	67	76	80
Pastizales o campo de animales			pobre	68	79	86	89
			aceptable	49	69	79	84
			bueno	39	61	74	80
		en contorno	pobre	47	67	81	88
			aceptable	25	59	75	83
			bueno	6	35	70	79
Vegas de ríos y arroyos			bueno	30	58	71	78
Bosques		troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	pobre	45	66	77	83
			aceptable	38	60	73	79
			bueno	25	55	70	77
Haciendas				59	74	82	86
Calles y carreteras		pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>1</sup>	no disponible	95	95	95	95
		superficie dura		74	84	90	92
		grava		76	85	89	91
		tierra		72	82	87	89
Áreas abiertas		césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	bueno (cubierto de pasto 75%+)	39	61	74	80
			aceptable (cubierto de pasto 50% - 75%)	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios		85% impermeables	no disponible	89	92	94	95
Distritos industriales		72% impermeables		81	88	91	93
Residencial	1/8 acre o menos	65% impermeable		77	85	90	92
	1/4 acre	38% impermeable		61	75	83	87
	1/3 acre	30% impermeable		57	72	81	86
	1/2 acre	25% impermeable		54	70	80	85
	1 acre	20% impermeable		51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.				95	95	95	95

Figura III. 2 Números de curva para distintos tipos de suelo en condiciones normales de humedad.

### III.II. Utilización de Guad1D

Una parte del análisis del método del número de curva incluye la división de la cuenca en subcuencas. Para analizar por separado en cada subcuenca el tipo de suelo y la vegetación y así poder elegir un número de curva adecuado para cada una. El modelo del SCS calcula la escurrimiento a la salida de cada subcuenca, y Guad1D la calcula para la salida de la cuenca.

En el archivo “xml” de entrada se encuentra el número de secciones de la cuenca, así como las coordenadas de profundidad-anchura de la sección transversal de cada una (medidas con cinta métrica). La figura III.3 muestra las coordenadas Z, X de la sección, siendo la coordenada Z la profundidad del cauce y X la anchura. También se anota en el archivo la distancia entre secciones.

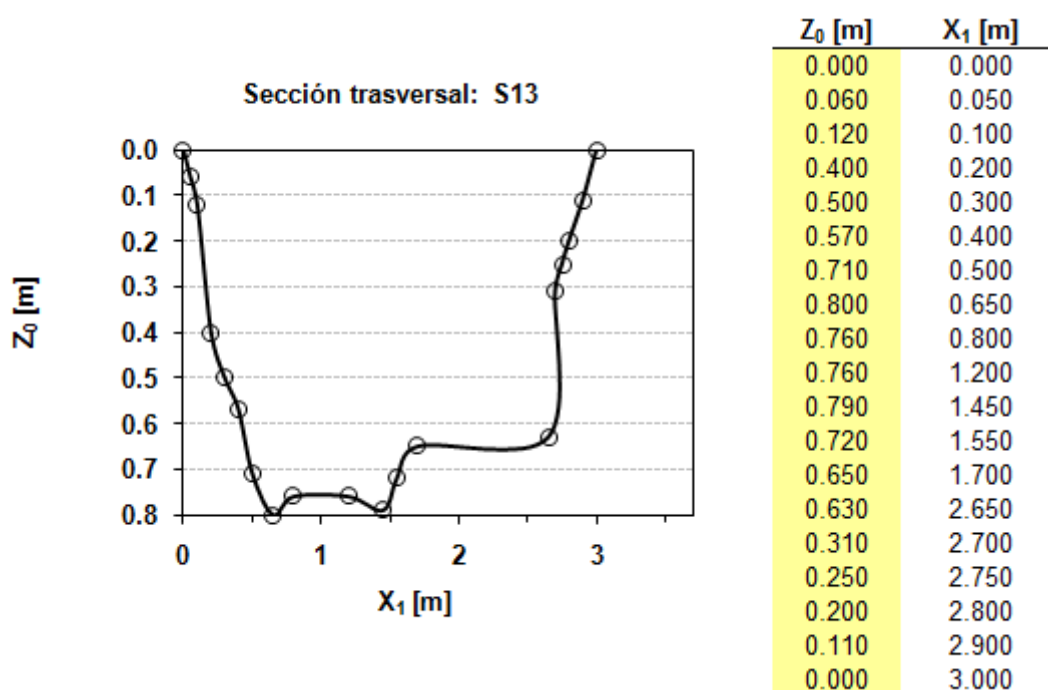
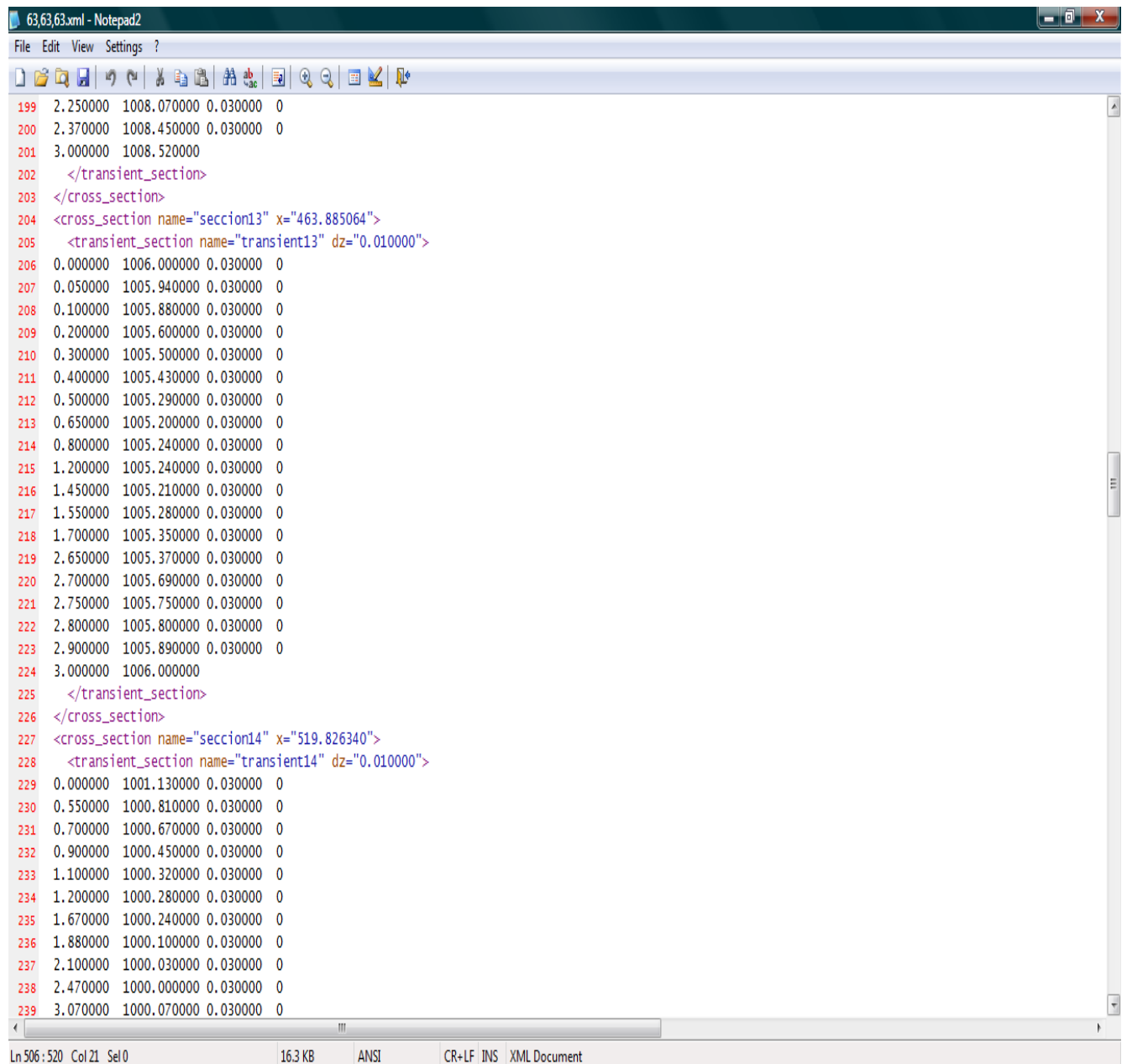


Figura III. 3 Corte de la sección 13 del cauce principal de la cuenca de Arnás.

Además se introduce para cada subcuenca, la sección en la que vierte y el caudal de escurrimiento para cada paso de tiempo.

A continuación se presenta un ejemplo de archivo “xml” para el caso de tres subcuencas en el evento del 15 de agosto de 2006, empleando un número de curva en todas ellas de 63:



```

63.63.xml - Notepad2
File Edit View Settings ?
199 2.250000 1008.070000 0.030000 0
200 2.370000 1008.450000 0.030000 0
201 3.000000 1008.520000
202 </transient_section>
203 </cross_section>
204 <cross_section name="seccion13" x="463.885064">
205   <transient_section name="transient13" dz="0.010000">
206     0.000000 1006.000000 0.030000 0
207     0.050000 1005.940000 0.030000 0
208     0.100000 1005.880000 0.030000 0
209     0.200000 1005.600000 0.030000 0
210     0.300000 1005.500000 0.030000 0
211     0.400000 1005.430000 0.030000 0
212     0.500000 1005.290000 0.030000 0
213     0.650000 1005.200000 0.030000 0
214     0.800000 1005.240000 0.030000 0
215     1.200000 1005.240000 0.030000 0
216     1.450000 1005.210000 0.030000 0
217     1.550000 1005.280000 0.030000 0
218     1.700000 1005.350000 0.030000 0
219     2.650000 1005.370000 0.030000 0
220     2.700000 1005.690000 0.030000 0
221     2.750000 1005.750000 0.030000 0
222     2.800000 1005.800000 0.030000 0
223     2.900000 1005.890000 0.030000 0
224     3.000000 1006.000000
225   </transient_section>
226 </cross_section>
227 <cross_section name="seccion14" x="519.826340">
228   <transient_section name="transient14" dz="0.010000">
229     0.000000 1001.130000 0.030000 0
230     0.550000 1000.810000 0.030000 0
231     0.700000 1000.670000 0.030000 0
232     0.900000 1000.450000 0.030000 0
233     1.100000 1000.320000 0.030000 0
234     1.200000 1000.280000 0.030000 0
235     1.670000 1000.240000 0.030000 0
236     1.880000 1000.100000 0.030000 0
237     2.100000 1000.030000 0.030000 0
238     2.470000 1000.000000 0.030000 0
239     3.070000 1000.070000 0.030000 0
Ln 506 : 520 Col 21 Sel 0 16.3 KB ANSI CR+LF INS XML Document

```

Figura III. 4 Introducción de datos de la sección 13 en un archivo "xml".

En esta figura se observa para la sección del ejemplo (sección 13), como aparecen anotadas en el archivo "xml" las coordenadas de la sección transversal. La primera columna representa la anchura (X) y la segunda columna representa la resta entre la altura de la zona con respecto al nivel del mar menos la profundidad del cauce (Z).

```

63.63.xml - Notepad2
File Edit View Settings ?

472 5100.000000 0.000152
473 5400.000000 0.000000
474 </boundary>
475 <boundary type="qt" name="boundary004" initial="18">
476 0.000000 0.000000
477 300.000000 0.000000
478 600.000000 0.000000
479 900.000000 0.000000
480 1200.000000 0.000000
481 1500.000000 0.000000
482 1800.000000 0.000000
483 2100.000000 0.000000
484 2400.000000 0.000112
485 2700.000000 0.005013
486 3000.000000 0.015257
487 3300.000000 0.026119
488 3600.000000 0.032151
489 3900.000000 0.027515
490 4200.000000 0.021061
491 4500.000000 0.014557
492 4800.000000 0.008053
493 5100.000000 0.002105
494 5400.000000 0.000151
495 5700.000000 0.000000
496 </boundary>
497 <boundary type="qt" name="boundary008" initial="26">
498 0.000000 0.000000
499 300.000000 0.000000
500 600.000000 0.000000
501 900.000000 0.000000
502 1200.000000 0.000000
503 1500.000000 0.000000
504 1800.000000 0.000000
505 2100.000000 0.000000
506 2400.000000 0.000183
507 2700.000000 0.008236
508 3000.000000 0.025067
509 3300.000000 0.042912
510 3600.000000 0.053895
511 3900.000000 0.046874
512 4200.000000 0.036322

Ln 506 : 520 Col 21 Sel 0 16.3 KB ANSI CR+LF INS XML Document

```

**Figura III. 5** Introducción de datos de caudal en la sección 18 y 23 para la subcuena 2 y 3 respectivamente en un archivo “xml”..

En esta figura se puede ver como se anotan los datos de caudal para cada paso de tiempo que vierte la subcuena 2 en la sección 18 y la subcuena 3 en la sección 26.

Se genera un archivo “xml” diferente para cada evento y para cada división de subcuencas en función de los caudales de escorrentía simulados con SCS para cada subcuena.

A partir del hidrograma de salida para cada una de las subcuencas, el programa Guad1D propaga esos caudales de manera que se obtiene un caudal de salida de la cuenca. Siguiendo el ejemplo, dependiendo del caudal introducido en cada sección donde vierte cada una de las tres subcuencas, Guad1D realiza una “suma” de esos caudales para obtener finalmente un caudal de salida.

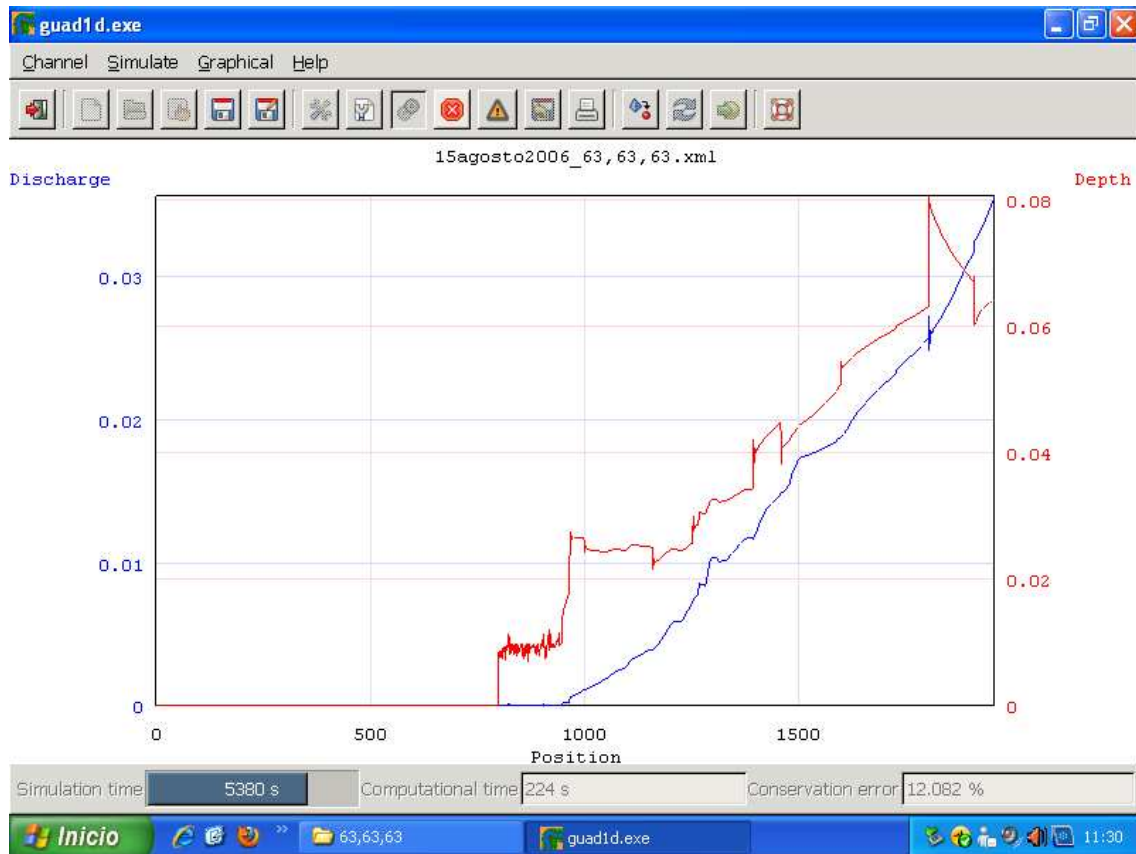


Figura III. 6 Resultado de caudal a la salida con Guad1D del evento 15 agosto 2006 para 3 subcuencas con número de curva 63.

La figura III.6 muestra el caudal a la salida de la cuenca. El archivo de salida es un archivo de datos en el que aparece el caudal a la salida para diferentes valores de tiempo.

### III.III Parámetros del modelo simplificado de onda difusiva

Los datos de entrada al programa y los parámetros a calibrar se introducen en el programa en forma de archivos de datos. Para cada evento hay un archivo de lluvia diferente.

Uno de los parámetros de entrada es la topografía, es decir, el mapa de elevaciones (dem.dat). Se introduce el mapa de condiciones iniciales (condicionesiniciales.dat), que considera como condición inicial evento seco, el de condiciones de contorno y el de distribución de lluvia. También se cuenta con el hidrograma (condición de contorno aguas arriba).

En primer lugar se deben ajustar los parámetros de infiltración, que dependen del método elegido. Entre ellos puede ser el modelo de Horton o el modelo de Green y Ampt.

Fórmula de Horton:

$$i = i_c + (i_0 - i_c) * e^{-k*\tau}$$

Ecuación de Green y Ampt: [Chow et al., 1994]

$$i = \min \left[ i_{max} k_{s0} \left( \frac{\Psi M}{F} + 1 \right) \right]$$

En caso de utilizar la fórmula de Horton, los parámetros relevantes son la tasa de infiltración inicial ( $i_o$ ), la constante de decaimiento exponencial ( $k$ ) y la tasa de infiltración constante ( $i_c$ ). El valor de este último puede ser estimado por medio de medidas de campo habiéndose deducido que su valor debe estar por debajo de los 5mm/hora [Lana-Renault et al. 2007]. En el caso de utilizar el modelo de Green y Ampt los parámetros que hay que definir incluyen la conductividad hidráulica saturada ( $k_{s0}$ ), el factor de succión-almacenamiento ( $S_f$ ), la capacidad de percolación ( $C_p$ ) y la tasa máxima de infiltración ( $i_{max}$ ). De esta forma la profundidad de la lámina infiltrada ( $F$ ) coincidirá con la cantidad de agua existente en el nivel subsuperficial.

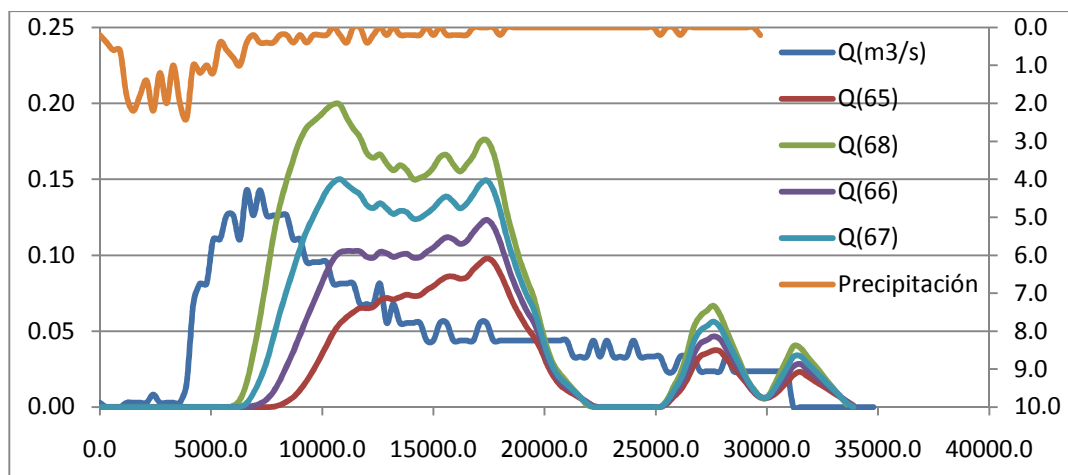
## ANEXO IV: RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MÉTODO SCS

Se muestran a continuación los resultados numéricos que se obtienen con el método del número de curva de la simulación de 4 eventos de precipitación-escorrentía en la cuenca de Arnás y se comparan con las medidas experimentales.

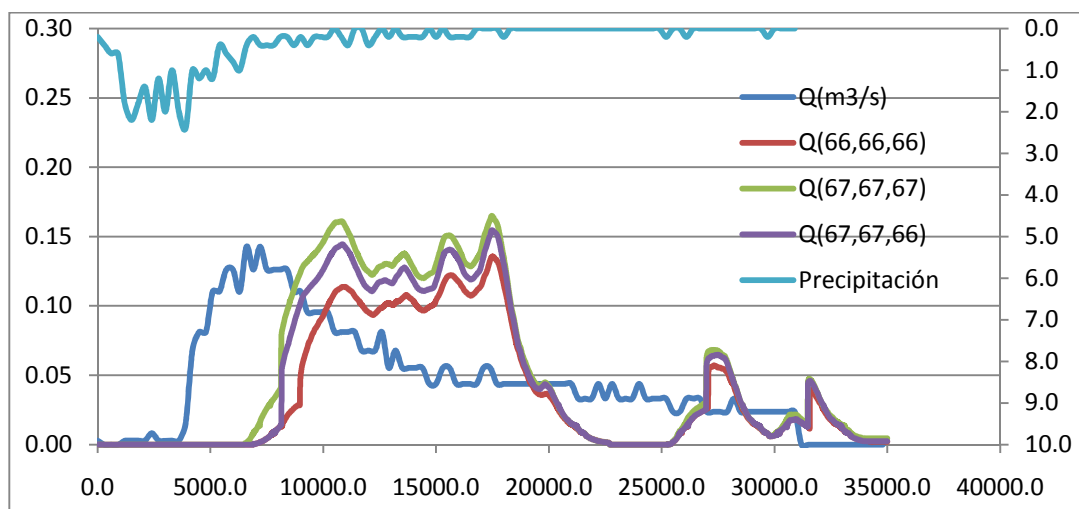
En las siguientes figuras  $Q(m^3/s)$  representa el caudal medido en la estación de aforo de la cuenca mientras que el resto son los caudales obtenidos de la simulación con el método SCS habiendo elegido como número de curva el que aparece dentro de los paréntesis. En el eje de ordenadas de la derecha se representa los datos de precipitación en mm, el eje de abscisas representa el tiempo en segundos. Y por último en el eje de ordenadas de la izquierda se representan los caudales en  $m^3/s$ . En cada figura correspondiente al mismo evento se representan los resultados obtenidos si la cuenca se trata como una sola cuenca, como 3, 5 o 7 subcuencas. En primer lugar se representa un evento sucedido el 13 de octubre de 2005 y representado en la Figura IV.1.

### IV.I. Evento 13 Octubre 2005

a)

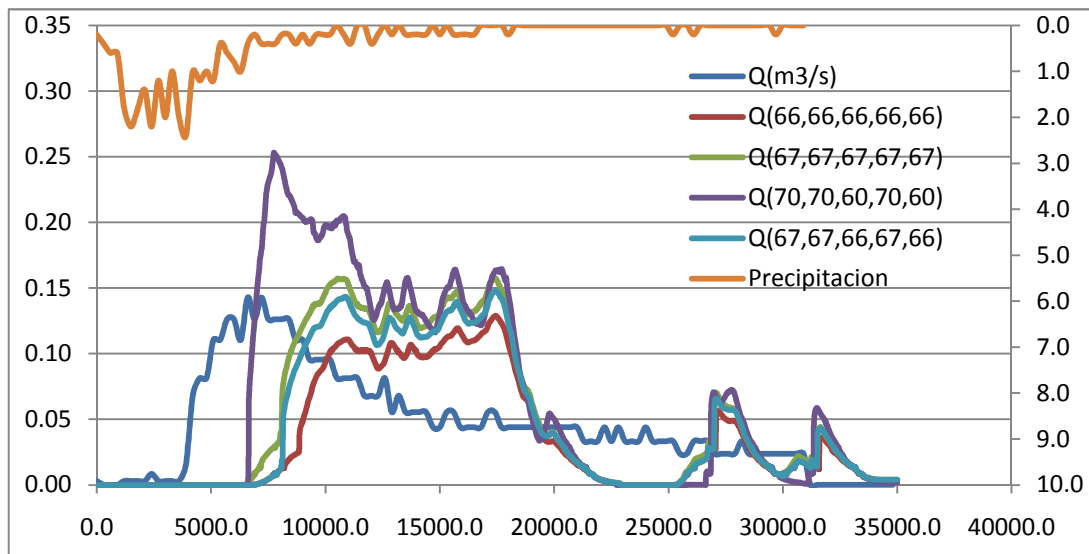


b)





c)



d)

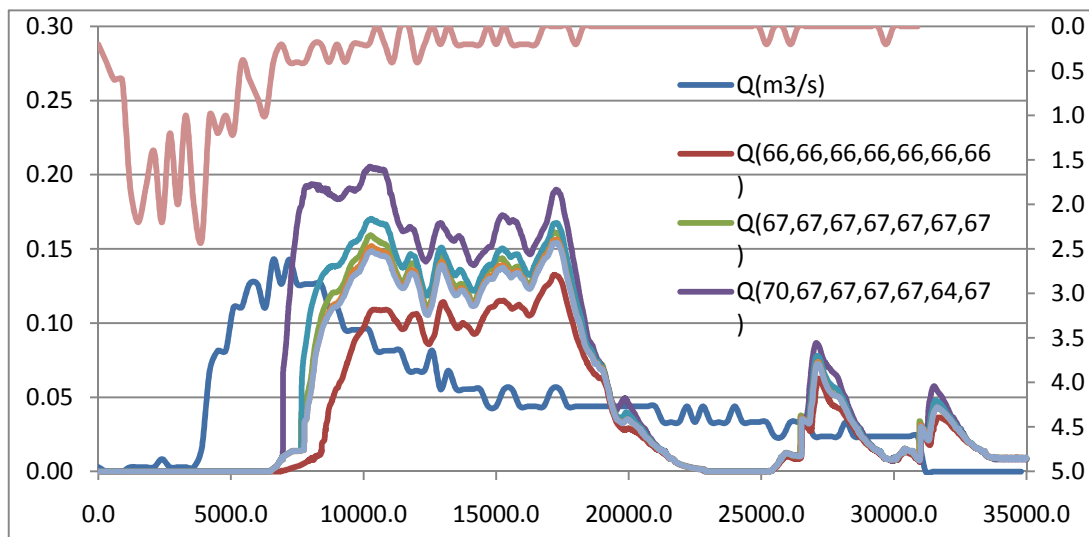


Figura IV. 1 Gráficas de precipitación y escorrentía medida y obtenida con el SCS para el evento del 13 de octubre de 2005 cuando la cuenca se trata como una sola (a), como 3 (b), como 5 (c) o como 7(d).

