



UNIVERSIDAD DE TALCA  
Facultad de Ciencias Forestales  
Escuela de Ingeniería Forestal

**CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO HEC – HMS, EN LA CUENCA  
DE HUECHÚN, REGIÓN METROPOLITANA**

**RAMÓN SEBASTIÁN BUSTAMANTE ORTEGA**  
Memoria para optar al título de:  
INGENIERO FORESTAL

Profesor Guía: Dr. Ing. Roberto Pizarro Tapia

TALCA – CHILE  
2008

*No pierdas las esperanzas hasta el último momento,  
sí desistes todo se habrá terminado  
Profesor Ansai*

## **AGRADECIMIENTOS**

La realización de esta memoria, se logró materializar gracias al apoyo de CODELCO – Chile División Andina, la Dirección General de Aguas (DGA), la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y la Dirección Meteorológica de Chile, instituciones que facilitaron la información sobre la cual se sustentó esta memoria de pregrado.

Quiero dar las gracias al profesor Roberto Pizarro Tapia y al profesor Víctor Jara Sánchez, quienes me aconsejaron y guiaron con sus conocimientos en el desarrollo de esta memoria. También cabe destacar el agradecimiento de forma general, a todos los profesores y ayudantes que me hicieron clases desde el primer año de universidad, brindándome sus conocimientos y paciencia en sus enseñanzas.

De forma muy especial, quiero darles las gracias a mis padres y familiares cercanos, que siempre se preocuparon por mi persona en estos años y me apoyaron de forma incansable para que lograra mi sueño de convertirme en profesional.

Por último, deseo darles las gracias a todos mis amigos y a sus padres que conocí en el transcurso de estos años. A pesar de no nombrarlos directamente sobre esta hoja, sé que cuando lean estas líneas se sentirán identificados y recordarán todos esos momentos que pasamos juntos en las salas de estudio, en la casa que arrendaba o en algún lugar de Talca.



**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**Facultad de Ciencias Forestales**  
**Escuela de Ingeniería Forestal**

El Sr. Ramón Bustamante ortega, ha realizado la Memoria " CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO HEC – HMS, EN LA CUENCA DE HUECHÚN, REGIÓN METROPOLITANA ", como uno de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal, El Profesor Guía es el Sr. Roberto Pizarro Tapia.

La comisión de Calificación constituida por los profesores Sr. Oscar Vallejos Barra y Sr. John Gajardo Valenzuela, han evaluado con nota 6,9 (seis coma nueve).

**MARCIA VASQUEZ SANDOVAL**  
**DIRECTORA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL**

Talca, Diciembre de 2008.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
RESUMEN.....	xii
SUMMARY.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo General.....	2
2.2. Objetivos Específicos.....	2
3. ANTECEDENTES GENERALES.....	3
3.1. El Problema a Abordar.....	3
3.2. Descripción de las Áreas de Estudio.....	3
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1. La Cuenca Hidrológica.....	7
4.2. Simulación Computacional.....	7
4.2.1. Modelos de simulación determinísticos versus estocásticos.....	9
4.2.2. Modelos de simulación integrada versus distribuida.....	9
4.3. Modelos de Simulación HEC.....	10
4.3.1. Modelo de simulación HEC – 1.....	10
4.3.2. Modelo de simulación HEC – HMS.....	11
4.4. Hidrograma Unitario.....	14
4.4.1. Hidrograma unitario sintético.....	14
4.5. Número de Curva.....	15
4.6. Fases de la Simulación.....	17
4.6.1. Identificación.....	17
4.6.2. Calibración.....	17
4.6.3. Validación.....	18
4.6.4. Límites de aplicación.....	18

5. METODOLOGÍA.....	19
5.1. Pasos Metodológicos.....	19
5.1.1. Revisión bibliográfica.....	19
5.1.2. Delimitación del área de estudio.....	19
5.1.3. Cálculo del hidrograma unitario sintético de Snyder.....	20
5.1.4. Cálculo del número de curva y del umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ).....	21
5.1.5. Selección de las tormentas.....	23
5.1.6. Calibración.....	24
5.1.7. Validación.....	27
5.1.8. Presentación y análisis de resultados.....	28
5.1.9. Análisis estadístico de la información generada.....	28
5.1.10. Conclusiones y recomendaciones.....	29
5.2. Materiales y Obtención de la Información.....	29
6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	31
6.1. Delimitación del Área de Estudio.....	31
6.2. Cálculo del Hidrograma Unitario Sintético de Snyder.....	35
6.3. Clasificación de los Suelos.....	36
6.4. Clasificación de la Cobertura Vegetacional.....	40
6.5. Cálculo del Número de curva (NC) y del Umbral Crítico de Escorrentía ( $P_0$ ).....	47
6.6. Selección de las Tormentas.....	47
6.7. Calibración del HEC – HMS.....	48
6.7.1. Calibración por medio de la cuenca de Colina.....	48
6.8. Validación del HEC – HMS.....	63
6.8.1. Validación por medio de la cuenca de Colina.....	63
6.8.2. Extensión por medio de la cuenca de Huechún.....	66
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	75
7.1. Morfometría de la Cuencas.....	75
7.2. Hidrograma Unitario Sintético.....	76
7.3. Número de Curva (NC) y Umbral Crítico de Escorrentía ( $P_0$ ).....	77
7.4. Análisis de las Precipitaciones.....	79
7.5. Calibración del HEC – HMS.....	79

7.5.1. Escenario 1 de calibración (condiciones reales de humedad)....	80
7.5.2. Escenario 2 de calibración (todas las condiciones de humedad).	82
7.5.3. Escenario 3 de calibración (un caudal punta simulado, lo más cercano al real).....	83
7.6. Validación del HEC – HMS.....	86
7.6.1. Validación de la cuenca de Colina.....	86
7.6.2. Extensión hacia la cuenca de Huechún.....	87
7.7. Análisis Estadístico.....	89
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
8.1. Conclusiones.....	92
8.2. Recomendaciones.....	93
9. BIBLIOGRAFÍA.....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelos hidrológicos.....	8
Tabla 2. Modificación del número de curva de la condición II a las condiciones I y III.....	22
Tabla 3. Resultados de las mediciones y cálculo de las variables del hidrograma unitario sintético de Snyder.....	35
Tabla 4. Límites de tolerancia para la modificación del tiempo unitario en horas.....	36
Tabla 5. Superficie de suelos clasificados en base a los suelos hidrológicos definidos por Ponce (1989), para la cuenca de Colina.....	36
Tabla 6. Superficie de suelos clasificados en base a los suelos hidrológicos definidos por Ponce (1989), para la cuenca de Huechún.....	36
Tabla 7. Tipo de cobertura vegetal presente en la cuenca de Colina....	41
Tabla 8. Tipo de cobertura vegetal, presente en la cuenca de Huechún.....	42
Tabla 9. Simbologías utilizadas en las representaciones cartográficas hechas en ArcView.....	43
Tabla 10. Números de curva y umbrales críticos de escorrentía del escenario 1.....	47
Tabla 11. Caracterización de las tormentas en sus condiciones previas de humedad, número de curva, umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) y precipitación ( $P_p$ ) total del escenario 1.....	48
Tabla 12. Comparación de los valores reales v/s simulados para las tormentas en sus valores de caudal punta, tiempo base, área bajo la curva y número de picos del escenario 1.....	49
Tabla 13. Ajustes usados para evaluar la calidad de las simulaciones del escenario 1.....	50
Tabla 14. Errores en la estimación del caudal punta del escenario 1.....	50
Tabla 15. Comparación de los valores reales v/s los simulados en las condiciones previas de humedad I, II y III.....	53

Tabla 16. Errores en la estimación del caudal punta, para todas las condiciones de humedad del escenario 2.....	54
Tabla 17. Reclasificación de la cobertura vegetal presente en la cuenca de Colina.....	57
Tabla 18. Números de curva generado para el caudal punta del escenario 3 de la cuenca de Colina.....	60
Tabla 19. Comparación de los valores de caudal real v/s caudales simulados, para el caudal punta del escenario 3.....	60
Tabla 20. Errores en la estimación de un caudal punta más real del escenario 3.....	61
Tabla 21. Medidas de bondad de ajuste, usadas para evaluar la calidad de las simulaciones del escenario 3.....	61
Tabla 22. Caracterización de las tormentas en sus condiciones previas de humedad, número de curva (NC), umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) y precipitación (Pp) total.....	63
Tabla 23. Comparación de los valores reales v/s simulados para el caudal punta.....	64
Tabla 24. Ajustes usados para evaluar la calidad de las simulaciones de caudal punta del escenario 3 en la validación.....	64
Tabla 25. Reclasificación de la cobertura vegetal, para la cuenca de Huechún.....	67
Tabla 26. Números de curva generado para el caudal punta de Huechún.....	68
Tabla 27. Caracterización de las tormentas en sus condiciones previas de humedad, número de curva (NC), umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) y precipitación (Pp) total.....	68
Tabla 28. Caracterización de los resultados de las simulaciones, hechas sobre la cuenca de Huechún.....	70
Tabla 29. Caracterización de las tormentas en sus condiciones previas de humedad, número de curva (NC), umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) y precipitaciones un 100 % mayor en sus intensidades (Pp) total.....	72
Tabla 30. Caracterización de los resultados de las simulaciones, hechas sobre la cuenca de Huechún, para tormentas un 100 % mayor en sus intensidades.....	73

Tabla 31. Comparación del tiempo de retardo de los hidrogramas sintéticos.	76
Tabla 32. Valores del NC y $P_0$ del escenario 1 y 3, para las cuencas de Colina y Huechún.....	78
Tabla 33. Ajustes de las tormentas que generaron escorrentía en las simulaciones.....	30
Tabla 34. Tormentas que mejoraron su caudal punta, con condiciones previas de humedad distintas.....	83
Tabla 35. Ajustes de las tormentas usados en la calibración del caudal punta.....	86
Tabla 36. Tormentas usadas en la validación y que presentaban un margen de comparación.....	87
Tabla 37. Simulaciones que generaron escorrentía en la cuenca de Huechún.....	88
Tabla 38. Comparación del $R^2$ y el error estándar de estimación (EEE), para los tres escenarios de calibración.....	89
Tabla 39. Resumen estadístico de las salidas.....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del tranque de Ovejería en la cuenca de Huechún.....	4
Figura 2. Localización geográfica de las cuencas bajo estudio.....	6
Figura 3. Ventana principal del programa HEC – HMS, versión 3.1.0.....	12
Figura 4. Gráfico del umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ).....	16
Figura 5. Gráficos de separación del hidrograma unitario.....	27
Figura 6. Delimitación de las áreas de estudio, en la región Metropolitana....	32
Figura 7. Cobertura vegetal del catastro de CONAF, para la cuenca de Colina.....	33
Figura 8. Cobertura vegetal del catastro de CONAF, para la cuenca de Huechún.....	34
Figura 9. Suelos hidrológicos presentes en la cuenca de Colina.....	38
Figura 10. Suelos hidrológicos presentes en la cuenca de Huechún.....	39
Figura 11. Reclasificación de la cobertura vegetal según las tablas de Ponce, (1989) para la cuenca de Colina.....	44
Figura 12. Reclasificación de la cobertura vegetal según las tablas de Ponce, (1989) para la cuenca de Huechún.....	45
Figura 13. Vista panorámica de la cobertura presente en la cuenca de Colina.....	
Figura 14. Reclasificación de los horizontes hidrológicos presentes en la cuenca de Colina en base a la obtención de un mejor caudal punta.....	58
Figura 15. Reclasificación de la cobertura vegetal según las tablas de Ponce, para la cuenca de Colina en base a la obtención de un mejor caudal punta.....	59

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comparación de las crecidas reales v/s las simuladas, para la tormenta del 12-06-2000.....	51
Gráfico 2. Comparación de las crecidas reales v/s las simuladas, para la tormenta del 26-08-2005.....	51
Gráfico 3. Comparación de las crecidas de la tormenta del 12-06-2000, para todas sus condiciones de humedad.....	55
Gráfico 4. Comparación de las crecidas de la tormenta del 26-08-2005, para todas sus condiciones de humedad.....	55
Gráfico 5. Comparación del caudal punta real y simulado, para la tormenta del 12-06-2000.....	62
Gráfico 6. Comparación del caudal punta real y simulado, para la tormenta del 26-08-2005.....	62
Gráfico 7. Comparación del caudal punta real y simulado, para la tormenta del 29-07-2001.....	65
Gráfico 8. Comparación del caudal punta real y simulado, para la tormenta del 13-10-2006.....	65
Gráfico 9. Crecida para la tormenta del 12-06-2000, de la cuenca de Huechún.....	70
Gráfico 10. Crecida para la tormenta del 17-07-2001, de la cuenca de Huechún.....	71
Gráfico 11. Crecida para la tormenta del 22-07-2002, de la cuenca de Huechún.....	71
Gráfico 12. Crecida para la tormenta hipotética del 12-06-2000, de la cuenca de Huechún.....	74
Gráfico 13. Crecida para la tormenta hipotética del 19-07-2002, de la cuenca de Huechún.....	74
Gráfico 14. Comparación espacial, de los números de curva y umbrales críticos de escorrentía.....	78
Gráfico 15. Distribución porcentual de los estratos vegetacionales de la cuenca de Colina, para el escenario 1.....	81

Gráfico 16. Porcentaje de las estructuras vegetacionales clasificadas dentro de la cuenca de Colina, para el escenario 3.....	85
Gráfico 17. Porcentaje de las estructuras vegetacionales clasificadas dentro de la cuenca de Huechún.....	88

## **ANEXOS**

ANEXO I. Descripción del Programa HEC – HMS.....	99
ANEXO II. Cálculo de la Pendiente Media, según Mociornita.....	103
ANEXO III. Cálculo del Hidrograma Unitario.....	107
ANEXO IV. Clasificación de los Suelos.....	112
ANEXO V. Clasificación de la Cobertura Vegetacional.....	121

## **APÉNDICES**

APÉNDICE I. Tormentas Registradas por las Estaciones de Colina, Huechún Andina y Rungue Embalse, entre los Periodos de 1995 a 2007.....	133
APÉNDICE II. Escorrentías Reales y Simuladas para las Cuencas.....	177
APÉNDICE III. Gráficos de las Escorrentías Reales y Simuladas.....	221

## RESUMEN

En la presente memoria, se probaron las capacidades del programa de simulación HEC- HMS, desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers, con el fin de generar hidrogramas de crecida y caudales punta, para la cuenca de Huechún, ubicada en la región Metropolitana de Chile, cuenca que carece de información fluviométrica. Para llevar a cabo esta simulación, se utilizó como plataforma de calibración y validación la cuenca de Colina, ubicada en esta misma región, la cual contaba con la ventaja de tener registros reales de caudales, medidos a través de su estación de río Colina en Peldehue.

En líneas generales, ambas cuencas presentan precipitaciones de bajas intensidades en el periodo de estudio (1995 a 2007), estructuras de suelos con un alto nivel de permeabilidad y coberturas vegetacionales con un bajo desarrollo herbáceo y un bajo porcentaje de cobertura.

Si bien se utilizaron como entradas del programa, el hidrograma unitario sintético de Snyder y el método del número de curva, para la generación de escorrentía y la transformación de ésta a los hidrogramas de crecida, la calibración de éste no pudo lograrse de forma óptima para el hidrograma de crecidas totales. En cambio, fue posible ajustar los inputs para que se generaran caudales punta bastante cercanos a los reales, lo cual permitió delinear los pasos a seguir para estimar valores por medio del HEC-HMS hacia la cuenca de Huechún.

Como resultado final, es recomendable como una primera aproximación, el uso del programa HEC-HMS, para la generación de valores de caudales punta, en la cuenca de Huechún, aunque no es recomendable su uso para simular hidrogramas de crecida.

Finalmente, en la cuenca de Huechún y para precipitaciones de montos superiores en un 100 % a las máximas registradas, en el periodo 1995 – 2007, sería posible encontrar caudales punta de hasta 24,7 m<sup>3</sup>/s.

## SUMMARY

In this investigation, the capabilities of the simulation program HEC - HMS, developed by the U.S. Army Corps of Engineers were tested, in order to generate hydrograph of flooding and peak discharge, for Huechún river basin, located in the Metropolitan region of Chile, this basin has not flood gauge station fluviometric information. To carry out this simulation, the Colina river basin was used as platform for calibration and validation Colina river basin, is located in the same region, and has the advantage of having records of flood hydrographs flow, measured by its station of Colina river in Peldehue.

In general, both basins show rainfall of low intensity during the study period (1995 to 2007), and soil structures with high permeability and vegetation coverage with a low grassy development and a low percentage of coverage.

Although they were used as inputs of the program, the Snyder unit synthetic hydrograph and the method of curve number, for the generation of runoff and the transformation of this to the flood hydrographs, the calibration of it could not be reached in an optimal way for the total flood hydrograph. Instead, it was possible to adjust the inputs to generate peak flows quite close to the real, allowing defining the steps to follow to estimate values through the HEC - HMS towards the Huechún basin.

As a first approach, it is recommended to use of HEC - HMS, for the generation of peak flow values in the Huechún basin, although it is not recommended its use to simulate flood hydrographs.

Finally, in the Huechún basin and for rainfall over 100 % to the highest ones recorded in the period 1995 - 2007, it was be possible to find peak flow rates until 24,7 m<sup>3</sup>/s.

## 1. INTRODUCCIÓN

La ausencia de información hidrológica es un grave problema, cuando se desea diseñar obras civiles en el ámbito ambiental e industrial, y más aún cuando este tipo de obras tienen la obligación de mantener en orden un ecosistema de características torrenciales. Para esto, se debe tener un completo conocimiento de las variables naturales que generarán demandas sobre la obra, como es la relación precipitación – escorrentía, que es un factor clave en el diseño de construcciones.

Para abordar esta problemática, una opción válida es la simulación hidrológica, que es uno de los elementos de uso continuo fundamental para la generación de información numérica sobre cuencas con información insuficiente, lo que representa una alternativa de importancia para obtener un análisis detallado del área que estará bajo estudio. En esta línea, la computación ha resultado ser una herramienta eficaz para efectuar simulaciones, ya que al procesar una mayor cantidad de variables, escenarios y alternativas en un corto lapso, permite reducir los tiempos de planeación y ejecución de obras.

Por otra parte y en teoría, un modelo de simulación, entre más detallado sea y más variables considere para su simulación, más cercanos a la realidad serán los resultados que éste entregue.

Bajo este marco, el presente estudio probará las bondades del programa desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineer, HEC – HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) sobre la cuenca de Huechún, en la región Metropolitana, la cual carece de información detallada sobre sus comportamientos hidrológicos en el marco de la relación precipitación - escorrentía. Asimismo, el contexto hidrológico toma una relevancia importante, ya que en esta cuenca se está desarrollando un programa de depositación de relaves por parte de CODELCO – Chile, División Andina, en el tranque de relaves de Ovejería, lo que obliga a monitorear y establecer posibles escenarios futuros de la forma más precisa posible y en donde la simulación hidrológica surge como una alternativa eficaz.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Calibrar y validar el uso del modelo de simulación computacional HEC – HMS del U.S. Army Corp of Engineers en la cuenca de Huechún, de la región Metropolitana.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Establecer elementos de carácter numérico, para el modelo HEC - HMS, que representen el comportamiento hidrológico de la cuenca y permitan satisfacer las demandas del modelo.

Calcular el volumen de esorrentía y el comportamiento del hidrograma de aguas superficiales, en función de precipitaciones reales.

### **3. ANTECEDENTES GENERALES**

#### **3.1. El Problema a Abordar**

La ausencia de registros numéricos dentro de la relación hidrológica precipitación - escorrentía, puede representar un impedimento o en ocasiones, un grave problema en el buen diseño de obras civiles. Es este problema el que enfrenta la cuenca de Huechún, que está ubicada en la región Metropolitana, provincia de Chacabuco, en la zona de rinconada de Huechún, comuna de Til-Til, a unos 45 Km al norponiente de Santiago, en la lat. 33° 75' sur y la long. 70° 48' oeste y a una altura de 600 m.s.n.m.

#### **3.2. Descripción de las Áreas de Estudio**

Según la clasificación del mapa hidrogeológico de Chile, la zona de estudio se clasifica dentro de la provincia andina vertiente pacífico (subprovincia central – sur), la cual a grandes rasgos presenta un clima templado – cálido tipo mediterráneo; los tipos de suelos presentes, se distribuyen entre altisoles e inceptisoles y su distribución vegetacional está entre la estepa mesomórfica de espino, mesomórfica y esclerófila. Las cuencas de esta zona, destacan por ser de tipo andinas exorreicas, es decir, con una salida al mar (Dirección General de Aguas, 1986).

La cuenca de Huechún está siendo empleada por CODELCO – Chile, División Andina, como un tranque de relaves, con el fin de depositar los residuos de la actividad minera de las minas Sur-Sur a tajo abierto y Río Blanco que es subterránea. El tranque denominado Ovejería, presenta una superficie de aproximadamente 44 Km<sup>2</sup> y se ubica entre las elevaciones 600 y 1.500 m.s.n.m. Presenta una orientación norte-sur, con un ancho de valle que varía de 1 a 3 Km (sectores norte y sur, respectivamente), con un largo de aproximadamente 6,5 Km y una pendiente media de 0,6%. La red de drenaje de la subcuenca está constituida por las quebradas Ojo de Agua y Llano del Espino, que presentan dirección norte-sur y desembocaban en el embalse Huechún, antes de la construcción del tranque Ovejería, como se puede observar en la figura 1. En la

subcuenca no se observan cursos de agua permanentes, salvo vertientes existentes en su extremo norte, las cuales presentan pequeños caudales permanentes y sólo en períodos de lluvia se observa escorrentía superficial en los cauces de la subcuenca (López-Aliaga, 2000).

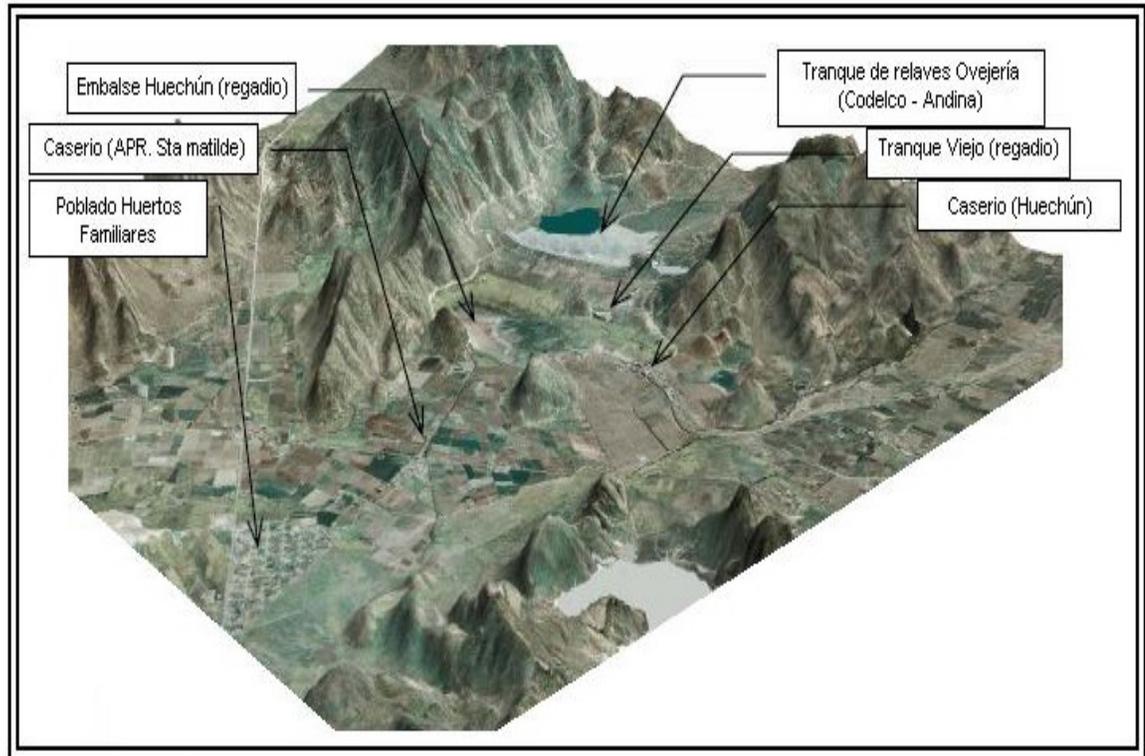


Figura 1. Ubicación del tranque de Ovejería en la cuenca de Huechún, (Fuente CODELCO – Chile, División Andina).

El proceso minero de la División Andina, se basa en extraer el mineral hacia una planta de chancado, en donde se obtiene un producto final de concentrado mixto de una ley promedio de 30% de cobre y 0,39% de molibdeno, que es enviado a la planta de productos comerciales en Saladillo, para su proceso, secado y embarque. El residuo estéril del proceso de concentrado de mineral, que constituye aproximadamente un 96,5% del mineral, se le denomina relave, el cual pasa por una etapa de recuperación de agua, para su posterior transporte por medio de una canaleta al tranque de relaves de Ovejería.

Como se aprecia en la figura 1, el tranque se ubica en la quebrada de Huechún y de ahí la importancia de conocer el comportamiento de las crecidas eventuales. Esto porque una crecida puede provocar daños a las obras civiles ahí emplazadas o peor aún, generar el arrastre de sedimentos.

Pero, para analizar adecuadamente estos procesos se requiere información estadística, de larga data, la cual no está presente en la cuenca de Huechún, y por esto surge la simulación hidrológica como una alternativa interesante para analizar posibles escenarios de escorrentía, caudales punta y los hidrogramas de crecida derivados de tormentas ahí ocurridas.

Sin embargo, la simulación hidrológica también precisa de cierta información base, como pluviometría, fluvimetría, características geográficas, características morfológicas, características de suelo y de vegetación, información con la cual la cuenca de Huechún no cuenta en sus cabalidades. Sin embargo, cercana a ésta en distancia, se ubica la cuenca de Colina, que está ubicada en la provincia de Chacabuco, en la comuna de Colina, a aproximadamente unos 31 Km de la ciudad de Santiago y geográficamente se encuentra en la latitud  $33^{\circ} 90'$  sur y longitud  $70^{\circ} 80'$  oeste aproximadamente.

La cuenca de Colina, presenta como ventaja el contar con información fluviométrica de la estación río Colina en Peldehue, de la cual Huechún carece, lo que permitirá validar el programa de simulación HEC-HMS, para luego poder aplicarlo sobre las condiciones de Huechún.

En la figura N° 2, se pueden identificar las cuencas bajo estudio, las cuales se localizan al norte de la región Metropolitana, entre el límite de esta y la región de Valparaíso, en la provincia de Chacabuco.

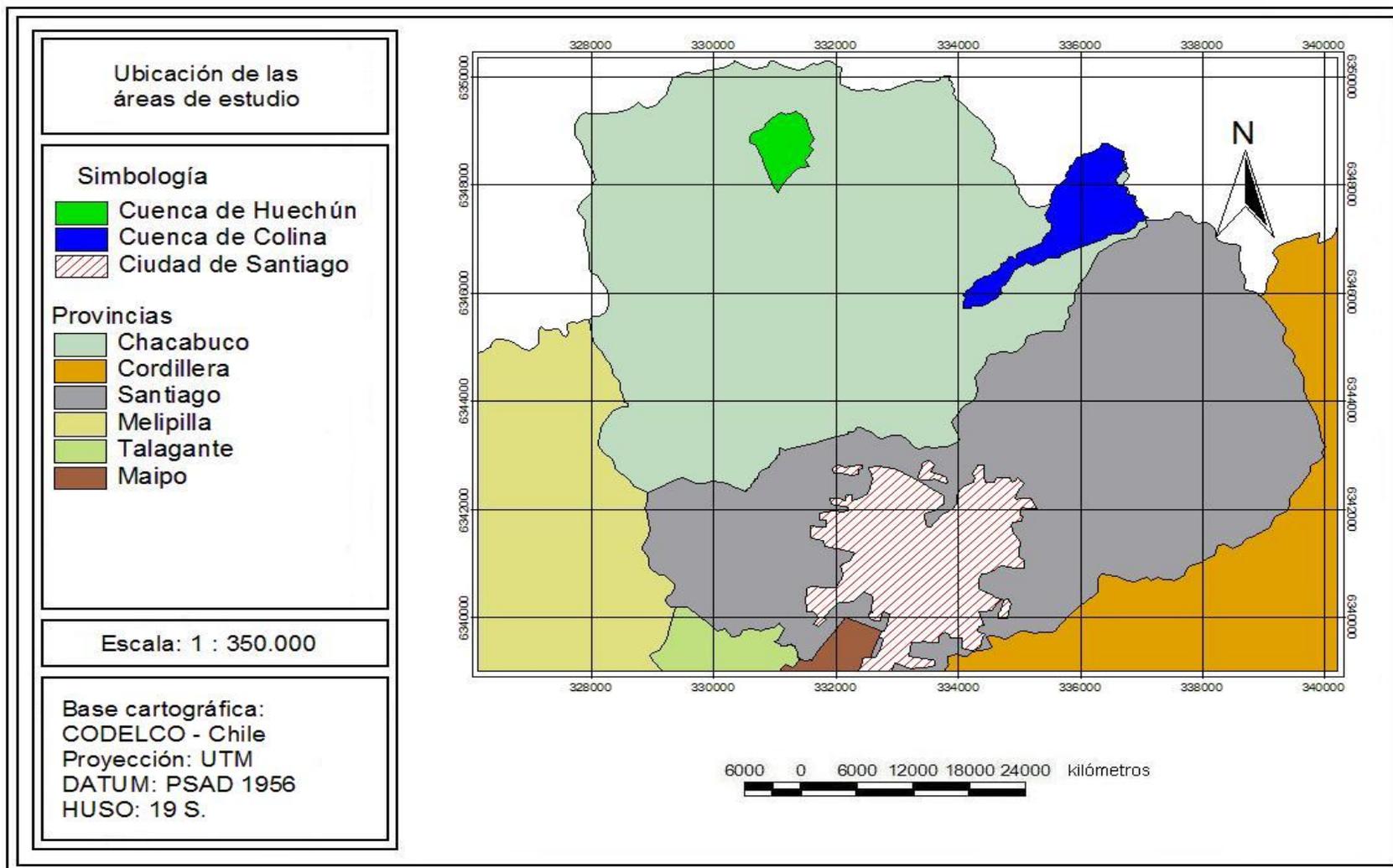


Figura 2. Localización geográfica de las cuencas bajo estudio.

## **4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. La Cuenca Hidrológica**

Según Aparicio (1997), la cuenca hidrográfica se define como una superficie terrestre, en donde las gotas de lluvia que caen, son drenadas por un sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

El mismo autor señala que la definición entregada se refiere a una cuenca superficial, y que a su vez ésta se encuentra asociada a una cuenca subterránea. De esta manera y dependiendo de la salida que tenga, existen dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. Las primeras presentan sus límites de salida dentro de la cuenca y habitualmente corresponde a un lago, mientras que las segundas presentan su punto de salida en los límites de la cuenca y los cuales pueden ser una corriente externa, o el mar.

Por su parte, Llamas (1993) indica que la cuenca es un espacio geográfico que recibe aportes hídricos, esencialmente de las precipitaciones, y que los excedentes que presenta en agua y sólidos transportados por la corriente, toman lugar en una sola desembocadura.

### **4.2. Simulación Computacional**

Por su parte Jones (1997), dice que los modelos de simulación han sido llevados con el tiempo a los computadores y éstos se han transformado en modelos determinísticos. Los paquetes computacionales y de computadoras portátiles, permiten efectuar pronósticos en el estudio de los fenómenos hidrológicos, sobre el flujo de los ríos y la apertura de los embalses, y no solamente desde la oficina, sino también desde otros sitios en terreno, y en tiempo real. Estos modelos procuran simular procesos del mundo real, a niveles razonables de exactitud, y son generalmente capaces de simular acontecimientos no sólo de una tormenta, sino también de flujos de hidrogramas continuos.

Bedient y Huber (2002), describen que los modelos de simulación hidrológica pueden ser clasificados según una gran variedad de características, como se muestra en la tabla 1. Para el análisis de cuencas, las principales categorías tienen como interés modelos integrados versus distribuidos, y estocásticos versus determinísticos.

Tabla 1. Modelos hidrológicos.

<b>Tipo de modelo</b>	<b>Ejemplo del modelo</b>
Integrado	Snyder o Clark Hidrograma unitario
Distribuido	Onda cinemática
Eventuales	HEC-1, HEC-HMS, SWMM, SCS TR-20
Continuos	Modelo Stanford, SWMM, HSPF, STORM
Basados físicamente	HEC-1, HEC-HMS, SWMM, HSPF
Estocásticos	Flujo sintético de la corriente
Numéricos	Modelos de onda cinemática o dinámica
Analíticos	Método racional, Nash IUH

(Fuente: Bedient y Huber 2002)

Una ventaja principal de los modelos de simulación es su comprensión y la organización de los datos requeridos como entrada, para satisfacer los algoritmos matemáticos que comprenden en conjunto el modelo del sistema. Este ejercicio, a menudo puede guiar la recolección de los datos adicionales o directos que mejoran la formulación matemática, para una mejor representación de la cuenca. Otra ventaja es la gran cantidad de alternativas y esquemas, pues el desarrollo o el control de las crecidas pueden ser rápidamente probadas y comparadas con el modelo de simulación, en algunas ocasiones.

La limitación principal de los modelos de simulación, es la incapacidad para calibrarse correctamente y verificar aplicaciones en las cuales los datos de entrada faltan. Una sobre confianza en los modelos sofisticados de computadora, que fallaron en operación entre 1970 y 1981, ha conducido a un acercamiento más escéptico para modelar en estos últimos años. La norma corriente da por supuesto que, debería ser usado el modelo más simple que satisfactoriamente describa el sistema para los datos de entrada dados. La exactitud del modelo es mayormente determinada por los datos de entrada y las observaciones disponibles de salida (Bedient y Huber, 2002).

A pesar de sus limitaciones, los modelos de simulación todavía proveen el acercamiento más lógico y científicamente adelantado para entender el comportamiento hidrológico de las cuencas y de los sistemas de recursos de agua. El desarrollo de modelos y sus aplicaciones, han hecho una nueva época en la ciencia de la hidrología y han conducido a muchos nuevos diseños y políticas operativas nunca antes realizadas o experimentadas. Hace casi 25 años, varias revisiones de excelentes modelos de hidrología han sido publicadas, incluyendo a Kibler (1982), Stephenson y Prados (1986), Maidment (1993), De Vries y Hromadka (1993), Hoggan (1997), James y James (1998), y McCuen (1998).

#### **4.2.1. Modelos de simulación determinísticos versus estocásticos**

Si un modelo de simulación no contiene ningún componente probabilístico (por ejemplo aleatoriedad), es llamado determinístico. En los modelos determinísticos, el resultado es determinado una vez que el conjunto de entradas cuantitativas y las relaciones del modelo han sido especificadas. Muchos sistemas, sin embargo, pueden ser modelados teniendo al menos algunos componentes de entrada aleatorios, y esto da nacimiento a los modelos de simulación estocásticos. Los modelos de simulación estocásticos, producen resultados de por sí aleatorios, y pueden por ende ser tratados como solamente una estimación de las verdaderas características del modelo; esta es una de las principales desventajas de este tipo de simulación (Kelton y Law, 1991).

#### **4.2.2. Modelos de simulación integrada versus distribuida**

Ponce (1989), describe que los modelos de simulación integrada son aquellos en los cuales los parámetros del modelo no varían espacialmente en la cuenca. Por esto, la respuesta de la cuenca es evaluada sólo en la salida. Un típico ejemplo de un modelo de parámetro integrado, es el hidrograma unitario.

Los modelos de simulación distribuida, son por su parte aquellos que permiten que sus parámetros varíen espacialmente en la cuenca. Esto habilita el cálculo no sólo para todas las respuestas de las subcuencas, sino también para la respuesta de las subcuencas individuales. Como el modelo distribuido trabaja con un alto nivel de detalle en las simulaciones, ésta se logra de mejor manera con un computador. Esto

permite el modelado de características especiales, tales como lluvias espacialmente variables y abstracciones hidrológicas espacialmente variables. Sin embargo, para llevar los resultados de modelos distribuidos a los significados que se buscan, la calidad y cantidad de datos disponibles debe ser correspondiente con el incremento en el nivel de los detalles.

Los conceptos de modelos integrados y distribuidos, aunque opuestos en significado, no son necesariamente excluyentes. Los modelos integrados de cuenca, pueden ser usados como componentes de grandes modelos distribuidos de cuencas.

### **4.3. Modelos de Simulación HEC**

#### **4.3.1. Modelo de simulación HEC - 1**

Gálvez y Pizarro (1983), describen que el modelo de simulación HEC – 1, fue desarrollado originalmente por Leo R. Beard en 1967, junto a otros miembros del Hydrologic Engineering Center, perteneciente al cuerpo de Ingenieros del ejército de Estados Unidos.

El modelo tiene como fin central, la determinación de hidrogramas de crecidas sobre una cuenca. Para ello, consta con una serie de alternativas de uso, las cuales están definidas para distintas situaciones físicas y de disponibilidad de información. Entre las alternativas de trabajo que ofrece el programa, se encuentran:

- La optimización de parámetros de encauce.
- La optimización de parámetros para el hidrograma unitario y de la tasa de pérdida.
- Simulación hidrológica de los procesos de precipitación y escorrentía.
- Simulación hidrológica de una cuenca, relacionando la altura de la precipitación y el tamaño de la cuenca.
- Simulación hidrológica de una cuenca, con el objetivo de poder evaluar distintos escenarios de desarrollo y análisis de daños por crecidas.

Los puntos anteriores, muestran las capacidades del modelo HEC – 1, para la realización de diversos análisis; cada uno de éstos, posee características específicas en términos de la información demandada y de las aplicaciones posibles.

Bedient y Huber (2002), señalan que el HEC -1 está diseñado para simular procesos de escorrentía superficial, provenientes de precipitaciones. El proceso de convertir la precipitación en escorrentía directa, puede ser simulado por el HEC – 1 para pequeñas cuencas o complejas ramificaciones de aguas, representando esos sistemas por medio de componentes como subcuencas, canales, reservorios y combinaciones de éstos.

Como todo programa de simulación, éste presenta restricciones y supuestos teóricos que se deben cumplir para su implementación, entre los cuales se tiene que solamente puede ser aplicado al análisis de tormentas simples, dado que no considera una función de recuperación para la tasa de pérdida en periodos con ausencia de precipitaciones. Otra característica del modelo, es que en el proceso precipitación – escorrentía, los parámetros de entrada son considerados como un promedio para toda la extensión de la cuenca; por tanto, si tales promedios no son representativos, se hace necesario considerar áreas de menor tamaño, siempre y cuando esto sea posible (Gálvez y Pizarro, 1983).

#### **4.3.2. Modelo de simulación HEC – HMS**

Bedient y Huber (2002), describen que el Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC – HMS), está basado en el modelo hidrológico HEC-1, pero actualmente este programa trabaja sobre la plataforma de Windows, y contiene muchas mejoras sobre su predecesor en la parte grafica y en la forma de diseñar los proyectos, a través de elementos prediseñados para la entrada de los datos y las salidas de sus resultados.

La diferencia más notable entre HEC - HMS y HEC – 1, es su fácil utilización gracias a la interfaz gráfica para el usuario (GUI, por sus siglas en inglés), que permite la manipulación de elementos hidrológicos de una cuenca como los ríos y la mejora en

la entrada de datos para la cuenca. El GUI también permite la visualización rápida de los resultados de cualquier objeto en el modelo esquemático. Puede accederse a un mapa de fondo que contiene los límites de la cuenca y los cursos de agua, desde una base de archivos SIG, como referencia visual, aunque no es utilizado en los cálculos.

Otra diferencia entre HEC - HMS y HEC - 1, es la organización de los componentes, que forman parte de cada uno de modelos hidrológicos. En HEC - HMS, un proyecto consta de tres partes separadas: El modelo de la cuenca, en donde el usuario define dentro del programa las distintas subcuencas y características de éstas; el modelo meteorológico, en donde se introducen los datos pluviométricos de una o más estaciones; y el control de especificaciones, sobre el cual se definen los tiempos de simulación que se desea evaluar, (en el anexo I, se describe con más detalles cada uno de estos elementos). Como se muestra en la figura 3, esta pantalla enlaza a todos los datos y las herramientas, ya sea a través de los menús en la parte superior o de las grandes ventanas de los tres componentes principales.

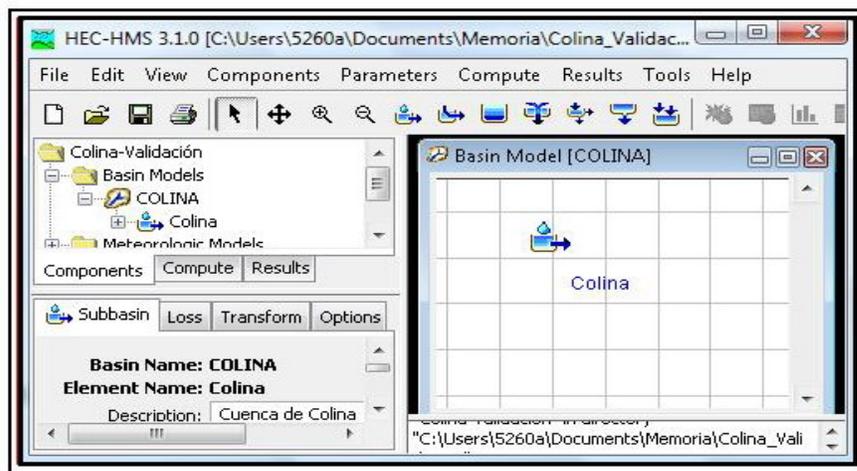


Figura 3. Ventana principal del programa HEC – HMS, versión 3.1.0.

Llamas (1993) describe que los datos de entrada o inputs que requiere el programa HEC - 1, están referidos principalmente al cálculo de la precipitación, a la tasa de pérdida, al hidrograma unitario, al caudal base y a algunos métodos de tránsito de avenidas. Por otro lado, las salidas o outputs que entrega éste, están definidos por hidrogramas de crecidas en forma de tablas o gráficos, volúmenes y gastos de

caudales máximos para distintas duraciones de lluvia y comparaciones de hidrogramas simulados con observados, en base a tablas y funciones objetivos.

Estudios realizados en Illinois, Estados Unidos, por Momcilo *et al.*, (2007) muestran la variabilidad que presentan las precipitaciones actualmente, sobre todo si éstas afectan áreas urbanas propensas a las inundaciones. Esta investigación recopiló registros meteorológicos de 100 años de precipitación, para poder ver los distintos efectos de las precipitaciones en estos últimos años. En este marco, el HEC – HMS, modelo precipitación – escorrentía, fue utilizado para ilustrar la evolución de los impactos relativos de las estimaciones de las precipitaciones, sobre los niveles máximos de inundación en 12 pequeñas cuencas hidrográficas de la región.

Otro ejemplo de la utilización del HEC – HMS, realizado por Knebl *et al.*, (2005) es en la cuenca del río San Antonio, (que posee una superficie aproximada de 1000 Km<sup>2</sup>), ubicada en el centro de Texas, Estados Unidos: así, este autor muestra la integración de programas cartográficos como el NEXRAD III y de algunos programas de simulación hidrológica como el HEC – HMS y HEC – RAS, para el estudio de zonas de inundación que presenta esta región. Una de las principales inundaciones en el verano de 2002 fue elegida como uno de los casos a examinar en el marco de la simulación. El modelamiento de las escorrentías corresponde al HEC – HMS, mientras que el modelamiento hidráulico es hecho por HEC – RAS. Los resultados de esta investigación beneficiarán los futuros esfuerzos de modelado mediante el suministro de una herramienta para las previsiones hidrológicas de las inundaciones a escala regional. Si bien está diseñado para la Cuenca del Río San Antonio, este modelo de escala regional puede ser utilizado como un prototipo para las solicitudes de modelos en otras zonas del país.

#### **4.4. Hidrograma Unitario**

Propuesto por Sherman en el año 1932, este método tiene por objetivo la determinación del hidrograma de aguas superficiales de una cuenca a partir de los pluviogramas correspondientes a las tormentas de la cuenca. Su uso se extiende principalmente para el cálculo de los caudales de crecida (Remenieras, 1971).

De este modo Chow *et al.*, (1998) define al hidrograma unitario de una cuenca como el resultante de 1 mm de exceso de lluvia generado uniformemente sobre el área de drenaje, a una tasa constante, a lo largo de una duración efectiva. Originalmente, Sherman utilizó la palabra unitario para expresar un tiempo unitario, pero desde entonces se ha interpretado habitualmente como una profundidad unitaria de exceso de lluvia.

#### **4.4.1. Hidrograma unitario sintético**

En el estudio de cauces torrenciales, y en general en casi todos los estudios hidrológicos, el cálculo de caudales máximos se afronta con una importante escasez de datos meteorológicos y de datos de aforo. En estos casos lo habitual es que no se disponga de datos de precipitaciones y escorrentía, lo cual ha llevado a obtener relaciones entre características fácilmente medibles en las cuencas y unos coeficientes que permitan estimar el hidrograma unitario. Es así, como a esta clase de hidrogramas se les denomina sintéticos, ya que no provienen de datos reales, sino que de formulaciones obtenidas utilizando datos de otras cuencas (Almansa *et al.*, 1994).

Según Aparicio (1997), se define como hidrograma unitario sintético al obtenido usando únicamente datos de características generales de la cuenca. Estos métodos son utilizados cuando no existen registros de una estación hidrométrica.

“Cuando no existe ningún registro de caudales sobre una cuenca, es posible simular las formas del hidrograma considerando únicamente las características físicas de la cuenca (Llamas, 1993).”

Un ejemplo de este caso es el hidrograma unitario sintético de Snyder quien en 1938 fue el primero en desarrollar este tipo de hidrogramas unitarios basados no en mediciones, sino en fórmulas empíricas provenientes de datos reales. Para su formulación, Snyder estableció las siguientes relaciones (Almansa *et al.*, 1994):

$$t_p = Ct * \left[ \frac{L * Lg}{\sqrt{S}} \right]^{0.38} \text{ (hrs.)}; \quad t_u = \frac{t_p}{5.5}; \quad T_B = \frac{A}{1.8 * Q_p}; \quad q_p = C_p * \frac{275}{t_p}$$

Donde:

$t_p$ : tiempo de retardo en horas;

$L$ : longitud del curso principal en Km;

$Lg$ : distancia desde el desagüe, hasta el punto sobre la corriente principal, que está más cerca al centroide de la cuenca en Km;

$C_i$ : coeficiente de Snyder;

$S$ : pendiente media de la cuenca en porcentaje;

$t_u$ : tiempo unitario en horas;

$T_B$ : tiempo base en horas;

$A$ : área de la cuenca en Km<sup>2</sup>;

$q_p$ : caudal en m<sup>3</sup>/s;

$C_p$ : constante de Snyder.

#### 4.5. Número de Curva

El Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos, desarrolló un método denominado número de curva (NC) de escorrentía, para calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen una clasificación de los llamados complejos hidrológicos suelo - vegetación, a los que determinó una capacidad de infiltración, o mejor dicho, un comportamiento ante la precipitación (Mintegui y López, 1990). Además, define a cada complejo como un tipo de suelo hidrológico y una cubierta de vegetación, asociada a un tratamiento cultural.

Aparicio (1997), describe que una vez que el número de curva ha sido definido, éste debe considerar la precipitación acumulada dentro de los cinco días previos, lo cual modifica al NC de una condición de humedad II, hacia una condición de humedad I o III, según la cantidad de lluvia acumulada. Los límites de cada condición de humedad, varían si las lluvias están en una estación sin desarrollo vegetativo o con desarrollo vegetativo.

Si no existe desarrollo vegetativo, la condición de humedad I es aquella que tiene menos de 12,5 mm de lluvia total; la condición de humedad II es la que está entre los 12,5 a 28 mm de lluvia total y la condición de humedad III es la que supera los 28 mm de lluvia total durante los cinco días anteriores respectivamente; asimismo, si existe desarrollo vegetativo, la condición de humedad I es aquella que tiene menos de 35,6 mm de lluvia total; la condición de humedad II es la que está entre los 35,6 a 53,3 mm de lluvia total y la condición de humedad III, es la que supera los 53,3 mm de lluvia total. Estas cantidades de precipitación son consideradas para los cinco días anteriores al tiempo de análisis.

Según López (1998), se pueden obtener infinitas respuestas de escorrentías ante una precipitación, dependiendo del tipo de asociación suelo - vegetación. Estas respuestas constan de dos partes diferenciadas: la primera es el valor de un umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ), por debajo del cual las precipitaciones no generan escorrentía. Luego de que este valor es superado, se entra en la segunda parte, en la cual la escorrentía va alcanzando el valor de las precipitaciones, hasta que la curva tiende asintóticamente a una inclinación de tangente igual a la unidad; esto significa que, todo lo precipitado en un tiempo determinado, escurre. Como se aprecia en la figura 4.

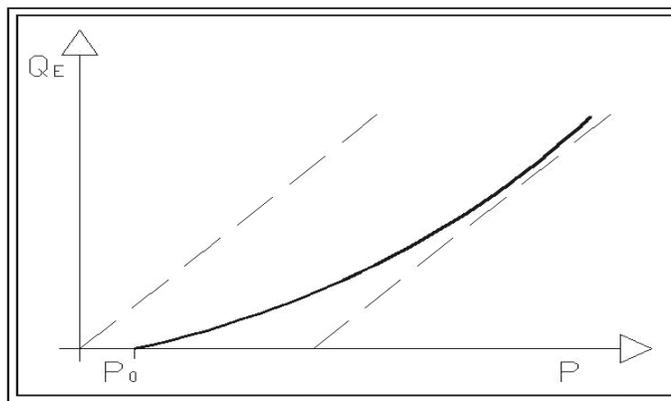


Figura 4. Gráfico del umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ).

## **4.6. Fases de la Simulación**

### **4.6.1. Identificación**

Es el proceso en el cual se identifica la estructura de un modelo y los nexos internos que presenta entre sus elementos. Dentro de esta etapa se definen el número de variables y se establecen las hipótesis en función de los objetivos y resultados esperados (Llamas, 1993).

### **4.6.2. Calibración**

Previo a la aplicación de un modelo de simulación computacional, en la modelación del comportamiento hídrico, éste debe ser ajustado a las condiciones meteorológicas, hidráulicas y morfológicas particulares de la zona de estudio. Este proceso de ajuste, donde uno o más parámetros que caracterizan el comportamiento del sistema, ven modificados sus valores, se conoce como calibración.

Según Llamas (1993), la calibración es la etapa en la cual se calculan o estiman los parámetros del modelo, con criterios deductivos o con ayuda de observaciones anteriores, considerando las demandas y las repuestas.

Dicho de otra forma, el objetivo de la calibración consiste en minimizar la diferencia entre las respuestas observadas del sistema y las respuestas simuladas por el modelo utilizado. La representación matemática de esta diferencia es lo que se conoce como función objetivo (Schwar, 1996 citado por Soto, 2001).

En tanto, Estrela (1988) indica que la calibración se utiliza con el fin de dar valores numéricos a aquellos parámetros de los cuales no se dispone de datos o éstos son muy pocos para su referencia, siendo una etapa en la que se busca que el modelo reproduzca con el menor error posible, el funcionamiento del sistema observado.

Por último, Soto (2001) quien cita a Thyer *et al.*, (1999), refiriéndose a la calibración de modelos conceptuales precipitación – escorrentía, indica que el objetivo

de ésta es estimar un grupo probable y único de parámetros, que calculen la escorrentía de la forma más precisa, dada la información observada.

#### **4.6.3. Validación**

Para Llamas (1993), la calidad de un modelo se mide por los resultados de su validación. Ésta consiste en comparar la respuesta teórica obtenida mediante el modelo de simulación, con esta misma respuesta obtenida por observaciones directas.

Por su parte Kelton y Law (1991), dicen que la validación se refiere a determinar si el modelo conceptual de simulación (en comparación con el programa de computadora), es una representación exacta del sistema que está bajo estudio.

La validación es el acto documentado de probar si cualquier procedimiento, proceso, equipo, material, actividad o sistema, conlleva realmente al resultado esperado o definido (Bedient y Huber, 2002).

Anderson *et al.*, (1993), dicen que el proceso de validación se basa en demostrar que un modelo específico es capaz de hacer predicciones precisas. Idealmente, el modelo debería ser validado por medio de series de datos, de varios años después de finalizado el estudio, para que la predicción del modelo pueda ser avalada.

#### **4.6.4. Límites de aplicación**

Como en todo modelo de simulación o matemático, este debe especificar muy claramente el contexto en el cual ha sido elaborado, así como sus objetivos. En base a esta información, el usuario de este modelo podrá conocer el campo de aplicación real y los límites físicos, fuera de los cuales el modelo puede resultar inadecuado u erróneo en su uso (Llamas, 1993).

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1. Pasos Metodológicos**

#### **5.1.1. Revisión bibliográfica**

En esta parte del estudio se recopiló información relacionada con los aspectos más relevantes de la simulación hidrológica, por medio del programa HEC-HMS y de las características morfológicas e hidrológicas que ayudan a satisfacer las necesidades de cálculo, calibración y validación del programa. Toda la información recopilada se extrajo de textos de hidrología, de estadística, de simulación, revistas de ciencia, memorias o tesis relacionadas con el tema, bases de datos que posee la Universidad de Talca e información proveniente de Internet.

#### **5.1.2. Delimitación del área de estudio**

Para la demarcación de las cuencas dentro de la provincia de Chacabuco, se utilizó la cartografía digital, escala 1:50.000 en formato de Autocad. Con esta información se establecieron dos cuencas; Huechún y Colina. Ambas fueron delimitadas al unir los puntos de las cotas de mayor altura que están presentes cerca de los cursos de agua principales, teniendo en cuenta que no se deben cortar éstos cuando se unan las cotas<sup>1</sup>.

Posteriormente, esto permitió exportar las coordenadas de cada una de las cuencas hacia el programa SIG ArcView, para que de esta manera, las coberturas de los límites se pudieran cruzar con la del catastro vegetacional y la cobertura de suelos.

<sup>1</sup> Comunicación personal de Dr. Roberto Pizarro T., profesor de la cátedra de Hidrología, Universidad de Talca, 2007.

### 5.1.3. Cálculo del hidrograma unitario sintético de Snyder

Para transformar los excesos de lluvia que no son infiltrados por el sistema suelo – vegetación, se utilizó el método del hidrograma unitario sintético de Snyder, que permite transformar la lluvia a escorrentía superficial.

Para la generación del hidrograma de cada cuenca, fue necesario obtener de la base cartográfica el área de la cuenca, la longitud del curso principal, la distancia desde el desagüe hasta el punto más cercano sobre la corriente al centroide de la cuenca y la longitud de las curvas de nivel que estaban presentes al interior de cada cuenca. Todos estos valores se obtuvieron desde la cartografía digital escala 1:50.000 disponible en Autocad, en base a las rutinas que el programa presenta para la medición de objetos.

Con estos valores se calcularon los componentes del hidrograma unitario sintético de Snyder, cuyas fórmulas se detallaron en la revisión bibliográfica, y para la obtención del coeficiente ( $C_t$ ) y parámetro ( $C_p$ ) de Snyder; éstos fueron extraídos desde las tablas de Benítez y Rodríguez (1974), para el estudio de la cuenca de Chicauma.

Finalmente, con la longitud de las curvas de nivel se pudo obtener la pendiente media según Mociornita, la cual se describe a continuación:

$$Pm = \Delta h * \frac{\left( \frac{l_0}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} li + \frac{l_i}{2} \right)}{A}$$

Donde:

$\Delta h$ : es la diferencia de altura entre las curvas de nivel  $m$ ;

$l_0$ : longitud de la curva de nivel de menor cota  $m$ ;

$l_i$ : longitud de las curvas de nivel intermedias  $m$ ;

$l_n$ : longitud de la curva de nivel de mayor cota  $m$ ;

$A$ : superficie de la cuenca  $m^2$ .

#### **5.1.4. Cálculo del número de curva y del umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ )**

Para la generación de los números de curva que estaban presentes en el área de estudio, se debió determinar las capacidades de usos de suelos que ésta presentaba y el tipo de cubierta vegetal que tenía.

Los tipos de suelos presentes en las áreas de estudio, se clasificaron según la cartografía de suelos existentes; en este caso, para la cuenca de Huechún se usaron los mosaicos digitales proporcionados por CODELCO – Chile y para la cuenca de Colina se utilizó un método deductivo, en base a las características de la zona, entre las cuales se consideró la pendiente y la vegetación presente, ya que no existen estudios de capacidad de uso de suelo en la zona, donde se ubica la cuenca. Por la topografía de montaña de la zona, esta debería presentar su capacidad de uso de suelo entre los rangos de clase 6 a 8<sup>2</sup>.

Para la clasificación, se utilizó el texto Materiales y símbolos del CIREN CORFO (1995 – 1996), con el fin de identificar las características de drenaje de cada una de las capacidades de uso de suelo, que era la variable de mayor interés para este estudio.

Una vez identificadas las coberturas de suelos de las cuencas, se procedió a caracterizarlos según las tablas de Ponce (1989), para los suelos hidrológicos que este define.

