



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE PARAMETRIZACIONES ESPACIALES EN LA CALIBRACIÓN DEL  
MODELO HIDROLÓGICO TOPNET, APLICADO EN LA CUENCA DEL RÍO  
CAUTÍN, IX REGION**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**IGNACIO PATRICIO HENRÍQUEZ ROMERO**

**PROFESOR GUÍA:  
XIMENA VARGAS MESA.**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
JAMES MCPHEE TORRES.  
PABLO MENDOZA ZÚÑIGA.**

**SANTIAGO DE CHILE  
Mayo de 2014**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil  
POR: Ignacio Patricio Henríquez Romero  
FECHA: Mayo 2014  
PROF. GUÍA: Ximena Vargas Mesa

## **ANÁLISIS DE PARAMETRIZACIONES ESPACIALES EN LA CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO TOPNET, APLICADO EN LA CUENCA DEL RÍO CAUTÍN, IX REGION**

Uno de los temas de interés en hidrología es el pronóstico y la simulación de caudales con diversos fines. Para ello se utilizan modelos hidrológicos, que han ido aumentando en complejidad con el paso de los años, de manera de hacerlos más representativos a condiciones reales. En este contexto, en la zona del Río Cautín se ha implementado el modelo hidrológico TopNet, para modelar los caudales de las cuencas Río Cautín en Cajón, Río Cautín en Rariruca, Río Blanco en Curacautín, Río Muco en puente Muco y Río Collín en Codahue, considerando como constantes espaciales los parámetros principales de este modelo. En base a lo expuesto, el presente trabajo de título tiene como finalidad la realización de un análisis de las parametrizaciones espaciales en la calibración del modelo hidrológico TopNet, en su aplicación a la cuenca del Río Cautín, IX Región de Chile.

El objetivo general es analizar cómo afecta la incertidumbre asociada a los parámetros característicos del modelo TopNet y su efecto en la simulación de caudales en la cuenca del Río Cautín. Por ello se realizó una revisión tanto de los antecedentes y datos del sector, como un análisis de la bibliografía relativa al uso del modelo TopNet, de manera de comprender como afecta cada parámetro en los resultados. Las calibraciones se llevaron a cabo usando quince configuraciones de variación espacial, siendo estas las combinaciones de cuatro parámetros característicos asociados a: la (i) velocidad de escorrentía superficial ( $V$ ), (ii) coeficiente de rugosidad de Mannig ( $n$ ), (iii) conductividad hidráulica saturada ( $K_0$ ) y (iv) parámetro  $f$  de TOPMODEL ( $f$ ), considerando cada uno distribuido y no distribuido, de forma de observar el comportamiento de éstos bajo distintas situaciones.

Los resultados comparativos fueron obtenidos con distintas configuraciones, analizados y comparados utilizando el coeficiente de Nash-Sutcliffe. Dicho análisis muestra que existen variaciones entre los diferentes escenarios, aunque éstos no son de gran magnitud. Se aprecia que al no distribuir los parámetros  $K_0$  es el más sensible, presentando un leve aumento en el indicador. Por otro lado se obtuvo que el hecho de distribuir o no  $n$ , no influye en los resultados. Mientras que al modificar  $f$  y  $V$  se puede ver deficiencias.

En cuanto a los resultados obtenidos en cada cuenca, se puede concluir que no todas siguen el mismo comportamiento, en especial las estaciones Río Cautín en Rariruca y Río Blanco en Curacautín. Esto deja en notoria evidencia que los ponderadores tomados para la cuenca de la estación Río Cautín en Cajón, la cual contiene diversos tipos de topografía y propiedades de suelo, no coinciden con los ponderadores que necesitan estas estaciones, a su vez bajo una recalibración de la estación Río Blanco en Curacautín, se aprecia que se está considerando un nivel de almacenamiento en el follaje bajo, el cual corresponde a ajustar el nivel de precipitación alto que se consideró en esa zona.

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres Pilar Romero y Patricio Henríquez, por su incondicional comprensión y ayuda en los momentos más difíciles, además del gran apoyo que he recibido de las personas que conforman el núcleo familiar en los que ellos me han hecho participe.

En segundo lugar, quiero expresarle todo mi agradecimiento a mi novia Natalia Fredes la que junto con el apoyo de su familia, han sido piezas claves para este logro.

En el ámbito académico, quiero agradecer a la profesora Ximena Vargas, la cual me dio la increíble posibilidad de formarme como profesional, como a su vez a los distintos profesores del departamento que con sus consejos y enseñanzas, llegué donde estoy.

En cuanto a la realización de la tesis, quiero agradecer a Miguel Lagos del cual recibí ayuda incondicional, como también a Pablo Mendoza, el cual me ayudo de una forma increíble y que sin él esta tesis no hubiera llegado a ser lo que es.

También quiero agradecer a mis amigos del departamento, los cuales siempre estuvieron para hacer equipo conmigo, destacando a Felipe Vargas, Sebastián Fernández A. e Ivo Balic. Por otra parte quiero hacer mención a mis amigos de carrera Francisco Vilches y Richard Hinojosa, los cuales son de los tantos amigos que estuvieron compartiendo conmigo en mis años de estudiante.

Finalmente quiero agradecer a la universidad, más que como institución, sino a las personas que la conforman y que me permitieron llegar a ser profesional.

# Tabla de contenido

<b>1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1.	Motivación .....	1
1.2.	Objetivos .....	2
1.3.	Organización del informe .....	2
<b>2.</b>	<b>Antecedentes Generales.....</b>	<b>3</b>
2.1.	Descripción general del modelo TopNet .....	3
2.1.1.	Generalidades.....	3
2.1.2.	Fundamentos físicos de TopNet.....	4
2.1.3.	Rastreo de caudales en la red hidrográfica .....	5
2.2.	Principales resultados de Mendoza [2010] .....	7
2.2.1.	Generalidades.....	7
2.2.2.	Cuenca del Río Cautín en Cajón.....	7
2.2.3.	Configuración del modelo .....	8
2.2.4.	Resultados e implicaciones .....	10
<b>3.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>13</b>
3.1.	Consideraciones .....	13
3.1.1.	Archivos de entrada .....	13
3.1.2.	Información disponible .....	13
3.2.	Parámetros de interés .....	14
3.2.1.	Coefficiente de rugosidad de Manning “n” .....	15
3.2.2.	Velocidad de escurrimiento superficial “V” .....	17
3.2.3.	Conductividad hidráulica saturada “K <sub>0</sub> ” .....	18
3.2.4.	Parámetro f de TOPMODEL .....	20
3.3.	Calibración de ponderadores. ....	21
3.3.1.	Calibración y validación .....	21
3.3.2.	Modificación de información topográfica .....	22
3.3.3.	Parámetros no distribuidos espacialmente .....	22
3.3.4.	Escenarios modelados.....	22
3.3.5.	Calibración de ponderadores .....	23
3.4.	Métodos de evaluación y obtención de información .....	24
3.4.1.	Evaluación en distintas estaciones fluviométricas .....	24
3.4.2.	Evaluación según distintas métricas .....	24
3.4.3.	Gráficos de análisis .....	28
<b>4.</b>	<b>Resultados y análisis .....</b>	<b>30</b>
4.1.	Calibraciones .....	30
4.1.1.	Escenario Base .....	30
4.1.2.	Escenarios con parámetros no distribuidos.....	30
4.2.	Evaluación de resultados en estaciones fluviométricas .....	31
4.2.1.	Resultados y análisis en la estación Río Cautín en Cajón .....	32
4.2.2.	Funciones y métricas evaluadas en estación Río Cautín en Rariruca.....	35
4.2.3.	Funciones y métricas evaluadas en estación Río Blanco en Curacautín .....	38

4.2.4.	Funciones y métricas evaluadas en estación Río Muco en puente Muco .....	43
4.2.5.	Funciones y métricas evaluadas en estación Río Collín en Codahue .....	46
<b>5.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>49</b>
5.1.	Parámetros de interés y resultados .....	49
5.1.1.	Velocidad de escurrimiento superficial “V” .....	49
5.1.2.	Coefficiente de rugosidad de Manning “n” .....	50
5.1.3.	Parámetro f de TOPMODEL “f” .....	50
5.1.4.	Conductividad hidráulica saturada “K <sub>0</sub> ” .....	51
5.1.5.	Tendencia de los parámetros de interés .....	52
5.1.6.	Resultados bajo de función Nash-Sutcliffe .....	52
5.2.	Recomendaciones .....	52
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>53</b>
	<b>Anexo A .....</b>	<b>55</b>
	<b>Anexo B .....</b>	<b>65</b>
	<b>Anexo C .....</b>	<b>75</b>
	<b>Anexo D .....</b>	<b>101</b>

## Índice de Tablas

2.1. Estaciones fluviométricas interiores en la cuenca del Río Cautín en Cajón. ....	8
2.2. Set de parámetros final obtenidos en la etapa de calibración de TopNet.....	11
2.3. Estadísticos de las series de caudales horarios observada y simulada con TopNet. Con calibración para el periodo 01/04/2002 - 01/04/2005.....	12
2.4. Coeficientes de evaluación de TopNet. Con calibración para el periodo 01/04/2002 - 01/04/2005.....	12
3.1. Set de parámetros de interés. ....	14
3.2. Valor medio de los coeficientes que conforman el Coeficiente de rugosidad de Manning ...	16
3.3. Valores del parámetro $a$ para distintos tipos de cubierta de suelos .....	17
3.4. Parámetro $K_0$ obtenido del análisis de la información en los diferentes estratos de series de suelo en la cuenca del Río Cautín. Donde LOP: Los Prados; LCP: La Compañía; SBA: Santa Bárbara; LON: Lonquimay.....	19
3.5. Parámetro $m$ obtenido del análisis de la información en los diferentes estratos de series de suelo en la cuenca del Río Cautín. Donde LOP: Los Prados; LCP: La Compañía; SBA: Santa Bárbara; LON: Lonquimay.....	20
3.6. Valores de Parámetros no distribuidos espacialmente. ....	22
3.7. Escenarios modelados. Las celdas con "X" presentan los parámetros distribuidos, mientras que las celdas con "O" los no distribuidos .....	23
4.1. Set de parámetros final a escala diaria. Calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005. ....	30
4.2. Resultados de NS para la cuenca de Río Cautín en Cajón, con los escenarios calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005, en donde los valores marcados con azul representan parámetros distribuidos, mientras que los rojos los no distribuidos.....	31
4.3. Evaluación de funciones y métricas para la estación Río Cautín en Cajón, con los escenarios calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005. ....	32
4.4. Escenarios favorables y desfavorables en función de las métricas calculadas para la estación Río Cautín en Cajón, para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.....	32
4.5. Evaluación de funciones y métricas para la estación Río Cautín en Rariruca, con los escenarios calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.....	35
4.6. Escenarios favorables y desfavorables en función de las métricas calculadas para la estación Río Cautín en Rariruca, para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.....	35
4.7. Resultados de las simulaciones, para la evaluación de $f$ en la estación Río Cautín en Rariruca, para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.....	37
4.8. Evaluación de funciones y métricas para la estación Río Blanco en Curacautín, con los escenarios calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.....	38
4.9. Escenarios favorables y desfavorables en función de las métricas calculadas para la estación Río Blanco en Curacautín, para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005. ....	38

4.10. Set de parámetros final a escala diaria para la estación Río Blanco en Curacautín. Calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005. ....	40
4.11. . Resultados de NS para la cuenca de Río Cautín en Cajón, con los escenarios recalibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005, en donde los valores marcados con azul representan parámetros distribuidos, mientras que los rojos los no distribuidos.....	40
4.12. Evaluación de funciones y métricas para la estación Río Blanco en Curacautín, con los escenarios recalibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.....	41
4.13. Evaluación de funciones y métricas para la estación Río Muco en puente Muco, con los escenarios calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.....	43
4.14. Escenarios favorables y desfavorables en función de las métricas calculadas para la estación Río Muco en puente Muco, para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.....	43
4.15. Evaluación de funciones y métricas para la estación Río Collín en Codahue, con los escenarios calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.....	46
4.16. Escenarios favorables y desfavorables en función de las métricas calculadas para la estación Río Collín en Codahue, para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005. ....	46
5.1. Resultado del comportamiento de parámetros, asociados a cada estación fluviométrica. ....	49
5.2. Comparación de escenarios con n distribuido y no distribuido.....	50

## Índice de Ilustraciones

2.1. Esquema conceptual con las componentes de balance hidrológico por TopNet.....	5
2.2. Ubicación de la cuenca del Río Cautín en Cajón .....	7
2.3. Ubicación de asentamientos urbanos tanto dentro como en las cercanías de la cuenca del Río Cautín en Cajón, Datum PSAD56, Huso 19.....	8
2.4. Subcuenas delineadas con el programa TauDEM a partir de los cauces de orden 1 según la clasificación topológica de Strahler.....	9
2.5. Variación del coeficiente de Nash-Sutcliffe al alterar en forma separada cada parámetro ....	11
3.1. Distribución del Coeficiente de rugosidad de Manning, basada en el estudio de Mendoza [2010]. .....	16
3.2. Distribución de la Velocidad de escorrentía superficial, basada en el estudio de Mendoza [2010]. .....	17
3.3. Distribución espacial de las series de suelos en la cuenca del Río Cautín en Cajón. Donde LOP: Los Prados; LCP: La Compañía; SBA: Santa Bárbara; LON: Lonquimay .....	18
3.4. Distribución de la conductividad hidráulica saturada, basada en el estudio de Mendoza [2010]. .....	19
3.5. Distribución del Factor $f$ de TOPMODEL, basada en el estudio de Mendoza [2010]. .....	21
3.6. Caudales observados en estaciones fluviométricas, en el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.	29
4.1. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Cautín en Cajón. Gráficos de nube de puntos y Curva de duración para el escenario Base, en el periodo abril/2002-abril/2005.....	33
4.2. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005. ....	33
4.3. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.	33
4.4. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Cautín en Rariruca. Gráficos de nube de puntos y Curva de duración para el escenario Base, en el periodo abril/2002-abril/2005.....	36
4.5. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005. ....	36
4.6. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005. ....	36
4.7. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Blanco en Curacautín. Gráficos de nube de puntos y Curva de duración para el escenario Base, en el periodo abril/2002-abril/2005.....	39
4.8. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005. ....	39



4.9. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.....	39
4.10. Caudales medios diarios observados y simulados corregidos con TopNet en la Estación Río Blanco en Curacautín. Gráficos de nube de puntos y Curva de duración para el escenario Base, en el periodo abril/2002-abril/2005. ....	41
4.11. Caudales medios diarios observados y simulados corregidos con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.....	41
4.12. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Muco en puente Muco. Gráficos de nube de puntos y Curva de duración para el escenario Base, en el periodo abril/2002-abril/2005.....	44
4.13. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005....	44
4.14. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.....	44
4.15. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Collín en Codahue. Gráficos de nube de puntos y Curva de duración para el escenario Base, en el periodo abril/2002-abril/2005.....	47
4.16. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.....	47
4.17. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005. ....	47

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Motivación

La hidrología es la ciencia encargada del estudio y cuantificación de los recursos hídricos tanto en zonas naturales como urbanas, siendo vital para el hombre en su coexistir con éstas. Dado que se centra en lugares donde ocurren frecuentes inundaciones, resulta de interés simular los hidrogramas de crecidas principalmente con fines de pronóstico, para adoptar medidas que permitan mitigar los efectos negativos de estos eventos. Para ello se utilizan modelos de simulación hidrológica entre los que se encuentra el modelo semidistribuido TopNet, que ha sido utilizado en diversos estudios [Bandaragoda et al., 2004; Clark et al., 2008; Mendoza, 2010; Quezada, 2010]. Este trabajo abarca el análisis del modelo TopNet en la cuenca del Río Cautín, con el fin de estudiar cómo afecta la variación espacial de cuatro parámetros característicos de este modelo en la simulación de caudal en la zona.