En este evento los resultados numéricos que más se asemejan a las medidas experimentales son para el caso de una cuenca, un número de curva de 67; para tres subcuencas, número de curva 67, 67 y 66; para cinco subcuencas, número de curva 67, 67, 66, 67 y 66; y para 7 subcuencas, número de curva 67, 67, 67, 67, 67, 64 y 67.

En la gráfica b, en la que la cuenca se divide en tres subcuencas, el número de curva más bajo es el que corresponde a la subcuenca 3, y es 66. En la gráfica c, corresponde a la subcuenca 3 y 5 y es de 66. En el último caso, corresponde a la subcuenca 6 y es 64. Esto se debe a que son zonas con mayor cubierta vegetal. Si echamos un vistazo al anexo anterior, al ver las figuras correspondientes a los mapas de la cuenca dividida en 1, 3, 5 y 7 subcuencas y se trasladan al mapa de vegetación, se observa como para las subcuencas en las que se ha requerido un número de curva menor coinciden con las zonas de mayor vegetación.

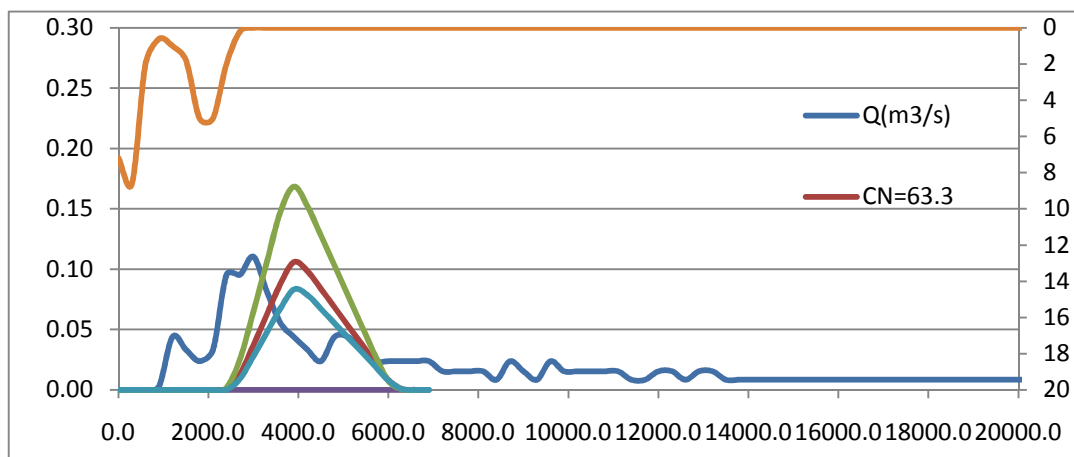
La forma de las gráficas para cada una de las divisiones en subcuencas realizadas es muy similar. Sólo varía en el número de picos que se aprecian gráficamente sobre el valor al que llega el caudal simulado. El nivel de escorrentía alcanzado para un número de curva, por ejemplo 67, en caso de tratar la cuenca como una subcuenca, es igual que los números de curva en caso de dividir la cuenca en tres subcuencas (67, 67, 67), en cinco (67,67,67,67,67) o en siete (67, 67, 67, 67, 67, 67, 67) y corresponde con un caudal de  $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El hecho de dividir la cuenca en varias subcuencas, ayuda a una mayor afinación en el caudal simulado con respecto al caudal medido, ya que las posibilidades de jugar con el número de curva son mayores. En el caso de esta cuenca, la afinación es bastante buena trabajando con la cuenca tratándola como una sola.

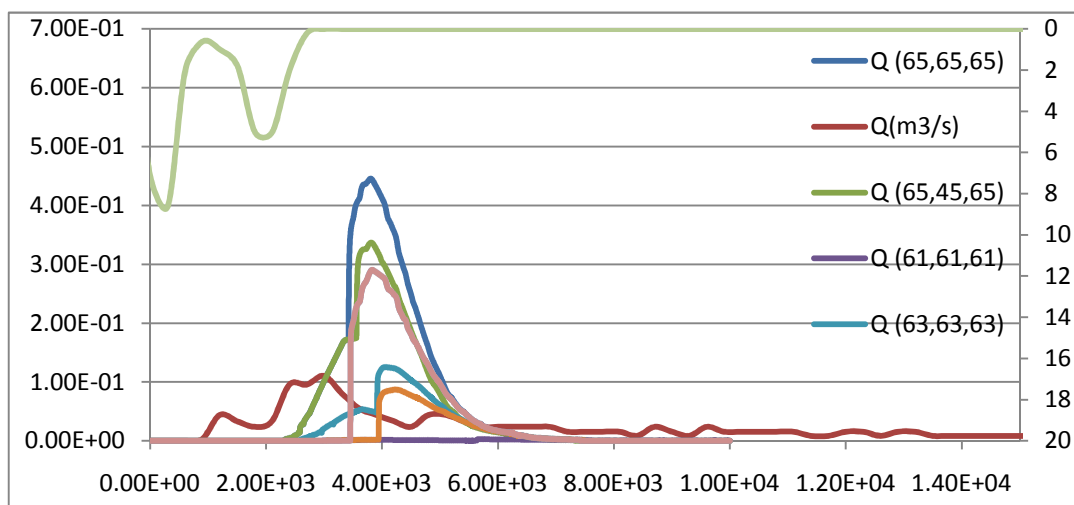
Un número de curva de 67, corresponde a un número de curva en condiciones normales de humedad. En el caso de Arnás, un número de curva de 67 es suficiente para considerarlo como un evento seco ya que para números menores no se produciría escorrentía.

#### IV.II. Evento 15 Agosto 2006

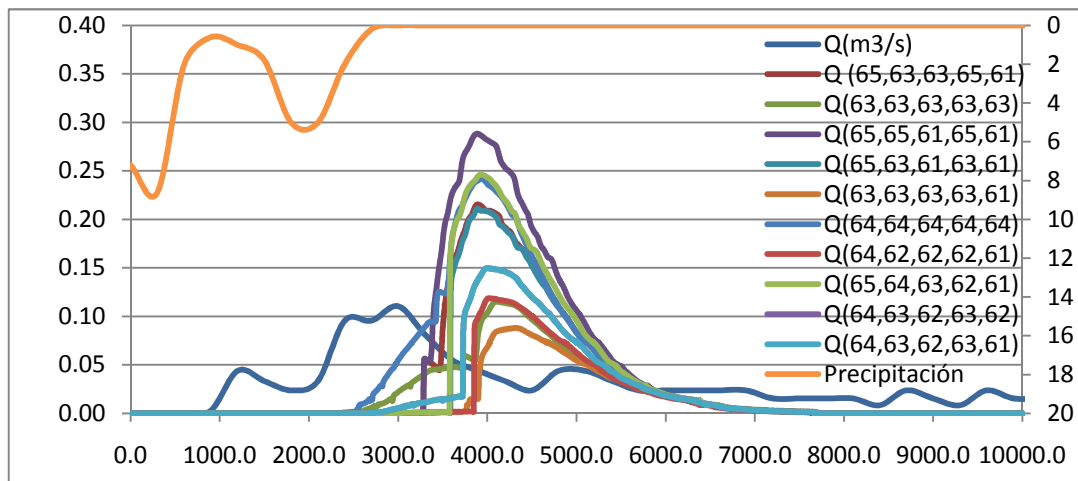
a)



b)



c)



d)

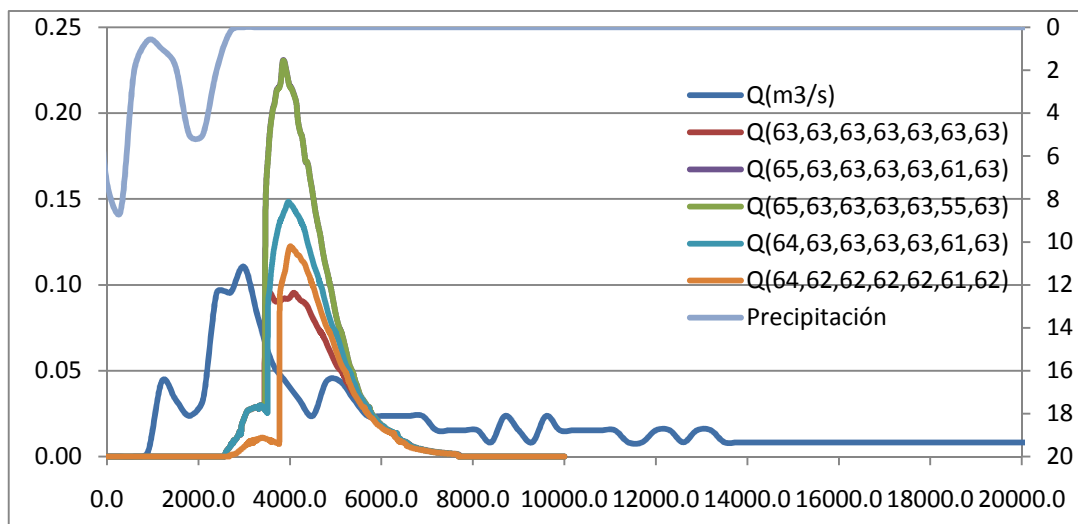
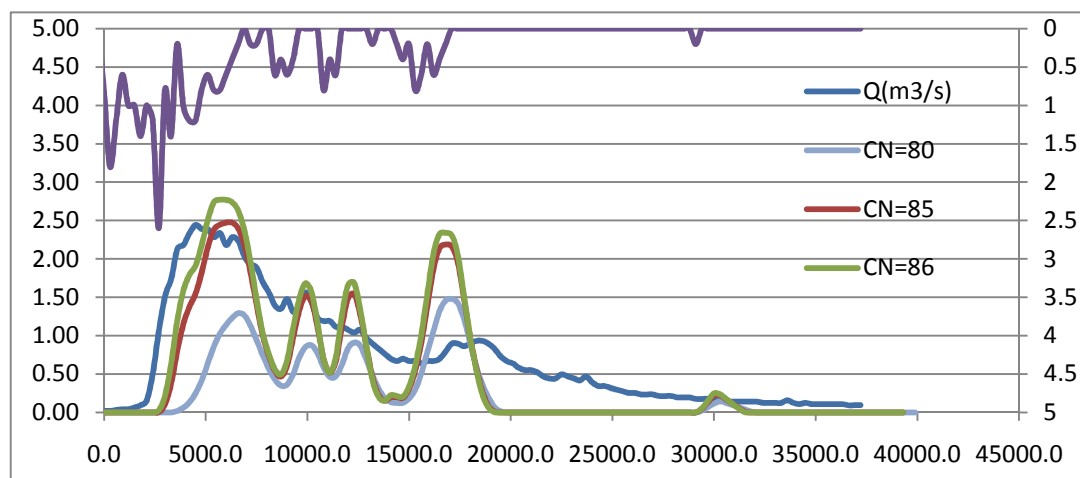


Figura IV. 2 Precipitación y escorrentía medidos y obtenidos con el SCS para el evento del 15 de agosto de 2006 cuando la cuenca se trata como una sola (a), como 3 (b), como 5 (c) o como 7(d).

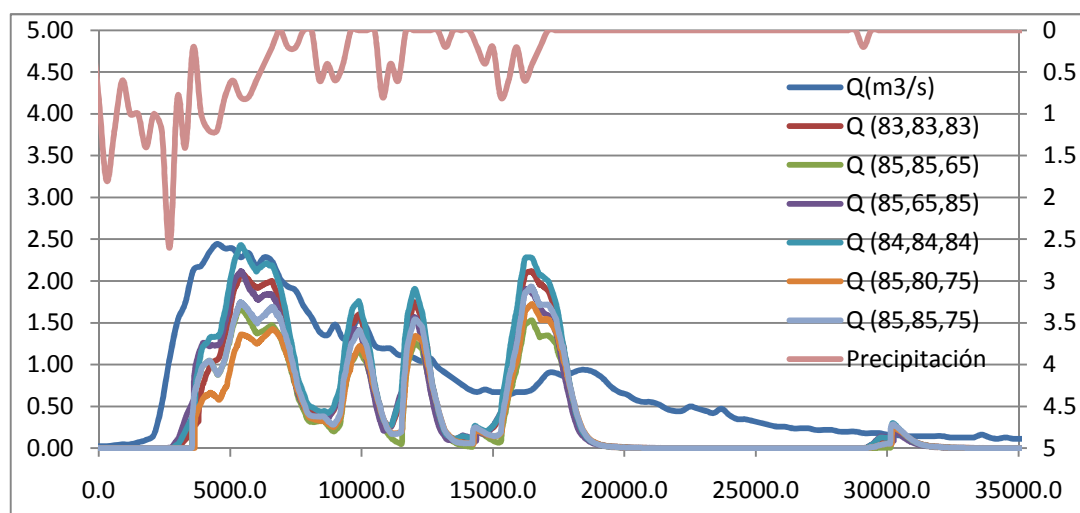
El número de curva en el caso de una sola cuenca es de 63.3. Cuando la cuenca se divide en tres subcuencas, el número de curva óptimo es 63 para las tres subcuencas. En el caso de dividir la cuenca en cinco subcuencas, se han encontrado dos soluciones. Una de ellas es número de curva de 63 para las cinco subcuencas, y otra solución es número de curva 64 para la primera subcuenca, 62 para la segunda, la tercera y la cuarta, número de curva 61 para la última. Como se ha dicho en el evento anterior, el hecho de que haya números de curva menores en unas subcuencas que en otras se debe a la diferencia de cubierta vegetal en la cuenca. Una diferencia entre el número de curva más alto y más bajo de cuatro unidades, significa que no hay cambios importantes en la cubierta vegetal. Si la cuenca se divide en siete subcuencas, los números correspondientes a cada una de las subcuencas son 64, 62, 62, 62, 62, 61 y 62. Este evento, como el anterior, se trata de un evento en condiciones secas de humedad.

## IV.III. Evento 23 Noviembre 2003

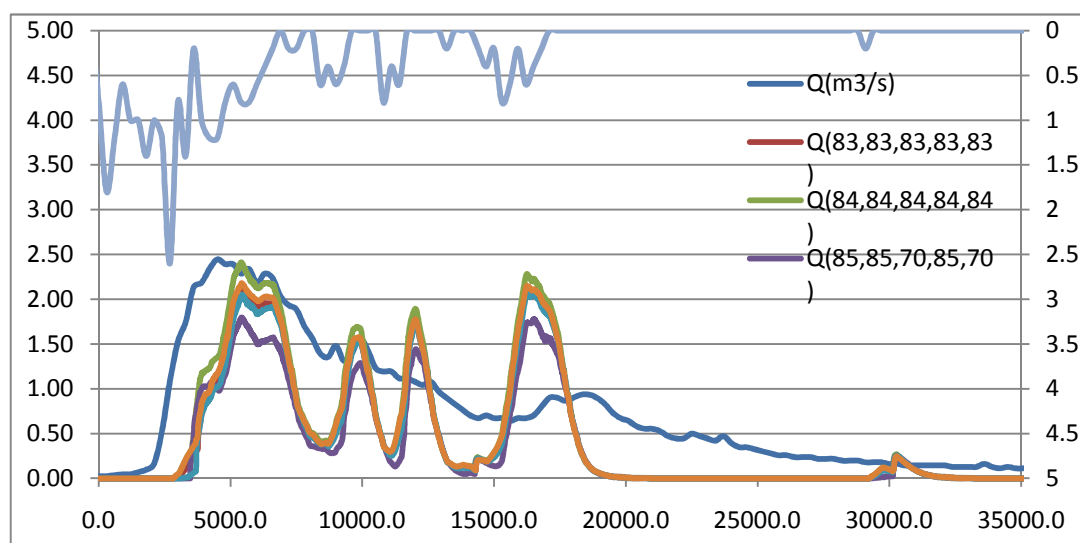
a)



b)



c)



d)

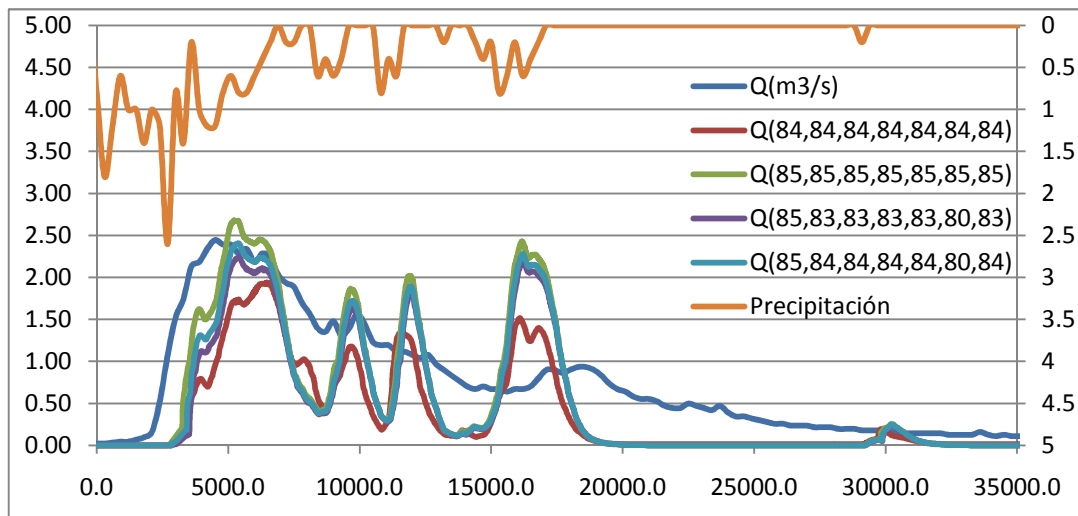


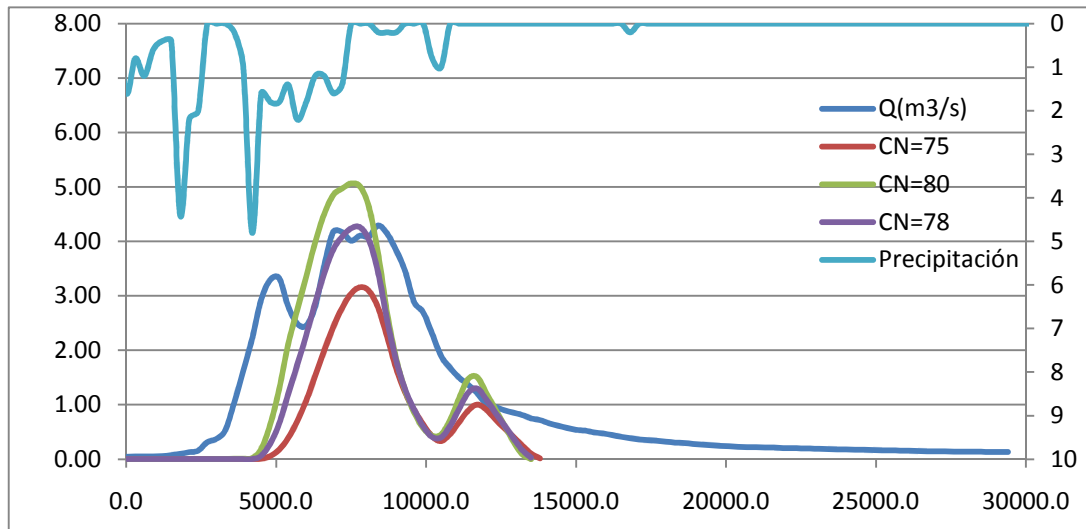
Figura IV. 3 Precipitación y escorrentía medidos y obtenidos con el SCS para el evento del 23 de noviembre de 2003 cuando la cuenca se trata como una sola (a), como (b), como 5 (c) o como 7(d).

El número de curva para toda la cuenca es 85. En el caso de dividirla en tres y cinco subcuencas, el número de curva óptimo es 84 para cada una de las subcuencas. Si la cuenca se divide en 7 subcuencas, los números de curva corresponden a 85, 84, 84, 84, 84, 80 y 84 para cada una de las subcuencas.

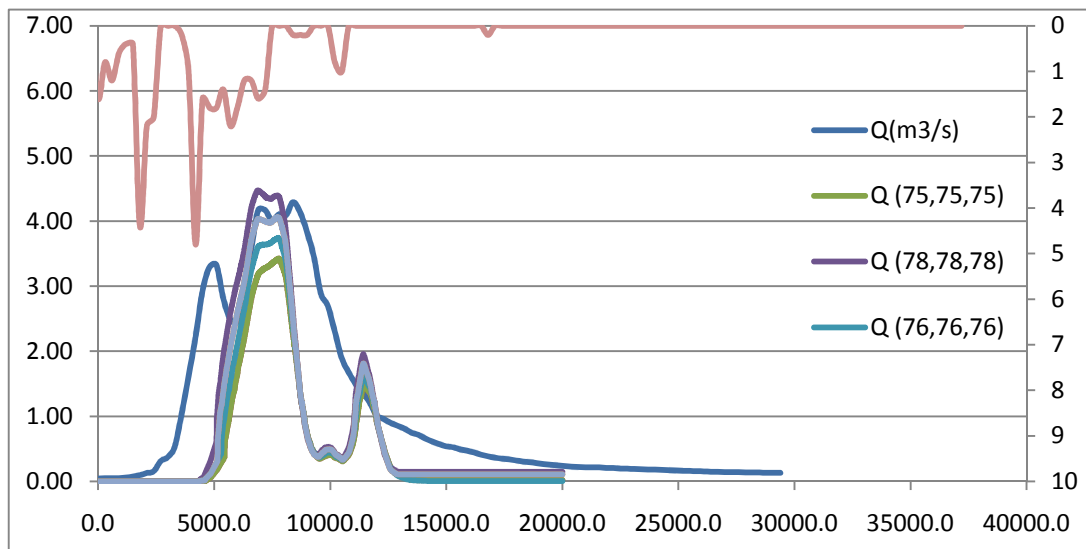
Con un número de curva de 85, la mayor parte de lo que precipita, va a escurrir. No se puede saber con certeza cuanto escurre de lo que precipita observando estas gráficas ya que la precipitación viene dada en mm y el caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$ . No obstante, se puede comparar este evento con el del 13 de octubre de 2005. En caso del 13 de octubre, para una precipitación máxima alcanzada de 2.5 mm, el caudal que escurre en consecuencia de esa precipitación es de  $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ . En este evento (23 noviembre 2003), se puede apreciar que para una precipitación máxima de 2.5 mm, el caudal de escorrentía producido es de  $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Hay una gran diferencia entre la relación precipitación-escorrentía en el evento del 13 de octubre, que es un evento en condiciones secas, y por ello la capacidad de infiltración es mayor, y el evento del 23 de noviembre. En este evento, como se ha visto, la capacidad de infiltración es menor, ya que el suelo tiene una mayor saturación de agua. Prácticamente todo lo que precipita va a escurrir, por eso el número de curva es aproximadamente 85. Un número de curva de 85 implica unas condiciones de suelo casi impermeables.

**IV.IV. Evento 23 Septiembre 2006**

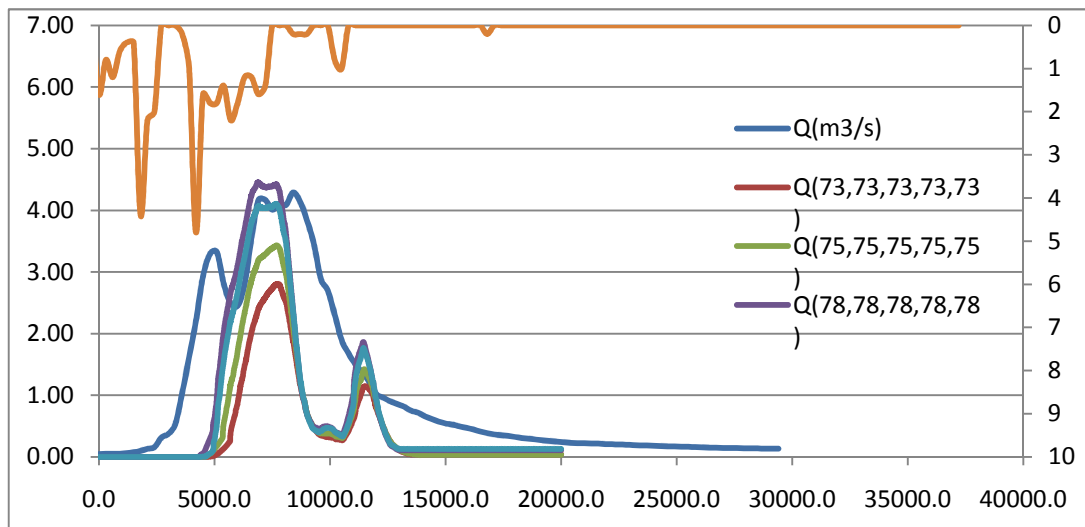
a)



b)



c)



d)

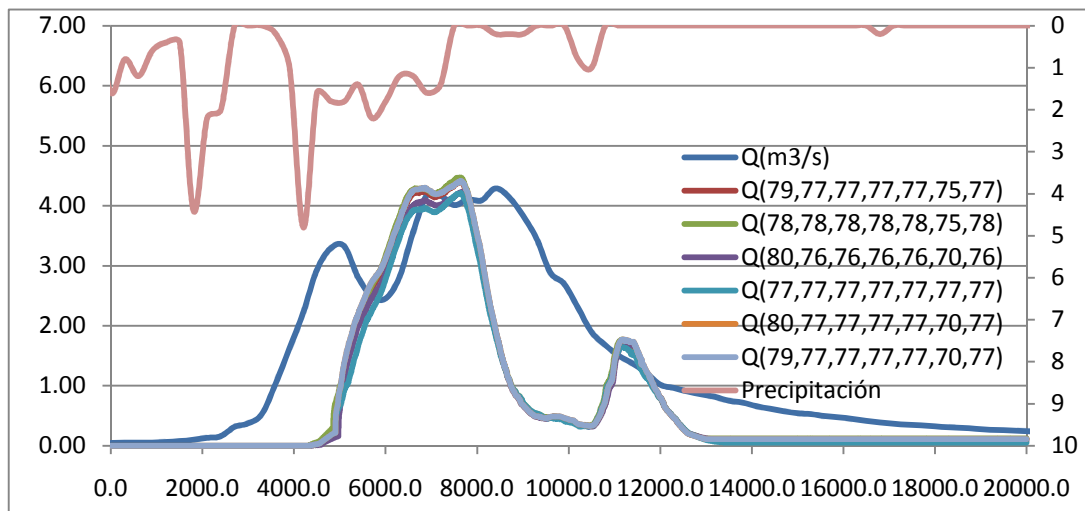


Figura IV. 4 Precipitación y escorrentía medidos y obtenidos con el SCS para el evento del 23 de septiembre 2006 cuando la cuenca se trata como una sola (a), como (b), como 5 (c) o como 7(d).