La segunda parte de la caracterización de las cuencas, correspondió a la cobertura vegetal de los mosaicos digitales, los cuales pertenecían al catastro vegetal de la provincia de Chacabuco, CONAF región Metropolitana. Al igual que con los tipos de suelos, éstos fueron llevados a la clasificación que Ponce, (1989) propuso y describió para la cobertura vegetal, y apoyándose con imágenes de Google Earth para una mejor visualización.

<sup>2</sup> Comunicación personal con Guillermo Zamora, Ingeniero Agrónomo, CIREN, 2008.

Una vez que se precisaron las estructuras de suelo y vegetación, se definió el número de curva (NC) para cada una de las cuencas y el correspondiente umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ); para alcanzar el valor por cada cuenca, las coberturas de suelo y vegetación fueron ponderadas por la superficie que abarcaban, según cada número de curva que se identificó. Después de esto, se utilizó la fórmula del  $P_0$ , para conocer el mínimo de precipitación que se necesita para generar escorrentía.

Fórmula para la obtención del umbral crítico de escorrentía o  $P_0$ :

$$P_0 = 0.2 * \left[ 254 * \left( \frac{100}{N} - 1 \right) \right]$$

Donde:

$P_0$ : Es el umbral crítico de escorrentía en mm;

$N$ : Es el número de curva.

Finalmente y con el número de curva obtenido, fue posible realizar el paso desde la condición hidrológica II hacia la I y III, como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Modificación del número de curva de la condición II a las condiciones I y III.

Número de curva en la condición II	Número de curva en la condición I	Número de curva en la condición III
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79

(Fuente: adaptado desde las tablas de Ponce, 1989)

Continuación tabla 2. Modificación del número de curva de la condición II a las condiciones I y III.

Número de curva en la condición II	Número de curva en la condición I	Número de curva en la condición III
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

(Fuente: adaptado desde las tablas de Ponce, 1989)

#### 5.1.5. Selección de las tormentas

La información de precipitaciones para este estudio, estuvo compuesta por la estación pluviográfica de Rungue Embalse y las estaciones pluviométricas de Colina y Huechún Andina. Estas series de datos correspondían a las registradas entre los años 1995 y 2007.

Una vez definidas las tormentas en la estación de Rungue Embalse, se pudo repartir el patrón que ésta presentaba hacia las estaciones pluviométricas, ya que éstas sólo contaban con la lluvia registrada en 24 horas y de esa forma así poder completar los registros cada 1 hora.

Para repartir la precipitación en toda la zona de estudio, se pretendía utilizar el método de los polígonos de Thiessen, pero al encontrarse las estaciones fuera de los límites de la cuenca, se optó por repartir las tormentas de forma constante en cada zona, según la estación que estuviera más cercana a éstas. Se utilizó este método, de forma que las precipitaciones fueran lo más representativas a cada zona. Gálvez y Pizarro (1983) usaron el método descrito anteriormente, habiendo obtenido resultados

aceptables en la distribución de las precipitaciones para la cuenca del estero Nilahue – VI región.

#### **5.1.6. Calibración**

Para la calibración del modelo, solamente se trabajó con la cuenca de Colina, por ser ésta la única que presentaba los registros reales que permitieron ajustar el modelo. En este sentido, todos los criterios utilizados en la obtención de los inputs para el programa, fueron repetidos para la cuenca de Huechún, ya que si Colina obtenía un ajuste deseable, Huechún replicaría esto a menor escala y con sus características, en la fase de validación.

En el primer escenario de calibración de la cuenca de Colina, se utilizaron los inputs de número de curva y umbral crítico de escorrentía que les correspondía a cada tormenta por sus características en la realidad.

Posteriormente, en el segundo escenario de calibración, se simularon las tres condiciones de humedad que podían haber presentado las tormentas, con el fin de visualizar el comportamiento de éstas en distintas condiciones, y así verificar si se habían definido bien las estructuras de suelo y vegetación, como inputs para el número de curva y el umbral crítico de escorrentía.

Para evaluar estos escenarios, se escogió un porcentaje del 60% de las tormentas al azar para utilizarlas en la fase de calibración del programa HEC-HMS. Para comprobar la calidad del proceso, se utilizaron los siguientes algoritmos de bondad de ajuste como medida de evaluación, en que los dos primeros corresponden a los descritos en el manual de usuario del programa, hecho por el US Army Corps of Engineers, (2001) y los restantes corresponden a estadígrafos estadísticos usados en la comparación de datos (Canavos, 1988):

- Suma de errores absolutos: esta función compara cada ordenada del hidrograma simulado, con la correspondiente al hidrograma observado, señalando como error la diferencia entre las mismas.

Dado que en la simulación hidrológica son tan poco deseables los errores por exceso como por defecto, se ha optado como función objetivo minimizar la suma de los errores absolutos. Su expresión matemática es:

$$Z = \sum_{i=1}^n |Q_o(i) - Q_s(i)|$$

Donde:

Z: función objetivo;

$Q_o(i)$ : caudal observado en el instante i;

$Q_s(i)$ :caudal simulado en el instante i.

- Error porcentual en el caudal punta: esta función objetivo centra su interés exclusivamente en el valor del caudal punta del hidrograma, calculando el error cometido en la simulación en forma de porcentaje, respecto al valor realmente observado. El hecho de que se considere como un valor absoluto al error, equivale a admitir que son igualmente desaconsejables los errores por exceso y por defecto. Su expresión matemática es:

$$Z = 100 * \left( \frac{|Q_{sp} - Q_{op}|}{Q_{op}} \right)$$

Donde:

Z: función objetivo;

$Q_{op}$ : caudal máximo en el hidrograma observado;

$Q_{sp}$ : caudal máximo en el hidrograma simulado.

- Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ): se define como la proporción de la variación total de las observaciones, en este caso de los caudales reales que son explicadas por el modelo.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \hat{C}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C}_i)^2}$$

Donde:

$C_i$ : caudales observados;

$\bar{C}_i$ : promedio de los caudales observados;

$\hat{C}_i$ : caudales simulados.

- Error Estándar de Estimación (EEE): este indicador permite ver la diferencia promedio entre los caudales observados y los caudales simulados por el programa HEC – HMS, en donde los valores cercanos a cero indican que el programa hace una buena simulación de éstos.

$$EEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \hat{C}_i)^2}{n - 2}}$$

Donde:

EEE: Error estándar de la estimación;

$C_i$ : caudales observados;

$\hat{C}_i$ : caudales simulados.

Para realizar la etapa antes descrita, los datos de la estación fluviométrica del río Colina en Peldehue debieron ser separados en escorrentía superficial y subterránea, con el fin que los hidrogramas de crecida fueran comparables. Esta separación se llevó a cabo a través del método gráfico del segundo punto de quiebre, el cual para llevarlo a cabo necesita de un gráfico del caudal (Q) v/s el tiempo (t), y considera el caudal base o subterráneo, siguiendo la tendencia desde antes de la crecida hasta el caudal punta, y desde ahí el caudal base crece hasta el punto en que se produce el segundo punto de quiebre. Este punto de quiebre se define a través de

un gráfico de  $\ln(Q)$  v/s el tiempo ( $t$ ) de los datos de la curva de bajada del hidrograma. Una vez identificado este punto, se procede a llevarlo al gráfico original, para trazar una línea que una el primer punto de quiebre ubicado en la parte ascendente del hidrograma, con el segundo punto de quiebre ubicado en la parte descendente del hidrograma (Pizarro y Novoa, 1986).

Para que esta idea de separación de hidrogramas a través del segundo punto de quiebre, quede de forma más clara, se presenta la siguiente figura que muestra los gráficos antes descritos, en donde la parte izquierda ilustra el hidrograma separado en sus flujos superficiales y subterráneos, mientras que en la parte derecha se identifica el segundo punto de quiebre.

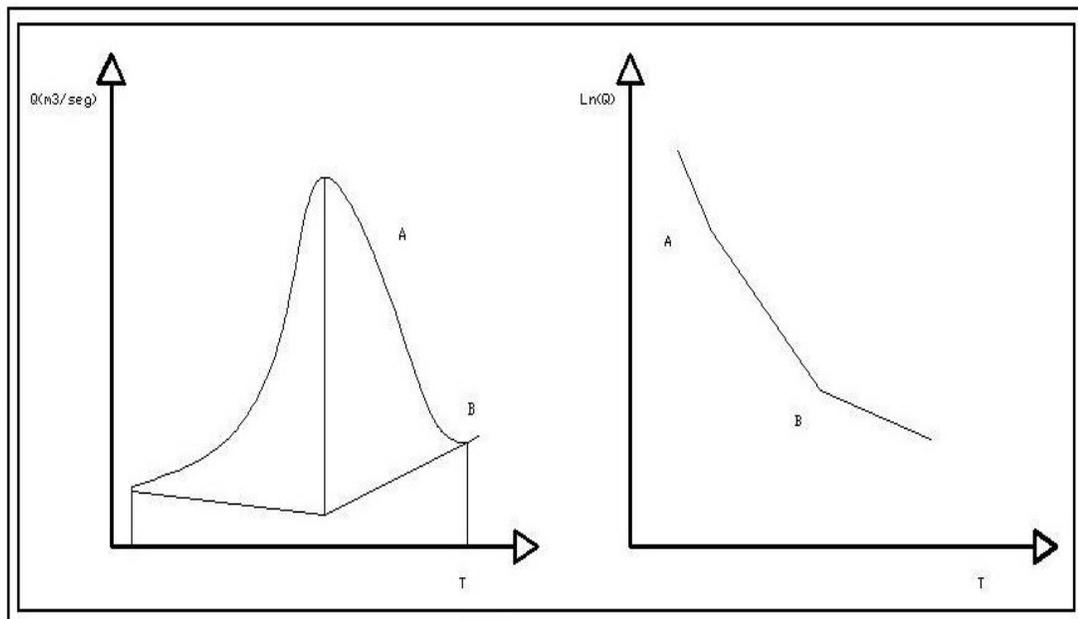


Figura 5. Gráficos de separación del hidrograma unitario (Fuente: adaptado de Pizarro y Novoa, 1986).

### 5.1.7. Validación

La validación del programa, se llevó a cabo con el 40% restante de las tormentas de Colina y, la totalidad de las tormentas fue utilizada para simular la cuenca de Huechún.

Al igual que como se hizo en la fase de calibración, se evaluó la calidad a través de los algoritmos de ajuste nombrados anteriormente.

#### **5.1.8. Presentación y análisis de resultados**

En esta fase se presentan los resultados matemáticos, estadísticos y las simulaciones efectuadas por el programa HEC-HMS. La entrega de éstos fue elaborada en forma de gráficos y/o tablas, para poder posteriormente realizar un análisis del comportamiento del hidrograma de aguas superficiales y del volumen de escorrentía que se presentó en las cuencas de Colina y Huechún.

#### **5.1.9. Análisis estadístico de la información generada**

En esta etapa del estudio, se examinaron los resultados arrojados por las simulaciones de la cuenca de Colina, con el fin de contrastarlas con los datos reales, por medio de la prueba no paramétrica U de Mann – Whitney.

Esta prueba busca determinar si dos muestras independientes provienen o no de la misma población. Dadas dos muestras aleatorias independientes de dos poblaciones, considérese como hipótesis nula ( $H_0$ ) el que ambas poblaciones presentan la misma distribución y como hipótesis alternativa ( $H_1$ ) de que las distribuciones no son las mismas (Canavos, 1988).

Para el desarrollo de esta prueba no paramétrica, se elaboró la siguiente hipótesis, la cual es aceptada o rechazada, en base a las siguientes regiones:

- Hipótesis a contrastar:

$H_0$ : los caudales observados y simulados presentan la misma tendencia central;

$H_1$ : los caudales observados y simulados no presentan la misma tendencia central.

- Regiones de aceptación o rechazo de la hipótesis nula:

Si el valor-p  $> 0,05$ ; entonces se acepta la hipótesis nula  $H_0$  ( $H_0$ : los caudales observados y simulados presentan la misma tendencia central).

Si el valor-p  $< 0,05$ ; entonces se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  ( $H_1$ : los caudales observados y simulados no presentan la misma tendencia central).

#### **5.1.10. Conclusiones y recomendaciones**

Considerando los objetivos propuestos para este estudio, los resultados obtenidos y su posterior análisis, se procedió a efectuar las conclusiones que permitieran describir el uso y aplicación del programa HEC-HMS. Por otra parte, las recomendaciones han sido dadas de acuerdo a los resultados, el análisis de los mismos y los problemas que se encontraron en el desarrollo de este proyecto.

#### **5.2. Materiales y Obtención de la Información**

Para el desarrollo del estudio, se trabajó con series de datos de precipitaciones horarias, correspondientes a las estaciones de Colina, Huechún Andina y Rungue Embalse, e información fluviométrica de la estación río Colina en Peldehue. Esta información fue proporcionada por la Dirección General de Aguas (DGA), región Metropolitana y la Dirección Meteorológica de Chile, siendo ésta última de carácter horaria.

La información cartográfica que se utilizó estaba compuesta por las cartas topográficas IGM escala 1:50.000 correspondientes a Llaillay, Til – Til y Colina e información cartográfica en formato digital (Autocad y Shape) de la provincia de Chacabuco. Esta última base de datos la entregó CODELCO – Chile, División Andina.

Para el cálculo del número de curva, se necesitó la utilización de un mosaico digital de suelos. También fue necesario el catastro vegetacional de la provincia de

Chacabuco el cual estaba en formato shape de ArcView, que fue proporcionado por CONAF región Metropolitana, e imágenes de Google Earth, de las zonas de estudio.

Finalmente, para procesar toda la información, se recurrió a un equipo computacional que tuviera instalado un procesador de texto, un sistema de planillas electrónicas (Microsoft Office), Autocad (versión 2006), ArcView, HEC-HMS (versión 3.1.0) y un software estadístico que en este caso fue Statgraphics Centurion, para el procesamiento de datos. Los software utilizados en esta memoria, están licenciados por la Universidad de Talca, a excepción de Autocad, que esta licenciado por CODELCO – Chile y HEC – HMS que es de libre uso.

## **6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

De acuerdo a la metodología aplicada para este estudio, los resultados obtenidos se presentan a continuación:

### **6.1. Delimitación del Área de Estudio**

En las figuras 6, 7 y 8, se presentan los mapas delimitados según las cotas de mayor altura para cada cuenca, junto con la cobertura vegetal del catastro vegetal para las cuencas de Colina y Huechún.

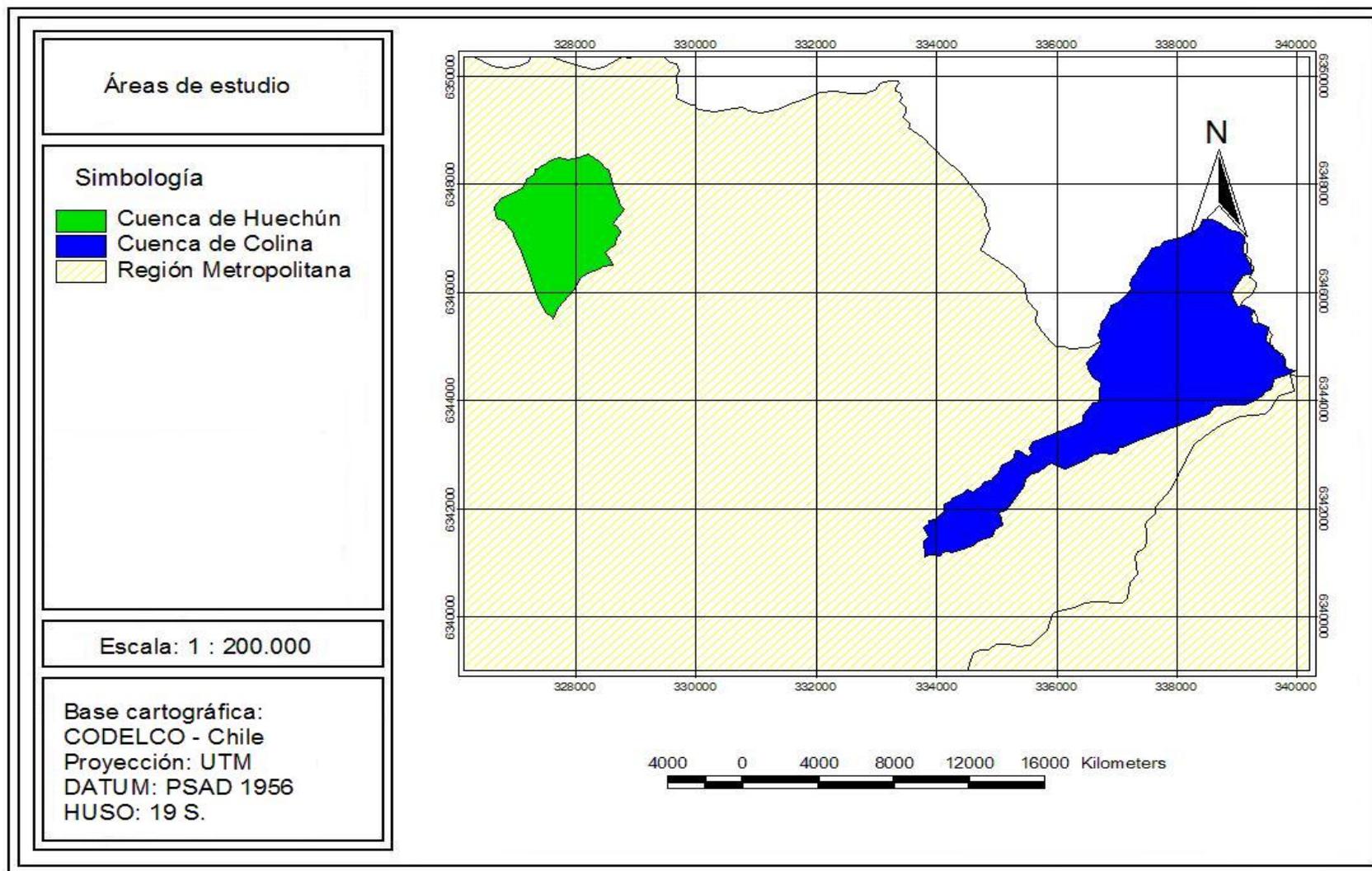


Figura 6. Delimitación de las áreas de estudio, en la región Metropolitana.

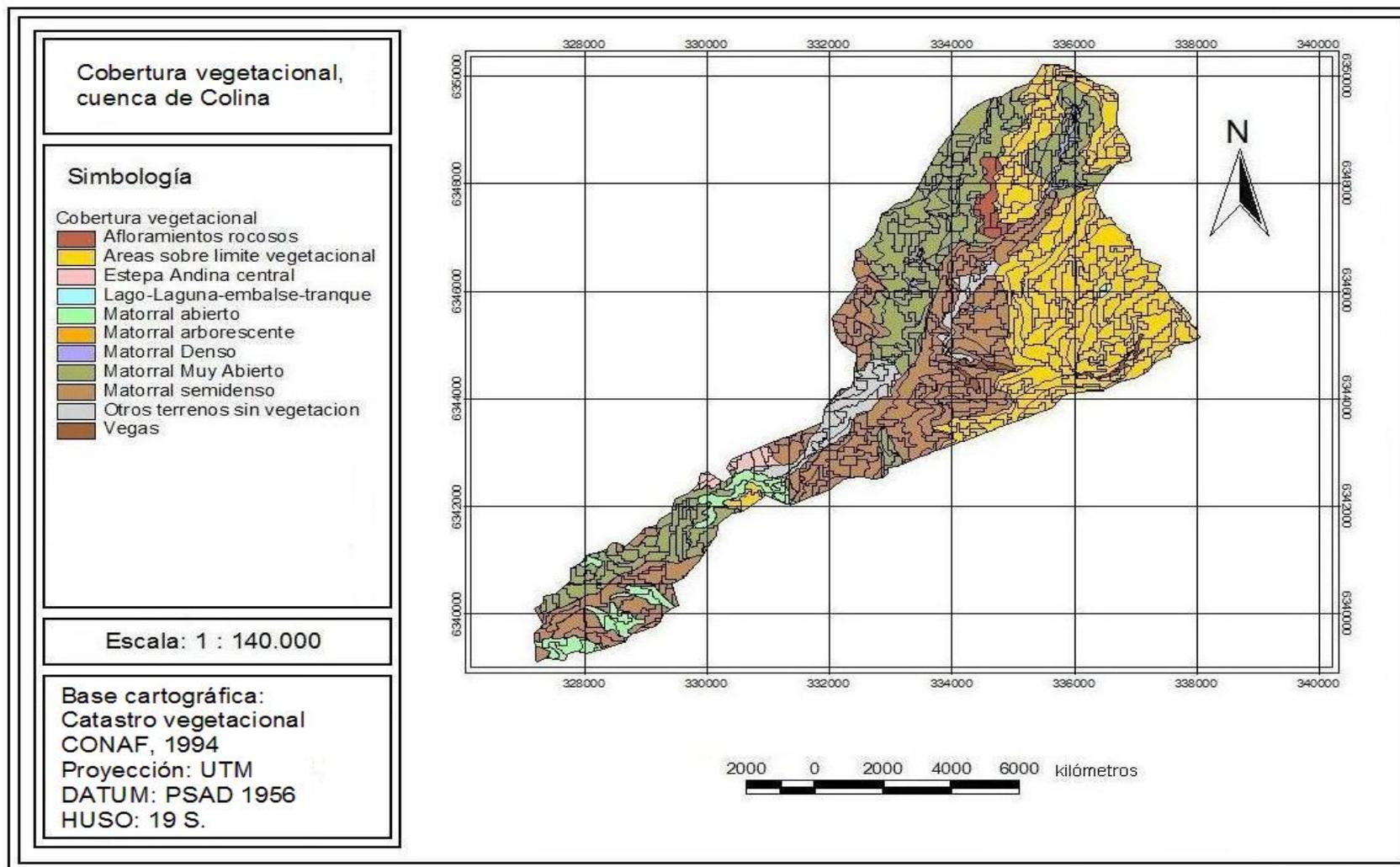


Figura 7. Cobertura vegetal del catastro de CONAF, para la cuenca de Colina.

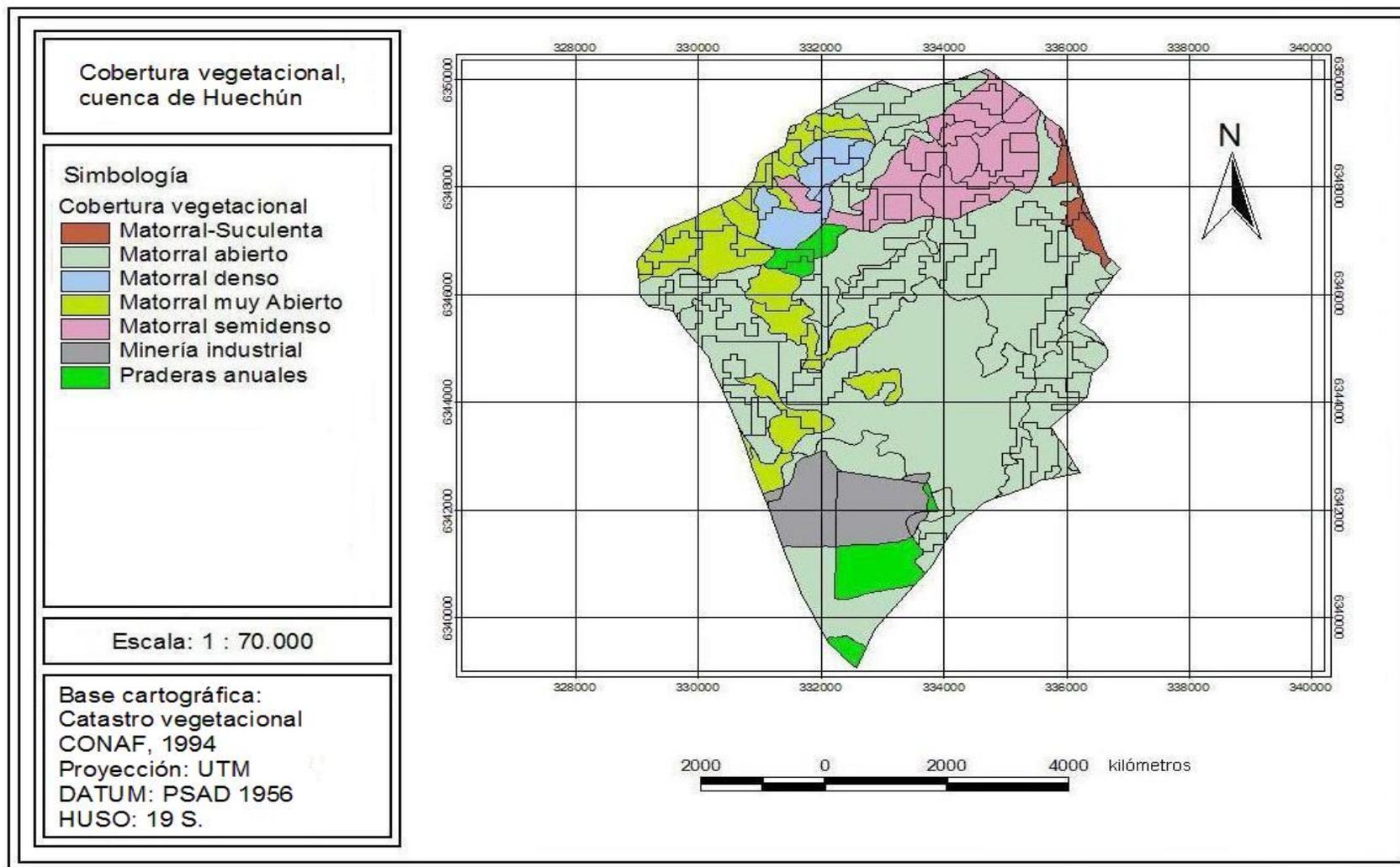


Figura 8. Cobertura vegetal del catastro de CONAF, para la cuenca de Huechún.

## 6.2. Cálculo del Hidrograma Unitario Sintético de Snyder

Como se señaló en la metodología, todos los cálculos de longitudes y áreas se realizaron en Autocad, lo que permitió definir las variables que exige el hidrograma unitario sintético de Snyder para su cálculo.

En la tabla 3 se pueden apreciar las mediciones de las diferentes variables de interés para el cálculo del hidrograma unitario, como también, el resultado arrojado por cada una de las fórmulas para la cuenca de Colina y Huechún. En los anexos II y III se detalla de forma completa, cada uno de los pasos llevados a cabo para el cálculo de la pendiente media de Mociornita y del hidrograma unitario sintético de Snyder correspondientemente.

Tabla 3. Resultados de las mediciones y cálculo de las variables del hidrograma unitario sintético de Snyder.

Variables	Cuencas	
	Colina	Huechún
Área de la cuenca (A) Km <sup>2</sup>	110,5	38,5
Constante de Snyder (C <sub>p</sub> )	0,692	0,692
Coeficiente de Snyder (C <sub>t</sub> )	0,68	0,68
Longitud del curso principal (L) Km	57,49	11,63
Distancia desde el desagüe, hasta el punto sobre la corriente principal (L <sub>g</sub> ) Km	34,45	2,47
Pendiente media de la cuenca (S) en porcentaje	0,4309	0,2179
t <sub>p</sub> : tiempo de retardo (h)	14,28	3,25
Tiempo unitario modificado (tu') en horas	3	1
Tiempo unitario (t <sub>u</sub> ) en horas	2,60	0,59
Tiempo de retardo modificado (t <sub>pm</sub> ) en horas	14,38	3,36
Caudal (q <sub>p</sub> ) m <sup>3</sup> /s	13,23	56,71
Tiempo base (T <sub>B</sub> ) en horas	42,0	9,8

Cabe indicar que Snyder dentro de sus fórmulas, señala que si el tiempo unitario (t<sub>u</sub>) no es un valor entero, se aproxima a un valor fácilmente utilizable, por lo cual se convierte en un tiempo unitario prima (tu'), lo que conlleva que el tiempo de retardo (t<sub>p</sub>) también sea rectificado a un tiempo de retardo modificado (t<sub>pm</sub>). Snyder,

definió en sus fórmulas que si el  $t_u'$  no superaba el siguiente intervalo  $t_u - 10\% \leq t_u' \leq t_u + 10\%$ , era mejor no modificar. En la tabla 4 se presentan los límites del intervalo propuesto por Snyder.

Tabla 4. Límites de tolerancia para la modificación del tiempo unitario en horas.

Límites $t_u'$ (h)	Cuencas	
	Colina	Huechún
Inferior	2,3	0,5
Superior	2,9	0,7

Finalmente y como se aprecia en la tabla 4, el  $t_u'$  de cada una de las cuencas supera los intervalos calculados para éstas; de esta forma se opta por la opción de utilizar para los cálculos el  $t_u'$  y el tpm, ya calculados.

### 6.3. Clasificación de los Suelos

En las tablas 5 y 6 se detallan las superficies de los suelos hidrológicos deducidos e identificados según el criterio del número de curva para las cuencas de Colina y Huechún. En el anexo IV, se muestran en detalle los pasos seguidos en la clasificación de los suelos y su posterior reclasificación hacia los suelos hidrológicos que define Ponce (1989).

Tabla 5. Superficie de suelos clasificados en base a los suelos hidrológicos definidos por Ponce (1989), para la cuenca de Colina.

Suelo hidrológico	Área (Km <sup>2</sup> )
B	71,4
D	39,2
<b>Total</b>	<b>110,5</b>

Tabla 6. Superficie de suelos clasificados en base a los suelos hidrológicos definidos por Ponce (1989), para la cuenca de Huechún.

Suelo hidrológico	Área (Km <sup>2</sup> )
A	33,6
D	4,9
<b>Total</b>	<b>38,5</b>

Como se aprecia para ambas cuencas, se identificaron dos de los cuatro suelos hidrológicos, verificándose que en ambas cuencas se encontró el suelo hidrológico D, el cual presenta una humedad muy alta y una infiltración muy lenta. En Colina, se encontró adicionalmente el suelo hidrológico B, que consiste en suelos que estando muy húmedos, tienen una capacidad de infiltración moderada; en tanto, para la cuenca de Huechún, se encontró el suelo hidrológico A, que se caracteriza por tener una rápida infiltración aún estando muy húmedo. En las figuras 9 y 10 se visualizan las imágenes generadas de esta clasificación.

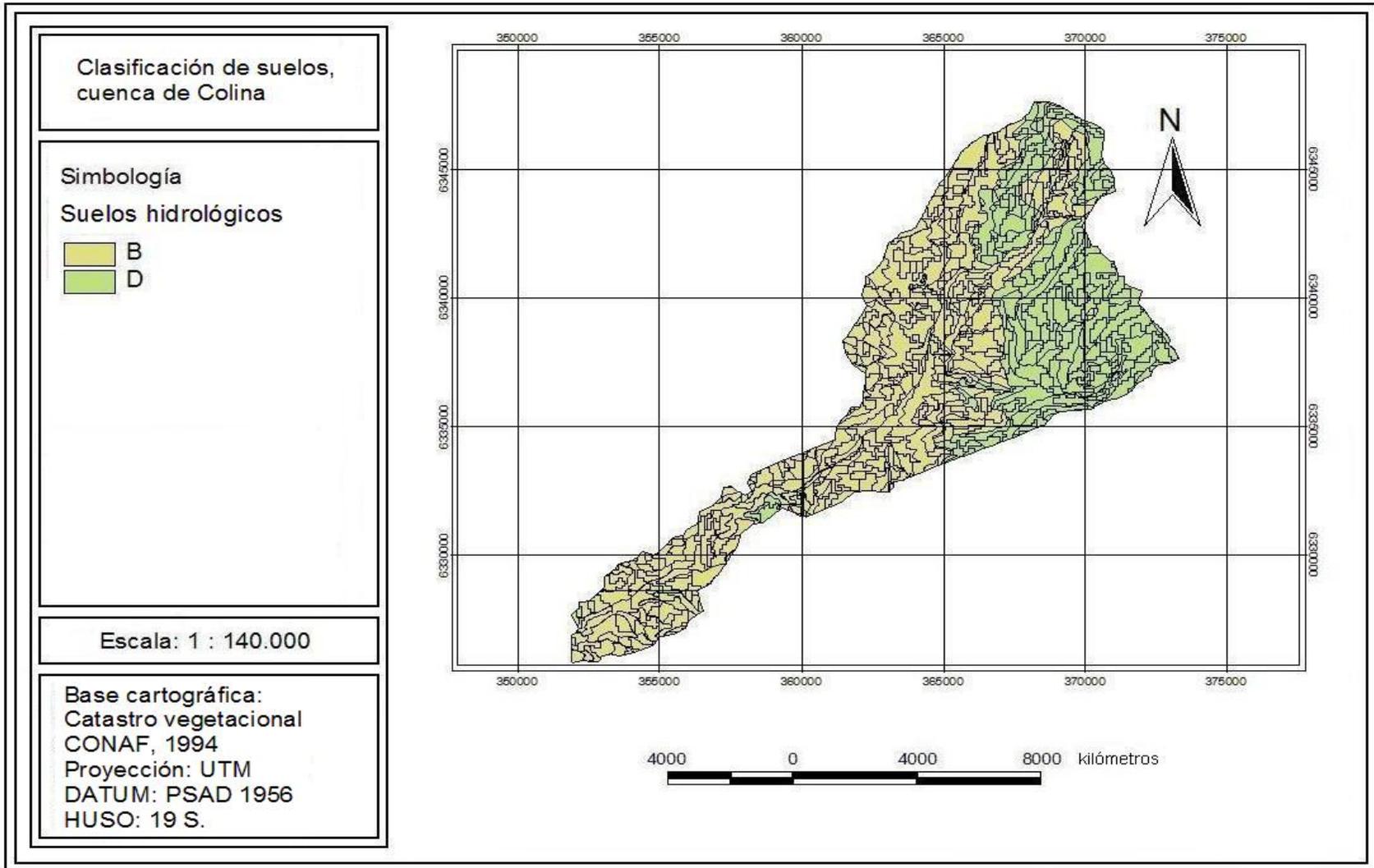


Figura 9. Suelos hidrológicos presentes en la cuenca de Colina.

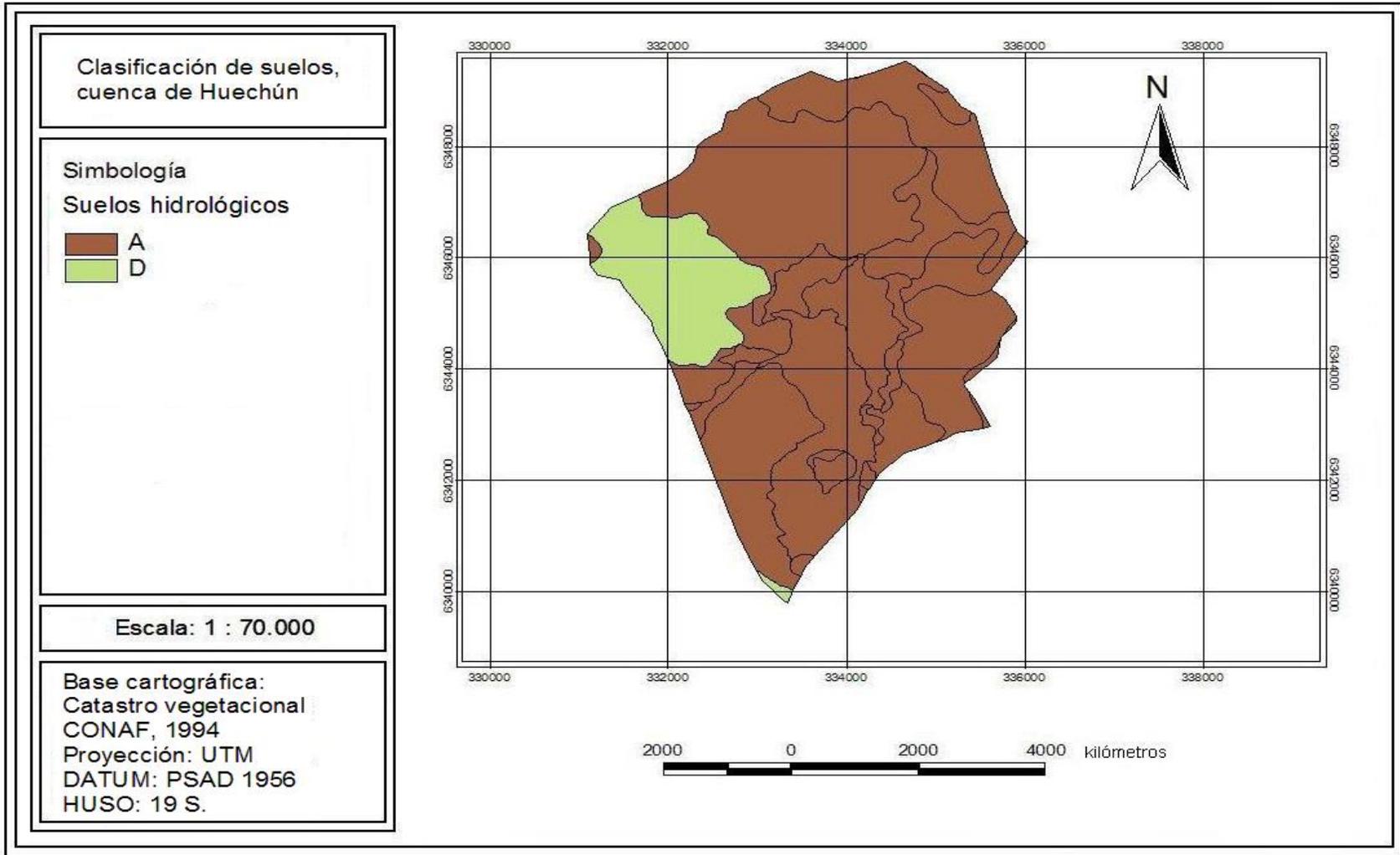


Figura 10. Suelos hidrológicos presentes en la cuenca de Huechún.

#### **6.4. Clasificación de la Cobertura Vegetacional**

En el anexo V, se detallan de forma completa los criterios utilizados en la interpretación del Catastro vegetacional de CONAF. A modo de ejemplo, es posible anunciar que si en el catastro vegetacional existía un área que se definía como matorral abierto, éste se relacionó de forma casi directa, con lo que es definido por Ponce (1989), como “Herbácea: mezcla de hierba, maleza, matorral de bajo crecimiento, siendo el matorral el elemento de menor importancia”. Mientras tanto, el porcentaje de cobertura que presentó esa área, definió el estado hidrológico que en teoría se debía presentar.

Cada cobertura de las nuevas clasificaciones hechas para las cuencas de Colina y Huechún, se presentan en las tablas 7 y 8, donde además se puede identificar qué tipo de suelo hidrológico y número de curva les correspondió a cada uso.

Tabla 7. Tipo de cobertura vegetal presente en la cuenca de Colina.

Cobertura vegetal de la cuenca de Colina						
% Cobertura	Uso actual	Área (Km <sup>2</sup> )	Suelo hidrológico	Tabla de Ponce	Estado hidrológico	Número de curva (NC)
Abierto 25 - 50	Matorral abierto	4,1297	B	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Malo	67
Denso > 75	Matorral denso	1,0542	B	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Bueno	48
Muy abierto < 25	Matorral muy abierto	29,2914	B	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Malo	67
Semidenso 50 - 75	Matorral semidenso	30,6674	B	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Medio	56
	Afloramientos rocosos	1,4307	D	Superficies impermeables: gravas	-	91
	Áreas sobre limite de vegetación	36,9045	D	Superficies impermeables: gravas	-	91
	Estepa Andina Central	1,0222	B	Herbácea: mezcla de hierba, maleza matorral de bajo crecimiento, siendo el matorral el elemento de menor importancia	Medio	71
	Lago, Laguna, Embalse, Tranque	0,1147	B	Superficies recientemente catalogadas (sólo superficies permeables, sin vegetación)	-	86
	Otros terrenos sin vegetación	5,0824	B	Superficies recientemente catalogadas (sólo superficies permeables, sin vegetación)	-	86
	Vegas	0,8273	D	Pastos, prados o forraje permanentemente para pastoreo	Malo	89
<b>Superficie total</b>		110,5245 Km <sup>2</sup>				

Tabla 8. Tipo de cobertura vegetal, presente en la cuenca de Huechún.

Cobertura vegetal de la cuenca de Huechún						
% Cobertura	Uso actual	Área (Km <sup>2</sup> )	Suelo hidrológico	Tabla de Ponce	Estado hidrológico	Número de curva (NC)
	Minería industrial	2,5597	A	Superficies impermeables (gravas)	-	76
Denso > 75	Matorral - suculenta	0,4979	A	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Bueno	30
Abierto > 50	Matorral abierto	17,2768	A	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Malo	48
Abierto ≤ 49	Matorral abierto	6,3841	D	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Malo	82
Denso > 75	Matorral denso	0,8641	A	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Bueno	30
Denso > 75	Matorral denso	0,4635	D	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Bueno	73
Muy abierto	Matorral muy abierto	1,7011	A	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Malo	48
Muy abierto	Matorral muy abierto	2,9437	D	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Malo	83
Semidenso	Matorral semidenso	4,1994	A	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Medio	35
	Praderas anuales	1,2203	A	Prados cubiertos permanentemente con hierba, protegidos del pastoreo y normalmente segados para heno (prados de siega)	-	30
	Praderas anuales	0,3936	D	Prados cubiertos permanentemente con hierba, protegidos del pastoreo y normalmente segados para heno (prados de siega)	-	78
<b>Superficie total</b>		<b>38,5043 Km<sup>2</sup></b>				

Con los antecedentes descritos en las tablas 7 y 8, se generaron las equivalencias en cobertura para cada una de las cuencas, lo cual se expresa en las figuras 11 y 12, que corresponden a los mapas de cada una de las reclasificaciones hechas para las cuencas de Colina y Huechún en su componente vegetacional.

Para que las representaciones cartográficas de estas cuencas tuvieran una mejor visualización, la simbología de éstas fue simplificada. En la tabla 9, se detalla de forma extensa el significado de cada una de las abreviaturas.

Tabla 9. Simbologías utilizadas en las representaciones cartográficas.

<b>Simbología abreviada</b>	<b>Simbología de forma extensa</b>
HHM	Herbácea: mezcla de hierba, maleza, matorral de bajo crecimiento, siendo el matorral el elemento de menor importancia*.
PPF	Pastos, prados o forraje permanentemente para pastoreo*.
SIGR	Superficies impermeables: gravas*.
SRC	Superficies recientemente catalogadas (sólo superficies permeables, sin vegetación)*.
MMM	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario*.
PPH	Prados cubiertos permanentemente con hierba, protegidos del pastoreo y normalmente segados para heno (prados de siega)*.

Las descripciones de las simbologías abreviadas que están marcadas con un asterisco (\*), corresponden a las definidas por Ponce (1989), para este tipo de estructuras.

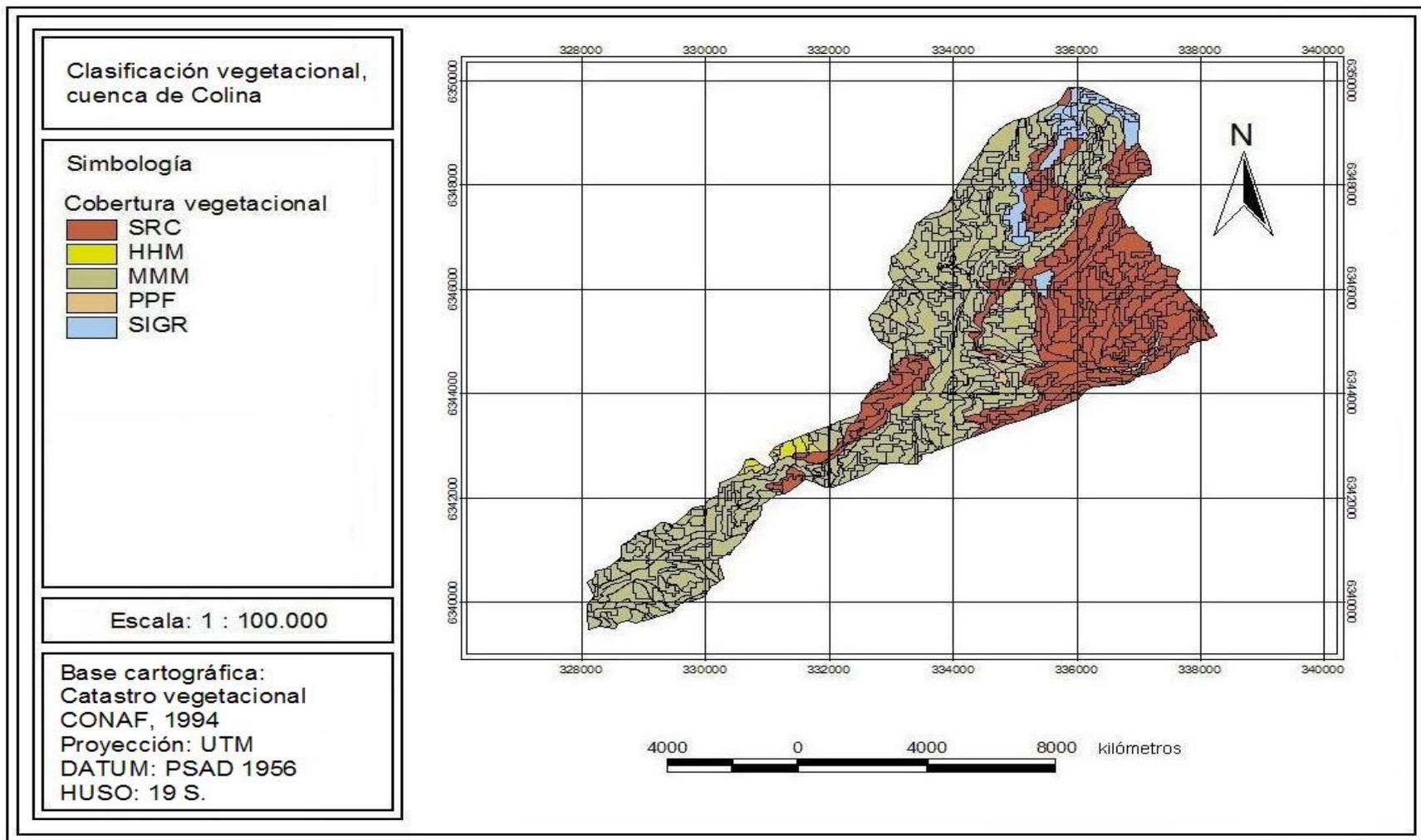


Figura 11. Reclasificación de la cobertura vegetal según las tablas de Ponce (1989) para la cuenca de Colina.

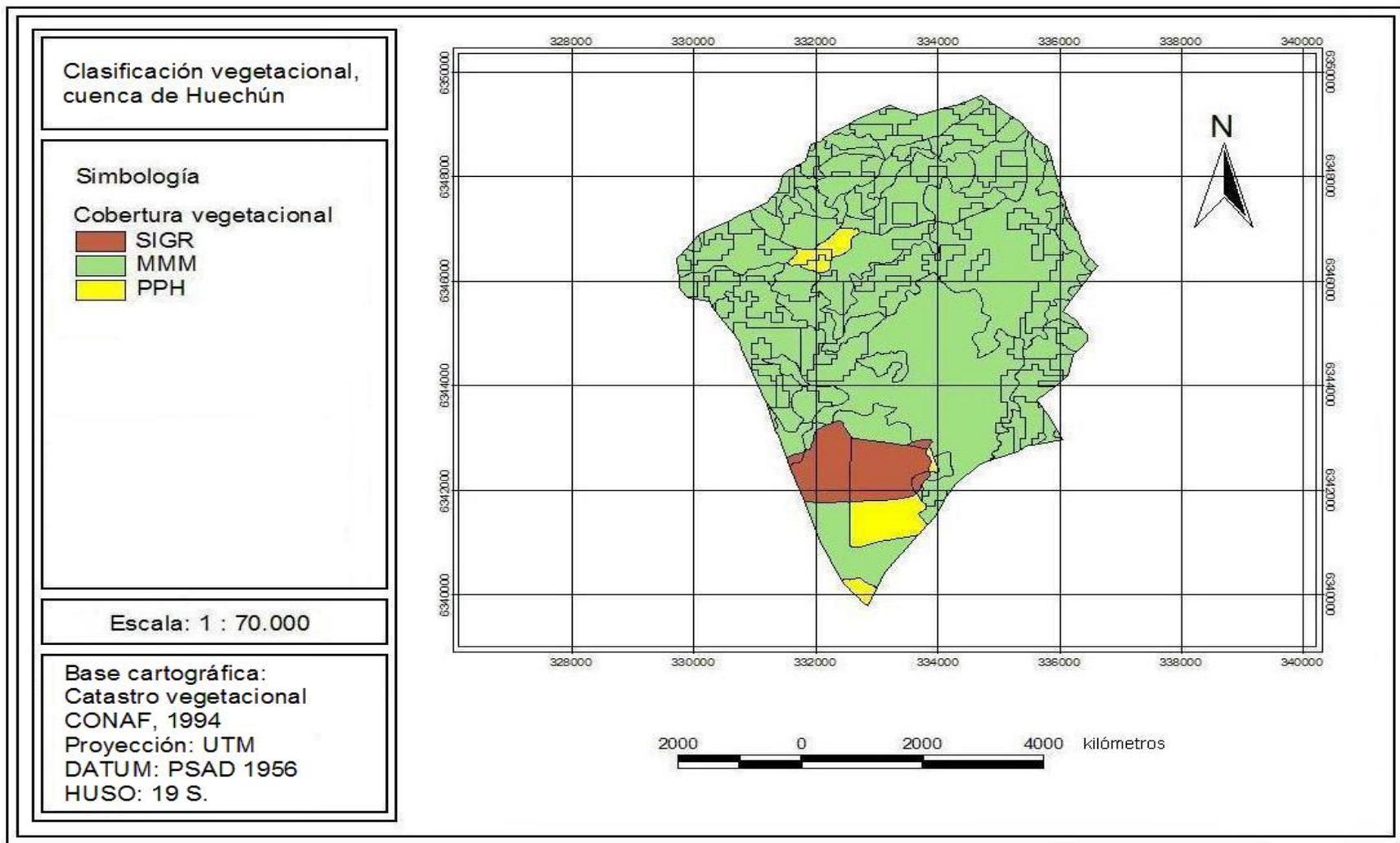


Figura 12. Reclasificación de la cobertura vegetacional según las tablas de Ponce (1989) para la cuenca de Huechún.

En los mosaicos se aprecia que la cuenca de Colina presenta una cobertura cercana al 60% de matorral, mezcla de matorral y maleza, como se observa en la figura 11, mientras que el restante 40% está compuesto casi totalmente por superficies impermeables del tipo gravas. En la figura 13, se puede observar una fotografía del área de estudio que ilustra esta situación, mientras que en el anexo V, se muestran otras fotografías del área de estudio.

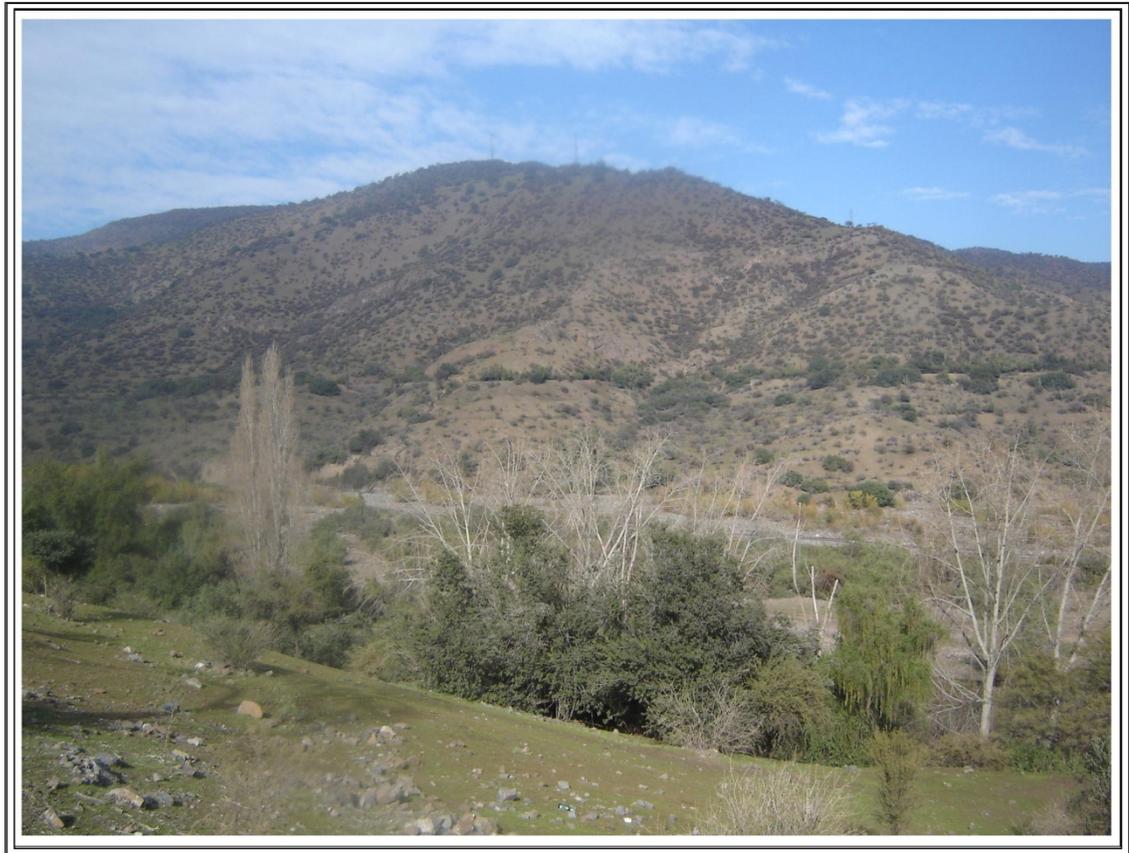


Figura 13. Vista panorámica de la cobertura presente en la cuenca de Colina.

La cuenca de Huechún, a diferencia de la de Colina, está cubierta con cerca de un 90% de matorral, mezcla de matorral y maleza, como se aprecia en la figura 12; el resto son prados cubiertos permanentemente con hierba y superficies impermeables del tipo gravas.

## 6.5. Cálculo del Número de Curva (NC) y del Umbral Crítico de Escorrentía ( $P_0$ )

Con los antecedentes de suelo y vegetación ya clasificados, en la tabla 10 se aprecia el número de curva y el umbral crítico de escorrentía correspondiente a cada cuenca. Así también, se incluyen las restantes dos condiciones previas de humedad que se obtuvieron a través de la tabla 2 por interpolación lineal (Ponce, 1989).

Tabla 10. Números de curva y umbrales críticos de escorrentía del escenario 1.

Cuenca	Condiciones previas de humedad	Número de curva (NC)	Umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) mm
Colina	I	54,8	41,9
	II	73,2	18,6
	III	89,6	5,9
Huechún	I	34,4	96,9
	II	56,2	39,6
	III	76	16

## 6.6. Selección de las Tormentas

Las precipitaciones corresponden a uno de los factores que generan la escorrentía sobre las coberturas de suelo y vegetación, de ahí la importancia de conocer su distribución y duración en el tiempo.

Del total de tormentas registradas por las estaciones, se verificó que la estación de Colina presentó un total de 34 tormentas para el período de estudio y para la estación de Huechún Andina se registraron 31 tormentas en el mismo período. De éstas, solamente se utilizó el 60% de las tormentas de la estación de Colina para llevar a cabo la calibración. En el apéndice I se detalla cada una de las precipitaciones, así como el patrón de distribución que se utilizó para repartir las lluvias a lo largo de las horas.

## 6.7. Calibración del HEC-HMS

### 6.7.1. Calibración por medio de la cuenca de Colina

Para el escenario 1 de calibración, se detallan en la tabla 11, las tormentas y la precipitación total utilizada en la fase de simulación del programa HEC-HMS; además, se describen las condiciones previas de humedad que se presentaban antes de las lluvias, lo cual lleva a definir el número de curva que corresponde, junto con su umbral crítico de escorrentía.

Tabla 11. Caracterización de las tormentas en sus condiciones previas de humedad, número de curva, umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) y precipitación ( $P_p$ ) total del escenario 1.

Tormentas	Condición según situación previa de humedad	Número de curva (NC)	Umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) mm	$P_p$ total de la tormenta (mm)
04-07-1995	I	54,8	41,9	24,5
13-08-1995	I	54,8	41,9	15,5
13-06-1996	I	54,8	41,9	16
28-05-1997	I	54,8	41,9	73,7
30-07-1997	I	54,8	41,9	19
13-03-1999	I	54,8	41,9	5,8
12-06-2000	I	54,8	41,9	126
23-06-2000	I	54,8	41,9	20
27-06-2000	II	73,2	18,6	77,5
14-05-2001	I	54,8	41,9	24,6
17-07-2001	I	54,8	41,9	80,1
25-08-2001	I	54,8	41,9	24,7
27-05-2002	II	73,2	18,6	9,2
22-07-2002	II	73,2	18,6	27
07-07-2003	I	54,8	41,9	30,7
03-09-2004	I	54,8	41,9	5,4
12-11-2004	II	73,2	18,6	50,8
11-03-2005	I	54,8	41,9	7,5
16-08-2005	I	54,8	41,9	13,8
26-08-2005	III	89,6	5,9	65,8

Como se mencionó, las tormentas antes descritas fueron simuladas con el programa HEC-HMS, según las características que cada una en particular definía (ver tabla 11); así, el número de curva definido para las condiciones de humedad de cada tormenta, respondió de buena forma al hecho en que las tormentas que no tenían escorrentía, no generaron valor alguno en sus simulaciones; sin embargo, las que si debían generar escorrentía, entregaron resultados muy desiguales en los parámetros tomados como comparación y en general con una muy mala calidad de estimación.