Cualquiera que sea el grado de complejidad de un modelo hidrológico, siempre habrá fuentes de incertidumbre comunes en todos ellos, como: a los valores de sus parámetros, la estructura del modelo y sus forzantes. De esta forma la naturaleza distribuida de TopNet permite analizar en detalle los procesos hidrológicos que se llevan a cabo en la cuenca, requiriendo gran cantidad de información y una distribución espacial de sus parámetros, lo que agrega mayor incertidumbre a los resultados. Sin embargo la distribución espacial de los parámetros del modelo, ha sido previamente recopilada por Mendoza [2010] en la zona de interés, lo que permite avanzar en una línea ya definida.

Una fortaleza importante al aplicar modelos distribuidos en cuencas heterogéneas, es la capacidad de inferir valores de parámetros a partir de información espacial, mediante el establecimiento de relaciones físicas o conceptuales entre las características observables de una cuenca hidrográfica y la información de los procesos hidrológicos representados en el modelo. No obstante, pueden surgir dificultades cuando los parámetros se definen mediante relaciones basadas con diferentes escalas, por lo cual se debe tener especial énfasis en la heterogeneidad considerada, de forma de garantizar un ajuste coherente que se adecue entre el comportamiento de salida y la información disponible.

Actualmente se están aplicando una serie de técnicas de ajuste de parámetros, con el fin de mejorar el rendimiento de modelos distribuidos. Esto se hace mediante asimilación de información proveniente de diversas fuentes de datos, además del uso de múltiples criterios de enfoque. Aunque es posible que este paso se convierta en innecesario, ya que no se tiene certeramente un diagnóstico de las causas que provocan deficiencias en el rendimiento, de manera de proporcionar una orientación significativa para su mejora. Lo anterior señala la necesidad de realizar experimentos que permitan abrirse paso ante éstas interrogantes, de forma de encontrar nuevos enfoques que proporcionen mejores soluciones, como a su vez un mayor nivel de eficiencia en las modelaciones.

Finalmente este trabajo busca analizar cómo afecta la distribución espacial de algunos parámetros a la fidelidad de las simulaciones hidrológicas obtenidas mediante modelos distribuidos de base física. Utilizando el coeficiente de Nash-Sutcliffe [Nash and Sutcliffe, 1970] junto con otros indicadores, para realizar una evaluación comparativa de distintas configuraciones espaciales de parámetros, las cuales consideran parámetros distribuidos e invariables espacialmente, de forma de ver si realmente es necesario distribuir cada parámetro según los resultados.

## 1.2. Objetivos

Para la realización de la tesis se definió como objetivo general:

- Analizar cómo afecta la distribución espacial de parámetros característicos del modelo TopNet, en la simulación de caudales en la cuenca del Río Cautín.

Bajo este principio es que se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar el efecto de variación espacial de cuatro parámetros del modelo TopNet ( $V$ ,  $n$ ,  $f$  y  $K_0$ ) tanto en la simulación de los hidrogramas como de otros procesos físicos, bajo quince tipos de configuraciones, las cuales corresponden a la combinación de casos distribuidos y no distribuidos de estos cuatro parámetros.
- Analizar técnicas de calibración de parámetros para minimizar los errores de simulación.
- Evaluar el uso de información recopilada en terreno para modelos distribuidos.

## 1.3. Organización del informe

El trabajo de tesis consta de cinco capítulos.

En el Capítulo 2 se incluyen generalidades del Modelo TopNet, con una descripción básica de los orígenes y de los avances del modelo, para luego continuar con la descripción de los fundamentos físicos que utiliza. Para finalizar se hace una referencia al trabajo de Mendoza [2010], tomando la información y conclusiones más relevantes para el presente estudio.

En el Capítulo 3 se explica la metodología empleada, incluyendo las consideraciones base para la modelación, como lo son los archivos en entrada, además de la información de los parámetros de interés. Se describen además los escenarios que se desean modelar y el método de evaluación de éstos.

El Capítulo 4 presenta los resultados obtenidos en las distintas configuraciones de parámetros, calibrados en la estación Río Cautín en Cajón, de los cuales se obtienen distintos indicadores de evaluación para las cinco estaciones. Adicionalmente se presentan los resultados para los distintos escenarios de manera gráfica y los análisis respectivos a cada estación.

Finalmente las conclusiones finales del trabajo se incluyen en el Capítulo 5.

## Capítulo 2

### Antecedentes Generales

#### 2.1. Descripción general del modelo TopNet

##### 2.1.1. Generalidades

TopNet es un modelo hidrológico distribuido, de base física, desarrollado por NIWA (*National Institute of Water and Atmospheric Research*, Nueva Zelanda), siendo la continuación del modelo TOPMODEL que es más adecuado para cuencas pequeñas. Éste contiene un algoritmo de onda cinemática para el rastreo de caudales desde subcuencas de menor tamaño, generando un sistema de modelado que puede ser aplicado sobre grandes cuencas [Bandaragoda et al., 2004; Mendoza, 2010].

TopNet surgió a fines de la década de 1980 como una modificación de TOPMODEL. Si bien éste se considera como un paquete de modelación hidrológica, aun así es un conjunto de herramientas conceptuales, que se pueden utilizar para reproducir el comportamiento hidrológico de cuencas, de forma distribuida o semidistribuida, en la superficie y en el subsuelo [Mendoza, 2010].

Con el transcurso del tiempo, TopNet fue evolucionando gracias a diversos aportes, entre los cuales destacan [Mendoza, 2010; Quezada, 2010]:

- Balance hidrológico en las subcuencas.
- Conexión de caudales de salida de las subcuencas dentro de la red hidrográfica virtual.
- Agregación de nuevos módulos de cálculo, que permiten reproducir procesos que originalmente no estaban considerados. (evapotranspiración potencial, almacenamiento en el follaje, etc)
- La inclusión de módulos de nieve y lagos.
- La reescritura del código en lenguaje fortran 90.
- Posibilidad de generar inputs a partir de archivos en formato de SIG,

La unidad básica de TopNet es la “subcuenca”, siendo esta una de las muchas divisiones en la cuenca de estudio, que incluye parámetros topográficos, de vegetación y de propiedades de suelo distribuidos en cada una de éstas. El modelo opera con dos principios básicos que según Clark et al [2008] son:

- i. Simulación del balance hidrológico en cada subcuenca a lo largo de la hoya hidrográfica.
- ii. Rastreo de los caudales desde cada subcuenca hasta la salida de la cuenca.

La ventaja que convierte a este modelo en una potente herramienta de simulación se encuentra en su capacidad de adaptación a la información disponible como a la resolución temporal de los mismos, manteniendo constantes las variables restantes, a pesar de esto los resultados pueden llegar a ser deficientes [Mendoza, 2010].

Finalmente TopNet es solo una parte de un sistema de modelación desarrollado por NIWA, durante los últimos años para alertar a la población sobre eventos meteorológicos extremos, en cual ha obtenido resultados exitosos en advertencias con 48 horas de antelación. En la actualidad, TopNet se utiliza como un modelo hidrológico con fines de investigación, el que está principalmente enfocado en la asimilación de datos hidrológicos, análisis de escenarios de cambio climático y estudios de eventos hidrometeorológicos extremos [NIWA, 2006; Mendoza, 2010].

### 2.1.2. Fundamentos físicos de TopNet

Dentro de la física comprendida en el modelo, existe un análisis correspondiente a cada variable de estado mediante ecuaciones diferenciales que las describen [Clark et al., 2008]. Éstas son presentadas a continuación:

$$\frac{dS_c}{dt} = p - p_t - e_c \quad \text{Ecuación 2.1.}$$

$$\frac{dS_r}{dt} = i - e_r - d \quad \text{Ecuación 2.2.}$$

$$\frac{dS_s}{dt} = p_s - m_s - s \quad \text{Ecuación 2.3.}$$

$$\frac{dS_a}{dt} = d - q_b \quad \text{Ecuación 2.4.}$$

$$\frac{dS_0}{dt} = q_{ix} + q_{sx} + q_b - q_0 \quad \text{Ecuación 2.5.}$$

Donde:

$S_c$ : Almacenamiento en el follaje.

$S_s$ : Almacenamiento en el manto de nivel.

$S_r$ : Almacenamiento en la zona de raíces del suelo.

$S_a$ : Almacenamiento en el acuífero.

$S_0$ : Almacenamiento superficial.

$p$ : Precipitación.

$p_t$ : Precipitación no interceptada por el follaje.

$e_c$ : Evapotranspiración desde el follaje.

$p_s$ : Precipitación caída en forma de nieve.

$m_s$ : Tasa de derretimiento de nieve.

$s$ : Pérdidas en el manto de nieve por sublimación.

$i$ : Infiltración hacia la zona de raíces del suelo.

$e_r$ : Evaporación desde el suelo

$d$ : Percolación

$q_b$ : Flujo base.

$q_{ix}$ : Caudal generado por excedencia de la capacidad de infiltración del suelo.

$q_{sx}$ : Caudal generado por la saturación del suelo.

$q_0$ : Caudal de salida de la subcuenca.

La variación temporal de las variables de estado y los flujos es simulada en cada subcuenca, con un orden fijo que está exactamente definido por las ecuaciones descritas anteriormente, partiendo desde la Ecuación 2.1 hasta la Ecuación 2.5. Adicionalmente cabe notar que la red hidrográfica es fija, y su única utilidad es para el transporte de la escorrentía total generada en cada subcuenca hasta el punto de salida de ésta utilizando un algoritmo basado en la onda cinemática. Por otra parte para observar las variables de estado del modelo y su forma de interacción, en la Figura 2.1 se presenta un esquema conceptual de los procesos hidrológicos simulados.

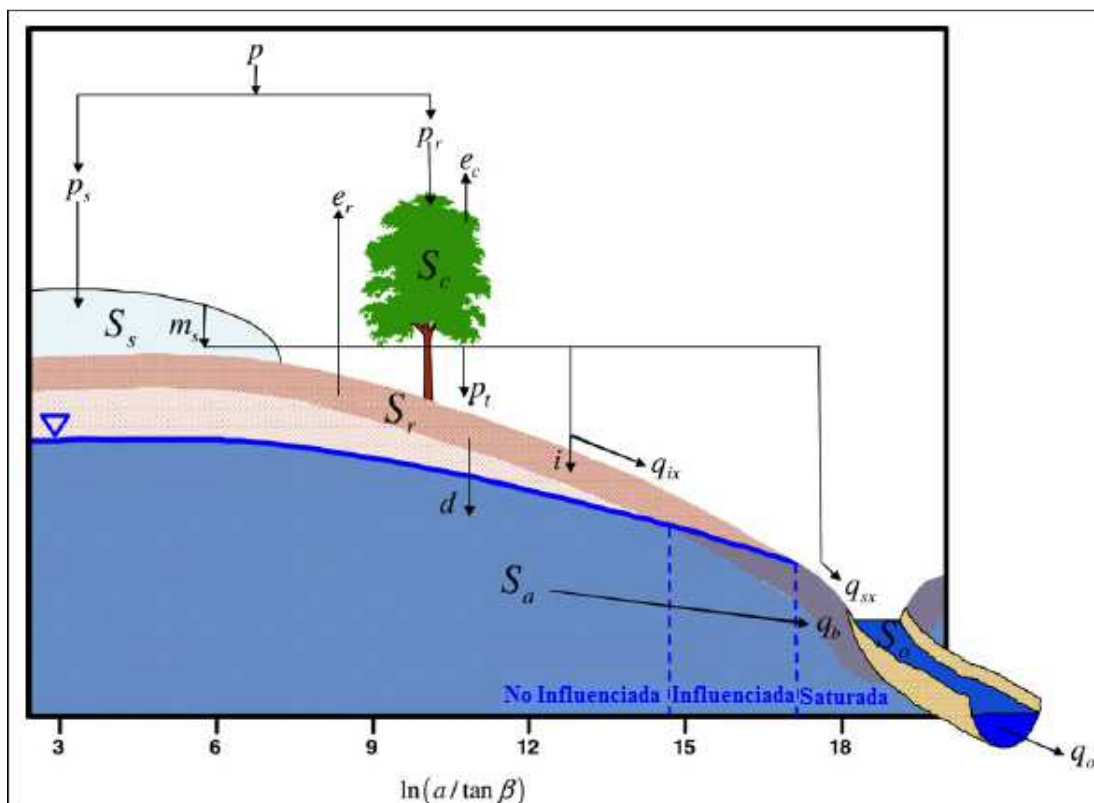


Figura 2.1. Esquema conceptual con las componentes de balance hidrológico por TopNet. [Fuente: Clark et al., 2008]

### 2.1.3. Rastreo de caudales en la red hidrográfica

El rastreo de caudales en TopNet utiliza un esquema de movimiento de onda cinemática unidimensional, en el cual la escorrentía generada por las subcuencas, es considerada como una partícula que se propaga hasta el punto de salida de la cuenca. Este modelo considera que los cauces son hidráulicamente anchos y que la altura de escurrimiento se aproxima al radio hidráulico [Mendoza, 2010].

La relación entre el caudal por unidad de ancho está dada por la ecuación de Manning, tal como se indica en la Ecuación 2.6.

$$q = \frac{\sqrt{S}}{n} y^{5/3}$$

Ecuación 2.6.

Donde:

q: Caudal por unidad de ancho.

S: Pendiente del cauce.

n: coeficiente de rugosidad de Manning.

El proceso de rastreo de las partículas se desarrolla bajo las siguientes consideraciones:

- El tiempo de abandono de una partícula en un tramo determinado, se infiere conociendo el tiempo de ingreso y su tiempo de residencia estimado en dicho tramo.
- Si la partícula abandona el segmento antes del intervalo de tiempo utilizado se considera como rastreada enviándola aguas abajo. En caso contrario, se considera no rastreada y permanece dentro del segmento de canal dado.
- En la zona máxima del hidrograma, las partículas más rápidas se mezclan con las más lentas generándose un shock cinemático, del cual se infiere que las partículas de fluido se fusionan adquiriendo una misma celeridad.
- La implementación de la red fluvial para este modelo implica la fusión de múltiples flujos provenientes de aguas arriba, lo cual complica el análisis dado que las partículas ingresan al sistema en instantes de tiempo diferentes. Para cada partícula que abandona uno de los cauces aguas arriba, se crea una nueva partícula en todos los tramos, generadas matemáticamente, por la interpolación lineal entre la última partícula que abandonó el cauce y las que aún están en él. Luego, la partícula que ingresa aguas abajo es igual a la partícula que dejó el cauce de aguas arriba más la suma de todas las nuevas partículas formadas en los otros cauces de aguas arriba.

Este modelo considera como variables de estado en la red fluvial los tiempos y flujos de las partículas individuales, y el caudal medio, estimado como el promedio ponderado de todas las partículas que abandonan un cauce en un espacio de tiempo dado, mientras que el caudal de paso es sólo una variable de diagnóstico.

Es importante destacar que el aporte a la red fluvial de los caudales de cada subcuenca de primer orden, se ingresan al inicio del cauce respectivo, siendo los aportes de las cuencas intermedias ingresados a la red en el punto medio de los cauces correspondientes.

## 2.2. Principales resultados de Mendoza [2010]

### 2.2.1. Generalidades

Mendoza [2010] realizó un estudio en la Cuenca de la estación Río Cautín en Cajón, ubicada en la Región de la Araucanía a 8 Km. aguas arriba de la ciudad de Temuco, la cual posee una cuenca de extensión 2.688 Km<sup>2</sup>, modelando el lugar con parámetros distribuidos espacialmente, con una escala de precipitación horaria. Los resultados obtenidos en dicho estudio indican que el modelo es capaz de reproducir exitosamente la escorrentía en el punto de salida. Además demostró que la calidad de las simulaciones puede mejorar significativamente dependiendo el nivel de calibración y datos meteorológicos otorgados.

### 2.2.2. Cuenca del Río Cautín en Cajón

La cuenca de Río Cautín en Cajón posee características beneficiosas para el estudio hidrológico, encontrándose en una zona representativa de la IX región, reproducida en la Figura 2.2.