En este caso el número de curva óptimo es 78, si se trata la cuenca como una sola y si se divide en tres subcuencas, 77. En el caso de cinco subcuencas, los números de curva son 78, 78, 78, 78 y 75 y para siete subcuencas, son 80, 76, 76, 76, 76, 70, 76. En este caso, también se trata de un evento en condiciones húmedas. La porción de agua que se infiltra en el suelo es muy pequeña, aunque se infiltra más que en el evento anterior. Para un máximo de precipitación de 4.5 mm, el caudal que escurre es de  $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## ANEXO V: RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MÉTODO SIMPLIFICADO DE ONDA DIFUSIVA

Se muestran a continuación los resultados numéricos que se obtienen con el método simplificado de onda difusiva en la simulación de 4 eventos de precipitación-escorrentía en la cuenca de Arnás y se comparan con las medidas experimentales

Los datos iniciales necesarios para la simulación son  $i_0=50$ ,  $i_c=4.5$  y  $k=1.25$ . Primero se ha modificando  $i_0$  hasta encontrar el que coincida con los datos de caudal medido de la estación de aforo. Después se varía  $i_c$  y lo mismo con  $k$ , hasta encontrar los datos adecuados.

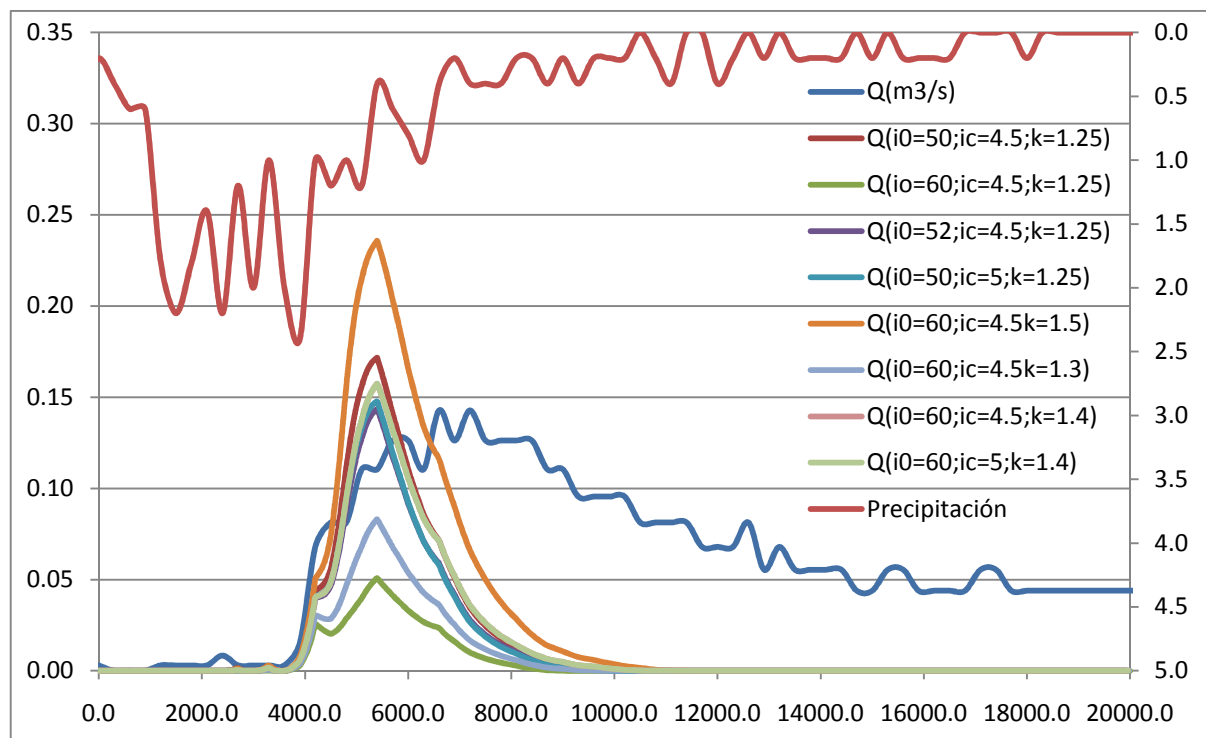


Figura V. 1 Precipitación-Escorrentía (13 octubre 2005)

Los valores correspondientes a los parámetros de infiltración con los que se consigue un caudal de escorrentía próximo al caudal medido son los siguientes:

$i_0=50$ ;  $i_c=5$ ;  $k=1.25$

$i_0=52$ ;  $i_c=4.5$ ;  $k=1.25$

$i_0=60$ ;  $i_c=5$ ;  $k=1.4$



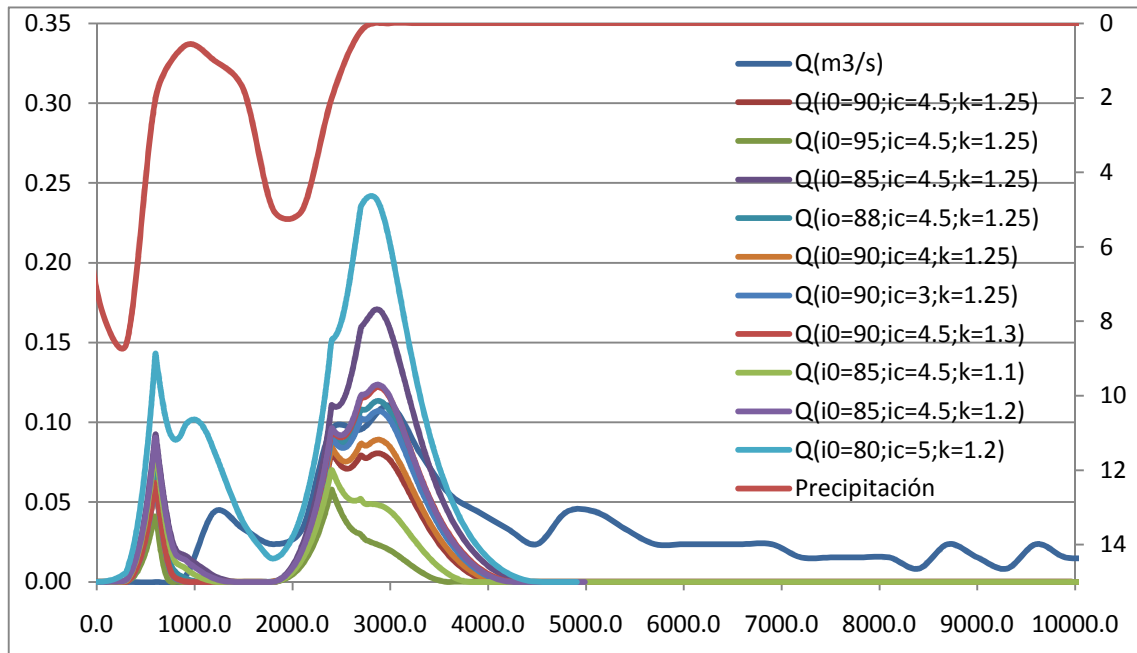


Figura V. 2 Precipitación-Escorrentía (15 agosto 2006).

Para el evento del 15 de agosto las simulaciones que más se han acercado al caudal medido son las correspondientes a los siguientes valores de parámetros:

$i_0=88$ ;  $i_c=4.5$ ;  $k=1.25$

$i_0=90$ ;  $i_c=3$ ;  $k=1.25$

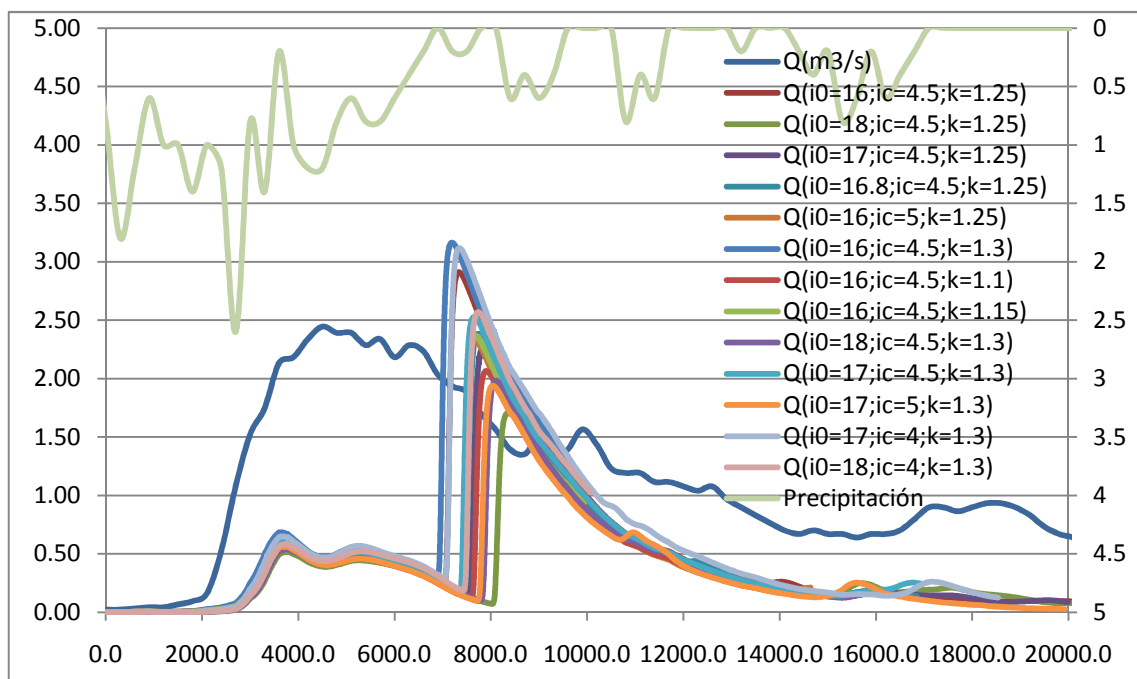


Figura V. 3 Precipitación-Escorrentía (23 noviembre 2003).

En este evento las simulaciones que más se aproximan al caudal de escorrentía medido son:

$i_0=16.8$ ;  $i_c=4.5$ ;  $k=1.25$

$i_0=16$ ;  $i_c=4.5$ ;  $k=1.15$

$i_0=16$ ;  $i_c=5$ ;  $k=1.25$

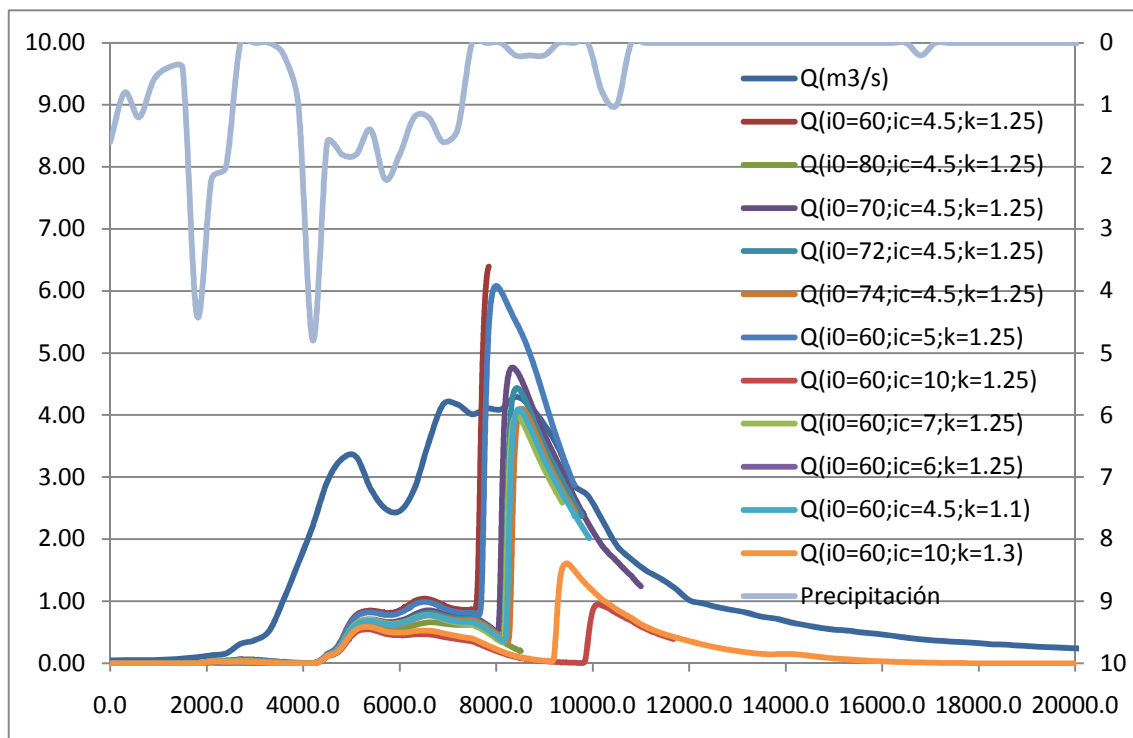


Figura V. 4 Precipitación-Escorrentía (23 septiembre 2006).

Para el último evento sólo se ha encontrado una simulación que corresponda con el caudal medido:  $i_0=72$ ;  $i_c=4.5$ ;  $k=1.25$

Refiriéndonos a los resultados obtenidos basados en el modelo de Horton, se puede apreciar como variaciones pequeñas en el parámetro  $i_0$  dan lugar a grandes variaciones de caudal. Gráficamente se puede observar que al variar en 2 mm/h el parámetro  $i_0$ , se pueden producir variaciones de caudal de hasta 2 m³/s aproximadamente como ocurre en el evento del 23 de noviembre de 2003 al variar  $i_0$  de 16 a 18 mm/h manteniendo  $i_c=4.5$  mm/h y  $k=1.25$  h<sup>-1</sup>. Aparte de esta diferencia, el resto de parámetros del modelo son comunes a todos los eventos y coinciden con los resultados experimentales calculados para la cuenca [Lana-Renault et al. 2007].

## **ANEXO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO**

En este anexo se presentan los resultados obtenidos en los diversos escenarios planteados de cambio climático. El método utilizado para la simulación es el modelo del número de curva (SCS) modificado con respecto al anterior, de manera que el número de curva introducido lo considera para condiciones antecedentes de humedad secas, y el propio programa calcula el número de curva en función de los datos de precipitación de los cinco días anteriores.

Los escenarios planteados, son para el caso de mantener un número de curva de 67 para todos los años de estudio, en caso de reforestación de la cuenca en los últimos años de estudio (número de curva de 46) y en caso de desertización de la cuenca en los últimos años de estudio (número de curva de 72). Los tres escenarios se plantean para tres trayectorias diferentes según las previsiones de precipitación: trayectoria seca, trayectoria corriente y trayectoria húmeda.

Las gráficas obtenidas representan la precipitación-escorrentía con respecto al tiempo de los años de estudio. Las líneas azules, que cuelgan de la parte superior, corresponden a la precipitación, viene dada en milímetros y la mide el eje de ordenadas derecho. El eje de ordenadas izquierdo mide la escorrentía producida según la precipitación, en los años de estudio. El caudal de escorrentía se mide en  $\text{mm}^3/\text{s}$ . El tiempo se da en segundos, aunque gráficamente el eje de abscisas represente los segundos como fecha, partiendo de que el segundo 0 corresponde al 1 de enero del primer año de estudio en cada caso. En cada gráfica vienen reflejados los años de estudio.

## VI.I. Número de curva 67 constante durante todos los años de estudio

### VI.I.I Trayectoria seca:

**2031-2035**

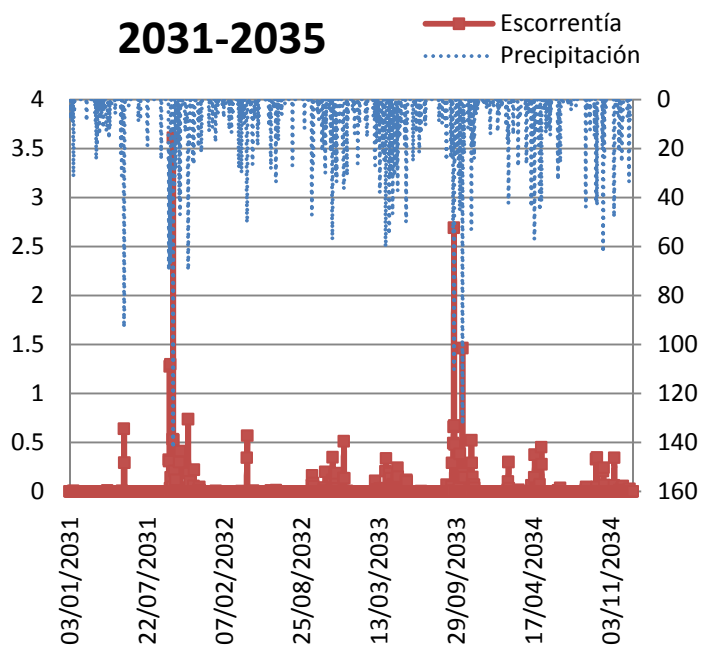


Figura VI. 1 Gráfica precipitación-escorrentía (2031-2035) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

**2035-2038**

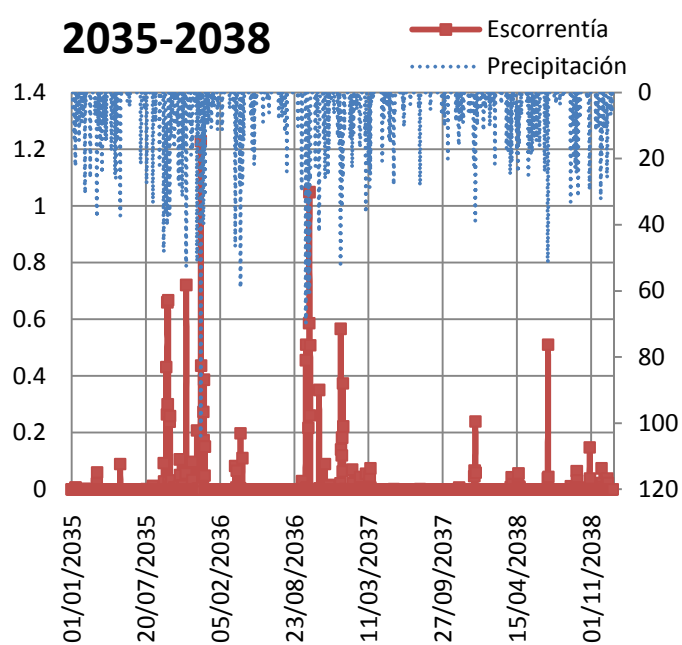


Figura VI. 2 Gráfica precipitación-escorrentía (2035-2038) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

**2039-2042**

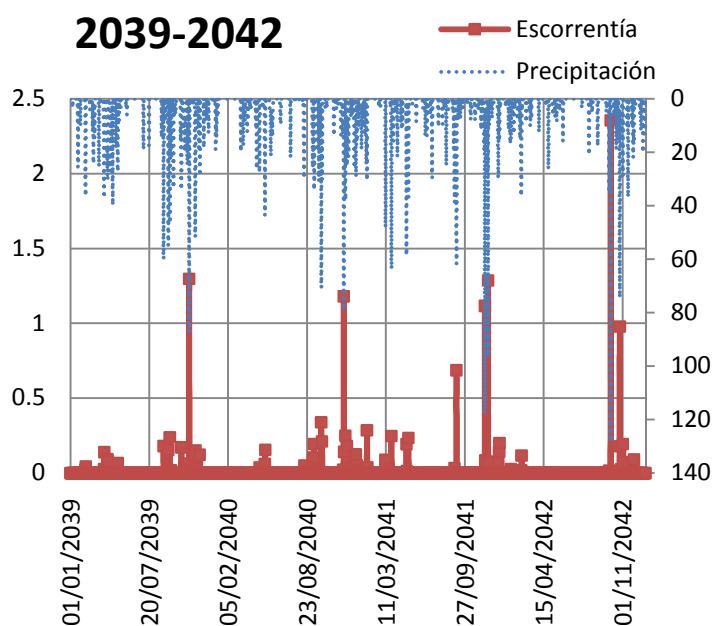


Figura VI. 3 Gráfica precipitación-escorrentía (2039-2042) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

**2043-2046**

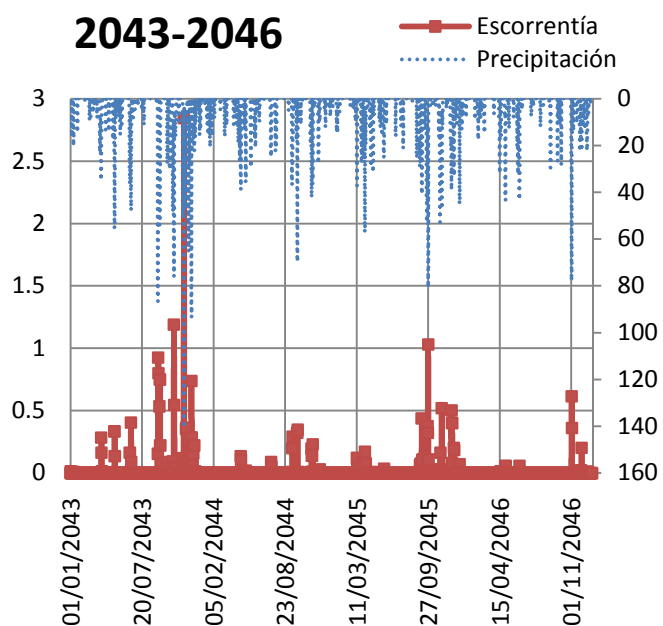


Figura VI. 4 Gráfica precipitación-escorrentía (2043-2046) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

**2047-2050**

—■— Escorrentía  
—●— Precipitación

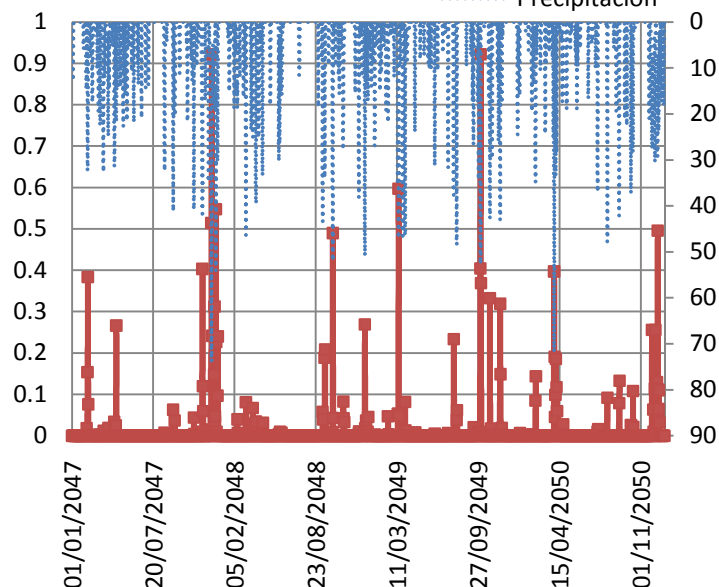


Figura VI. 5 Gráfica precipitación-escorrentía (2047-2050) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

**2051-2055**

—■— Escorrentía  
—●— Precipitación

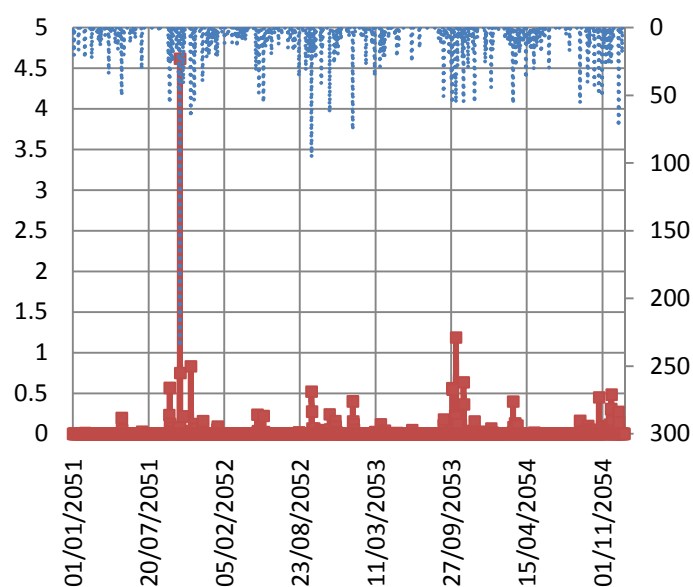


Figura VI. 6 Gráfica precipitación-escorrentía (2051-2055) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

**2056-2060**

—■— Escorrentía  
—●— Precipitación

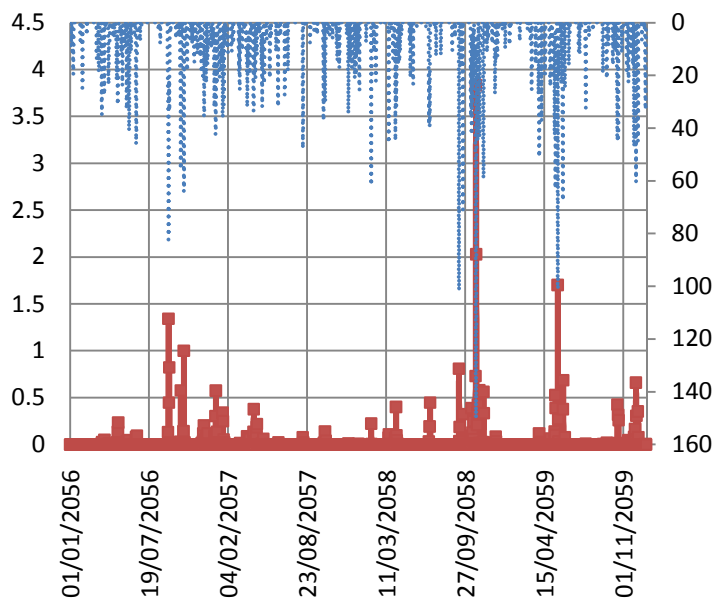


Figura VI. 7 Gráfica precipitación-escorrentía (2056-2060) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