Así, por ejemplo, de las tormentas simuladas, sólo tres replicaron de forma exacta la cantidad de picos en sus curvas de crecida, mientras que las cuatro restantes que generaban escorrentía, variaban su error entre dos a cuatro picos no simulados. De forma genérica, el tiempo base presentó un porcentaje de variación desde el 3% al 64%. En la tabla 12, se describen los resultados obtenidos de las simulaciones que generaron escorrentía.

Tabla 12. Comparación de los valores reales v/s simulados para las tormentas en sus valores de caudal punta, tiempo base, área bajo la curva y número de picos del escenario 1.

Tormentas	Caudal punta (m <sup>3</sup> /s)		Tiempo base (h)		Área bajo la curva		N° de picos de la tormenta	
	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado
28-05-1997	13,5	5,1	92	70	218,4	109,6	4	1
12-06-2000	88,2	21,6	96	99	886,5	732,4	3	1
27-06-2000	28,6	15,8	140	132	1004,9	645,9	2	2
17-07-2001	28	7,3	106	73	208,9	208,9	1	1
22-07-2002	12,1	1	130	47	313,9	14,8	4	1
12-11-2004	15,6	9,5	100	78	446,1	202,1	5	1
26-08-2005	46,8	25,6	93	111	1441,9	1158,8	2	2

Por otra parte, las medidas de bondad de ajuste, usadas para evaluar las simulaciones como, el R<sup>2</sup>, el error estándar de estimación (EEE), el error sobre la media (ESM) y la suma de errores absolutos (SEA), no dieron buenos resultados en la comparación de los valores reales y simulados de los hidrogramas.

Por ejemplo, como se observa en la tabla 13, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de las simulaciones, alcanzó un bajo valor, habiéndose presentado incluso valores cero. Así también, el error estándar de estimación (EEE) no dio un buen ajuste, encontrándose que podían cometer errores de hasta 15 m<sup>3</sup>/s en la estimación de valores para el hidrograma total.

Tabla 13. Ajustes usados para evaluar la calidad de las simulaciones del escenario 1.

Tormentas	R <sup>2</sup>	Error estándar de estimación (EEE)	Error sobre la media (ESM)	Suma de errores absolutos (SEA)
28-05-1997	0,27	2,66	1,03	128,26
12-06-2000	0,13	15	1,92	746,45
27-06-2000	0,39	6,48	1,02	742,25
17-07-2001	0,30	3,45	1,60	194,73
22-07-2002	0	3,47	1,54	497,46
12-11-2004	0,35	3,04	0,66	252,04
26-08-2005	0,45	11,02	0,88	848,41

Para el caudal punta que es un valor importante en el diseño de obras civiles, las diferencias entre las crecidas reales y simuladas son muy altas, verificándose errores de casi un 76% en su estimación, como se observa en la tabla 14.

Tabla 14. Errores en la estimación del caudal punta del escenario 1.

Tormentas	Error porcentual en el caudal punta (EPCP)
28-05-1997	62,28
12-06-2000	75,50
27-06-2000	44,77
17-07-2001	73,89
22-07-2002	91,71
12-11-2004	39,21
26-08-2005	45,35

Con respecto al comportamiento de los hidrogramas simulados v/s los reales, éste se ejemplifica en los gráficos 1 y 2 con las tormentas del 12-06-2000 y del 26-08-2005, las cuales avalan el hecho de que las curvas no mostraron un comportamiento

similar a la realidad. En el apéndice III se detallan todos los gráficos de las tormentas que presentaron escorrentía.

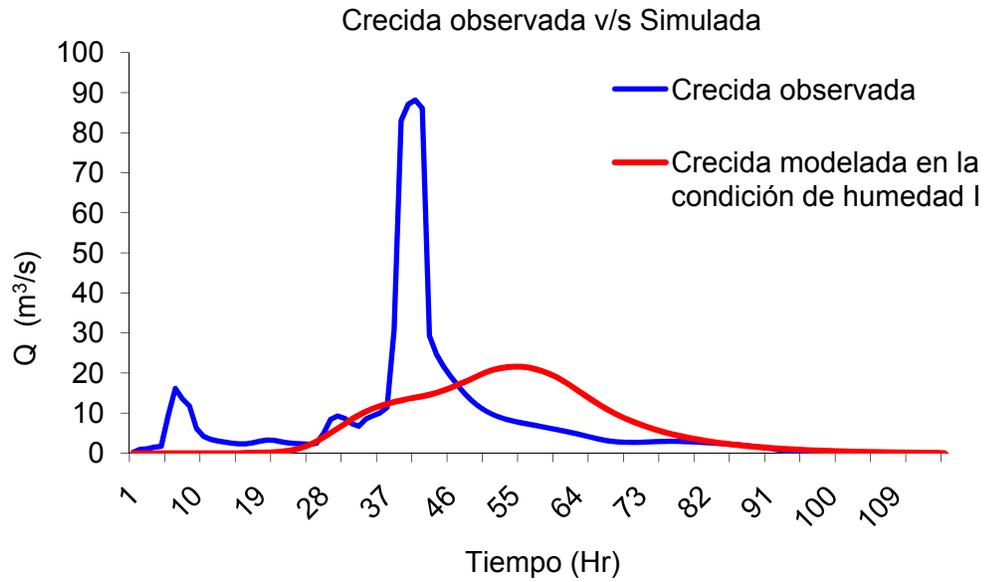


Gráfico 1. Comparación de las crecidas reales v/s las simuladas para la tormenta del 12-06-2000.

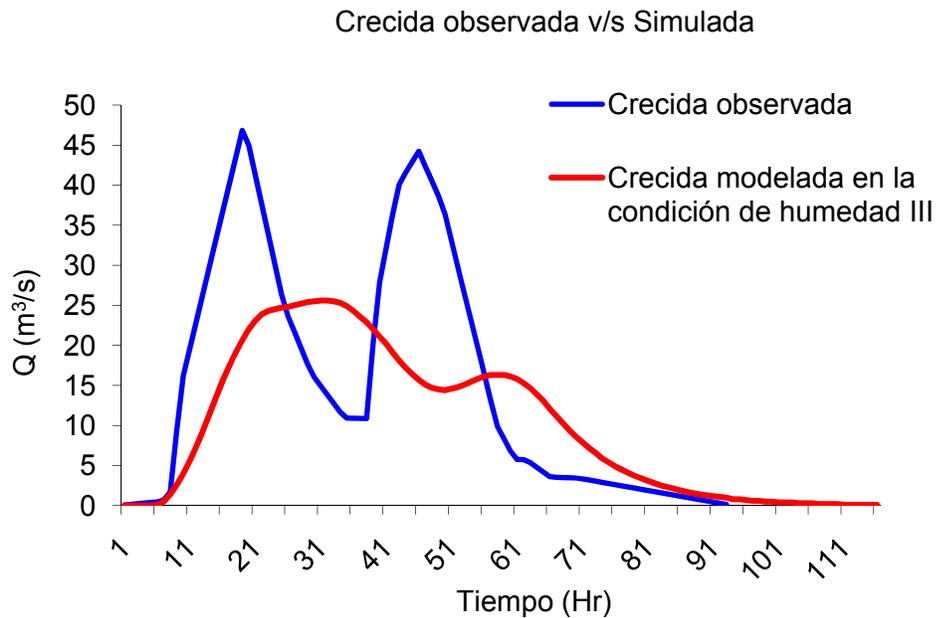


Gráfico 2. Comparación de las crecidas reales v/s las simuladas para la tormenta del 26-08-2005.

Las simulaciones de las tormentas consideraron las condiciones previas de humedad y por tanto, se asimiló el número de curva correspondiente a la condición de humedad respectiva. Sin embargo, lo que se verificó fue que no presentaron un ajuste deseable en sus valores y por tanto se tomó la decisión de volver a simular cada tormenta otra vez, pero ahora todas las condiciones de humedad existentes, a lo que llamó escenario 2 de calibración, con el fin de lograr obtener un mejor resultado y así poder verificar si un número de curva distinto, generaba mejores resultados de ajuste.

El procedimiento antes descrito, solamente se realizó sobre las tormentas que generaron escorrentía en la realidad. Las otras tormentas se dejaron fuera de esta situación, ya que al no presentar escorrentía, no daban un margen de comparación.

Las condiciones de humedad marcadas con dos asteriscos (\*\*), en la tabla 15 y 16, indican las condiciones reales de humedad que presentaron las tormentas.

Tabla 15. Comparación de los valores reales v/s los simulados en las condiciones previas de humedad I, II y III.

Tormenta	Cond. humedad	Caudal punta (m <sup>3</sup> /s)		Tiempo base (h)		Área bajo la curva		N° de picos de la tormenta		R <sup>2</sup>	Error estándar de estimación (EEE)	Error sobre la media (ESM)	Suma de errores absolutos (SEA)				
		Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado								
28-05-1997	I**	13,5	5,1	92	70	218,4	109,6	4	1	0,27	2,66	1,03	128,26				
	II		22,1		90		587		1					0	6,09	2,38	366,45
	III		43,2		97		1385,3		1					0	16,71	6,82	1157,31
12-06-2000	I**	88,2	21,6	96	99	886,5	732,4	3	1	0,13	15	1,92	746,45				
	II		41,9		110		1747,2		2					0	17,65	2,28	1387,68
	III		62,5		114		2936,6		2					0	27,35	3,53	2342,40
27-06-2000	I	28,6	5,3	140	98	1004,9	133,1	2	1	0	9,59	1,33	872,26				
	II**		15,8		132		645,9		2					0,39	6,48	1,02	742,25
	III		26,1		142		1475,1		3					0	9,07	1,52	1066,20
17-07-2001	I**	28	7,3	106	73	208,9	176,3	1	1	0,3	3,45	1,60	194,73				
	II		30,5		84		745,3		1					0	8,42	4,08	544,09
	III		62,5		118		1614,8		1					0	19,89	9,98	1391,88
22-07-2002	I	12,1	0	130	0	313,9	0	4	0								
	II**		1		47		14,8		1					0	3,47	1,54	313,86
	III		10,6		83		253,5		1					0	4,37	2,19	497,46
12-11-2004	I	15,6	0,2	100	29	446,1	1,2	5	1	0	5,93	1,28	457,58				
	II**		9,5		78		202,1		1					0,35	3,04	0,66	252,04
	III		28,2		81		730,1		1					0	7,14	1,55	512,27
26-08-2005	I	46,8	2,2	93	78	1441,9	56,2	2	1	0	20,27	1,45	1390,67				
	II		9,6		107		440,8		2					0	16,27	1,28	1077,13
	III**		25,6		111		1158,8		2					0,45	11,02	0,88	848,41

Tabla 16. Errores en la estimación del caudal punta para todas las condiciones de humedad del escenario 2.

Tormenta	Cond. humedad	Error porcentual en el caudal punta (EPCP)
28-05-1997	I**	62,28
	II	63,44
	III	219,48
12-06-2000	I**	75,50
	II	52,47
	III	29,10
27-06-2000	I	81,47
	II**	44,77
	III	8,77
17-07-2001	I**	73,89
	II	9,07
	III	123,51
22-07-2002	I	
	II**	91,71
	III	12,16
12-11-2004	I	98,72
	II**	39,21
	III	80,46
26-08-2005	I	95,30
	II	79,51
	III**	45,35

A pesar de haber simulado en las tres condiciones de humedad, los resultados de las tormentas no mostraron una notoria mejoría en sus valores punta y en sus curvas de crecida del hidrograma. Si se consideran las alternativas que se usaron en la fase de calibración, se demuestra nuevamente que el sistema cuenca, vegetación y suelo, no logran ser representadas de forma óptima, ya que las simulaciones no generaron crecidas similares.

Como se ilustró anteriormente en los gráficos 1 y 2, se entregan las tormentas del 12-06-2000 y del 26-08-2005 en los gráficos 3 y 4, para una comparación visual de

las simulaciones. Por su parte, en el apéndice III se muestra el resto de los gráficos generados para todas las condiciones de humedad.

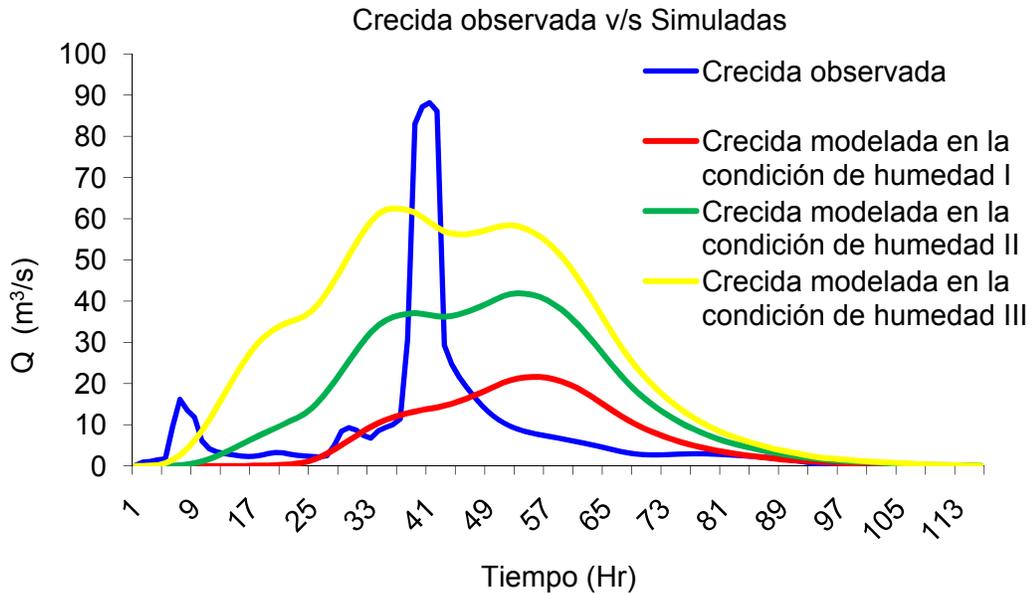


Gráfico 3. Comparación de las crecidas de la tormenta del 12-06-2000 para todas sus condiciones de humedad.

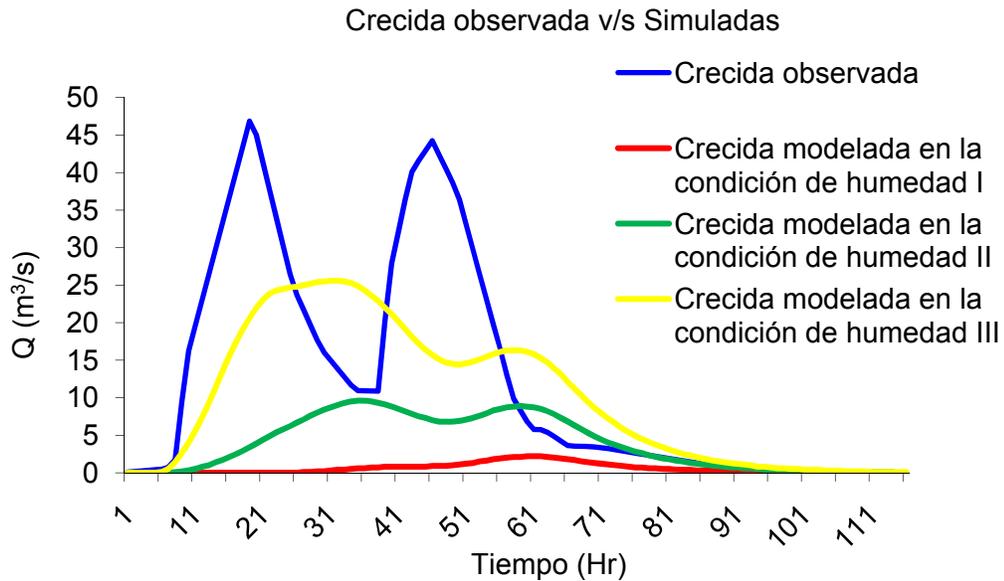


Gráfico 4. Comparación de las crecidas de la tormenta del 26-08-2005 para todas sus condiciones de humedad.

Como el hidrograma simulado, no logró acercarse al real, se optó por generar un tercer escenario de calibración, reclasificándose la cobertura vegetal y de los suelos presentes en la cuenca de Colina, de tal forma que permitiera obtener un sistema más impermeable y un número de curva más alto, que lograra simular de forma más próxima el caudal punta, ya que este valor a pesar de ser parcial, es de suma importancia en el diseño de obras civiles.

Para esto, se modificó la clasificación de suelos de Colina. Así, se consideró el antecedente que ésta debía estar entre un tipo de suelo 6 y 8, a pesar de que algunas zonas por sus características indicaran lo contrario; por ello se optó por cambiar el suelo hidrológico B a uno C o D, el cual se adapta más al antecedente antes descrito y ofrece menos resistencia en la esorrentía.

Posteriormente, se trabajó sobre la cubierta vegetal apoyado con imágenes de Google Earth, lo que permitió modificar algunas clasificaciones, que por sus características podían ser interpretadas de forma distinta, logrando que éstas ofrecieran menos resistencia a la esorrentía superficial.

En este marco, se verificó que las áreas sobre el límite vegetal, que preliminarmente se habían clasificado como superficies impermeables del tipo grava, se clasificaron en una interpretación conjunta entre herbáceo y superficies impermeables del tipo grava, lo que ofrece un número de curva más alto. Los otros puntos modificados corresponden a las superficies de lagos, lagunas, embalses y tranques, y terrenos sin vegetación, a los cuales por sus condiciones de impermeabilidad natural, se les asignó un máximo número de curva.

Otro punto modificado, corresponde al estado hidrológico que Ponce (1989) describe en sus tablas, el cual simplemente relaciona el porcentaje de cobertura de las estructuras; en donde se cambiaron los estados hidrológicos buenos a medios, y los medios a malos, ya que fotografías en terreno, mostraban un menor grado de cobertura de lo que se describía en el catastro vegetal. En la tabla 17 y en las figuras 14 y 15, se observa esta nueva alternativa de reclasificación para la obtención de un caudal punta más cercano a la realidad.

Tabla 17. Reclasificación de la cobertura vegetal presente en la cuenca de Colina.

Cobertura vegetal de la cuenca de Colina									
% Cobertura	Uso actual	Área (Km <sup>2</sup> )	Suelo hidrológico		Tabla de Ponce	Estado hidrológico		Número de curva	
			Esc. 1	Esc. 3		Esc. 1	Esc. 3	Esc. 1	Esc. 3
Abierto 25 - 50	Matorral abierto	4,1297	B	C	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Malo	Malo	67	77
Denso > 75	Matorral denso	1,0542	B	C	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Bueno	Medio	48	70
Muy abierto < 25	Matorral muy abierto	29,2914	B	C	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Malo	Malo	67	77
Semidens o 50 - 75	Matorral semidenso	30,6674	B	C	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Medio	Malo	56	77
	Afloramientos rocosos	1,4307	D	D	Superficies impermeables: gravas	-	-	91	91
	Áreas sobre límite de vegetación	36,9045	D	D	Superficies impermeables: gravas. Herbáceo: mezcla de hierba, maleza matorral de bajo crecimiento, siendo el matorral el elemento de menor importancia	-	-	91	92
	Estepa Andina Central	1,0222	B	D	Herbácea: mezcla de hierba, maleza matorral de bajo crecimiento, siendo el matorral el elemento de menor importancia	Medio	Malo	71	93
	Lago, Laguna, Embalse, Tranque	0,1147	B	C	Superficie impermeable por sus características	-	-	86	99
	Otros terrenos sin vegetación	5,0824	B	C	Superficie impermeable por sus características	-	-	86	99
	Vegas	0,8273	D	D	Pastos, prados o forraje permanentemente para pastoreo	Malo	Malo	89	89
<b>Superficie total</b>		110,5245	Km <sup>2</sup>						

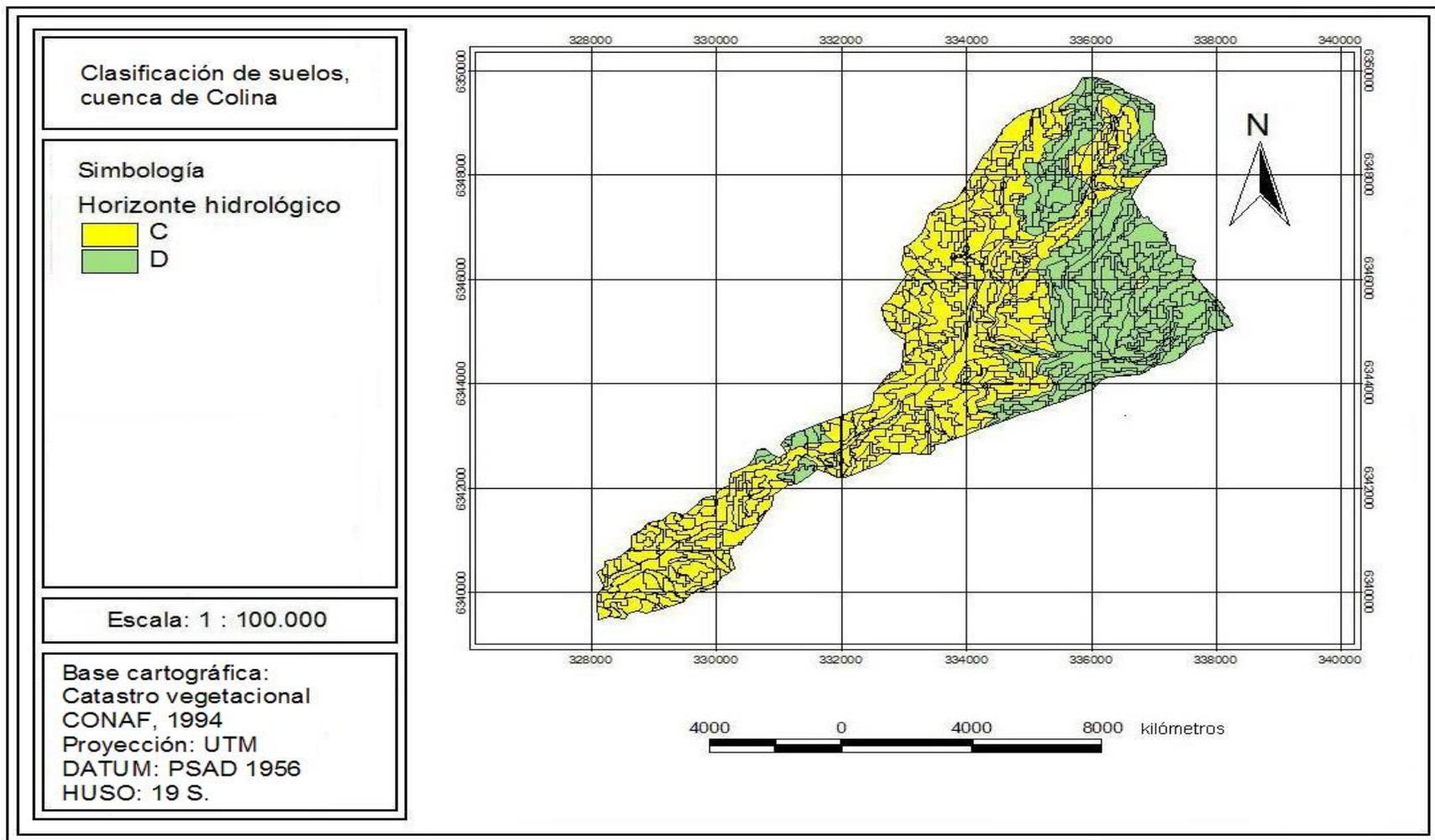


Figura 14. Reclasificación de los horizontes hidrológicos presentes en la cuenca de Colina en base a la obtención de un mejor caudal punta.

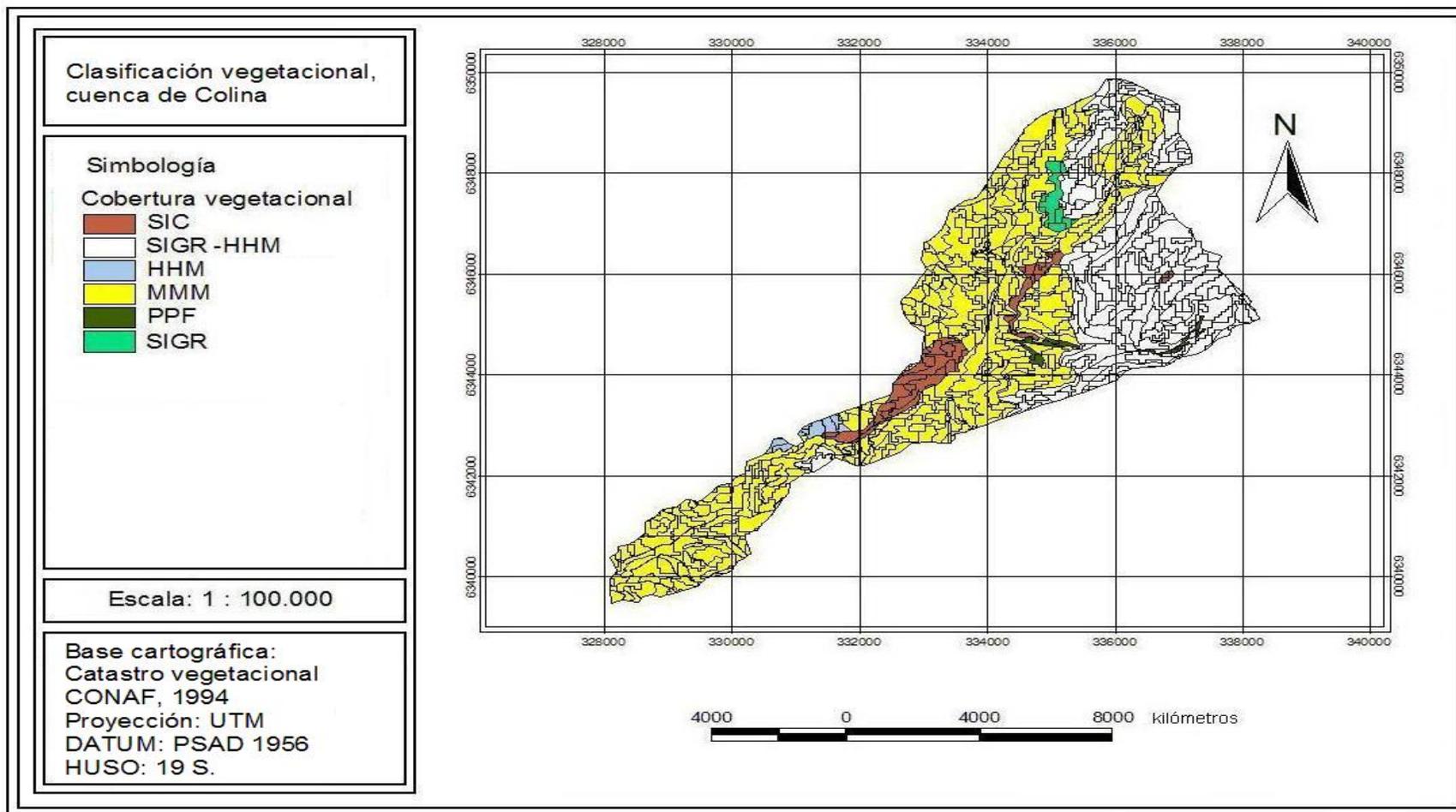


Figura 15. Reclasificación de la cobertura vegetacional según las tablas de Ponce, para la cuenca de Colina en base a la obtención de un mejor caudal punta.

Los nuevos resultados obtenidos de las simulaciones que buscaban obtener un caudal punta más próximo al real, se pueden observar en las tablas 18 y 19, en donde se presentan las tormentas que generaron escorrentía, junto a los números de curva utilizados en este proceso.

Tabla 18. Números de curva generado para el caudal punta del escenario 3 de la cuenca de Colina.

Cuenca	Condiciones previas de humedad	Número de curva (NC)		Umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) mm	
		Escenario 1	Escenario 3	Escenario 1	Escenario 3
Colina	I	54,8	67,1	41,9	24,9
	II	73,2	83,4	18,6	10,1
	III	89,6	97,7	5,9	1,2

Tabla 19. Comparación de los valores de caudal real v/s caudales simulados, para el caudal punta del escenario 3.

Tormentas	Caudal punta ( $m^3/s$ )		Tiempo base (h)		Área bajo la curva		N° de picos de la tormenta	
	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado
28-05-1997	13,5	15,4	92	112	218,4	1734,1	4	1
12-06-2000	88,2	74,8	96	115	886,5	3631,5	3	3
27-06-2000	28,6	34,1	140	143	1004,9	2070,1	2	3
17-07-2001	28	21,1	106	80	208,9	510,1	1	1
22-07-2002	12,1	21,1	130	92	313,9	622	4	1
07-07-2003	0	0,2	0	29	0	1,2	0	1
12-11-2004	15,6	19,6	100	80	446,1	471,9	5	1
26-08-2005	46,8	44,6	93	112	1441,9	1734,1	2	2

Las modificaciones hechas a la caracterización de suelos y vegetación, para generar el número de curva, dieron un mejor resultado en la estimación de los caudales punta, encontrándose errores en su estimación no muy altos, a excepción de la tormenta del 22-07-2002, la cual empeoro su estimación, como se observa en la tabla 20.

Tabla 20. Errores en la estimación de un caudal punta más real para el escenario 3.

Tormentas	Error porcentual en el caudal punta (EPCP)	
	Escenario 1	Escenario 3
28-05-1997	62,28	13,89
12-06-2000	75,5	15,15
27-06-2000	44,77	19,2
17-07-2001	73,89	24,54
22-07-2002	12,16	74,86
12-11-2004	39,21	25,42
26-08-2005	45,35	4,79

Como todos los ajustes se concentraron en modelar de mejor forma el caudal punta, el hidrograma de crecidas se vio perjudicado arrojando peores resultados en las medidas de bondad de ajuste utilizadas.

Tabla 21. Medidas de bondad de ajuste usadas para evaluar la calidad de las simulaciones del escenario 3.

Tormentas	R <sup>2</sup>		Error estándar de estimación (EEE)		Error sobre la media (ESM)		Suma de errores absolutos (SEA)	
	Esc. 1	Esc. 3	Esc. 1	Esc. 3	Esc. 1	Esc. 3	Esc. 1	Esc. 3
28-05-1997	0,27	0	2,659	3,441	1,029	1,332	128,264	214,424
12-06-2000	0,13	0	15,002	34,313	1,920	4,429	746,453	2912,39
27-06-2000	0,39	0	6,483	13,402	1,020	2,254	742,247	1534,25
17-07-2001	0,3	0	3,454	5,405	1,6	2,573	194,73	351,984
22-07-2002	0	0	3,47	7,546	1,54	3,802	497,46	843,576
12-11-2004	0,35	0,13	3,037	3,514	0,658	0,761	252,044	273,394
26-08-2005	0,45	0,49	11,019	10,665	0,88	0,852	848,407	821,843

En los gráficos 5 y 6, se muestra cómo los caudales punta reales y los caudales punta simulados de las tormentas del 12-06-2000 y del 26-08-2005, se aproximan en sus valores, en desmedro de la forma de los hidrogramas de crecida.

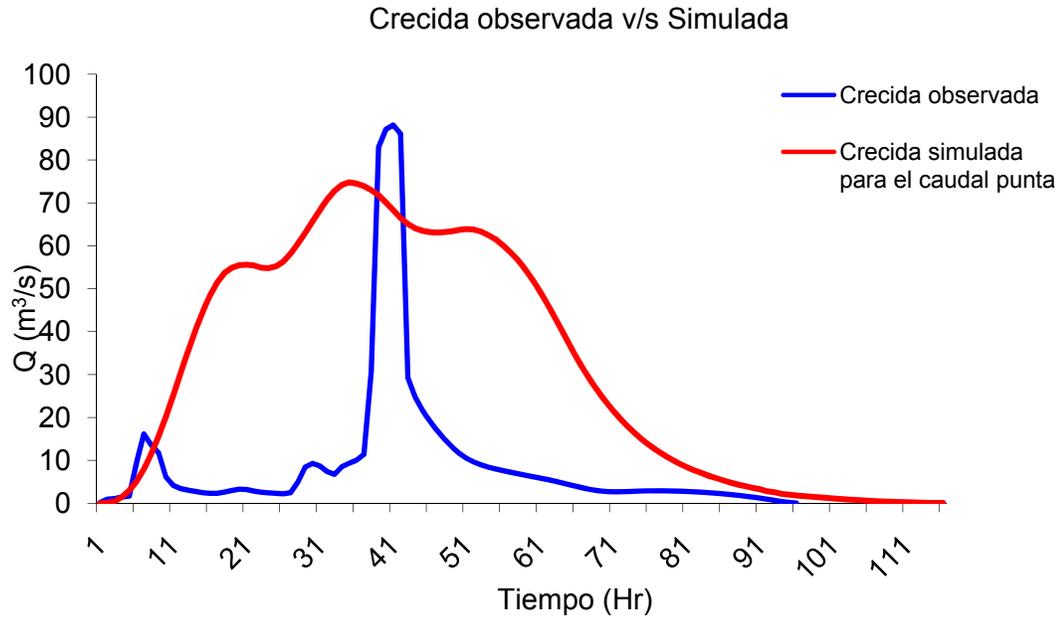


Gráfico 5. Comparación del caudal punta real y simulado para la tormenta del 12-06-2000.

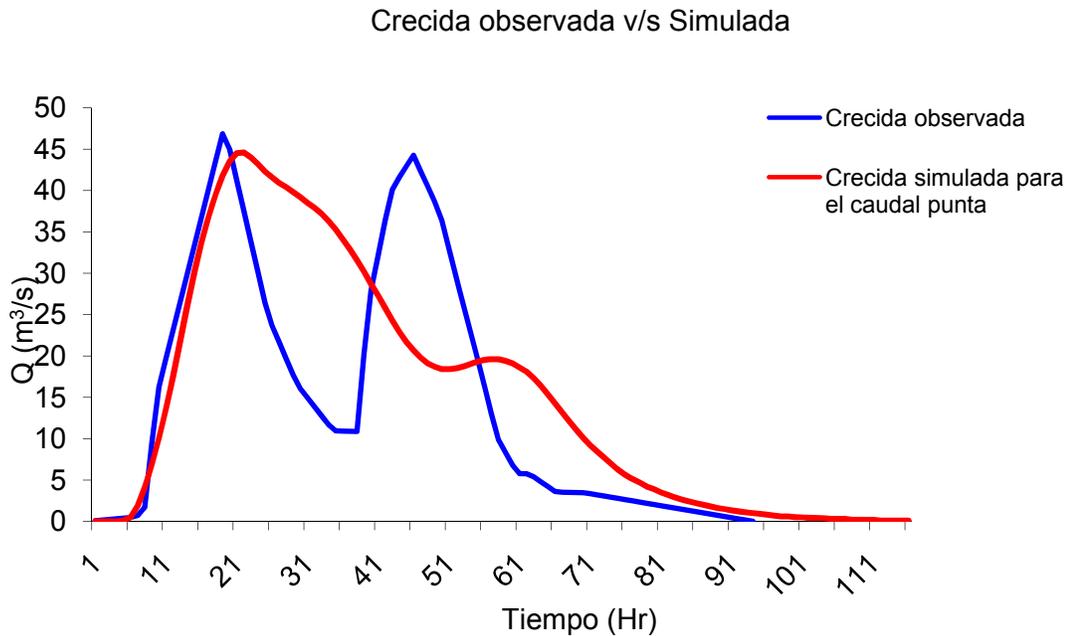


Gráfico 6. Comparación del caudal punta real y simulado para la tormenta del 26-08-2005.

## 6.8. Validación del HEC - HMS

### 6.8.1. Validación por medio de la cuenca de Colina

A continuación se presentan los resultados de las simulaciones de Colina, que corresponden al 40% del total de las tormentas reservadas para la validación del modelo planteado (ver tabla 22). Posteriormente se muestran las tablas y figuras que describen el número de curva para la cuenca de Huechún y finalmente los resultados de las simulaciones para esta cuenca.

Tabla 22. Caracterización de las tormentas en sus condiciones previas de humedad, número de curva (NC), umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) y precipitación ( $P_p$ ) total.

Tormentas	Condiciones previas de humedad	Número de curva (NC)	Umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) mm	$P_p$ total de la tormenta (mm)
23-07-1995	I	67,1	24,9	19
06-07-1996	I	67,1	24,9	20,8
17-05-1997	I	67,1	24,9	31,5
28-07-1999	I	67,1	24,9	10
20-06-2000	I	67,1	24,9	0,4
09-09-2000	I	67,1	24,9	67,9
08-07-2001	I	67,1	24,9	29,6
29-07-2001	II	83,4	10,1	55,7
19-07-2002	I	67,1	24,9	57,4
23-08-2002	I	67,1	24,9	11,3
21-05-2003	I	67,1	24,9	29,5
21-04-2004	II	83,4	10,1	11,6
13-07-2004	II	83,4	10,1	26,8
13-10-2006	I	67,1	24,9	52,2

Del total de tormentas usadas para la validación, se aprecia que respondieron de manera aceptable en sus resultados, al hecho de generar o no escorrentía. Con respecto a los caudales punta del escenario 3, estos resultaron bastante similares a los registrados en la realidad como se aprecia en la tabla 23 y sus medidas de bondad de ajuste, no fueron de una mala calidad, como se aprecia en la tabla 24.

Tabla 23. Comparación de los valores reales v/s simulados para el caudal punta.

Tormentas	Caudal punta (m <sup>3</sup> /s)		Tiempo base (h)		Área bajo la curva		N° de picos de la tormenta	
	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado
2001-07-29	17,4	14,5	66	86	228,2	444,5	2	1
2002-07-19	13,2	12,9	113	74	362,8	284,5	4	1
2006-10-13	4,5	6,7	52	71	49,3	142,4	3	1

Tabla 24. Ajustes usados para evaluar la calidad de las simulaciones de caudal punta del escenario 3 en la validación.

Tormentas	R <sup>2</sup>	Error estándar de estimación (EEE)	Error sobre la media (ESM)	Suma de errores absolutos (SEA)	Error porcentual en el caudal punta (EPCP)
29-07-2001	0	4,170	1,456	242,121	16,78
19-07-2002	0	3,507	1,072	294,361	2,49
13-10-2006	0	2,472	2,508	144,845	48

Como ha sido característico, a continuación se presentan los gráficos 7 y 8, con la representación de dos tormentas que generaron escorrentía, lo anterior con el fin de apreciar las formas que tomaron sus curvas en el transcurso del tiempo y de cómo los caudales punta simulados se acercan a los caudales punta reales.

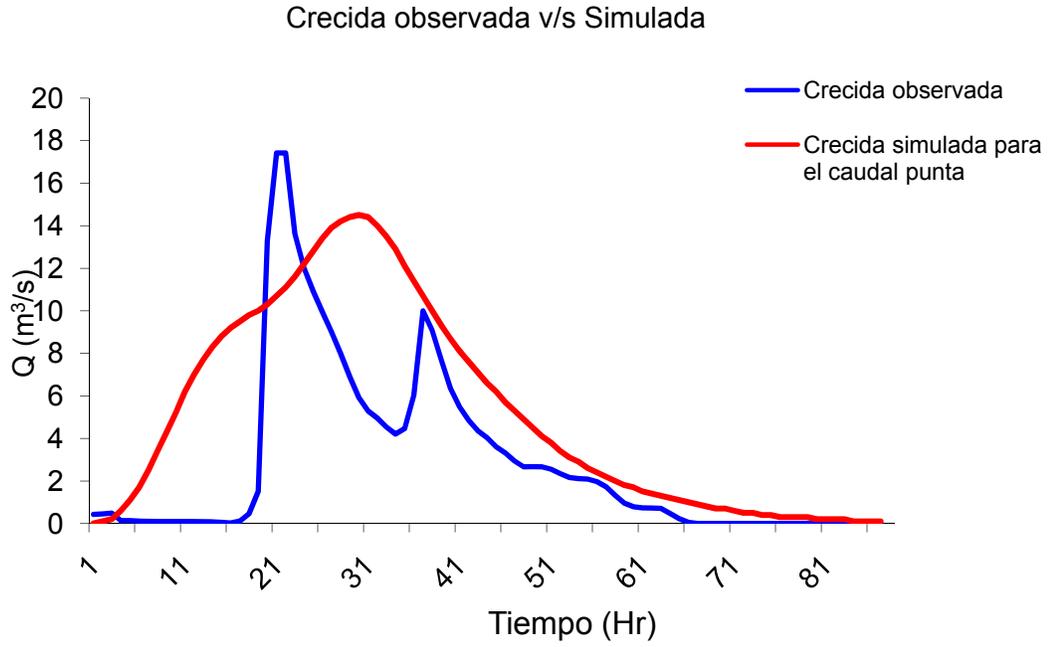


Gráfico 7. Comparación del caudal punta real y simulado para la tormenta del 29-07-2001.

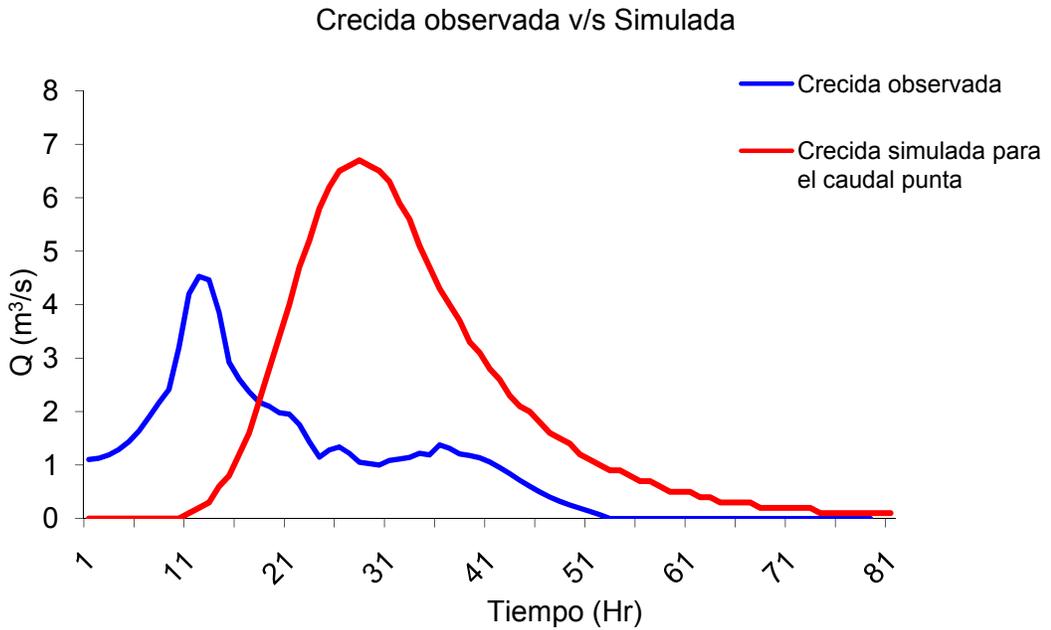


Gráfico 8. Comparación del caudal punta real y simulado para la tormenta del 13-10-2006.

### **6.8.2. Extensión por medio de la cuenca de Huechún**

La cobertura de suelos de Huechún, no presentó modificaciones en la interpretación de suelos que se hizo en el punto 6.3 (Clasificación de los suelos), ya que al haberse contado con los mosaicos de suelo, no existían dudas de lo clasificado preliminarmente.

Posteriormente, la cobertura vegetal que se había interpretado en el punto 6.4 (Clasificación de la cobertura vegetal), solamente fue alterada en los estados hidrológicos, buscando obtener un sistema más impermeable como se hizo en Colina, lo que permitió generar un número de curva más alto. Cabe mencionar, que fotografías del área de estudio, muestran menores grados de cobertura a los descritos por el catastro vegetal.

A grandes rasgos, se puede decir que la cuenca de Huechún está cubierta en casi un 90% de matorral, mezcla de matorral y maleza. El cambio más significativo que sufrió la interpretación de la cubierta vegetal, pasa por el estado hidrológico que esta estructura presentaba en el sistema, el cual casi en su mayoría, pasó a ser malo, ello porque se asimilaba de esa forma a la situación de Colina, ya que permitió acercar los valores de caudal punta simulados, a los reales.

En la tabla 25, se muestra en detalle la composición del sistema vegetal preponderante en la cuenca de Huechún, así como la estructura de suelo existente.

Tabla 25. Reclasificación de la cobertura vegetal para la cuenca de Huechún.

Cobertura vegetal de la cuenca de Huechún								
% Cobertura	Uso actual	Área (Km <sup>2</sup> )	Grupo hidrológico del suelo	Tabla de Ponce	Estado hidrológico		Número de curva	
					Esc. 1	Esc. 3	Esc. 1	Esc. 3
	Minería industrial	2,5597	A	Superficies impermeables (gravas)	-	-	76	76
Denso > 75	Matorral - suculenta	0,4979	A	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Bueno	Medio	30	35
Abierto > 50	Matorral abierto	17,2768	A	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Malo	Malo	48	48
Abierto ≤ 49	Matorral abierto	6,3841	D	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Malo	Malo	82	82
Denso > 75	Matorral denso	0,8641	A	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Bueno	Medio	30	35
Denso > 75	Matorral denso	0,4635	D	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Bueno	Medio	73	77
Muy abierto	Matorral muy abierto	1,7011	A	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Malo	Malo	48	48
Muy abierto	Matorral muy abierto	2,9437	D	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Malo	Malo	83	83
Semidenso	Matorral semidenso	4,1994	A	Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario	Medio	Malo	35	48
	Praderas anuales	1,2203	A	Prados cubiertos permanentemente con hierba, protegidos del pastoreo y normalmente sesgados para heno (prados de siega)	-	-	30	30
	Praderas anuales	0,3936	D	Prados cubiertos permanentemente con hierba, protegidos del pastoreo y normalmente sesgados para heno (prados de siega)	-	-	78	78
<b>Superficie total</b>		38,5043	Km <sup>2</sup>					

En la tabla 26 se detallan los números de curva y umbral crítico de escorrentía definidos para esta cuenca, obtenidos de la ponderación de sus números de curva por las áreas que las definían.

Tabla 26. Números de curva generado para el caudal punta de Huechún.

Cuenca	Condiciones previas de humedad	Número de curva (NC)		Umbral crítico de escorrentía (P <sub>0</sub> ) mm	
		Escenario 1	Escenario 3	Escenario 1	Escenario 3
Huechún	I	34,4	36,4	96,9	88,8
	II	56,2	57,8	39,6	37,1
	III	76	77,2	16	15

La característica de mayor relevancia de las tormentas de Huechún, es que en su mayoría no generaron escorrentía, principalmente debido al número de curva y umbral crítico de escorrentía que le correspondía a cada tormenta; no obstante, 3 de éstas sí mostraron un caudal punta, lo cual da una idea de cómo se comporta el sistema cuenca, suelo y vegetación en esta zona para los caudales punta.

En las tablas 27 y 28, se muestran los resultados de las simulaciones hechas a las tormentas que se registraron sobre la cuenca de Huechún. Se puede destacar que en su mayoría, las tormentas se clasificaban en una condición de humedad I, mientras que el máximo caudal punta en teoría generado para la cuenca fue de 9,8 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 27. Caracterización de las tormentas en sus condiciones previas de humedad, número de curva (NC), umbral crítico de escorrentía (P<sub>0</sub>) y precipitación (Pp) total.

Tormentas	Condiciones previas de humedad	Número de curva (NC)	Umbral crítico de escorrentía (P <sub>0</sub> ) mm	Pp total de la tormenta (mm)
04-07-1995	I	36,4	88,8	2,8
14-08-1995	I	36,4	88,8	17,5
13-06-1996	I	36,4	88,8	15,7
29-05-1997	I	36,4	88,8	70,5
31-07-1997	I	36,4	88,8	21,2
28-07-1999	I	36,4	88,8	6,6
12-06-2000	I	36,4	88,8	125

Continuación tabla 27. Caracterización de las tormentas en sus condiciones previas de humedad, número de curva (NC), umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) y precipitación ( $P_p$ ) total.

Tormentas	Condiciones previas de humedad	Número de curva (NC)	Umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) mm	$P_p$ total de la tormenta (mm)
20-06-2000	I	36,4	88,8	0,3
23-06-2000	I	36,4	88,8	21,4
27-06-2000	II	57,8	37,1	28,1
09-09-2000	I	36,4	88,8	33,5
14-05-2001	I	36,4	88,8	19
30-06-2001	I	36,4	88,8	1,1
08-07-2001	I	36,4	88,8	16,5
17-07-2001	II	57,8	37,1	59,5
29-07-2001	II	57,8	37,1	42,2
25-08-2001	I	36,4	88,8	24,6
27-05-2002	III	77,2	15	7,3
19-07-2002	I	36,4	88,8	50,7
22-07-2002	III	77,2	15	30,1
23-08-2002	II	57,8	37,1	10,5
21-05-2003	III	77,2	15	15,6
07-07-2003	II	57,8	37,1	31,4
21-04-2004	II	57,8	37,1	26,7
13-07-2004	I	36,4	88,8	20,4
03-09-2004	I	36,4	88,8	1,8
12-11-2004	I	36,4	88,8	42
11-03-2005	I	36,4	88,8	16,9
16-08-2005	I	36,4	88,8	7
26-08-2005	I	36,4	88,8	50,9
13-10-2006	I	36,4	88,8	44,3

De las tormentas presentadas en la tabla 27, se tiene que las tormentas del 12-06-2000, del 17-07-2001 y del 22-07-2002, generaron escorrentía superficial en las simulaciones. Sus resultados se aprecian en la tabla 28.

Tabla 28. Caracterización de los resultados de las simulaciones hechas sobre la cuenca de Huechún.

Tormentas	Caudal punta (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo base (h)	Área bajo la curva	N° de picos de la tormenta
12-06-2000	2,1	21	15,4	1
17-07-2001	1,8	29	17,1	2
22-07-2002	9,8	27	64,3	1

Gráficamente, las curvas de crecida simuladas sobre las características planteadas, tienen la particularidad de ser simples, con no más de dos crecidas y presentando éstas un bajo valor en sus caudales punta. En los gráficos 9, 10 y 11 se muestra un ejemplo de ésta situación.

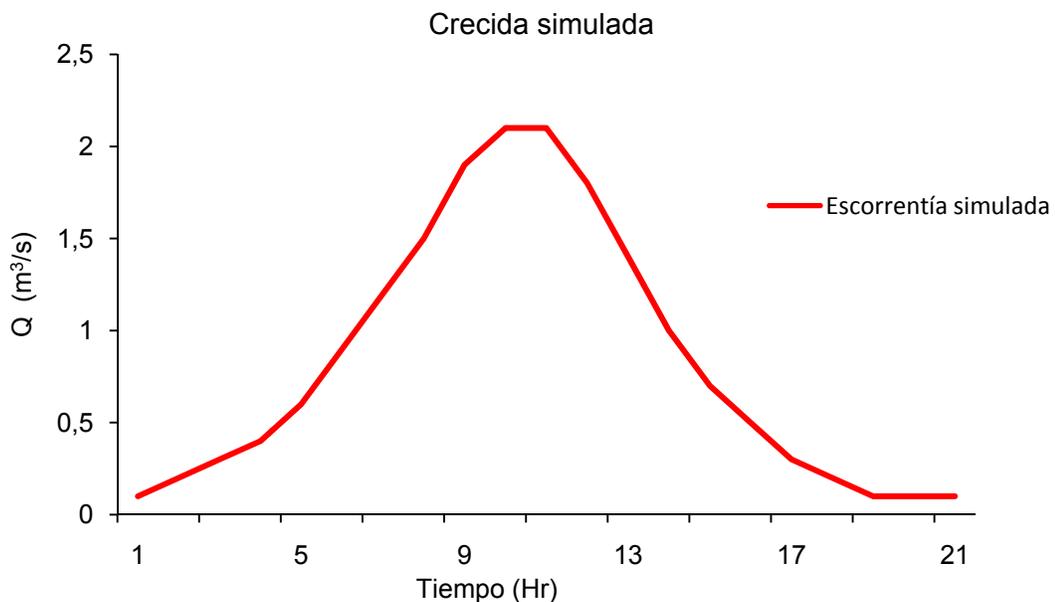


Gráfico 9. Crecida para la tormenta del 12-06-2000 de la cuenca de Huechún.

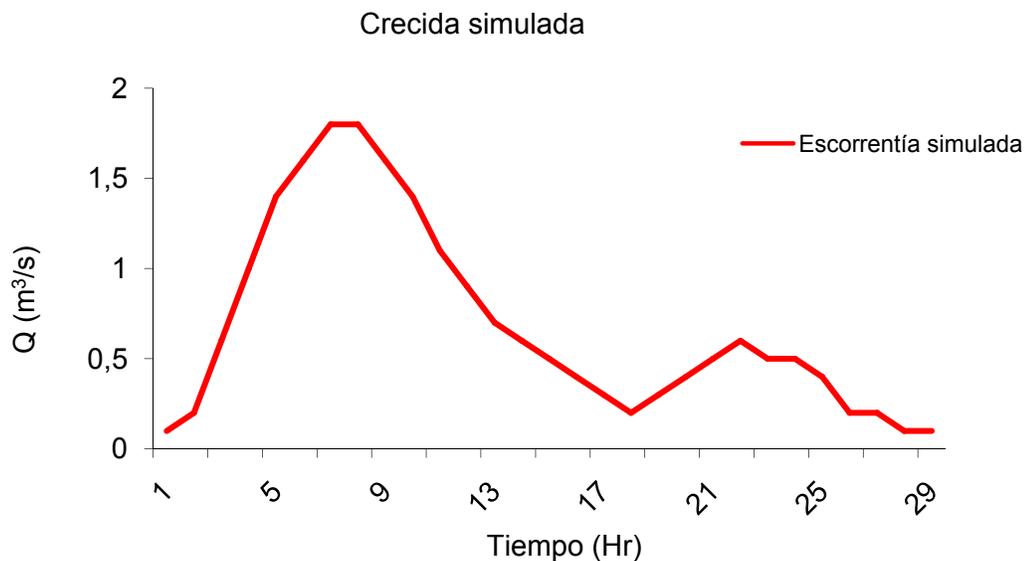


Gráfico 10. Crecida para la tormenta del 17-07-2001 de la cuenca de Huechún.

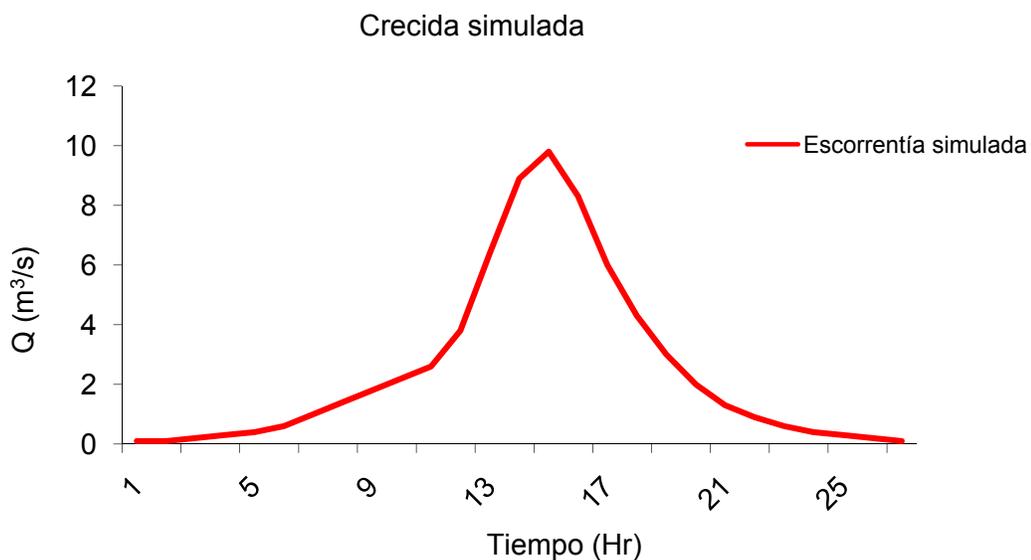


Gráfico 11. Crecida para la tormenta del 22-07-2002 de la cuenca de Huechún.

A modo de ejemplo, si las tormentas de Huechún presentaran incrementos de un 100 % en sus precipitaciones bajo las mismas condiciones que las caracterizaban a cada una, se generarían caudales punta de hasta 24,7 m<sup>3</sup>/s, como se muestra en las tablas 29 y 30.

Tabla 29. Caracterización de las tormentas en sus condiciones previas de humedad, número de curva (NC), umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) y precipitaciones con un 100 % mayor en sus intensidades ( $P_p$ ) total.