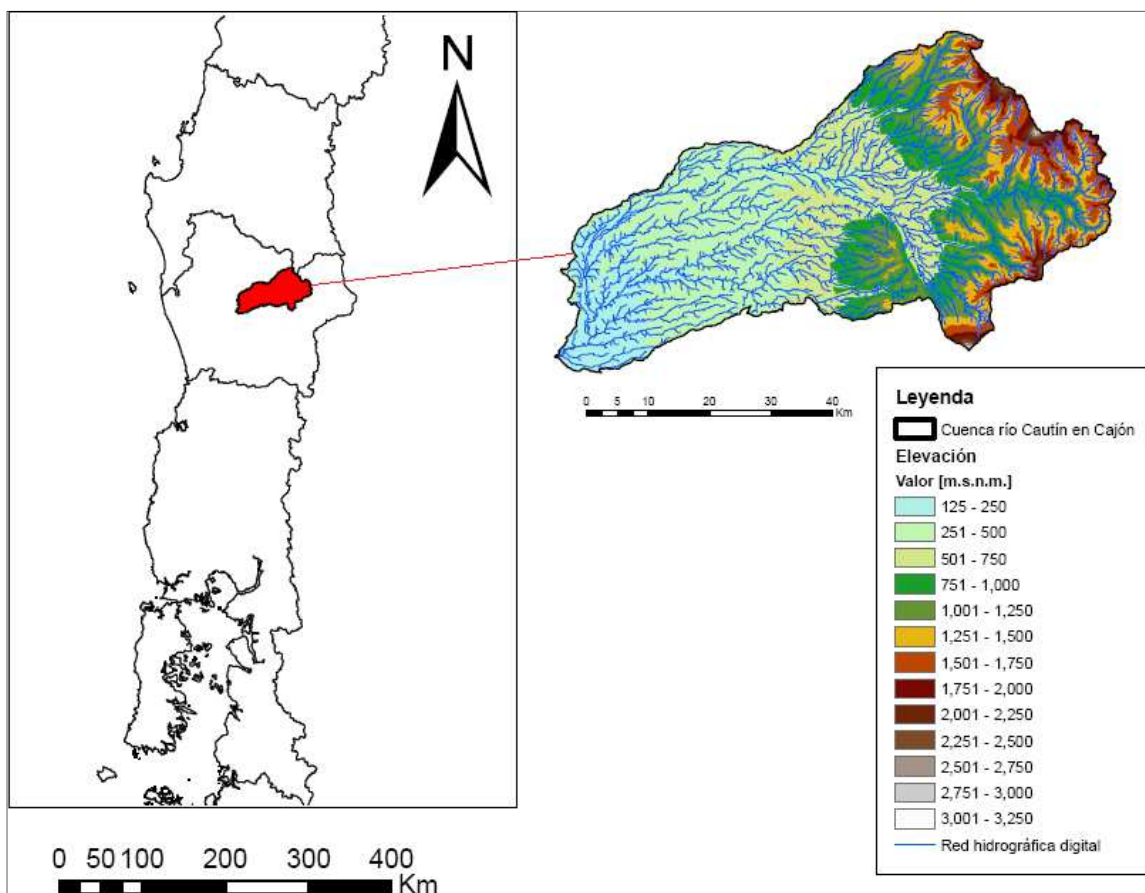


Figura 2.2. Ubicación de la cuenca del Río Cautín en Cajón [Fuente: Mendoza, 2010]



2.2.3. Configuración del modelo

El primer paso de la metodología corresponde a crear una Red hidrográfica digital, con la finalidad de obtener información topográfica. Esta red se crea a partir de programas que trabajan con datos de información geográfica. Dicho esto, trabajando con la extensión TauDEM es posible modelar una infinidad de cuencas. En la Figura 2.3 es posible ver la Cuenca del Río Cautín en Cajón. Mientras que en la Tabla 2.1 se presenta la tabla correspondiente a la estaciones fluviométricas interiores de la cuenca generada por la estación Río Cautín en Cajón.

Una vez ya modelada la red digital de cauces, es necesario crear el archivo que contiene las subcuencas, siendo esencial adecuar su número de acuerdo a la profundidad del análisis y el tiempo de simulación esperado para cada set de datos. En la Figura 2.4 se pueden observar las subcuencas creadas para causas de orden 1.

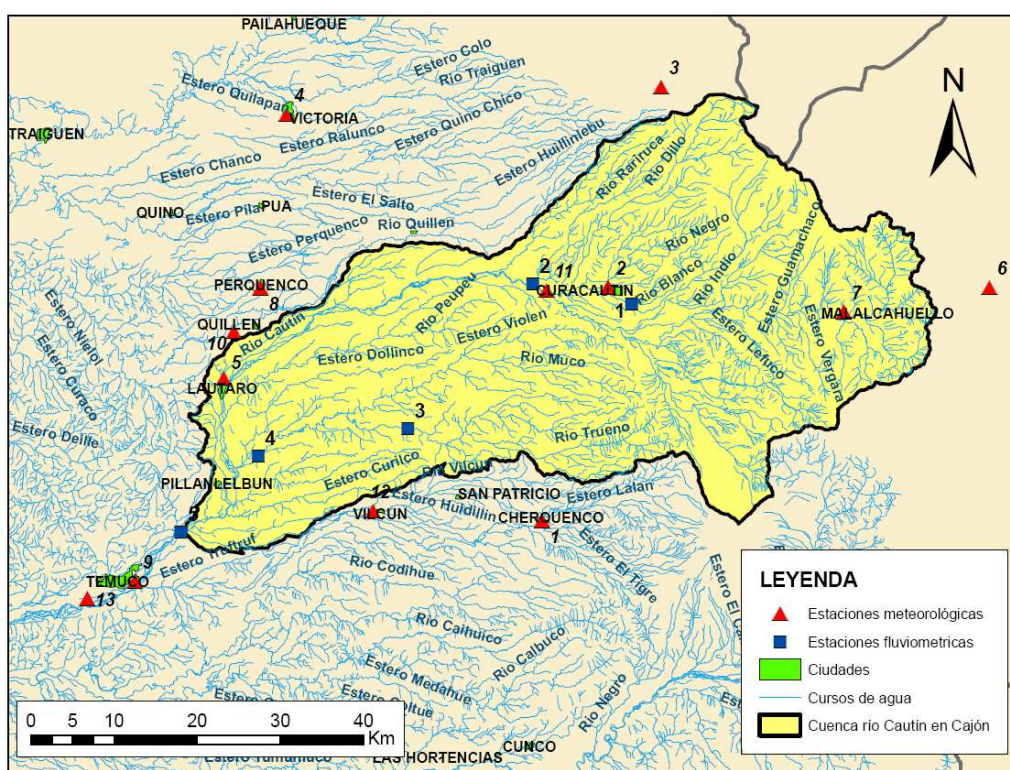


Figura 2.3. Ubicación de asentamientos urbanos tanto dentro como en las cercanías de la cuenca del Río Cautín en Cajón, Datum PSAD56, Huso 19. [Fuente: Mendoza, 2010]

Tabla 2.1. Estaciones fluviométricas interiores en la cuenca del Río Cautín en Cajón. [Fuente: Mendoza 2010]

N°	Estación	Coordenadas		Elevación m.s.n.m.	Área Km2
		E [m]	N [m]		
1	Río Blanco en Curacautín	249825	5740152	550	164
2	Río Cautín en Rariruca	237930	5742583	424	1257
3	Río Collín en Codahue	222854	5725196	224	248
4	Río Muco en puente Muco	204821	5721867	163	569
5	Río Cautín en Cajón	195523	5712659	125	2688

## CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES GENERALES

El procesamiento de la topografía, llevó a la creación de 2239 subcuencas, las que permitieron conseguir tiempos de simulación entre 14 y 15 minutos para un año de escorrentía a escala horaria. Si bien, dicho tiempo de simulación resulta bastante razonable, no lo es para efectos de asimilación de datos de caudales. En base a lo anterior, debió recurrir a la modificación en el número de subcuencas para optimizar las simulaciones desde el punto de vista computacional, lo que derivó en la creación de rutinas capaces de llevar a cabo esta operación.

Se probó el modelo para diferentes órdenes de cuencas lo que le dio como resultado:

- Cuencas de Orden 1: 2239
- Cuencas de Orden 2: 485
- Cuencas de Orden 3: 117
- Cuencas de Orden 3 Corregido: 221

La elección que se tomó fue la última, dado que se confirmó la dependencia entre el tiempo de cálculo y el número de subcuencas. Por otro lado el método utilizado para la generación subcuencas dio como resultado casos con tamaños considerablemente mayores al resto, perdiéndose el grado de distribución espacial deseable. Dado este motivo fue que se eligió la última, ya que posee una distribución espacial con tamaños más adecuados para una apropiada modelación hidrológica distribuida. [Mendoza, 2010]

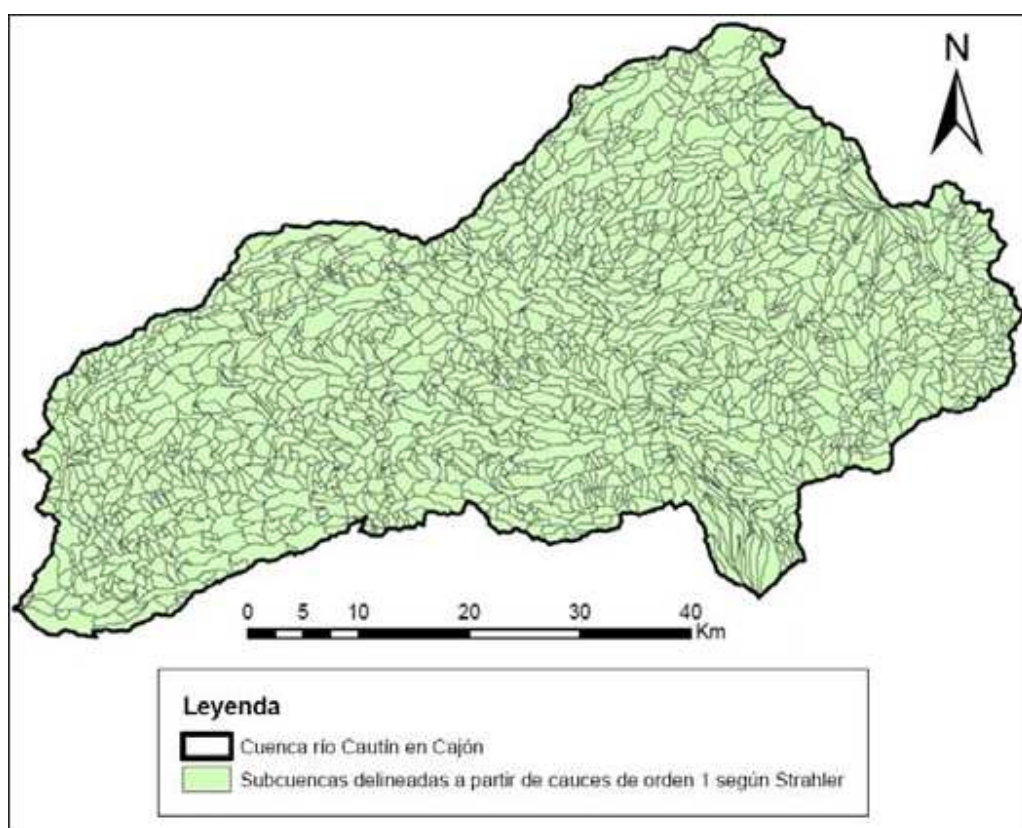


Figura 2.4. Subcuencas delineadas con el programa TauDEM a partir de los cauces de orden 1 según la clasificación topológica de Strahler. [Fuente: Mendoza, 2010]

NetCDF (Network Common Data Form) es el formato exigido por el software TopNet, ya sea para los archivos de entrada, salida, errores, etc. Este corresponde a un sistema de archivos que permite almacenar grandes cantidades de información dentro de un solo fichero, usando un sistema de arreglos que ocupa de manera eficiente el espacio. Lo que desprende que existe una alta portabilidad de archivos, ya que en vez de trabajar con muchos, de manera engorrosa, solo se trabaja con uno para cada input. Los archivos de entradas requeridos se dividen en dos categorías: Mendoza, 2010; Quezada, 2010]

- i. **Archivo espacial:** Contiene la caracterización completa de la Red Hidrográfica, creada a partir del modelo de elevación digital. Como a su vez los valores de cada parametrización en función de la subcuenca asociada.
- ii. **Archivos forzantes:** Contiene las series de tiempo con las variables meteorológicas.

#### 2.2.4. Resultados e implicaciones

Dentro de la elección del set de parámetros, se trabajó con la premisa de hacer la calibración con las variables más sensibles, según las siguientes funciones objetivo:

- i. Coeficiente de Nash-Sutcliffe
- ii. Error Cuadrático Medio.
- iii. Error Q medio.
- iv. Error desviación estándar.

Los ponderadores vinculados a los parámetros, fueron calibrados manualmente, mediante simulaciones horarias para el periodo comprendido entre el 1 de Abril de 2002 (10:00 AM), y el de Abril de 2005 (9:00 AM), con la finalidad de satisfacer los siguientes objetivos:

- Maximizar el Coeficiente de Nash-Sutcliffe.
- Minimizar el Error Cuadrático Medio y el Error Cuadrático Medio de Raíz Cuadrada.
- Reproducir correctamente los hidrogramas de las crecidas, en el periodo de calibración.
- Lograr una pendiente cercana a la unidad al graficar la nube de puntos ( $Q_{OBS}$ ,  $Q_{SIM}$ ), con un coeficiente de correlación aceptable.
- Obtener valores razonables tanto para los estados del modelo como para los flujos.

En lo que respecta al coeficiente de Nash-Sutcliffe, se realizó un análisis de sensibilidad en los parámetros, dentro del periodo comprendido entre abril/2001-abril/2003. Los resultados obtenidos entregan una perspectiva general del comportamiento del coeficiente en función de los ponderadores asociados a los parámetros, detallándose en la Figura 2.5.

Los ponderadores calibrados actúan como un multiplicador, sobre todos los datos ingresados originalmente en el input, con lo cual la distribución espacial se mantiene, pero los valores se amplifican o simplifican según el resultado de la calibración. El set final de parámetros obtenidos puede ser observado en la Tabla 2.2.



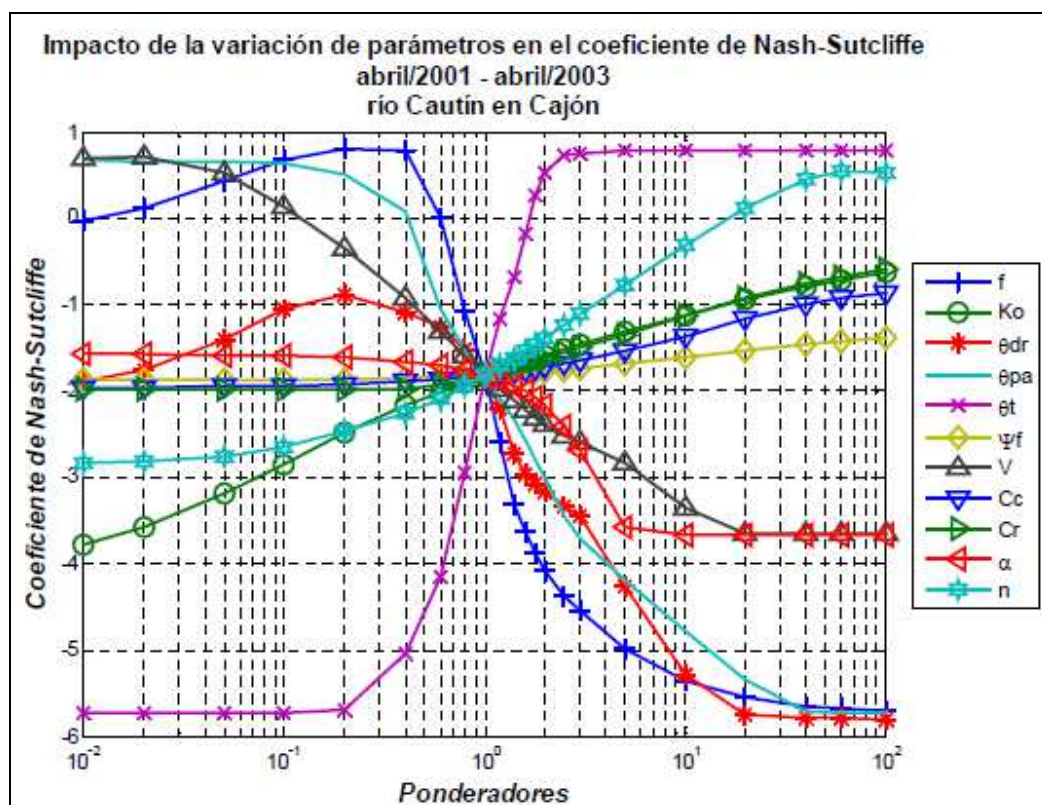


Figura 2.5. Variación del coeficiente de Nash-Sutcliffe al alterar en forma separada cada parámetro [Fuente: Mendoza 2010]

Tabla 2.2. Set de parámetros final obtenidos en la etapa de calibración de TopNet [Fuente: Mendoza, 2010]

Parámetro	Símbolo	Unidad	Ponderador
Parámetro f de TOPMODEL	$f$	1/m	0,25
Conductividad hidráulica saturada	$K_0$	m/s	2
Fracción de agua drenable	$\theta_{dr}$	-	0,22
Fracción de agua para las plantas	$\theta_{pa}$	-	0,9
Contenido de agua en el suelo	$\theta_t$	m/s	1
Tensión de succión del frente húmedo (Green-Ampt)	$\Psi_f$	m/s	1
Velocidad de escurrimiento superficial	$V$	m/s	0,2
Capacidad de almacenamiento de agua en el follaje	$C_c$	m/s	1
Factor de corrección de la evaporación desde el follaje	$C_r$	-	1
Albedo superficial	$\alpha$	-	1
Coefficiente de rugosidad de Manning	$n$	$m^{-1/3}s$	12

A partir de la calibración anterior. En la Tabla 2.3 se dan a conocer los principales estadísticos de la serie observada y la simulada, además de los resultados de la regresión lineal. Por otro lado en la Tabla 2.4 se incluyen los valores obtenidos para las funciones objetivo.

*CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES GENERALES*

**Tabla 2.3. Estadísticos de las series de caudales horarios observada y simulada con TopNet. Con calibración para el periodo 01/04/2002 - 01/04/2005. [Fuente: Mendoza, 2010]**

Estación	Q medio	Q medio	Desv.Est.	Desv.Est.	Regresión lineal		
	Observado	Simulado	observada	Simulada	R	m	N
Río Cautín en Cajón	135,99	117,24	116,74	131,01	0,93	1,04	-24,5
Río Cautín en Rariruca	123,96	121,76	71,18	103,58	0,88	1,27	-36,3

**Tabla 2.4. Coeficientes de evaluación de TopNet. Con calibración para el periodo 01/04/2002 - 01/04/2005. [Fuente: Mendoza, 2010]**

Estación	Espacio normal			Espacio logarítmico		
	NS	ECM	ECMR	NS	ECM	ECMR
Río Cautín en Cajón	0,80	2731	0,027	0,59	0,30	0,004
Río Cautín en Rariruca	0,43	2881	0,020	0,40	0,15	0,005

# Capítulo 3

## Metodología

### 3.1. Consideraciones

#### 3.1.1. Archivos de entrada

En TopNet se necesitan dos tipos de archivos de entrada, los cuales se caracterizan por [Quezada, 2010]:

- i. Archivo espacial que resume las propiedades topográficas y de los tipos de suelo de la cuenca.
- ii. Archivos por cada forzante meteorológica que exista.

Del estudio previo de Mendoza [2010], se tienen los archivos de entrada, que son los siguientes:

- Archivo espacial “spatial\_chi\_cautincj\_strah3co2.nc”, el cual contiene los parámetros topográficos, de vegetación y de suelo para las 221 subcuencas de la Cuenca del Río Cautín en Cajón.
- Archivos de temperaturas extremas, humedad relativa y precipitación a escala diaria, correspondiente a la rutina “climatological\_data\_excel2netcdf.m” (3 archivos independientes).
- Archivo que almacena la superficie de precipitación media anual en cada estación pluviométrica, correspondientes a la rutina “rainsurfac\_excel2netcdf.m”
- Archivo de datos horarios de caudales y precipitación, registrados por las dos estaciones que reportan tiempo real, correspondiente a la rutina “Flow\_data\_excel2netcdf.m”

Dado que el estudio presente se basa en la modificación de parámetros bajo la calibración de ponderadores, y a su vez la distribución y no distribución de éstos, se trabajará únicamente con el archivo espacial, siendo el que permite cambios en las variables del suelo.

En cuanto al resto de archivos de entrada, éstos se consideraran para la modelación, pero no presentarán modificación alguna, dado que el objetivo principal es obtener una comparación exclusivamente a nivel de parámetros hidráulicos y de suelo de la cuenca.

#### 3.1.2. Información disponible

Dado los intereses que se desean, se analizara el archivo de entrada correspondiente a la información espacial y características del suelo. Este Input se caracteriza por ser un acoplamiento de información, dispuesta por las siguientes fuentes: [Quezada, 2010]

- i. Plantilla Excel “cautin\_strah3co2”. El cual contiene 69 columnas con datos de entradas. Este archivo se caracteriza por tener:
  - Información de los cauces con índices, códigos, longitud, elevación, etc.
  - Información de las subcuencas, como área, elevación, coordenadas del centro de gravedad, latitud y longitud, etc.
  - Parámetros espacialmente distribuidos.
  - Parámetros no distribuidos espacialmente.
  
- ii. Plantillas Excel obtenidas del Raster de la cuenca del Río Cautín el Cajón, resultantes de la generación de las subcuencas. Estos Archivos se pueden organizar dependiendo del tipo de información, bajo los siguientes grupos:
  - **Elev:** Elevación.
  - **Over:** Distancia al punto medio.
  - **Atan:** Índice Topográfico.

Dentro de estos tres grupos, se puede hacer una segregación aun mayor de archivos. Partiendo por la definición del término clase.

Clase: Bajo la gran cantidad de valores que pueden tomarlos pixeles dentro una subcuenca. Una clase es un intervalo de tamaño fijo dentro del rango total de valores, de forma de subdividir el espectro, es decir en una subcuenca se puede tener  $n$  intervalos ordenados de mayor a menor. Expresándolo en otra forma  $n$  clases.

Bajo esta premisa cada grupo se caracteriza por contener 3 plantillas Excel. Dentro de las cuales se encuentran:

- **Num:** Indica el número de clases en cada subcuenca.
- **Val:** Corresponde a un valor representativo de cada clase.
- **Frq:** Representa la frecuencia acumulada del número de pixeles que se ubican en cada clase. Con valores comprendidos en intervalo [0, 1].

Con la descripción anterior es posible observar que la información que se necesita modificar, corresponde a los parámetros espacialmente distribuidos, de la fuente i.

### 3.2. Parámetros de interés

Dentro del análisis, se consideran cuatro parámetros de interés que fueron incluidos dentro de las distribuciones y calibraciones presentadas por de Mendoza [2010]. Estos pueden ser observados en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Set de parámetros de interés.

Parámetro	Símbolo	Unidad
Parámetro $f$ de TOPMODEL (1/m)	$f$	1/m
Conductividad hidráulica saturada	$K_0$	m/s
Velocidad de escurrimiento superficial	$V$	m/s
Coficiente de rugosidad de Manning	$n$	$m^{-1/3}s$

### 3.2.1. Coeficiente de rugosidad de Manning “n”

En el lecho se pueden encontrar distintos tipos de sedimentos, dando lugar al concepto de granulometría, el cual hace referencia al tamaño de los sedimentos asociado al porcentaje de partículas que pueden pasar distintos tipos de tamices.

Dada la escasez de información en los lechos de los cauces, es que Mendoza [2010] realizó una campaña de terreno con la finalidad de obtener datos. De esta forma, al tomar muestras en puntos específicos se pudo modelar la cuenca en su totalidad, bajo una extrapolación hacia las zonas sin información.

El coeficiente Manning, el cual representa la rugosidad del lecho del río, está completamente vinculado a la granulometría del sector. De forma puede ser calculado bajo el método de Cowan, mediante la siguiente ecuación:

$$n = m (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \quad \text{Ecuación 3.1.}$$

Donde:

$n_0$ : Valor básico del coeficiente de rugosidad para un tramo recto y uniforme.

$n_1$ : Incremento por irregularidades de las secciones.

$n_2$ : Incremento por variaciones de forma y dimensiones de las secciones.

$n_3$ : Incremento por obstrucciones.

$n_4$ : Incremento por vegetación en el cauce.

$m$ : Factor correctivo por curvas y meandros.

La forma de calcular  $n_0$  se basa en el principio de Strickler [Mery, 1997]:

$$n_0 = 0,038 d_{90}^{1/6} \quad \text{Ecuación 3.2.}$$

Donde:

$d_{90}$ : Es el diámetro correspondiente al tamiz o polarización entre tamices, que abarca un 90% de la muestra total de suelo. Este porcentaje se debe a que en algunos cauces se produce un efecto llamado acorazamiento, el cual se manifiesta en gran parte Chile dadas las granulometrías gruesas y extendidas de sus ríos.

Por otro lado el resto de variables, son calculadas bajo un concepto visual o empírico, con las características presentadas en la Tabla 3.2.



Tabla 3.2. Valor medio de los coeficientes que conforman el Coeficiente de rugosidad de Manning. [Fuente: Mery, 1997]

Características de la canalización	Características	Valor medio del coeficiente
Grado de irregularidades: $n_1$	Pocas	0,005
	Moderadas	0,010
	Severas	0,020
variaciones de la sección: $n_2$	Graduales	-
	Ocasionales	0,005
	Frecuentes	0,010 – 0,015
Obstrucciones: $n_3$	Despreciables	-
	Pocas	0,010 – 0,015
	Muchas	0,020 – 0,030
	Severas	0,040 – 0,060
Vegetación: $n_4$	Poca	0,005 – 0,010
	Regular	0,010 – 0,025
	Mucha	0,025 – 0,050
	Gran cantidad	0,050 – 0,100
Curvas: $m$	Pocas	1,000
	Regular	1,050
	Muchas	1,100

Dentro de la distribución realizada en el trabajo anterior, se puede notar la diversidad de valores observados en la Figura 3.1.

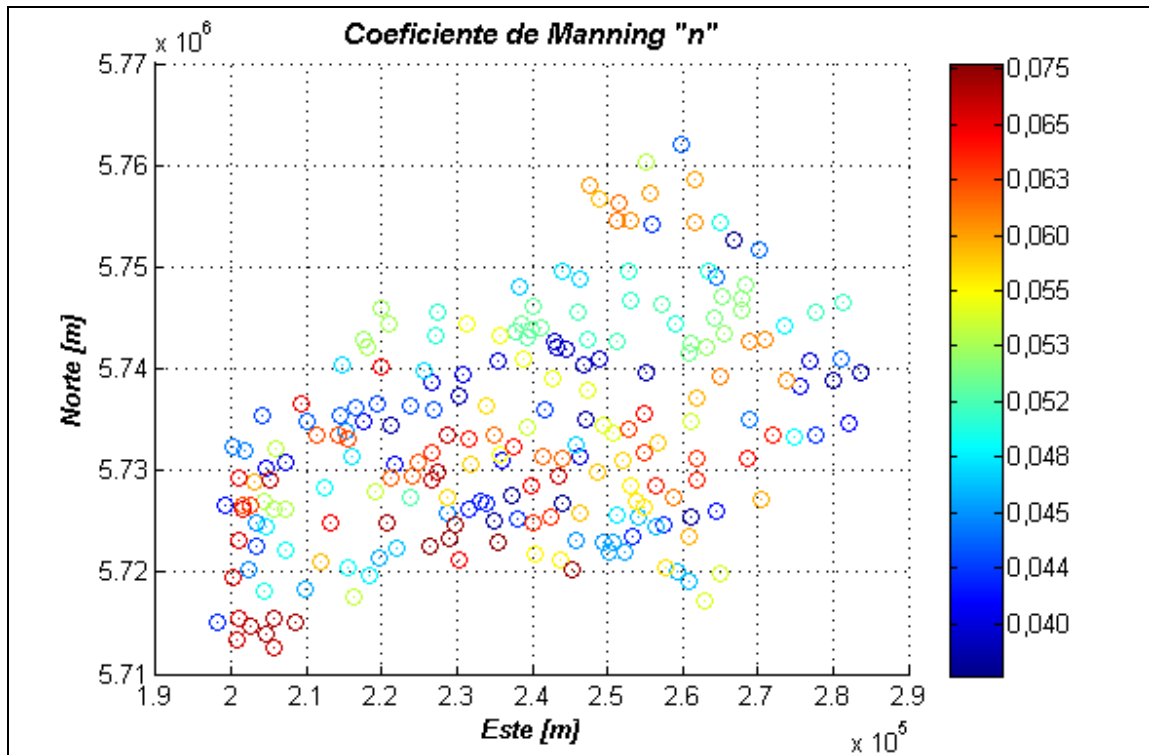


Figura 3.1. Distribución del Coeficiente de rugosidad de Manning, basada en el estudio de Mendoza [2010].

**3.2.2. Velocidad de escurrimiento superficial “V”**

Dadas las altas variaciones topográficas dentro de la cuenca, Mendoza [2010] consideró una distribución espacial de la velocidad de escurrimiento. Para ello, se tomó información relacionada al tipo de cubierta en el suelo, como a su vez los datos del archivo Raster, el cual contiene la distribución espacial de las pendientes de la cuenca. Por otro lado la ecuación que define a “V” es la siguiente:

$$V = a\sqrt{S} \tag{Ecuación 3.3.}$$

Donde:

a: Parámetro que depende del tipo de cubierta.

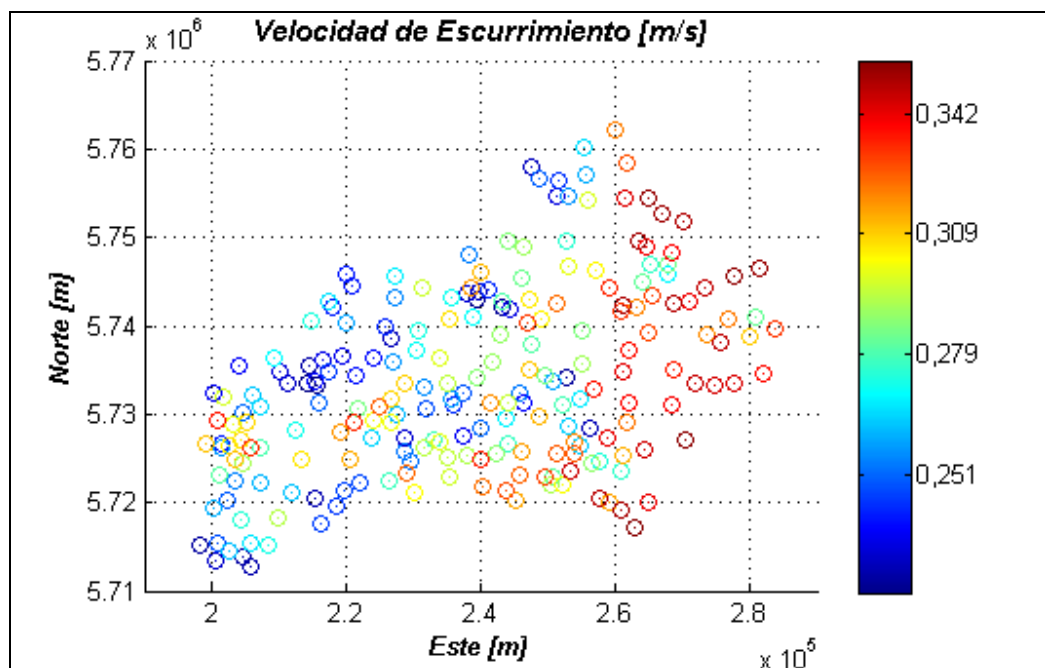
S: Pendiente del terreno.

El parámetro a se puede obtener mediante la Tabla 3.3:

**Tabla 3.3. Valores del parámetro a para distintos tipos de cubierta de suelos. [Fuente: SCS, 1972]**

Tipo de cubierta	a
Bosque con suelo cubierto de follaje	0,076
Área sin cultivo o poco cultivo	0,143
Pasto y vegetación	0,216
Suelo desnudo	0,305
Canales con vegetación	0,351
Superficie pavimentada	0,610

Con estos datos, es posible distribuir espacialmente el parámetro V (Figura 3.2).