**2071-2074**

—■— Escorrentía  
—●— Precipitación

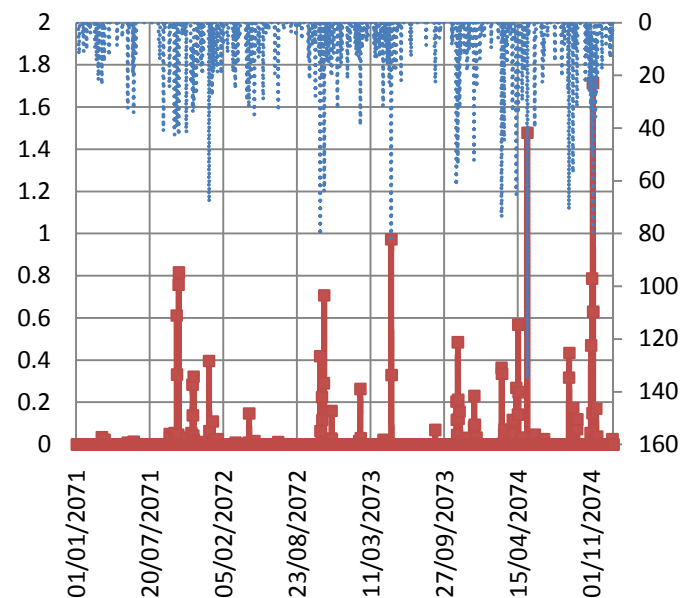


Figura VI. 8 Gráfica precipitación-escorrentía (2071-2074) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

### 2075-2078

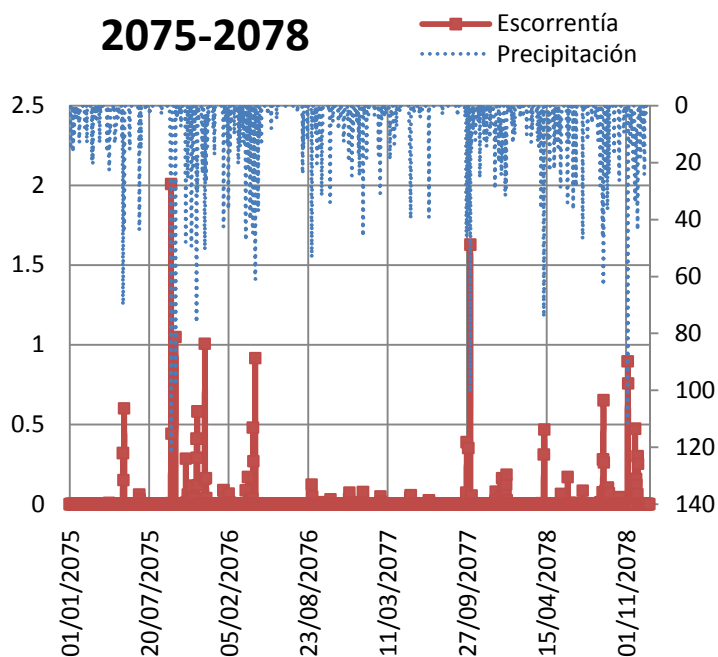


Figura VI. 9 Gráfica precipitación-escorrentía (2075-2078) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

### 2079-2082

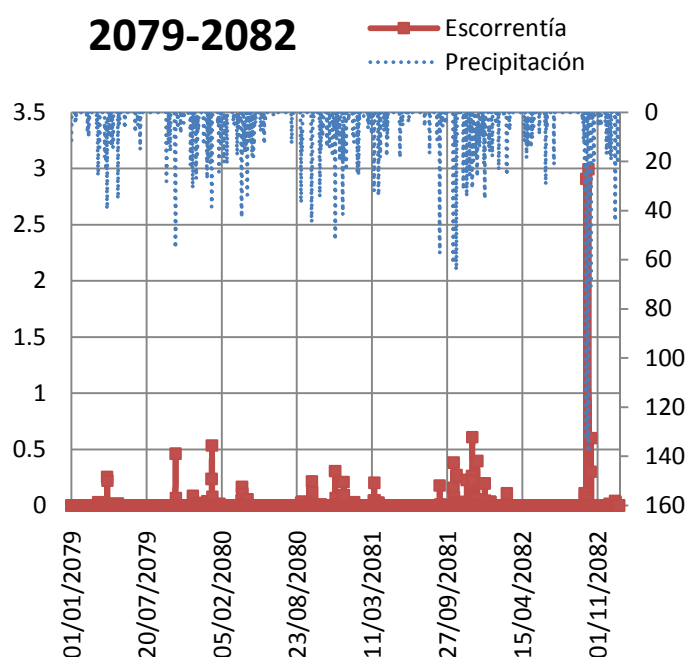


Figura VI. 10 Gráfica precipitación-escorrentía (2079-2082) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

### 2083-2086

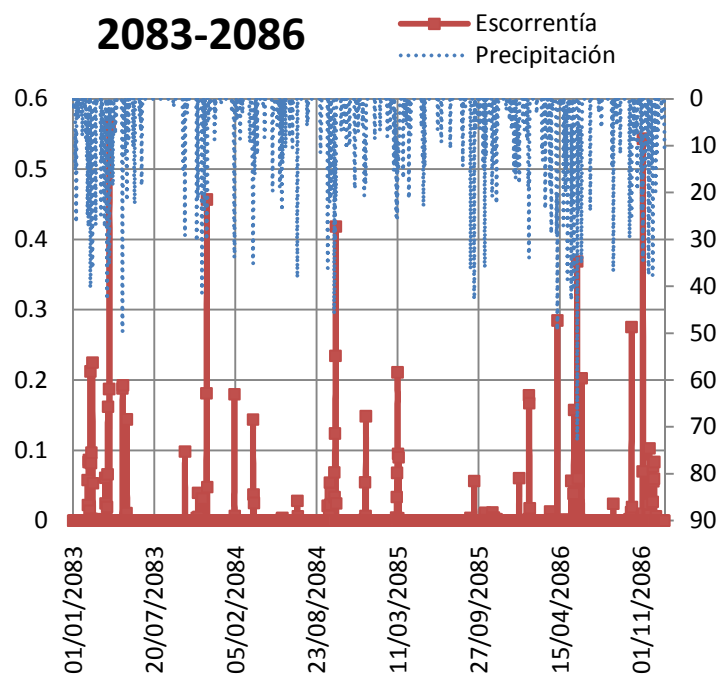


Figura VI. 11 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

### 2087-2090

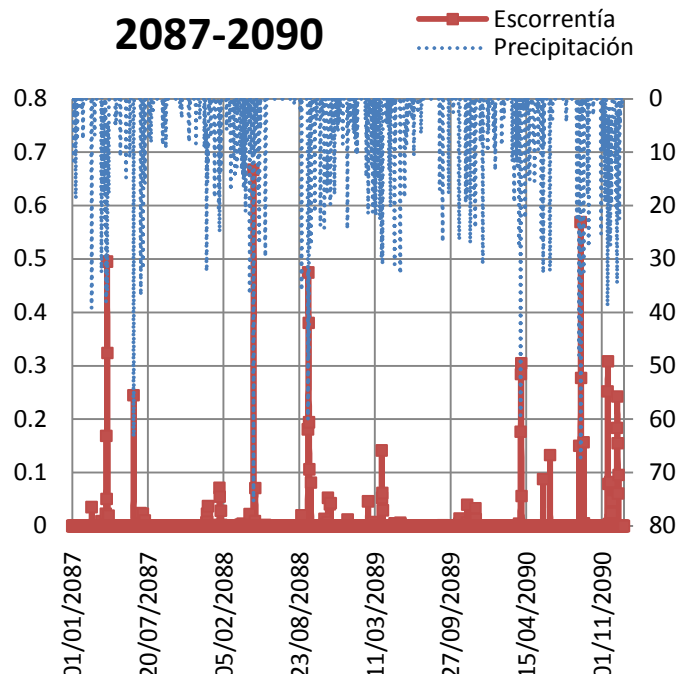


Figura VI. 12 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

## VI.I.II Trayectoria corriente:

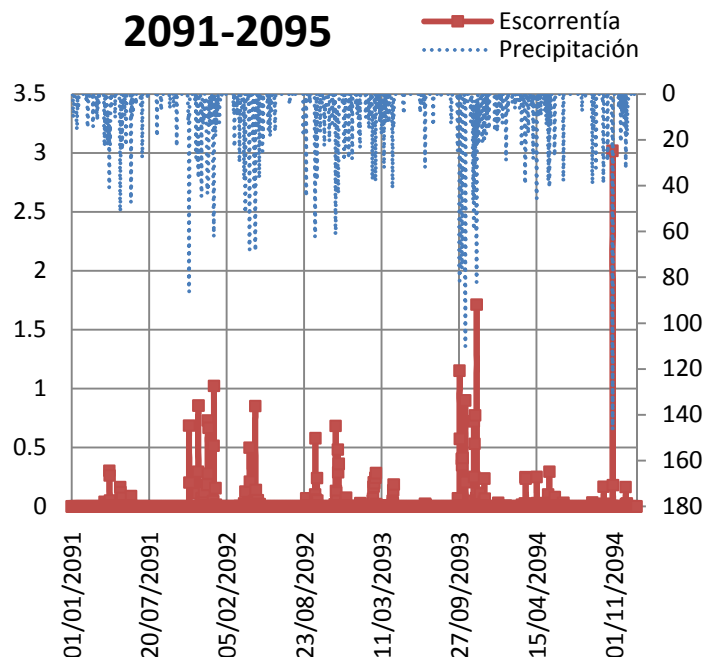
**2091-2095**

Figura VI. 13 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

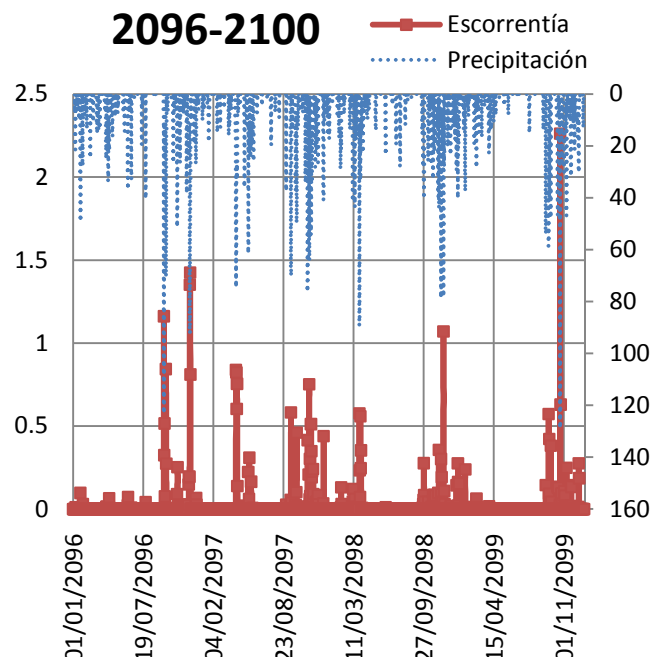
**2096-2100**

Figura VI. 14 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 67 en trayectoria seca.

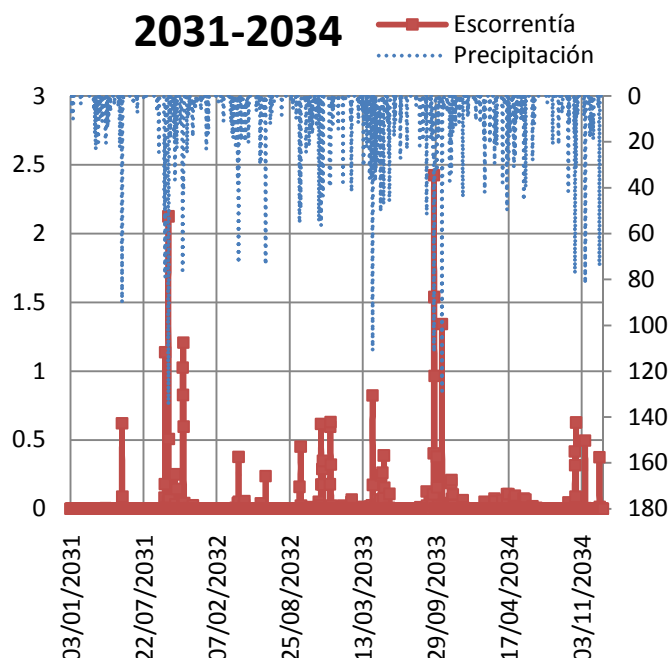
**2031-2034**

Figura VI. 15 Gráfica precipitación-escorrentía (2031-2035) para Número de curva 67 en trayectoria corriente

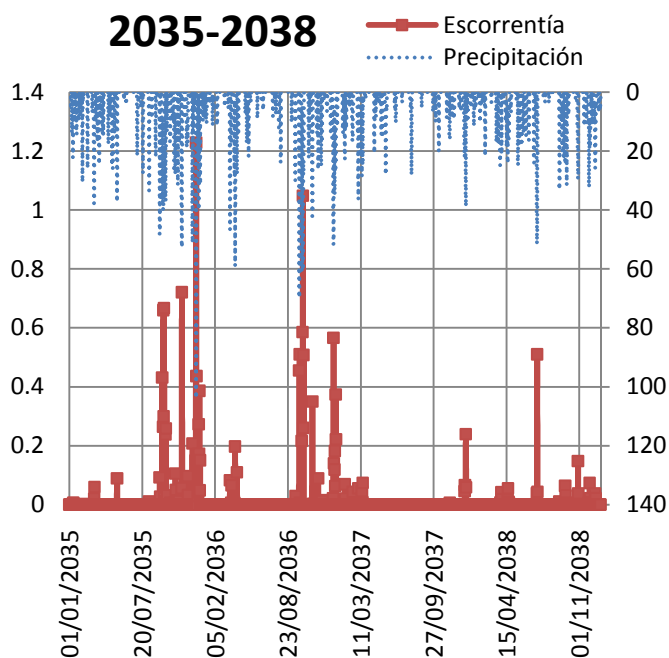
**2035-2038**

Figura VI. 16 Gráfica precipitación-escorrentía (2035-2038) para Número de curva 67 en trayectoria corriente

**2039-2042**

■ Escorrentía  
 ..... Precipitación

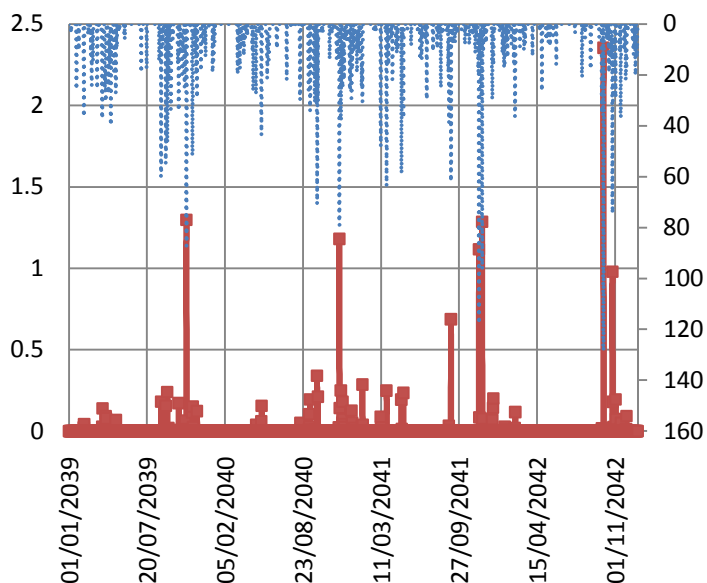


Figura VI. 17 Gráfica precipitación-escorrentía (2039-2042) para Número de curva 67 en trayectoria corriente

**2043-2046**

■ Escorrentía  
 ..... Precipitación

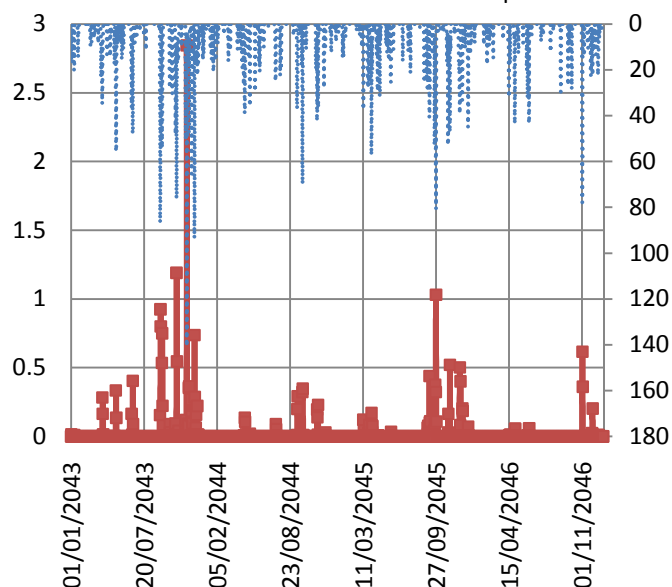


Figura VI. 18 Gráfica precipitación-escorrentía (2043-2046) para Número de curva 67 en trayectoria corriente

**2047-2050**

■ Escorrentía  
 ..... Precipitación

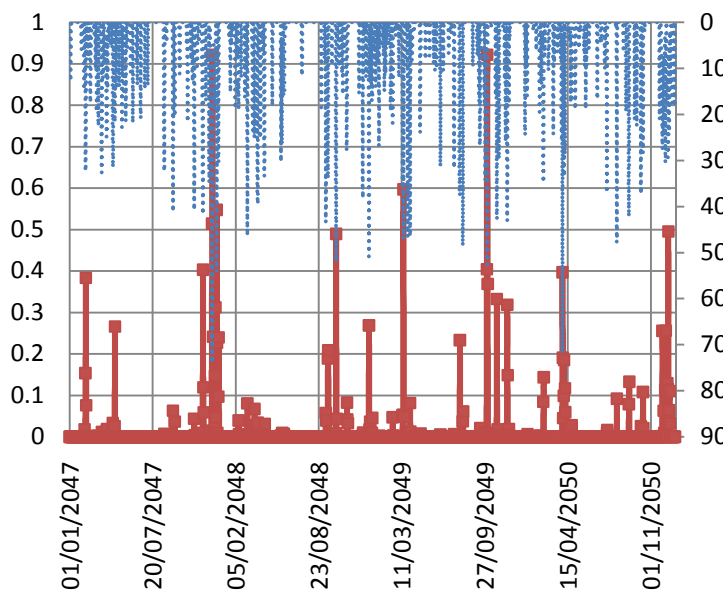


Figura VI. 19 Gráfica precipitación-escorrentía (2047-2050) para Número de curva 67 en trayectoria corriente

**2051-2055**

■ Escorrentía  
 ..... Precipitación

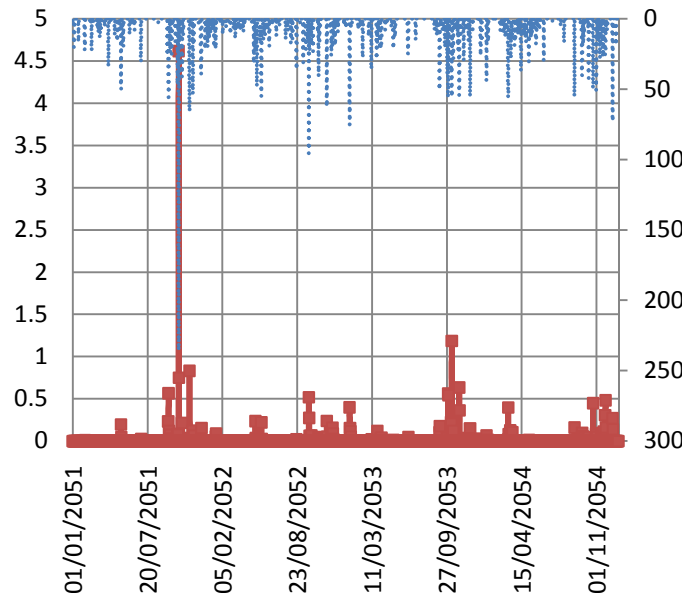


Figura VI. 20 Gráfica precipitación-escorrentía (2051-2055) para Número de curva 67 en trayectoria corriente



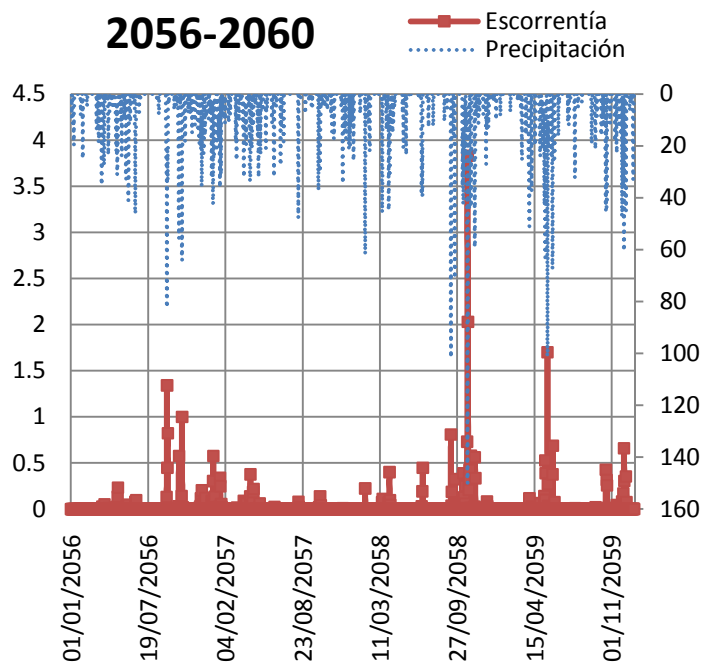
**2056-2060**

Figura VI. 21 Gráfica precipitación-escorrentía (2056-2060) para Número de curva 67 en trayectoria corriente

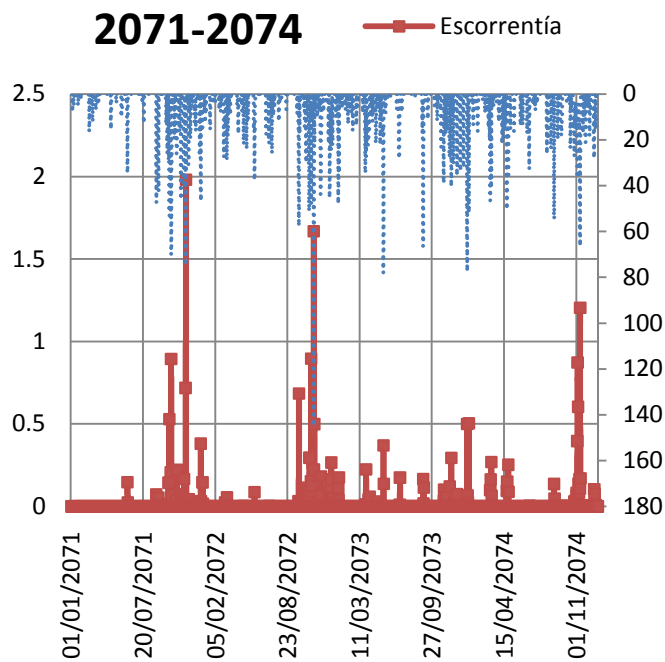
**2071-2074**

Figura VI. 22 Gráfica precipitación-escorrentía (2071-2074) para Número de curva 67 en trayectoria corriente

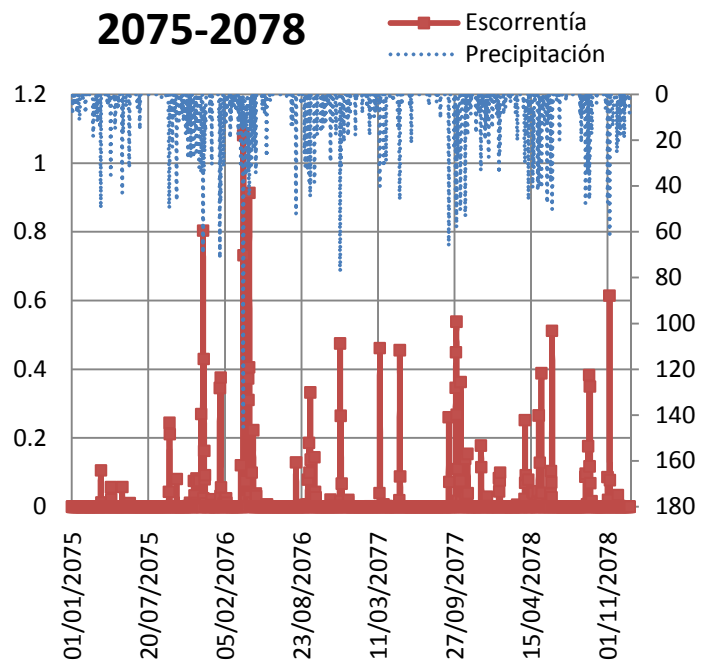
**2075-2078**

Figura VI. 23 Gráfica precipitación-escorrentía (2075-2078) para Número de curva 67 en trayectoria corriente

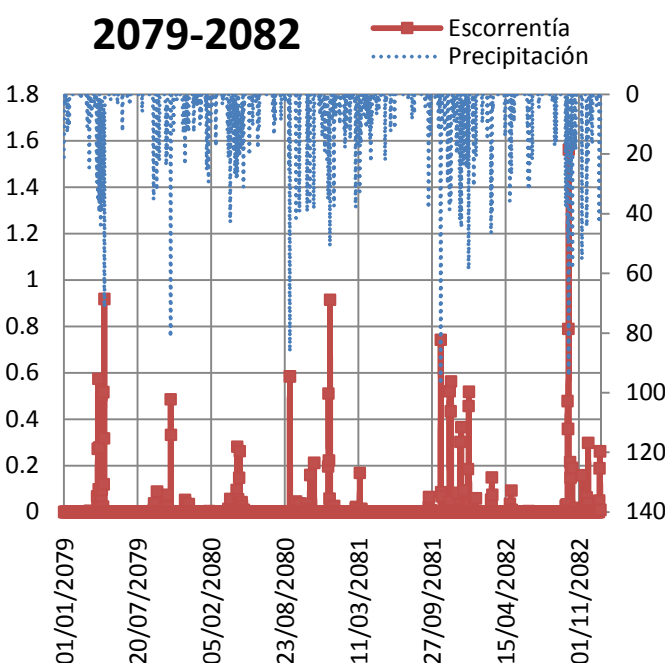
**2079-2082**

Figura VI. 24 Gráfica precipitación-escorrentía (2079-2082) para Número de curva 67 en trayectoria corriente