Tormentas	Condiciones previas de humedad	Número de curva (NC)	Umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) mm	$P_p$ total de la tormenta (mm)
04-07-1995	I	36,4	88,8	5,6
14-08-1995	I	36,4	88,8	35
13-06-1996	I	36,4	88,8	31,4
29-05-1997	I	36,4	88,8	141
31-07-1997	I	36,4	88,8	42,4
28-07-1999	I	36,4	88,8	13,2
12-06-2000	I	36,4	88,8	250
20-06-2000	I	36,4	88,8	0,6
23-06-2000	I	36,4	88,8	42,8
27-06-2000	II	57,8	37,1	56,2
09-09-2000	I	36,4	88,8	67
14-05-2001	I	36,4	88,8	38
30-06-2001	I	36,4	88,8	2,2
08-07-2001	I	36,4	88,8	33
17-07-2001	II	57,8	37,1	119
29-07-2001	II	57,8	37,1	84,4
25-08-2001	I	36,4	88,8	49,2
27-05-2002	III	77,2	15	14,6
19-07-2002	I	36,4	88,8	101,4
22-07-2002	III	77,2	15	60,2
23-08-2002	II	57,8	37,1	21
21-05-2003	III	77,2	15	31,2
07-07-2003	II	57,8	37,1	62,8
21-04-2004	II	57,8	37,1	53,4
13-07-2004	I	36,4	88,8	40,8

Continuación tabla 29. Caracterización de las tormentas en sus condiciones previas de humedad, número de curva (NC), umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) y precipitaciones con un 100 % mayor en sus intensidades ( $P_p$ ) total.

Tormentas	Condiciones previas de humedad	Número de curva (NC)	Umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) mm	$P_p$ total de la tormenta (mm)
03-09-2004	I	36,4	88,8	3,6
12-11-2004	I	36,4	88,8	84
11-03-2005	I	36,4	88,8	33,8
16-08-2005	I	36,4	88,8	14
26-08-2005	I	36,4	88,8	101,8
13-10-2006	I	36,4	88,8	88,6

En la tabla 30 se presentan las tormentas que generaron escorrentía con precipitaciones sobre un 100 % de incremento en sus montos. Se observa un aumento en las tormentas que generan escorrentía, acompañado de caudales punta mayores que van desde los 0,5 a 24,7  $m^3/s$ .

Tabla 30. Caracterización de los resultados de las simulaciones hechas sobre la cuenca de Huechún, para tormentas un 100 % mayor en sus intensidades.

Tormentas	Caudal punta ( $m^3/s$ )	Tiempo base (h)	Área bajo la curva	N° de picos de la tormenta
29-05-1997	1,6	33	20,1	3
12-06-2000	24,7	45	449	3
27-06-2000	1,7	18	9,2	1
17-07-2001	23,8	38	261,8	2
29-07-2001	7,3	30	59	2
19-07-2002	24,6	82	653,3	5
22-07-2002	14,8	37	171,5	1
21-05-2003	19,4	43	336	3
07-07-2003	16,4	41	158,9	3
21-04-2004	0,7	11	2,4	1
26-08-2005	0,5	11	1,8	1

A modo de ejemplo, se muestran dos gráficos de las crecidas simuladas, a partir de las tormentas hipotéticas planteadas.

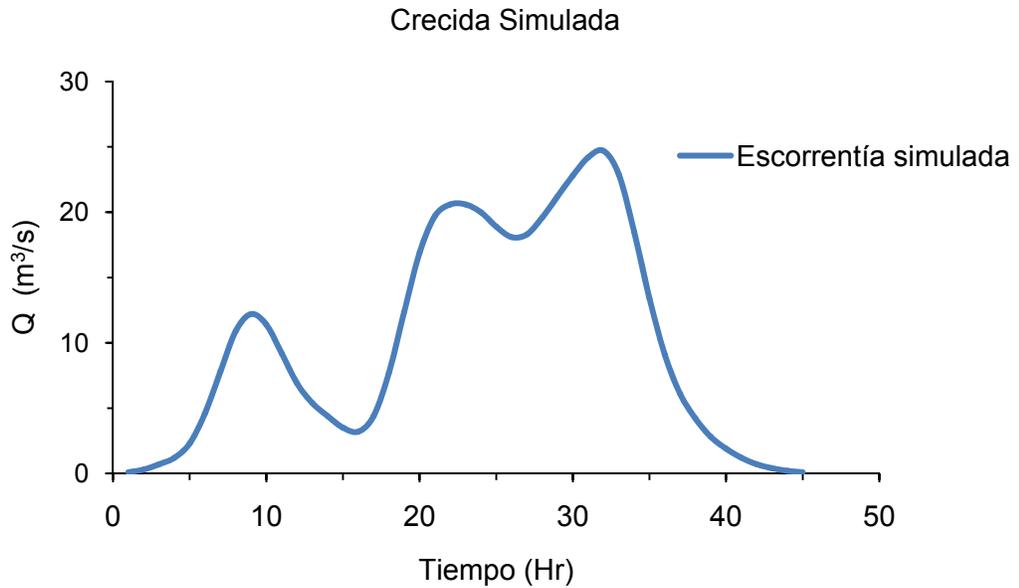


Gráfico 12. Crecida para la tormenta hipotética del 12-06-2000 de la cuenca de Huechún.

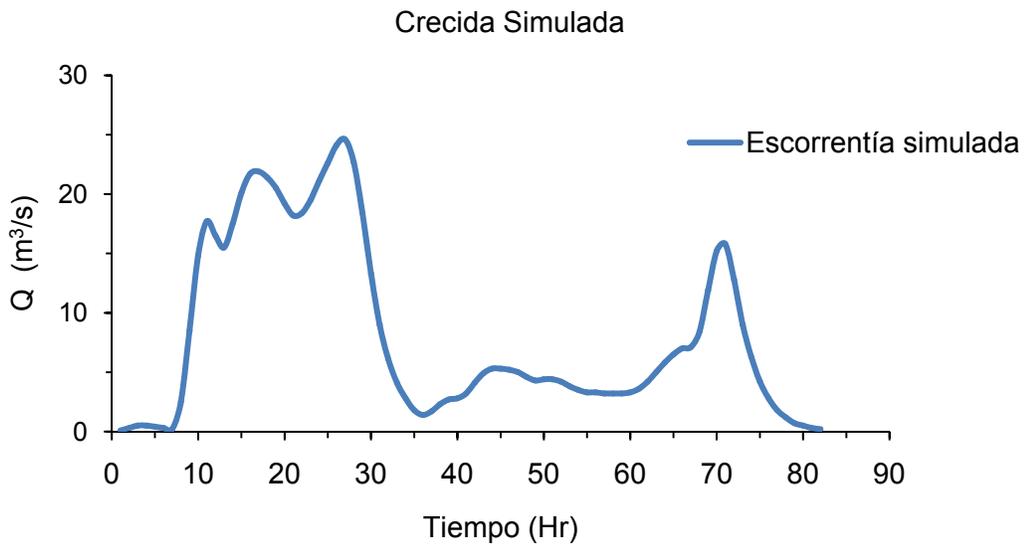


Gráfico 13. Crecida para la tormenta hipotética del 19-07-2002 de la cuenca de Huechún.

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis realizado, está basado principalmente en las variables ajustadas, las cuales, por su nivel de incidencia en el proceso, afectaron en mayor medida los resultados obtenidos.

### 7.1. Morfometría de las Cuencas

En líneas generales, con los datos calculados para las cuencas se pueden inferir algunos parámetros de forma como el coeficiente de Gravelius ( $K_c$ ) y el radio de elongación de Schumm ( $R_e$ ), además de parámetros hidrográficos como el coeficiente de González ( $F_g$ ) y el coeficiente de Pizarro – González, que representa la velocidad media del curso principal ( $V_m$ ); los cuales pueden ayudar en la comprensión de los fenómenos hidrológicos que ocurren en las cuencas.

Por ejemplo para la cuenca de Colina, su  $K_c$  de 1,8 indica que su forma es oblonga, mientras que el  $K_c$  de Huechún es de 1,2, característico de cuencas redondas. El relieve sin embargo, no es posible evidenciarlo visualmente. Para esto el  $R_e$  entrega una aproximación bastante aceptable en este punto. Así ambas estructuras presentaron un relieve pronunciado ( $R_e$  de Colina 0,2 y Huechún 0,5), que de acuerdo a Pizarro y Novoa (1986), fluctuarían entre 1, para cuencas llanas y 0,6 para cuencas con relieves pronunciados.

Con respecto a los parámetros hidrográficos, el  $F_g$  de Colina fue de 1,9 y en Huechún fue de 3,3. Esto significa que 1,9 km<sup>2</sup> de superficie aportan a cada kilómetro de curso principal en Colina, mientras que en Huechún, 3,3 km<sup>2</sup> de superficie aportan a cada kilómetro de curso principal.

Respecto a la velocidad media del curso principal ( $V_m$ ), para la cuenca de Colina fue de 4 Km/h y para la cuenca de Huechún fue de 3,6 Km/h, lo que permite evidenciar que no existían diferencias en las velocidades de ambos cursos principales.

## 7.2. Hidrograma Unitario Sintético

El HEC – HMS, presenta siete opciones para la transformación de la precipitación efectiva en los hidrogramas de crecida, y ello por medio de hidrogramas sintéticos, dentro de los cuales se encuentran el hidrograma unitario sintético de Snyder y el hidrograma unitario sintético del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), los cuales fueron usados en las simulaciones de este estudio, debido a su extensivo uso sobre cuencas nacionales.

Los hidrogramas sintéticos antes nombrados, fueron calculados para las cuencas de Colina y Huechún, presentando resultados similares en sus parámetros, a diferencia del tiempo de retardo, el cual fue menor a través del método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos, para ambas cuencas, como se aprecia en la tabla 31.

Tabla 31. Comparación del tiempo de retardo de los hidrogramas sintéticos.

Variable	Cuenca de Colina		Cuenca de Huechún	
	Hidrogramas sintéticos		Hidrogramas sintéticos	
	Snyder	SCS	Snyder	SCS
Tiempo de retardo ( $t_p$ ) en horas	14,38	14,28	3,36	3,25

Cuando se llevaron a cabo las simulaciones para calibrar el modelo, los resultados que arrojó el programa al combinar el hidrograma sintético del SCS y los números de curva, mostraban hidrogramas de crecidas de menor magnitud al compararlos con los hidrogramas reales, e incluso comparados a los hidrogramas de Snyder, bajo esas mismas condiciones.

La menor calidad evidenciada en los hidrogramas generados por el método del SCS, se pudo deber a dos motivos. Primero, el hecho de presentar tiempos de retardo de menor duración, se traduce en que menor será el tiempo necesario para que se genere el caudal punta del hidrograma y éste alcanza menores montos al tratarse de la misma cuenca. Segundo, en el uso del software HEC – HMS, cuando solicitaba el ingreso de la información que modelaba a este hidrograma, sólo pedía el tiempo de

retardo como input, a diferencia del de Snyder que solicitaba el tiempo de retardo y la constante de Snyder ( $C_p$ ), para modelar.

### **7.3. Número de Curva (NC) y Umbral Crítico de Escorrentía ( $P_0$ )**

En los escenarios planteados, para poder lograr la calibración del programa bajo las condiciones de las cuencas de Colina o Huechún, el número de curva fue uno de los factores en los cuales más se intervino.

Los primeros números de curva generados en el primer escenario de calibración, apuntaban a representar el comportamiento de las precipitaciones, sobre los suelos y la vegetación presente en las cuencas, con el fin de obtener hidrogramas de crecida similares a los reales. Una vez que se empezó a simular las tormentas bajo estas condiciones, se visualizó que el número de curva exigía un alto valor de umbral crítico de escorrentía, lo cual generaba hidrogramas de crecidas menores a los reales y más aún, sin mostrar un comportamiento similar a las crecidas reales.

Los números de curva del tercer escenario, partían de la base de que esos valores generaban los caudales punta reales; fue así como se reclasificaron los componentes que daban origen al número de curva, buscando estructuras vegetacionales que fueran más impermeables frente a la clasificación que Ponce (1989), propuso para éstas. De esta forma, se interpretaron estructuras vegetacionales con más de una de las clasificaciones propuestas por Ponce (1989) y se modificaron todos los estados hidrológicos, hacia sistemas más impermeables, debido a que las fotografías del área de estudio y varias imágenes de Google Earth consultadas, presentaban coberturas menores a las indicadas en el catastro vegetacional.

De esta manera se generaron los números de curva para el escenario 3, los cuales se presentan en conjunto a los números de curva del escenario 1, en la tabla 32.

Tabla 32. Valores del NC y  $P_0$  del escenario 1 y 3, para las cuencas de Colina y Huechún.

Cuenca	Condiciones previas de humedad	Número de curva (NC)		Umbral crítico de escorrentía ( $P_0$ ) mm	
		Escenario 1	Escenario 3	Escenario 1	Escenario 3
Colina	I	54,8	67,1	41,9	24,9
	II	73,2	83,4	18,6	10,1
	III	89,6	97,7	5,9	1,2
Huechún	I	34,4	36,4	96,9	88,8
	II	56,2	57,8	39,6	37,1
	III	76	77,2	16	15

Gráficamente, se compararon los números de curva y umbrales críticos de escorrentía de todas las condiciones de humedad para las cuencas, encontrándose que los valores se concentraban sobre un número de curva mayor a 50 y a su vez, bajo un umbral crítico de escorrentía menor a 45 mm. Cabe destacar que si se aprecia la parte superior del gráfico 14, los valores que se muestran como extremos corresponden a la condición de humedad I de los escenarios 1 y 3 de la cuenca de Huechún.

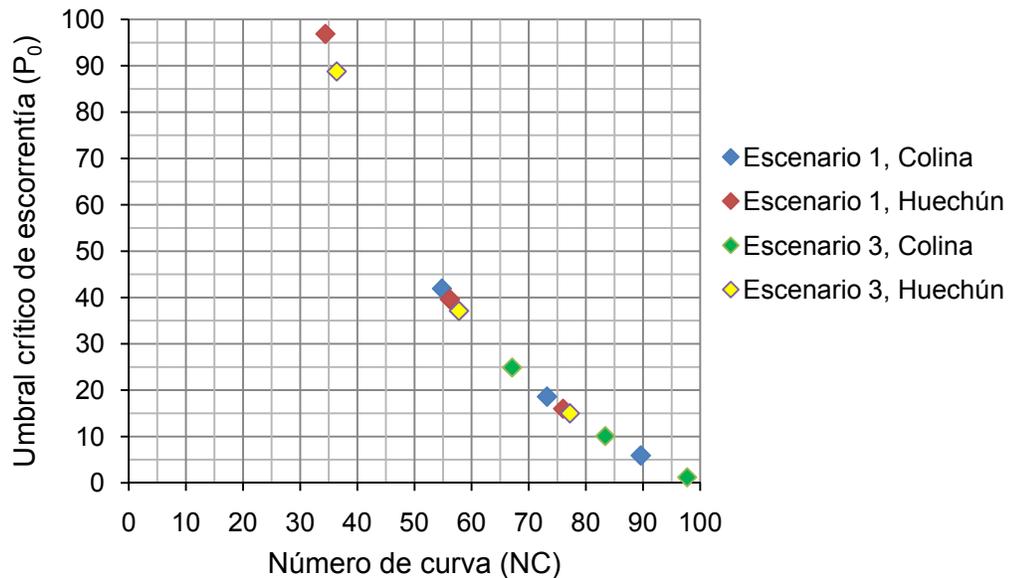


Gráfico 14. Comparación espacial, de los números de curva y umbrales críticos de escorrentía.

#### **7.4. Análisis de las Precipitaciones**

Las tormentas registradas por la estación de Colina, se caracterizaron por ser de una baja intensidad en el periodo estudiado entre 1995 y 2007, lo cual se ve reflejado en el hecho de que muy pocas de éstas generaron escorrentía superficial. Además de este hecho, se destaca que las tormentas que sí generaron un flujo superficial, presentaron lluvias que van desde los 50 mm de precipitación acumulada hasta los 126 mm, aproximadamente. La excepción la constituye la tormenta del 22-07-2002, la cual registra lluvias acumuladas de 27 mm, que debido a sus lluvias precedentes, recae dentro de una condición de humedad II, lo cual le permite generar escorrentía.

El promedio para el total de las tormentas de Colina, fue de 33,6 mm/tormenta, con un mínimo de 0,4 mm/tormenta y un máximo de 126 mm/tormenta, concentrándose las precipitaciones en los meses de invierno, específicamente entre junio y julio.

La estación de Huechún Andina, al igual que la estación de Colina, mostró tormentas de baja intensidad, con un monto promedio de 27,8 mm/tormenta, encontrando un mínimo de 0,3 mm/tormenta y un máximo de 125 mm/tormenta, concentrándose las precipitaciones en los meses de invierno.

A pesar de que ha habido incrementos de lluvia en la zona (Pizarro *et al.*, 2008), las lluvias no presentan en este periodo grandes intensidades.

#### **7.5. Calibración del HEC - HMS**

En el proceso de calibración del HEC – HMS, se sensibilizó la variable de mayor incidencia para la escorrentía superficial, que en este caso correspondió al número de curva, el cual depende de las clasificaciones de los suelos y de la vegetación. Así y para facilitar la lectura, se dividirá este apartado en los tres escenarios de calibración presentados en los resultados.

### **7.5.1 Escenario 1 de calibración (condiciones reales de humedad)**

Como se presentó en los resultados, el primer escenario consideraba la clasificación de los suelos y la vegetación, para la generación de un número de curva que representara el comportamiento de los hidrogramas de crecida. Este número de curva, sólo consideraba en las simulaciones las condiciones previas de humedad reales, de las tormentas.

Cuando se interpretó la cubierta de suelos en la cuenca de Colina para este escenario, ésta estaba definida por dos de los cuatro tipos de suelos hidrológicos definidos por Ponce (1989), entre los cuales estaba el tipo de suelo B, con un 64,57% y el suelo de tipo D, con un 35,43% de la superficie. Estos suelos, por sus características de infiltración moderada, con un suelo medio a profundo y suelos pobremente drenados, con un suelo delgado respectivamente, no debían presentar problemas para la generación de escorrentía superficial. Pero, para que se cumpliera este hecho, los suelos debían presentar una alta humedad, lo cual no era una de las características que tenían las tormentas, ya que la mayoría de éstas, estaba clasificada en una condición de humedad I, es decir con precipitaciones bajas los cinco días anteriores a la tormenta.

Por otra parte, desde un punto de vista vegetacional, la cuenca de Colina en el escenario 1, presentó estratos de bajo crecimiento, destacando la presencia de matorrales en un 58,9% de toda la superficie, además de un considerable porcentaje de superficies impermeables como roqueríos y zonas con un bajo desarrollo de vegetación, debido a la altura. En líneas generales, estas estructuras presentan un estado hidrológico que va desde bueno a malo. En el gráfico 15 se presenta la distribución vegetacional de la cuenca de Colina.

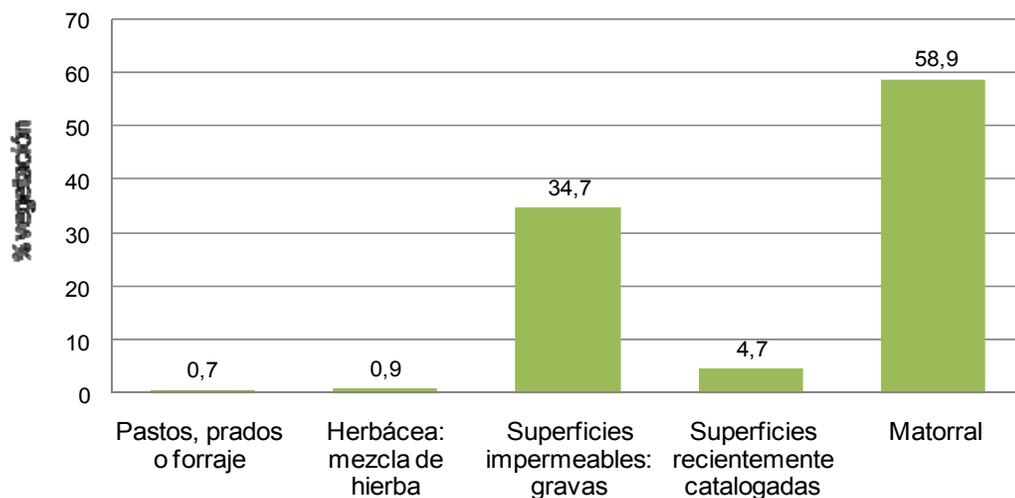


Gráfico 15. Distribución porcentual de los estratos vegetacionales de la cuenca de Colina, para el escenario 1.

Sin embargo, al contrario de lo que se podía esperar, los números de curva que se obtuvieron a través de esta relación son de una alta exigencia en su umbral crítico de escorrentía, teniéndose que para la condición de humedad I (la más frecuente dentro de las tormentas), se necesita una precipitación mínima de 41,9 mm para generar escurrimiento superficial.

Es así como del total de tormentas simuladas para el modelo, los resultados fueron dispares en los puntos tomados como referencia para la calibración. Por ejemplo, el caudal punta simulado siempre estuvo por debajo del caudal real medido, lo cual pudo deberse al alto valor del número de curva estimado. De forma similar, el tiempo base y el área bajo la curva tuvieron variaciones, con valores que resultaron menores o mayores a los reales.

Los parámetros tomados como medidas de bondad de ajuste para el modelo, fueron de una baja calidad, encontrándose la mejor simulación en la tormenta del 28-05-1997, la cual difiere en su caudal punta en aproximadamente 8 m<sup>3</sup>/s y su error en la estimación de valores es de 2,659 m<sup>3</sup>/s. De forma contraria, la peor simulación correspondió a la tormenta del 12-06-2000, la cual arrojó errores en la estimación, de

aproximadamente 15 m<sup>3</sup>/s promedio. Los valores *in extenso* se presentan en la tabla 33.

Tabla 33. Ajustes de las tormentas que generaron escorrentía en las simulaciones.

Tormentas	R <sup>2</sup>	Error estándar de estimación (EEE)	Error sobre la media (ESM)	Suma de errores absolutos (SEA)	Error porcentual en el caudal punta (EPCP)
28-05-1997	0,27	2,659	1,029	128,264	62,28
12-06-2000	0,13	15,002	1,920	746,453	75,5
27-06-2000	0,39	6,483	1,020	742,247	44,77
17-07-2001	0,3	3,454	1,6	194,73	73,89
22-07-2002	0	3,47	1,54	313,858	91,71
12-11-2004	0,35	3,037	0,658	252,044	39,21
26-08-2005	0,45	11,019	0,88	848,407	45,35

### 7.5.2 Escenario 2 de calibración (todas las condiciones de humedad)

El escenario 2 de calibración, evaluó la alternativa de simular todas las tormentas con los distintos números de curva, para todas las condiciones previas de humedad. El número de curva que se empleó, para estas simulaciones, corresponde al que se definió en el escenario 1, para las condiciones de humedad I, II y III.

Esto se hizo con el fin de verificar que las tormentas estuvieran bien definidas en sus condiciones previas de humedad y también para observar, si un número de curva distinto arrojaba mejores resultados.

Lo esperable tras la realización de este ajuste, fue que las tormentas mostraran mejorías en sus valores al simularse con los distintos umbrales críticos de escorrentía, principalmente en términos del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) y del error estándar de estimación (EEE). Sin embargo, eso no fue así y la única excepción se evidenció en la estimación del caudal punta, para las tormentas del 12-06-2000, 27-06-2000, 17-07-2001 y 22-07-2002, que cambiaron sus condiciones previas de humedad hacia una condición de humedad mayor, como se puede apreciar en la tabla 34.

Tabla 34. Tormentas que mejoraron su caudal punta, con condiciones previas de humedad distintas.

Tormentas	Número de curva y condiciones previas de humedad				Error porcentual en el caudal punta (EPCP)	
	Escenario 1		Escenario 2		Esc. 1	Esc. 2
28-05-1997	54,8	I			62,28	
12-06-2000	54,8	I	89,6	III	75,5	29,1
27-06-2000	73,2	II	89,6	III	44,77	8,77
17-07-2001	54,8	I	73,2	II	73,89	9,07
22-07-2002	73,2	II	89,6	III	91,71	12,16
12-11-2004	73,2	II			39,21	
26-08-2005	89,6	III			45,35	

Finalmente, este ajuste en la calibración demostró que las condiciones previas de humedad, que se habían definido, estaban en lo correcto. También, confirman el hecho de que el modelo no logra ajustarse de forma correcta, para simular crecidas reales. Este antecedente se puede vislumbrar al observar los gráficos de las crecidas simuladas (ver gráficos 3 y 4), los cuales en ningún momento se igualan o alcanzan la tendencia esperada.

En el apéndice III, se pueden observar todos los gráficos generados para las simulaciones, incluyendo los que muestran las crecidas reales versus las crecidas simuladas para todas las condiciones de humedad y para este segundo escenario de calibración.

### 7.5.3 Escenario 3 de calibración (un caudal punta simulado, lo más cercano al real)

Como las calibraciones de los escenarios anteriores, no mostraban que el programa simulara crecidas similares a las reales, se pensó en generar el input del número de curva desde la base, es decir, determinar qué número de curva generaba los caudales punta reales. Fue así, como se iteraron distintos números de curva, hasta obtener uno que representara de la forma óptima al caudal real.

Ahora, para respaldar el uso de ese número de curva, se reclasificaron los suelos y la vegetación, de manera de obtener una interpretación que validara su uso, sabiendo que el sistema suelo, vegetación y cuenca debía ser más impermeable.

Cuando se reclasificaron los suelos para el escenario 3, las modificaciones buscaban obtener un sistema más impermeable que lograra facilitar la escorrentía. De esta manera, las estructuras de suelos que habían sido clasificadas como un suelo tipo B, pasaron a ser un suelo tipo C, el cual presenta una infiltración muy lenta y una profundidad de suelo menor al promedio; las estructuras de suelos que correspondían a estepas andinas en sus usos actuales, pasaron a ser un suelo de tipo D, debido ambos hechos, al antecedente de que los suelos de Colina debían estar entre un rango de suelo 6 a 8 que ofrece una mejor escorrentía superficial.

Porcentualmente, el suelo de tipo C ocupó una superficie del 63,64% y el suelo tipo D ocupó una superficie del 36,36% del total de la cuenca de Colina.

Con respecto a los mosaicos vegetacionales, se reclasificaron algunas estructuras que podían ser interpretadas a través de dos o más de las clasificaciones que propone Ponce (1989) para el número de curva, específicamente lo referido a las áreas sobre el límite de vegetación, las cuales se interpretaron como un conjunto entre superficies impermeables, gravas y herbáceo, lo que origina un número de curva mayor. La decisión de cambiar la clasificación anterior se debe a que las imágenes de Google Earth de las partes superiores de la cuenca, mostraban un desarrollo herbáceo combinado con superficies desprovistas de vegetación.

El otro punto modificado fueron los estados hidrológicos, los cuales se cambiaron a estados más impermeables, que permitieran obtener un umbral crítico de escorrentía menor. Esto se justificó debido a que los porcentajes de cobertura que se describían en el catastro vegetacional, estaban muy por debajo a lo que se observaba en las fotografías en terreno o a las imágenes de Google Earth que se pudo tener.

En el gráfico 16 se pueden observar los nuevos porcentajes de incidencia de la vegetación sobre la cuenca de Colina.

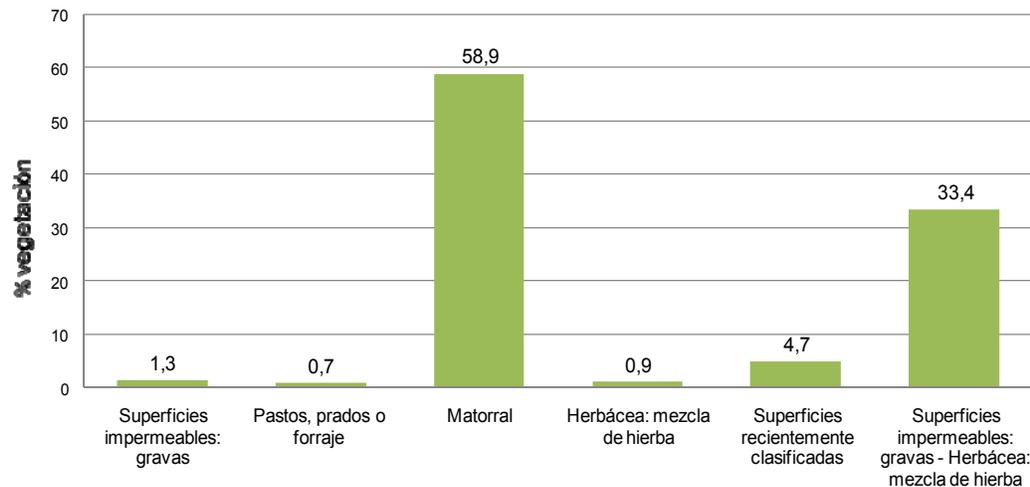


Gráfico 16. Porcentaje de las estructuras vegetacionales clasificadas dentro de la cuenca de Colina para el escenario 3.

Las modificaciones hechas a las interpretaciones de las estructuras anteriores, cambiaron el número de curva, teniendo ahora una necesidad de sólo 24,9 mm de precipitación para generar escorrentía en la condición de humedad I. Así, al tener tan baja exigencia de umbral crítico, la tormenta del 07-07-2003 generó un leve escurrimiento superficial, alcanzando un caudal punta de 0,2 m<sup>3</sup>/s, el cual para efectos de calibración es prácticamente despreciable.

Como ya se ha indicado, lo que se intentó simular fue un caudal punta con el menor error posible, ocasionando aumentos considerables en la estimación de valores del hidrograma, como se observa en la tabla 35. Los nuevos valores del caudal punta estuvieron bastante cercanos a los reales, aunque algunos de éstos, superaron el valor de referencia, como el de la tormenta del 22-07-2002, que arrojó diferencias de un 74,86% en el error porcentual del caudal punta (EPCP), siendo éste el resultado menos confiable obtenido en la calibración del programa.

Tabla 35. Ajustes de las tormentas usados en la calibración del caudal punta.

Tormentas	Caudal punta (m <sup>3</sup> /s)			Escenario 3	
	Real	Escenario 1	Escenario 3	Error porcentual en el caudal punta (EPCP)	Error estándar de estimación (EEE)
28-05-1997	13,5	5,1	15,4	13,89	3,441
12-06-2000	88,2	21,6	74,8	15,15	34,313
27-06-2000	28,6	15,8	34,1	19,2	13,402
17-07-2001	28	7,3	21,1	24,54	5,405
22-07-2002	12,1	1	21,1	74,86	7,546
07-07-2003	0	0	0,2	-	-
12-11-2004	15,6	9,5	19,6	25,42	3,514
26-08-2005	46,8	25,6	44,6	4,79	10,665

## 7.6. Validación del HEC - HMS

### 7.6.1. Validación de la cuenca de Colina

Las tormentas apartadas en una primera instancia en la cuenca de Colina se utilizaron para simular un caudal punta óptimo, según las condiciones definidas. Respecto a esto, cabe destacar que dos tormentas entraron en la condición de humedad I, mientras que la restante estaba en la condición de humedad II; presentando precipitaciones acumuladas por sobre los 50 mm/tormenta.

Los caudales punta de estas tormentas se acercaron bastante a los reales, presentando errores en la estimación menores a un 48%. No obstante lo anterior y si se observa la tabla 36, las diferencias de estos caudales no superaron los 3 m<sup>3</sup>/s, lo cual resulta mínimo para las dimensiones de la cuenca.

Con respecto a la estimación de valores que se pudo esperar de estas tormentas, el error estándar en la estimación fue uno de los más bajos registrados, ya que este valor no superó los 4,17 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 36. Tormentas usadas en la validación y que presentaban un margen de comparación.

Tormentas	Caudal punta (m <sup>3</sup> /s)		Error porcentual en el caudal punta (EPCP)	Error estándar de estimación (EEE)
	Real	Simulado		
2001-07-29	17,4	14,5	16,78	4,170
2002-07-19	13,2	12,9	2,49	3,507
2006-10-13	4,5	6,7	48	2,472

### 7.6.2. Extensión hacia la cuenca de Huechún

Como la cuenca de Huechún no presentaba caudales reales medidos con los cuales fuese posible estimar un número de curva de referencia, se aplicaron los criterios de aumentar el número de curva al igual de cómo se hizo con Colina, basándose en las modificaciones que se le hacían a esta cuenca en las clasificaciones de suelo y vegetación.

Los suelos sobre los cuales está establecida la cuenca se caracterizan por ser en un 87,3% del tipo A, el cual presenta una rápida infiltración aún estando muy húmedo, y si a esto se agrega que la cubierta vegetal preponderante corresponde a matorrales, la escorrentía se enfrenta a dos situaciones; por una parte, el suelo infiltra rápidamente las lluvias, pero a su vez, la vegetación permite que ésta escurra. En las simulaciones hechas a las tormentas, se evidenció que esta cuenca genera poco escurrimiento superficial, debido a que las lluvias no son lo suficientemente largas y no presentaban una alta intensidad que le permita generar escorrentía superficial.

La vegetación de esta zona es bastante homogénea, no encontrándose estructuras que presenten un desarrollo herbáceo superior, lo cual se puede apreciar en el gráfico 17. Los porcentajes de cobertura sobre el terreno de estas estructuras van desde medio a malo, verificándose una superioridad del estado hidrológico malo, debido a la gran cantidad de matorrales que tiene la cuenca.

Si se revisa la primera clasificación vegetacional realizada en esta cuenca, se observa que el número de curva de ésta varió, debido al cambio de un estado

hidrológico bueno, a uno medio, lo que permitió aumentar el número de curva hacia un sistema más impermeable.

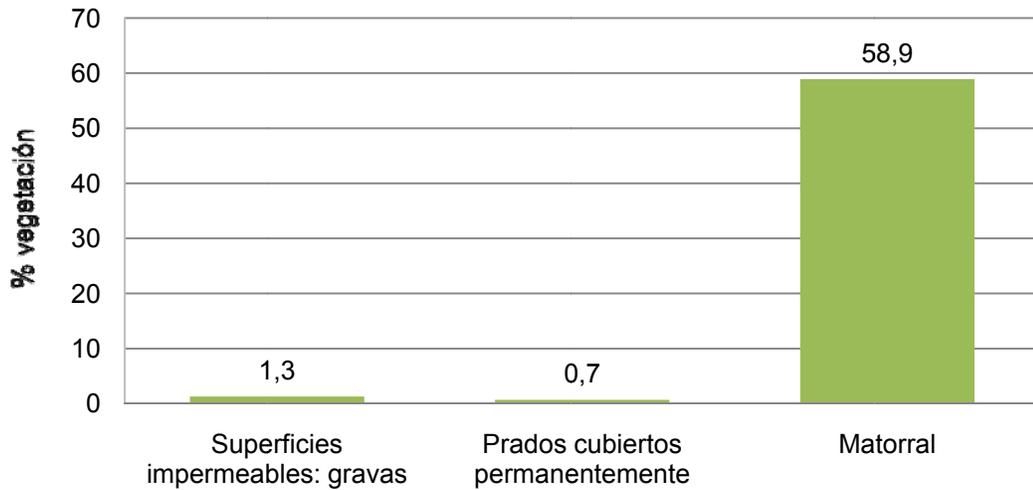


Gráfico 17. Porcentaje de las estructuras vegetacionales clasificadas dentro de la cuenca de Huechún.

Finalmente, las simulaciones de Huechún, vislumbran que se está sobre un sistema permeable, en donde sólo tormentas con una alta precipitación generan escorrentía. En la tabla 37, se pueden observar las tormentas que por su alta precipitación o condiciones previas de humedad, generaron escorrentía, lo cual entrega una idea de los valores que podrían alcanzar los caudales sobre esta cuenca.

Tabla 37. Simulaciones que generaron escorrentía en la cuenca de Huechún.

Tormentas	Caudal punta (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo base (h)	Área bajo la curva	N° de picos de la tormenta
2000-06-12	2,1	21	15,4	1
2001-07-17	1,8	29	17,1	2
2002-07-22	9,8	27	64,3	1

Si se revisan los caudales punta de esta cuenca, las crecidas de ésta son de bastante menor magnitud, comparadas a la de Colina, lo cual se debe a los

antecedentes de suelo y vegetación antes planteados, y a las menores intensidades de lluvia presentes.

Como se ejemplificó en los resultados, si las tormentas de Huechún consideradas, fueran un 100 % mayor en sus montos, se generarían caudales punta de hasta 24,7 m<sup>3</sup>/s, lo cual ya sería un valor a tomar en cuenta para el diseño de obras civiles.

### 7.7. Análisis Estadístico

Dentro de todas las comparaciones que se efectuaron entre los caudales reales y simulados, y a nivel de los hidrogramas de crecida, los valores del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), presentaron valores muy bajos de relación, como se aprecia en la tabla 38. Como se recordará, el escenario 1 de calibración trataba de simular el hidrograma de crecidas, a través de las condiciones reales de humedad de las tormentas; el escenario 2 de calibración, evaluó simular todas las condiciones de humedad de las tormentas; y el escenario 3 de calibración, buscaba números de curva que al realizar la simulación, permitiera alcanzar caudales punta, lo más cercanos posible a los valores reales.

Tabla 38. Comparación del  $R^2$  y el error estándar de estimación (EEE), para los tres escenarios de calibración.

Escenario	$R^2$ promedio	Rango del $R^2$	Porcentaje de $R^2$ con valores cero	Error estándar de estimación (EEE) promedio
1	0,27	0 - 0,45	14	6,446
2	0,09	0 - 0,45	66	10,693
3	0,09	0 - 0,49	71	11,184

Es posible apreciar que la primera simulación, intentó acercar los valores de caudales de los hidrogramas y en esa simulación los valores del  $R^2$  son los más altos de todos los procesos llevados a cabo, pero con una muy mala calidad. Aún así el valor promedio de  $R^2$  es tres veces mayor a los restantes dos escenarios. Esto se demuestra también, en la prueba no paramétrica U de Mann – Whitney, en donde casi la mitad de

las tormentas que generaron escorrentía y que fueron sometidas a esta prueba, rechazaban la hipótesis nula.

Cabe destacar, que en todos los escenarios planteados, el  $R^2$  arrojó más de un resultado con valor cero, en donde el escenario 3, fue el que presentó el mayor porcentaje de valores nulos (ver tabla 38). La misma situación, se hace presente para el valor promedio del error estándar de estimación, donde nuevamente el escenario 3 presenta los valores más altos, debidos ambos hechos, a que como sólo se buscaba la estimación de un valor (caudal punta), los resultados de las estimaciones del resto del hidrograma total, se vieron menoscabadas.

Como resultado final, el análisis planteado para los datos buscaba encontrar diferencias estadísticas significativas, entre los valores reales y los simulados, a través de la prueba no paramétrica U de Mann – Whitney, que determina si dos muestras independientes provienen o no de la misma población. Como el escenario 1, comparaba el hidrograma total de crecida v/s un hidrograma total simulado, se quiso observar estadísticamente cómo se comportaban éstos, para todas las tormentas que presentaron escorrentía.

Antes de llevar a cabo el análisis, se compararon los promedios y varianzas de los hidrogramas, para ver si estos tenían alguna relación. El promedio de los caudales reales con los simulados, varió sin seguir un patrón marcado, al igual que la varianza que presentan los hidrogramas, lo que demuestra la alta variabilidad que tuvieron las crecidas reales y simuladas en sus valores

En la tabla 39 se detallan los resultados estadísticos, donde destacan las tormentas del 28-05-1997, 22-07-2002 y 12-11-2004, las cuales rechazan la hipótesis nula ( $H_0$ ) por un alto margen, la cual planteaba que los caudales observados y simulados presentan la misma tendencia central. El resto de tormentas que aprobó esta hipótesis, tuvo su probabilidad más baja de aprobación con un 0,05, para la tormenta del 17-07-2001, lo cual refrenda el hecho de que los valores de  $R^2$  sean tan bajos.

Tabla 39. Resumen estadístico de las salidas.

Tormentas	Promedio de los hidrogramas		Varianza de los hidrogramas		Decisión	Valor - P
	Real	Simulado	Real	Simulado		
28-05-1997	2,45	1,202	9,418	2,586	H <sub>1</sub>	0,000177468
12-06-2000	7,747	6,399	255,396	53,806	H <sub>0</sub>	0,916464
27-06-2000	5,946	3,877	66,382	21,706	H <sub>0</sub>	0,163043
17-07-2001	1,994	1,556	15,979	5,049	H <sub>0</sub>	0,0563357
22-07-2002	1,985	0,123	6,765	0,064	H <sub>1</sub>	0
12-11-2004	4,617	2,099	14,054	8,259	H <sub>1</sub>	8,22E-10
26-08-2005	12,52	10,085	220,463	83,774	H <sub>0</sub>	0,755534

Finalmente, cuando se hicieron las simulaciones para el caudal punta, este demostró ser el escenario más adecuado por presentar valores más cercanos a los reales, ya que las necesidades que tiene CODELCO sobre la cuenca de Huechún es simular caudales punta y no hidrogramas, de ahí que se considere el escenario 3 como el más viable para llevar a cabo las simulaciones.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1. Conclusiones

En base a los resultados y análisis preparados para la calibración y validación del modelo HEC - HMS en las cuencas de Colina y Huechún, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Los sistemas cuenca, suelo y vegetación, como parte de un ecosistema, pueden resultar casi irreproducibles en su totalidad bajo un sistema de simulación semidistribuido, como el que se ha empleado para este estudio, lo cual plantea dudas para su aplicación masiva en zonas semiáridas de Chile. A pesar de este antecedente, no se debe dejar de lado esta técnica como medio de representación artificial de ambientes, ya que aporta alternativas y escenarios que en terreno son difíciles de evaluar o dimensionar por costos o tiempo.
- Los dos primeros escenarios de calibración evaluados para el HEC – HMS, indicaron que los inputs de suelo y vegetación en la cuenca de Colina, no eran los adecuados, ya que las simulaciones de las crecidas siempre estuvieron por debajo de las crecidas reales. Sin embargo, se puede decir que el número de curva que representa al sistema debe ser mayor a 50, lo cual habla de la importancia de los procesos de escorrentía.
- Las modificaciones que se hicieron en la tercera opción de calibración, demostraron que el sistema debe ser más impermeable para que los caudales punta simulados se acerquen a los caudales punta reales. Esto fue posible de vislumbrar gracias a las opciones que entregaron las fotografías en terrero y a las imágenes de Google Earth, que mostraban situaciones distintas en terreno a los que se podían llegar a identificar en el catastro vegetacional de CONAF.
- Aún cuando los resultados de las simulaciones del caudal punta para la cuenca de Colina no son los de mejor calidad en las variables de bondad de ajuste evaluadas,

éstos representan una aproximación válida a este valor y más aún, permiten delinear los pasos a seguir para obtener valores de caudal punta en la cuenca de Huechún que carece de éstos.

- Las simulaciones con respecto a los hidrogramas de crecida en primera instancia, no son recomendables con este tipo de modelo, debido a lo complicado de encontrar suficiente información que respalde la calibración de éstos para su validación.

## **8.2. Recomendaciones**

Las indicaciones que se pueden dar para futuros estudios o utilidades del HEC – HMS, a partir de los aciertos o problemas presentados en el desarrollo de esta memoria son los siguientes:

- Replicar el estudio en una nueva cuenca de la zona, previa verificación que ésta cuente con estudios de suelo y vegetación dentro de sus límites.
- Si bien el factor de distribución temporal de las lluvias es un método válido para redistribuir tormentas de estaciones pluviométricas, lo ideal es que se cuente con los registros de tormentas cada una hora, como los que entregan las estaciones pluviográficas. A esto hay que agregar que si se contase con un mayor número de estaciones pluviográficas dentro de la zona de estudio, se podrían utilizar otras opciones que ofrece el programa para distribuir espacialmente las lluvias, como por ejemplo los polígonos de Thiessen.
- Si bien lo ideal es contar con toda la cartografía para un proyecto, es aconsejable que ésta se encuentre en formato digital, ya que facilita de forma notable la serie de cálculos de longitudes y áreas que se deben realizar para obtener algunos de los inputs que exige el HEC – HMS en sus rutinas.
- El U.S. Army Corps of Engineer, actualmente presenta nuevos programas como el HEC GEO – HMS que permite conectarse a programas cartográficos como el

ArcView. Así resultaría de gran ayuda implementar esta nueva herramienta en el proceso de traspaso de información cartográfica al HEC – HMS.

- Finalmente, la utilización de modelos de simulación para la estimación de caudales punta e hidrogramas de crecida, debe ser hecha con precaución y adecuación a las condiciones reales, y considerando a la variable del caudal punta, como la que posee una mayor probabilidad de alcanzar resultados cercanos a los reales.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Almansa, R.; Alonso, M.; Baratech, F.; Bartolomé, J.; Cocero, A.; Delgado, J.; Del Pozo, M.; González, A.; Montalvo, J.; Rodríguez, J.; Rábade, J.; Tejera, R.; Tejero, L.; Torrente, E.; Tourné, M. 1994. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Madrid, España. Editorial Mundi – Prensa. 902 p.

Anderson, M.; Ward, D.; Lappala, E.; Prickett, T. 1993. Handbook of hydrology. United States of America. Editorial Mcgraw – Hill. 629 p.

Aparicio, F. 1997. Fundamentos de hidrología de superficie. Ciudad de México, México. Editorial Limusa. 303 p.

Bedient, P.; Huber, W. 2002. Hydrology and floodplain analysis. United States of America. Prentice Hall. 763 p.

Benítez A.; Rodríguez Z. 1974. Método para la determinación de hidrogramas unitarios sintéticos en Chile. Chile. 84 p.

Canavos G. 1988. Probabilidad y estadística: Aplicaciones y métodos. España. Editorial Mcgraw – Hill. 651 p.

Chow, V.; Maidment, D.; Mays, L. 1998. Hidrología aplicada. Saldarriaga, J. Colombia. Editorial Mcgraw – Hill. 584 p.

CIREN CORFO. 1995 - 1996. Descripción de suelos materiales y símbolos: Estudio agrológico, Región Metropolitana. Santiago, Chile. Publicación IREN. 477 p.

Dirección General de Aguas. 1986. Mapa hidrogeológico de Chile: Texto explicativo Dirección General de Aguas. Santiago, Chile. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. 83 p.

Estrela, T. 1988. Los modelos de simulación integral de cuenca y su utilización en estudios de recursos hídricos. Centro de Estudios Hidrográficos, Ministerio de Obras Públicas Transporte y Medio Ambiente. Ingeniería Civil N° 72: 83 – 95.

Gálvez, M.; Pizarro, R. 1983. Implementación de un modelo de simulación para la estimación de caudales de crecida en la cuenca del estero Nilahue – VI región. Tesis Ing. Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 152 p.

Jones, J. 1997. Global hidrology: processes, resources and environmental management. London, England. Editorial Pearson Prentice Hall. 399 p.

Kelton, W.; Law, A. 1991. Simulation modeling & analysis. United States of America. Editorial Mcgraw – Hill. 759 p.

Knebl, M.; Yang, Z.; Hutchison, K.; Maidment, D. 2005. Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio river basin summer 2002 storm event. Texas, United States of America. Journal of Environmental Management 75(4): 325 – 336. Consultado 19 abr. 2007. Disponible en base de datos Science Direct.

Llamas, J. 1993. Hidrología general: Principios y aplicaciones. Bilbao, España. Editorial de la Universidad del País Vasco. 635 p.

López – Aliaga, R. 2000. Informe técnico ambiental de la cuenca de Huechún, ATM Ingeniería Ltda. Santiago, Chile. 77p.

López, F. 1998. Restauración Hidrológico Forestal y control de la erosión. Ingeniería Ambiental. Tragsa, Tragsatec, Ministerio del Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Mintegui, J.; López, F. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. Servicio Central de publicaciones del gobierno vasco. Vitoria-Gasteiz, España. 306 p.

Momcilo, M.; Angel, J.; Yang, L.; Hejazi, M. 2007. Changing estimates of design precipitation in Northeastern Illinois: Comparison between different sources and sensitivity analysis. Journal of Hydrology 347(1-2): 211 – 222. Consultado 14 nov. 2007. Disponible en base de datos Science Direct.

Pizarro, R.; Cornejo, F.; González, C.; Macaya, K.; Morales, C. 2008. Análisis del comportamiento y agresividad de las precipitaciones en la zona central de Chile. Ingeniería hidráulica en México 13(2): 91 – 109.

Pizarro, R.; Novoa, P. 1986. Elementos Técnicos de Hidrología: Instructivos Técnicos. Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura. La Serena, Chile. 57 p.

Ponce, V. 1989. Engineering hidrology, principles and practices. United States of America. Editorial Pearson Prentice Hall. 640 p.

Remenieras, G. 1971. Tratado de hidrología aplicada. Barcelona, España. Editorial Editores técnicos asociados S.A. 515 p.

Sociedad de estándares de ingeniería y suelos. 2007. Determinacion morfometrica de cuencas hidrograficas. (en línea) Consultado el 15 oct. 2007. Disponible en: <http://eias.utalca.cl/2publicaciones/manuales.php>

Soto, M. 2001. Calibración de dos modelos de simulación integral de cuenca, para la hoya hidrográfica del río Purapel, estación Nirivilo. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 98 p.

US Army Corps of Engineers. 2001. Hydrologic modeling system HEC – HMS 2.2.2 for Windows. (en línea) Consultado 18 abr. 2007. Disponible en: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads/Hms222Single>

# **ANEXOS**

## ANEXO I

### **Descripción del Programa HEC - HMS**

Los pasos que se deben seguir para realizar un análisis o simulación en el programa, son los siguientes, del inglés al español en base a la traducción de los comandos: Comenzar un nuevo proyecto, crear datos de precipitación y/o de descarga de caudales, introducir el esquema hidrológico de la cuenca, definir los modelos meteorológicos, establecer las especificaciones de control, ejecutar la simulación y finalmente visualizar los resultados. El simple conocimiento de estos pasos, debería permitir a un usuario con conocimientos en hidrología, poder llegar a efectuar una simulación con el HEC – HMS.

A continuación se describen los menús principales que contiene el programa para poder llegar a efectuar una simulación.

### **Modelo de la cuenca**

Para generar el modelo de la cuenca, la interfaz gráfica del usuario (GUI, por sus siglas en inglés) usa el mouse del computador, como método para dibujar las subcuencas, cursos de agua, uniones, desviaciones, fuentes y sumideros. Éste modelo gráfico de la cuenca, es simplemente una representación; la localización y el tamaño visual de cada elemento, no intervienen en el tiempo de cálculo. Finalmente se tiene, que múltiples elementos pueden conectarse a una salida, pero un elemento no puede tener conectado múltiples salidas (Bedient y Huber, 2002).

### **Modelo meteorológico**

El modelo meteorológico contiene los datos de precipitación o bien registros históricos o hipotéticos, para el modelo. La última versión, que es la utilizada en éste estudio, contiene más opciones que su predecesor HEC – 1, para modelar las precipitaciones y contabilizar las pérdidas por evapotranspiración. El programa puede

manejar un ilimitado número de archivos guardados y que no estén calibrados (Bedient y Huber, 2002).

### **Control de especificaciones**

El control de especificaciones, contiene todo el calendario de información para el modelo, incluyendo el tiempo de comienzo y el tiempo de término para el cálculo en la simulación computacional. Una serie de simulaciones, pueden fácilmente organizarse usando la opción de diferentes escenarios (Bedient y Huber, 2002).

### **Modelos para el cálculo del volumen de escorrentía**

El volumen de escorrentía, es el resultado de separar la precipitación que efectivamente está contribuyendo a generar la escorrentía en el sistema de una cuenca, considerando la que es interceptada por la vegetación, infiltrada por el suelo, almacenada y evaporada o transpirada por la vegetación.

Los distintos modelos que se pueden utilizar con HEC – HMS, para el cálculo del volumen de pérdidas de agua, son:

- a. Tasa de pérdida inicial y constante: Involucra el establecimiento de un umbral crítico de escorrentía, por debajo del cual no se produce escorrentía superficial, y la definición de una tasa constante de pérdidas, por encima del citado umbral crítico.
- b. Modelo de pérdida constante: Es similar al anterior, con la diferencia de que puede considerarse como casi continuo, ya que además simula los efectos que se producen sobre el suelo, en intervalos de tiempo en los que no se produce precipitación.
- c. Método del número de curva: desarrollado por el U.S. Servicio de Conservación de Suelos (SCS): Tiene en cuenta los usos del suelo, el tipo de suelo y el contenido de humedad previo a las precipitaciones que se consideran.

- d. Gridded SCS: Este método implica una división previa de la cuenca mediante una malla o enrejado ráster, aplicando así el método del número de curva.
- e. Modelo de pérdidas Green & Ampt: Modelo desarrollado por Green y Ampt (1911), tiene en cuenta entre otros aspectos, la permeabilidad del suelo y el déficit inicial de humedad del mismo.
- f. Modelo de cálculo de la humedad del suelo: Permite simular el movimiento del agua a través del suelo y del subsuelo, su intercepción y el almacenamiento en diferentes zonas, además del escurrimiento superficial del exceso.

### **Modelos para el cálculo de la escorrentía directa**

En este apartado se describen los modelos que simulan los procesos de escorrentía directa por exceso de precipitación al interior de la cuenca. El programa transforma el volumen de escorrentía en caudales (volúmenes de agua en hidrogramas) para un punto seleccionado que generalmente corresponde a la salida de la cuenca o subcuenca.

Los distintos modelos que se pueden utilizar con HEC – HMS para el cálculo del volumen de escorrentía son:

- a. Hidrograma unitario especificado por el usuario: Este método obtiene el hidrograma por medio de la relación existente entre una unidad de exceso de precipitación y la escorrentía directa que produce.
- b. Gráfico especificado por el usuario: Es un método similar al anterior, con la diferencia que los datos a introducir previamente son los correspondientes a un gráfico definido por el porcentaje del tiempo de retardo y el porcentaje de intensidad unitaria correspondiente.

- c. Hidrograma unitario de Snyder: Método paramétrico que estima los valores del caudal punta y del tiempo base del hidrograma. HEC – HMS utiliza este método para generar hidrogramas por iteraciones.
- d. Hidrograma unitario del Servicio de Conservación de Suelos (SCS): desarrollado por el SCS, se basó en el estudio de cuencas agrarias a lo largo de Estados Unidos. El único parámetro a introducir es el tiempo de retardo.
- e. Modelo de Clark's: Genera un hidrograma unitario el cual tiene en cuenta dos procesos en la transformación del exceso de precipitación en escorrentía; el movimiento del agua a través de la red de drenaje de la cuenca y la disminución del caudal debido al almacenamiento producido por la cuenca.
- f. Modelo de Clark's modificado: Es un modelo de tipo distribuido; para su uso se hace necesario introducir una capa ráster en la que cada celda tenga asignada una situación y la distancia al punto de salida de la cuenca o subcuenca.
- g. Modelo de onda cinemática: Es un método conceptual, basado en consideraciones de tipo físico. Es una adaptación de la teoría de la onda cinemática para el cálculo de conducciones.

## ANEXO II

### Cálculo de la Pendiente Media según Mociornita

El relieve posee una incidencia bastante fuerte sobre la escorrentía de la cuenca, dado que a un mayor grado de pendiente, corresponderá un menor tiempo de concentración de las aguas en la red de drenaje y afluentes del curso principal. Es por esto que a mayor pendiente corresponderá una menor duración de la concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y en los afluentes del curso principal (<http://eias.entalca.cl/2publicaciones/manuales.php>).

La pendiente media según Mociornita, corresponde al cuociente entre la diferencia de cotas entre curvas de nivel y la sumatoria en longitud de todas las curvas de nivel, respecto a la superficie de la cuenca, con la salvedad que se toman en cuenta por separado las cotas de las curvas de nivel mínima y máxima.

Su fórmula está descrita así:

$$Pm = \Delta h * \frac{\left( \frac{l_0}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} l_i + \frac{l_n}{2} \right)}{A}$$

Donde:

$\Delta h$ : es la diferencia de altura entre las curvas de nivel  $m$ ;

$l_0$ : longitud de la curva de nivel de menor cota  $m$ ;

$l_i$ : longitud de las curvas de nivel intermedias  $m$ ;

$l_n$ : longitud de la curva de nivel de mayor cota  $m$ ;

$A$ : superficie de la cuenca  $m^2$ .

A continuación en las tablas 40, 41 y 42 se muestran en detalle los resultados de las mediciones de longitud de las curvas de nivel hechas en Autocad, así como también el resultado de la pendiente media para ambas cuencas.

Tabla 40. Resultado de las mediciones de las curvas de nivel, en la cuenca de Colina.

Cuenca de Colina					
Nº	Curva de nivel (m)	Nº	Curva de nivel (m)	Nº	Curva de nivel (m)
1	920,8	44	17379,6	87	129
2	3055,3	45	19385,4	88	3182,5
3	10891,7	46	23924	89	147
4	4857,4	47	1588,5	90	1845,2
5	1127,8	48	3105,1	91	488,8
6	1964,1	49	1442	92	90,3
7	1341,1	50	25663,8	93	10189,6
8	9670,9	51	701,5	94	13527,6
9	176,3	52	22091	95	4132,6
10	9886,2	53	22855,5	96	1659,9
11	11726,7	54	1249,6	97	628,9
12	631,1	55	20170,5	98	746,5
13	924,1	56	24374,7	99	80
14	11509,8	57	29810,8	100	9901
15	68,7	58	33550,2	101	10575,1
16	534,9	59	29662,4	102	14258,2
17	5801,1	60	1315,4	103	1112,4
18	297,2	61	1222	104	385,9
19	7971,6	62	230,4	105	10118,9
20	10311,2	63	997,8	106	359
21	13396	64	80,3	107	1941,8
22	17667,4	65	368,7	108	1953,6
23	376,1	66	1272	109	148,4
24	139,7	67	206,9	110	1297,8
25	183	68	379,2	111	3074,7
26	11800,1	69	22772,2	112	390,1
27	283,8	70	21279,4	113	573,2
28	1389,7	71	23264,9	114	1697,4
29	8959,8	72	353,5	115	472,9
30	11769,8	73	271,4	116	386,9
31	14396,3	74	20522,3	117	5810,4
32	112,9	75	22282	118	3807,1
33	15422,3	76	26177,7	119	3216,4
34	530,5	77	785,2	120	1628,4
35	17993,4	78	550,6	121	623,9
36	18064,2	79	32451,8	122	373,6

Continuación de la tabla 40. Resultado de las mediciones de las curvas de nivel, en la cuenca de Colina.