**Figura 3.2. Distribución de la Velocidad de escorrentía superficial, basada en el estudio de Mendoza [2010].**

3.2.3. Conductividad hidráulica saturada “ $K_0$ ”

La conductividad hidráulica saturada es un parámetro físico del suelo, que interviene en todos aquellos procesos relacionados con el movimiento de agua y solutos a través de éste. Por ello, constituye uno de los descriptores fundamentales en la naturaleza de un suelo, utilizándose a menudo para estimar otros parámetros más complejos [Polo et al., 2003].

Dada la naturaleza de este parámetro, se buscó información respecto a los suelos de la región, la que es ilustrada en la Figura 3.3.

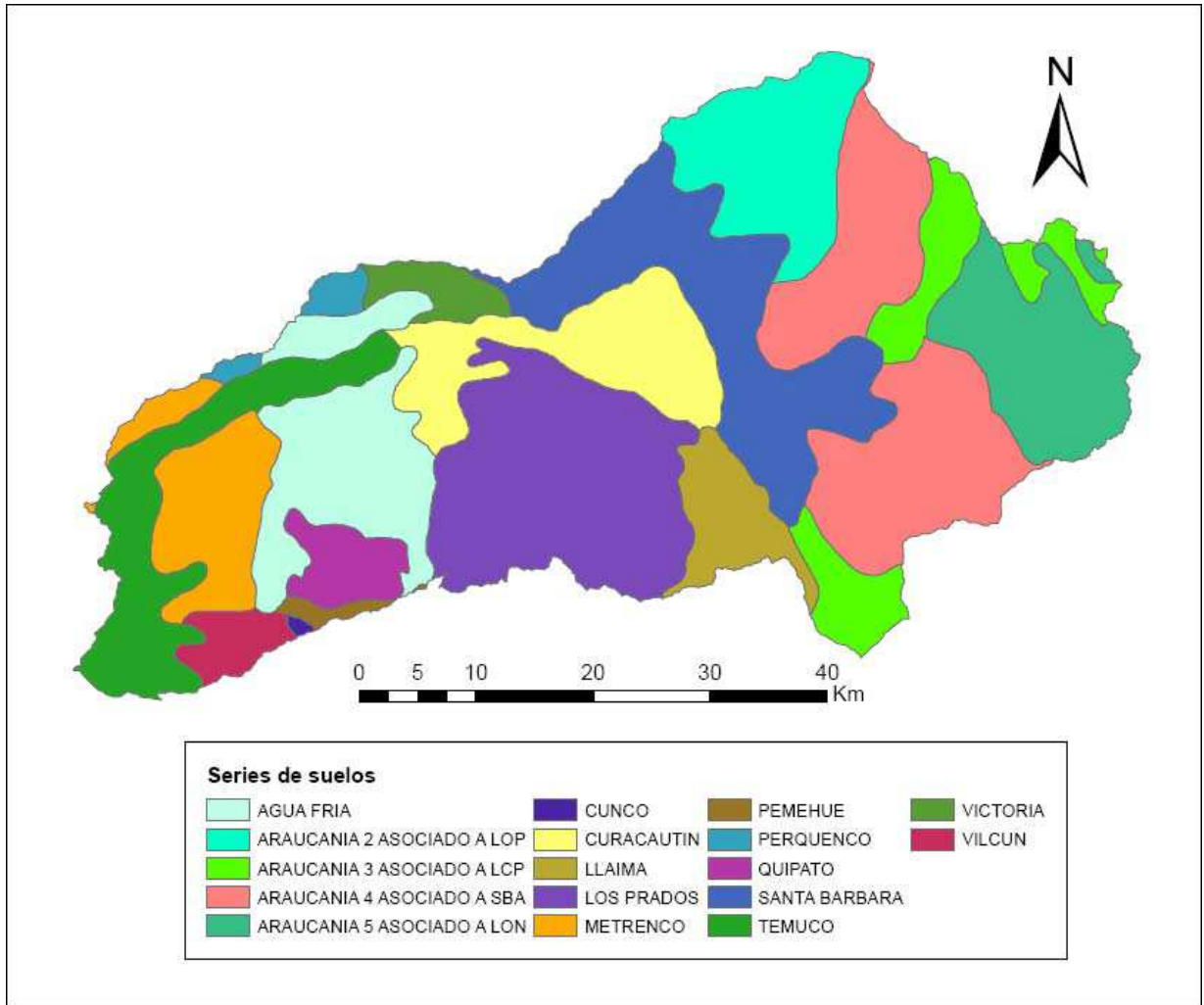


Figura 3.3. Distribución espacial de las series de suelos en la cuenca del Río Cautín en Cajón. Donde LOP: Los Prados; LCP: La Compañía; SBA: Santa Bárbara; LON: Lonquimay [Fuente: CIRÉN]

La Tabla 3.4 presenta la información de  $K_0$  extraída en relación a la serie de suelo correspondiente. Dada esta información es que se puede obtener una distribución espacial del parámetro de interés, ilustrada en la Figura 3.4.

Tabla 3.4. Parámetro  $K_0$  obtenido del análisis de la información en los diferentes estratos de series de suelo en la cuenca del Río Cautín. Donde LOP: Los Prados; LCP: La Compañía; SBA: Santa Bárbara; LON: Lonquimay. [Fuente: CIRÉN]

Serie de Suelo	$K_0$ [1/m]
Agua fría	0,012
Araucanía 2 asociado a LOP	0,015
Araucanía 3 asociado a LCP	0,065
Araucanía 4 asociado a SBA	0,015
Araucanía 5 asociado a LON	0,169
Cunco	0,023
Curacautín	0,026
Llaima	0,020
Los Prados	0,026
Metrengo	0,005
Pemehue	0,011
Perquenco	0,005
Quintrilpe	0,017
Santa Bárbara	0,026
Temuco	0,026
Victoria	0,101
Vilcún	0,050

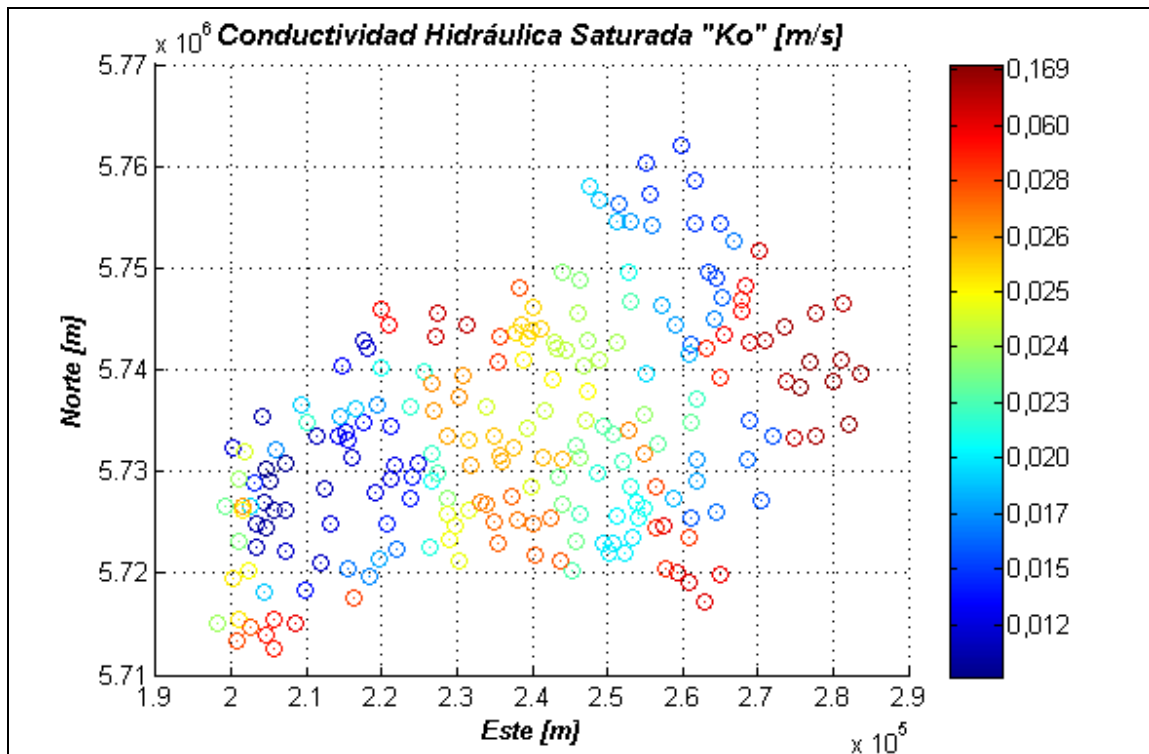


Figura 3.4. Distribución de la conductividad hidráulica saturada, basada en el estudio de Mendoza [2010].

**3.2.4. Parámetro  $f$  de TOPMODEL**

El Parámetro  $f$  de TOPMODEL describe la relación exponencial entre la conductividad hidráulica  $K(z)$  y la profundidad del suelo ( $z$ ) [Beven et al, 1995].

$$K(z) = K_0 e^{-f \cdot z} \tag{Ecuación 3.4.}$$

Donde:

$K(z)$ : Conductividad hidráulica en la zona de raíces del suelo en función de la profundidad del frente húmedo.

$K_0$ : Conductividad hidráulica saturada en la superficie del suelo.

$f$ : Parámetro de TOPMODEL.

$z$ : Profundidad del frente húmedo.

Si bien  $f$  es parte de la solución diferencial, que permite calcular  $K(z)$ . Este puede ser expresado como:

$$f = \frac{1}{m} \tag{Ecuación 3.5.}$$

Donde:

$m$ : Parámetro  $m$  de TOPMODEL.

Por otro lado dentro de la información proporcionada por CIREN en base a la serie de suelos presentados en la Figura 3.3, existen antecedentes del parámetro  $m$  en función de la zona, representados en la Tabla 3.5.

**Tabla 3.5. Parámetro  $m$  obtenido del análisis de la información en los diferentes estratos de series de suelo en la cuenca del Río Cautín. Donde LOP: Los Prados; LCP: La Compañía; SBA: Santa Bárbara; LON: Lonquimay [Fuente: CIREN]**

Serie de Suelo	$m$ [m]	$f$ [ $m^{-1}$ ]
Agua fría	0,148	6,757
Araucanía 2 asociado a LOP	0,122	8,197
Araucanía 3 asociado a LCP	0,125	8,000
Araucanía 4 asociado a SBA	0,122	8,197
Araucanía 5 asociado a LON	0,127	7,874
Cunco	0,177	5,650
Curacautín	0,189	5,291
Llaima	0,170	5,882
Los Prados	0,189	5,291
Metrenco	0,091	10,989
Pemehue	0,140	7,143
Perquenco	0,131	7,634
Quintrilpe	0,156	6,410
Santa Bárbara	0,189	5,291
Temuco	0,189	5,291
Victoria	0,196	5,102
Vilcún	0,192	5,208

Finalmente con la existencia de datos de  $m$ , es posible calcular el parámetro  $f$ , el cual fue distribuido en el trabajo anterior (Figura 3.5).

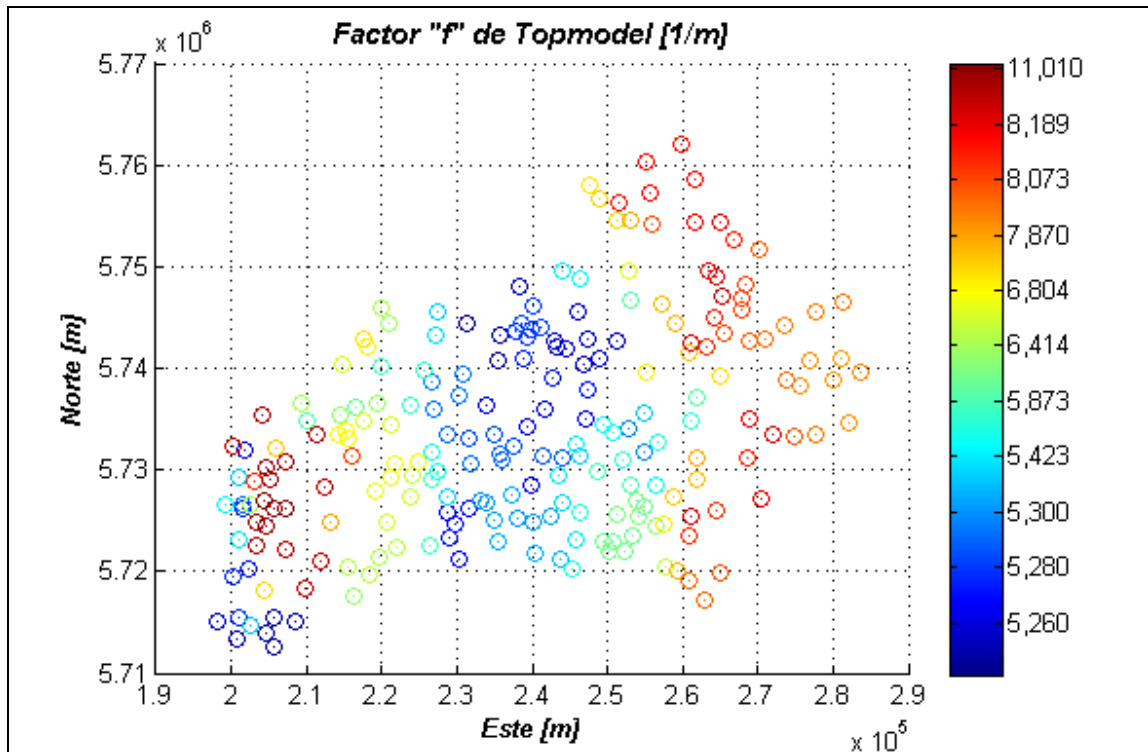


Figura 3.5. Distribución del Factor  $f$  de TOPMODEL, basada en el estudio de Mendoza [2010].

### 3.3. Calibración de ponderadores.

#### 3.3.1. Calibración y validación

En términos generales, la calibración de un modelo es una operación que bajo condiciones específicas, establece en una primera etapa una relación entre los valores reproducidos y los datos observados en un sistema, asegurando su compatibilidad a nivel cuantitativo y cualitativo. Ésta es una de las etapas más importantes dentro de la modelación, dado que permite ajustar los parámetros de forma de conseguir mejores resultados. Este proceso se realiza después del análisis de sensibilidad, el cual cuantifica la importancia relativa de los parámetros, para luego probar distintas configuraciones de datos entrantes, verificando los resultados posteriores. [Mendoza, 2010; JCGM, 2008]

La validación de un modelo es la etapa que sigue a la calibración, siendo su propósito comprobar bajo alguna función objetivo, si el modelo es capaz de proporcionar una simulación aceptable en base a las observaciones.

Para efectos de este trabajo, la función objetivo seleccionada es el coeficiente de Nash-Sutcliffe [Nash and Sutcliffe, 1997], el cual es el indicador más utilizado y mayormente aceptado como índice de efectividad, para la calibración y validación de modelos hidrológicos. Este indicador comprende valores en el intervalo de  $(-\infty, 1]$  en donde los valores superiores a 0.5 son aceptables

y el valor 1 corresponde a una modelación perfecta. El coeficiente de Nash Sutcliffe está dado por:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Ecuación 3.6.}$$

Donde:

$x_i$  : Valor observado en el instante  $i$ .

$y_i$  : Valor simulado en el instante  $i$ .

$\bar{x}$  : Promedio de los valores observados.

### 3.3.2. Modificación de información topográfica

La modificación de información topográfica se puede llevar a cabo mediante dos formas:

- i. Cambio de valores en los parámetros de interés, bajo la manipulación directa del archivo espacial.
- ii. Cambio en los ponderadores relacionados a los parámetros de interés.

Ambos métodos son de utilidad en este estudio, dado que existen casos con datos distribuidos y no distribuidos espacialmente, bajo la influencia de ponderadores calibrados.