**2083-2086**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

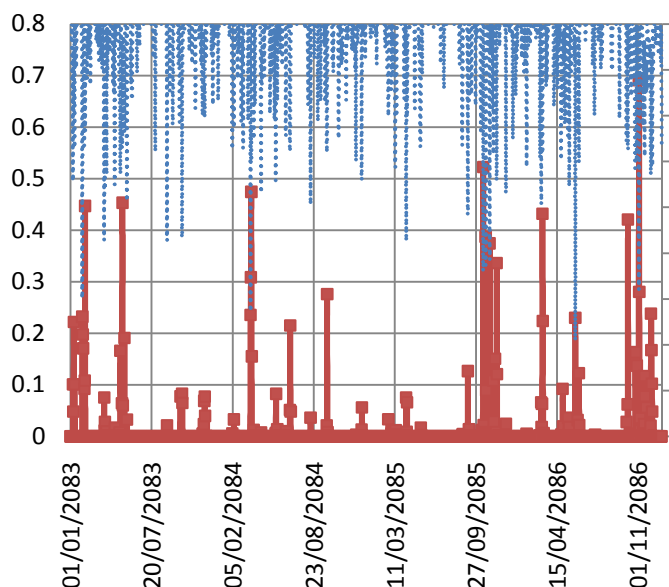


Figura VI. 25 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 67 en trayectoria corriente

**2087-2090**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

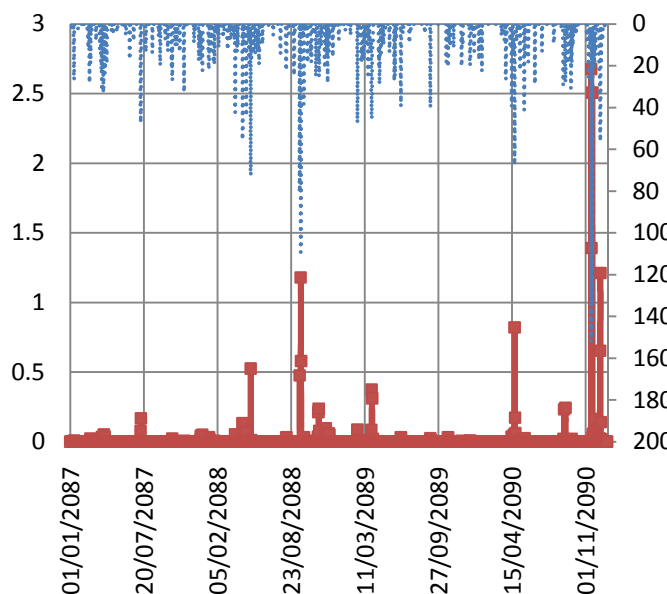


Figura VI. 26 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 67 en trayectoria corriente

**2091-2095**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

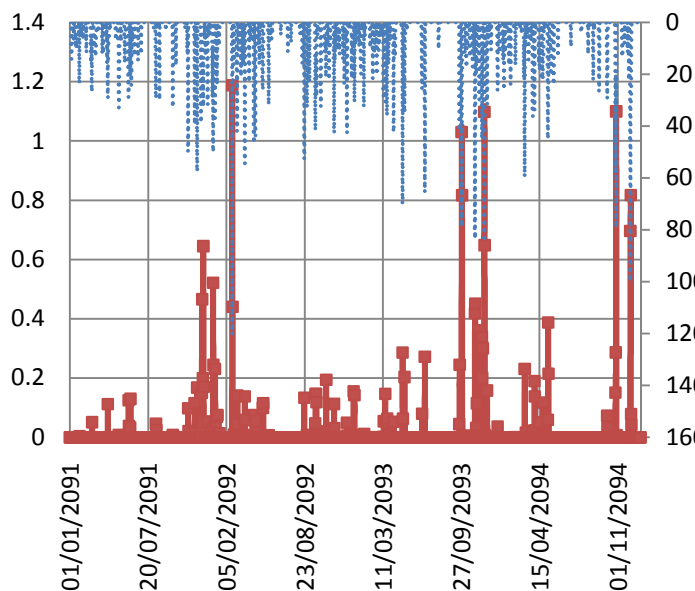


Figura VI. 27 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 67 en trayectoria corriente

**2096-2100**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

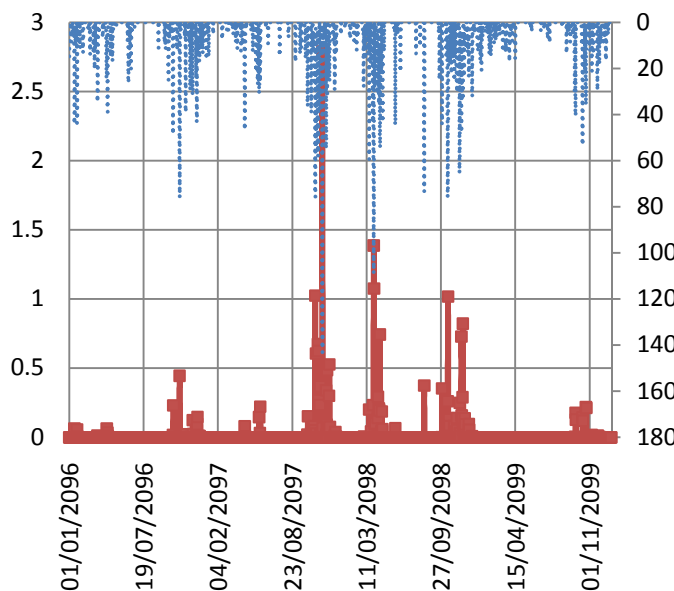


Figura VI. 28 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 67 en trayectoria corriente

## VI.I.III Trayectoria húmeda:

**2031-2034**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

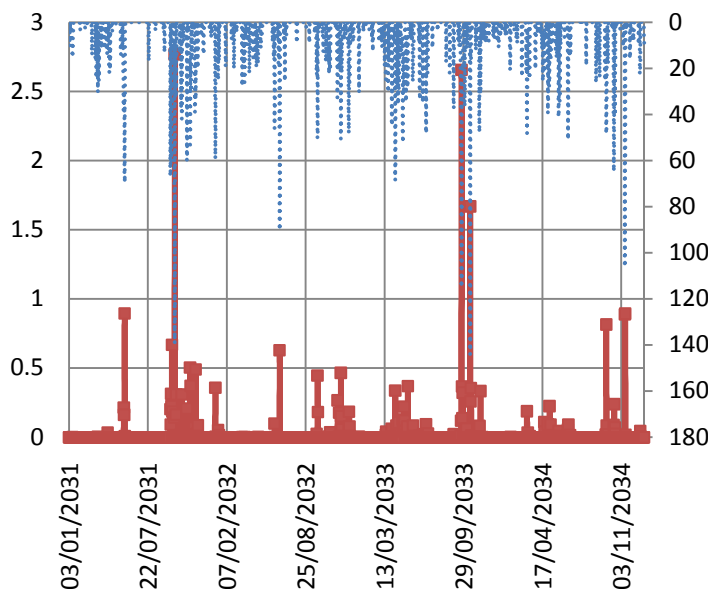


Figura VI. 29 Gráfica precipitación-escorrentía (2031-2035) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

**2035-2038**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

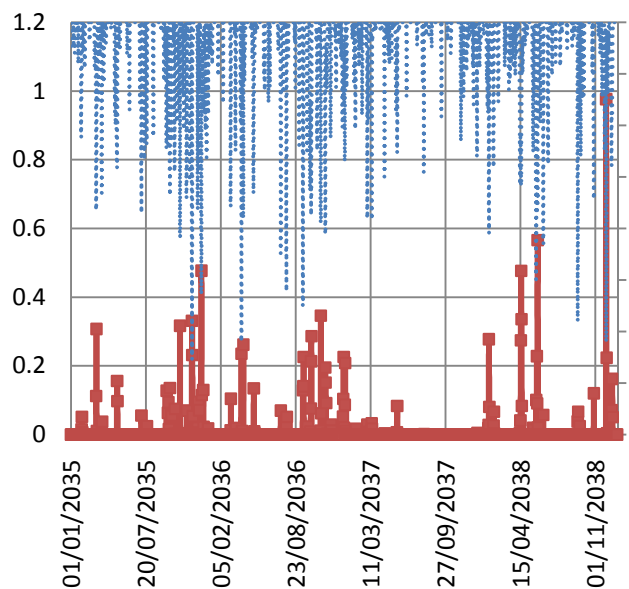


Figura VI. 30 Gráfica precipitación-escorrentía (2035-2038) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

**2039-2042**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

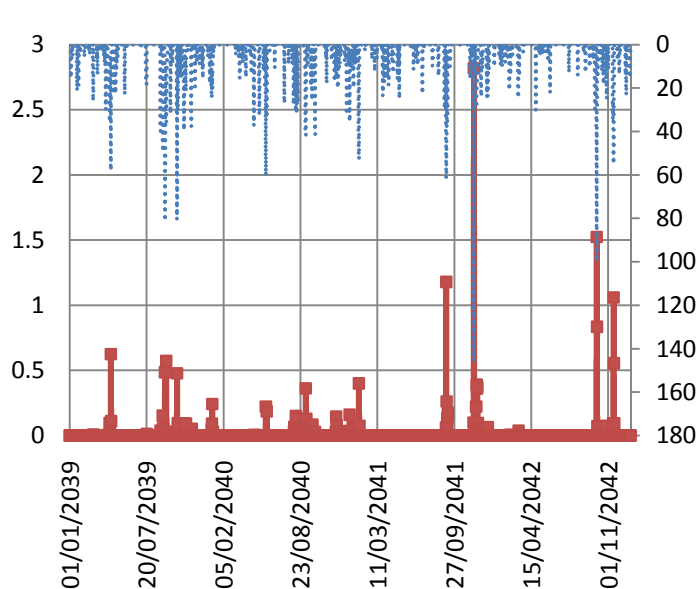


Figura VI. 31 Gráfica precipitación-escorrentía (2039-2042) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

**2043-2046**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

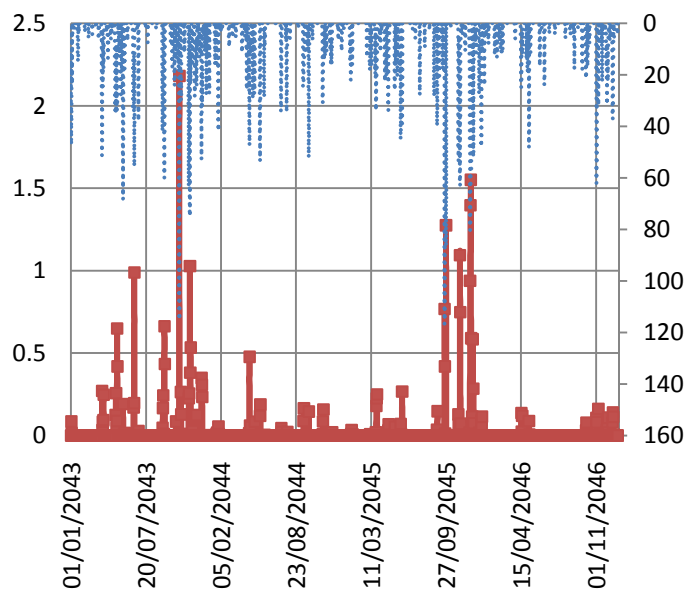


Figura VI. 32 Gráfica precipitación-escorrentía (2043-2046) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

**2047-2050**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

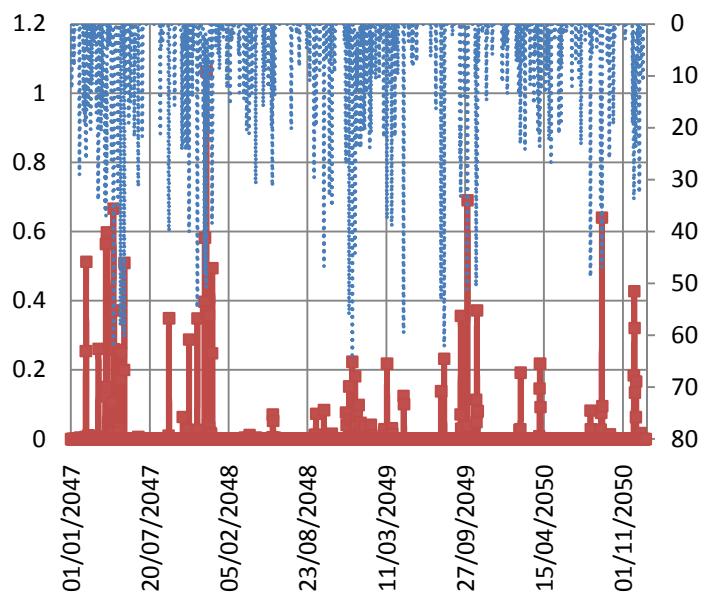


Figura VI. 33 Gráfica precipitación-escorrentía (2047-2050) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

**2051-2055**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

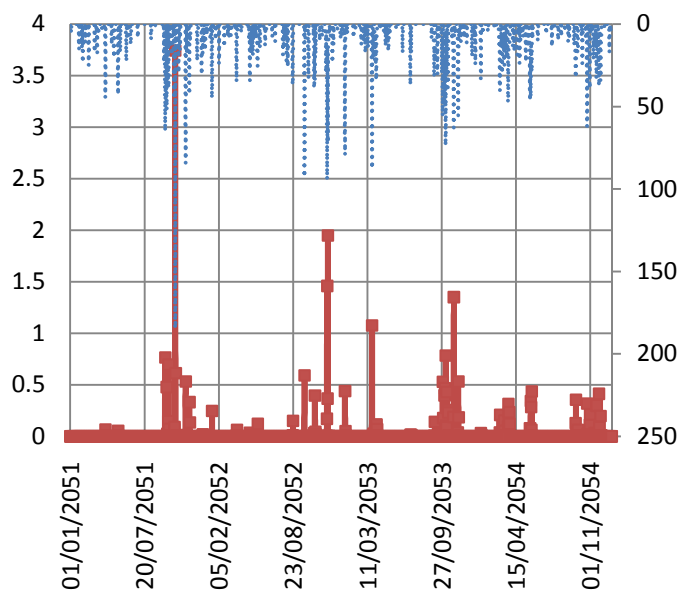


Figura VI. 34 Gráfica precipitación-escorrentía (2051-2055) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

**2056-2060**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

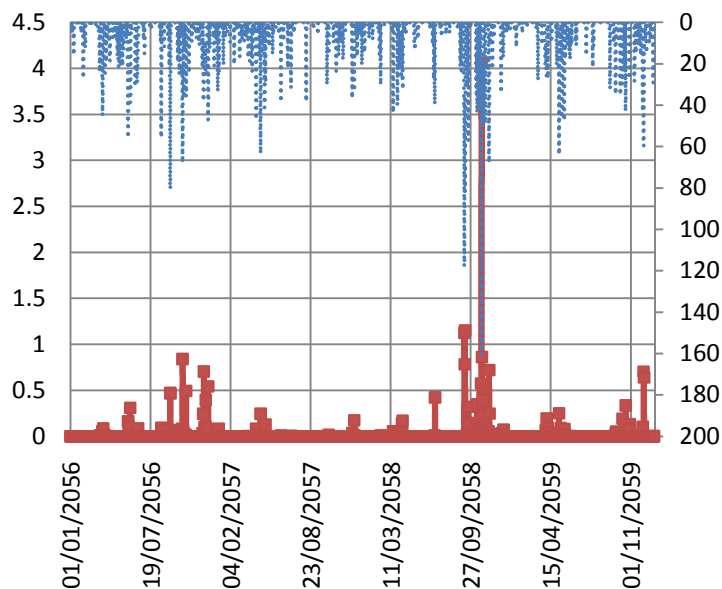


Figura VI. 35 Gráfica precipitación-escorrentía (2056-2060) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

**2071-2074**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

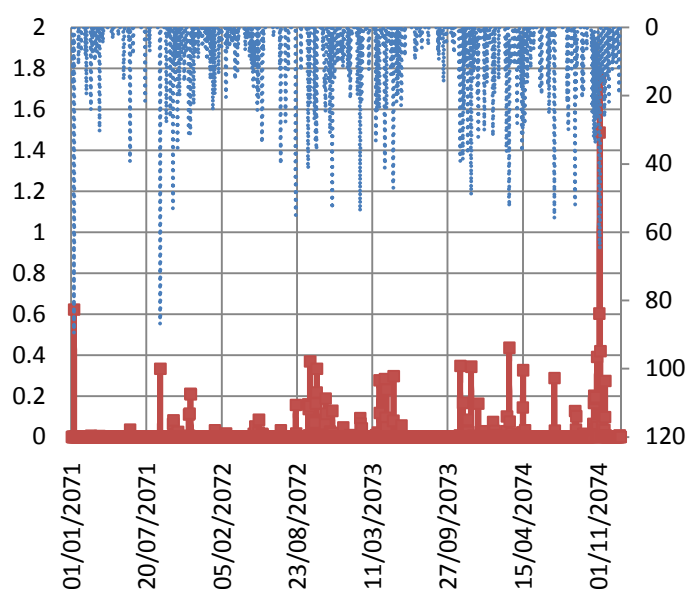


Figura VI. 36 Gráfica precipitación-escorrentía (2071-2075) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

**2075-2078**

■ Escorrentía  
● Precipitación

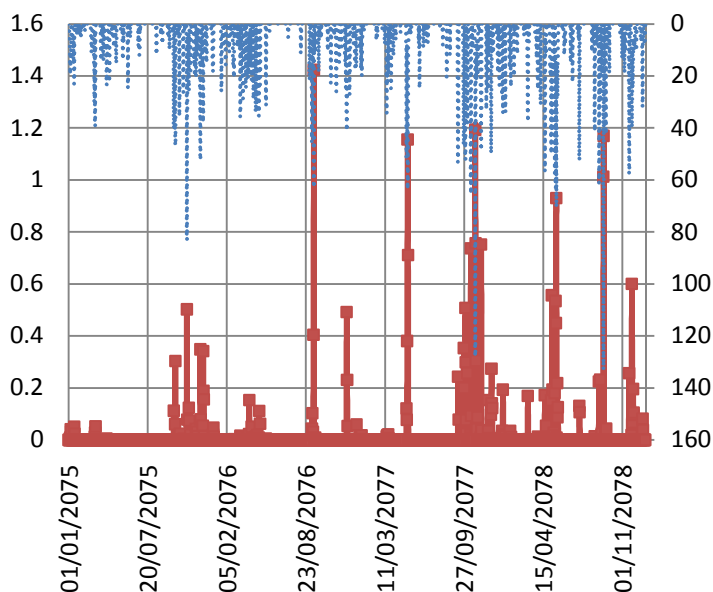


Figura VI. 37 Gráfica precipitación-escorrentía (2075-2078) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

**2079-2082**

■ Escorrentía  
● Precipitación

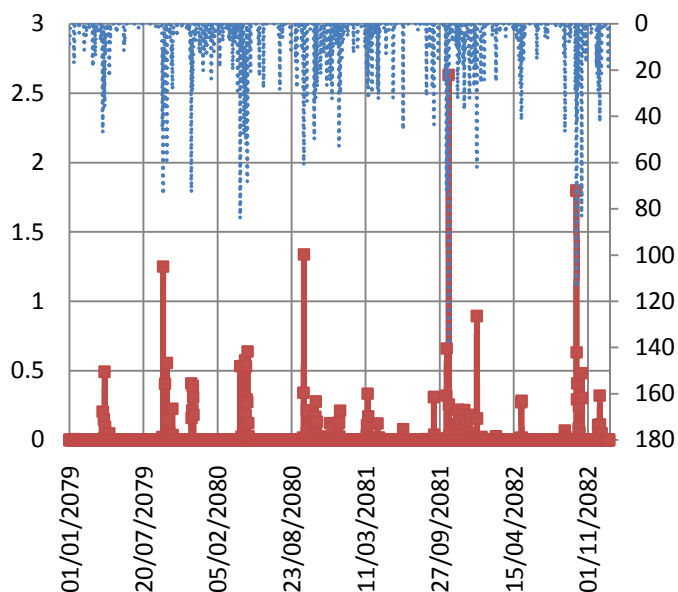


Figura VI. 38 Gráfica precipitación-escorrentía (2079-2082) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

**2083-2086**

■ Escorrentía  
● Precipitación

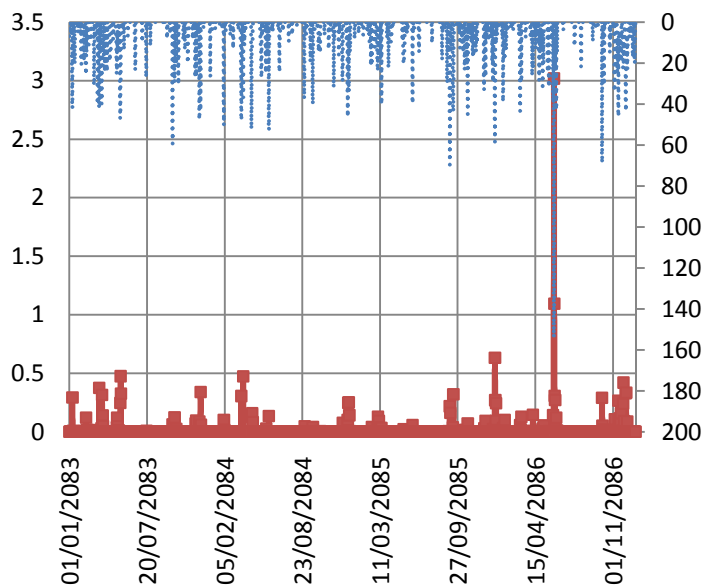


Figura VI. 39 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

**2087-2090**

■ Escorrentía  
● Precipitación

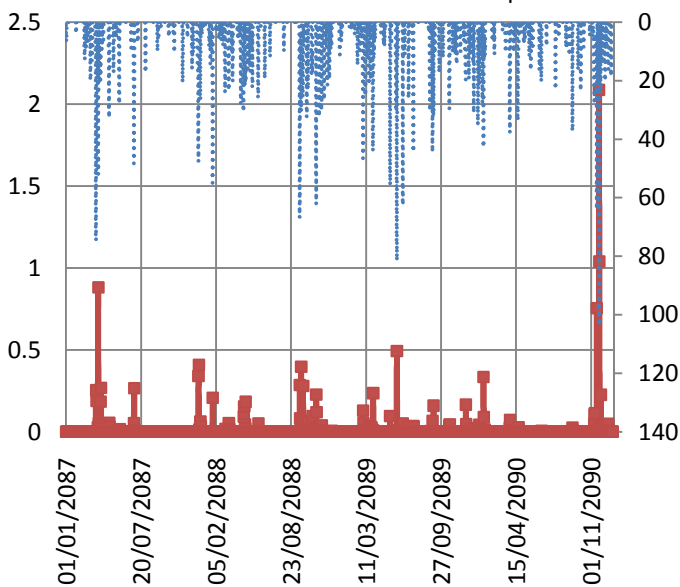


Figura VI. 40 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

**2091-2095**

—■— Escorrentía  
—●— Precipitación

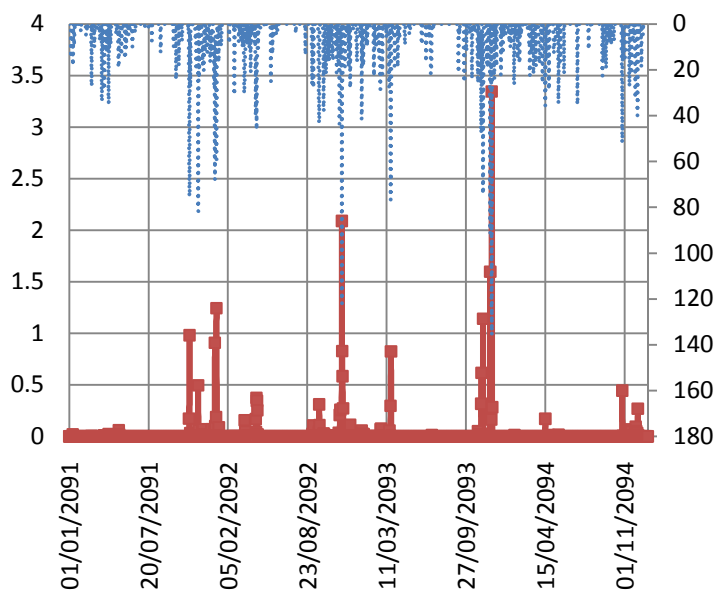


Figura VI. 41 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

**2096-2100**

—■— Escorrentía  
—●— Precipitación

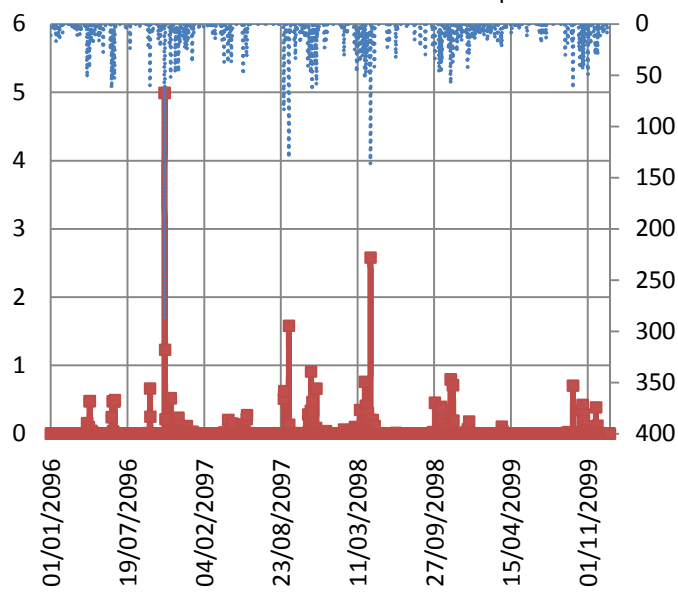


Figura VI. 42 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 67 en trayectoria húmeda

Las tablas siguientes son un resumen de las conclusiones que se obtienen después de analizar las gráficas anteriores. La tabla VI.1 representa los máximos de precipitación y de caudal a medio plazo (2030-2060) y a largo plazo (2070-2100) para un número de curva constante de 67 para trayectoria seca, corriente y húmeda.

La tabla VI.2 recoge el número de avenidas que se prevén durante los años de estudio en este escenario (número de curva constante de 67) y como consecuencia el número de eventos en que se va a poder dividir cada trío de años analizados.