Nº	Curva de nivel (m)	Nº	Curva de nivel (m)	Nº	Curva de nivel (m)
37	21356,1	80	30452,7	123	115,8
38	2114,6	81	26722	124	3013,8
39	926,6	82	2414	125	3875,6
40	25321,5	83	1721,1	126	3216,9
41	28545,8	84	3195,4	127	2886,6
42	414,6	85	663,8	128	945,1
43	2806,1	86	485,7		

Tabla 41. Resultado de las mediciones de las curvas de nivel, en la cuenca de Huechún.

.Cuenca de Huechún			
Nº	Curva de nivel (m)	Nº	Curva de nivel (m)
1	1113,9	23	12623,7
2	7551,6	24	158,7
3	217,8	25	165,5
4	484,8	26	1740,3
5	564,9	27	267,5
6	1567,6	28	18441,3
7	2776,1	29	7147,3
8	12398,3	30	862,8
9	2549,7	31	300,4
10	2569,3	32	290,6
11	455,8	33	205,2
12	20885,6	34	13872,3
13	915	35	11814,5
14	16764,7	36	192,1
15	6752,5	37	10265,6
16	133,9	38	1883,1
17	108,9	39	3127,9
18	1118,2	40	2021,2
19	279,9	41	1026,3
20	796,7	42	168,8
21	382,6	43	116,6
22	298,8		

Tabla 42. Cálculo de las variables, de la pendiente media de Mociornita.

Variables	Cuencas	
	Colina	Huechún
Pm	0,4309	0,2179
Superficie (m <sup>2</sup> )	110516697,6	38494892,1
Diferencia de altura entre cotas ( $\Delta H$ )	50	50
Sumatoria de la longitud de las curvas de nivel ( $\Sigma li$ ), en metros	952040,1	167378,3
Longitud de la curva de nivel, correspondiente a la cota mínima ( $L_0$ ), en metros	699,9	409,7
Longitud de la curva de nivel, correspondiente a la cota máxima ( $L_n$ ), en metros	195,9	348,3

## ANEXO III

### Cálculo del Hidrograma Unitario

#### Hidrograma unitario sintético de Snyder

a. Tiempo de retardo

Éste se calcula a partir de la expresión propuesta por Lynsley, Kohier y Paulhus (Pizarro y Novoa, 1986).

$$t_p = C_t * \left[ \frac{L * L_g}{\sqrt{S}} \right]^{0.38}$$

Donde:

$t_p$ : tiempo de retardo;

$L$ : longitud del curso principal en Km;

$L_g$ : distancia desde el desagüe, hasta el punto sobre la corriente principal, que está más cerca del centroide de la cuenca;

$C_t$ : coeficiente de Snyder;

$P_m$ : pendiente media de la cuenca.

b. Tiempo unitario

$$t_u = \frac{t_p}{5.5}$$

Donde:

$t_u$ : tiempo unitario en horas;

$t_p$ : tiempo de retardo.

Si el valor del tiempo unitario ( $t_u$ ) no es entero, se aproxima a un valor que represente un fácil uso para los cálculos, por lo cual se transforma en  $t_u'$ , quedando su expresión así:

$$t_u' = t_u + \Delta u \text{ (h)}$$

Si se modifica el tiempo unitario, también se modifica  $t_p$  por un tiempo de retardo modificado (tpm).

$$tpm = t_p + 0,25 * (tu' - t_u) \text{ (h)}$$

En los casos de que  $tu'$  no supere el siguiente intervalo, se recomienda no modificar esta expresión y por ende tampoco se modifica  $t_p$ .

$$t_u - 10\% \leq tu' \leq t_u + 10\%$$

c. Caudal punta

Se calcula, por medio de la expresión propuesta por Snyder;

$$q_p = C_p * \frac{275}{t_p}$$

Donde:

$q_p$ : caudal en l/s/km<sup>2</sup>;

$C_p$ : constante de Snyder;

$t_p$ : tiempo de retardo.

d. Tiempo base

Su expresión es la siguiente;

$$T_B = \frac{A}{1.8 * Q_p}$$

Donde:

$T_B$ : tiempo base en hrs;

$A$ : área de la cuenca en Km<sup>2</sup>;

$$Q_p = \frac{q_p}{1000} * A$$

A continuación se muestran las tablas en donde se encuentran los cálculos de las fórmulas antes expuestas. El área de la cuenca, la longitud del curso principal de agua, la distancia desde el desagüe hasta el punto más cercano sobre la corriente al centroide de la cuenca, se calcularon en Autocad, en tanto el coeficiente y la constante de Snyder, se extrajeron de las tablas de Benítez y Rodríguez (1974) para el estudio de la cuenca de Chicauma.

Tabla 43. Resultados del cálculo de las variables del hidrograma unitario sintético de Snyder.

Variables	Cuencas	
	Colina	Huechún
Área de la cuenca (A) Km <sup>2</sup>	110,5	38,5
Constante de Snyder (C <sub>p</sub> )	0,692	0,692
Coeficiente de Snyder (C <sub>t</sub> )	0,68	0,68
Longitud del curso principal (L) Km	57,49	11,63
Distancia desde el desagüe, hasta el punto sobre la corriente principal (L <sub>g</sub> ) Km	34,45	2,47
Pendiente media de la cuenca (S)	0,4309	0,2179
t <sub>p</sub> : tiempo de retardo (h)	14,28	3,25
Tiempo unitario modificado (tu') en horas	3	1
Tiempo unitario (t <sub>u</sub> ) en horas	2,60	0,59
Tiempo de retardo modificado (t <sub>pm</sub> ) en horas	14,38	3,36
Caudal (q <sub>p</sub> ) en m <sup>3</sup> /s	13,23	56,71
Tiempo base (T <sub>B</sub> ) en horas	42,0	9,8

Como el tiempo unitario fue aproximado a un número entero en ambas cuencas, se procedió a calcular sus límites de tolerancia para ver si se modificaba o no el t<sub>u</sub>, al igual que el t<sub>p</sub>.

Tabla 44. Límites de tolerancia para la modificación del tiempo unitario.

Límites tu' (h)	Cuencas	
	Colina	Huechún
Inferior	2,3	0,5
Superior	2,9	0,7

## Hidrograma unitario del Servicio de Conservación de Suelos (SCS)

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS, 1975), propone las siguientes fórmulas para el cálculo de este hidrograma:

- Caudal punta

$$Q_p = 0,208 * \frac{A}{t_p}$$

Donde:

- Qp: caudal punta m<sup>3</sup>/seg;
- A: área de la cuenca en km<sup>2</sup>;
- t<sub>p</sub>: tiempo de retardo.

- Tiempo de retardo

Éste se calcula a partir de la expresión propuesta por Lynsley, Kohier y Paulhus (Pizarro y Novoa, 1986).

$$t_p = C_t * \left[ \frac{L * L_g}{\sqrt{S}} \right]^{0.38}$$

Donde:

- t<sub>p</sub>: tiempo de retardo;
- L: longitud del curso principal en Km;
- L<sub>g</sub>: distancia desde el desagüe, hasta el punto sobre la corriente principal, que está más cerca al centroide de la cuenca;
- C<sub>t</sub>: coeficiente de Snyder;
- S: pendiente media de la cuenca.

El resultado arrojado por el hidrograma unitario para las cuencas, se encuentra detallado en la tabla 45.

Tabla 45. Resultados para el cálculo del hidrograma unitario, del Servicio de Conservación de Suelos.

<b>Variables</b>	<b>Cuencas</b>	
	<b>Colina</b>	<b>Huechún</b>
Longitud del curso principal (L) Km	57,49	11,63
Distancia desde el desagüe, hasta el punto sobre la corriente principal (Lg) Km	34,45	2,47
Pendiente media de la cuenca (S)	0,4309	0,2179
t <sub>p</sub> : tiempo de retardo (h)	14,28	3,25

## ANEXO IV

### Clasificación de los Suelos

#### Clasificación de los suelos hidrológicos según las tablas de Ponce (1989)

- a. Tipo de suelo A: Tienen rápida infiltración, aún estando muy húmedos. Son profundos y de textura gruesa (arenosa o arenosa – limosa) y están excesivamente drenados. Es el que ofrece menor escorrentía. Incluye los suelos que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Comprenden los terrenos profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo o arcilla.
- b. Tipo de suelo B: Cuando están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración moderada; la profundidad es media a profunda y la textura es franco – arenosa, franca, franco – arcillo – arenosa o franco – limosa; están bien o moderadamente drenados. Incluye los suelos de moderada permeabilidad, comprendido por los terrenos arenosos menos profundos que los del Grupo A; aquellos otros de textura franco – arenosa de mediana profundidad y los francos profundos.
- c. Tipo de suelo C: Cuando están muy húmedos la infiltración es lenta; la profundidad es inferior al promedio con textura franco – arcillosa y franco – arcillo – arenosa. Son suelos imperfectamente drenados. Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados.
- d. Tipo de suelo D: Cuando están muy húmedos la infiltración es muy lenta. Tienen horizontes de arcilla en la superficie o muy cerca de ella; están pobre o muy pobremente drenados. También se incluyen aquí los terrenos con nivel freático permanentemente alto y los suelos muy delgados. Es el que ofrece mayor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran impermeabilidad, tales como los terrenos muy arcillosos profundos, con alto grado de

tumefacción; los terrenos que presentan en la superficie o cerca de la misma una capa de arcilla muy impermeable; y aquellos otros con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie.

### **Clasificación de los suelos, según la actualización y homogeneización de los estudios de suelos de la región Metropolitana (1995-1996)**

El CIREN – CORFO (1995 – 1996), sacó una actualización de los estudios efectuados en los suelos de la región Metropolitana para su mejor comprensión e interpretación. En este apartado se hace un extracto de ese texto, con el fin de explicar cómo se interpretaron los suelos de las cuencas.

En la fórmula cartográfica cada unidad cartográfica tiene un símbolo que la identifica en el mapa para una variación determinada serie; el símbolo cartográfico está representado por letras y números dispuestos en forma consecutiva. Los tipos misceláneos de terrenos se representan por una o dos letras, sin especificar otras condiciones, dado que prácticamente no existe suelo (CIREN - CORFO, 1995 - 1996).

Ejemplo de unidad cartográfica y su fórmula:

CHC - 1 -----> Número identificador de la variación

^----- Nombre de la serie

#### a. Cuenca de Colina

Los suelos de esta cuenca no pudieron ser descritos debido a que en la zona no está clasificada con ortofotos. Sólo se cuenta en las oficinas del CIREN – CORFO, con las imágenes de la zona (visita en terreno a las oficinas de esta institución, Mayo de 2008). El criterio utilizado para definir los horizontes hidrológicos de esta cuenca se basó en la cobertura vegetal que ésta presentaba en su superficie y las características de esta misma.

b. Cuenca de Huechún

PA: suelos de nombre de serie Parva

PA – 1 VII e: representa la asociación y corresponde a suelos de textura superficial arcillosa, ligeramente profundos, topografía de cerros con 30 a 50 % de pendiente, bien drenados, con moderada pedregosidad superficial y afloramientos rocosos comunes. Se clasifica en:

Capacidad de uso	: VIIe1	Clase de drenaje	: 5
Categoría de riego	: 6	Aptitud frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud agrícola	: 7

PA – 3 VI e: corresponde a la fase de textura superficial arcillosa, ligeramente profunda, fuertemente ondulada con 15 a 20 % de pendiente, bien drenada, con moderada pedregosidad superficial y afloramientos rocosos escasos. Se clasifica en:

Capacidad de uso	: VIe1	Clase de drenaje	: 5
Categoría de riego	: 6	Aptitud frutal	: D
Erosión	: 0	Aptitud agrícola	: 6

PA – 4 VII e: corresponde a la fase de textura superficial arcillosa, ligeramente profunda, topografía de lomajes con 20 a 30 % de pendiente, bien drenada, con moderada pedregosidad superficial y afloramientos rocosos comunes. Se clasifica en:

Capacidad de uso	: VIIe1	Clase de drenaje	: 5
Categoría de riego	: 6	Aptitud frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud agrícola	: 7

PA – 5 VII e: corresponde a la fase de textura superficial arcillosa, ligeramente profunda, topografía de montaña con pendientes mayores de 50 %, bien drenada, con abundante pedregosidad superficial y afloramientos rocosos. Se clasifica en:

Capacidad de uso	: VIIe1	Clase de drenaje	: 5
Categoría de riego	: 6	Aptitud frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud agrícola	: 7

PA – 6 VIII: corresponde a la fase de textura superficial arcillosa, muy delgada, topografía de montaña con pendientes superiores a 50 %, de drenaje excesivo y con abundante rocosidad. Se ubican preferentemente en la parte más alta del cordón montañoso. Se clasifica en:

Capacidad de uso	: VIII	Clase de drenaje	: 6
Categoría de riego	: 6	Aptitud frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud agrícola	: 8

PE: suelos de nombre de serie Piedmont estratificados

PE – 8 VII e: corresponde a suelos estratificados, de textura franco arenosa, delgados, fuertemente inclinados con 8 a 15 % de pendiente y excesivamente drenados. Se clasifica en:

Capacidad de uso	: VIIe1	Clase de drenaje	: 6
Categoría de riego	: 6	Aptitud frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud agrícola	: 7

RUG: suelos de nombre de serie Rungue

RUG – 1 II s: representa la serie y corresponde a suelos moderadamente profundos, de textura superficial arcillosa, casi plano con pendiente de 1 a 3 % y bien drenado. Se clasifica en:

Capacidad de uso	: IIs5	Clase de drenaje	: 5
Categoría de riego	: 2t	Aptitud frutal	: B
Erosión	: 0	Aptitud agrícola	: 2

RUG – 4 III e: corresponde a la fase ligeramente ondulada con pendiente de 2 a 5 %, de textura superficial arcillosa y con ligera pedregosidad. Suelo moderadamente profundo y bien drenado. Se clasifica en:

Capacidad de uso	: IIIe5	Clase de drenaje	: 5
Categoría de riego	: 2t	Aptitud frutal	: B
Erosión	: 0	Aptitud agrícola	: 3

RUG – 8 VI: corresponde a la fase de textura superficial arcillosa, ligeramente profunda, moderadamente inclinada con 3 a 8 % de pendiente, con moderada pedregosidad superficial y bien drenada. Se clasifica en:

Capacidad de uso	: VIe7	Clase de drenaje	: 5
Categoría de riego	: 6	Aptitud frutal	: E
Erosión	: 0	Aptitud agrícola	: 6

R VIII: representa los afloramientos rocosos de las distintas formaciones petrográficas del área estudiada. Éstos se ubican en la cima de los cerros y/o cordillera.

Esta unidad está desprovista de vegetación arbórea y con escasa o nula vegetación arbustiva y/o pastos.

El área de la cordillera de la costa, preferentemente está representada por rocas graníticas. Asimismo, en el área intermedia, está representada por rocas eruptivas neutras, en donde se puede observar la existencia de fenómenos de metamorfismo de contacto. En la Cordillera de los Andes y en especial en el sector norte, dominan las rocas eruptivas básicas y en contacto con ella se encuentra la formación de conglomerado (Las Chilcas), en especial en la vertiente que cae al valle de Aconcagua. Se clasifica en Clase VIII de Capacidad de Uso.

HCN: suelos de nombre de serie Huechún

HCN – 2 II s: corresponde a la fase casi plana de pendiente de 1 a 3 %. Suelo profundo, de textura superficial arcillosa y bien drenado. Se clasifica en:

Capacidad de uso	: IIs5	Clase de drenaje	: 5
Categoría de riego	: 2t	Aptitud frutal	: B
Erosión	: 0	Aptitud agrícola	: 2

### **Descripción de los códigos de drenaje**

Sobre la base de las observaciones e inferencias usadas para la obtención del drenaje externo, permeabilidad y drenaje interno, se obtienen las clases de drenaje. Seis clases de drenaje son usadas en la descripción de los suelos y su definición es como sigue:

- a. Muy pobremente drenado (1): El agua es removida del suelo tan lentamente que el nivel freático permanece en o sobre la superficie en la mayor parte del tiempo. Los suelos generalmente ocupan lugares planos o deprimidos y están frecuentemente inundados. Los suelos son suficientemente húmedos para impedir el crecimiento de los cultivos (excepto el arroz), a menos que se les provea de un drenaje artificial.
- b. Pobremente drenado (2): El agua es removida tan lentamente que el suelo permanece húmedo una gran parte del tiempo. El nivel freático está comúnmente en o cerca de la superficie durante una parte considerable del año. Las condiciones de pobremente drenado son debidas al nivel freático alto, o capas lentamente permeables en el pedón, al escurrimiento o a alguna combinación de estas condiciones. La gran cantidad de agua que permanece en y sobre los suelos pobremente drenados, impide el crecimiento de los cultivos bajo condiciones naturales en la mayoría de los años. El drenaje artificial es generalmente necesario para la producción de cultivo.

- c. Drenaje imperfecto (3): El agua es removida del suelo lentamente, suficiente para mantenerlo húmedo por períodos, pero no durante todo el tiempo. Los suelos de drenaje imperfecto comúnmente tienen capas lentamente permeables dentro del pedón, niveles freáticos altos suplementados a través del escurrimiento, o una combinación de estas condiciones. El crecimiento de los cultivos es restringido a menos que se provea un drenaje artificial.
- d. Drenaje moderado (4): El agua es removida algo lentamente, de tal forma que el pedón está húmedo por poca pero significativa parte del tiempo. Los suelos de drenaje moderado comúnmente tienen capas lentamente permeables dentro o inmediatamente bajo el "solum"; un nivel freático relativamente alto, sumado al agua a través del escurrimiento o alguna combinación de estas condiciones.
- e. Bien drenado (5): El agua es removida del suelo fácilmente, pero no rápidamente. Los suelos bien drenados comúnmente tienen texturas intermedias, aunque los suelos de otras clases texturales pueden también estar bien drenados. Los suelos bien drenados retienen cantidades óptimas de humedad para el crecimiento de las plantas después de lluvias o adiciones de agua de riego.
- f. Excesivamente drenado (6): El agua es removida del suelo muy rápidamente. Los suelos excesivamente drenados son comúnmente litosoles o litosólicos y pueden ser inclinados, muy porosos o ambos. El agua proveniente de las precipitaciones no es suficiente en estos suelos para la producción de cultivos comunes, por lo que necesitan de regadío e incluso así, no pueden lograrse rendimientos máximos en la mayoría de los casos. Cuando la estructura y porosidad son muy favorables, se puede subir en una clase la aptitud del suelo. A la inversa, cuando estos factores están limitados se puede bajar la aptitud a la clase siguiente. En los suelos estratificados, un quiebre abrupto de textura que provoca un nivel freático suspendido, permite castigar la aptitud del suelo hasta la clase siguiente.

Una vez presentadas las distintas formas de clasificación existente para evaluar la capacidad de drenaje de un sistema, solamente se tuvo que relacionarlas entre sí, según las características que cada una describía. De esa forma en la tabla 46 se presentan las equivalencias para las distintas clasificaciones de suelos encontradas o caracterizadas.

Tabla 46. Equivalencias para las clasificaciones de los suelos.

Clase de Drenaje	Tabla de Ponce
5 – 6	A
4	B
3	C
1 – 2 – R	D

Tabla 47. Superficies de suelos encontradas e identificadas según los mosaicos para la cuenca de Huechún, junto con su correspondiente equivalencia a las tablas de Ponce, (1989).

Clasificación de los suelos según los mosaicos		Clasificación de los suelos según las tablas de Ponce	Área (Km <sup>2</sup> )
R	VIII	D	4.7702
PA-3	VI	A	0.0704
PA-5	VII	A	0.2641
PA-5	VII	A	0.0043
PA-5	VII	A	0.0003
PA-5	VII	A	0.0020
PA-5	VII	A	9.0358
PA-3	VI	A	0.5216
PA-1	VII	A	0.5221
PA-4	VII	A	0.1162
PA-6	VIII	A	3.6528
PA-3	VI	A	0.0778
PA-3	VI	A	0.1105
PA-1	VII	A	1.7259
PA-1	VII	A	0.9406
PA-3	VI	A	0.2404

Continuación tabla 47. Superficies de suelos encontradas e identificadas según los mosaicos para la cuenca de Huechún, junto con su correspondiente equivalencia en las tablas de Ponce, (1989).

Clasificación de los suelos según los mosaicos		Clasificación de los suelos según las tablas de Ponce	Área (Km <sup>2</sup> )
PA-4	VII	A	0.2793
PA-6	VIII	A	3.0418
PA-5	VII	A	0.0401
PA-5	VII	A	0.0734
PA-5	VII	A	0.0137
PA-5	VII	A	1.2481
RUG-8	VI	A	0.0227
HCN-2	II	A	3.6955
R	N.C.	D	0.0001
R	N.C.	D	0.0965
RUG-4	III	A	0.3449
PE-8	VII	A	0.1908
RUG-1	II	A	4.2846
PE-8	VII	A	0.8022
PA-4	VII	A	0.0874
RUG-4	III	A	1.8083
PA-4	VII	A	0.3094
PA-3	VI	A	0.0832
RUG-8	VI	A	0.0276
<b>Superficie total</b>			<b>38.5043</b>

## **ANEXO V**

### **Clasificación de la Cobertura Vegetacional**

Para llevar a cabo la reclasificación de la cobertura vegetal del catastro hecho por CONAF a las tablas de Ponce, se definieron los siguientes pasos: como el catastro vegetacional presentaba una columna con el uso actual y el porcentaje de cobertura de éste, se optó por relacionarlo con las tablas de Ponce, en donde el uso actual equivaldría al tipo de cobertura que se describen en las tablas y el porcentaje de cobertura se relacionaría con el estado hidrológico que este presentaba. Esto último se encontraba respaldado por imágenes de Google Earth que permitieron interpretar de forma más clara las características de porcentajes de coberturas y el estado de las áreas de estudio.

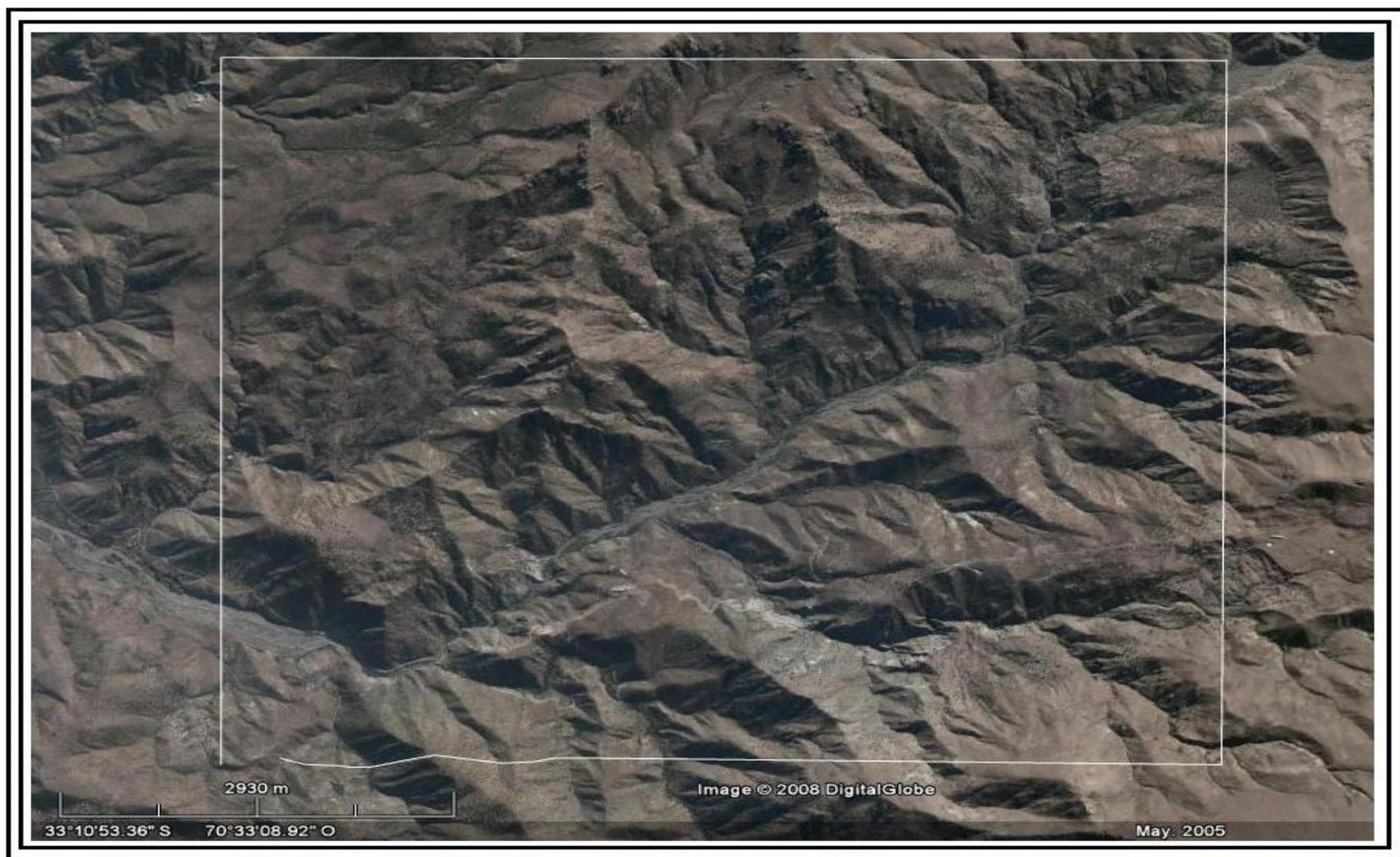


Figura 16. Imagen de Google Earth para la cuenca de Colina.



Figura 17. Imagen de Google Earth para la cuenca de Huechún.



Figura 18. Vista general de una parte de la cuenca de Colina.

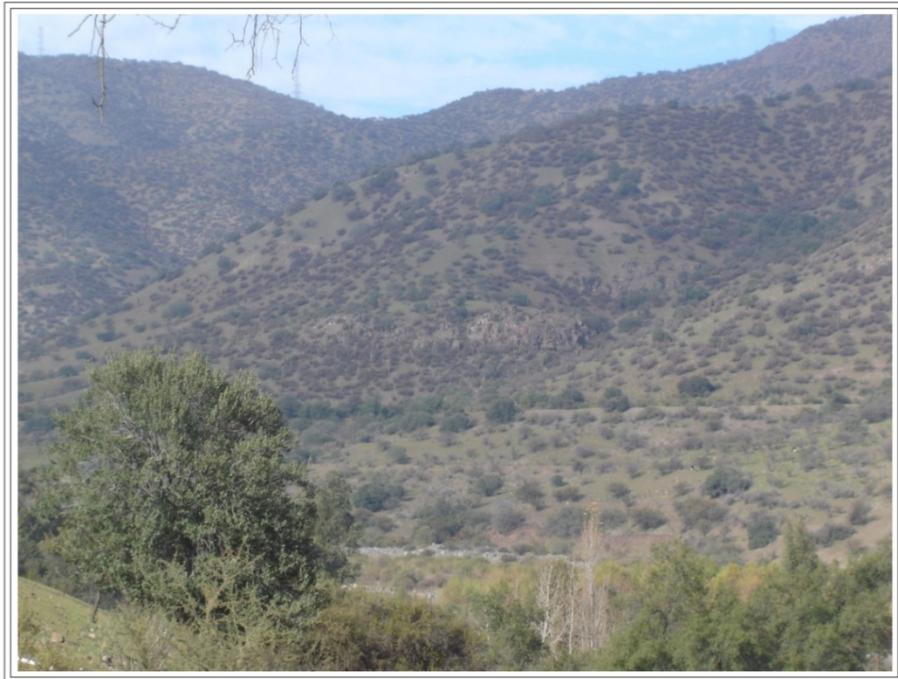


Figura 19. Panorámica del grado de cobertura, de las formaciones vegetacionales en la cuenca de Colina.



Figura 20. Formaciones rocosas sobre la cuenca de Colina.



Figura 21. Vista general de una parte de la cuenca de Huechún.

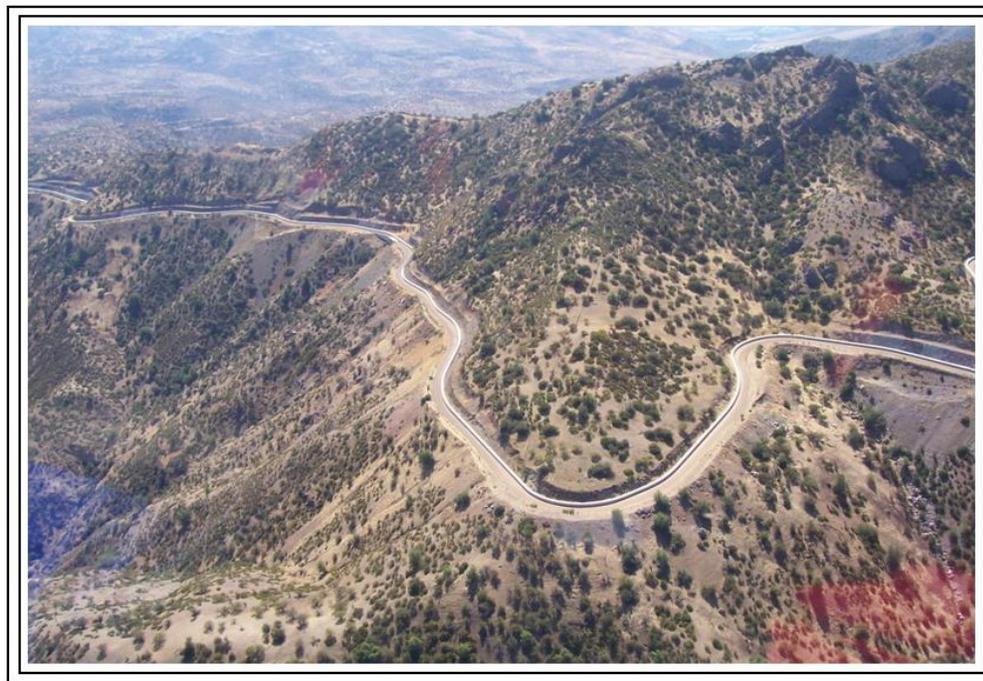


Figura 22. Panorámica del grado de cobertura de las formaciones vegetacionales en la cuenca de Huechún.



Figura 23. Vista actual (2007) de la cuenca de Huechún.

En este apartado se muestran en detalle las tablas de Ponce (1989), que se utilizaron para la estimación del número de curva, según la cobertura vegetal presente en cada zona.

Tabla 48. Números de curva (NC), de escorrentía para áreas forestales.

Descripción de la cubierta		Números de curva para los tipos de suelo			
Tipo de cubierta	Estado hidrológico	A	B	C	D
Pastos, prados, o forraje permanentemente para pastoreo <sup>(1)</sup>	Malo	68	79	86	89
	Medio	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
Prados cubiertos permanentemente con hierba, protegidos del pastoreo y normalmente segados para heno (prados se siega)	-	30	58	71	78
Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario <sup>(2)</sup>	Malo	48	67	77	83
	Medio	35	56	70	77
	Bueno	30	48	65	73
Mezcla de bosques y hierba (huerto o árboles frutales) <sup>(3)</sup>	Malo	57	73	82	86
	Medio	43	65	76	82
	Bueno	32	58	72	79
Bosques <sup>(4)</sup>	Malo	45	66	77	83
	Medio	36	60	73	79
	Bueno	30	55	70	77
Granjas, construcciones, caminos carreteras y alrededores	-	59	74	82	86

(Fuente: adaptado desde las tablas de Ponce, 1989)

Notas:

- 1) Malo: menos del 50 % de cubierta del suelo en sitios muy pastoreados sin cubierta de residuos.  
Medio: entre el 50 – 75 % de cubierta del suelo y no muy pastoreado.  
Bueno: más del 75 % de cubierta del suelo y muy poco u ocasionalmente pastoreado.

- 2) Malo: menos del 50 % de cubierta del suelo.  
 Medio: entre el 50 – 75 % de cubierta del suelo.  
 Bueno: más del 75 % de cubierta del suelo.
- 3) Estos NC fueron calculados para superficies con cubierta del 50 % de bosque y 50 % de hierba (pasto). Otras combinaciones de condiciones deben calcularse a partir de NC de bosques y pastos.
- 4) Malo: los residuos, la materia orgánica sin descomponer del bosque, los árboles pequeños y los arbustos, se destruyen por pastoreo muy fuerte o quemas regulares.  
 Medio: los bosques son pastoreados pero no quemados y la materia orgánica sin descomponer cubren el suelo.  
 Bueno: los bosques están protegidos del pastoreo y la materia orgánica. Sin descomponer y arbustos cubren el suelo adecuadamente.

Tabla 49. Números de curva (NC), de escorrentía para áreas urbanas.

Descripción de la cubierta		Números de curva para los tipos de suelo			
Tipo de cubierta y estado hidrológico	% medio de superficie impermeable <sup>(1)</sup>	A	B	C	D
Áreas urbanas completamente desarrolladas (vegetación establecida)					
Espacios abiertos (césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.) <sup>(2)</sup>					
Malas condiciones (cubiertas < 50%)		69	79	86	89
Condición media (regular) (50 < Fcc < 75%)		49	69	79	84
Buenas condiciones (F > 75%)		39	61	74	80
Superficies impermeables:					
Aparcamientos pavimentados, tejados, carreteras, etc.		98	98	98	98
Calles asfaltadas y alcantarillados		98	98	98	98
Cunetas asfaltadas		83	89	92	93
Gravas		76	85	89	91
Lodos		72	82	87	89

(Fuente: adaptado desde las tablas de Ponce, 1989)

Continuación tabla 49. Números de curva (NC), de escorrentía para áreas urbanas

Descripción de la cubierta		Números de curva para los tipos de suelo			
Tipo de cubierta y estado hidrológico	% medio de superficie impermeable <sup>(1)</sup>	A	B	C	D
Áreas desérticas urbanas: Paisajes naturales desérticos (sólo superficies permeables) <sup>(3)</sup>		63	77	85	88
Paisaje desértico artificial (maleza impermeable, leñosa rastreras (2-4 cm), capas de arena o grava)		96	96	96	96
Districtos urbanos:					
Comercial y de negocios	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Districtos residenciales según tamaño medio:					
≤ 500 m <sup>2</sup>	65	77	85	90	92
1.000 m <sup>2</sup>	38	61	75	83	87
1.350 m <sup>2</sup>	30	57	72	81	86
2.000 m <sup>2</sup>	25	54	70	80	85
4.000 m <sup>2</sup>	20	51	78	79	84
8.000 m <sup>2</sup>	12	46	65	77	82
Áreas urbanas en desarrollo Superficies recientemente catalogadas (sólo superficies permeables, sin vegetación) <sup>(2)</sup>		77	86	91	94

(Fuente: adaptado desde las tablas de Ponce, 1989)

Notas:

- 1) El porcentaje medio de superficie impermeable que aparece en la tabla, se usó para desarrollar los números de curva compuestos. Las otras suposiciones son las siguientes: las superficies impermeables tienen un NC = 98 y las permeables se consideran equivalentes a espacios abiertos en buenas condiciones hidrológicas.
- 2) Estos NC son equivalentes a los de los pastos. Los NC compuestos se calculan para otras combinaciones de tipo de cubierta en espacios abiertos.

- 3) Los NC compuestos para paisajes naturales desérticos deben calcularse utilizando los porcentajes de superficie impermeable (NC = 98) y superficie permeable. El NC de las superficies permeables se supone equivalente a matorral desértico en malas condiciones hidrológicas.

Tabla 50. Números de curva (NC), de esorrentía para zonas de montaña áridas y semiáridas.

Descripción de la cubierta		Números de curva para los tipos de suelo			
Tipo de cubierta	Estado hidrológico <sup>(1)</sup>	A <sup>(2)</sup>	B	C	D
Herbáceo: mezcla de hierba, maleza matorral de bajo crecimiento, siendo el matorral el elemento de menor importancia	Malo		80	87	93
	Medio		71	81	89
	Bueno		62	74	85
Roble/álamo: mezcla de garriga, álamo, caoba de montaña, "bitter brush", arce y otros arbustos	Malo		66	74	79
	Medio		48	57	63
	Bueno		30	41	48
Pináceas / Juniperus: Pináceas, Juniperus o ambos con hierba bajo cubierta	Malo		75	85	89
	Medio		58	73	80
	Bueno		41	61	71
Labiadas con hierba bajo cubierta	Malo		67	80	85
	Medio		51	63	70
	Bueno		35	47	55
Mata desértica: la mayoría de las plantas incluyen plantas halófilas, plantas crasas, plantas con aceites esenciales	Malo	63	77	85	88
	Medio	55	72	81	86
	Bueno	49	68	79	84

(Fuente: adaptado desde las tablas de Ponce, 1989)

Notas:

- 1) Malo: < 30 % de cubierta del suelo (materia orgánica, hierbas y arbustos).  
Medio: 30 – 70 % de cubiertas del suelo.  
Buenos: > 70 % de cobertura de suelo.
- 2) Los números de curva del grupo A sólo se han desarrollado para matas desérticas.

A continuación se presentan los valores para el paso de la condición II de humedad hacia la condición de humedad I y III. Se debe tener claro que un número de curva de la condición II, corresponde a un escenario de humedad media; el número de curva de la condición I, corresponde a un suelo que está especialmente seco; y el número de curva de la condición III, corresponde a un suelo que se encuentra saturado debido a las precipitaciones precedentes (Ponce, 1989).

Tabla 51. Conversión del número de curva desde la condición de humedad II, hacia las condiciones de humedad I y III.

<b>Número de curva en la condición II</b>	<b>Número de curva en la condición I</b>	<b>Número de curva en la condición III</b>
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

(Fuente: adaptado desde las tablas de Ponce, 1989)

# APÉNDICES

## APÉNDICE I

### Tormentas Registradas por las Estaciones de Colina, Huechún Andina y Rungue Embalse, entre los Periodos de 1995 a 2007

En este apéndice se presentan el total de las tormentas consideradas como de alta intensidad para la simulación del programa HEC – HMS, de estas hay algunos años en los cuales no se registraron tormentas con una alta intensidad, como los años 1998 y 2007.

### Tormentas de las estaciones de Rungue Embalse, Huechún Andina y Colina

Dentro de las estaciones utilizadas para el estudio, hay que destacar que la estación de Rungue Embalse, es una estación pluviográfica y fue utilizada para el cálculo del factor de distribución; mientras que las estaciones de Huechún Andina y Colina, corresponden a estaciones pluviométricas.

Tabla 52. Tormentas del 04-07-1995.

	Rungue Embalse	Huechún Andina	Colina
F. Inic.	04-07-1995	04-07-1995	04-07-1995
F. Term.	05-07-1995	05-07-1995	05-07-1995
Hora	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)
19	0,1	-	0,2
20	1,8	0,3	2,7
21	6,5	1,1	9,8
22	8,6	1,5	13,0
23	12,8	2,2	19,4
24	16,2	2,8	24,5
1	18,8	-	-
2	19,7	-	-
3	20,2	-	-
4	20,6	-	-
5	20,6	-	-
6	22,0	-	-
7	24,8	-	-
8	27,2	-	-
9	27,3	-	-
10	27,3	-	-

Tabla 53. Tormentas del 23-07-1995.

	Rungue Embalse	Huechún Andina	Colina
F. Inic.	23-07-1995	23-07-1995	23-07-1995
F. Term.	24-07-1995	24-07-1995	24-07-1995
Hora	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)
9	0,7	-	0,5
10	3,2	-	2,2
11	5,3	-	3,6
12	6,9	-	4,7
13	8,2	-	5,6
14	11,5	-	7,9
15	14,9	-	10,2
16	17,4	-	11,9
17	20,4	-	14,0
18	23,6	-	16,2
19	26,7	-	18,3
20	27,5	-	18,9
21	27,5	-	18,9
22	27,6	-	18,9
23	27,6	-	18,9
24	27,7	-	19,0
1	27,7	-	-
2	27,7	-	-
3	27,7	-	-
4	27,7	-	-
5	27,8	-	-
6	27,8	-	-

Tabla 54. Tormentas del 13-08-1995.

	Rungue Embalse	Huechún Andina	Colina
F. Inic.	13-08-1995	13-08-1995	13-08-1995
F. Term.	14-08-1995	14-08-1995	14-08-1995
Hora	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)
6	2,6	-	0,8
7	4,5	-	1,4
8	6,7	-	2,1
9	10,5	-	3,3
10	13,4	-	4,2
11	15,5	-	4,9
12	18,5	-	5,8
13	22,1	-	6,9
14	24,9	-	7,8
15	26,5	-	8,3
16	30,8	-	9,6
17	32,7	-	10,2

Continuación tabla 54. Tormentas del 13-08-1995

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>13-08-1995</b>	<b>13-08-1995</b>	<b>13-08-1995</b>
<b>F. Term.</b>	<b>14-08-1995</b>	<b>14-08-1995</b>	<b>14-08-1995</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
21	37,8	-	11,8
22	40,2	-	12,6
23	42,1	-	13,2
24	44,7	-	14,0
1	46,7	8,0	14,7
2	48,3	14,3	15,2
3	48,5	15,1	15,3
4	48,8	16,3	15,4
5	48,8	16,3	15,4
6	48,9	16,7	15,4
7	49,1	17,5	15,5
8	49,1	17,5	15,5

Tabla 55. Tormentas del 06-07-1996.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>06-07-1996</b>	<b>06-07-1996</b>	<b>06-07-1996</b>
<b>F. Term.</b>	<b>08-07-1996</b>	<b>08-07-1996</b>	<b>08-07-1996</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
17	0,9	-	0,5
18	8,4	-	4,3
19	11,1	-	5,7
20	13,8	-	7,0
21	15,6	-	8,0
22	20,4	-	10,4
23	24,2	-	12,3
24	30,8	-	15,7
1	33,7	-	16,2
2	35,2	-	16,5
3	37,8	-	17,0
4	41,8	-	17,7
5	43,1	-	17,9
6	43,3	-	18,0
7	44,3	-	18,2
8	44,8	-	18,3
9	46,2	-	18,5
10	48,8	-	19,0
11	52,5	-	19,7
12	53,9	-	19,9
13	56,0	-	20,3
14	57,0	-	20,5

Continuación tabla 55. Tormentas del 06-07-1996.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>06-07-1996</b>	<b>06-07-1996</b>	<b>06-07-1996</b>
<b>F. Term.</b>	<b>08-07-1996</b>	<b>08-07-1996</b>	<b>08-07-1996</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
15	57,3	-	20,5
16	57,4	-	20,5
17	57,6	-	20,6
18	57,6	-	20,6
19	57,6	-	20,6
20	58,5	-	20,7
21	58,7	-	20,8
22	58,7	-	20,8
23	58,8	-	20,8
24	58,8	-	20,8
1	58,9	-	-
2	58,9	-	-
3	58,9	-	-
4	58,9	-	-
5	58,9	-	-
6	59,0	-	-

Tabla 56. Tormentas del 13-06-1996.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>13-06-1996</b>	<b>13-06-1996</b>	<b>13-06-1996</b>
<b>F. Term.</b>	<b>14-06-1996</b>	<b>14-06-1996</b>	<b>14-06-1996</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
9	0,5	0,3	0,3
10	2,2	1,3	1,3
11	2,7	1,6	1,7
12	5,3	3,2	3,2
13	6,6	4,0	4,0
14	8,6	5,2	5,3
15	10,0	6,0	6,1
16	14,0	8,4	8,6
17	16,1	9,7	9,9
18	19,7	11,9	12,1
19	21,6	13,0	13,2
20	22,9	13,8	14,0
21	24,1	14,5	14,8
22	24,9	15,0	15,3
23	25,2	15,2	15,4
24	26,1	15,7	16,0
1	26,9	-	-

Continuación tabla 56. Tormentas del 13-06-1996.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	13-06-1996	13-06-1996	13-06-1996
<b>F. Term.</b>	14-06-1996	14-06-1996	14-06-1996
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
2	27,0	-	-
3	27,1	-	-
4	27,1	-	-
5	27,1	-	-
6	27,1	-	-
7	27,4	-	-
8	28,7	-	-

Tabla 57. Tormentas del 17-05-1997.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	17-05-1997	17-05-1997	17-05-1997
<b>F. Term.</b>	18-05-1997	18-05-1997	18-05-1997
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
23	0,6	-	2,1
24	0,7	-	2,5
1	1,0	-	2,7
2	1,1	-	2,8
3	1,7	-	3,2
4	2,7	-	4,0
5	7,3	-	7,4
6	7,8	-	7,8
7	10,0	-	9,4
8	10,4	-	9,7
9	12,2	-	11,0
10	17,7	-	15,1
11	20,2	-	17,0
12	23,2	-	19,2
13	28,7	-	23,3
14	31,2	-	25,1
15	38,4	-	30,5
16	39,8	-	31,5
17	39,8	-	31,5

Tabla 58. Tormentas del 28-05-1997.

	Rungue Embalse	Huechún Andina	Colina
F. Inic.	28-05-1997	29-05-1997	28-05-1997
F. Term.	30-05-1997	30-05-1997	30-05-1997
Hora	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)
23	0,2	-	2,0
24	2,1	-	21,5
1	5,8	1,2	23,9
2	7,2	1,6	24,9
3	9,0	2,2	26,1
4	11,7	3,0	27,8
5	14,8	4,0	29,9
6	17,8	5,0	31,9
7	23,1	6,6	35,4
8	25,2	7,3	36,8
9	26,9	7,9	37,9
10	29,4	8,6	39,6
11	29,7	8,7	39,8
12	29,7	8,7	39,8
13	29,7	8,7	39,8
14	29,8	8,8	39,8
15	31,1	9,2	40,7
16	36,0	10,7	43,9
17	40,0	12,0	46,6
18	40,3	12,1	46,8
19	44,0	13,3	49,2
20	47,5	14,4	51,5
21	51,9	15,8	54,4
22	58,0	17,7	58,5
23	63,8	19,5	62,3
24	70,0	21,5	66,4
1	71,4	25,0	66,9
2	78,0	41,3	69,3
3	80,0	46,2	70,1
4	80,0	46,2	70,1
5	81,6	50,2	70,7
6	83,8	55,7	71,5
7	87,2	64,1	72,7
8	89,8	70,5	73,7

Tabla 59. Tormentas del 30-07-1997.

	Rungue Embalse	Huechún Andina	Colina
F. Inic.	30-07-1997	31-07-1997	30-07-1997
F. Term.	31-07-1997	31-07-1997	31-07-1997
Hora	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)
1	0,1	-	0,1
2	0,5	-	0,3
3	1,5	-	0,8
4	3,7	-	2,1
5	6,2	-	3,5
6	8,0	-	4,5
7	10,0	-	5,6
8	11,5	-	6,4
9	15,3	-	8,6
10	17,4	-	9,7
11	18,5	-	10,4
12	20,9	-	11,7
13	23,2	-	13,0
14	25,7	-	14,4
15	27,2	-	15,2
16	28,7	-	16,1
17	30,0	-	16,8
18	30,1	-	16,9
19	30,4	-	17,0
20	30,5	-	17,1
21	30,7	-	17,2
22	30,7	-	17,2
23	30,7	-	17,2
24	30,7	-	17,2
1	30,7	-	17,2
2	30,7	-	17,2
3	31,5	8,9	18,0
4	31,8	12,3	18,2
5	32,3	17,9	18,7
6	32,5	20,1	18,9
7	32,5	20,1	18,9
8	32,6	21,2	19,0

Tabla 60. Tormentas del 13-09-1999.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>13-03-1999</b>	<b>13-03-1999</b>	<b>13-03-1999</b>
<b>F. Term.</b>	<b>13-03-1999</b>	<b>13-03-1999</b>	<b>13-03-1999</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
5	0,1	-	-
6	3,5	-	1,1
7	8,0	-	2,6
8	11,3	-	3,7
9	14,4	-	4,7
10	15,6	-	5,1
11	15,6	-	5,1
12	15,6	-	5,1
13	15,6	-	5,1
14	17,8	-	5,8
15	17,8	-	5,8
16	17,9	-	5,8

Tabla 61. Tormentas del 28-07-1999.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>28-07-1999</b>	<b>28-07-1999</b>	<b>28-07-1999</b>
<b>F. Term.</b>	<b>29-07-1999</b>	<b>29-07-1999</b>	<b>29-07-1999</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
9	3,1	0,9	1,2
10	4,5	1,3	1,7
11	5,1	1,5	1,9
12	6,0	1,7	2,3
13	7,5	2,1	2,9
14	10,5	3,0	4,0
15	13,0	3,7	5,0
16	14,5	4,1	5,5
17	14,6	4,2	5,6
18	14,6	4,2	5,6
19	14,6	4,2	5,6
20	18,1	5,2	6,9
21	23,0	6,6	8,8
22	23,0	6,6	8,8
23	23,1	6,6	8,8
24	23,1	6,6	8,8
1	23,3	6,6	9,0
2	23,5	6,6	9,1
3	24,7	6,6	10,0
4	24,7	6,6	10,0

Tabla 62. Tormentas del 12-08-1999.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	12-08-1999	12-08-1999	12-08-1999
<b>F. Term.</b>	12-08-1999	12-08-1999	12-08-1999
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
9	0,1	-	-
10	0,2	-	-
11	5,5	-	-
12	9,5	-	-
13	17,0	-	-
14	22,6	-	-
15	24,0	-	-
16	25,8	-	-
17	26,2	-	-
18	26,3	-	-
19	26,3	-	-
20	26,3	-	-
21	26,4	-	-
22	26,4	-	-
23	26,5	-	-
24	26,5	-	-

Tabla 63. Tormentas del 12-06-2000.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	12-06-2000	12-06-2000	12-06-2000
<b>F. Term.</b>	14-06-2000	14-06-2000	14-06-2000
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
16	0,6	0,4	0,4
17	3,9	2,4	2,7
18	11,9	7,4	8,3
19	19,9	12,4	13,8
20	27,1	16,9	18,8
21	34,4	21,5	23,9
22	41,4	25,9	28,7
23	47,0	29,4	32,6
24	50,9	31,8	35,3
1	53,8	35,3	39,5
2	55,1	36,9	41,3
3	56,2	38,2	42,9
4	57,8	40,2	45,2
5	57,8	40,2	45,2
6	58,2	40,7	45,8
7	58,9	41,5	46,8
8	59,7	42,5	47,9
9	59,9	42,7	48,2
10	60,0	42,9	48,4

Continuación tabla 63. Tormentas del 12-06-2000.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>12-06-2000</b>	<b>12-06-2000</b>	<b>12-06-2000</b>
<b>F. Term.</b>	<b>14-06-2000</b>	<b>14-06-2000</b>	<b>14-06-2000</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
11	62,5	45,9	52,0
12	65,8	49,9	56,7
13	67,7	52,2	59,4
14	67,8	52,3	59,6
15	70,5	55,6	63,5
16	78,0	64,7	74,2
17	80,2	67,4	77,4
18	85,3	73,6	84,7
19	86,3	74,8	86,2
20	86,5	75,1	86,4
21	86,6	75,2	86,6
22	87,5	76,3	87,9
23	87,9	76,8	88,5
24	88,0	76,9	88,6
1	88,1	77,0	88,6
2	90,0	78,1	89,5
3	93,1	79,9	90,9
4	100,7	84,3	94,4
5	110,1	89,9	98,7
6	115,4	93,0	101,1
7	119,9	95,6	103,1
8	125,8	99,1	105,8
9	129,5	101,2	107,5
10	133,0	103,3	109,1
11	136,0	105,1	110,5
12	139,5	107,1	112,1
13	144,1	109,8	114,2
14	150,0	113,3	116,9
15	153,5	115,3	118,5
16	158,8	118,4	120,9
17	164,9	122,0	123,7
18	168,7	124,2	125,4
19	169,5	124,7	125,8
20	169,6	124,8	125,8
21	169,7	124,8	125,9
22	169,8	124,9	125,9
23	170,0	125,0	126,0

Tabla 64. Tormentas del 20-06-2000.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>20-06-2000</b>	<b>20-06-2000</b>	<b>20-06-2000</b>
<b>F. Term.</b>	<b>21-06-2000</b>	<b>20-06-2000</b>	<b>20-06-2000</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
21	0,2	0,1	0,2
22	0,3	0,2	0,2
23	0,4	0,3	0,3
24	0,5	0,3	0,4
1	3,1	-	-
2	5,5	-	-
3	10,5	-	-
4	14,5	-	-
5	17,0	-	-
6	18,2	-	-
7	18,3	-	-
8	18,4	-	-

Tabla 65. Tormentas del 23-06-2000.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>23-06-2000</b>	<b>23-06-2000</b>	<b>23-06-2000</b>
<b>F. Term.</b>	<b>24-06-2000</b>	<b>23-06-2000</b>	<b>23-06-2000</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
15	0,6	0,4	0,4
16	1,8	1,2	1,1
17	5,7	3,7	3,4
18	11,1	7,2	6,7
19	13,3	8,6	8,0
20	16,6	10,7	10,0
21	21,3	13,8	12,9
22	24,1	15,6	14,6
23	29,6	19,1	17,9
24	33,1	21,4	20,0
1	38,6	-	-
2	43,1	-	-
3	46,1	-	-
4	47,4	-	-
5	47,6	-	-
6	47,7	-	-
7	47,9	-	-
8	48,1	-	-
9	49,1	-	-
10	49,2	-	-
11	49,2	-	-
12	49,3	-	-

Continuación tabla 65. Tormentas del 23-06-2000.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>23-06-2000</b>	<b>23-06-2000</b>	<b>23-06-2000</b>
<b>F. Term.</b>	<b>24-06-2000</b>	<b>23-06-2000</b>	<b>23-06-2000</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
13	49,4	-	-
14	49,4	-	-
15	49,4	-	-
16	50,0	-	-
17	50,2	-	-
18	50,2	-	-

Tabla 66. Tormentas del 27-06-2000.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>27-06-2000</b>	<b>27-06-2000</b>	<b>27-06-2000</b>
<b>F. Term.</b>	<b>30-06-2000</b>	<b>30-06-2000</b>	<b>30-06-2000</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
6	4,2	2,4	2,4
7	13,3	7,5	7,4
8	18,2	10,2	10,2
9	28,7	16,1	16,1
10	33,4	18,8	18,7
11	34,4	19,3	19,3
12	37,8	21,2	21,2
13	39,0	21,9	21,8
14	40,6	22,8	22,7
15	40,9	23,0	22,9
16	41,9	23,5	23,5
17	42,8	24,1	24,0
18	42,8	24,1	24,0
19	49,2	27,7	27,6
20	49,2	27,7	27,6
21	49,2	27,7	27,6
22	49,3	27,7	27,6
23	49,8	28,0	27,9
24	50,0	28,1	28,0
1	50	28,1	28,0
2	50	28,1	28,0
3	50	28,1	28,0
4	50	28,1	28,0
5	50	28,1	28,0
6	50	28,1	28,0
7	50	28,1	28,0
8	50	28,1	28,0

Continuación tabla 66. Tormentas del 27-06-2000.