### 3.3.3. Parámetros no distribuidos espacialmente

Dado que la información de los parámetros de interés, ya está distribuida. Se optó por tomar el valor promedio de los parámetros en las 221 subcuencas, de forma de mantenerlo constante a lo largo de la cuenca. Estos pueden ser observados en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6. Valores de Parámetros no distribuidos espacialmente.**

Parámetro	Unidad	Valor
Parámetro $f$ de TOPMODEL (1/m)	1/m	6,624
Conductividad hidráulica saturada	m/s	0,031
Velocidad de escurrimiento superficial	m/s	0,407
Coefficiente de rugosidad de Manning	$m^{-1/3}s$	0,052

### 3.3.4. Escenarios modelados

Dentro de los casos modelados existen distintos tipos configuraciones, considerando los parámetros de interés espacialmente distribuidos y no distribuidos, mientras que el resto de parámetros se mantienen completamente distribuidos. Esto nace con el escenario base modelado por Mendoza [2010], el cual calibró distintos ponderadores para cada parámetro, de forma de maximizar la función Nash-Sutcliffe en la estación Río Cautín en Cajón.

La Tabla 3.7 presenta los quince escenarios modelados, considerando distintas combinaciones en donde las celdas con "X" presentan los parámetros distribuidos, mientras que las celdas con "O" los no distribuidos.

Tabla 3.7. Escenarios modelados. Las celdas con "X" presentan los parámetros distribuidos, mientras que las celdas con "O" los no distribuidos

Escenarios	Parámetros			
	$V$ [m/s]	$n$ [ $m^{-1/3}s$ ]	$f$ [1/m]	$K_0$ [m/s]
Base	X	X	X	X
1	O	X	X	X
2	X	O	X	X
3	X	X	O	X
4	X	X	X	O
5	O	O	X	X
6	O	X	O	X
7	O	X	X	O
8	X	O	O	X
9	X	O	X	O
10	X	X	O	O
11	O	O	O	X
12	O	O	X	O
13	O	X	O	O
14	X	O	O	O
15	O	O	O	O

### 3.3.5. Calibración de ponderadores

Mendoza [2010] calibro el set de ponderadores a escala horaria, aun así como este modelo tiene distintas consideraciones de cálculo es que se tuvo que recalibrar, dando como resultado un set con valores de rango similar, pero con variaciones evidentes. Con lo cual para llevar a cabo esta labor, se calibró el modelo con sus doce parámetros totalmente distribuidos, denominándolo como el “escenario base”, para luego modificar exclusivamente los ponderadores ligados a los parámetros no distribuidos.

El método se basó en una “calibración manual”, la cual consiste en evaluar los resultados que se generan a partir de la modificación de los ponderadores, con la intención de maximizar el coeficiente de Nash Sutcliffe para la cuenca de Río Cautín en Cajón. Para esto se consideran cuatro etapas.

- i. Según sea el caso, se varía el ponderador de un parámetro no distribuido en un valor  $\pm\Delta p$  que tenga consistencia en cuanto a las unidades, de forma de observar los resultados basados en  $\pm\Delta NS$ . Para esto se utiliza la Figura 2.5, la que entrega información acerca de la sensibilidad de ponderadores asociados a distintos parámetros.
- ii. Determinado el sentido de crecimiento, se evalúan muestras con una distancia  $\Delta p$  entre ellas, de forma de encontrar el intervalo que maximiza la función.
- iii. Encontrado el intervalo, se aumenta la frecuencia de muestras en este, de manera de estimar el ponderador que maximiza el coeficiente.



- iv. En los casos de combinaciones que contengan más de un parámetro no distribuido, se toma como base los ponderadores estimados en los casos individuales.

### **3.4. Métodos de evaluación y obtención de información**

#### **3.4.1. Evaluación en distintas estaciones fluviométricas**

El principal objetivo de las simulaciones es estimar si los casos con parámetros no distribuidos dan mejores resultados que el escenario base, de forma de determinar cuál es el valor de contar con información espacial detallada en modelos hidrológicos distribuidos. Para esto, se utilizó como función objetivo el Coeficiente de Nash-Sutcliffe, bajo los resultados simulados y observados en la estación Río Cautín en Cajón.

Luego de maximizar cada escenario, se evalúan los datos simulados en cinco estaciones fluviométricas, pertenecientes al territorio generado por la cuenca de la estación Río Cautín en Cajón. Éstas son:

- i. Río Cautín en Cajón.
- ii. Río Cautín en Rariruca.
- iii. Río Blanco en Curacautín.
- iv. Río Muco en Puente Muco.
- v. Río Collín en Codahue.

La información de cada estación no necesariamente está bajo la misma escala temporal. Si bien en la tesis de Mendoza [2010], se visualizó el comportamiento de la simulación para eventos de crecidas en una escala horaria, sólo se hizo una comparación de resultados para dos estaciones que son las únicas que poseen datos a ese nivel, siendo éstas Río Cautín en Cajón y Río Cautín en Rariruca. Dado que se quiere obtener un mayor detalle de las propiedades funcionales de la cuenca, se evaluaron los resultados en puntos interiores de ésta. Es esencial tener en cuenta que las tres estaciones restantes solo brindan información a escala diaria, por esto se optó por correr el modelo a nivel horario, para luego procesar la información a escala diaria.

#### **3.4.2. Evaluación según distintas métricas**

Si bien el coeficiente de Nash-Sutcliffe ha sido ampliamente utilizado por la comunidad hidrológica en la calibración de modelos, tiende a dar mayor “peso” a caudales de mayor magnitud. Por otro lado, un buen coeficiente de NS no necesariamente puede ser obtenido por las razones correctas (i.e. correcta simulación de equivalente de agua en nieve, percolación, evapotranspiración, flujo base, etc.), sino por la compensación de errores estructurales y paramétricos asociados al modelo hidrológico [Kirchner, 2006]. Por lo tanto es importante incorporar otro tipo de métricas de evaluación, para entender la habilidad de los parámetros encontrados para simular correctamente las principales características funcionales de las cuencas de interés.

En virtud de lo anterior, la fidelidad de las simulaciones hidrológicas es evaluada incluyendo los siguientes indicadores:

- **Coefficiente de correlación lineal (r):** Mide el grado de proximidad entre dos o más variables, aplicándose normalmente cuando la relación que puede existir es lineal. Por otro lado el intervalo que comprende va entre [-1, 1], en donde los valores extremos presentan una buena correlación, mientras que si  $r = 0$  significa que no existe relación entre las variables. Para finalizar se puede determinar el valor de  $r$  mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2)}} \quad \text{Ecuación 3.7.}$$

Donde:

$x_i$  : Valor observado en el instante  $i$ .

$y_i$  : Valor simulado en el instante  $i$ .

$\bar{x}$  : Promedio de valores observados.

$\bar{y}$  : Promedio de valores simulados.

- **%BiasRR (runoff ratio):** Es el porcentaje de sesgo estadístico relacionado con procesos evapotranspirativos. En estricto rigor, cuantifica la habilidad del modelo para reproducir la partición de precipitación entre escorrentía total y evapotranspiración. Los valores de este indicador van entre  $(-\infty, +\infty)$ , siendo 0% la condición de equilibrio perfecto. Dicho coeficiente puede ser calculado por: [Yilmaz et al, 2008; Casper et al, 2012]

$$\%BiasRR = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n (x_i)} \times 100 \quad \text{Ecuación 3.8.}$$

Donde:

$x_i$  : Valor observado en el instante  $i$ .

$y_i$  : Valor simulado en el instante  $i$ .

- **%BiasFLV (FDC low-segmentslope):** Es el porcentaje de sesgo estadístico relacionado a las diferencias del flujo base a largo plazo. Corresponde al segmento de caudales con probabilidad de excedencia mayor a 0.7 en la curva de duración diaria. Los valores que comprende este indicador van entre  $(-\infty, +\infty)$ , siendo 0% el óptimo. [Yilmaz et al, 2008; Casper et al, 2012]. La Ecuación 3.9 describe la métrica %BiasFLV.

$$\%BiasFLV = -1 \times \frac{\sum_{i=1}^n [\log(y_i) - \log(y_n)] - \sum_{i=1}^n [\log(x_i) - \log(x_n)]}{\sum_{i=1}^n [\log(x_i) - \log(x_n)]} \times 100$$

Ecuación 3.9.

Donde

$x_i$  : Valor observado en el instante  $i$ .

$y_i$  : Valor simulado en el instante  $i$ .

$n$ : Valor en la posición  $n$ . Con  $P(x_n) = \text{Max}(P)$ .

$i=1$ : Valor en la posición 1, donde  $P(x_i) > 0,7 \geq P(x_{i-1})$ .

- **%BiasFMS (FDC mid-segment slope):** Es el porcentaje de sesgo estadístico relacionado a la percolación del sistema, correspondiente a la pendiente del segmento medio en la curva de duración diaria (i.e. caudales con probabilidades de excedencia entre 0.2 y 0.7), que se caracteriza por tener flujos de eventos moderados de precipitación, como también respuestas de relajación del flujo base a mediano plazo. Por otro lado los valores que comprende esta función van entre  $(-\infty, +\infty)$ , siendo 0% el óptimo. La Ecuación 3.10 describe la métrica %BiasFMS. [Yilmaz et al, 2008; Casper et al, 2012]

$$\%BiasFMS = \frac{[\log(y_{0,2}) - \log(y_{0,7})] - [\log(x_{0,2}) - \log(x_{0,7})]}{\log(x_{0,2}) - \log(x_{0,7})} \times 100 \quad \text{Ecuación 3.10.}$$

Donde

$x_{0,2}$  : Valor observado con probabilidad de excedencia 20%.

$x_{0,7}$  : Valor observado con probabilidad de excedencia 70%.

$y_{0,2}$  : Valor simulado con probabilidad de excedencia 20%.

$y_{0,7}$  : Valor simulado con probabilidad de excedencia 70%.

- **%BiasFHV (FDC high-segment volumen):** Es el porcentaje de sesgo estadístico relacionado a los eventos extremos del sistema, correspondiente al segmento alto de la curva de duración ( $P \leq 0,02$ ), que se caracteriza por tener flujos de eventos de intensa precipitación. Por otro lado los valores que comprende esta función van entre  $(-\infty, +\infty)$ , siendo 0% el óptimo. La Ecuación 3.11 describe la métrica %BiasFHV. [Yilmaz et al, 2008; Casper et al, 2012]

$$\%BiasFHV = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n (x_i)} \times 100 \quad \text{Ecuación 3.11.}$$

Donde

$x_i$  : Valor observado en el instante i.

$y_i$  : Valor simulado en el instante i.

n: Valor en la posición n, donde  $P(x_n) \leq 0,02 < P(x_{n+1})$ .

- **%BiasFMM (FDC median midflow):** Es el porcentaje de sesgo estadístico relacionado a las diferencias del rango medio de caudales. Los valores que comprende esta función van entre  $(-\infty, +\infty)$ , siendo 0% el óptimo. La Ecuación 3.12 describe la métrica %BiasFMM [Yilmaz et al, 2008; Casper et al, 2012].

$$\%BiasFMM = \frac{\log(y_{med}) - \log(x_{med})}{\log(x_{med})} \times 100 \quad \text{Ecuación 3.12.}$$

Donde

$x_{med}$  : Mediana aritmética de los valores observados.

$y_{med}$  : Mediana aritmética de los valores simulados.

En cuanto a la importancia del porcentaje de sesgo, éste va más lejos de entenderlo simplemente como la tendencia de las simulaciones en intervalos definidos. Por lo que el objetivo de estas métricas es la búsqueda de una respuesta a cómo se ven afectados los procesos hidrológicos relacionados a los parámetros de interés. Dentro del espectro de métricas %Bias calculadas,

existen las que dan un escenario generalizado de la simulación, como a su vez las que dan tendencias de procesos específicos. En particular las métricas siguientes se analizarán más a fondo [Mendoza, 2010]:

- **%BiasFLV**: La importancia de esta métrica radica en su relación con el flujo base “ $q_b$ ”, que está directamente relacionada con las variables de estado correspondientes al almacenamiento en el acuífero como a su vez al almacenamiento superficial, ilustradas en la Ecuación 2.4 y la Ecuación 2.5. La ecuación que define a  $q_b$  queda expuesta en la siguiente expresión.

$$q_b = \frac{K_0}{f} e^{-\lambda} e^{-z/\lambda} \quad \text{Ecuación 3.13.}$$

Donde:

$K_0$ : Conductividad hidráulica saturada.

$f$ : parámetro  $f$  de TOPMODEL

$\lambda$ : promedio espacial en la subcuenca de todos los valores del índice topográfico transformado o índice de humedad.

$z$ : profundidad media del nivel freático en la subcuenca.

Con lo cual es directo ver que esta métrica tiene relación con los parámetros  $K_0$  y  $f$ .

- **%BiasFMS**: Esta métrica presenta importancia en las variables de estado correspondientes al almacenamiento en la zona de raíces de suelo como a su vez al almacenamiento en el acuífero, que fueron presentadas la Ecuación 2.2 y la Ecuación 2.4. Por otro lado los procesos específicos que se pueden analizar según la Figura 2.1, son percolación e infiltración, que se presentan a continuación:

$$d = K_r \theta^c \quad \text{Ecuación 3.14.}$$

Donde:

$K_r$ : Presentado en la Ecuación 3.4.

$\theta$ : Humedad relativa en el suelo en condiciones normales.

$c$ : exponente en la expresión de percolación en función de la humedad relativa en el suelo.

Si bien los niveles de infiltración dependen tanto como de la precipitación y la evaporación, también debe ser considerada la tasa de infiltración máxima, la cual determina la condición máxima a la cual puede llegar este proceso, independientemente del exceso de precipitación [Barangoda et al., 2004]

$$i_{m\acute{a}x} = K(z_f) \frac{z_f - \Psi_f}{z_f} \quad \text{Ecuación 3.15.}$$

Donde:

$\Psi_f$ : tensión de succión del frente húmedo.

$z_f$ : profundidad del frente húmedo.

Directamente con la presencia de la variable  $K_r$ , se desprende la importancia de esta métrica para los parámetros  $K_0$  y  $f$ .

**%BiasFHV:** Esta métrica tiene importancia en los caudales generados por excedencia y salida de la cuenca, definidos por el caudal generado por excedencia de la capacidad de infiltración del suelo “ $q_{ix}$ ”, caudal generado por la saturación del suelo “ $q_{sx}$ ” y el caudal de salida de la cuenca “ $q_0$ ”, correspondientes a la variable de estado de almacenamiento superficial.

Dado que la terminología caudal tiene estrecha relación con la velocidad superficial y la rugosidad del lecho según la ecuación de Manning, se puede concluir que esta métrica se ve afectada principalmente con  $V$  y  $n$ .

### 3.4.3. Gráficos de análisis

Se construyeron distintos tipos de gráficos a escala mensual y diaria, los que resumen de manera intuitiva la calidad de las simulaciones. Dentro de los gráficos generados, se encuentran los del tipo Curvas de duración, de nubes y Caudales vs Tiempo.

- i. **Curva de duración:** Es un tipo de gráfico que toma los elementos de un conjunto de datos ordenadamente de mayor a menor, asociándole una probabilidad en orden creciente según el número de posición. Es decir mientras mayor sea el valor del elemento, menor será la probabilidad asociada, siendo calculada por la Ecuación 3.13.

$$P_i = \frac{i}{n + 1} \quad \text{Ecuación 3.16.}$$

Donde

$i$  : Posición del elemento.

$n$  : Número total de elementos del conjunto.

Dentro de las ventajas que este sistema otorga al estudio, es que los caudales pueden ser trabajados bajo este método, otorgando información valiosa en cuanto a métricas observables. Más aún este tipo de curvas son indispensables para cualquier tipo de obra hidráulica, dado que cada probabilidad puede ser asociada a un tiempo de reaparición, llamado “periodo de retorno”, que según la envergadura de la construcción puede necesitar elevados valores.

- ii. **Gráficos de nubes:** Este tipo de gráfico se construye a partir de ejes correspondientes a caudales simulados y caudales observados. De acuerdo a los resultados, pueden interpretarse de diferente forma:
  - Si la información graficada entrega como resultado una recta de pendiente 1, quiere decir que la simulación es perfecta.
  - Si la nube de puntos se inclina hacia el eje de caudales simulados, implica que se generó una subestimación, dado que la mayoría de los valores de los elementos del conjunto simulado son menores que los del observado.