<b>Número de curva 67</b>						
	<b>Trayectoria seca</b>		<b>Trayectoria corriente</b>		<b>Trayectoria húmeda</b>	
	P(mm)	Q(mm <sup>3</sup> /s)	P(mm)	Q(mm <sup>3</sup> /s)	P(mm)	Q(mm <sup>3</sup> /s)
(2030-2060)						
2031-2034	142.2	3.6	134.54	2.42	142	2.77
2035-2038	103	1.23	110	1.23	65.5	0.98
2039-2042	128.4	2.35	128.4	2.35	145.6	2.82
2043-2046	140.7	2.84	140.7	2.84	116.5	2.18
2047-2050	71.8	0.92	72	0.92	63.8	1.06
2051-2055	235.6	4.62	235.6	4.62	184.2	3.74
2056-2060	150	3.83	150	3.83	160.4	4.06
(2070-2100)						
2071-2074	135	1.71	145	1.98	89.7	1.75
2075-2078	122	2	148	1.08	132.7	1.42
2079-2082	138.3	2.91	96.9	1.59	138.8	2.6
2083-2086	72.9	0.56	69.1	0.69	153.7	3.02
2087-2090	75	0.67	152	2.68	103.6	2.08
2091-2095	146.5	3.02	120.4	1.19	135.6	3.34
2096-2100	128.9	2.26	142	2.79	287.7	5

Tabla VI. 1 Máximos de precipitación y escorrentía de 2030 a 2100 con número de curva 67.

## EVENTOS CON NÚMERO DE CURVA 67

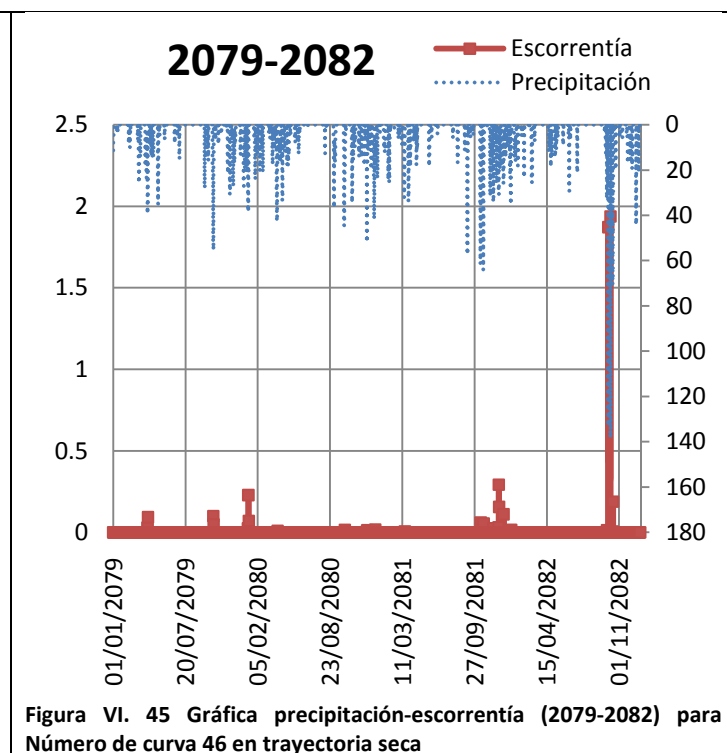
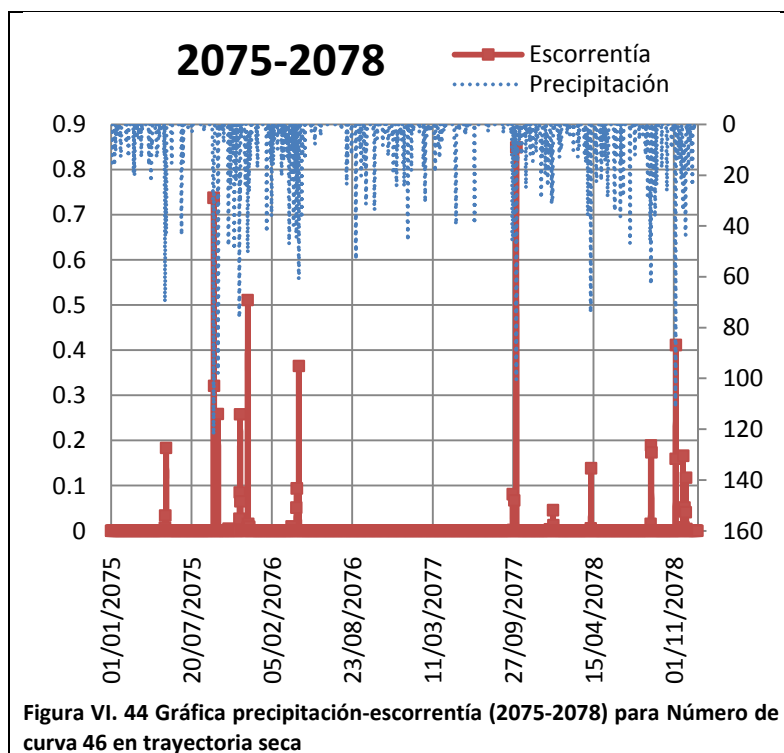
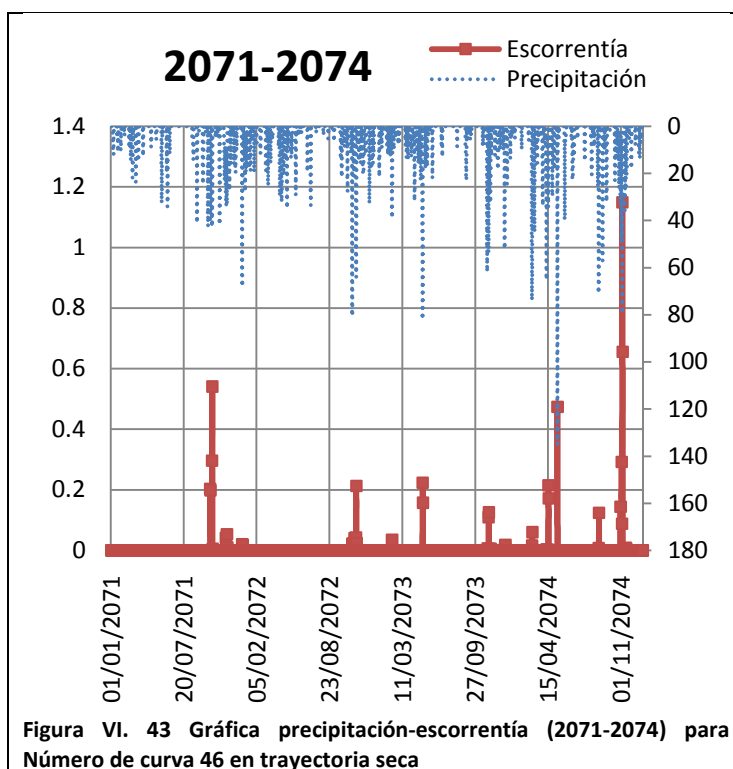
Trayectoria seca							
	2031-2034	2035-2038	2039-2042	2043-2046	2047-2050	2051-2055	2056-2060
$0.5 < Q < 1.0$	4	5	1	5	4	4	6
$1.0 < Q < 2.0$	2	2	3	2	0	2	3
$Q > 2.0$	2	0	1	1	0	0	2
	2071-2074	2075-2078	2079-2082	2083-2086	2087-2090	2091-2095	2096-2100
$0.5 < Q < 1.0$	5	5	3	2	2	8	8
$1.0 < Q < 2.0$	2	3	0	0	0	3	3
$Q > 2.0$	0	1	1	0	0	1	1
Trayectoria corriente							
	2031-2034	2035-2038	2039-2042	2043-2046	2047-2050	2051-2055	2056-2060
$0.5 < Q < 1.0$	8	5	2	5	3	5	6
$1.0 < Q < 2.0$	4	2	3	2	0	1	3
$Q > 2.0$	2	0	1	1	0	1	1
	2071-2074	2075-2078	2079-2082	2083-2086	2087-2090	2091-2095	2096-2100
$0.5 < Q < 1.0$	5	5	7	2	4	5	3
$1.0 < Q < 2.0$	3	1	1	0	3	4	3
$Q > 2.0$	0	0	0	0	1	0	1
Trayectoria húmeda							
	2031-2034	2035-2038	2039-2042	2043-2046	2047-2050	2051-2055	2056-2060
$0.5 < Q < 1.0$	6	2	4	7	7	6	6
$1.0 < Q < 2.0$	1	0	2	4	0	3	1
$Q > 2.0$	1	0	1	1	0	1	1
	2071-2074	2075-2078	2079-2082	2083-2086	2087-2090	2091-2095	2096-2100
$0.5 < Q < 1.0$	2	6	6	1	2	5	7
$1.0 < Q < 2.0$	1	4	3	1	1	3	2
$Q > 2.0$	0	0	1	1	1	2	2

Tabla VI. 2 Cuantificación de la previsión del número de eventos desde 2030 a 2100 con número de curva de 67.

## VI.II. Cambio del número de curva para los últimos 30 años por reforestación.



## VI.II.I Trayectoria seca



**2083-2086**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

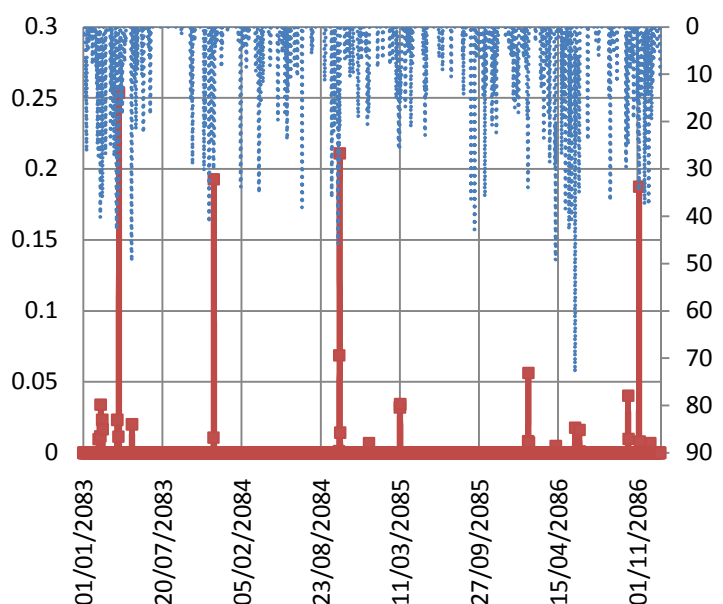


Figura VI. 46 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 46 en trayectoria seca

**2087-2090**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

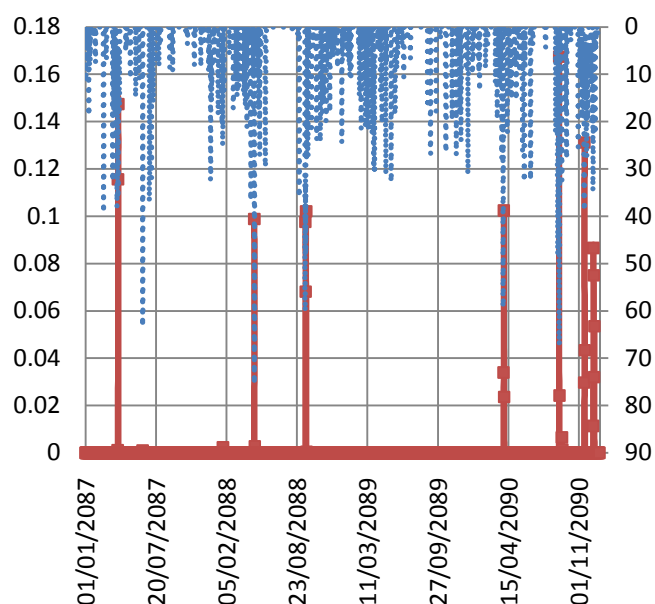


Figura VI. 47 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 46 en trayectoria seca

**2091-2095**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

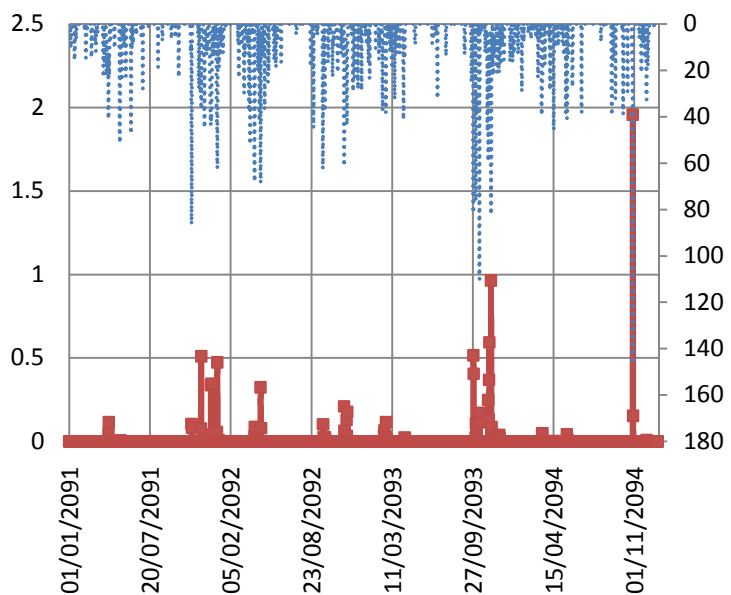


Figura VI. 48 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 46 en trayectoria seca

**2096-2100**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

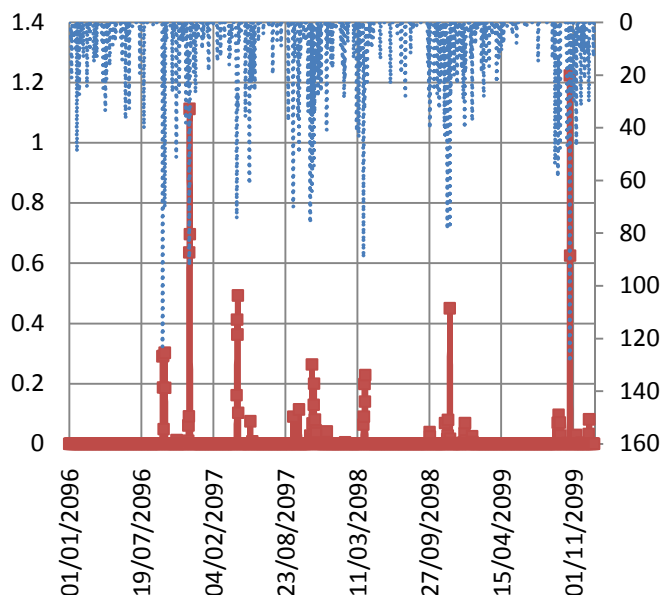


Figura VI. 49 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 46 en trayectoria seca

## VI.II.II Trayectoria corriente

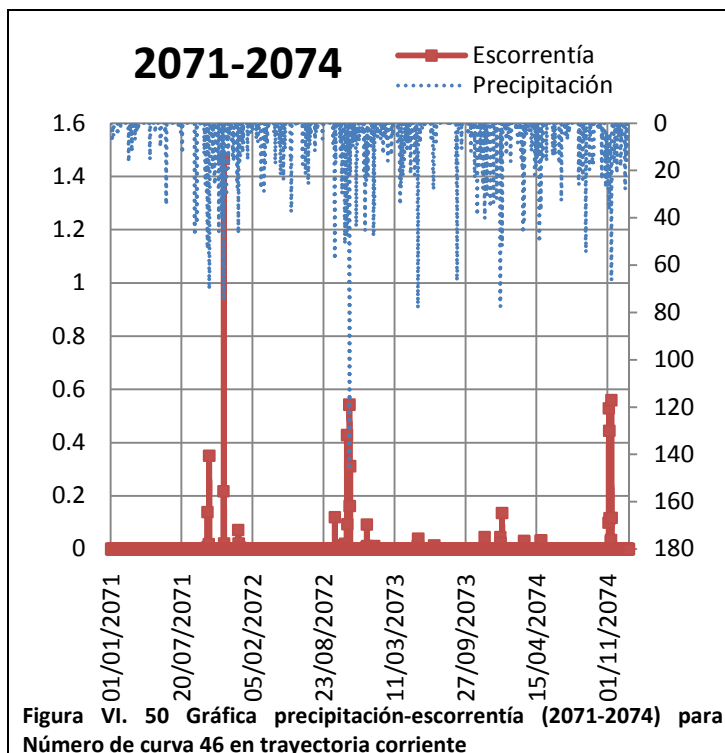
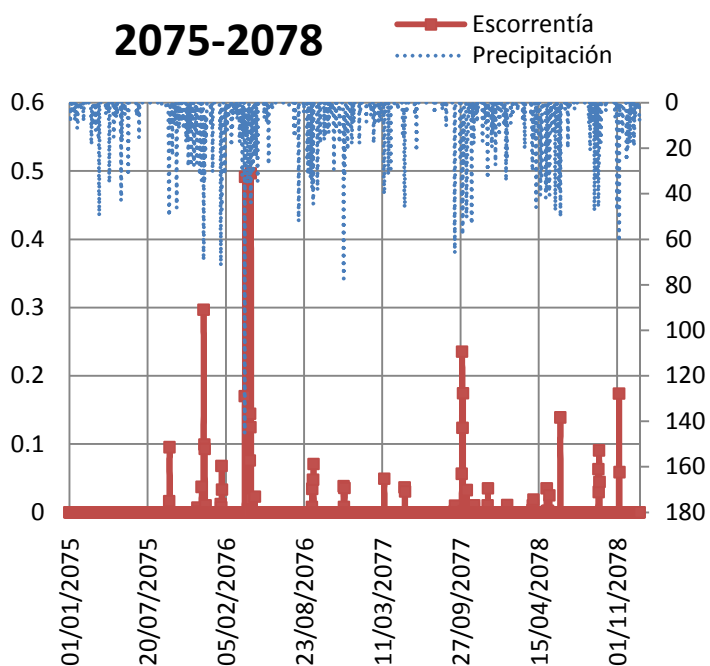
**2075-2078**

Figura VI. 51 Gráfica precipitación-escorrentía (2075-2078) para Número de curva 46 en trayectoria corriente

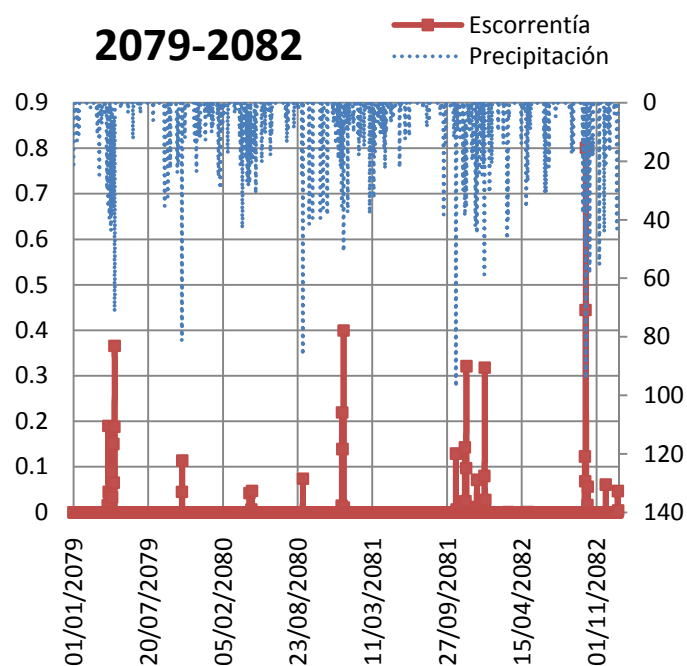
**2079-2082**

Figura VI. 52 Gráfica precipitación-escorrentía (2079-2082) para Número de curva 46 en trayectoria corriente

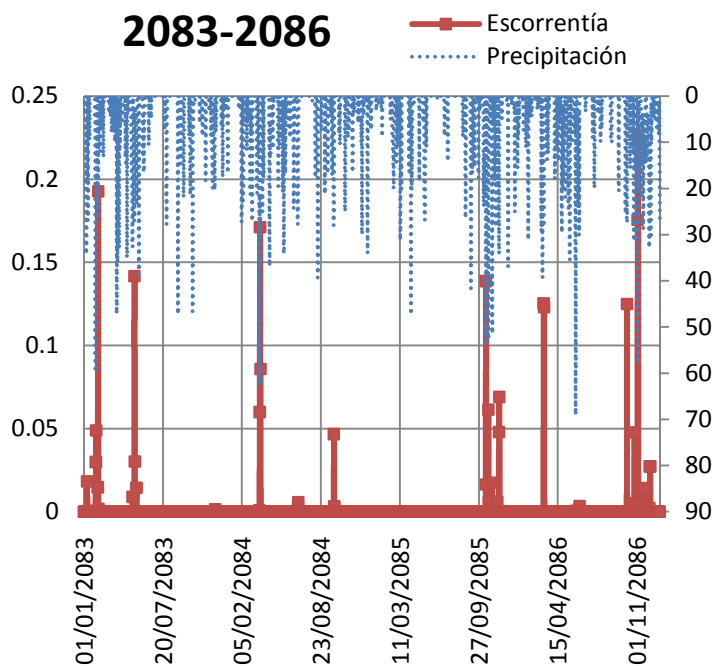
**2083-2086**

Figura VI. 53 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 46 en trayectoria corriente

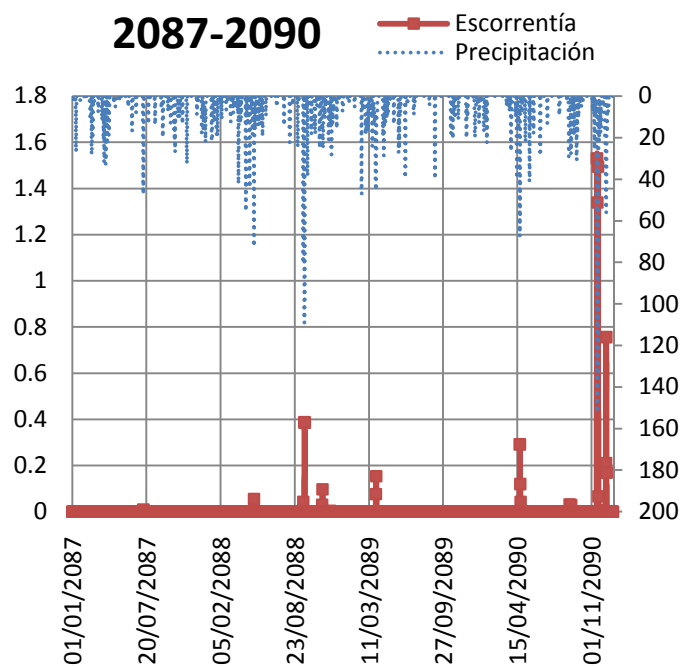
**2087-2090**

Figura VI. 54 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 46 en trayectoria corriente

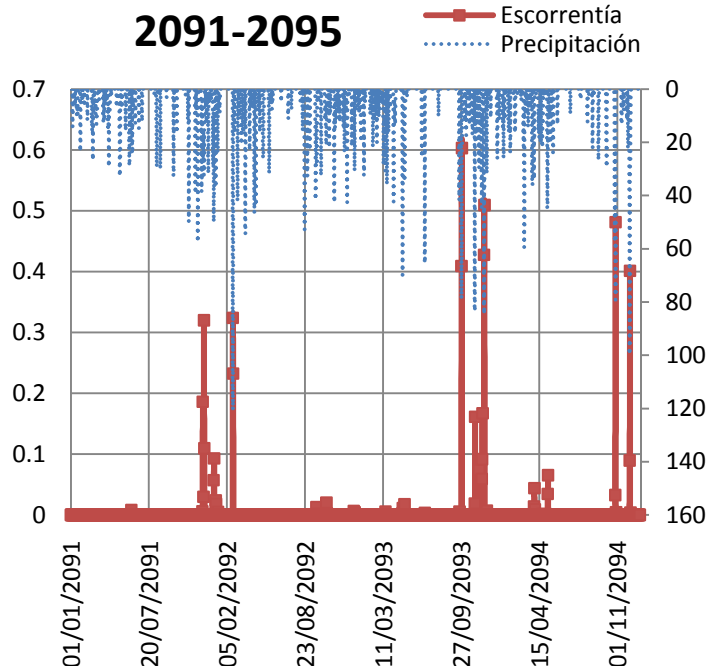
**2091-2095**

Figura VI. 55 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 46 en trayectoria corriente

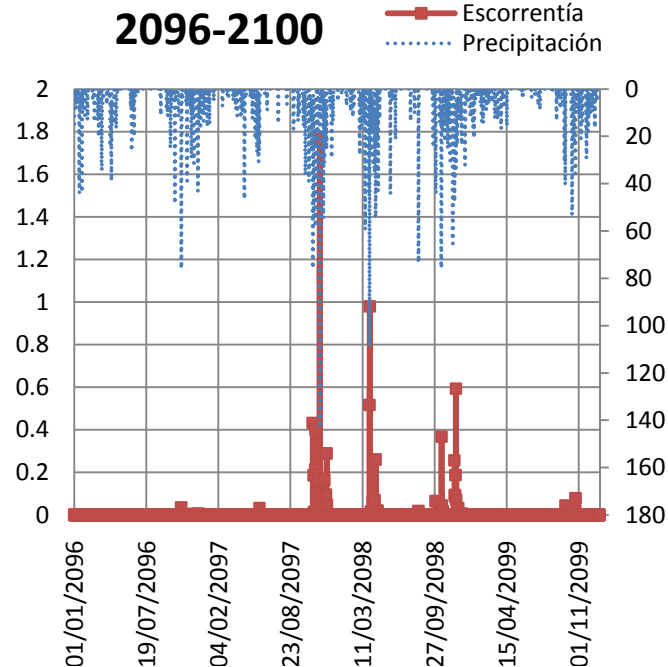
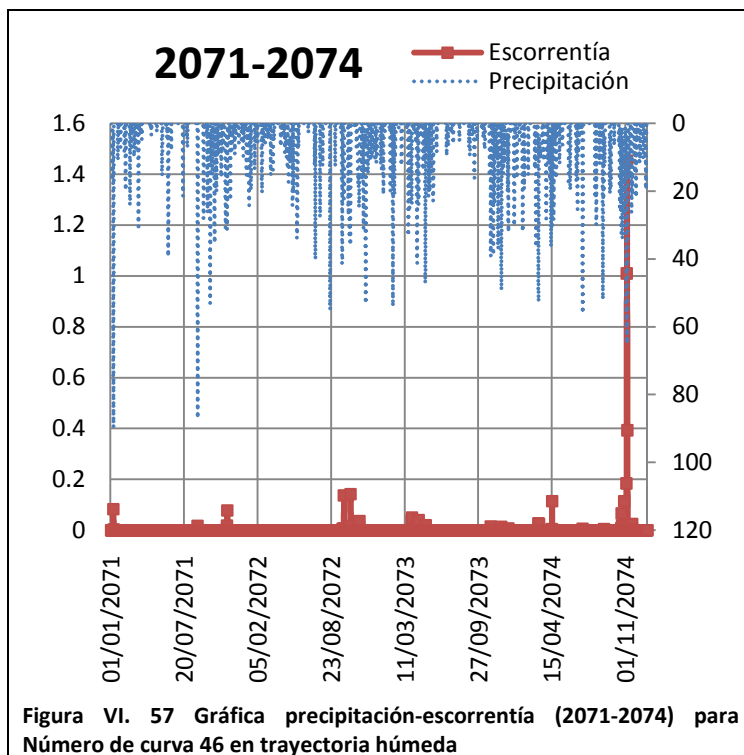
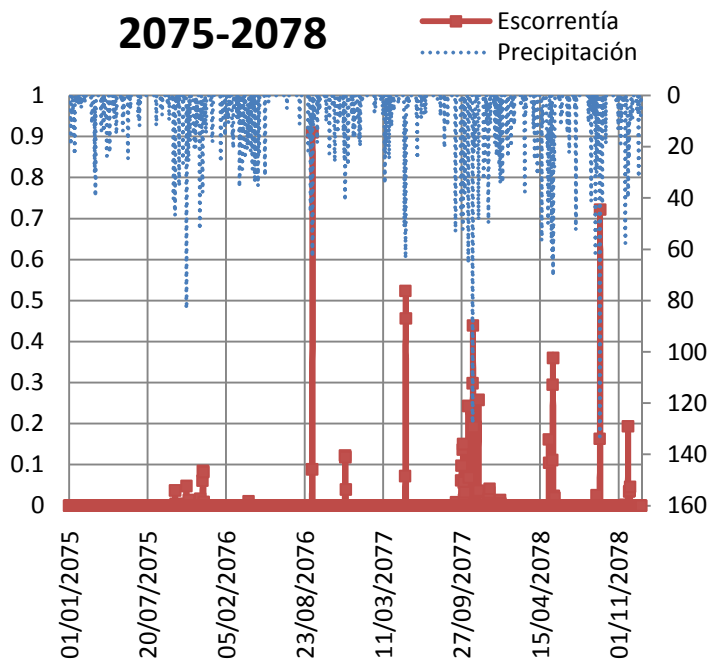
**2096-2100**