F. Inic. F. Term. Hora	Rungue Embalse	Huechún Andina	Colina
	27-06-2000 30-06-2000	27-06-2000 30-06-2000	27-06-2000 30-06-2000
	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)
9	50	28,1	28,0
10	50	28,1	28,0
11	50,1	28,1	28,1
12	53,5	28,1	31,1
13	55,3	28,1	32,7
14	58,5	28,1	35,6
15	60,1	28,1	37,0
16	60,3	28,1	37,2
17	61,6	28,1	38,3
18	65	28,1	41,4
19	65,5	28,1	41,8
20	69,4	28,1	45,3
21	71,1	28,1	46,8
22	72,4	28,1	47,9
23	75,4	28,1	50,6
24	77,3	28,1	52,3
1	78,4	28,1	52,7
2	78,6	28,1	52,7
3	79,4	28,1	53,0
4	80,2	28,1	53,2
5	81,3	28,1	53,6
6	85,3	28,1	54,9
7	85,6	28,1	55,0
8	85,7	28,1	55,0
9	86,3	28,1	55,2
10	86,7	28,1	55,3
11	87,1	28,1	55,5
12	87,3	28,1	55,5
13	87,7	28,1	55,7
14	88	28,1	55,8
15	88,5	28,1	55,9
16	89,2	28,1	56,2
17	89,7	28,1	56,3
18	90	28,1	56,4
19	90,3	28,1	56,5
20	91	28,1	56,7
21	91,7	28,1	57,0
22	91,8	28,1	57,0
23	91,8	28,1	57,0
24	91,8	28,1	57,0

Continuación tabla 66. Tormentas del 27-06-2000.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>27-06-2000</b>	<b>27-06-2000</b>	<b>27-06-2000</b>
<b>F. Term.</b>	<b>30-06-2000</b>	<b>30-06-2000</b>	<b>30-06-2000</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
1	91,8	28,1	57,0
2	91,8	28,1	57,0
3	92,5	28,1	62,7
4	92,6	28,1	63,6
5	92,9	28,1	66,0
6	92,9	28,1	66,0
7	92,9	28,1	66,0
8	92,9	28,1	66,0
9	92,9	28,1	66,0
10	92,9	28,1	66,0
11	94	28,1	75,0
12	94,2	28,1	76,7
13	94,3	28,1	77,5
14	94,3	28,1	77,5

Tabla 67. Tormentas del 09-09-2000.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>09-09-2000</b>	<b>09-09-2000</b>	<b>09-09-2000</b>
<b>F. Term.</b>	<b>10-09-2000</b>	<b>09-09-2000</b>	<b>10-09-2000</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
21	1,7	2,7	3,4
22	3,9	6,2	7,8
23	11,1	17,5	22,3
24	21,2	33,5	42,6
1	28,3	-	45,1
2	34,8	-	47,4
3	40,8	-	49,5
4	47,0	-	51,6
5	56,2	-	54,9
6	62,4	-	57,0
7	64,5	-	57,8
8	73,0	-	60,8
9	76,8	-	62,1
10	81,6	-	63,8
11	85,0	-	65,0
12	87,7	-	65,9
13	88,6	-	66,2
14	90,5	-	66,9
15	91,0	-	67,1
16	91,2	-	67,1
17	92,5	-	67,6

Continuación tabla 67. Tormentas del 09-09-2000.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>09-09-2000</b>	<b>09-09-2000</b>	<b>09-09-2000</b>
<b>F. Term.</b>	<b>10-09-2000</b>	<b>09-09-2000</b>	<b>10-09-2000</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
18	93,2	-	67,8
19	93,3	-	67,9
20	93,4	-	67,9
21	93,4	-	67,9

Tabla 68. Tormentas del 14-05-2000.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>14-05-2001</b>	<b>14-05-2001</b>	<b>14-05-2001</b>
<b>F. Term.</b>	<b>15-05-2001</b>	<b>15-05-2001</b>	<b>14-05-2001</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
21	0,4	1,8	2,3
22	0,5	2,2	2,9
23	1,1	4,9	6,3
24	4,3	19,0	24,6
1	6,6	19,0	-
2	10,0	19,0	-
3	15,5	19,0	-
4	26,0	19,0	-
5	30,2	19,0	-
6	31,5	19,0	-
7	32,6	19,0	-
8	32,6	19,0	-
9	32,7	19,0	-
10	32,7	19,0	-

Tabla 69. Tormentas del 30-06-2001.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>30-06-2001</b>	<b>30-06-2001</b>	<b>30-06-2001</b>
<b>F. Term.</b>	<b>31/06/2001</b>	<b>30-06-2001</b>	<b>31/06/2001</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
8	10,0	0,4	-
9	16,0	0,6	-
10	19,2	0,7	-
11	21,0	0,7	-
12	22,4	0,8	-
13	24,0	0,8	-
14	25,5	0,9	-
15	25,8	0,9	-
16	26,1	0,9	-

Continuación tabla 69. Tormentas del 30-06-2001.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>30-06-2001</b>	<b>30-06-2001</b>	<b>30-06-2001</b>
<b>F. Term.</b>	<b>31/06/2001</b>	<b>30-06-2001</b>	<b>31/06/2001</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
17	26,5	0,9	-
18	27,0	1,0	-
19	27,6	1,0	-
20	28,1	1,0	-
21	28,4	1,0	-
22	28,8	1,0	-
23	29,1	1,0	-
24	31,2	1,1	-
1	33,3	-	-
2	33,4	-	-
3	33,4	-	-
4	33,5	-	-
5	33,6	-	-

Tabla 70. Tormentas del 08-07-2001.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>08-07-2001</b>	<b>08-07-2001</b>	<b>08-07-2001</b>
<b>F. Term.</b>	<b>08-07-2001</b>	<b>08-07-2001</b>	<b>08-07-2001</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
9	0,1	0,0	0,1
10	0,2	0,1	0,1
11	1,1	0,4	0,7
12	7,2	2,7	4,8
13	13,5	5,1	9,1
14	20,9	7,8	14,0
15	23,5	8,8	15,8
16	31,7	11,9	21,3
17	35,0	13,1	23,5
18	37,3	14,0	25,0
19	40,4	15,1	27,1
20	41,4	15,5	27,8
21	43,3	16,2	29,1
22	43,9	16,4	29,5
23	44,0	16,5	29,5
24	44,1	16,5	29,6

Tabla 71. Tormentas del 17-07-2001.

	Rungue Embalse	Huechún Andina	Colina
F. Inic.	17-07-2001	17-07-2001	17-07-2001
F. Term.	21-07-2001	20-07-2001	20-07-2001
Hora	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)
3	0,1	-	0,1
4	0,1	-	0,1
5	0,3	0,1	0,2
6	6,4	1,5	3,4
7	10,9	2,5	5,8
8	15,4	3,5	8,2
9	18,9	4,3	10,1
10	21,4	4,9	11,4
11	22,7	5,2	12,1
12	22,8	5,2	12,2
13	22,9	5,2	12,2
14	22,9	5,2	12,2
15	22,9	5,2	12,2
16	22,9	5,2	12,2
17	22,9	5,2	12,2
18	22,9	5,2	12,2
19	23,0	5,3	12,3
20	23,0	5,3	12,3
21	23,1	5,3	12,3
22	23,1	5,3	12,3
23	23,2	5,3	12,4
24	23,2	5,3	12,4
1	23,2	5,3	12,4
2	23,3	5,4	12,5
3	25,0	6,3	13,7
4	27,3	7,5	15,3
5	28,0	7,9	15,8
6	28,3	8,0	16,0
7	28,3	8,0	16,0
8	28,3	8,0	16,0
9	28,4	8,1	16,0
10	28,4	8,1	16,0
11	30,4	9,2	17,5
12	31,3	9,6	18,1
13	31,4	9,7	18,2
14	32,4	10,2	18,9
15	38,9	13,7	23,4
16	43,7	16,3	26,8
17	44,9	16,9	27,6
18	50,4	19,9	31,5

Continuación tabla 71. Tormentas del 17-07-2001.

	Rungue Embalse	Huechún Andina	Colina
F. Inic. F. Term. Hora	17-07-2001 21-07-2001 Pp (mm)	17-07-2001 20-07-2001 Pp (mm)	17-07-2001 20-07-2001 Pp (mm)
19	58,9	24,4	37,4
20	66,4	28,4	42,7
21	75,9	33,5	49,4
22	82,4	37,0	53,9
23	88,9	40,5	58,5
24	97,9	45,3	64,8
1	108,9	48,0	67,7
2	117,9	50,2	70,1
3	125,9	52,2	72,3
4	131,4	53,6	73,7
5	137,4	55,1	75,3
6	140,6	55,8	76,2
7	142,2	56,2	76,6
8	143,2	56,5	76,9
9	144,2	56,7	77,1
10	144,7	56,9	77,3
11	146,5	57,3	77,7
12	147,2	57,5	77,9
13	147,2	57,5	77,9
14	147,2	57,5	77,9
15	147,6	57,6	78,0
16	147,9	57,6	78,1
17	150,5	58,3	78,8
18	152,3	58,7	79,3
19	153,4	59,0	79,6
20	154,8	59,4	79,9
21	155,3	59,5	80,1
22	155,3	59,5	80,1
23	155,4	59,5	80,1
24	155,4	59,5	80,1
1	155,5	-	-
2	155,6	-	-
3	155,6	-	-
4	155,6	-	-
5	155,7	-	-
6	155,7	-	-
7	155,8	-	-
8	155,8	-	-

Tabla 72. Tormentas del 29-07-2001.

	Rungue Embalse	Huechún Andina	Colina
F. Inic.	29-07-2001	29-07-2001	29-07-2001
F. Term.	31-07-2001	30-07-2001	30-07-2001
Hora	Pp (mm)	Pp (mm)	Pp (mm)
12	6,7	5,5	9,9
13	10,6	8,7	15,7
14	13,6	11,2	20,2
15	16,6	13,6	24,6
16	18,7	15,4	27,7
17	23,1	19,0	34,2
18	25,3	20,8	37,5
19	26,8	22,0	39,7
20	27,2	22,3	40,3
21	27,4	22,5	40,6
22	27,4	22,5	40,6
23	27,4	22,5	40,6
24	27,4	22,5	40,6
1	27,4	22,5	40,6
2	28,6	22,9	40,9
3	30,4	23,4	41,3
4	34,4	24,6	42,2
5	38,5	25,9	43,2
6	44,5	27,7	44,6
7	53,1	30,4	46,6
8	65,9	34,3	49,6
9	77,1	37,7	52,3
10	79,4	38,4	52,8
11	81,0	38,9	53,2
12	82,4	39,3	53,5
13	84,1	39,8	53,9
14	85,7	40,3	54,3
15	85,8	40,4	54,3
16	86,1	40,5	54,4
17	86,5	40,6	54,5
18	87,0	40,7	54,6
19	87,7	40,9	54,7
20	88,1	41,1	54,8
21	88,4	41,2	54,9
22	88,8	41,3	55,0
23	89,1	41,4	55,1
24	91,8	42,2	55,7
1	93,1	-	-
2	93,4	-	-
3	93,5	-	-
4	93,5	-	-
5	93,6	-	-
6	93,6	-	-

Tabla 73. Tormentas del 25-08-2001

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>25-08-2001</b>	<b>25-08-2001</b>	<b>25-08-2001</b>
<b>F. Term.</b>	<b>26-08-2001</b>	<b>26-08-2001</b>	<b>26-08-2001</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
15	0,1	0,1	0,1
16	0,1	0,1	0,1
17	2,0	1,3	1,1
18	8,5	5,5	4,6
19	14,5	9,3	7,8
20	20,0	12,8	10,8
21	26,5	17,0	14,3
22	33,7	21,6	18,2
23	35,5	22,8	19,2
24	37,7	24,2	20,4
1	38,4	24,2	20,8
2	40,0	24,3	21,6
3	40,7	24,4	22,0
4	42,0	24,4	22,7
5	43,1	24,5	23,3
6	44,5	24,5	24,1
7	45,6	24,6	24,6
8	45,7	24,6	24,7

Tabla 74. Tormentas del 27-05-2002.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>27-05-2002</b>	<b>27-05-2002</b>	<b>27-05-2002</b>
<b>F. Term.</b>	<b>28-05-2002</b>	<b>28-05-2002</b>	<b>28-05-2002</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
8	4,8	0,2	0,4
9	12,0	0,6	1,0
10	20,0	0,9	1,6
11	23,0	1,1	1,9
12	34,6	1,6	2,8
13	42,0	1,9	3,4
14	47,8	2,2	3,9
15	54,7	2,5	4,4
16	57,4	2,6	4,6
17	58,6	2,7	4,7
18	63,7	2,9	5,1
19	69,8	3,2	5,6
20	75,0	3,5	6,1
21	82,5	3,8	6,7
22	86,4	4,0	7,0
23	92,2	4,3	7,4

Continuación tabla 74. Tormentas del 27-05-2002.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>27-05-2002</b>	<b>27-05-2002</b>	<b>27-05-2002</b>
<b>F. Term.</b>	<b>28-05-2002</b>	<b>28-05-2002</b>	<b>28-05-2002</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
24	104,1	4,8	8,4
1	110,0	5,0	8,4
2	116,7	5,1	8,5
3	123,0	5,3	8,6
4	131,7	5,5	8,6
5	138,2	5,7	8,7
6	143,7	5,8	8,7
7	150,0	6,0	8,8
8	156,4	6,2	8,8
9	160,2	6,3	8,9
10	164,4	6,4	8,9
11	166,9	6,4	8,9
12	169,9	6,5	9,0
13	172,7	6,6	9,0
14	178,5	6,8	9,0
15	181,3	6,8	9,0
16	186,3	7,0	9,1
17	190,3	7,1	9,1
18	193,7	7,2	9,2
19	196,1	7,2	9,2
20	198,4	7,3	9,2
21	199,3	7,3	9,2
22	199,3	7,3	9,2

Tabla 75. Tormentas del 19-07-2002.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>19-07-2002</b>	<b>19-07-2002</b>	<b>19-07-2002</b>
<b>F. Term.</b>	<b>21-07-2002</b>	<b>21-07-2002</b>	<b>21-07-2002</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
23	1,8	1,0	20,1
24	2,2	1,2	24,6
1	2,6	1,5	24,8
2	2,8	1,6	24,9
3	3,9	2,4	25,4
4	4,1	2,5	25,5
5	5,0	3,1	25,9
6	7,5	4,9	27,0
7	7,9	5,1	27,2
8	8,3	5,4	27,4
9	10,2	6,7	28,3
10	10,7	7,1	28,5

Continuación tabla 75. Tormentas del 19-07-2002.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>19-07-2002</b>	<b>19-07-2002</b>	<b>19-07-2002</b>
<b>F. Term.</b>	<b>21-07-2002</b>	<b>21-07-2002</b>	<b>21-07-2002</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
11	15,9	10,6	30,9
12	20,5	13,8	33,0
13	30,0	20,4	37,3
14	30,5	20,7	37,5
15	41,5	28,3	42,6
16	43,5	29,7	43,5
17	52,5	35,9	47,6
18	59,5	40,7	50,8
19	61,5	42,1	51,7
20	65,5	44,8	53,5
21	66,3	45,4	53,9
22	67,3	46,1	54,3
23	69,5	47,6	55,3
24	74,0	50,7	57,4
1	77,0	50,7	57,4
2	77,1	50,7	57,4
3	77,2	50,7	57,4
4	77,4	50,7	57,4
5	77,5	50,7	57,4
6	77,6	50,7	57,4

Tabla 76. Tormentas del 22-07-2002.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>22-07-2002</b>	<b>22-07-2002</b>	<b>22-07-2002</b>
<b>F. Term.</b>	<b>23-07-2002</b>	<b>23-07-2002</b>	<b>23-07-2002</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
10	0,9	0,5	0,4
11	4,0	2,2	1,7
12	5,3	2,9	2,2
13	5,7	3,1	2,4
14	6,0	3,2	2,5
15	10,0	5,4	4,2
16	12,5	6,7	5,2
17	14,3	7,7	5,9
18	16,0	8,6	6,6
19	18,2	9,8	7,6
20	20,0	10,8	8,3
21	21,0	11,3	8,7
22	22,1	11,9	9,2
23	24,0	12,9	10,0

Continuación tabla 76. Tormentas del 22-07-2002.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>22-07-2002</b>	<b>22-07-2002</b>	<b>22-07-2002</b>
<b>F. Term.</b>	<b>23-07-2002</b>	<b>23-07-2002</b>	<b>23-07-2002</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
24	26,0	14,0	10,8
1	28,3	14,9	11,7
2	28,8	15,0	11,9
3	30,5	15,7	12,5
4	32,0	16,2	13,1
5	34,2	17,1	13,9
6	35,0	17,4	14,2
7	37,0	18,1	14,9
8	38,5	18,7	15,5
9	40,4	19,4	16,2
10	42,2	20,0	16,9
11	44,7	21,0	17,8
12	48,5	22,4	19,2
13	52,3	23,8	20,7
14	56,0	25,2	22,1
15	60,5	26,9	23,7
16	64,0	28,2	25,1
17	67,3	29,4	26,3
18	69,2	30,1	27,0

Tabla 77. Tormentas del 23-08-2002.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>23-08-2002</b>	<b>23-08-2002</b>	<b>23-08-2002</b>
<b>F. Term.</b>	<b>24-08-2002</b>	<b>24-08-2002</b>	<b>24-08-2002</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
14	2,4	1,1	3,4
15	3,2	1,5	4,6
16	4,2	2,0	6,0
17	4,4	2,1	6,3
18	4,4	2,1	6,3
19	4,4	2,1	6,3
20	4,4	2,1	6,3
21	4,4	2,1	6,3
22	4,4	2,1	6,3
23	4,4	2,1	6,3
24	4,5	2,1	6,4
1	4,5	2,1	6,4
2	4,5	2,1	6,4
3	4,5	2,1	6,4
4	4,6	2,2	6,4
5	4,7	2,2	6,5

Continuación tabla 77. Tormentas del 23-08-2002.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>23-08-2002</b>	<b>23-08-2002</b>	<b>23-08-2002</b>
<b>F. Term.</b>	<b>24-08-2002</b>	<b>24-08-2002</b>	<b>24-08-2002</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
6	4,8	2,3	6,5
7	4,9	2,3	6,5
8	5,4	2,6	6,7
9	5,9	2,9	6,8
10	9,9	5,0	8,1
11	15,4	8,0	9,8
12	17,4	9,0	10,5
13	18,4	9,6	10,8
14	18,9	9,9	10,9
15	19,2	10,0	11,0
16	19,3	10,1	11,0
17	19,4	10,1	11,1
18	19,7	10,3	11,2
19	19,9	10,4	11,2
20	20,1	10,5	11,3

Tabla 78. Tormentas del 21-05-2003.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>21-05-2003</b>	<b>21-05-2003</b>	<b>21-05-2003</b>
<b>F. Term.</b>	<b>21-05-2003</b>	<b>21-05-2003</b>	<b>21-05-2003</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
20	0,4	0,2	0,4
21	4,0	2,1	4,0
22	11,0	5,8	10,9
23	29,7	15,6	29,5

Tabla 79. Tormentas del 07-07-2003.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>07-07-2003</b>	<b>07-07-2003</b>	<b>07-07-2003</b>
<b>F. Term.</b>	<b>07-07-2003</b>	<b>07-07-2003</b>	<b>07-07-2003</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
9	1,2	1,4	1,4
10	2,0	2,4	2,3
11	5,5	6,5	6,4
12	10,0	11,9	11,6
13	10,5	12,5	12,2
14	12,0	14,3	14,0
15	13,0	15,5	15,1
16	23,0	27,4	26,7
17	26,3	31,3	30,6
18	26,4	31,4	30,7

Tabla 80. Tormentas del 21-04-2004.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>21-04-2004</b>	<b>21-04-2004</b>	<b>21-04-2004</b>
<b>F. Term.</b>	<b>21-04-2004</b>	<b>21-04-2004</b>	<b>21-04-2004</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
3	4,9	4,2	1,8
4	10,4	8,8	3,8
5	20,4	17,3	7,5
6	21,7	18,5	8,0
7	23,9	20,3	8,8
8	26,5	22,5	9,8
9	28,9	24,6	10,7
10	30,7	26,1	11,3
11	31,3	26,6	11,6
12	31,4	26,7	11,6

Tabla 81. Tormentas del 13-07-2004.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>13-07-2004</b>	<b>13-07-2004</b>	<b>13-07-2004</b>
<b>F. Term.</b>	<b>14-07-2004</b>	<b>13-07-2004</b>	<b>13-07-2004</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
15	0,5	0,4	0,6
16	1,1	1,0	1,3
17	2,0	1,8	2,3
18	4,3	3,8	5,0
19	5,0	4,4	5,8
20	10,0	8,9	11,7
21	15,0	13,3	17,5
22	16,0	14,2	18,6
23	19,5	17,3	22,7
24	23,0	20,4	26,8
1	25,0	-	-
2	27,2	-	-
3	28,0	-	-
4	29,4	-	-
5	30,5	-	-
6	31,5	-	-
7	33,0	-	-
8	34,0	-	-
9	35,3	-	-
10	35,8	-	-
11	36,9	-	-
12	37,0	-	-
13	37,1	-	-
14	37,2	-	-
15	37,2	-	-

Tabla 82. Tormentas del 03-09-2004.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>03-09-2004</b>	<b>03-09-2004</b>	<b>03-09-2004</b>
<b>F. Term.</b>	<b>04-09-2004</b>	<b>04-09-2004</b>	<b>04-09-2004</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
4	0,5	0,0	0,1
5	1,3	0,1	0,2
6	1,4	0,1	0,3
7	1,8	0,1	0,3
8	2,9	0,2	0,5
9	2,9	0,2	0,5
10	2,9	0,2	0,5
11	2,9	0,2	0,5
12	2,9	0,2	0,5

Continuación tabla 82. Tormentas del 03-09-2004.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>03-09-2004</b>	<b>03-09-2004</b>	<b>03-09-2004</b>
<b>F. Term.</b>	<b>04-09-2004</b>	<b>04-09-2004</b>	<b>04-09-2004</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
13	2,9	0,2	0,5
14	3,5	0,2	0,6
15	4,0	0,3	0,7
16	7,0	0,5	1,3
17	10,0	0,7	1,8
18	12,0	0,8	2,2
19	13,3	0,9	2,4
20	14,4	0,9	2,6
21	15,0	1,0	2,7
22	15,8	1,0	2,8
23	16,5	1,1	3,0
24	20,0	1,3	3,6
1	24,0	1,6	4,7
2	25,8	1,7	5,2
3	26,0	1,8	5,2
4	26,2	1,8	5,3
5	26,3	1,8	5,3
6	26,4	1,8	5,3
7	26,5	1,8	5,4
8	26,6	1,8	5,4

Tabla 83. Tormentas del 12-11-2004.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>12-11-2004</b>	<b>12-11-2004</b>	<b>12-11-2004</b>
<b>F. Term.</b>	<b>13-11-2004</b>	<b>13-11-2004</b>	<b>12-11-2004</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
7	0,9	1,6	3,5
8	1,3	2,4	5,1
9	2,0	3,6	7,8
10	3,8	6,9	14,8
11	6,0	10,9	23,4
12	7,2	13,1	28,1
13	7,4	13,5	28,9
14	7,9	14,4	30,9
15	8,2	14,9	32,0
16	8,3	15,1	32,4
17	8,3	15,1	32,4
18	8,3	15,1	32,4
19	8,4	15,3	32,8
20	8,7	15,9	34,0
21	9,4	17,1	36,7

Continuación tabla 83. Tormentas del 12-11-2004.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>12-11-2004</b>	<b>12-11-2004</b>	<b>12-11-2004</b>
<b>F. Term.</b>	<b>13-11-2004</b>	<b>13-11-2004</b>	<b>12-11-2004</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
22	9,5	17,3	37,1
23	9,8	17,9	38,3
24	13,0	23,7	50,8
1	15,6	26,5	-
2	16,4	27,4	-
3	21,5	32,9	-
4	21,7	33,1	-
5	23,0	34,5	-
6	26,0	37,8	-
7	28,0	39,9	-
8	29,9	42,0	-

Tabla 84. Tormentas del 11-03-2005.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>11-03-2005</b>	<b>11-03-2005</b>	<b>11-03-2005</b>
<b>F. Term.</b>	<b>11-03-2005</b>	<b>11-03-2005</b>	<b>11-03-2005</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
14	0,6	0,5	0,2
15	4,6	4,0	1,8
16	5,6	4,8	2,1
17	11,1	9,6	4,2
18	14,5	12,5	5,5
19	19,0	16,4	7,3
20	19,1	16,5	7,3
21	19,6	16,9	7,5

Tabla 85. Tormentas del 25-05-2005.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>25-05-2005</b>	<b>25-05-2005</b>	<b>25-05-2005</b>
<b>F. Term.</b>	<b>25-05-2005</b>	<b>25-05-2005</b>	<b>25-05-2005</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
8	0,6	-	-
9	1,0	-	-
10	3,5	-	-
11	5,0	-	-
12	10,0	-	-
13	15,0	-	-
14	20,0	-	-
15	28,0	-	-

Tabla 86. tormentas del 16-08-2005.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>16-08-2005</b>	<b>16-08-2005</b>	<b>16-08-2005</b>
<b>F. Term.</b>	<b>17-08-2005</b>	<b>16-08-2005</b>	<b>16-08-2005</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
1	5,0	0,7	1,4
2	14,0	2,0	3,9
3	23,0	3,3	6,4
4	28,0	4,0	7,8
5	32,1	4,5	9,0
6	35,0	5,0	9,8
7	35,4	5,0	9,9
8	35,5	5,0	9,9
9	35,5	5,0	9,9
10	35,8	5,1	10,0
11	37,8	5,4	10,6
12	40,0	5,7	11,2
13	45,0	6,4	12,6
14	45,9	6,5	12,8
15	48,5	6,9	13,5
16	48,5	6,9	13,5
17	48,7	6,9	13,6
18	49,0	6,9	13,7
19	49,2	7,0	13,7
20	49,3	7,0	13,8
21	49,4	7,0	13,8
22	49,4	7,0	13,8
23	49,4	7,0	13,8
24	49,4	7,0	13,8
1	49,4	-	-
2	49,4	-	-
3	49,4	-	-
4	49,4	-	-
5	49,4	-	-
6	49,4	-	-
7	49,4	-	-
8	49,5	-	-

Tabla 87 Tormentas del 26-08-2005.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>26-08-2005</b>	<b>26-08-2005</b>	<b>26-08-2005</b>
<b>F. Term.</b>	<b>28-08-2005</b>	<b>28-08-2005</b>	<b>28-08-2005</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
21	0,8	0,9	2,3
22	3,0	3,2	8,6
23	7,0	7,5	20,1
24	10,3	11,0	29,6
1	12,0	12,2	30,9
2	12,7	12,6	31,4
3	15,0	14,2	33,1
4	15,9	14,8	33,8
5	18,0	16,3	35,4
6	20,0	17,6	36,9
7	20,7	18,1	37,4
8	22,0	19,0	38,4
9	23,0	19,7	39,2
10	23,4	20,0	39,5
11	26,5	22,1	41,8
12	29,0	23,8	43,7
13	31,7	25,6	45,7
14	31,9	25,8	45,9
15	33,3	26,7	46,9
16	33,9	27,1	47,4
17	34,7	27,7	48,0
18	34,8	27,8	48,1
19	39,0	30,6	51,2
20	40,9	31,9	52,7
21	41,4	32,3	53,0
22	42,0	32,7	53,5
23	42,7	33,2	54,0
24	43,2	33,5	54,4
1	44,0	34,1	54,8
2	44,3	34,3	54,9
3	44,4	34,3	55,0
4	44,5	34,4	55,0
5	44,8	34,6	55,1
6	44,9	34,7	55,2
7	45,1	34,8	55,3
8	45,2	34,9	55,3
9	45,3	35,0	55,4
10	48,8	37,5	57,0
11	50,5	38,7	57,8
12	52,1	39,8	58,5
13	52,1	39,8	58,5
14	52,2	39,9	58,6

Continuación tabla 87. Tormentas del 26-08-2005.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>26-08-2005</b>	<b>26-08-2005</b>	<b>26-08-2005</b>
<b>F. Term.</b>	<b>28-08-2005</b>	<b>28-08-2005</b>	<b>28-08-2005</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
15	53,5	40,8	59,2
16	57,0	43,3	60,8
17	59,2	44,8	61,8
18	61,8	46,7	63,0
19	63,2	47,6	63,7
20	65,8	49,5	64,9
21	66,5	50,0	65,2
22	67,8	50,9	65,8

Tabla 88. Tormentas del 13-10-2006.

	<b>Rungue Embalse</b>	<b>Huechún Andina</b>	<b>Colina</b>
<b>F. Inic.</b>	<b>13-10-2006</b>	<b>13-10-2006</b>	<b>13-10-2006</b>
<b>F. Term.</b>	<b>14-10-2006</b>	<b>14-10-2006</b>	<b>14-10-2006</b>
<b>Hora</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>	<b>Pp (mm)</b>
7	0,1	0,1	0,1
8	0,4	0,3	0,3
9	0,9	0,6	0,7
10	5	3,3	3,8
11	12	7,9	9,2
12	19	12,5	14,6
13	28	18,4	21,5
14	34,5	22,6	26,5
15	42	27,6	32,2
16	47,7	31,3	36,6
17	52,1	34,2	40,0
18	52,5	34,5	40,3
19	54	35,4	41,4
20	56,7	37,2	43,5
21	61	40,0	46,8
22	64,2	42,1	49,3
23	66,5	43,6	51,0
24	67,5	44,3	51,8
1	67,5	44,3	51,8
2	67,5	44,3	51,8
3	67,6	44,3	52,0
4	67,6	44,3	52,0
5	67,6	44,3	52,0
6	67,6	44,3	52,0
7	67,6	44,3	52,0
8	67,7	44,3	52,2

## **Factores de distribución de las lluvias**

En las tablas que se presentan se detallan los factores de distribución utilizados para redistribuir las precipitaciones en 24 horas a lo largo del día, según la estación pluviográfica de Rungue Embalse. La forma de obtener este factor simplemente corresponde a la división de la precipitación en una hora  $i$ , sin acumular, por su precipitación en 24 horas.

El uso de estos factores para la distribución de las precipitaciones, sólo es válido dentro de la fecha indicada por éstos en las tablas y las horas que se especifican. Los valores ceros que aparecen en los factores, indican que dentro de esos lapsos no se produjeron precipitaciones.

Tabla 89. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 1995.

04-07-1995 al 05-07-1995																	
Hora	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Factor	0,006	0,105	0,290	0,130	0,259	0,210	0,232	0,080	0,045	0,036	0	0,125	0,250	0,214	0,009	0	0,009

23-07-1995 al 24-07-1995																	
Hora	9	10	11	12	13	14	15	16,0	17	18	19	20	21	22	23	24	1
Factor	0,025	0,090	0,076	0,058	0,047	0,119	0,123	0,090	0,108	0,116	0,112	0,029	0	0,004	0	0,004	0
Hora	2	3	4	5	6												
Factor	0	0	0	1,000	0												

13-08-1995 al 14-08-1995																	
Hora	6	7	8	9	10	11	12	13,0	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Factor	0,058	0,043	0,049	0,085	0,065	0,047	0,067	0,1	0,063	0,036	0,096	0,043	0,034	0,025	0,016	0,04	0,054
Hora	23	24	1	2	3	4	5	6,0	7	8							
Factor	0,043	0,058	0,455	0,364	0,045	0,068	0	0,0	0,045	0							

Tabla 90. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 1996.

06-07-1996 al 08-07-1996																	
<b>Hora</b>	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Factor</b>	0,029	0,244	0,088	0,088	0,058	0,156	0,123	0,214	0,104	0,054	0,093	0,143	0,046	0,007	0,036	0,018	0,050
<b>Hora</b>	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2
<b>Factor</b>	0,093	0,132	0,050	0,075	0,036	0,011	0,004	0,007	0	0	0,032	0,007	0	0,004	0	0,500	0
<b>Hora</b>	3	4	5	6													
<b>Factor</b>	0	0	0	0,500													

13-06-1996 al 14-06-1996																	
<b>Hora</b>	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1
<b>Factor</b>	0,019	0,065	0,019	0,100	0,05	0,077	0,054	0,153	0,08	0,138	0,073	0,05	0,046	0,031	0,011	0,034	0,308
<b>Hora</b>	2	3	4	5	6	7	8										
<b>Factor</b>	0,038	0,038	0	0	0	0,115	0,500										

Tabla 91. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 1997.

17-05-1997 al 18-05-1997																	
Hora	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Factor	0,857	0,143	0,008	0,003	0,015	0,026	0,118	0,013	0,056	0,010	0,046	0,141	0,064	0,077	0,141	0,064	0,184
Hora	16	17															
Factor	0,036	0															

28-05-1997 al 30-05-1997																	
Hora	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Factor	0,095	0,905	0,054	0,021	0,027	0,040	0,046	0,044	0,078	0,031	0,025	0,037	0,004	0	0	0,001	0,019
Hora	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8
Factor	0,072	0,059	0,004	0,054	0,052	0,065	0,090	0,085	0,091	0,071	0,333	0,101	0,000	0,081	0,111	0,1717	0,1313

30-07-1997 al 31-07-1997																	
HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Factor	0,003	0,013	0,033	0,072	0,081	0,059	0,065	0,049	0,124	0,068	0,036	0,078	0,075	0,081	0,049	0,049	0,042
Hora	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8		
Factor	0,003	0,010	0,003	0,007	0	0	0	0	0	0,421	0,158	0,263	0,105	0	0,053		

Tabla 92. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 1999.

13-03-1999 al 13-03-1999												
Hora	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Factor	0,006	0,19	0,251	0,184	0,173	0,067	0	0	0	0,123	0	0,006

28-07-1999 al 29-07-1999																	
Hora	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1
Factor	0,134	0,061	0,026	0,039	0,065	0,13	0,108	0,065	0,004	0	0	0,152	0,212	0	0,004	0	0,125
Hora	2	3	4														
Factor	0,125	0,75	0														

12-08-1999 al 12-08-1999																
HORA	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Factor	0,004	0,004	0,2	0,151	0,283	0,211	0,053	0,068	0,015	0,004	0	0	0,004	0	0,004	0

Tabla 93. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 2000.

12-06-2000 al 14-06-2000																	
<b>Hora</b>	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Factor</b>	0,012	0,065	0,157	0,157	0,141	0,143	0,138	0,110	0,077	0,078	0,035	0,030	0,043	0,000	0,011	0,019	0,022
<b>Hora</b>	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1
<b>Factor</b>	0,005	0,003	0,067	0,089	0,051	0,003	0,073	0,202	0,059	0,137	0,027	0,005	0,003	0,024	0,011	0,003	0,001
<b>Hora</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Factor</b>	0,023	0,038	0,093	0,115	0,065	0,055	0,072	0,045	0,043	0,037	0,043	0,056	0,072	0,043	0,065	0,074	0,046
<b>Hora</b>	19	20	21	22	23												
<b>Factor</b>	0,0098	0,0012	0,0012	0,0012	0,0024												

20-06-2000 al 21-06-2000											
<b>Hora</b>	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7
<b>Factor</b>	0,0109	0,0054	0,0054	0,0054	0,1413	0,1304	0,2717	0,2174	0,1359	0,065	0,0054

23-06-2000 al 24-06-2000																	
<b>Hora</b>	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7
<b>Factor</b>	0,018	0,036	0,118	0,163	0,066	0,100	0,142	0,085	0,166	0,106	0,322	0,263	0,175	0,076	0,012	0,006	0,012
<b>Hora</b>	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18						
<b>Factor</b>	0,012	0,058	0,006	0,000	0,006	0,006	0,000	0,000	0,035	0,012	0,000						

Continuación tabla 93. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 2000.

27-06-2000																	
<b>Hora</b>	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
<b>Factor</b>	0,084	0,182	0,098	0,21	0,094	0,02	0,068	0,024	0,032	0,006	0,02	0,018	0	0,128	0	0	0,002
<b>Hora</b>	23	24															
<b>Factor</b>	0,01	0,004															

28-06-2000 al 30-06-2000																	
<b>Hora</b>	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3
<b>Factor</b>	0,0037	0,1245	0,0659	0,1172	0,0586	0,0073	0,0476	0,1245	0,0183	0,143	0,0623	0,0476	0,1099	0,0696	0,076	0,0138	0,0552
<b>Hora</b>	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Factor</b>	0,0552	0,0759	0,2759	0,0207	0,0069	0,0414	0,0276	0,0276	0,0138	0,028	0,0207	0,0345	0,0483	0,0345	0,021	0,0207	0,0483
<b>Hora</b>	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Factor</b>	0,0483	0,0069	0	0	0	0	0,28	0,04	0,12	0	0	0	0	0	0,44	0,08	0,04
<b>Hora</b>	14																
<b>Factor</b>	44,3																

09-09-2000 al 10-09-2000																	
<b>Hora</b>	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Factor</b>	0,0802	0,1038	0,3396	0,4764	0,0983	0,09	0,0831	0,0859	0,1274	0,086	0,0291	0,1177	0,0526	0,0665	0,047	0,0374	0,0125
<b>Hora</b>	14	15	16	17	18	19	20	21									
<b>Factor</b>	0,0263	0,0069	0,003	0,018	0,0097	0,001	0,001	0									

Tabla 94. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 2001.

14-05-2001 al 15-05-2001														
Hora	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Factor	0,093	0,023	0,140	0,744	0,081	0,120	0,194	0,370	0,148	0,046	0,039	0,000	0,004	0,000

30-06-2001 al 31-06-2001																	
Hora	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Factor	0,321	0,192	0,103	0,058	0,045	0,051	0,048	0,01	0,01	0,013	0,016	0,019	0,016	0,01	0,013	0,010	0,067
Hora	1	2	3	4	5												
Factor	0,875	0,042	0	0,042	0,042												

08-07-2001																
Hora	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Factor	0,002	0,002	0,02	0,138	0,143	0,168	0,059	0,186	0,075	0,052	0,07	0,023	0,043	0,014	0,002	0,002

17-07-2001 al 20-07-2001																	
Hora	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Factor	0,004	0	0,009	0,263	0,194	0,194	0,151	0,108	0,056	0,004	0,004	0	0	0	0	0	0,004
Hora	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Factor	0	0,004	0	0,004	0,000	0	0,001	0,023	0,031	0,009	0,004	0	0	0,001	0	0,027	0,012
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5
Factor	0	0	0,007	0,005	0,045	0,031	0,019	0,024	0,009	0	0,002	0	0,25	0,25	0	0	0,25
Hora	6	7	8														
Factor	0	0,25	0														

Continuación tabla 94. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 2001.

29-07-2001 al 31-07-2001																	
<b>Hora</b>	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4
<b>Factor</b>	0,245	0,142	0,109	0,109	0,077	0,161	0,08	0,055	0,015	0,007	0	0	0	0	0,019	0,028	0,062
<b>Hora</b>	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
<b>Factor</b>	0,064	0,093	0,134	0,199	0,174	0,036	0,025	0,022	0,026	0,025	0,002	0,005	0,006	0,008	0,011	0,006	0,005
<b>Hora</b>	22	23	24	1	2	3	4	5	6								
<b>Factor</b>	0,006	0,005	0,042	0,722	0,167	0,056	0	0,056	0								

25-08-2001 al 26-08-2001																		
<b>Hora</b>	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	
<b>Factor</b>	0,003	0	0,05	0,172	0,159	0,146	0,172	0,191	0,048	0,058	0,087	0,2	0,088	0,163	0,138	0,175	0,138	
<b>Hora</b>	8																	
<b>Factor</b>	0,013																	

Tabla 95. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 2002.

27-05-2002 al 28-05-2002																	
<b>Hora</b>	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<b>Factor</b>	0,046	0,069	0,077	0,029	0,111	0,071	0,056	0,066	0,026	0,012	0,049	0,059	0,050	0,072	0,037	0,056	0,114
<b>Hora</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>Factor</b>	0,062	0,070	0,066	0,091	0,068	0,057	0,066	0,067	0,039	0,044	0,026	0,031	0,029	0,060	0,029	0,052	0,042
<b>Hora</b>	1	2	3	4	5												
<b>Factor</b>	0,833	0,027	0,027	0,055	0,027												

22-07-2002 al 23-07-2002																	
<b>Hora</b>	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2
<b>Factor</b>	0,034	0,119	0,05	0,015	0,011	0,153	0,096	0,069	0,065	0,084	0,069	0,038	0,042	0,073	0,076	0,053	0,011
<b>Hora</b>	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
<b>Factor</b>	0,039	0,034	0,050	0,018	0,046	0,034	0,044	0,041	0,057	0,088	0,088	0,085	0,104	0,081	0,076	0,044	

23-08-2002 al 24-08-2002																	
<b>Hora</b>	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
<b>Factor</b>	0,533	0,177	0,222	0,044	0	0	0	0	0	0	0,022	0	0	0	0,006	0,006	0,006
<b>Hora</b>	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
<b>Factor</b>	0,0064	0,0321	0,0321	0,2564	0,3526	0,1282	0,0641	0,0321	0,0192	0,0064	0,0064	0,0192	0,0128	0,0128			

Tabla 96. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 2003.

21-05-2003				
Hora	20	21	22	23
Factor	0,013	0,121	0,236	0,630

07-07-2003										
Hora	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Factor	0,045	0,030	0,133	0,170	0,019	0,057	0,038	0,379	0,125	0,004

Tabla 97. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 2004.

21-04-2004										
Hora	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Factor	0,156	0,175	0,318	0,041	0,070	0,083	0,076	0,057	0,019	0,003

13-07-2004 al 14-07-2004																	
Hora	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7
Factor	0,022	0,026	0,039	0,1	0,03	0,217	0,217	0,043	0,152	0,152	0,141	0,155	0,056	0,099	0,077	0,070	0,106
Hora	8	9	10	11	12	13	14	15									
Factor	0,07	0,092	0,035	0,077	0,007	0,007	0,007	0									

Continuación tabla 97. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 2004.

03-09-2004 al 04-09-2004																	
<b>Hora</b>	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Factor</b>	0,025	0,04	0,005	0,02	0,055	0	0	0	0	0	0,03	0,03	0,15	0,15	0,1	0,07	0,06
<b>Hora</b>	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8					
<b>Factor</b>	0,03	0,04	0,035	0,175	0,606	0,273	0,03	0,03	0,015	0,015	0,02	0,02					

12-11-2004 al 13-11-2004																	
<b>Hora</b>	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<b>Factor</b>	0,069	0,031	0,054	0,138	0,169	0,092	0,015	0,038	0,023	0,008	0	0	0,01	0,02	0,05	0,01	0,02
<b>Hora</b>	24	1	2	3	4	5	6	7	8								
<b>Factor</b>	0,246	0,154	0,047	0,302	0,012	0,077	0,178	0,118	0,112								

Tabla 98. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 2005.

11-03-2005								
<b>Hora</b>	14	15	16	17	18	19	20	21
<b>Factor</b>	0,031	0,204	0,051	0,281	0,173	0,230	0,005	0,026

25-05-2005								
<b>Hora</b>	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Factor</b>	0,021	0,014	0,089	0,054	0,179	0,179	0,179	0,286

Continuación tabla 98. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 2005.

16-08-2005 al 17-08-2005																	
<b>Hora</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>Factor</b>	0,101	0,182	0,182	0,101	0,083	0,059	0,008	0,002	0	0,006	0,040	0,045	0,101	0,018	0,053	0	0,004
<b>Hora</b>	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8		
<b>Factor</b>	0,006	0,004	0,002	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		

26-08-2005 al 28-08-2005																	
<b>Hora</b>	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Factor</b>	0,078	0,214	0,388	0,32	0,052	0,021	0,07	0,027	0,064	0,061	0,021	0,04	0,03	0,012	0,094	0,076	0,082
<b>Hora</b>	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
<b>Factor</b>	0,006	0,043	0,018	0,024	0,003	0,128	0,058	0,015	0,018	0,021	0,015	0,033	0,012	0,004	0,004	0,012	0,004
<b>Hora</b>	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
<b>Factor</b>	0,008	0,004	0,004	0,142	0,069	0,065	0	0,004	0,053	0,142	0,089	0,106	0,057	0,106	0,028	0,053	

Tabla 99. Factores de distribución de las lluvias para las estaciones de Colina y Huechún Andina, en base a la estación de Rungue Embalse, para el año 2006.

13-10-2006 al 14-10-2006																	
<b>Hora</b>	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<b>Factor</b>	0,001	0,004	0,007	0,061	0,104	0,104	0,133	0,096	0,111	0,084	0,065	0,006	0,022	0,040	0,064	0,047	0,034
<b>Hora</b>	24	1	2	3	4	5	6	7	8								
<b>Factor</b>	0,015	0	0	0,5	0	0	0	0	0,5								

## APÉNDICE II

### Escorrentías Reales y Simuladas para las Cuencas

Las escorrentías que aparecen detalladas en esta sección corresponden a las tormentas que en la realidad generaron un flujo superficial sobre la cuenca de Colina.

Tabla 100. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 28-05-1997.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
28	24	0	0	0	0,1	0
29	1	0	0	0	0,5	0
29	2	0	0	0	1,1	0
29	3	0	0	0	1,9	0
29	4	0	0	0,1	2,9	0
29	5	0,403	0	0,2	4	0
29	6	0,383	0	0,3	5,4	0
29	7	0,366	0	0,4	6,9	0
29	8	0,158	0	0,7	8,8	0,1
29	9	0,778	0	1	10,7	0,2
29	10	1,424	0	1,4	12,7	0,3
29	11	2,44	0	1,8	14,7	0,4
29	12	3,662	0	2,3	16,6	0,6
29	13	3,892	0	2,7	18,3	0,8
29	14	3,368	0	3,2	19,8	1
29	15	3,081	0	3,7	21	1,2
29	16	3,439	0	4,1	21,9	1,4
29	17	3,534	0	4,6	22,5	1,6
29	18	3,043	0	5,1	23,1	1,9
29	19	2,425	0	5,5	23,6	2,2
29	20	1,837	0	6,1	24,1	2,6
29	21	1,379	0,1	6,6	24,6	3
29	22	1,09	0,1	7,3	25,2	3,5
29	23	0,924	0,3	8,1	26,1	4,1
29	24	1,386	0,5	9,1	27,4	4,9
30	1	3,445	0,7	10,4	29	5,8

Continuación tabla 100. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 28-05-1997.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
30	2	8,903	1	11,7	30,8	6,9
30	3	13,522	1,4	13,2	32,7	8
30	4	10,704	1,8	14,7	34,9	9,2
30	5	9,185	2,3	16,2	36,9	10,4
30	6	8,784	2,7	17,7	38,9	11,5
30	7	8,31	3,2	19	40,6	12,6
30	8	7,063	3,6	20,1	41,9	13,5
30	9	6,719	4,1	21	42,7	14,3
30	10	8,558	4,4	21,6	43,2	14,9
30	11	10,002	4,7	22	43,2	15,3
30	12	10,152	4,9	22,1	42,7	15,4
30	13	9,567	5	21,8	41,7	15,4
30	14	7,788	5,1	21,3	40,3	15,1
30	15	6,156	5	20,5	38,5	14,6
30	16	5,384	4,9	19,5	36,4	14
30	17	4,955	4,7	18,5	34,2	13,3
30	18	4,69	4,5	17,4	32	12,5
30	19	4,511	4,2	16,2	29,8	11,7
30	20	4,352	4	15,1	27,7	10,9
30	21	4,125	3,7	14	25,6	10,2
30	22	3,714	3,5	13	23,6	9,4
30	23	3,074	3,2	11,9	21,7	8,6
30	24	2,456	2,9	10,9	19,8	7,9
31	1	2,106	2,7	10	18,1	7,2
31	2	1,977	2,4	9,1	16,5	6,6
31	3	1,938	2,2	8,3	15,1	6
31	4	1,884	2	7,6	13,8	5,5
31	5	1,766	1,9	6,9	12,6	5
31	6	1,599	1,7	6,3	11,5	4,6
31	7	1,409	1,5	5,8	10,5	4,2
31	8	1,222	1,4	5,3	9,6	3,8
31	9	1,066	1,3	4,8	8,8	3,5
31	10	0,956	1,2	4,4	8	3,2
31	11	0,885	1,1	4	7,3	2,9
31	12	0,841	1	3,7	6,7	2,7
31	13	0,814	0,9	3,4	6,1	2,4
31	14	0,795	0,8	3,1	5,6	2,2

Continuación tabla 100. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 28-05-1997.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
31	15	0,782	0,7	2,8	5,1	2
31	16	0,775	0,7	2,6	4,6	1,8
31	17	0,774	0,6	2,3	4,2	1,7
31	18	0,778	0,6	2,1	3,9	1,5
31	19	0,784	0,5	1,9	3,5	1,4
31	20	0,789	0,5	1,8	3,2	1,3
31	21	0,787	0,4	1,6	2,9	1,2
31	22	0,77	0,4	1,5	2,6	1,1
31	23	0,733	0,4	1,3	2,4	1
31	24	0,673	0,3	1,2	2,2	0,9
1	1	0,603	0,3	1,1	2	0,8
1	2	0,533	0,3	1	1,8	0,7
1	3	0,474	0,3	0,9	1,6	0,7
1	4	0,438	0,2	0,8	1,4	0,6
1	5	0,425	0,2	0,8	1,3	0,6
1	6	0,425	0,2	0,7	1,2	0,5
1	7	0,424	0,2	0,6	1,1	0,5
1	8	0,408	0,2	0,6	1	0,4
1	9	0,376	0,1	0,5	0,9	0,4
1	10	0,332	0,1	0,5	0,8	0,4
1	11	0,281	0,1	0,4	0,7	0,3
1	12	0,226	0,1	0,4	0,6	0,3
1	13	0,173	0,1	0,3	0,6	0,3
1	14	0,125	0,1	0,3	0,5	0,2
1	15	0,085	0,1	0,3	0,4	0,2
1	16	0,059	0,1	0,2	0,4	0,2
1	17	0,044	0,1	0,2	0,3	0,1
1	18	0,039	0,1	0,2	0,2	0,1
1	19	0,038	0	0,1	0,2	0,1
1	20	0,038	0	0,1	0,1	0,1
1	21	0,038	0	0,1	0,1	0,1
1	22	0,034	0	0	0,1	0
1	23	0,026	0	0	0,1	0
1	24	0,016	0	0	0,1	0

Tabla 101. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 12-06-2000.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
12	17	0,179	0	0	0	0
12	18	0,951	0	0	0	0,1
12	19	1,118	0	0	0,1	0,5
12	20	1,495	0	0	0,2	1,5
12	21	1,708	0	0	0,7	3
12	22	9,526	0	0	1,5	5,1
12	23	16,18	0	0,2	2,6	8
12	24	13,561	0	0,4	4,2	11,5
13	1	11,799	0	0,7	6,2	15,6
13	2	6,147	0	1,1	8,5	20,2
13	3	4,197	0	1,7	11,2	25,2
13	4	3,445	0	2,4	14,2	30,3
13	5	3,06	0	3,2	17,3	35,4
13	6	2,771	0	4	20,3	40,2
13	7	2,501	0	4,9	23,3	44,6
13	8	2,328	0	5,8	26	48,4
13	9	2,347	0,1	6,7	28,5	51,5
13	10	2,622	0,1	7,6	30,5	53,7
13	11	3,01	0,1	8,4	32,1	54,9
13	12	3,298	0,2	9,2	33,3	55,5
13	13	3,211	0,3	10	34,3	55,6
13	14	2,848	0,4	10,9	35	55,4
13	15	2,591	0,6	11,7	35,6	54,9
13	16	2,441	0,9	12,7	36,4	54,8
13	17	2,328	1,4	14,1	37,7	55,2
13	18	2,215	2,1	15,8	39,6	56,3
13	19	2,497	3	18	42,1	58,2
13	20	4,982	4	20,4	44,9	60,5
13	21	8,446	5,1	22,9	48	63
13	22	9,308	6,2	25,4	51	65,7
13	23	8,709	7,3	27,9	54,1	68,3
13	24	7,397	8,5	30,3	56,9	70,8
14	1	6,751	9,5	32,4	59,3	72,8
14	2	8,523	10,4	34,1	61,2	74,2
14	3	9,335	11,2	35,3	62,2	74,8
14	4	10,05	11,8	36,1	62,5	74,5
14	5	11,423	12,3	36,6	62,4	73,9
14	6	30,752	12,8	36,9	62,1	73
14	7	82,985	13,2	37,1	61,5	71,8
14	8	87,136	13,6	36,9	60,4	70,1
14	9	88,152	13,9	36,6	59,1	68,3
14	10	86,117	14,2	36,3	57,9	66,5

Continuación tabla 101. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 12-06-2000.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
14	11	29,29	14,6	36,2	56,9	65,1
14	12	24,709	15,1	36,4	56,4	64,1
14	13	21,665	15,7	36,8	56,2	63,5
14	14	19,173	16,3	37,3	56,2	63,2
14	15	16,979	17,1	38	56,5	63,1
14	16	14,981	17,8	38,7	56,9	63,2
14	17	13,18	18,6	39,6	57,4	63,4
14	18	11,684	19,4	40,4	57,9	63,7
14	19	10,508	20,2	41,2	58,3	63,9
14	20	9,621	20,8	41,7	58,4	63,8
14	21	8,956	21,2	41,9	58,2	63,3
14	22	8,433	21,5	41,8	57,6	62,5
14	23	7,995	21,6	41,5	56,8	61,5
14	24	7,61	21,6	41	55,7	60,1
15	1	7,25	21,4	40,2	54,4	58,5
15	2	6,907	21	39,1	52,7	56,7
15	3	6,572	20,5	37,9	50,8	54,5
15	4	6,24	19,8	36,4	48,6	52,1
15	5	5,901	19	34,6	46,1	49,4
15	6	5,552	18	32,7	43,4	46,5
15	7	5,183	16,9	30,6	40,6	43,4
15	8	4,786	15,7	28,5	37,7	40,3
15	9	4,36	14,5	26,3	34,8	37,1
15	10	3,928	13,3	24,1	31,9	34
15	11	3,526	12,2	22	29,1	31,1
15	12	3,185	11,1	20,1	26,6	28,4
15	13	2,936	10,2	18,4	24,3	26
15	14	2,786	9,3	16,8	22,2	23,7
15	15	2,72	8,5	15,3	20,3	21,6
15	16	2,713	7,8	14	18,5	19,7
15	17	2,749	7,1	12,8	16,9	17,9
15	18	2,81	6,5	11,7	15,4	16,3
15	19	2,881	5,9	10,7	14	14,8
15	20	2,94	5,4	9,7	12,8	13,5
15	21	2,974	4,9	8,9	11,6	12,3
15	22	2,965	4,5	8,1	10,6	11,2
15	23	2,918	4,1	7,4	9,6	10,2
15	24	2,844	3,8	6,7	8,8	9,3
16	1	2,754	3,4	6,1	8	8,5
16	2	2,658	3,1	5,6	7,3	7,7
16	3	2,558	2,9	5,1	6,7	7,1
16	4	2,453	2,6	4,7	6,1	6,4

Continuación tabla 101. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 12-06-2000.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
16	5	2,337	2,4	4,3	5,6	5,9
16	6	2,209	2,2	3,9	5,1	5,4
16	7	2,063	2	3,5	4,6	4,8
16	8	1,9	1,8	3,2	4,1	4,4
16	9	1,712	1,6	2,9	3,8	4
16	10	1,498	1,5	2,6	3,4	3,6
16	11	1,254	1,4	2,4	3,1	3,3
16	12	0,978	1,2	2,1	2,7	2,8
16	13	0,688	1,1	1,9	2,4	2,6
16	14	0,421	1	1,7	2,1	2,2
16	15	0,21	0,9	1,5	1,9	2
16	16	0,074	0,8	1,4	1,8	1,9
16	17	0	0,7	1,3	1,6	1,7
16	18	0	0,7	1,1	1,5	1,5
16	19	0	0,6	1	1,3	1,4
16	20	0	0,6	1	1,2	1,3
16	21	0	0,5	0,9	1,1	1,2
16	22	0	0,5	0,8	1	1
16	23	0	0,4	0,7	0,9	0,9
16	24	0	0,4	0,6	0,8	0,8
17	1	0	0,3	0,5	0,7	0,7
17	2	0	0,3	0,5	0,6	0,6
17	3	0	0,2	0,4	0,5	0,5
17	4	0	0,2	0,3	0,4	0,4
17	5	0	0,2	0,3	0,4	0,4
17	6	0	0,2	0,3	0,3	0,3
17	7	0	0,1	0,2	0,3	0,3
17	8	0	0,1	0,2	0,2	0,2
17	9	0	0,1	0,2	0,2	0,2
17	10	0	0,1	0,1	0,1	0,1
17	11	0	0,1	0,1	0,1	0,1
17	12	0	0	0,1	0,1	0,1

Tabla 102. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 27-06-2000.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
27	8	0	0	0	0	0,2
27	9	0	0	0	0,1	0,7
27	10	0	0	0	0,2	1,6
27	11	0	0	0	0,5	2,8
27	12	0	0	0	0,9	4,4
27	13	0	0	0	1,4	6,2
27	14	0	0	0	2	8,2
27	15	0	0	0	2,7	10,4
27	16	0	0	0	3,4	12,6
27	17	0	0	0	4,2	14,8
27	18	0	0	0	4,9	16,9
27	19	0	0	0,1	5,7	18,8
27	20	0	0	0,1	6,6	20,7
27	21	0	0	0,2	7,4	22,2
27	22	0	0	0,2	8,1	23,5
27	23	0	0	0,3	8,7	24,3
27	24	0	0	0,4	9,2	24,7
28	1	0	0	0,4	9,6	24,6
28	2	0	0	0,5	9,8	24,2
28	3	0	0	0,6	9,8	23,6
28	4	0	0	0,6	9,8	22,9
28	5	0	0	0,7	9,6	22
28	6	0	0	0,7	9,4	21
28	7	0	0	0,7	9,1	20
28	8	0	0	0,7	8,8	19
28	9	0	0	0,7	8,3	17,8
28	10	0	0	0,7	7,8	16,7
28	11	0	0	0,7	7,3	15,4
28	12	0	0	0,6	6,8	14,2
28	13	0	0	0,6	6,4	13,3
28	14	0,032	0	0,7	6,3	12,8
28	15	0,068	0	0,8	6,4	12,6
28	16	0,108	0	1	6,7	12,8
28	17	0,151	0	1,2	7,2	13,2
28	18	0,193	0	1,5	7,9	13,9
28	19	0,237	0	1,9	8,9	14,9
28	20	0,281	0	2,4	10,1	16,3
28	21	0,322	0	3	11,5	18
28	22	0,361	0	3,6	13,1	19,9
28	23	0,396	0	4,4	14,8	21,9
28	24	0,426	0	5,2	16,6	24
29	1	0,45	0,1	6	18,4	26,2