- Si la nube de puntos se inclina hacia el eje de caudales observados, implica que se generó una sobreestimación, dado que la mayoría de los valores de los elementos del conjunto observados son menores que los del simulado.

iii. **Caudales vs Tiempo:** Este tipo de gráfico permite visualizar de mejor forma el comportamiento de los caudales en función del tiempo. Es decir, permite ver las diferencias entre las fluctuaciones de caudales simulados y observados, de forma de definir los instantes donde podría ocurrir alguna anomalía.

La importancia de estos gráficos, es la comparación de datos simulados con los observados desde diferentes criterios, siendo de vital importancia, dado que permite ver el comportamiento de las simulaciones en función de los registros de caudales. Los últimos se pueden observar en la Figura 3.6, la cual muestra los niveles de caudales en función del tiempo para cada estación.

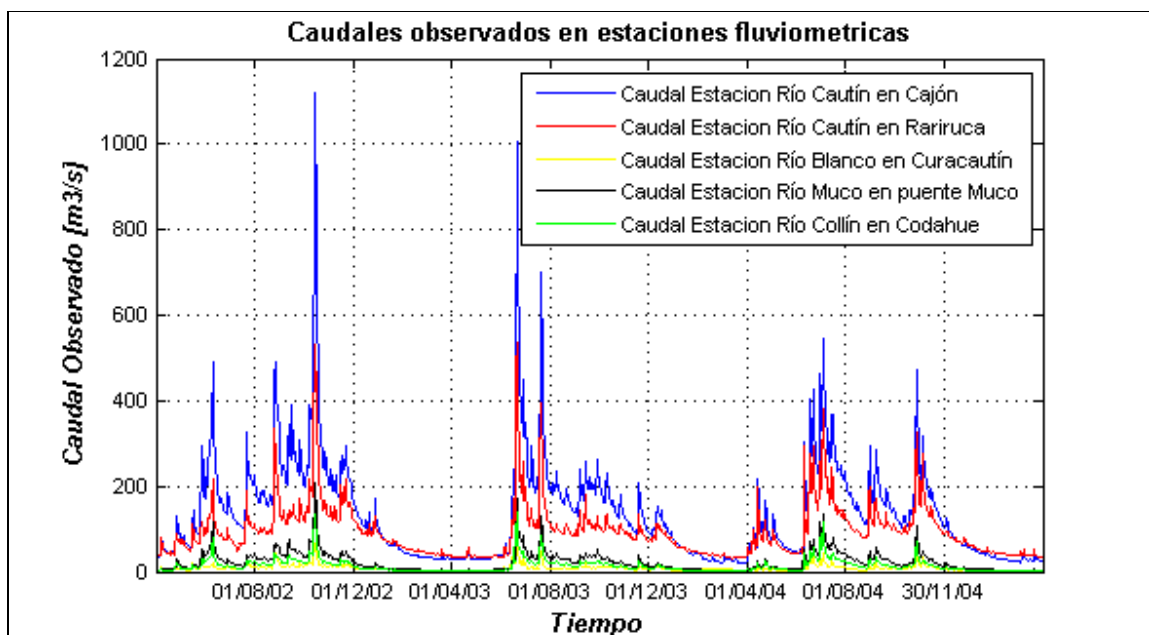


Figura 3.6. Caudales observados en estaciones fluviométricas, en el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

## Capítulo 4

### Resultados y análisis

#### 4.1. Calibraciones

##### 4.1.1. Escenario Base

Para generar una base sólida para un posterior análisis, es de vital importancia tener una calibración inicial adecuada, que no genere errores de arrastre en el resto de escenarios. Para esto el modelo fue calibrado y validado en el periodo de Abril de 2002 a Abril 2005, aun así las simulaciones consideran el intervalo comprendido desde Abril de 2000 a Abril 2005, de forma de utilizar los primeros dos años como un estabilizador de las variables de estado del modelo, permitiendo obtener condiciones iniciales aptas para el periodo de interés.

En la Tabla 4.1, se puede observar el set de parámetros final para el escenario base. Cabe destacar, que no todas las variables presentan independencia a la calibración, con lo cual al momento de calibrar ordenadamente parámetro por parámetro, algunos ponderadores ya estimados presentaron alteraciones debido a la modificación de las variables posteriores. Bajo este dilema, se realizaron dos calibraciones, la primera a nivel general y la segunda a nivel de los cuatro parámetros de interés.

Tabla 4.1. Set de parámetros final a escala diaria. Calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Ponderador
Parámetro $f$ de TOPMODEL	$f$	l/m	0,12
Conductividad hidráulica saturada	$K_0$	m/s	1,5
Velocidad de escurrimiento superficial	$V$	m/s	0,2
Coefficiente de rugosidad de Manning	$n$	$m^{-1/3}s$	10
Fracción de agua drenable	$\theta_{dr}$	-	0,26
Fracción de agua para las plantas	$\theta_{pa}$	-	0,6
Contenido de agua en el suelo	$\theta_i$	m	0,88
Tensión de succión del frente húmedo (Green-Ampt)	$\Psi_f$	m	1
Capacidad de almacenamiento de agua en el follaje	$C_c$	m	0,5
Factor de corrección de la evaporación desde el follaje	$C_r$	-	0,9
Albedo superficial	$\alpha$	-	1,1

##### 4.1.2. Escenarios con parámetros no distribuidos

Con la intención de ver como varían los resultados según los distintos tipos de escenarios, mediante la modificación en el patrón de las variables de interés, es que se obtuvieron los resultados de la Tabla 4.2. Ésta contiene los valores de NS calculados en todos los escenarios. Si el valor posee color rojo, significa que el parámetro es espacialmente constante en toda la cuenca, como a su vez si es azul el parámetro es distribuido. Los valores resaltados hacen referencia a los

casos donde NS es mayor o igual al escenario base.

Cabe destacar que se mantuvo un especial énfasis en los parámetros  $n$  y  $K_0$ , dado que sus ponderadores son mayores a uno, lo que podría provocar una sobreestimación en el rango de valores existentes. Dicho esto, se mantuvo un incremento de 0,5 en los ponderadores calculados por Mendoza [2010] señalados en la Tabla 2.2, en caso que la calibración indicara que según esa condición el coeficiente de Nash-Sutcliffe mejoraba, con lo cual los máximos están dados por 12,5 y 2,5 respectivamente a los parámetros mencionados.

Tabla 4.2. Resultados de NS para la cuenca de Río Cautín en Cajón, con los escenarios calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005, en donde los valores marcados con azul representan parámetros distribuidos, mientras que los rojos los no distribuidos.

Escenario	Ponderador				NS
	$V$ [m/s]	$n$ [m <sup>-1/3</sup> s]	$f$ [1/m]	$K_0$ [m/s]	
Base	0,2	10	0,12	1,5	0,9149
1	0,22	10	0,12	1,5	0,9117
2	0,2	10	0,12	1,5	<b>0,9149</b>
3	0,2	10	0,12	1,5	0,9132
4	0,2	10	0,12	1	<b>0,9154</b>
5	0,2	10	0,12	1,5	0,9116
6	0,2	10	0,12	1,5	0,9100
7	0,2	10	0,12	1	0,9123
8	0,2	11	0,12	1,5	0,9133
9	0,2	10	0,12	1	<b>0,9154</b>
10	0,2	10	0,12	1	0,9135
11	0,2	11	0,12	1,5	0,9101
12	0,2	10	0,12	1	0,9123
13	0,2	10	0,12	1	0,9104
14	0,2	11	0,12	2,5	0,9141
15	0,2	11	0,12	2,5	0,9111

#### 4.2. Evaluación de resultados en estaciones fluviométricas

La primera etapa de la evaluación contiene como base las simulaciones realizadas para cada escenario, con esto se procede a calcular las distintas métricas para las estaciones interiores de la cuenca Río Cautín en Cajón, de forma de observar el comportamiento que presentan.

La segunda etapa corresponde a la información gráfica obtenida, haciendo referencia exclusivamente a los casos relacionados con el escenario base, dado que las diferencias gráficas entre los escenarios no presentan desigualdades que permitan análisis definitivos, con lo cual los demás gráficos son presentados en los Anexos digitales A, B, C y D.

Por último se encuentran los análisis de los resultados y gráficos, de manera de profundizar sobre los efectos que produce el hecho de considerar parámetros distribuidos y no distribuidos, como a su vez tomar mediciones en puntos interiores de la cuenca.



4.2.1. Resultados y análisis en la estación Río Cautín en Cajón

4.2.1.1. Funciones y métricas

La Tabla 4.3 presenta los resultados de funciones objetivo y métricas de evaluación calculadas a partir de las calibraciones de los escenarios en la estación Río Cautín en Cajón. Por otro lado la Tabla 4.4 presenta los mejores y peores casos dependiendo del tipo de métrica.

Tabla 4.3. Evaluación de funciones y métricas para la estación Río Cautín en Cajón, con los escenarios calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Resultados a nivel diario en la Estación Río Cautín en Cajón							
Escenario	NS	r	%Bias <sub>SRR</sub>	%Bias <sub>SFLV</sub>	%Bias <sub>SFMS</sub>	%Bias <sub>SFHV</sub>	%Bias <sub>SFMM</sub>
Base	0,9149	0,960	-1,47	7,90	-8,29	-7,87	0,12
1	0,9117	0,958	-1,46	8,03	-8,83	-8,22	0,10
2	0,9149	0,960	-1,47	7,90	-8,29	-7,87	0,12
3	0,9132	0,959	-1,45	12,81	-9,93	-10,28	0,04
4	0,9154	0,960	-1,55	7,66	-8,37	-7,95	0,04
5	0,9116	0,958	-1,46	8,03	-8,93	-8,31	0,07
6	0,9100	0,958	-1,44	12,89	-10,34	-10,72	0,09
7	0,9123	0,959	-1,54	7,79	-8,78	-8,39	0,07
8	0,9133	0,959	-1,44	12,87	-10,13	-10,36	0,12
9	0,9154	0,960	-1,55	7,66	-8,37	-7,95	0,04
10	0,9135	0,960	-1,54	12,63	-9,81	-10,36	-0,01
11	0,9101	0,958	-1,43	12,94	-10,51	-10,81	0,10
12	0,9123	0,959	-1,54	7,79	-8,78	-8,39	0,07
13	0,9104	0,958	-1,53	12,70	-10,51	-10,78	0,16
14	0,9141	0,960	-0,54	13,23	-10,98	-9,44	0,47
15	0,9111	0,958	-0,53	13,29	-11,96	-9,87	0,47

Tabla 4.4. Escenarios favorables y desfavorables en función de las métricas calculadas para la estación Río Cautín en Cajón, para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Escenarios favorables y desfavorables en la Estación Río Cautín en Cajón							
Escenario	NS	r	%Bias <sub>SRR</sub>	%Bias <sub>SFLV</sub>	%Bias <sub>SFMS</sub>	%Bias <sub>SFHV</sub>	%Bias <sub>SFMM</sub>
Favorable 1°	4	4	15	4	Base	Base	10
Favorable 2°	Base	Base	14	7	4	4	3
Desfavorable	6	6	4	15	15	11	15

4.2.1.2. Gráficos

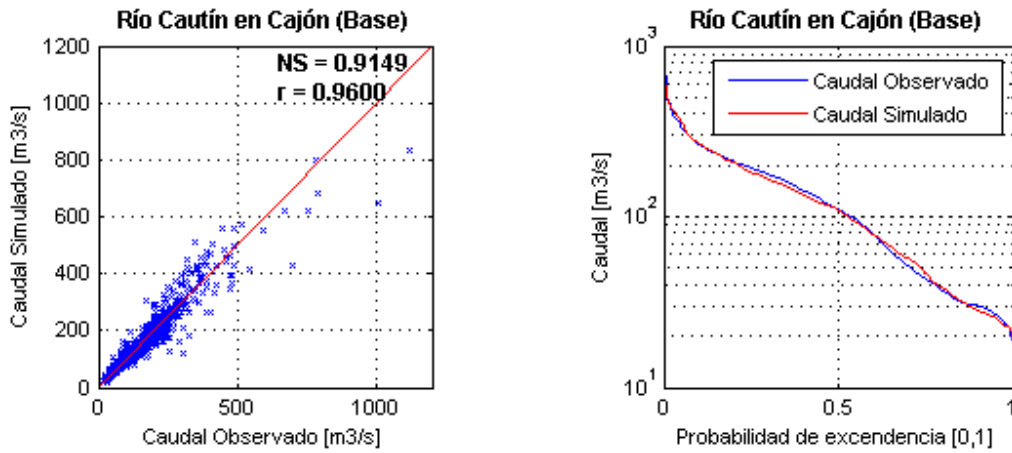


Figura 4.1. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Cautín en Cajón. Gráficos de nube de puntos y Curva de duración para el escenario Base, en el periodo abril/2002-abril/2005.

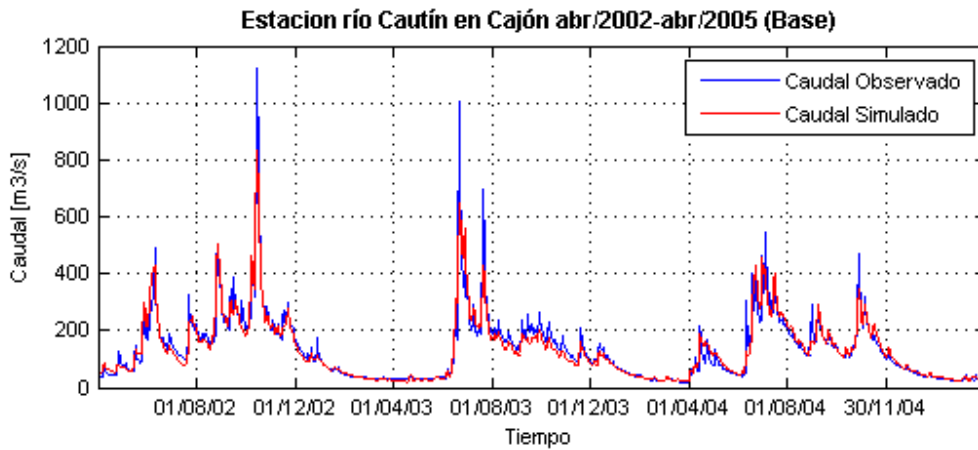


Figura 4.2. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.

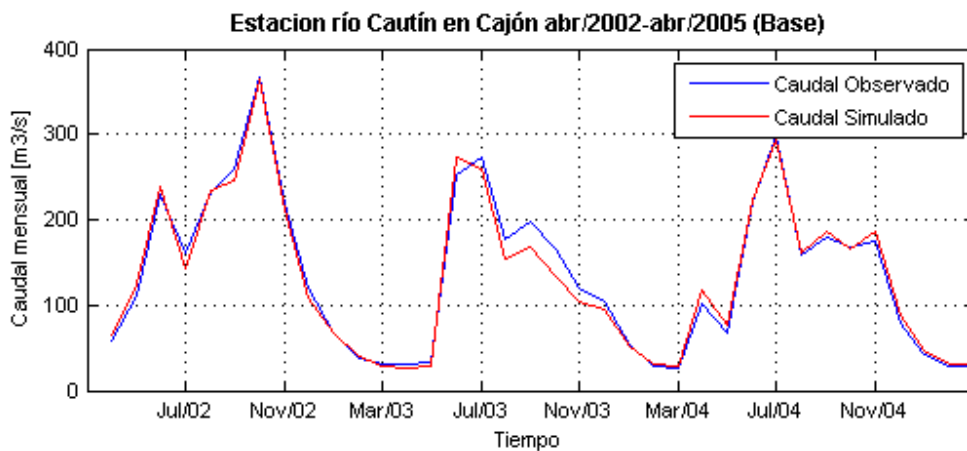


Figura 4.3. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.

4.2.1.3. *Análisis*

Coeficiente de Nash-Sutcliffe: A pesar de que las diferencias presentadas en esta métrica pueden ser causales de conclusiones, las variaciones que se producen a lo largo de los escenarios son mínimas, aun así se puede ver que los parámetros  $V$  y  $f$  presentan una disminución, mientras que  $K_0$  y  $n$  no lo hacen.