Figura VI. 56 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 46 en trayectoria corriente

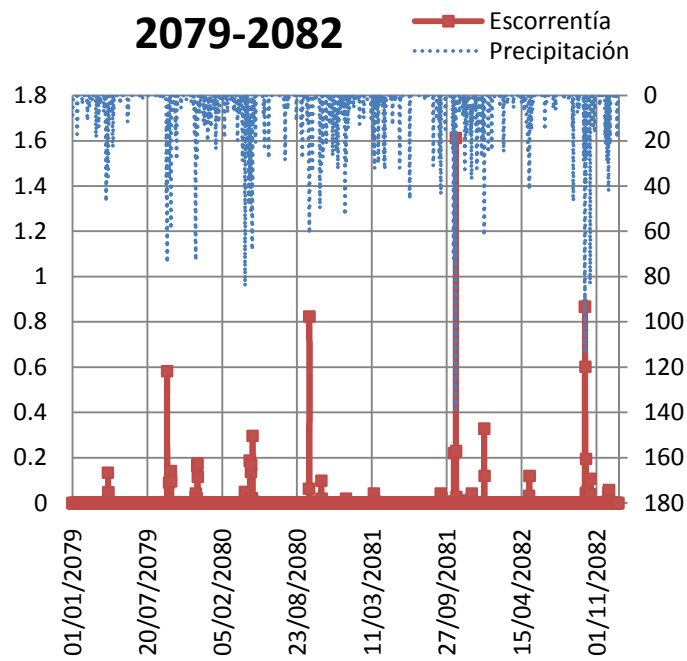
## VI.II.III Trayectoria húmeda



## 2075-2078



## 2079-2082



### 2083-2086

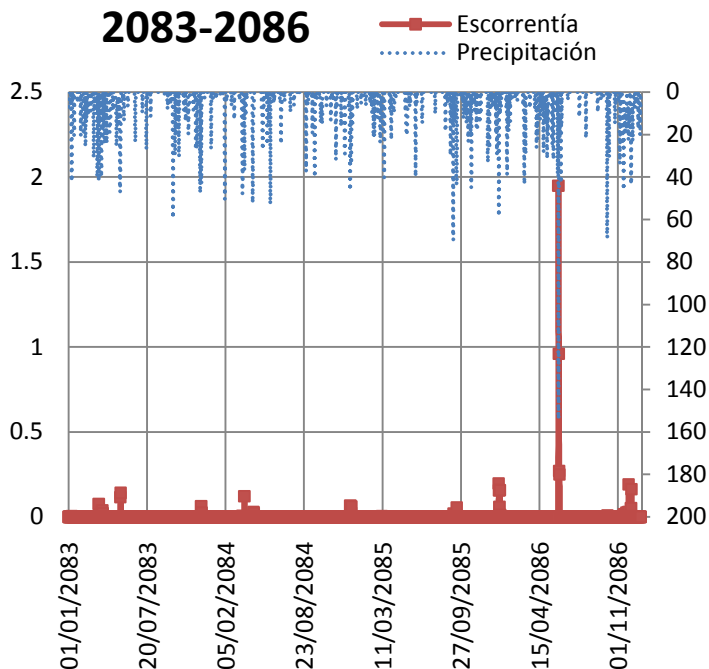


Figura VI. 60 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 46 en trayectoria húmeda

### 2087-2090

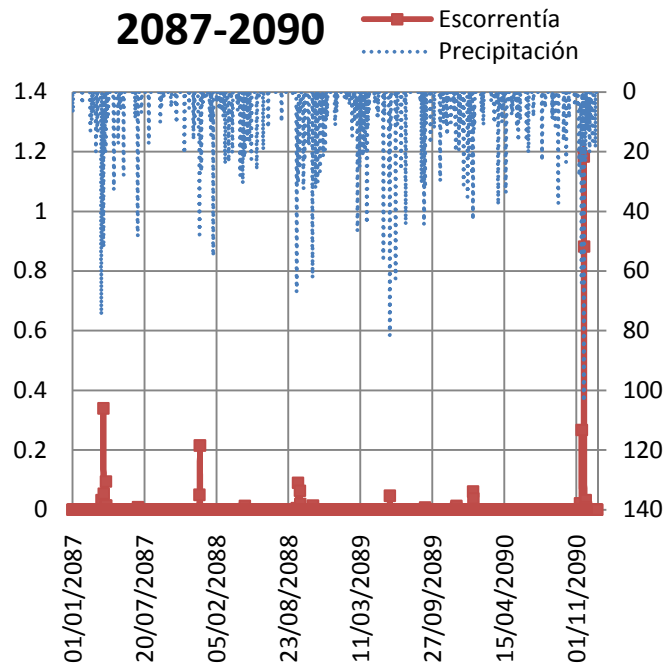


Figura VI. 61 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 46 en trayectoria húmeda

### 2091-2095

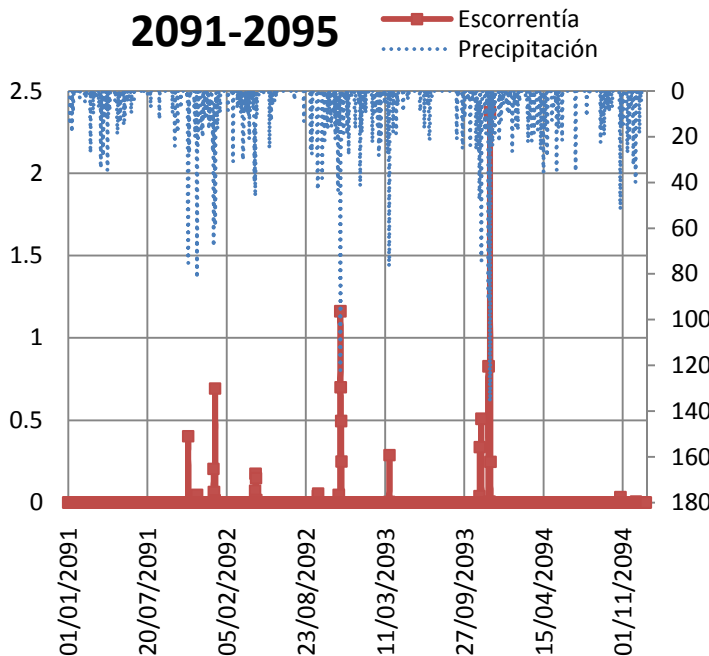


Figura VI. 62 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 46 en trayectoria húmeda

### 2096-2100

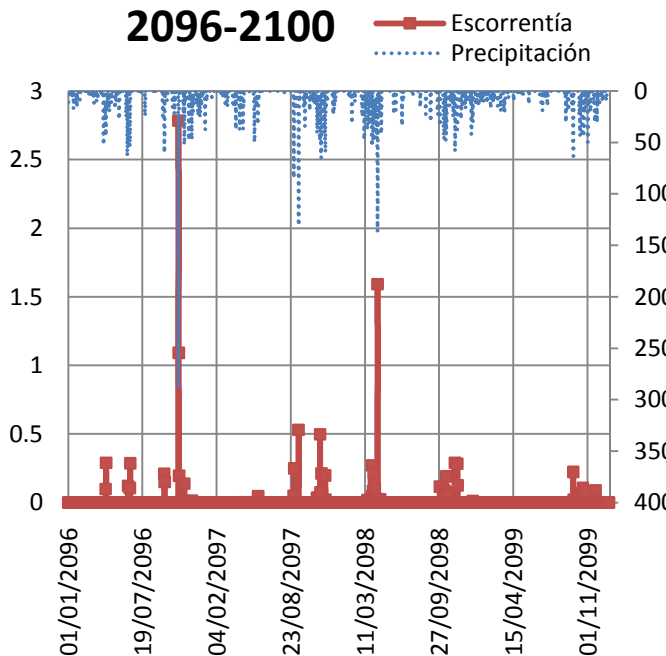


Figura VI. 63 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 46 en trayectoria húmeda

La siguiente tabla recoge los máximos de precipitación y esorrentía como resultado de lo observado gráficamente durante los años 2030-2060 (número de curva 67) y los años 2070-2100 (número de curva 46).

<b>Reforestación (NC=67; NC= 46)</b>						
	Trayectoria seca		Trayectoria corriente		Trayectoria húmeda	
(2030-2060)	P(mm)	Q(mm3/s)	P(mm)	Q(mm3/s)	P(mm)	Q(mm3/s)
2031-2034	142.2	3.6	134.54	2.42	142	2.77
2035-2038	103	1.23	110	1.23	65.5	0.98
2039-2042	128.4	2.35	128.4	2.35	145.6	2.82
2043-2046	140.7	2.84	140.7	2.84	116.5	2.18
2047-2050	71.8	0.92	72	0.92	63.8	1.06
2051-2055	235.6	4.62	235.6	4.62	184.2	3.74
2056-2060	150	3.83	150	3.83	160.4	4.06
(2070-2100)	P(mm)	Q(mm3/s)	P(mm)	Q(mm3/s)	P(mm)	Q(mm3/s)
2071-2074	135	1.15	145	1.46	89.7	1.45
2075-2078	122	0.85	148	0.49	132.7	0.91
2079-2082	138.3	1.94	96.9	0.8	138.8	1.61
2083-2086	72.9	0.25	69.1	0.22	153.7	1.95
2087-2090	75	0.17	152	1.53	103.6	1.18
2091-2095	146.5	1.96	120.4	0.6	135.6	2.37
2096-2100	128.9	1.22	142	1.76	287.7	2.78

Tabla VI. 3 Máximos de precipitación y esorrentía para número de curva 67 de 2030 a 2060 y de 46 de 2070 a 2100.

En la siguiente tabla se estudian las posibles avenidas que puede haber, a partir de cierto caudal para una posterior división en eventos, según la fecha a la que correspondan dichas avenidas.

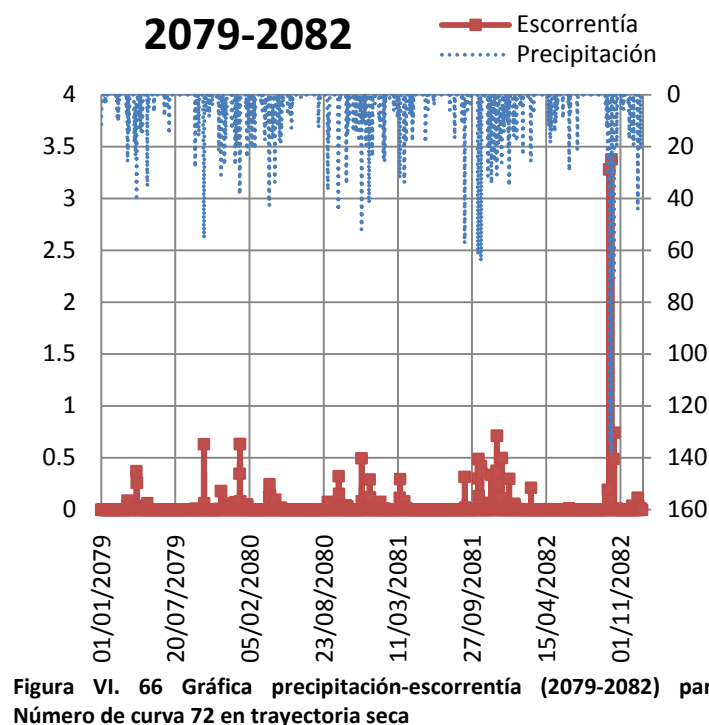
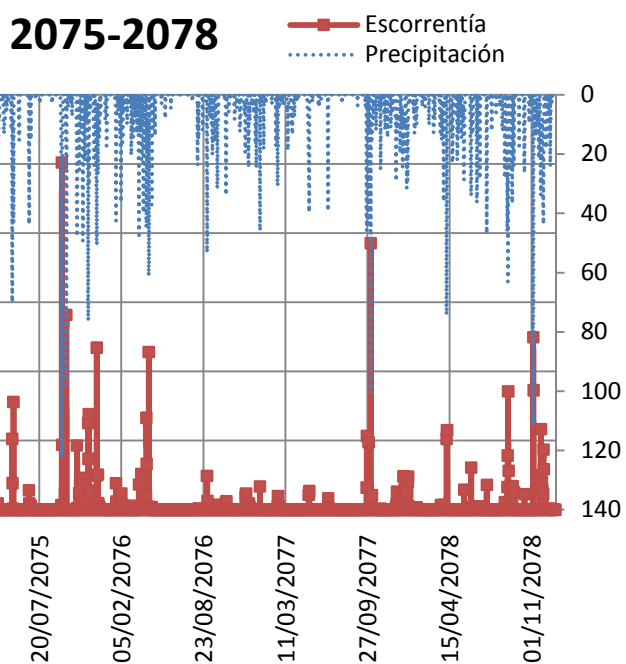
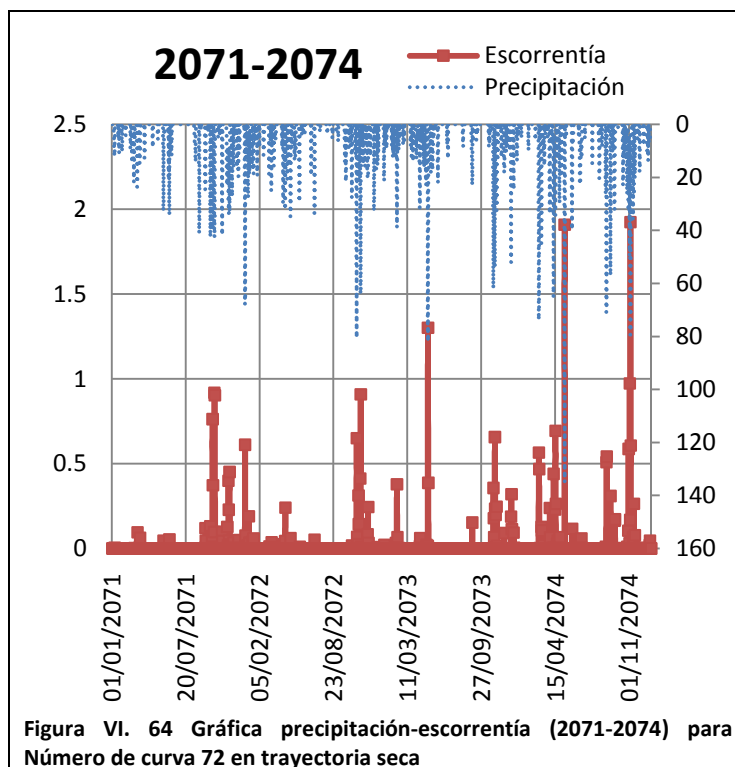
EVENTOS CON REFORESTACIÓN, NC=46							
Trayectoria seca							
	2031-2034	2035-2038	2039-2042	2043-2046	2047-2050	2051-2055	2056-2060
$0.5 < Q < 1.0$	4	5	1	5	4	4	6
$1.0 < Q < 2.0$	2	2	3	2	0	2	3
$Q > 2.0$	2	0	1	1	0	0	2
	2071-2074	2075-2078	2079-2082	2083-2086	2087-2090	2091-2095	2096-2100
$0.1 < Q < 0.5$	6	9	3	4	5	11	5
$0.5 < Q < 1.0$	2	3	0	0	0	3	2
$1.0 < Q < 2.0$	0	0	1	0	0	1	2
Trayectoria corriente							
	2031-2034	2035-2038	2039-2042	2043-2046	2047-2050	2051-2055	2056-2060
$0.5 < Q < 1.0$	8	5	2	5	3	5	6
$1.0 < Q < 2.0$	4	2	3	2	0	1	3
$Q > 2.0$	2	0	1	1	0	1	1
	2071-2074	2075-2078	2079-2082	2083-2086	2087-2090	2091-2095	2096-2100
$0.1 < Q < 0.5$	5	5	7	7	4	8	5
$0.5 < Q < 1.0$	2	0	1	0	1	2	2
$1.0 < Q < 2.0$	1	0	0	0	0	0	1
Trayectoria húmeda							
	2031-2034	2035-2038	2039-2042	2043-2046	2047-2050	2051-2055	2056-2060
$0.5 < Q < 1.0$	6	2	4	7	7	6	6
$1.0 < Q < 2.0$	1	0	2	4	0	3	1
$Q > 2.0$	1	0	1	1	0	1	0
	2071-2074	2075-2078	2079-2082	2083-2086	2087-2090	2091-2095	2096-2100
$0.1 < Q < 0.5$	4	7	8	5	3	7	10
$0.5 < Q < 1.0$	1	3	3	1	1	4	2
$1.0 < Q < 2.0$	1	0	1	1	1	1	2
$Q > 2.0$	0	0	0	0	0	1	1

Tabla VI. 4 Cuantificación de la previsión del número de eventos desde 2030 a 2060 con número de curva de 67 y de 2070 a 2100 con número de curva de 46.



### VI.III. Cambio del número de curva para los últimos 30 años por desertización.

#### VI.III.I Trayectoria seca



**2083-2086**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

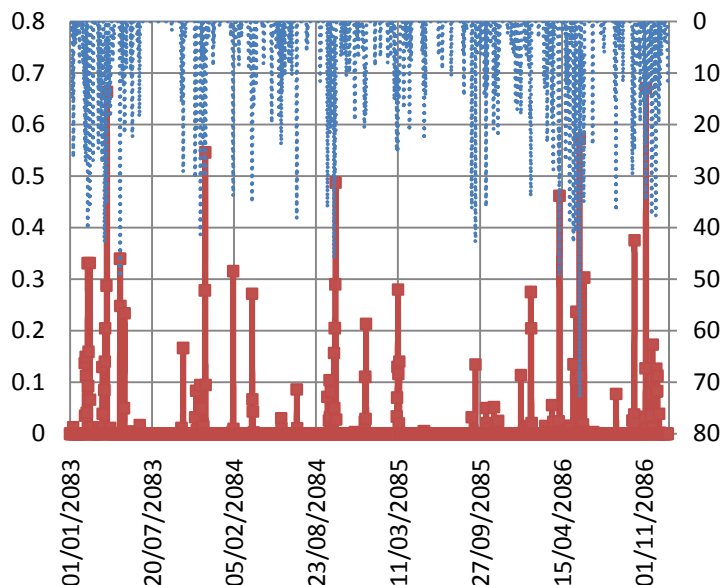


Figura VI. 67 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 72 en trayectoria seca

**2087-2090**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

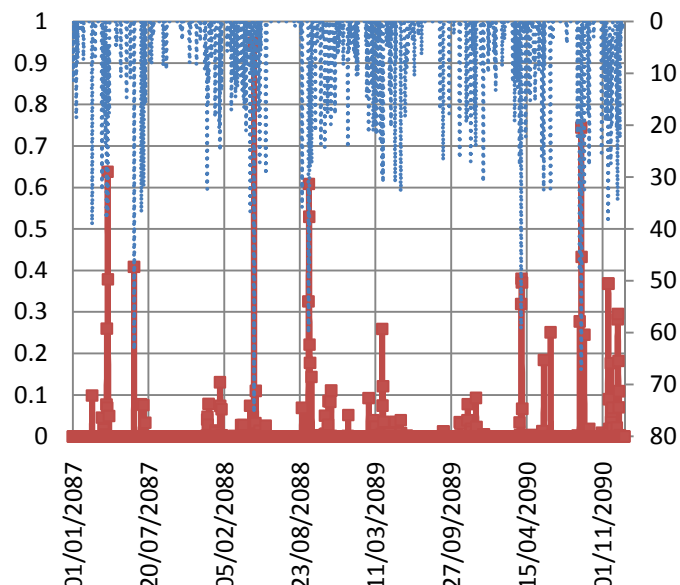


Figura VI. 68 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 72 en trayectoria seca

**2091-2095**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

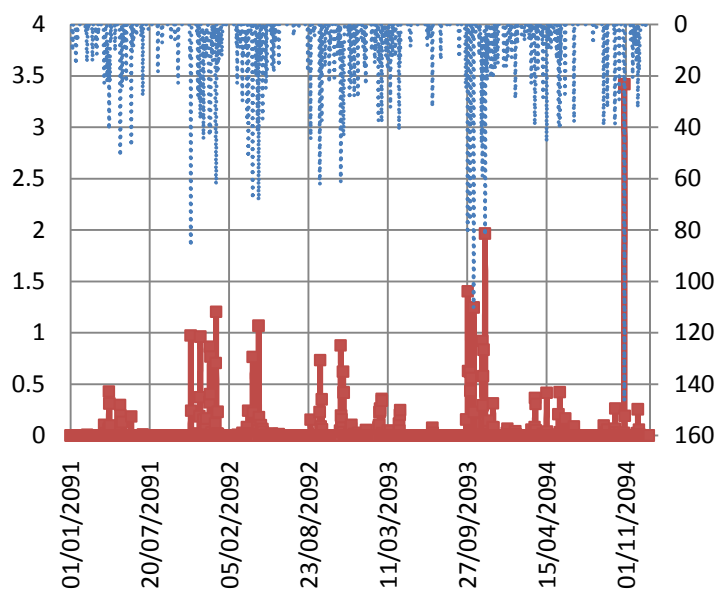


Figura VI. 69 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 72 en trayectoria seca