Continuación tabla 102. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 27-06-2000.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
29	2	0,467	0,1	6,9	20,2	28,3
29	3	0,475	0,2	7,7	21,9	30,2
29	4	0,475	0,2	8,5	23,2	31,7
29	5	0,466	0,3	9,1	24,3	32,7
29	6	0,445	0,3	9,6	25,1	33,5
29	7	0,413	0,4	10,1	25,7	33,9
29	8	0,367	0,5	10,5	26	34,1
29	9	0,309	0,6	10,7	26,1	33,9
29	10	0,253	0,6	10,7	25,8	33,4
29	11	0,228	0,7	10,7	25,3	32,6
29	12	0,269	0,7	10,5	24,5	31,5
29	13	0,413	0,8	10,2	23,6	30,2
29	14	0,685	0,8	9,8	22,6	28,7
29	15	0,968	0,8	9,4	21,4	27,1
29	16	1,11	0,8	8,9	20,1	25,5
29	17	1,497	0,8	8,4	18,9	23,9
29	18	2,206	0,8	8	17,8	22,4
29	19	3,189	0,8	7,6	16,7	21
29	20	4,419	0,7	7,1	15,7	19,7
29	21	5,352	0,7	6,7	14,7	18,5
29	22	6,318	0,7	6,3	13,8	17,3
29	23	8,087	0,7	6	12,9	16,1
29	24	9,718	0,7	5,6	12,1	15,1
30	1	13,381	0,6	5,3	11,4	14,1
30	2	15,706	0,6	5	10,6	13,2
30	3	16,746	0,6	4,8	10,1	12,5
30	4	17,467	0,7	4,8	9,9	12,2
30	5	18,055	0,8	4,9	10	12,2
30	6	18,588	0,9	5,2	10,3	12,4
30	7	19,113	1	5,6	10,8	13
30	8	19,676	1,2	6	11,4	13,6
30	9	20,34	1,4	6,5	12,1	14,3
30	10	21,202	1,6	7	12,9	15,1
30	11	22,301	1,8	7,6	13,9	16,2
30	12	23,573	2,1	8,5	15,3	17,7
30	13	24,856	2,5	9,6	16,9	19,5
30	14	25,999	3	10,7	18,5	21,3
30	15	26,825	3,4	11,8	20,1	23
30	16	27,726	3,8	12,8	21,7	24,7
30	17	28,18	4,2	13,8	23,1	26,2
30	18	28,608	4,6	14,6	24,3	27,5
30	19	28,306	4,9	15,2	25,1	28,4

Continuación tabla 102. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 27-06-2000.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
30	20	20,701	5,1	15,6	25,6	28,9
30	21	19,903	5,2	15,8	25,7	29
30	22	19,568	5,3	15,8	25,6	28,8
30	23	19,397	5,3	15,6	25,3	28,4
30	24	19,334	5,2	15,4	24,7	27,7
1	1	19,176	5,1	14,9	24	26,9
1	2	19,336	4,9	14,3	22,9	25,6
1	3	19,348	4,6	13,4	21,4	23,9
1	4	19,34	4,3	12,3	19,6	22
1	5	19,287	3,9	11,2	18	20,1
1	6	19,207	3,6	10,3	16,4	18,4
1	7	18,906	3,3	9,4	15	16,8
1	8	18,438	3	8,5	13,7	15,3
1	9	17,645	2,7	7,8	12,5	13,9
1	10	16,506	2,5	7,1	11,4	12,7
1	11	15,166	2,3	6,5	10,4	11,6
1	12	13,923	2,1	5,9	9,5	10,6
1	13	12,89	1,9	5,4	8,6	9,6
1	14	12,012	1,7	4,9	7,8	8,8
1	15	11,254	1,6	4,5	7,2	8
1	16	10,587	1,4	4,1	6,5	7,3
1	17	9,994	1,3	3,7	5,9	6,6
1	18	9,462	1,2	3,4	5,4	6
1	19	8,978	1,1	3,1	4,9	5,5
1	20	8,534	1	2,8	4,5	5
1	21	8,121	0,9	2,6	4,1	4,5
1	22	7,735	0,8	2,3	3,7	4,1
1	23	7,368	0,8	2,1	3,4	3,8
1	24	7,017	0,7	2	3,1	3,4
2	1	6,677	0,6	1,8	2,8	3,1
2	2	6,343	0,6	1,6	2,6	2,9
2	3	6,011	0,5	1,5	2,3	2,6
2	4	5,677	0,5	1,4	2,1	2,4
2	5	5,337	0,4	1,2	1,9	2,2
2	6	4,985	0,4	1,1	1,8	2
2	7	4,619	0,4	1	1,6	1,8
2	8	4,231	0,3	0,9	1,5	1,7
2	9	3,841	0,3	0,9	1,4	1,5
2	10	3,492	0,3	0,8	1,2	1,4
2	11	3,229	0,3	0,7	1,1	1,3
2	12	3,094	0,2	0,6	1	1,1

Continuación tabla 102. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 27-06-2000.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
2	13	3,087	0,2	0,6	0,9	1
2	14	3,1	0,2	0,5	0,9	0,9
2	15	2,946	0,2	0,5	0,8	0,9
2	16	2,699	0,2	0,4	0,7	0,8
2	17	2,56	0,1	0,4	0,6	0,7
2	18	2,497	0,1	0,4	0,6	0,7
2	19	2,453	0,1	0,3	0,5	0,6
2	20	2,402	0,1	0,3	0,5	0,5
2	21	2,328	0,1	0,3	0,4	0,5
2	22	2,223	0,1	0,3	0,4	0,5
2	23	2,072	0,1	0,2	0,3	0,3
2	24	1,861	0,1	0,2	0,3	0,3
3	1	1,577	0,1	0,1	0,2	0,2
3	2	1,275	0,1	0,1	0,2	0,2
3	3	1,077	0	0,1	0,2	0,2
3	4	0,996	0	0,1	0,2	0,2
3	5	0,996	0	0,1	0,2	0,2
3	6	1,045	0	0,1	0,1	0,2
3	7	1,113	0	0	0	0
3	8	1,17	0	0	0	0
3	9	1,195	0	0	0	0
3	10	1,182	0	0	0	0
3	11	1,139	0	0	0	0
3	12	1,069	0	0	0	0
3	13	0,978	0	0	0	0
3	14	0,872	0	0	0	0
3	15	0,786	0	0	0	0
3	16	0,803	0	0	0	0
3	17	1,008	0	0	0	0
3	18	1,168	0	0	0	0
3	19	0,964	0	0	0	0
3	20	0,738	0	0	0	0
3	21	0,732	0	0	0	0
3	22	0,739	0	0	0	0
3	23	0,614	0	0	0	0
3	24	0,474	0	0	0	0
4	1	0,403	0	0	0	0
4	2	0,379	0	0	0	0
4	3	0,369	0	0	0	0
4	4	0,347	0	0	0	0
4	5	0,304	0	0	0	0
4	6	0,247	0	0	0	0

Tabla 103. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 17-07-2001.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
17	10	0	0	0	0,1	0
17	11	0,019	0	0	0,2	0
17	12	0,044	0	0	0,3	0
17	13	0,076	0	0	0,4	0
17	14	0,115	0	0	0,6	0
17	15	0,164	0	0	0,8	0
17	16	0,22	0	0	0,9	0
17	17	0,27	0	0	1,1	0
17	18	0,294	0	0	1,3	0
17	19	0,295	0	0	1,4	0
17	20	0,283	0	0	1,5	0
17	21	0,268	0	0	1,6	0
17	22	0,256	0	0	1,6	0
17	23	0,242	0	0	1,6	0
17	24	0,221	0	0	1,6	0
18	1	0,19	0	0	1,6	0
18	2	0,144	0	0	1,5	0
18	3	0,087	0	0	1,4	0
18	4	0,035	0	0	1,3	0
18	5	0	0	0	1,4	0
18	6	0	0	0	1,4	0
18	7	0,056	0	0	1,5	0
18	8	0,176	0	0	1,6	0
18	9	0,376	0	0	1,8	0
18	10	0,583	0	0	1,9	0
18	11	0,652	0	0	2,1	0
18	12	0,594	0	0	2,3	0
18	13	0,458	0	0	2,6	0
18	14	0,3	0	0	2,8	0
18	15	0,21	0	0	3,1	0
18	16	0,311	0	0	3,6	0
18	17	0,769	0	0,1	4,3	0
18	18	1,051	0	0,2	5,1	0
18	19	1,097	0	0,4	6,3	0,1
18	20	1,887	0	0,8	7,9	0,2
18	21	2,312	0	1,5	10,1	0,5
18	22	2,205	0	2,4	12,9	0,9
18	23	3,064	0,1	3,6	16,3	1,6
18	24	5,805	0,3	5,3	20,3	2,6
19	1	6,048	0,5	7,3	24,9	3,8
19	2	6,516	0,9	9,6	29,9	5,3
19	3	7,106	1,4	12,2	35,1	7

Continuación tabla 103. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 17-07-2001.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
19	4	7,108	1,9	14,9	40,3	8,8
19	5	7,014	2,5	17,7	45,4	10,7
19	6	7,781	3,2	20,5	50,1	12,7
19	7	11,465	3,9	23,1	54,2	14,7
19	8	13,483	4,6	25,4	57,6	16,4
19	9	27,963	5,3	27,4	60,2	18
19	10	19,601	5,9	29	61,9	19,3
19	11	13,163	6,4	30	62,5	20,3
19	12	9,786	6,8	30,5	62,3	20,9
19	13	7,217	7,1	30,5	61,1	21,1
19	14	6,017	7,3	30,1	59,3	21
19	15	5,363	7,3	29,2	56,8	20,5
19	16	4,831	7,2	28	53,9	19,8
19	17	4,36	7	26,6	50,7	18,9
19	18	3,91	6,7	25,1	47,6	17,9
19	19	3,452	6,4	23,6	44,4	16,9
19	20	2,999	6,1	22,1	41,3	15,8
19	21	2,596	5,8	20,6	38,4	14,8
19	22	2,278	5,5	19,2	35,7	13,9
19	23	2,052	5,2	18	33,2	13
19	24	1,89	4,9	16,8	30,9	12,2
20	1	1,738	4,6	15,7	28,7	11,4
20	2	1,569	4,4	14,7	26,8	10,7
20	3	1,411	4,2	13,8	24,9	10,1
20	4	1,287	3,9	12,9	23,2	9,4
20	5	1,191	3,7	12	21,6	8,8
20	6	1,112	3,5	11,2	20	8,3
20	7	1,045	3,3	10,5	18,6	7,7
20	8	0,983	3,1	9,7	17,2	7,2
20	9	0,919	2,9	9	15,9	6,7
20	10	0,848	2,6	8,3	14,6	6,1
20	11	0,769	2,4	7,6	13,4	5,6
20	12	0,689	2,2	7	12,3	5,2
20	13	0,612	2	6,4	11,2	4,7
20	14	0,545	1,9	5,8	10,2	4,3
20	15	0,49	1,7	5,3	9,4	3,9
20	16	0,445	1,6	4,8	8,5	3,6
20	17	0,408	1,4	4,4	7,8	3,3
20	18	0,374	1,3	4	7,1	3
20	19	0,34	1,2	3,7	6,5	2,7
20	20	0,301	1,1	3,4	5,9	2,5
20	21	0,26	1	3,1	5,4	2,3

Continuación tabla 103. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 17-07-2001.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
20	22	0,219	0,9	2,8	5	2,1
20	23	0,18	0,8	2,6	4,5	1,9
20	24	0,145	0,8	2,3	4,1	1,7
21	1	0,114	0,7	2,1	3,8	1,6
21	2	0,089	0,6	2	3,4	1,5
21	3	0,065	0,6	1,8	3,1	1,3
21	4	0,043	0,5	1,6	2,9	1,2
21	5	0,022	0,5	1,5	2,6	1,1
21	6	0	0,4	1,4	2,4	1
21	7	0,67	0,4	1,2	2,2	0,9
21	8	0,652	0,4	1,1	2	0,8
21	9	0,634	0,3	1	1,8	0,8
21	10	0,617	0,3	0,9	1,6	0,7
21	11	0,6	0,3	0,9	1,5	0,6
21	12	0,583	0,3	0,8	1,3	0,6
21	13	0,567	0,2	0,7	1,2	0,5
21	14	0,552	0,2	0,6	1,1	0,5
21	15	0,537	0,2	0,6	0,9	0,4
21	16	0,523	0,2	0,5	0,8	0,4
21	17	0,511	0,2	0,4	0,6	0,3
21	18	0,499	0,1	0,4	0,5	0,3
21	19	0,488	0,1	0,3	0,4	0,2
21	20	0,478	0,1	0,2	0,3	0,2
21	21	0	0,1	0,2	0,3	0,2
21	22	0	0,1	0,2	0,2	0,1
21	23	0	0,1	0,1	0,2	0,1
21	24	0	0	0,1	0,2	0,1
22	1	0	0	0,1	0,1	0,1
22	2	0	0	0,1	0,1	0,1
22	3	0	0	0,1	0,1	0
22	4	0	0	0,1	0,1	0
22	5	0	0	0	0,1	0
22	6	0	0	0	0,1	0
22	7	0	0	0	0,1	0

Tabla 104. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 29-07-2001.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
29	15	0,423	0	0	0,1	0
29	16	0,45	0	0	0,3	0,1
29	17	0,486	0	0	0,8	0,2
29	18	0,136	0	0,1	1,6	0,6
29	19	0,135	0	0,1	2,7	1,1
29	20	0,123	0	0,3	4,1	1,7
29	21	0,107	0	0,4	5,6	2,5
29	22	0,094	0	0,6	7,3	3,4
29	23	0,086	0	0,9	9	4,3
29	24	0,084	0	1,1	10,8	5,2
30	1	0,089	0	1,3	12,4	6,2
30	2	0,094	0	1,5	13,9	7
30	3	0,093	0	1,7	15,1	7,7
30	4	0,081	0	1,9	16,1	8,3
30	5	0,05	0	2,1	16,8	8,8
30	6	0,02	0	2,2	17,3	9,2
30	7	0,111	0	2,4	17,6	9,5
30	8	0,458	0	2,6	17,7	9,8
30	9	1,511	0	2,9	17,7	10
30	10	13,292	0	3,2	17,7	10,3
30	11	17,424	0	3,6	17,9	10,7
30	12	17,421	0	4	18,1	11,1
30	13	13,623	0	4,4	18,5	11,6
30	14	12,019	0	4,8	19	12,2
30	15	10,923	0	5,3	19,6	12,8
30	16	9,96	0	5,8	20,1	13,4
30	17	9,014	0	6,2	20,6	13,9
30	18	8	0	6,5	20,9	14,2
30	19	6,9	0	6,7	21	14,4
30	20	5,918	0	6,9	20,8	14,5
30	21	5,289	0,1	6,9	20,5	14,4
30	22	4,963	0,1	6,8	19,9	14
30	23	4,536	0,1	6,6	19,1	13,5
30	24	4,203	0,1	6,4	18,1	12,9
31	1	4,466	0,1	6	17	12,1
31	2	6,024	0,1	5,7	15,9	11,4
31	3	9,997	0,1	5,4	14,9	10,7
31	4	9,086	0,1	5	13,9	10
31	5	7,687	0,1	4,7	12,9	9,3
31	6	6,359	0,1	4,5	12,1	8,7
31	7	5,477	0,1	4,2	11,3	8,1
31	8	4,847	0,1	3,9	10,5	7,6

Continuación tabla 104. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 29-07-2001.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
31	9	4,352	0,1	3,7	9,8	7,1
31	10	4,034	0,1	3,4	9,1	6,6
31	11	3,609	0,1	3,2	8,5	6,2
31	12	3,311	0,1	3	7,8	5,7
31	13	2,937	0,1	2,8	7,3	5,3
31	14	2,664	0,1	2,6	6,7	4,9
31	15	2,67	0,1	2,4	6,2	4,5
31	16	2,663	0,1	2,2	5,6	4,1
31	17	2,551	0,1	2	5,2	3,8
31	18	2,341	0,1	1,8	4,7	3,4
31	19	2,164	0,1	1,7	4,3	3,1
31	20	2,112	0	1,5	3,9	2,9
31	21	2,084	0	1,4	3,6	2,6
31	22	1,968	0	1,3	3,3	2,4
31	23	1,725	0	1,2	3	2,2
31	24	1,319	0	1,1	2,7	2
1	1	0,96	0	1	2,5	1,8
1	2	0,788	0	0,9	2,3	1,7
1	3	0,732	0	0,8	2,1	1,5
1	4	0,724	0	0,7	1,9	1,4
1	5	0,708	0	0,7	1,7	1,3
1	6	0,471	0	0,6	1,6	1,2
1	7	0,221	0	0,6	1,4	1,1
1	8	0,05	0	0,5	1,3	1
1	9	0	0	0,5	1,2	0,9
1	10	0	0	0,4	1,1	0,8
1	11	0	0	0,4	1	0,7
1	12	0	0	0,4	0,9	0,7
1	13	0	0	0,3	0,8	0,6
1	14	0	0	0,3	0,7	0,5
1	15	0	0	0,3	0,6	0,5
1	16	0	0	0,2	0,5	0,4
1	17	0	0	0,2	0,5	0,4
1	18	0	0	0,2	0,4	0,3
1	19	0	0	0,2	0,4	0,3
1	20	0	0	0,2	0,4	0,3
1	21	0	0	0,1	0,3	0,3
1	22	0	0	0,1	0,3	0,2
1	23	0	0	0,1	0,3	0,2
1	24	0	0	0,1	0,2	0,2
2	1	0	0	0,1	0,2	0,2

Continuación tabla 104. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 29-07-2001.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
2	2	0	0	0,1	0,2	0,1
2	3	0	0	0,1	0,1	0,1
2	4	0	0	0,1	0,1	0,1
2	5	0	0	0	0,1	0,1
2	6	0	0	0	0,1	0
2	7	0	0	0	0,1	0

Tabla 105. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 19-07-2002.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
19	14	0,091	0	0	0	0
19	15	0,242	0	0	0	0
19	16	0,351	0	0	0	0
19	17	0,738	0	0	0	0
19	18	1,139	0	0	0	0
19	19	1,381	0	0	0	0
19	20	1,554	0	0	0	0
19	21	1,691	0	0	0	0
19	22	1,827	0	0	0	0
19	23	1,914	0	0	0	0
19	24	1,994	0	0	0	0
20	1	2,055	0	0	0	0
20	2	2,314	0	0	0	0
20	3	3,11	0	0	0	0
20	4	5,095	0	0	0	0
20	5	5,776	0	0	0	0
20	6	6,072	0	0	0	0
20	7	5,936	0	0	0	0
20	8	5,625	0	0	0	0
20	9	5,315	0	0	0	0
20	10	5,003	0	0	0	0
20	11	4,909	0	0	0,1	0
20	12	4,923	0	0	0,2	0
20	13	4,739	0	0	0,4	0
20	14	5,431	0	0	0,7	0,1
20	15	5,864	0	0	1,2	0,3
20	16	6,104	0	0	1,8	0,5
20	17	6,835	0	0,1	2,7	0,9

Continuación tabla 105. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 19-07-2002.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
20	18	7,696	0	0,2	3,9	1,5
20	19	8,631	0	0,3	5,4	2,2
20	20	9,566	0	0,5	7,1	3,1
20	21	10,735	0	0,8	8,9	4,1
20	22	11,982	0	1,1	10,8	5,2
20	23	13,23	0	1,4	12,7	6,3
20	24	11,999	0	1,8	14,6	7,5
21	1	10,678	0	2,2	16,4	8,7
21	2	9,358	0	2,7	18	9,8
21	3	8,46	0	3,1	19,4	10,8
21	4	7,839	0	3,5	20,4	11,7
21	5	7,217	0	3,8	21,1	12,3
21	6	6,596	0	4,1	21,5	12,7
21	7	6,051	0	4,3	21,4	12,9
21	8	5,665	0	4,4	21,1	12,9
21	9	5,278	0	4,4	20,5	12,6
21	10	4,891	0	4,4	19,6	12,2
21	11	4,505	0	4,2	18,6	11,6
21	12	4,119	0	4,1	17,4	11
21	13	3,997	0	3,9	16,3	10,3
21	14	3,884	0	3,6	15,2	9,6
21	15	3,773	0	3,4	14	8,9
21	16	3,661	0	3,1	12,8	8,1
21	17	3,549	0	2,8	11,7	7,4
21	18	3,438	0	2,6	10,7	6,8
21	19	3,325	0	2,4	9,8	6,2
21	20	3,213	0	2,2	8,9	5,7
21	21	3,09	0	2	8,2	5,2
21	22	2,888	0	1,8	7,4	4,7
21	23	2,686	0	1,6	6,8	4,3
21	24	2,498	0	1,5	6,2	3,9
22	1	1,949	0	1,4	5,7	3,6
22	2	1,918	0	1,2	5,2	3,3
22	3	1,887	0	1,1	4,7	3
22	4	1,855	0	1	4,3	2,7
22	5	1,824	0	1	3,9	2,5
22	6	1,793	0	0,9	3,6	2,3
22	7	1,762	0	0,8	3,3	2,1

Continuación tabla 105. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 19-07-2002.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
23	6	1,261	0	0,1	0,4	0,3
23	7	1,191	0	0,1	0,4	0,2
23	8	1,122	0	0,1	0,3	0,2
23	9	1,083	0	0,1	0,3	0,2
23	10	1,204	0	0,1	0,2	0,2
23	11	1,324	0	0,1	0,2	0,1
23	12	1,073	0	0,1	0,2	0,1
23	13	1,46	0	0	0,1	0,1
23	14	1,487	0	0	0,1	0,1
23	15	1,515	0	0	0,1	0,1
23	16	1,831	0	0	0	0
23	17	2,489	0	0	0	0
23	18	3,022	0	0	0	0
23	19	2,53	0	0	0	0
23	20	2,037	0	0	0	0
23	21	1,545	0	0	0	0
23	22	1,271	0	0	0	0
23	23	1,084	0	0	0	0
23	24	0,898	0	0	0	0
24	1	0,711	0	0	0	0
24	2	0,524	0	0	0	0
24	3	0,338	0	0	0	0
24	4	0,151	0	0	0	0
24	5	0,062	0	0	0	0
24	6	0,031	0	0	0	0

Tabla 106. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 22-07-2002.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
19	20	0,025	0	0	0	0
19	21	0,102	0	0	0	0
19	22	0,263	0	0	0	0
19	23	0,546	0	0	0	0
19	24	0,98	0	0	0	0
20	1	1,509	0	0	0	0
20	2	1,807	0	0	0	0
20	3	2,444	0	0	0	0
20	4	4,755	0	0	0	0
20	5	5,524	0	0	0	0
20	6	5,693	0	0	0	0
20	7	5,586	0	0	0	0
20	8	5,216	0	0	0	0
20	9	4,609	0	0	0	0
20	10	4,006	0	0	0	0
20	11	4,12	0	0	0	0
20	12	4,174	0	0	0	0
20	13	3,846	0	0	0	0
20	14	4,483	0	0	0	0
20	15	5,556	0	0	0	0
20	16	6,277	0	0	0	0
20	17	6,89	0	0	0	0
20	18	7,553	0	0	0	0
20	19	8,4	0	0	0	0
20	20	9,497	0	0	0	0
20	21	10,682	0	0	0	0
20	22	11,686	0	0	0	0
20	23	12,067	0	0	0	0
20	24	11,136	0	0	0	0
21	1	9,331	0	0	0	0
21	2	7,876	0	0	0	0
21	3	6,974	0	0	0	0
21	4	6,332	0	0	0	0
21	5	5,807	0	0	0	0
21	6	5,341	0	0	0	0
21	7	4,905	0	0	0	0
21	8	4,483	0	0	0	0
21	9	4,083	0	0	0	0
21	10	3,72	0	0	0	0
21	11	3,407	0	0	0	0
21	12	3,164	0	0	0	0
21	13	3,001	0	0	0	0

Continuación tabla 106. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 22-07-2002.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
21	14	2,901	0	0	0	0
21	15	2,846	0	0	0	0
21	16	2,815	0	0	0	0
21	17	2,79	0	0	0	0
21	18	2,751	0	0	0	0
21	19	2,675	0	0	0	0
21	20	2,541	0	0	0	0
21	21	2,339	0	0	0	0
21	22	2,098	0	0	0	0
21	23	1,86	0	0	0	0
21	24	1,662	0	0	0	0
22	1	1,523	0	0	0	0
22	2	1,429	0	0	0	0
22	3	1,365	0	0	0	0
22	4	1,318	0	0	0	0
22	5	1,278	0	0	0	0
22	6	1,238	0	0	0	0
22	7	1,195	0	0	0	0
22	8	1,143	0	0	0	0
22	9	1,082	0	0	0	0
22	10	1,019	0	0	0	0
22	11	0,962	0	0	0	0
22	12	0,921	0	0	0	0
22	13	0,897	0	0	0	0
22	14	0,887	0	0	0	0
22	15	0,884	0	0	0	0,1
22	16	0,883	0	0	0	0,1
22	17	0,88	0	0	0	0,3
22	18	0,873	0	0	0	0,5
22	19	0,859	0	0	0	0,8
22	20	0,842	0	0	0	1,2
22	21	0,819	0	0	0	1,7
22	22	0,801	0	0	0	2,2
22	23	0,797	0	0	0,1	2,8
22	24	0,825	0	0	0,1	3,5
23	1	1,14	0	0	0,2	4,3
23	2	1,918	0	0	0,3	5,1
23	3	2,137	0	0	0,4	5,9
23	4	1,779	0	0	0,6	6,7
23	5	1,284	0	0	0,8	7,4
23	6	0,941	0	0	1	8,2
23	7	0,814	0	0	1,2	8,9

Continuación tabla 106. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 22-07-2002.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
23	8	0,85	0	0	1,4	9,5
23	9	0,997	0	0	1,7	10,1
23	10	1,188	0	0	2	10,7
23	11	1,344	0	0	2,3	11,2
23	12	1,387	0	0	2,7	11,7
23	13	1,305	0	0	3,1	12,2
23	14	1,229	0	0	3,5	12,9
23	15	1,327	0	0	4,1	13,6
23	16	1,848	0	0	4,7	14,4
23	17	2,732	0	0,1	5,4	15,3
23	18	3,26	0	0,2	6,1	16,3
23	19	3,002	0	0,2	6,9	17,3
23	20	2,351	0	0,3	7,7	18,3
23	21	1,682	0	0,4	8,5	19,2
23	22	1,26	0	0,5	9,2	20
23	23	1,086	0	0,6	9,7	20,6
23	24	1,04	0	0,7	10,2	21
24	1	1,006	0	0,8	10,5	21,1
24	2	0,889	0	0,9	10,6	21
24	3	0,711	0	0,9	10,6	20,6
24	4	0,547	0	1	10,4	20
24	5	0,468	0	1	10,1	19,2
24	6	0,455	0	1	9,6	18,2
24	7	0,44	0	0,9	9,1	17
24	8	0,391	0	0,9	8,4	15,8
24	9	0,324	0	0,8	7,8	14,5
24	10	0,259	0	0,8	7,1	13,2
24	11	0,217	0	0,7	6,5	12,1
24	12	0,194	0	0,6	5,9	11
24	13	0,188	0	0,6	5,4	10,1
24	14	0,194	0	0,5	4,9	9,2
24	15	0,204	0	0,5	4,5	8,4
24	16	0,216	0	0,4	4,1	7,7
24	17	0,226	0	0,4	3,8	7
24	18	0,228	0	0,4	3,4	6,4
24	19	0,219	0	0,3	3,1	5,9
24	20	0,195	0	0,3	2,9	5,3
24	21	0,151	0	0,3	2,6	4,9
24	22	0,085	0	0,3	2,4	4,5
24	23	0	0	0,2	2,2	4,1
24	24	0	0	0,2	2	3,7

Continuación tabla 106. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 22-07-2002.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
25	1	0	0	0,2	1,8	3,4
25	2	0	0	0,2	1,7	3,1
25	3	0	0	0,2	1,5	2,8
25	4	0	0	0,1	1,4	2,6
25	5	0,002	0	0,1	1,3	2,4
25	6	0	0	0,1	1,2	2,2
25	7	0	0	0,1	1,1	2
25	8	0	0	0,1	1	1,8
25	9	0	0	0,1	0,9	1,6
25	10	0	0	0,1	0,8	1,5
25	11	0	0	0,1	0,7	1,4
25	12	0	0	0,1	0,7	1,2
25	13	0	0	0,1	0,6	1,1
25	14	0	0	0,1	0,6	1
25	15	0	0	0,1	0,5	0,9
25	16	0	0	0	0,5	0,8
25	17	0	0	0	0,4	0,8
25	18	0	0	0	0,4	0,7
25	19	0	0	0	0,4	0,6
25	20	0	0	0	0,3	0,6
25	21	0	0	0	0,3	0,5
25	22	0	0	0	0,3	0,5
25	23	0	0	0	0,2	0,4
25	24	0	0	0	0,2	0,4
26	1	0	0	0	0,2	0,3
26	2	0	0	0	0,2	0,3
26	3	0	0	0	0,2	0,3
26	4	0	0	0	0,1	0,2
26	5	0	0	0	0,1	0,2
26	6	0	0	0	0,1	0,2
26	7	0	0	0	0,1	0,2
26	8	0	0	0	0,1	0,1
26	9	0	0	0	0,1	0,1
26	10	0	0	0	0	0,1

Tabla 107. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 07-07-2003.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
7	19	0	0	0	0	0,1
7	20	0	0	0	0	0,1
7	21	0	0	0	0	0,1
7	22	0	0	0	0	0,1
7	23	0	0	0	0	0,1
7	24	0	0	0	0	0,2
8	1	0	0	0	0	0,2
8	2	0	0	0	0	0,2
8	3	0	0	0	0	0,2
8	4	0	0	0	0	0,2
8	5	0	0	0	0	0,2
8	6	0	0	0	0	0,2
8	7	0	0	0	0	0,2
8	8	0	0	0	0	0,2
8	9	0	0	0	0	0,2
8	10	0	0	0	0	0,2
8	11	0	0	0	0	0,2
8	12	0	0	0	0	0,1
8	13	0	0	0	0	0,1
8	14	0	0	0	0	0,1
8	15	0	0	0	0	0,1
8	16	0	0	0	0	0,1
8	17	0	0	0	0	0,1
8	18	0	0	0	0	0,1
8	19	0	0	0	0	0,1
8	20	0	0	0	0	0,1
8	21	0	0	0	0	0,1
8	22	0	0	0	0	0,1
8	23	0	0	0	0	0,1

Tabla 108. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 12-11-2004.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
12	6	0,022	0	0	0	0
12	7	0,033	0	0	0	0
12	8	0,052	0	0	0	0
12	9	0,084	0	0	0	0
12	10	0,137	0	0	0	0
12	11	0,215	0	0	0,2	0
12	12	0,325	0	0	0,7	0,2
12	13	0,472	0	0	1,4	0,5
12	14	0,652	0	0,1	2,4	1
12	15	0,864	0	0,2	3,6	1,6
12	16	1,248	0	0,3	5	2,2
12	17	1,418	0	0,5	6,5	3
12	18	1,747	0	0,6	8,1	3,8
12	19	1,896	0	0,8	9,6	4,6
12	20	1,985	0	1	11,2	5,4
12	21	2,083	0	1,2	12,6	6,1
12	22	2,074	0	1,4	14	6,9
12	23	1,735	0	1,7	15,2	7,7
12	24	1,97	0	2,1	16,5	8,6
13	1	3,898	0	2,7	18,2	9,9
13	2	5,231	0	3,4	19,8	11,2
13	3	5,964	0,1	4,2	21,3	12,5
13	4	8,023	0,1	5	22,6	13,8
13	5	9,13	0,1	5,9	23,8	15
13	6	10,879	0,1	6,7	25	16,1
13	7	12,646	0,1	7,4	26,1	17,2
13	8	12,857	0,2	8,1	27,1	18,1
13	9	13,561	0,2	8,7	27,8	18,9
13	10	12,708	0,2	9,1	28,2	19,4
13	11	10,533	0,2	9,4	28,2	19,6
13	12	10,529	0,2	9,5	27,9	19,5
13	13	13,019	0,2	9,4	27,2	19,2
13	14	13,73	0,2	9,2	26,2	18,5
13	15	15,627	0,2	8,7	24,8	17,6
13	16	12,661	0,2	8,1	22,9	16,3
13	17	10,87	0,2	7,4	20,9	14,9
13	18	9,828	0,2	6,8	19,1	13,6
13	19	9,634	0,2	6,2	17,5	12,4
13	20	9,338	0,1	5,7	16	11,3
13	21	8,521	0,1	5,2	14,6	10,4
13	22	8,01	0,1	4,7	13,3	9,5
13	23	7,48	0,1	4,3	12,2	8,6

Continuación tabla 108. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 12-11-2004.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
13	24	6,709	0,1	3,9	11,1	7,9
14	1	6,22	0,1	3,6	10,1	7,2
14	2	5,844	0,1	3,3	9,3	6,6
14	3	5,345	0,1	3	8,5	6
14	4	4,926	0,1	2,7	7,7	5,5
14	5	4,512	0,1	2,5	7	5
14	6	4,214	0,1	2,3	6,4	4,6
14	7	3,985	0,1	2,1	5,9	4,2
14	8	3,604	0	1,9	5,4	3,8
14	9	3,323	0	1,7	4,9	3,5
14	10	3,092	0	1,6	4,5	3,2
14	11	2,906	0	1,4	4,1	2,9
14	12	2,73	0	1,3	3,7	2,7
14	13	2,675	0	1,2	3,4	2,4
14	14	2,978	0	1,1	3,1	2,2
14	15	3,601	0	1	2,8	2
14	16	4,6	0	0,9	2,6	1,8
14	17	5,332	0	0,8	2,4	1,7
14	18	6,263	0	0,8	2,2	1,5
14	19	6,352	0	0,7	2	1,4
14	20	6,725	0	0,6	1,8	1,3
14	21	6,4	0	0,6	1,6	1,2
14	22	5,915	0	0,5	1,5	1,1
14	23	5,609	0	0,5	1,4	1
14	24	5,466	0	0,4	1,3	0,9
15	1	5,001	0	0,4	1,1	0,8
15	2	4,566	0	0,4	1	0,7
15	3	4,168	0	0,3	1	0,7
15	4	3,779	0	0,3	0,9	0,6
15	5	3,409	0	0,3	0,8	0,6
15	6	3,067	0	0,3	0,7	0,5
15	7	2,761	0	0,2	0,6	0,5
15	8	2,501	0	0,2	0,5	0,4
15	9	2,292	0	0,2	0,5	0,4
15	10	2,134	0	0,2	0,4	0,3
15	11	1,984	0	0,2	0,4	0,3
15	12	1,822	0	0,1	0,3	0,3
15	13	1,766	0	0,1	0,3	0,2
15	14	1,899	0	0,1	0,3	0,2
15	15	2,263	0	0,1	0,3	0,2
15	16	2,859	0	0,1	0,2	0,2
15	17	3,437	0	0,1	0,2	0,1

Continuación tabla 108. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 12-11-2004.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
15	18	4,066	0	0,1	0,2	0,1
15	19	4,542	0	0,1	0,1	0,1
15	20	4,484	0	0	0	0
15	21	4,165	0	0	0	0
15	22	3,801	0	0	0	0
15	23	3,428	0	0	0	0
15	24	2,986	0	0	0	0
16	1	2,531	0	0	0	0
16	2	2,107	0	0	0	0
16	3	1,731	0	0	0	0
16	4	1,413	0	0	0	0
16	5	1,164	0	0	0	0
16	6	0,993	0	0	0	0
16	7	0,821	0	0	0	0
16	8	0,44	0	0	0	0
16	9	0,289	0	0	0	0

Tabla 109. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 26-08-2005.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
26	18	0,081	0	0	0	0
26	19	0,158	0	0	0	0
26	20	0,236	0	0	0	0
26	21	0,313	0	0	0	0
26	22	0,391	0	0	0	0,1
26	23	0,468	0	0	0,1	0,5
26	24	0,721	0	0	0,5	1,9
27	1	1,713	0	0,1	1,4	4,1
27	2	9,427	0	0,2	2,6	6,9
27	3	16,229	0	0,3	4	10,1
27	4	19,631	0	0,5	5,6	13,6
27	5	23,033	0	0,8	7,4	17,5
27	6	26,435	0	1	9,3	21,7
27	7	29,836	0	1,4	11,4	25,9
27	8	33,238	0	1,7	13,5	30
27	9	36,64	0	2,1	15,6	33,7
27	10	40,042	0	2,5	17,4	36,8
27	11	43,444	0	2,9	19,1	39,5
27	12	46,846	0	3,4	20,6	41,8
27	13	44,997	0	3,9	22	43,5
27	14	41,284	0	4,4	23,1	44,5
27	15	37,57	0	4,9	23,9	44,6
27	16	33,857	0	5,4	24,3	44
27	17	30,143	0	5,8	24,5	43,2
27	18	26,43	0	6,2	24,7	42,3
27	19	23,672	0	6,7	24,8	41,6
27	20	21,665	0,1	7,1	25	40,9
27	21	19,658	0,1	7,6	25,2	40,4
27	22	17,651	0,2	8	25,4	39,8
27	23	16,043	0,2	8,4	25,5	39,2
27	24	14,949	0,3	8,7	25,6	38,5
28	1	13,856	0,4	9	25,6	37,9
28	2	12,762	0,4	9,3	25,5	37,2
28	3	11,668	0,5	9,5	25,3	36,3
28	4	10,935	0,6	9,6	24,9	35,3
28	5	10,913	0,6	9,6	24,3	34,1
28	6	10,891	0,7	9,5	23,6	32,9
28	7	10,87	0,7	9,3	22,9	31,6
28	8	20,253	0,8	9,1	22	30,2
28	9	27,902	0,8	8,8	21,1	28,7
28	10	32,145	0,8	8,5	20,2	27,3
28	11	36,387	0,8	8,2	19,1	25,8

Continuación tabla 109. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 26-08-2005.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
28	12	40,104	0,8	7,8	18,1	24,3
28	13	41,594	0,8	7,5	17,2	22,9
28	14	42,931	0,8	7,3	16,4	21,7
28	15	44,241	0,9	7	15,7	20,7
28	16	42,352	0,9	6,8	15,1	19,8
28	17	40,499	0,9	6,8	14,7	19,1
28	18	38,645	1	6,8	14,5	18,7
28	19	36,368	1,1	6,9	14,4	18,4
28	20	33,039	1,2	7,1	14,6	18,4
28	21	29,71	1,3	7,3	14,8	18,5
28	22	26,381	1,5	7,6	15,1	18,7
28	23	23,052	1,6	7,9	15,5	19
28	24	19,724	1,8	8,3	15,8	19,3
29	1	16,594	1,9	8,5	16,1	19,5
29	2	13,066	2	8,7	16,3	19,6
29	3	9,883	2,1	8,8	16,3	19,6
29	4	8,338	2,1	8,9	16,3	19,4
29	5	6,793	2,2	8,8	16,1	19,1
29	6	5,771	2,2	8,7	15,8	18,6
29	7	5,749	2,2	8,5	15,3	18,1
29	8	5,386	2,1	8,2	14,7	17,3
29	9	4,798	2	7,8	13,9	16,4
29	10	4,21	1,9	7,3	13,1	15,3
29	11	3,622	1,8	6,8	12,1	14,3
29	12	3,528	1,7	6,3	11,2	13,2
29	13	3,506	1,5	5,8	10,3	12,1
29	14	3,484	1,4	5,3	9,4	11,1
29	15	3,462	1,3	4,8	8,6	10,1
29	16	3,345	1,2	4,4	7,9	9,2
29	17	3,2	1,1	4	7,2	8,4
29	18	3,055	1	3,7	6,6	7,7
29	19	2,909	0,9	3,4	5,9	6,9
29	20	2,764	0,8	3,1	5,4	6,2
29	21	2,618	0,7	2,8	4,9	5,6
29	22	2,473	0,7	2,6	4,5	5,1
29	23	2,327	0,6	2,3	4,1	4,7
29	24	2,182	0,6	2,1	3,7	4,2
30	1	2,036	0,5	1,9	3,4	3,9
30	2	1,891	0,5	1,8	3,1	3,5
30	3	1,745	0,4	1,6	2,8	3,2
30	4	1,6	0,4	1,5	2,5	2,9
30	5	1,454	0,4	1,3	2,3	2,6

Continuación tabla 109. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 26-08-2005.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
30	6	1,309	0,3	1,2	2,1	2,4
30	7	1,164	0,3	1,1	1,9	2,2
30	8	1,018	0,3	1	1,7	2
30	9	0,873	0,2	0,9	1,5	1,8
30	10	0,727	0,2	0,8	1,4	1,6
30	11	0,581	0,2	0,7	1,3	1,5
30	12	0,436	0,2	0,7	1,2	1,3
30	13	0,29	0,2	0,6	1,1	1,2
30	14	0,145	0,2	0,6	1	1,1
30	15	0	0,1	0,5	0,8	1
30	16	0	0,1	0,4	0,8	0,9
30	17	0	0,1	0,4	0,7	0,8
30	18	0	0,1	0,4	0,6	0,7
30	19	0	0,1	0,3	0,6	0,6
30	20	0	0,1	0,3	0,5	0,6
30	21	0	0,1	0,3	0,5	0,5
30	22	0	0,1	0,3	0,4	0,5
30	23	0	0,1	0,2	0,4	0,4
30	24	0	0,1	0,2	0,4	0,4
31	1	0	0,1	0,2	0,3	0,4
31	2	0	0	0,2	0,3	0,3
31	3	0	0	0,2	0,3	0,3
31	4	0	0	0,1	0,2	0,3
31	5	0	0	0,1	0,2	0,2
31	6	0	0	0,1	0,2	0,2
31	7	0	0	0,1	0,2	0,2
31	8	0	0	0,1	0,1	0,2
31	9	0	0	0,1	0,1	0,1
31	10	0	0	0,1	0,1	0,1
31	11	0	0	0,1	0,1	0,1
31	12	0	0	0	0,1	0,1
31	13	0	0	0	0,1	0,1

Tabla 110. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 13-10-2006.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
13	6	1,103	0	0	0	0
13	7	1,128	0	0	0	0
13	8	1,189	0	0	0	0
13	9	1,29	0	0	0	0
13	10	1,437	0	0	0	0
13	11	1,637	0	0	0	0
13	12	1,898	0	0	0,1	0
13	13	2,168	0	0	0,3	0
13	14	2,411	0	0	0,9	0
13	15	3,2	0	0,1	2	0
13	16	4,201	0	0,3	3,4	0,1
13	17	4,527	0	0,6	5,4	0,2
13	18	4,462	0	1,1	7,8	0,3
13	19	3,854	0	1,7	10,5	0,6
13	20	2,921	0	2,3	13,4	0,8
13	21	2,606	0	3,1	16,5	1,2
13	22	2,368	0	4	19,8	1,6
13	23	2,174	0	5,1	23,2	2,2
13	24	2,096	0,1	6,2	26,5	2,8
14	1	1,978	0,2	7,4	29,6	3,4
14	2	1,95	0,2	8,4	32,2	4
14	3	1,759	0,3	9,5	34,4	4,7
14	4	1,435	0,4	10,4	36	5,2
14	5	1,147	0,4	11,1	36,9	5,8
14	6	1,281	0,5	11,7	37,2	6,2
14	7	1,337	0,6	12	36,8	6,5
14	8	1,22	0,6	12,1	35,9	6,6
14	9	1,054	0,7	12	34,7	6,7
14	10	1,025	0,7	11,7	33,2	6,6
14	11	0,999	0,7	11,3	31,6	6,5
14	12	1,086	0,7	10,8	29,9	6,3
14	13	1,113	0,7	10,2	27,9	5,9
14	14	1,141	0,7	9,5	25,8	5,6
14	15	1,219	0,7	8,8	23,7	5,1
14	16	1,191	0,6	8,1	21,8	4,7
14	17	1,376	0,6	7,4	19,9	4,3
14	18	1,311	0,5	6,8	18,3	4
14	19	1,209	0,5	6,2	16,7	3,7
14	20	1,179	0,4	5,7	15,3	3,3
14	21	1,137	0,4	5,2	14	3,1
14	22	1,058	0,4	4,8	12,8	2,8
14	23	0,955	0,3	4,4	11,7	2,6

Continuación tabla 110. Escorrentías reales y simuladas de la cuenca de Colina para la tormenta del 13-10-2006.

Día	Hora	Q (superficial)	Condiciones de humedad			Q (simulado)
			Q (simulado) I	Q (simulado) II	Q (simulado) III	Punta
14	24	0,838	0,3	4	10,7	2,3
15	1	0,717	0,3	3,6	9,8	2,1
15	2	0,603	0,3	3,3	8,9	2
15	3	0,497	0,2	3	8,1	1,8
15	4	0,402	0,2	2,8	7,4	1,6
15	5	0,32	0,2	2,5	6,8	1,5
15	6	0,252	0,2	2,3	6,2	1,4
15	7	0,192	0,2	2,1	5,7	1,2
15	8	0,133	0,2	1,9	5,2	1,1
15	9	0,071	0,1	1,8	4,7	1
15	10	0	0,1	1,6	4,3	0,9
15	11	0	0,1	1,5	3,9	0,9
15	12	0	0,1	1,3	3,6	0,8
15	13	0	0,1	1,2	3,3	0,7
15	14	0	0,1	1,1	3	0,7
15	15	0	0,1	1	2,7	0,6
15	16	0	0,1	0,9	2,5	0,5
15	17	0	0,1	0,9	2,3	0,5
15	18	0	0,1	0,8	2,1	0,5
15	19	0	0,1	0,7	1,9	0,4
15	20	0	0,1	0,6	1,7	0,4
15	21	0	0	0,6	1,6	0,3
15	22	0	0	0,5	1,5	0,3
15	23	0	0	0,5	1,3	0,3
15	24	0	0	0,5	1,2	0,3
16	1	0	0	0,4	1,1	0,2
16	2	0	0	0,4	1	0,2
16	3	0	0	0,3	0,9	0,2
16	4	0	0	0,3	0,8	0,2
16	5	0	0	0,3	0,8	0,2
16	6	0	0	0,3	0,7	0,2
16	7	0	0	0,2	0,6	0,1
16	8	0	0	0,2	0,6	0,1
16	9	0	0	0,2	0,5	0,1
16	10	0	0	0,2	0,4	0,1
16	11	0	0	0,1	0,3	0,1
16	12	0	0	0,1	0,2	0,1
16	13	0	0	0,1	0,2	0,1
16	14	0	0	0,1	0,2	0,1
16	15	0	0	0,1	0,1	0
16	16	0	0	0,1	0,1	0
16	17	0	0	0	0,1	0

Tabla 111. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta del 12-06-2000.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q (simulado) Punta</b>
14	10	0,1
14	11	0,2
14	12	0,3
14	13	0,4
14	14	0,6
14	15	0,9
14	16	1,2
14	17	1,5
14	18	1,9
14	19	2,1
14	20	2,1
14	21	1,8
14	22	1,4
14	23	1
14	24	0,7
15	1	0,5
15	2	0,3
15	3	0,2
15	4	0,1
15	5	0,1
15	6	0,1

Tabla 112. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta del 17-07-2001.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q (simulado) Punta</b>
18	24	0,1
19	1	0,2
19	2	0,6
19	3	1
19	4	1,4
19	5	1,6
19	6	1,8
19	7	1,8

Continuación tabla 112. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta del 17-07-2001.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q (simulado) Punta</b>
19	8	1,6
19	9	1,4
19	10	1,1
19	11	0,9
19	12	0,7
19	13	0,6
19	14	0,5
19	15	0,4
19	16	0,3
19	17	0,2
19	18	0,3
19	19	0,4
19	20	0,5
19	21	0,6
19	22	0,5
19	23	0,5
19	24	0,4
20	1	0,2
20	2	0,2
20	3	0,1
20	4	0,1

Tabla 113. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta del 22-07-2002.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q (simulado) Punta</b>
23	8	0,1
23	9	0,1
23	10	0,2
23	11	0,3
23	12	0,4
23	13	0,6
23	14	1
23	15	1,4

Continuación tabla 113. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta del 22-07-2002.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
23	16	1,8
23	17	2,2
23	18	2,6
23	19	3,8
23	20	6,4
23	21	8,9
23	22	9,8
23	23	8,3
23	24	6
24	1	4,3
24	2	3
24	3	2
24	4	1,3
24	5	0,9
24	6	0,6
24	7	0,4
24	8	0,3
24	9	0,2
24	10	0,1

Tabla 114. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 29-05-1997.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
30	8	0,1
30	9	0,4
30	10	0,7
30	11	0,9
30	12	0,8
30	13	0,7
30	14	0,6
30	15	0,6
30	16	0,6
30	17	0,6
30	18	0,5
30	19	0,5
30	20	0,5

Continuación tabla 114. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 29-05-1997.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
30	21	0,5
30	22	0,5
30	23	0,5
30	24	0,6
31	1	0,7
31	2	0,8
31	3	1
31	4	1,2
31	5	1,4
31	6	1,5
31	7	1,6
31	8	1,5
31	9	1,3
31	10	1
31	11	0,7
31	12	0,4
31	13	0,3
31	14	0,2
31	15	0,1
31	16	0,1

Tabla 115. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 12-06-2000.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
13	12	0,1
13	13	0,3
13	14	0,7
13	15	1,2
13	16	2,3
13	17	4,6
13	18	7,8
13	19	10,9
13	20	12,2
13	21	11,4
13	22	9,2
13	23	6,9
13	24	5,4
14	1	4,4
14	2	3,5
14	3	3,2
14	4	4,4

Continuación tabla 115. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 12-06-2000.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
14	5	7,7
14	6	12,4
14	7	16,9
14	8	19,7
14	9	20,6
14	10	20,6
14	11	20
14	12	18,9
14	13	18,1
14	14	18,3
14	15	19,6
14	16	21,2
14	17	22,8
14	18	24,2
14	19	24,7
14	20	22,9
14	21	18,5
14	22	13,4
14	23	9,1
14	24	6,1
15	1	4,2
15	2	2,8
15	3	1,9
15	4	1,2
15	5	0,7
15	6	0,4
15	7	0,2
15	8	0,1

Tabla 116. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 27-06-2000.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
27	15	0,1
27	16	0,2
27	17	0,3
27	18	0,3
27	19	0,6
27	20	1,1
27	21	1,6
27	22	1,7

Continuación tabla 116. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 27-06-2000.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
27	23	1,4
27	24	1
28	1	0,8
28	2	0,6
28	3	0,5
28	4	0,3
28	5	0,2
28	6	0,1
28	7	0,1
28	8	0,1

Tabla 117. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 17-07-2001.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
18	19	0,2
18	20	1,2
18	21	3,4
18	22	6,9
18	23	11
18	24	15,3
19	1	19,3
19	2	22,4
19	3	23,8
19	4	23,3
19	5	21,6
19	6	19,5
19	7	17,1
19	8	14,3
19	9	11,4
19	10	8,6
19	11	6,5
19	12	5,2
19	13	4,2
19	14	3,4
19	15	2,5
19	16	1,8
19	17	1,5
19	18	1,9
19	19	2,6
19	20	3,2
19	21	3,4

Continuación tabla 117. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 17-07-2001.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
19	22	3,2
19	23	2,7
19	24	2
20	1	1,4
20	2	0,9
20	3	0,6
20	4	0,4
20	5	0,3
20	6	0,2
20	7	0,1
20	8	0,1

Tabla 118. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 29-07-2001.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
30	6	0,2
30	7	0,5
30	8	1,5
30	9	3,4
30	10	5,7
30	11	7,2
30	12	7,3
30	13	6,2
30	14	5
30	15	4,2
30	16	3,4
30	17	2,7
30	18	2
30	19	1,6
30	20	1,3
30	21	1,2
30	22	1,1
30	23	0,9
30	24	0,9
31	1	1,2
31	2	1,4
31	3	1,4
31	4	1,1
31	5	0,7
31	6	0,5
31	7	0,3

Continuación tabla 118. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 29-07-2001.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
31	8	0,2
31	9	0,1
31	10	0,1
31	11	0,1

Tabla 119. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 19-07-2002.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
21	24	0,1
22	1	0,3
22	2	0,5
22	3	0,5
22	4	0,4
22	5	0,3
22	6	0,2
22	7	2,5
22	8	8,5
22	9	14,8
22	10	17,7
22	11	16,5
22	12	15,5
22	13	17,5
22	14	20,1
22	15	21,7
22	16	21,9
22	17	21,4
22	18	20,5
22	19	19,2
22	20	18,2
22	21	18,4
22	22	19,5
22	23	21,1
22	24	22,6
23	1	24,1
23	2	24,6
23	3	22,7
23	4	18,4
23	5	13,3
23	6	9
23	7	6,1
23	8	4,1

Continuación tabla 119. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 19-07-2002.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
23	9	2,8
23	10	1,8
23	11	1,4
23	12	1,7
23	13	2,3
23	14	2,7
23	15	2,8
23	16	3,2
23	17	4,1
23	18	4,9
23	19	5,3
23	20	5,3
23	21	5,2
23	22	5
23	23	4,6
23	24	4,3
24	1	4,4
24	2	4,4
24	3	4,2
24	4	3,8
24	5	3,5
24	6	3,3
24	7	3,3
24	8	3,2
24	9	3,2
24	10	3,2
24	11	3,3
24	12	3,6
24	13	4,2
24	14	5
24	15	5,8
24	16	6,5
24	17	7
24	18	7,1
24	19	8,4
24	20	11,9
24	21	15,2
24	22	15,8
24	23	12,8
24	24	9
25	1	6,3
25	2	4,2
25	3	2,8

Tabla 120. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 22-07-2002.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
22	19	0,1
22	20	0,3
22	21	0,6
22	22	1
22	23	1,4
22	24	1,9
23	1	2,6
23	2	3,2
23	3	3,5
23	4	3,5
23	5	3,5
23	6	3,7
23	7	3,9
23	8	4,1
23	9	4,3
23	10	4,6
23	11	5,1
23	12	5,8
23	13	7,2
23	14	8,9
23	15	10,9
23	16	12,7
23	17	14,1
23	18	14,8
23	19	14,2
23	20	12,2
23	21	9,3
23	22	6,4
23	23	4,2
23	24	2,7
24	1	1,8
24	2	1,1
24	3	0,7
24	4	0,4
24	5	0,3
24	6	0,1
24	7	0,1

Tabla 121. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 21-05-2003.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
21	23	0,9
21	24	3,1
22	1	5,7
22	2	8,1
22	3	9,2
22	4	9,7
22	5	10
22	6	10
22	7	9,9
22	8	9,6
22	9	9,1
22	10	8,9
22	11	9,2
22	12	9,6
22	13	9,3
22	14	8,5
22	15	7,9
22	16	7,7
22	17	7,6
22	18	7,6
22	19	7,6
22	20	7,9
22	21	8,3
22	22	9,2
22	23	10,8
22	24	13
23	1	15,4
23	2	17,5
23	3	18,9
23	4	19,4
23	5	18,3
23	6	15,5
23	7	11,8
23	8	8
23	9	5,2
23	10	3,4
23	11	2,2
23	12	1,4
23	13	0,9
23	14	0,6
23	15	0,3
23	16	0,2
23	17	0,1

Tabla 122. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 07-07-2003.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
7	16	0,3
7	17	1,7
7	18	3,6
7	19	5,1
7	20	5,1
7	21	3,9
7	22	2,5
7	23	1,7
7	24	1,3
8	1	1,4
8	2	2,1
8	3	3,2
8	4	4,8
8	5	7,4
8	6	11,1
8	7	14,7
8	8	16,4
8	9	15,3
8	10	12,4
8	11	9,6
8	12	7,7
8	13	6,1
8	14	4,6
8	15	3,4
8	16	2,6
8	17	2,2
8	18	1,9
8	19	1,7
8	20	1,4
8	21	1,4
8	22	1,8
8	23	2,1
8	24	2,1
9	1	1,6
9	2	1,1
9	3	0,7
9	4	0,4
9	5	0,3
9	6	0,2
9	7	0,1
9	8	0,1

Tabla 123. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 21-04-2004.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
21	10	0,1
21	11	0,3
21	12	0,6
21	13	0,7
21	14	0,6
21	15	0,4
21	16	0,3
21	17	0,2
21	18	0,1
21	19	0,1
21	20	0,1

Tabla 124. Escorrentías simuladas de la cuenca de Huechún para la tormenta hipotética del 26-08-2005.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Q<sub>(simulado)</sub> Punta</b>
28	20	0,1
28	21	0,2
28	22	0,4
28	23	0,5
28	24	0,5
29	1	0,4
29	2	0,3
29	3	0,2
29	4	0,1
29	5	0,1
29	6	0,1

### APÉNDICE III

#### Gráficos de las Escorrentías Reales y Simuladas

En los gráficos que se presentan se individualizan las crecidas reales y simuladas de todas las alternativas propuestas para las simulaciones.

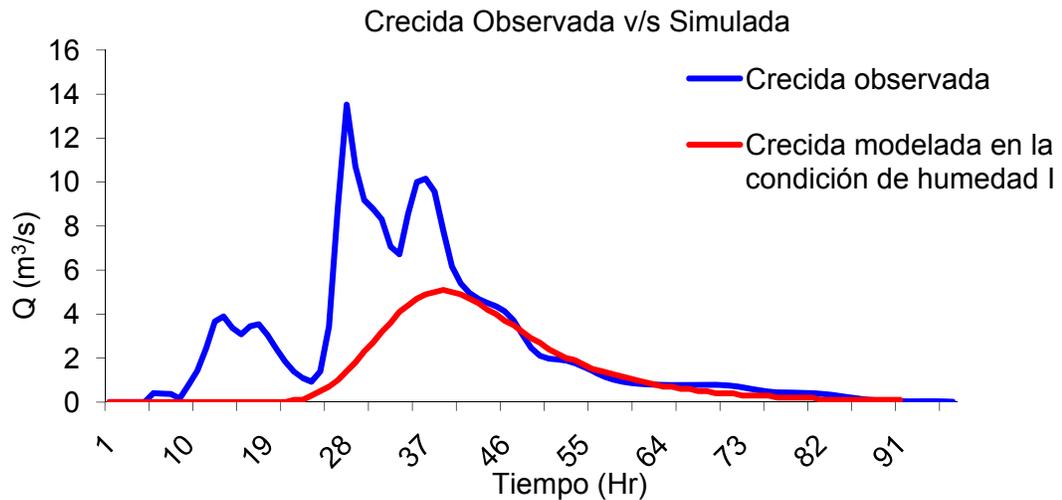


Gráfico 18. Comparación de las crecidas reales v/s las simuladas para la tormenta del 28-05-1997.

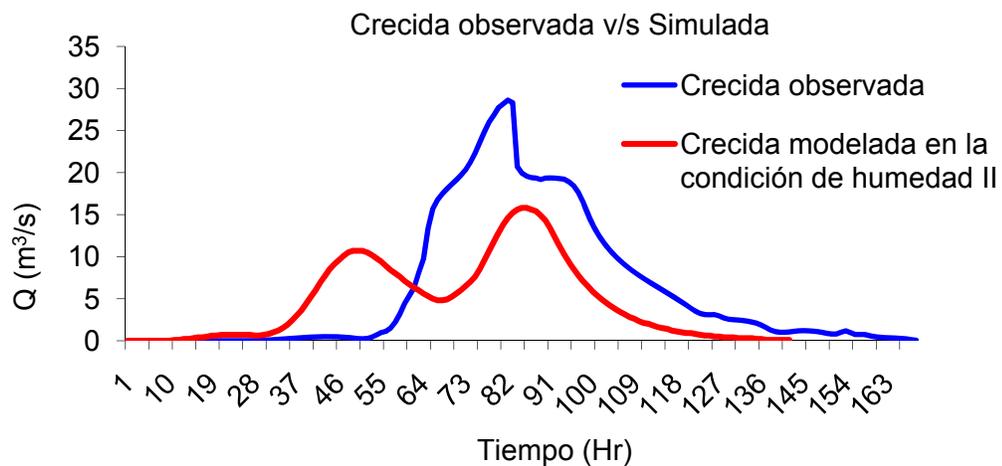


Gráfico 19. Comparación de las crecidas reales v/s las simuladas para la tormenta del 27-06-2000.

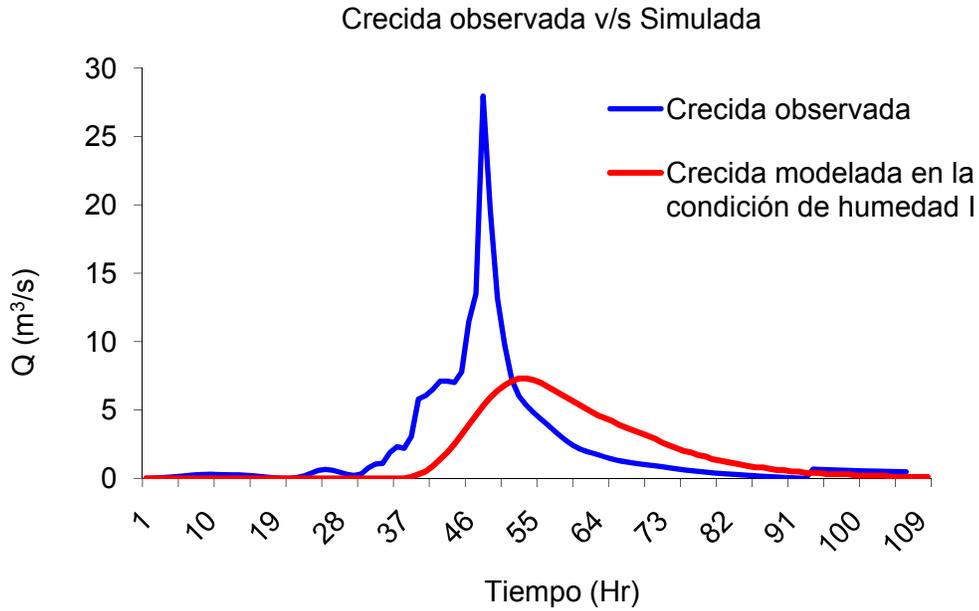


Gráfico 20. Comparación de las crecidas reales v/s las simuladas para la tormenta del 17-07-2001.

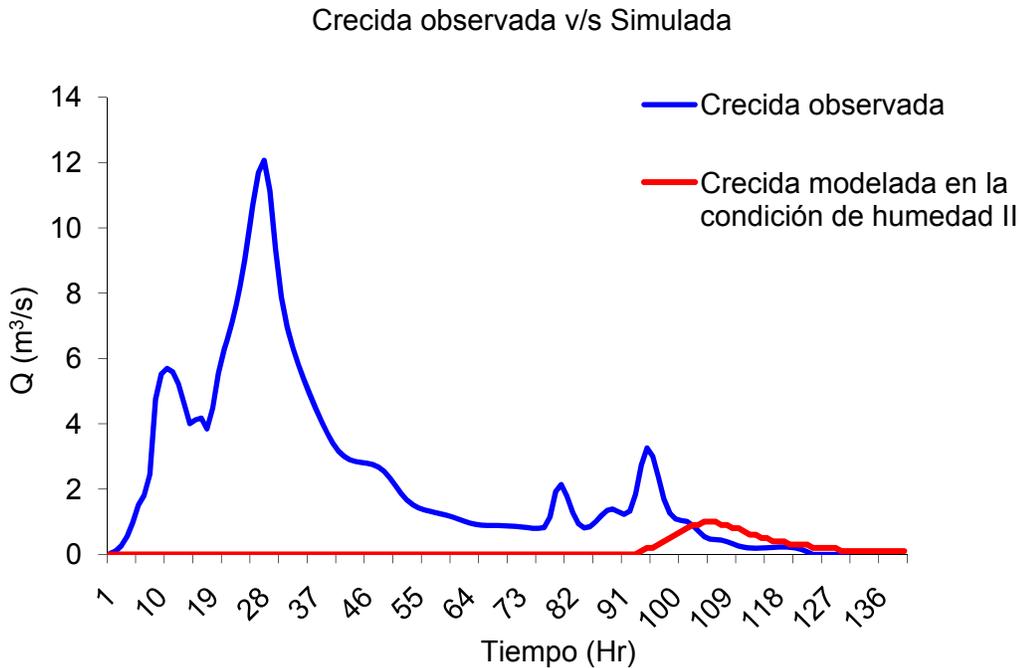


Gráfico 21. Comparación de las crecidas reales v/s las simuladas para la tormenta del 22-07-2002.

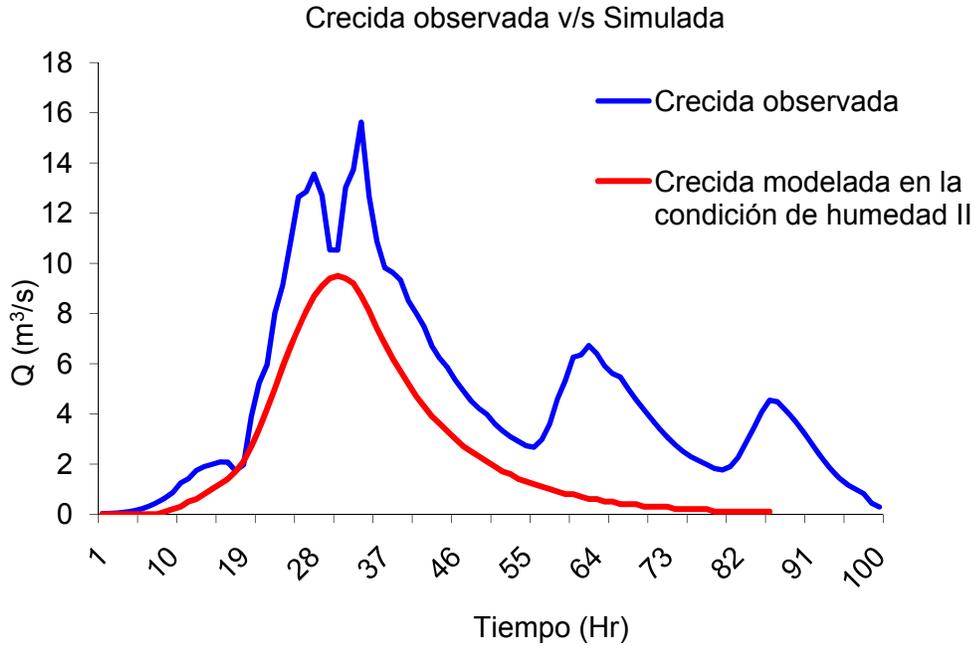


Gráfico 22. Comparación de las crecidas reales v/s las simuladas para la tormenta del 12-11-2004.

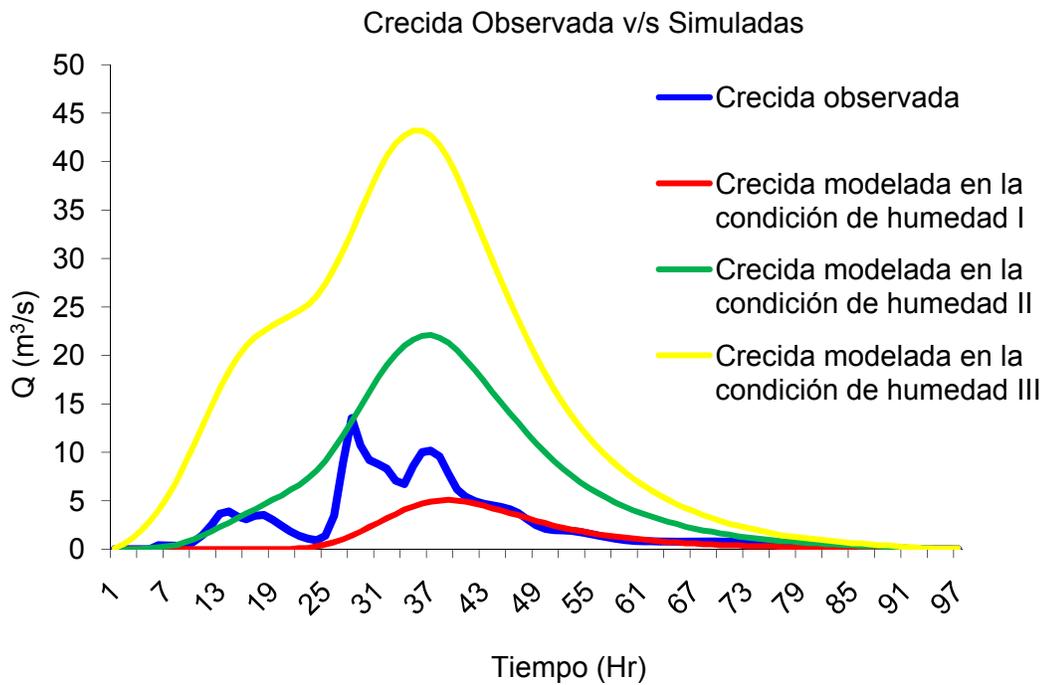


Gráfico 23. Comparación de las crecidas de la tormenta del 28-05-1997 para todas sus condiciones de humedad.

Crecida observada v/s Simuladas

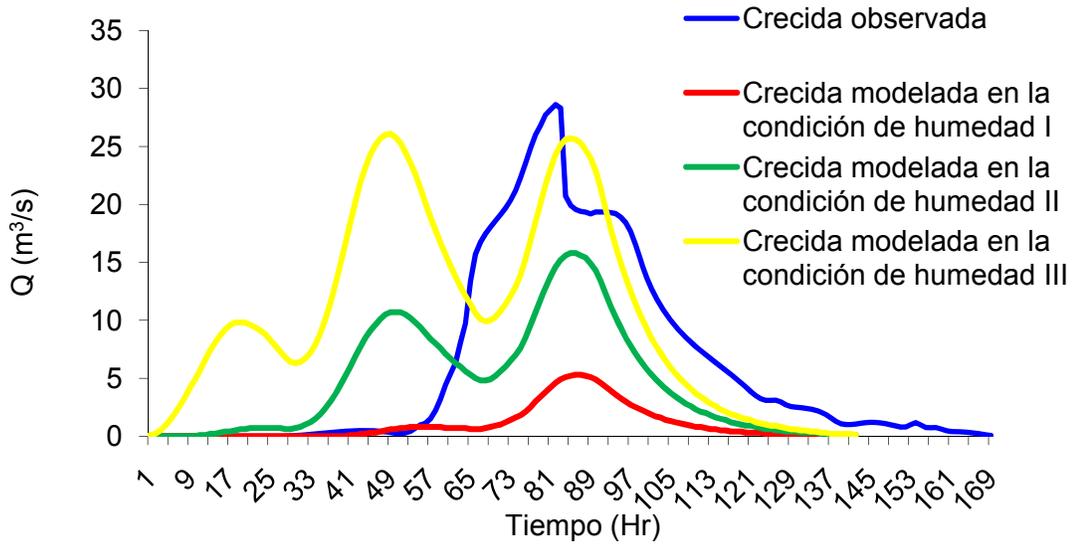


Gráfico 24. Comparación de las crecidas de la tormenta del 27-06-2000 para todas sus condiciones de humedad.

Crecida observada v/s Simuladas

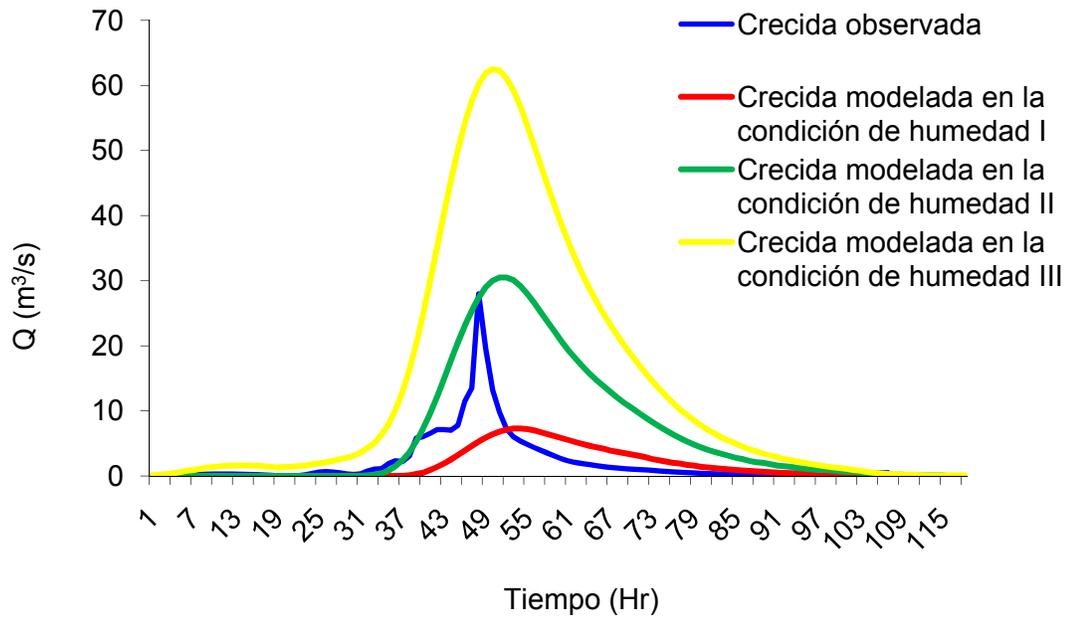


Gráfico 25. Comparación de las crecidas de la tormenta del 17-07-2001 para todas sus condiciones de humedad.

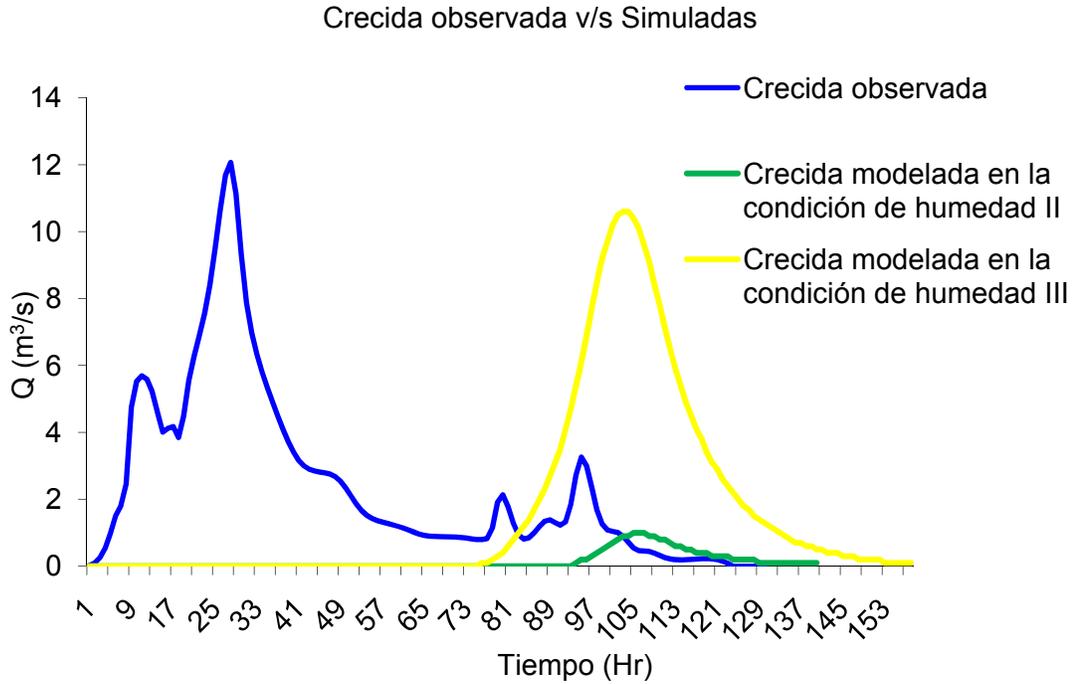


Gráfico 26. Comparación de las crecidas de la tormenta del 22-07-2002 para todas sus condiciones de humedad.

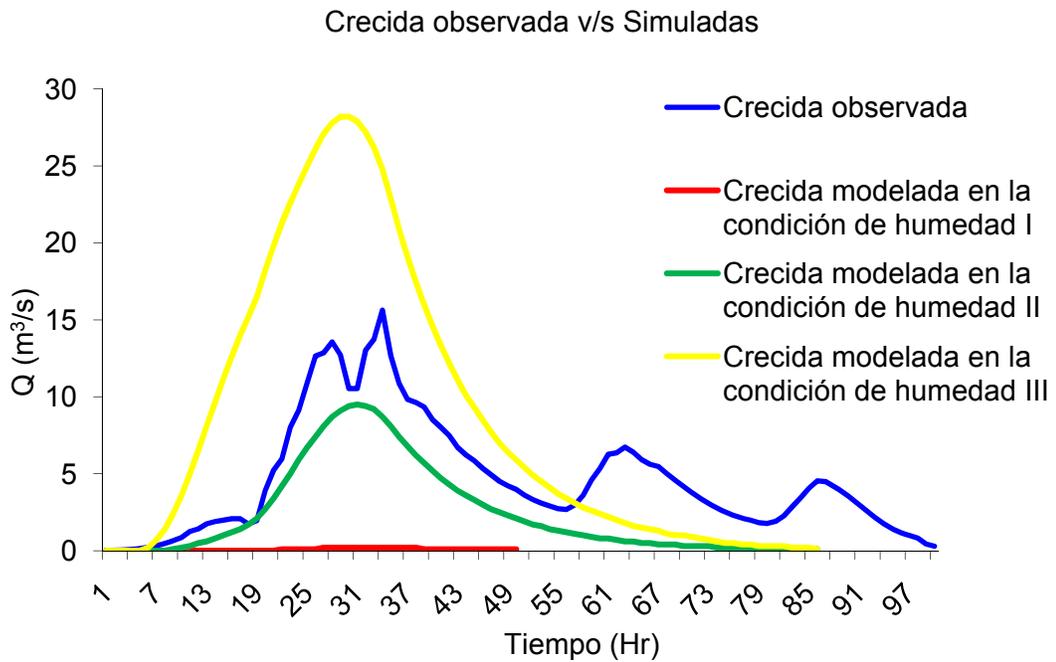


Gráfico 27. Comparación de las crecidas de la tormenta del 12-11-2004 para todas sus condiciones de humedad.

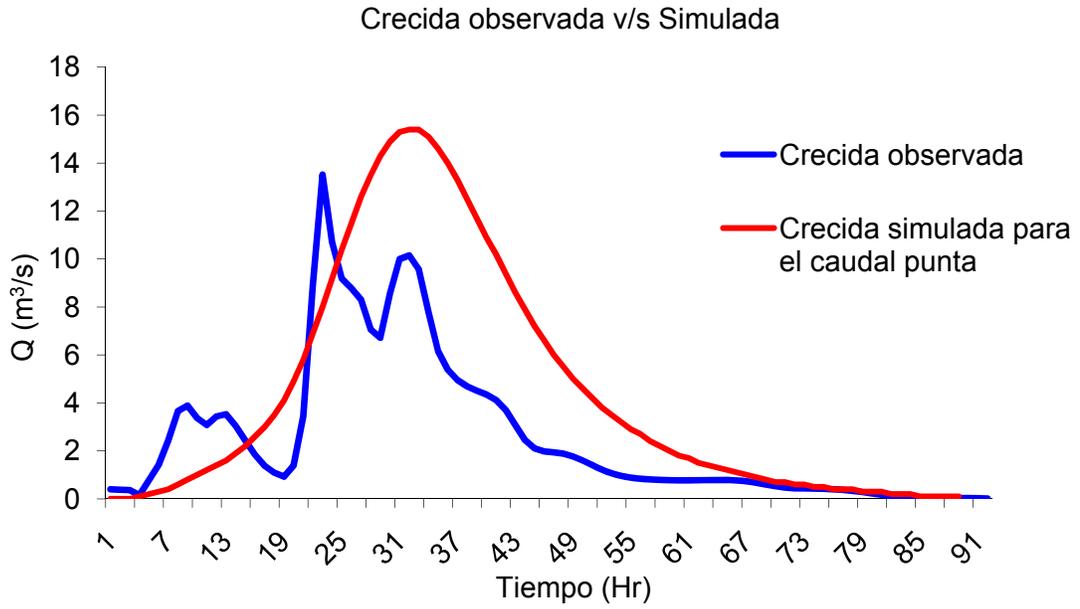


Gráfico 28. Comparación del caudal punta real y simulado para la tormenta del 28-05-1997.

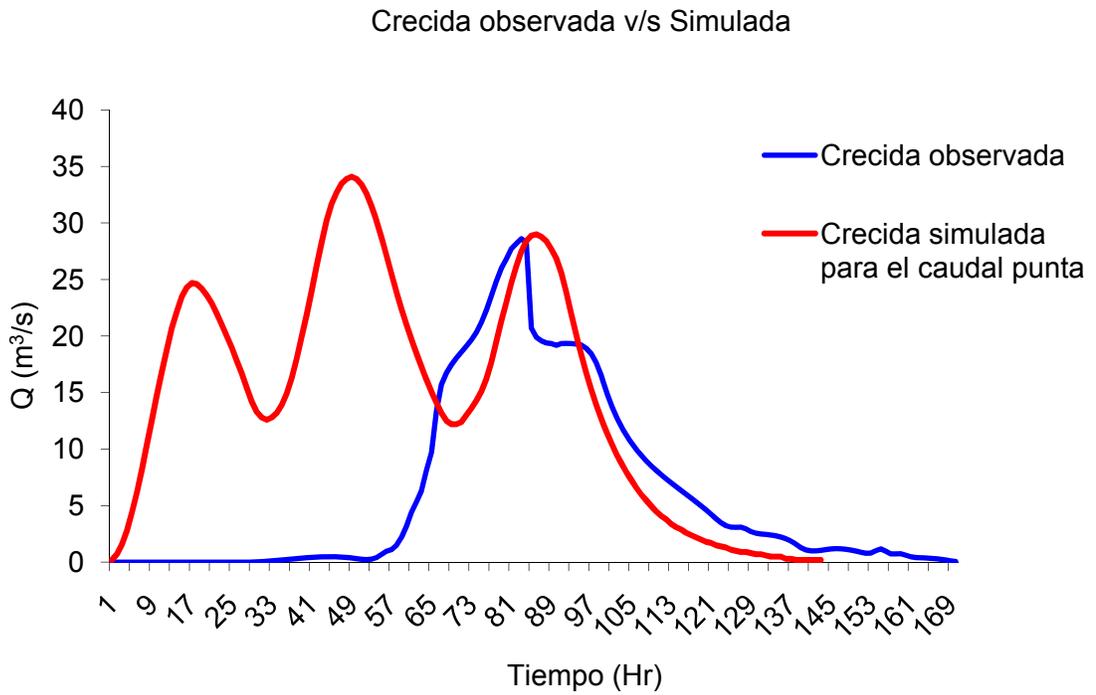


Gráfico 29. Comparación del caudal punta real y simulado para la tormenta del 27-06-2000.

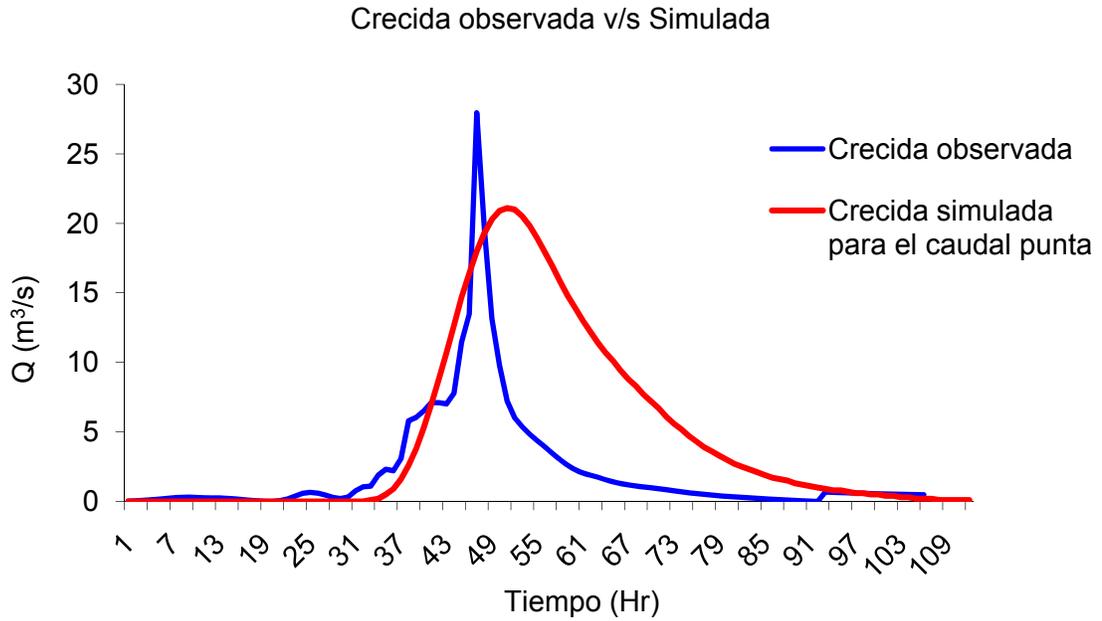


Gráfico 30. Comparación del caudal punta real y simulado para la tormenta del 17-07-2001.

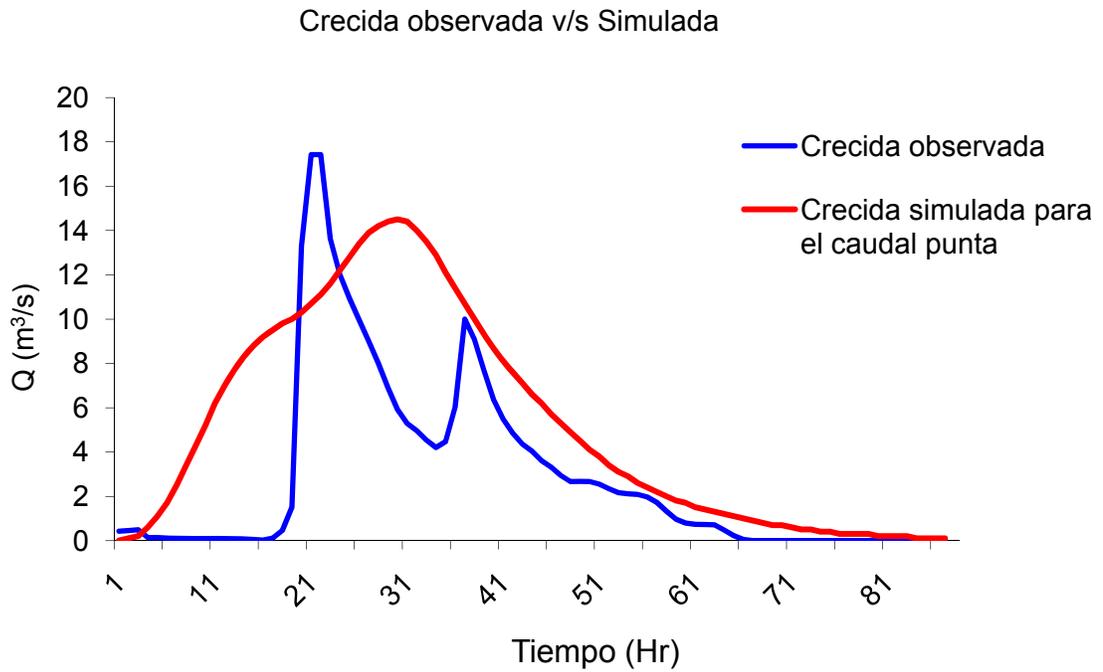


Gráfico 31. Comparación del caudal punta real y simulado para la tormenta del 29-07-2001.

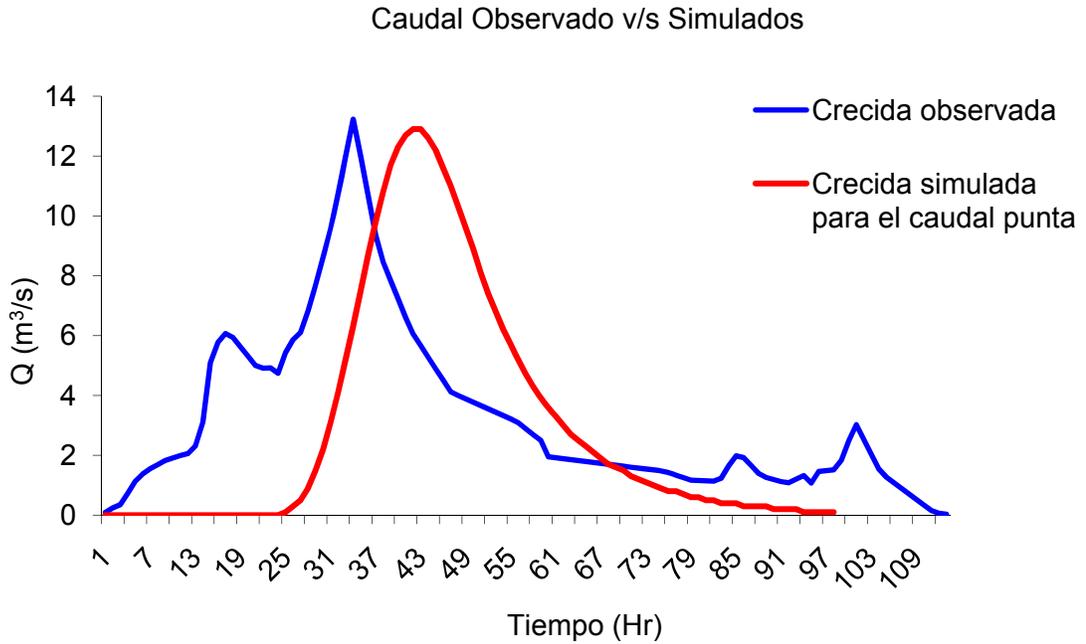


Gráfico 32. Comparación del caudal punta real y simulado para la tormenta del 19-07-2002.

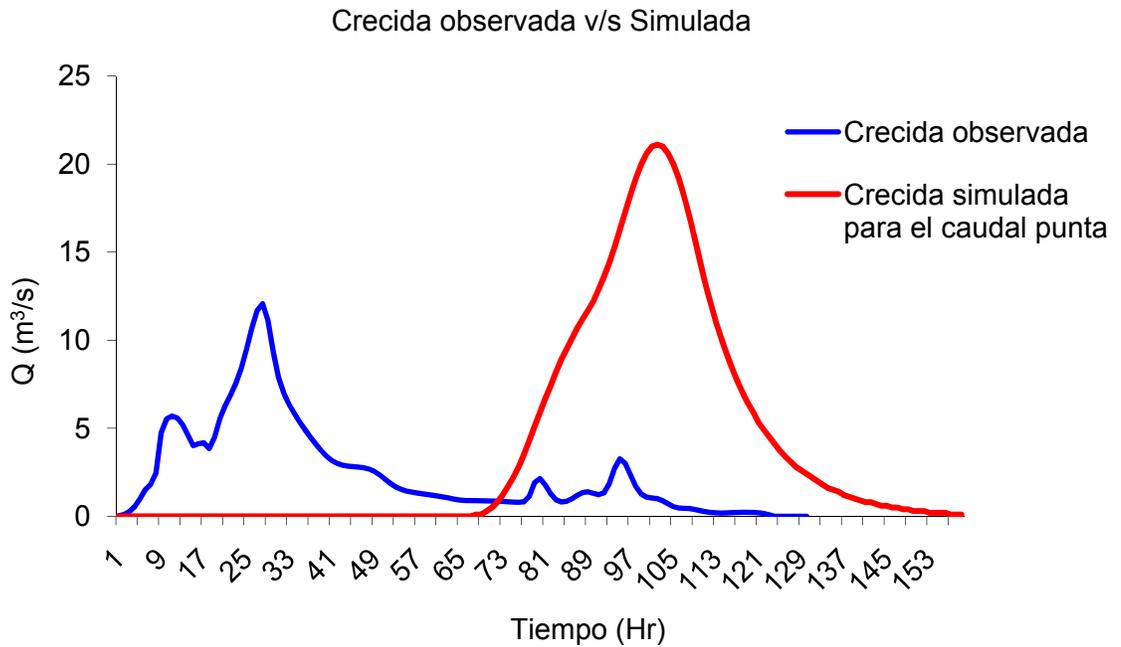


Gráfico 33. Comparación del caudal punta real y simulado para la tormenta del 22-07-2002.

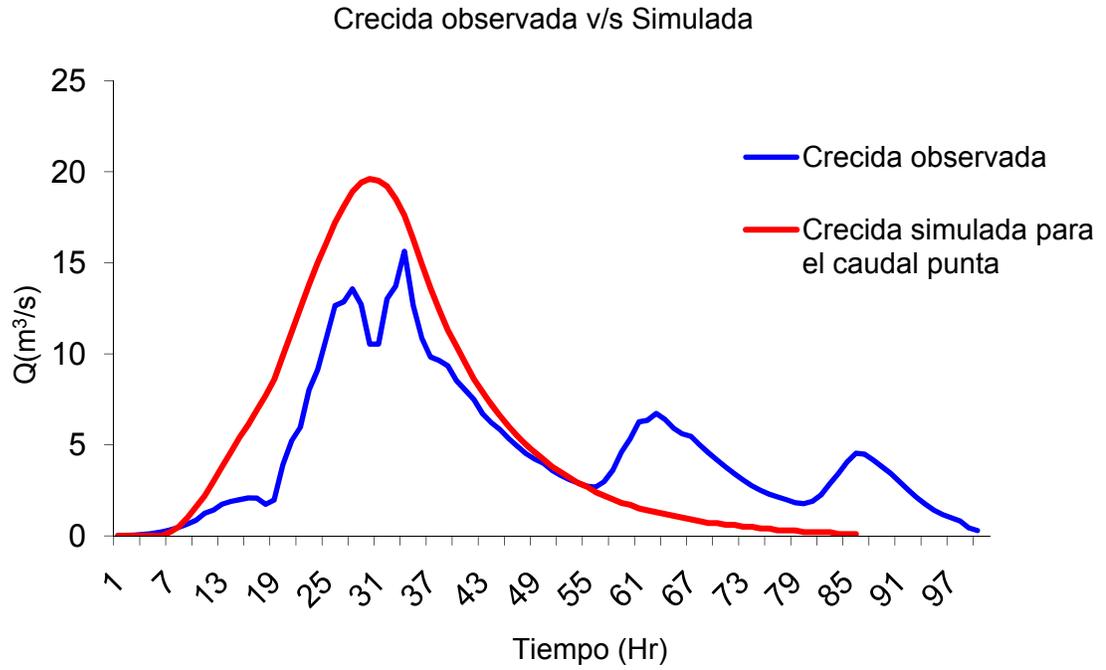


Gráfico 34. Comparación del caudal punta real y simulado para la tormenta del 12-11-2004.

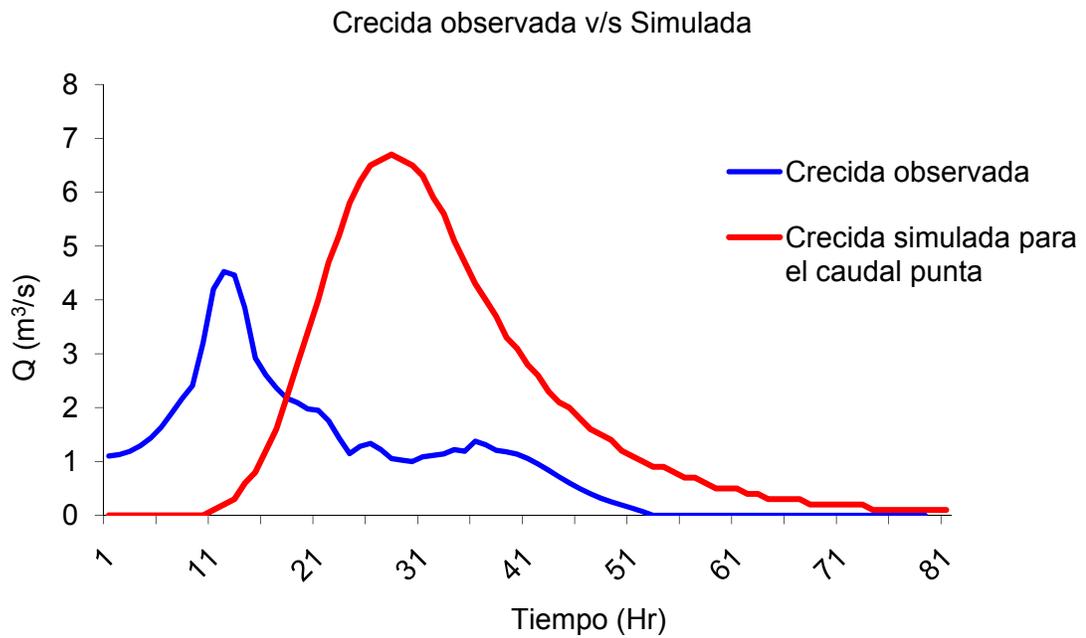


Gráfico 35. Comparación del caudal punta real y simulado para la tormenta del 13-10-2006.

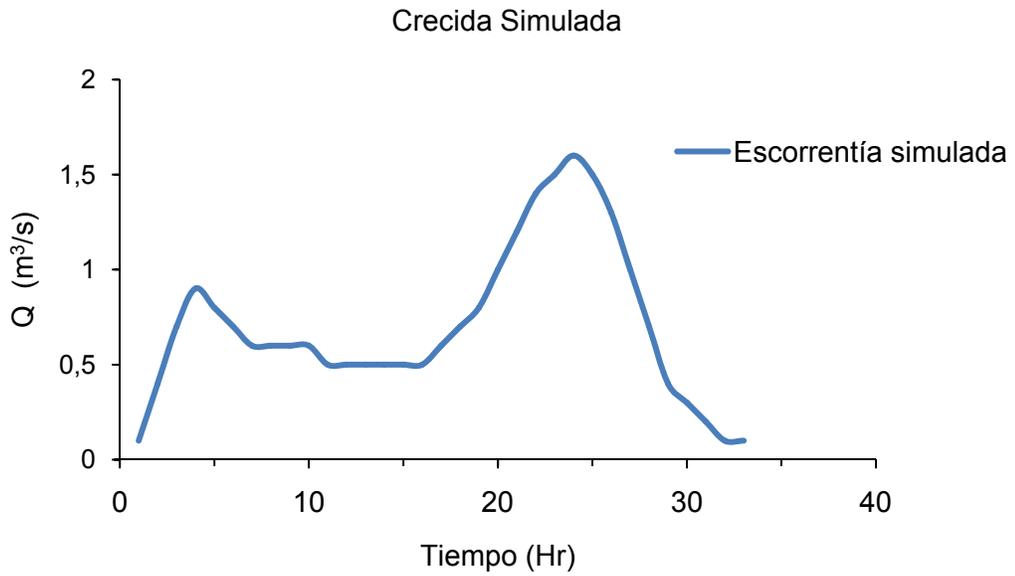


Gráfico 36. Crecida para la tormenta hipotética del 29-05-1997 de la cuenca de Huechún.

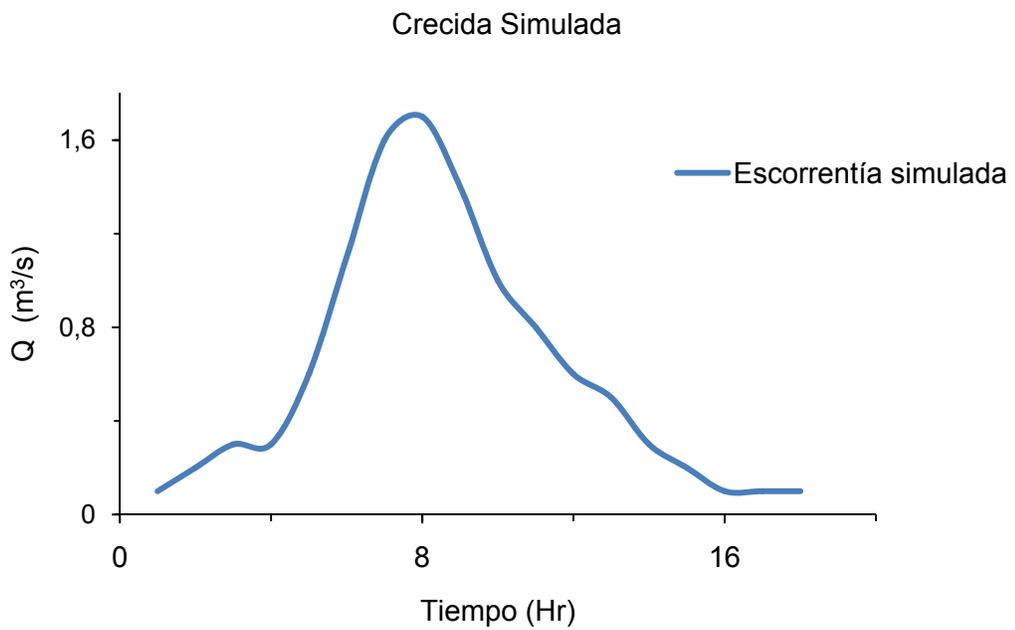


Gráfico 37. Crecida para la tormenta hipotética del 27-06-2000 de la cuenca de Huechún.

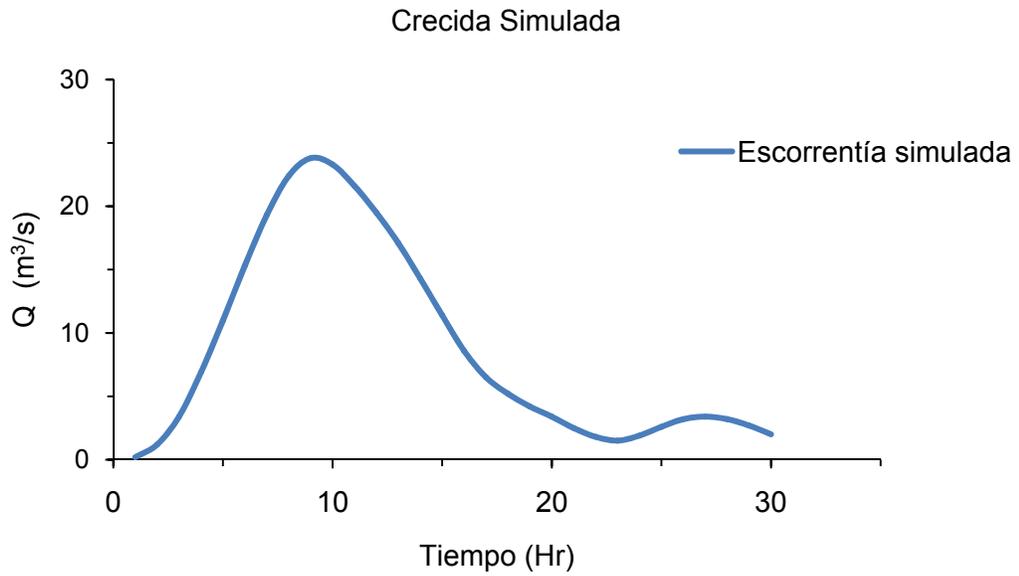


Gráfico 38. Crecida para la tormenta hipotética del 17-07-2001 de la cuenca de Huechún.

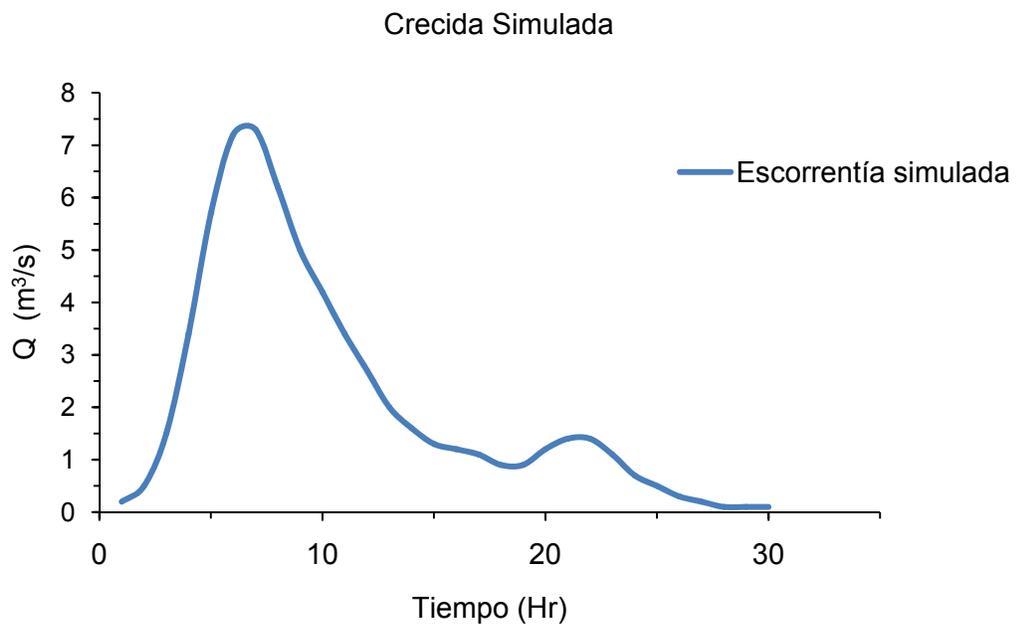


Gráfico 39. Crecida para la tormenta hipotética del 29-07-2001 de la cuenca de Huechún.

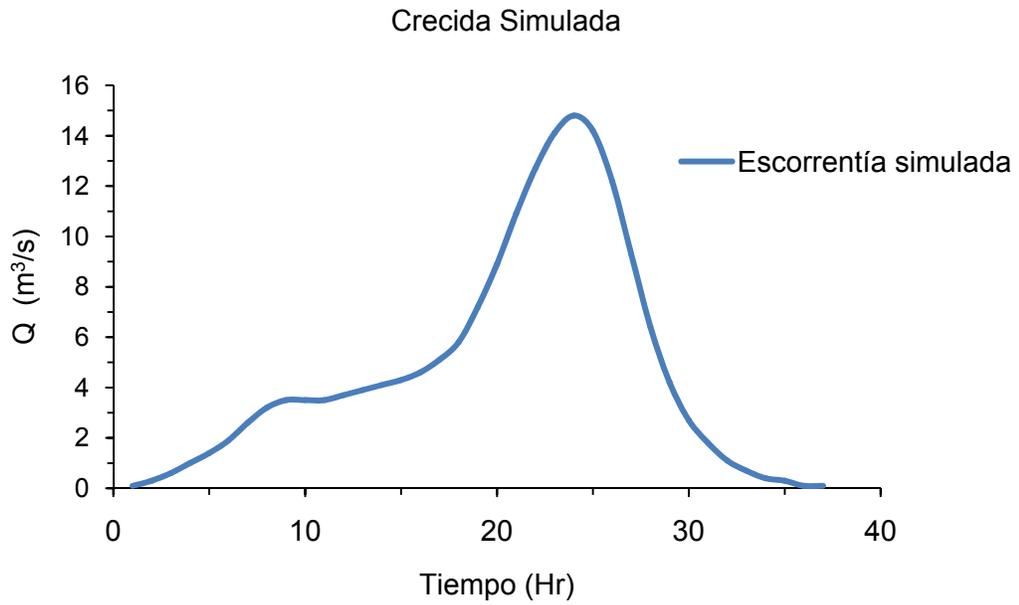


Gráfico 40. Crecida para la tormenta hipotética del 22-07-2002 de la cuenca de Huechún.

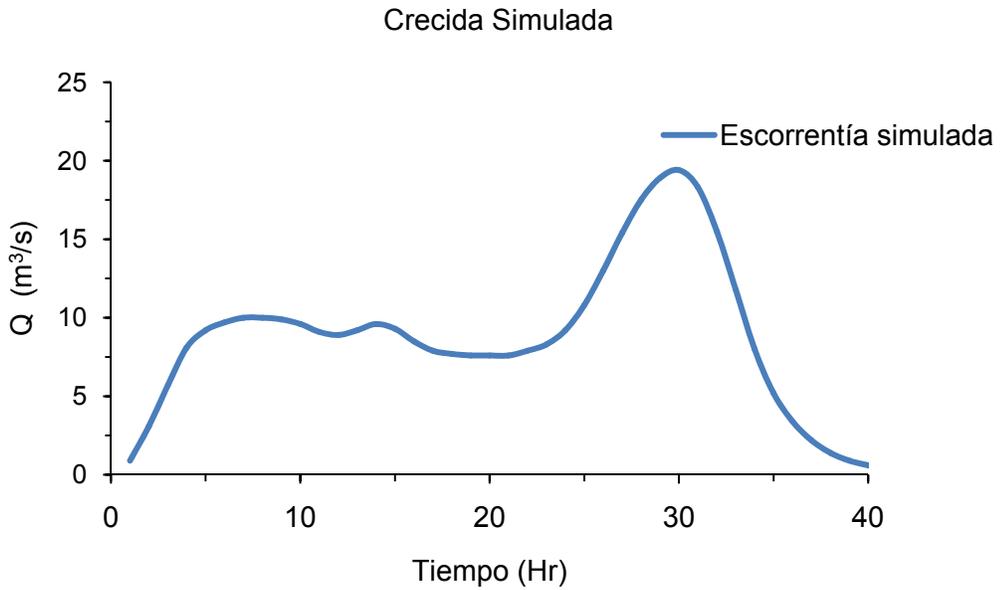


Gráfico 41. Crecida para la tormenta hipotética del 21-05-2003 de la cuenca de Huechún.

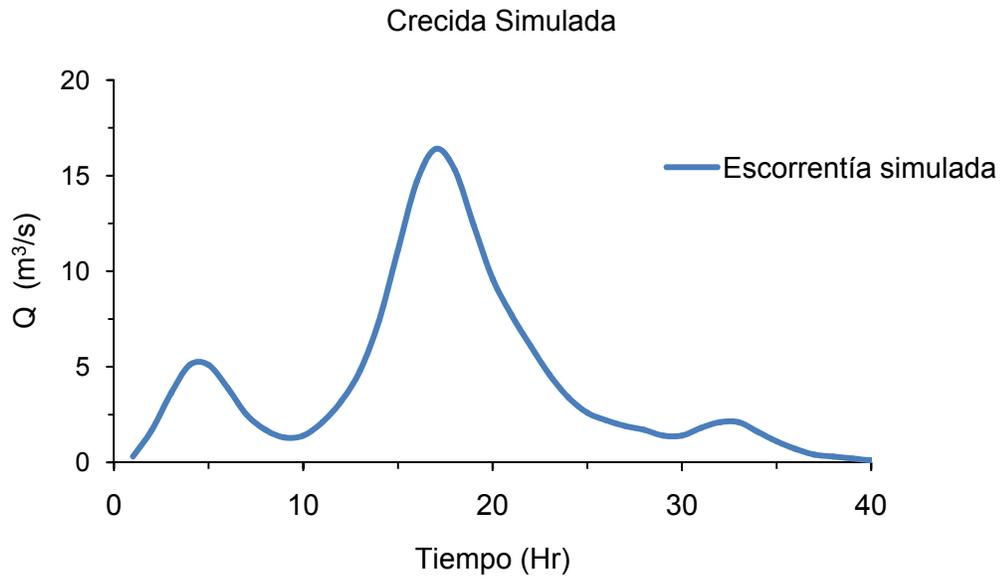


Gráfico 42. Crecida para la tormenta hipotética del 07-07-2003 de la cuenca de Huechún.

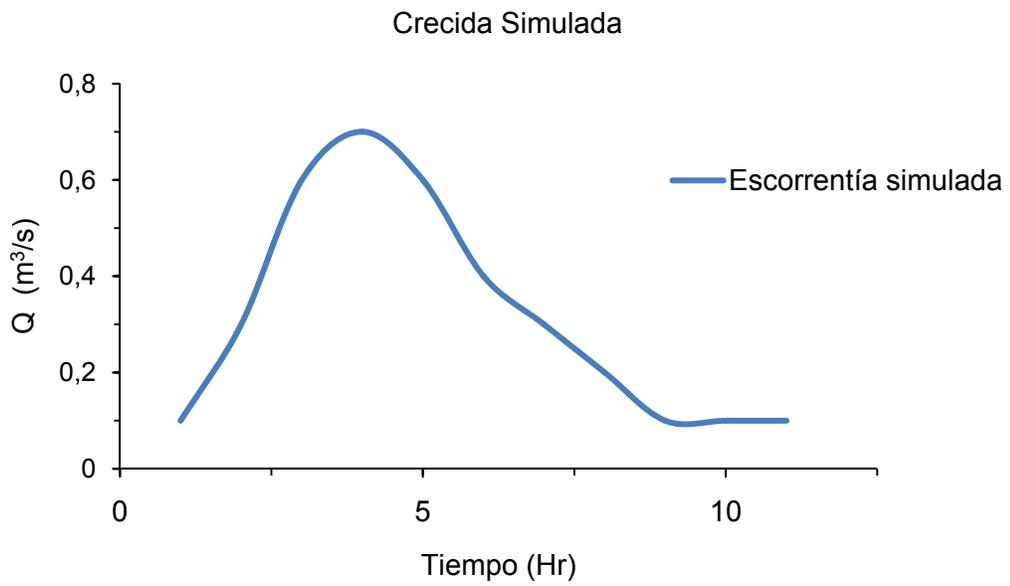


Gráfico 43. Crecida para la tormenta hipotética del 21-04-2004 de la cuenca de Huechún.

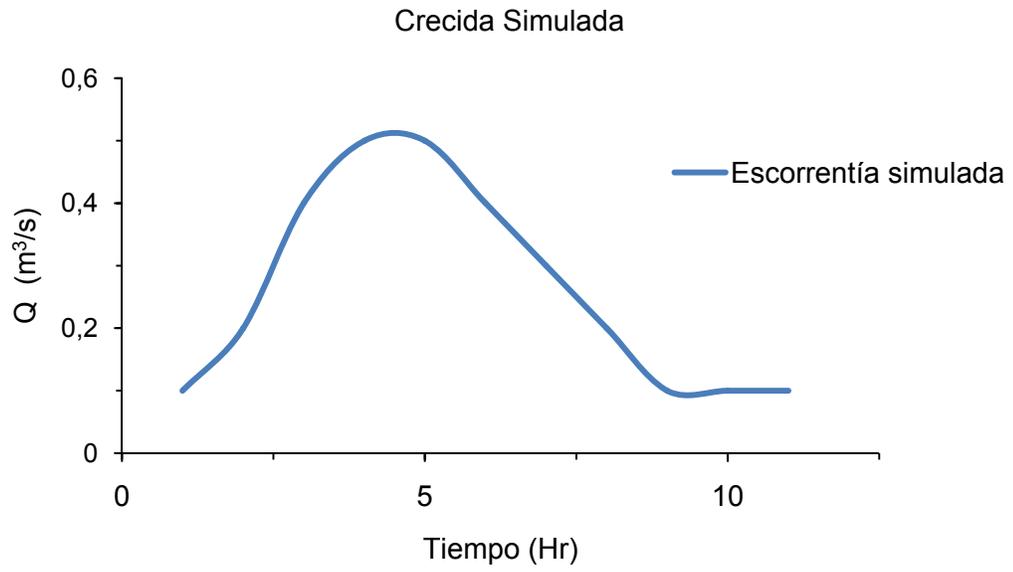


Gráfico 44. Crecida para la tormenta hipotética del 26-08-2005 de la cuenca de Huechún.