**2096-2100**

—■— Escorrentía  
 ..... Precipitación

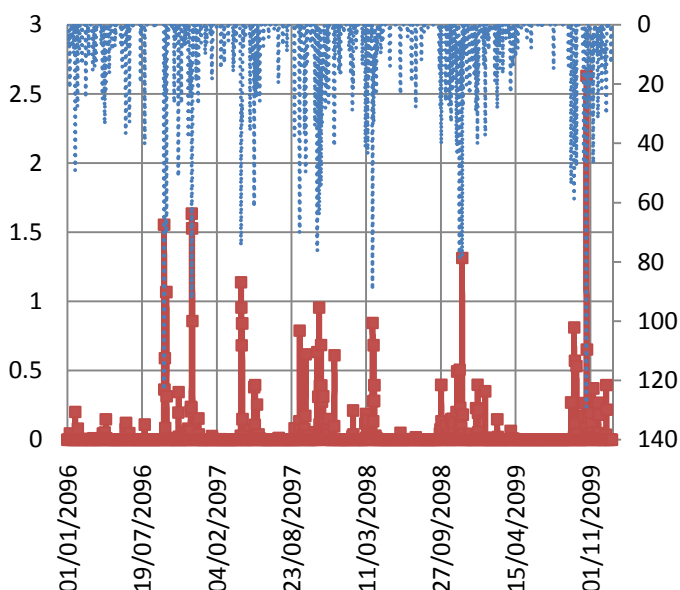
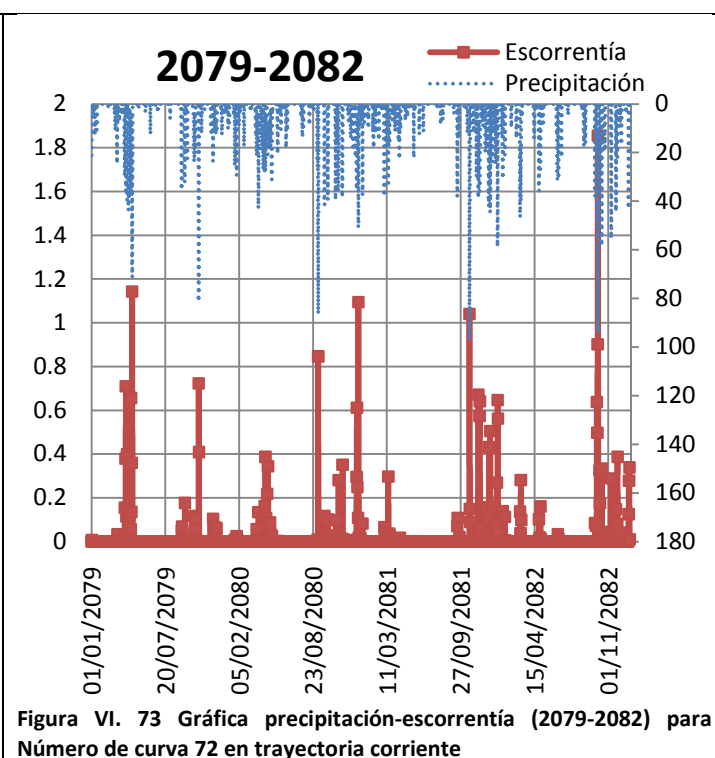
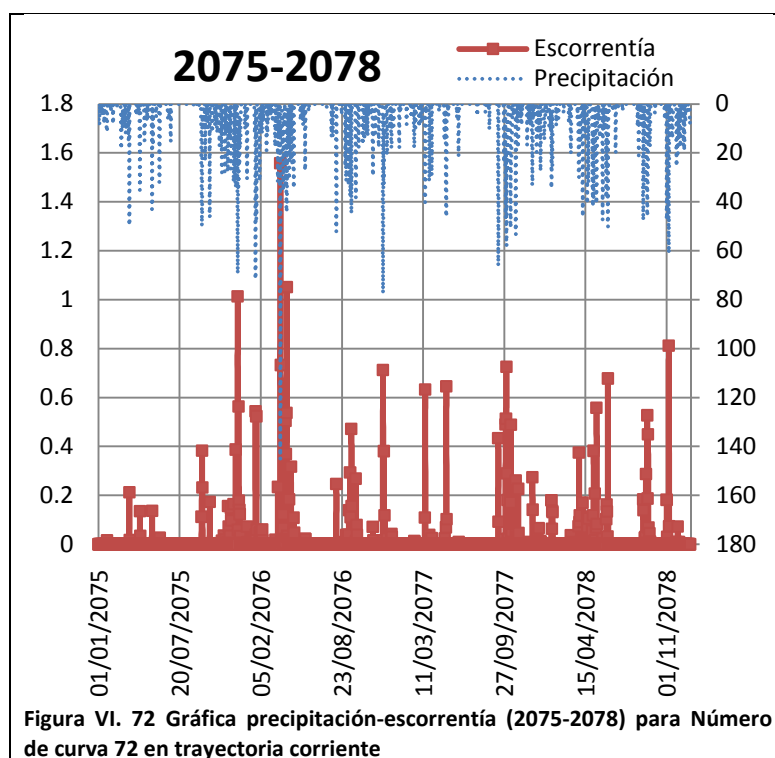
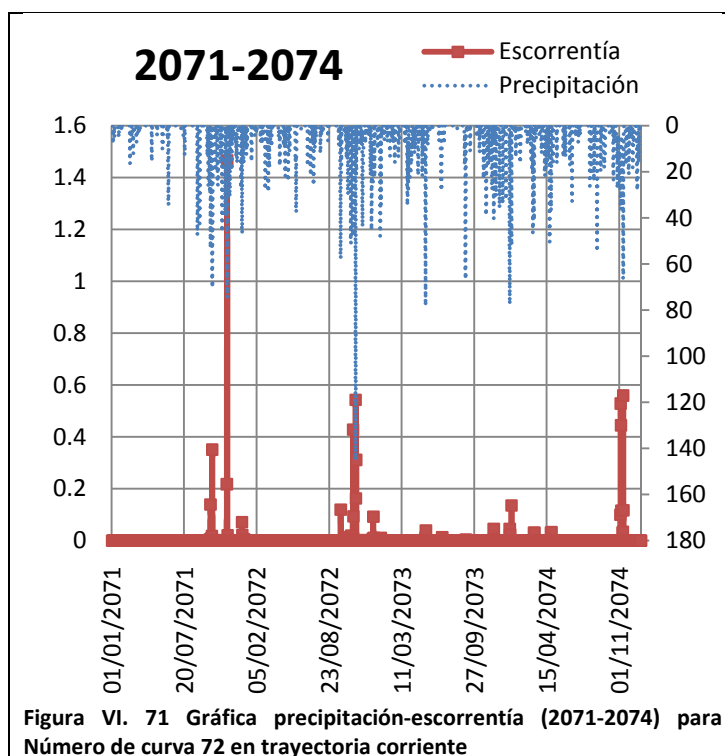
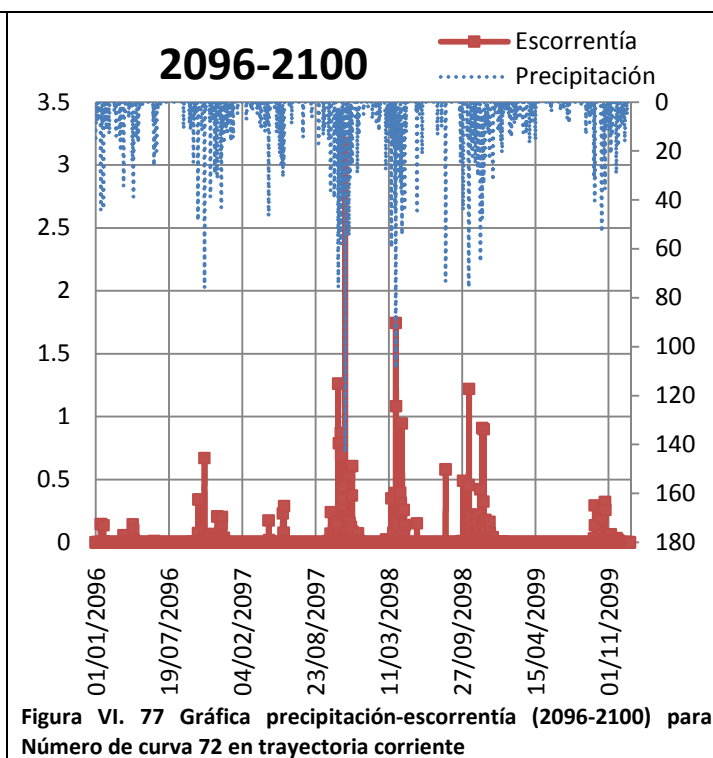
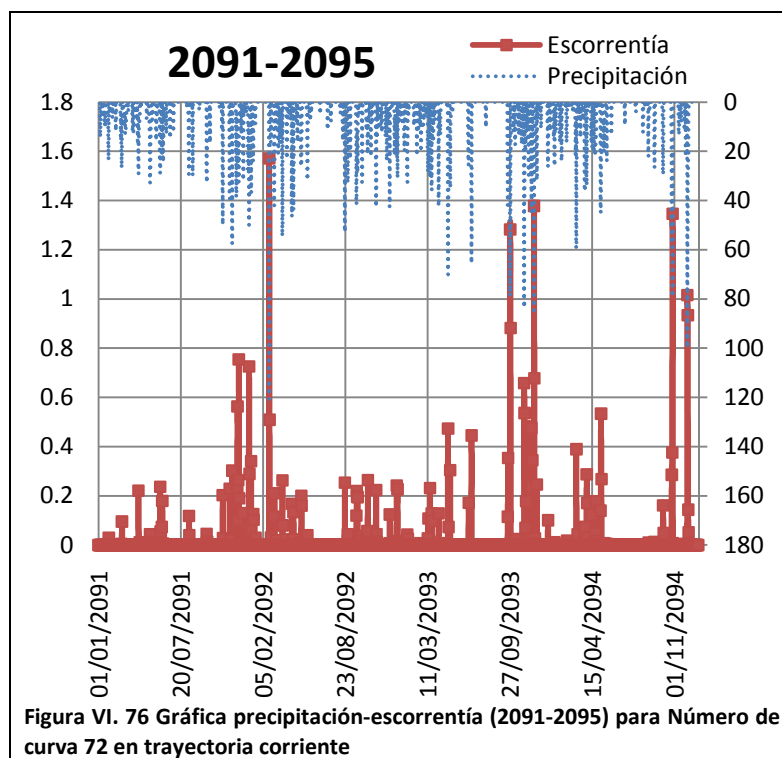
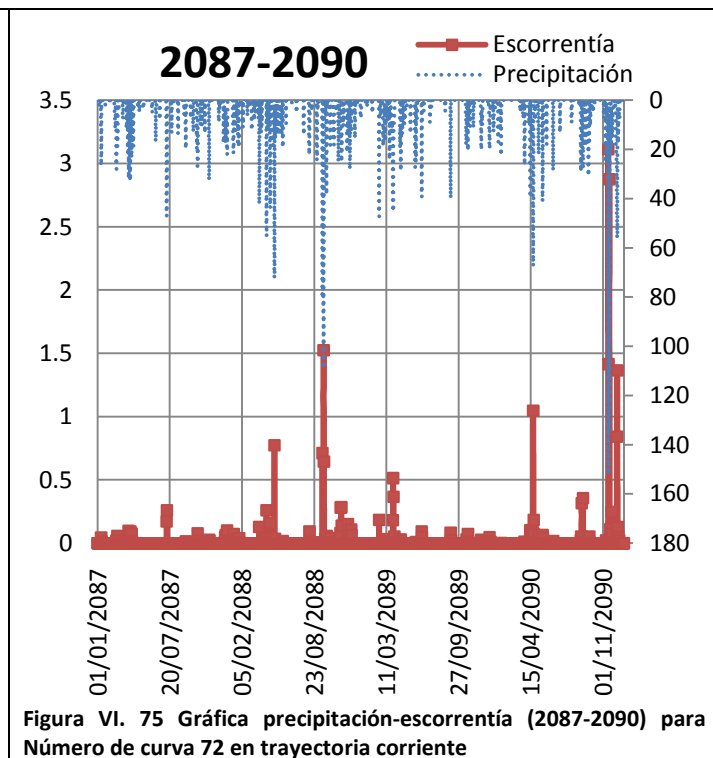
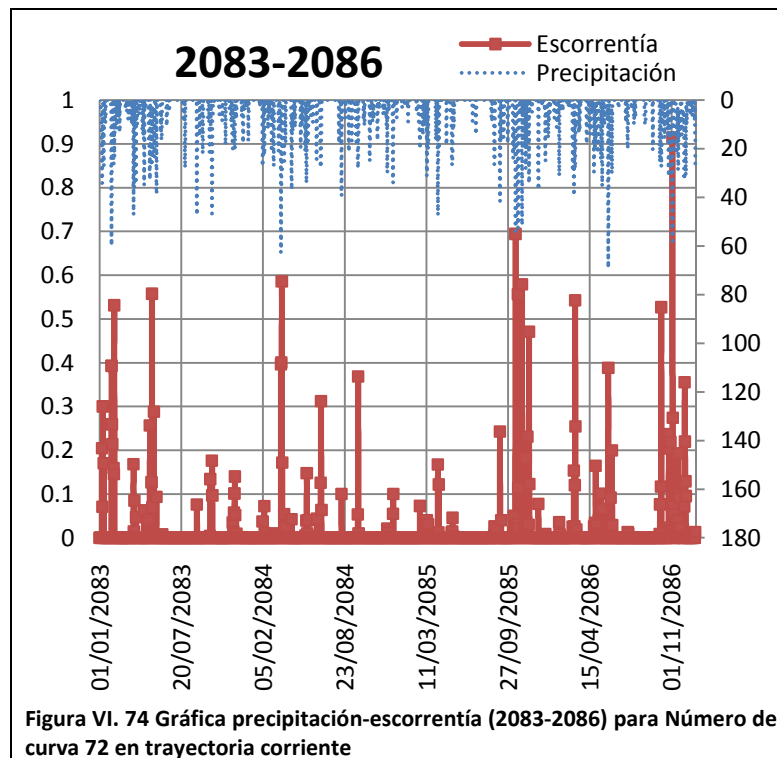


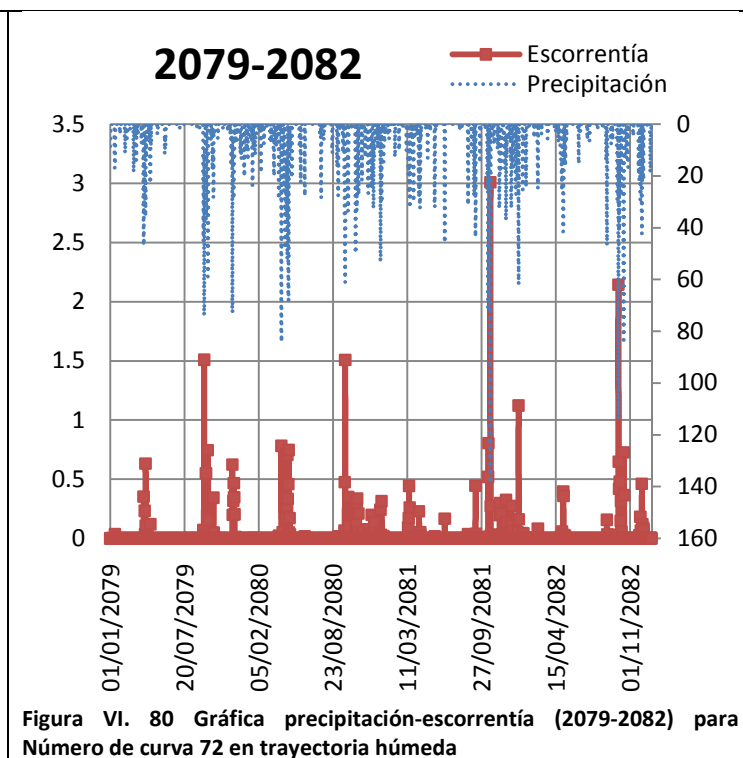
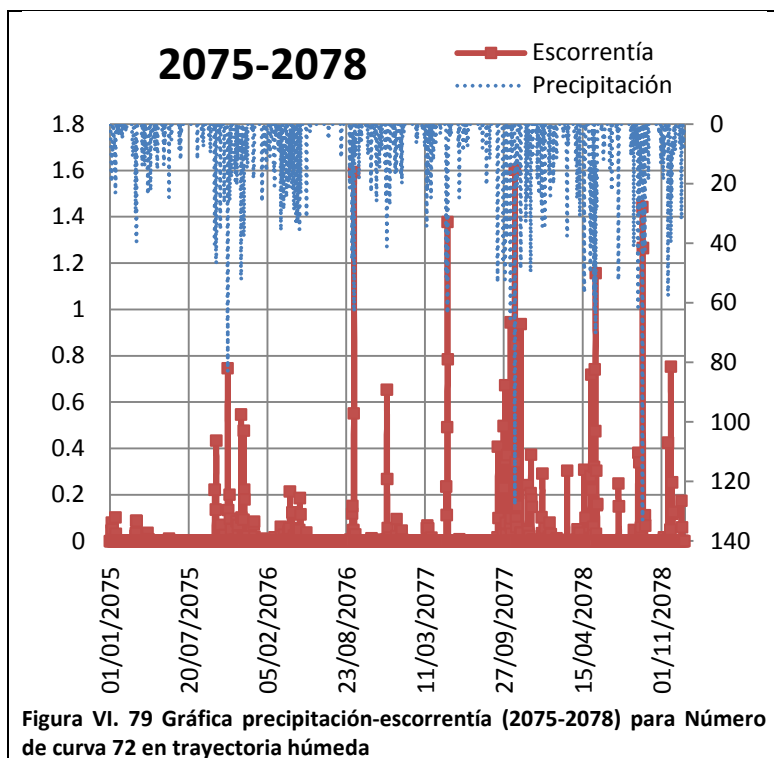
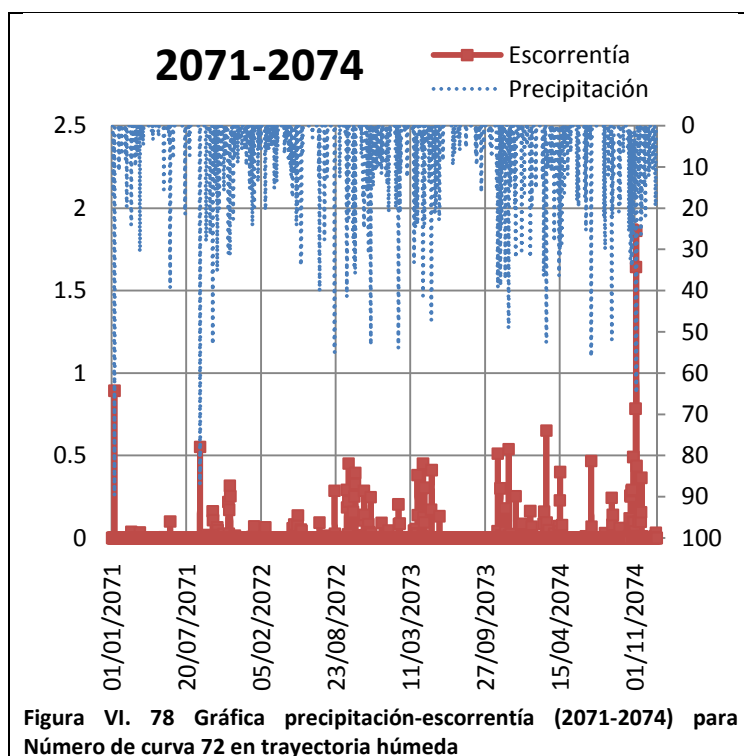
Figura VI. 70 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 72 en trayectoria seca

## VI.III.II Trayectoria corriente





## VI.III.III Trayectoria húmeda



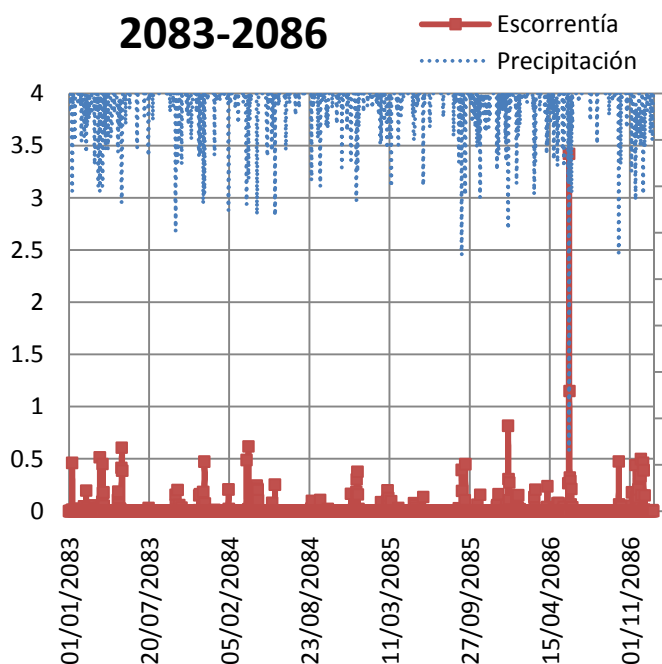
**2083-2086**

Figura VI. 81 Gráfica precipitación-escorrentía (2083-2086) para Número de curva 72 en trayectoria húmeda

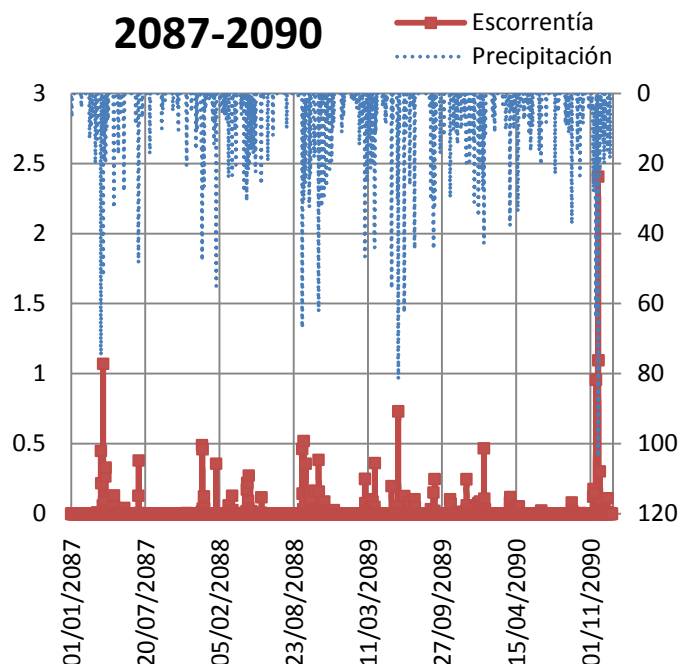
**2087-2090**

Figura VI. 82 Gráfica precipitación-escorrentía (2087-2090) para Número de curva 72 en trayectoria húmeda

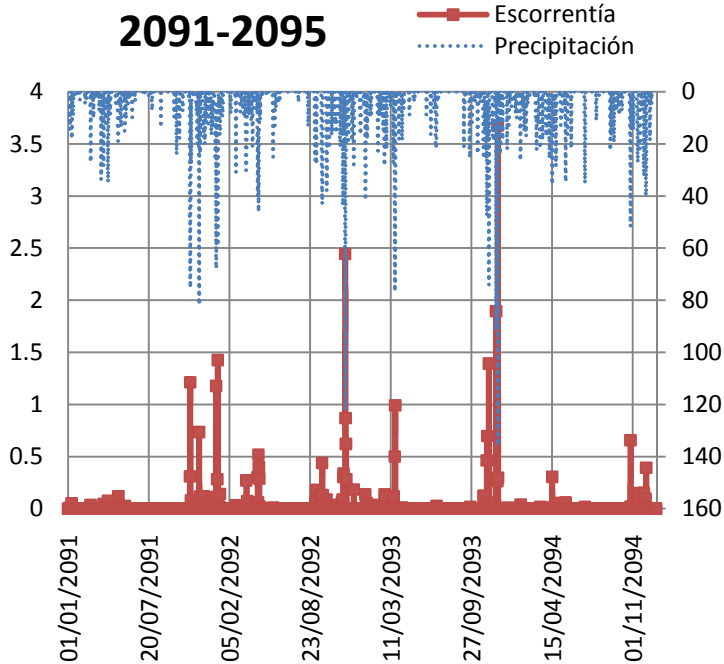
**2091-2095**

Figura VI. 83 Gráfica precipitación-escorrentía (2091-2095) para Número de curva 72 en trayectoria húmeda

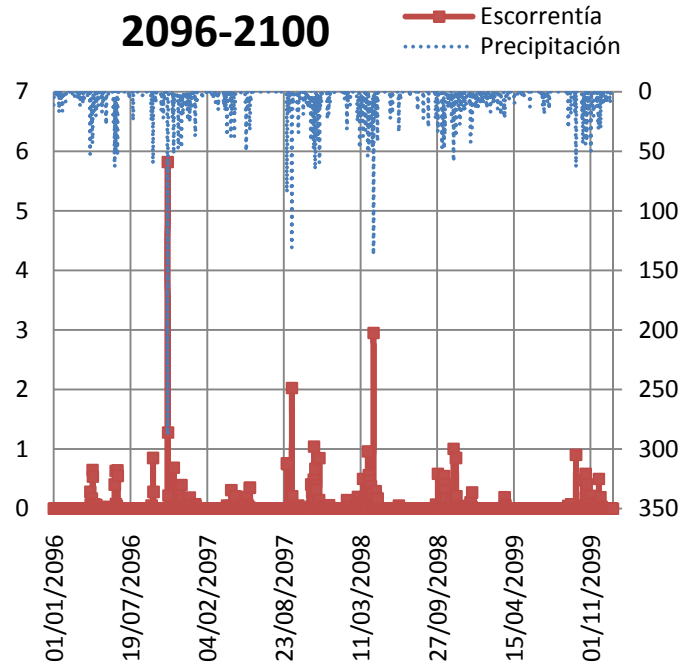
**2096-2100**

Figura VI. 84 Gráfica precipitación-escorrentía (2096-2100) para Número de curva 72 en trayectoria húmeda

En el caso de desertización (número de curva 72 durante los años 2070-2100) también se van a resumir en una tabla los máximos de precipitación y esorrentía observados en esos años.

<b>Desertización (NC=67; NC=72)</b>						
	Trayectoria seca		Trayectoria corriente		Trayectoria húmeda	
	P(mm)	Q(mm3/s)	P(mm)	Q(mm3/s)	P(mm)	Q(mm3/s)
(2030-2060)						
2031-2034	142.2	3.6	134.54	2.42	142	2.77
2035-2038	103	1.23	110	1.23	65.5	0.98
2039-2042	128.4	2.35	128.4	2.35	145.6	2.82
2043-2046	140.7	2.84	140.7	2.84	116.5	2.18
2047-2050	71.8	0.92	72	0.92	63.8	1.06
2051-2055	235.6	4.62	235.6	4.62	184.2	3.74
2056-2060	150	3.83	150	3.83	160.4	4.06
(2070-2100)						
2071-2074	135	1.95	145	1.45	89.7	1.86
2075-2078	122	2.5	148	1.56	132.7	1.6
2079-2082	138.3	3.4	96.9	1.85	138.8	3.01
2083-2086	72.9	0.67	69.1	0.91	153.7	3.42
2087-2090	75	0.75	152	3.11	103.6	2.41
2091-2095	146.5	3.4	120.4	1.57	135.6	3.67
2096-2100	128.9	2.6	142	3.17	287.7	5.82

Tabla VI. 5 División en eventos según los avances producidos desde 2030 a 2060 con número de curva de 67 y de 2070 a 2100 con número de curva de 72.

La siguiente tabla recoge los eventos a partir de las avenidas observadas en los años de estudio en el escenario planteado de desertización.

<b>EVENTOS CON DESERTIZACIÓN, NC=72</b>							
Trayectoria seca							
	2031-2034	2035-2038	2039-2042	2043-2046	2047-2050	2051-2055	2056-2060
$0.5 < Q < 1.0$	4	5	1	5	4	4	6
$1.0 < Q < 2.0$	2	2	3	2	0	2	3
$Q > 2.0$	2	0	1	1	0	0	2
	2071-2074	2075-2078	2079-2082	2083-2086	2087-2090	2091-2095	2096-2100
$0.5 < Q < 1.0$	8	8	4	4	4	8	9
$1.0 < Q < 2.0$	3	5	0	0	0	4	4
$Q > 2.0$	0	1	1	0	0	1	1
Trayectoria corriente							
	2031-2034	2035-2038	2039-2042	2043-2046	2047-2050	2051-2055	2056-2060
$0.5 < Q < 1.0$	8	5	2	5	3	5	6
$1.0 < Q < 2.0$	4	2	3	2	0	1	3

## ANEXO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Q > 2.0	2	0	1	1	0	1	1
	2071-2074	2075-2078	2079-2082	2083-2086	2087-2090	2091-2095	2096-2100
0.5 < Q < 1.0	2	12	7	7	4	8	6
1.0 < Q < 2.0	1	3	4	0	4	5	3
Q > 2.0	0	0	0	0	1	0	1
<b>Trayectoria húmeda</b>							
	2031-2034	2035-2038	2039-2042	2043-2046	2047-2050	2051-2055	2056-2060
0.5 < Q < 1.0	6	2	4	7	7	6	6
1.0 < Q < 2.0	1	0	2	4	0	3	1
Q > 2.0	1	0	1	1	0	1	0
	2071-2074	2075-2078	2079-2082	2083-2086	2087-2090	2091-2095	2096-2100
0.5 < Q < 1.0	6	10	6	4	3	6	11
1.0 < Q < 2.0	1	5	3	1	2	4	3
Q > 2.0	0	0	2	1	1	1	3

Tabla VI. 6 Cuantificación de la previsión del número de eventos desde 2030 a 2060 con número de curva de 67 y de 2070 a 2100 con número de curva de 72.