Por otro lado se puede observar que la mayoría de los escenarios con excepción del 14 y 15 presentan una tendencia similar, particularmente en el comportamiento de los escenarios con dos o más parámetros distribuidos, tomando como base los resultados de los que tienen un parámetro distribuido.

Parámetros de interés:

- **Velocidad no distribuida**: Dado que el coeficiente de Nash-Sutcliffe da como resultado que la simulación tiene una respuesta desfavorable respecto al escenario base, se puede corroborar con los niveles de sesgo estadísticos ilustrados los cuales dan resultados más altos. En particular la métrica %BiasFHV de eventos extremos, debería tener resultados favorables de acuerdo a los altos niveles de caudal, aun así no lo hace, con lo que directamente se puede observar que ambas métricas relevantes son deficientes en comparación al parámetro distribuido.
- **Coeficiente de rugosidad de Manning no distribuido**: Las variaciones que produce este parámetro son nulas, con lo cual se puede observar que el hecho de distribuir el parámetro no causa ningún efecto en los resultados. Las excepciones del caso 14 y 15, se pueden ver reflejadas desde los ponderadores, donde la calibración arroja un aumento en el parámetro  $K_0$  no significando que la presencia de  $n$  sea la responsable.
- **Parámetro  $f$  de TOPMODEL no distribuido**: Este parámetro el cual tiene influencia en los procesos de percolación, infiltración y flujo base del sistema, presenta un déficit significativo en las métricas %BiasFLV y %BiasFMS, que se corrobora con la disminución del coeficiente de Nash-Sutcliffe. Por ello se puede concluir que en esta estación lo conveniente es tener información distribuida.
- **Conductividad hidráulica saturada no distribuida**: Dado los resultados del coeficiente de Nash-Sutcliffe, se procede a ver las métricas específicas que presentan importancia para este parámetro que son %BiasFLV y %BiasFMS. La métrica %BiasFLV presenta mejores resultados en comparación con el escenario base, sin embargo %BiasFMS presenta un resultado desfavorable, lo cual permite ver que los procesos de percolación e infiltración no mejoran, aun así la variación es ínfima y cabe la posibilidad de que la mejora en el flujo base sea suficiente para mitigar el déficit de %BiasFMS. Dicho esto, se puede concluir que distribuir  $K_0$  no es sinónimo de un buen ajuste.

Resultados en estación Río Cautín en Cajón: En general todos los resultados de métricas y funciones son óptimas dentro de los rangos aceptables, sin embargo existen ciertos niveles de caudales que no siguen este patrón. Esto se puede ver reflejado en el gráfico de nube de puntos y el gráfico Q vs Tiempo, en donde se muestra claramente que los peaks de caudales máximos

observados superan significativamente a los simulados, lo que conduce a que podrían existir cambios favorables en los parámetros de escurrimiento superficial que permitan mejoras al ajuste.

#### 4.2.2. Funciones y métricas evaluadas en estación Río Cautín en Rariruca

##### 4.2.2.1. Funciones y métrica

La Tabla 4.5 presenta los resultados de objetivo y métricas de evaluación para la estación Río Cautín en Rariruca, calculados a partir de las calibraciones de escenarios en la estación Río Cautín en Cajón. Por otro lado, la Tabla 4.6 presenta los mejores y peores casos dependiendo del tipo de métrica.

Tabla 4.5. Evaluación de funciones y métricas para la estación Río Cautín en Rariruca, con los escenarios calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Resultados a nivel diario en la Estación Río Cautín en Rariruca							
Escenario	NS	r	%Bias <sub>SRR</sub>	%Bias <sub>FLV</sub>	%Bias <sub>FMS</sub>	%Bias <sub>FHV</sub>	%Bias <sub>FMM</sub>
Base	0,7771	0,917	-6,67	-86,58	35,24	-3,89	-2,30
1	0,7760	0,916	-6,67	-86,22	35,29	-4,03	-2,25
2	0,7771	0,917	-6,67	-86,58	35,24	-3,89	-2,30
3	0,7854	0,913	-6,56	-75,60	29,79	-8,71	-2,06
4	0,7774	0,917	-6,80	-87,50	35,59	-3,95	-2,35
5	0,7749	0,915	-6,67	-86,25	35,29	-4,10	-2,23
6	0,7828	0,912	-6,56	-75,29	29,00	-8,91	-1,93
7	0,7758	0,916	-6,79	-87,18	35,60	-4,20	-2,27
8	0,7852	0,913	-6,56	-75,59	30,22	-8,72	-2,02
9	0,7774	0,917	-6,80	-87,50	35,59	-3,95	-2,35
10	0,7859	0,914	-6,68	-76,38	29,64	-8,80	-2,01
11	0,7822	0,912	-6,56	-75,29	28,92	-8,93	-1,89
12	0,7758	0,916	-6,79	-87,18	35,60	-4,20	-2,27
13	0,7838	0,912	-6,68	-76,09	29,73	-8,98	-1,99
14	0,7885	0,914	-5,96	-75,54	28,70	-7,96	-1,79
15	0,7857	0,913	-5,96	-75,22	27,80	-8,17	-1,72

Tabla 4.6. Escenarios favorables y desfavorables en función de las métricas calculadas para la estación Río Cautín en Rariruca, para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Escenarios favorables y desfavorables en la Estación Río Cautín en Rariruca							
Escenario	NS	r	%Bias <sub>SRR</sub>	%Bias <sub>FLV</sub>	%Bias <sub>FMS</sub>	%Bias <sub>FHV</sub>	%Bias <sub>FMM</sub>
Favorable 1°	14	4	15	15	15	Base	15
Favorable 2°	10	Base	14	11	14	4	14
Desfavorable	5	11	4	4	7	11	4

4.2.2.2. Gráficos

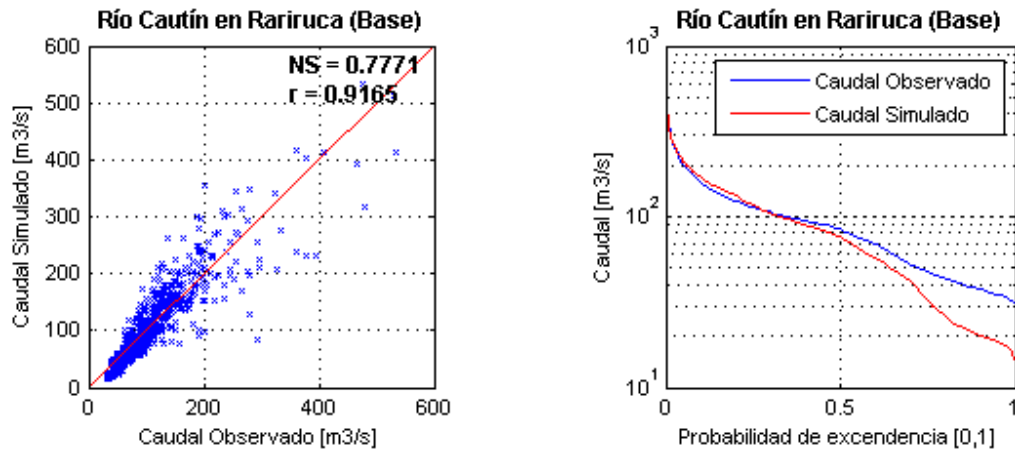


Figura 4.4. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Cautín en Rariruca. Gráficos de nube de puntos y Curva de duración para el escenario Base, en el periodo abril/2002-abril/2005.

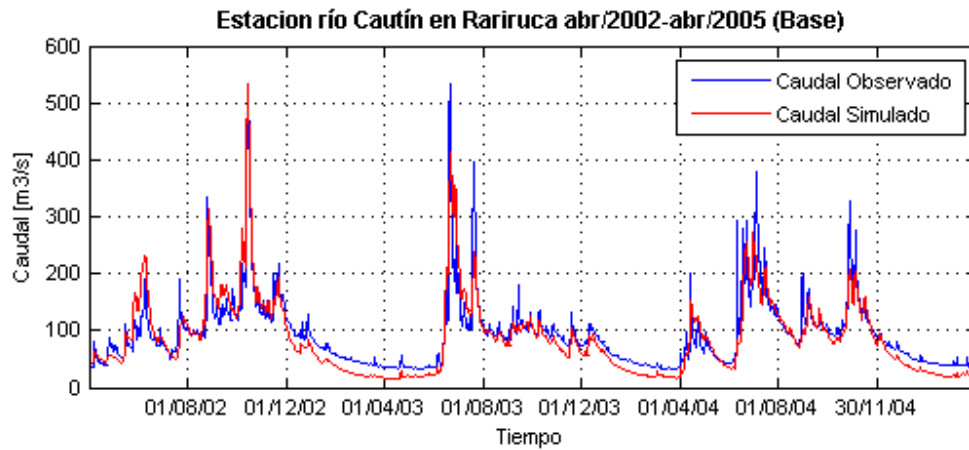


Figura 4.5. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.

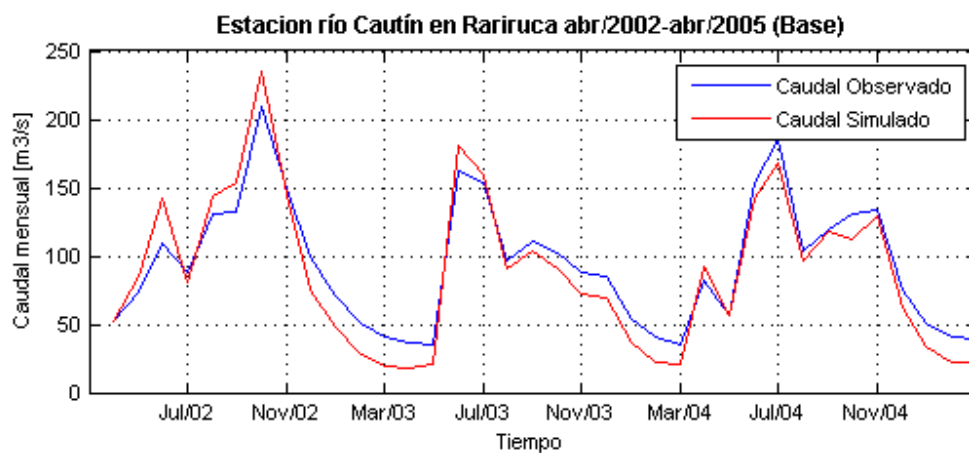


Figura 4.6. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.

4.2.2.3. *Análisis*

Coefficiente de Nash-Sutcliffe: De los resultados obtenidos en las simulaciones, se puede apreciar que los resultados son aceptables y que las diferencias a lo largo de los escenarios son notorias. Sin embargo la tendencia de resultados en cuanto a esta métrica no es la misma que la estación Río Cautín en Cajón, provocando confusión en lo que se refiere específicamente al parámetro  $f$ , dado que los demás siguen el mismo patrón.

Dada la interrogante, de que si al no distribuir  $f$  es favorable, es que se buscó una forma de responder a esta pregunta, lo que concluyo en la realización de una calibración especial para  $f$  distribuido y otra para  $f$  no distribuido, de forma de ver si realmente los resultados son precisamente favorables o es que el modelo al no estar calibrado en ésta estación genera esta irregularidad. Finalmente en la Tabla 4.7 se pueden ver los resultados obtenidos, donde se determina que en cuanto a NS la simulación no distribuida no supera a la distribuida.

Tabla 4.7. Resultados de las simulaciones, para la evaluación de  $f$  en la estación Río Cautín en Rariruca, para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Resultados de $f$ en la Estación Río Cautín en Rariruca							
Simulación	NS	r	%BiasRR	%BiasFLV	%BiasFMS	%BiasFHV	%BiasFMM
Distribuida	0,7867	0,910	-6,47	-73,57	28,06	-11,69	-1,76
No Distribuida	0,7851	0,909	-6,47	-69,34	26,27	-12,41	-1,73

Parámetros de interés:

- **Velocidad no distribuida:** El coeficiente de Nash-Sutcliffe da como resultado que la simulación tiene una respuesta desfavorable respecto al escenario base, que puede ser corroborado con la métrica %BiasFHV de eventos extremos, la cual se comporta negativamente de la misma forma que NS.
- **Coefficiente de rugosidad de Manning no distribuido:** Las variaciones que produce este parámetro son nulas al igual que en la estación Río Cautín en Cajón, con lo cual se puede observar que el hecho de distribuir el parámetro no causa ningún efecto en los resultados.
- **Parámetro  $f$  de TOPMODEL no distribuido:** El comportamiento de este parámetro resulta de extrañeza, al ver que el resultado de NS no coincide con el comportamiento de las métricas %BiasFLV y %BiasFMS, las cuales presentan mejoras al ser no distribuidas, permitiendo ver que a pesar de que el error de NS da como resultado que es conveniente mantenerlo distribuido, no sucede con las métricas medidas.
- **Conductividad hidráulica saturada no distribuida:** Al igual que el parámetro  $f$ ,  $K_0$  presenta el mismo tipo de irregularidad en este caso, con lo cual el hecho de que NS haya mejorado, no se ve reflejado en los procesos en los cuales está implicado que son %BiasFLV y %BiasFMS.

Resultados en estación Río Cautín en Rariruca: En general todos los resultados de métricas y funciones son óptimas dentro de los rangos aceptables, sin embargo existe el problema de que las métricas no siguen la misma tendencia que la estación Cautín en Cajón y puede deberse a varios

motivos, entre ellos un mal ajuste en la calibración de los parámetros correspondientes al flujo base y a la percolación, como también en los parámetros restantes que pueden generar un  $\Delta NS$  significativo para el cálculo de métricas posteriores.

#### 4.2.3. Funciones y métricas evaluadas en estación Río Blanco en Curacautín

##### 4.2.3.1. Funciones y métrica

La Tabla 4.8 presenta los resultados de funciones objetivo y métricas de evaluación para la estación Río Blanco en Curacautín, calculados a partir de las calibraciones de escenarios en la estación Río Cautín en Cajón. Por otro lado, la Tabla 4.9 presenta los mejores y peores casos dependiendo del tipo de métrica medida.

Tabla 4.8. Evaluación de funciones y métricas para la estación Río Blanco en Curacautín, con los escenarios calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Resultados a nivel diario en la Estación Río Blanco en Curacautín							
Escenario	NS	r	%Bias <sub>RR</sub>	%Bias <sub>FLV</sub>	%Bias <sub>FMS</sub>	%Bias <sub>FHV</sub>	%Bias <sub>FMM</sub>
Base	0,0098	0,857	61,96	64,81	5,10	26,32	31,41
1	0,0069	0,856	61,97	64,88	4,43	26,35	31,50
2	0,0098	0,857	61,96	64,81	5,10	26,32	31,41
3	0,0186	0,833	62,38	66,92	-1,65	17,51	32,73
4	0,0075	0,858	62,15	64,83	5,04	26,43	31,50
5	0,0048	0,854	61,98	64,90	4,14	26,29	31,31
6	0,0121	0,830	62,40	66,99	-1,66	17,41	32,54
7	0,0026	0,855	62,16	64,92	4,26	26,40	31,42
8	0,0180	0,833	62,39	66,95	-1,59	17,52	32,74
9	0,0075	0,858	62,15	64,83	5,04	26,43	31,50
10	0,0171	0,834	62,56	66,94	-1,57	17,64	32,74
11	0,0112	0,830	62,40	67,02	-1,89	17,40	32,55
12	0,0026	0,855	62,16	64,92	4,26	26,40	31,42
13	0,0105	0,831	62,58	67,01	-1,77	17,55	32,63
14	0,0036	0,837	63,64	67,13	-1,90	18,54	32,93
15	-0,0034	0,833	63,65	67,21	-2,35	18,42	32,96

Tabla 4.9. Escenarios favorables y desfavorables en función de las métricas calculadas para la estación Río Blanco en Curacautín, para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Escenarios favorables y desfavorables en la Estación Río Blanco en Curacautín							
Escenario	NS	r	%Bias <sub>RR</sub>	%Bias <sub>FLV</sub>	%Bias <sub>FMS</sub>	%Bias <sub>FHV</sub>	%Bias <sub>FMM</sub>
Favorable 1°	3	4	Base	Base	10	11	5
Favorable 2°	8	Base	2	4	8	6	Base
Desfavorable	15	11	15	15	Base	4	15

4.2.3.2. Gráficos

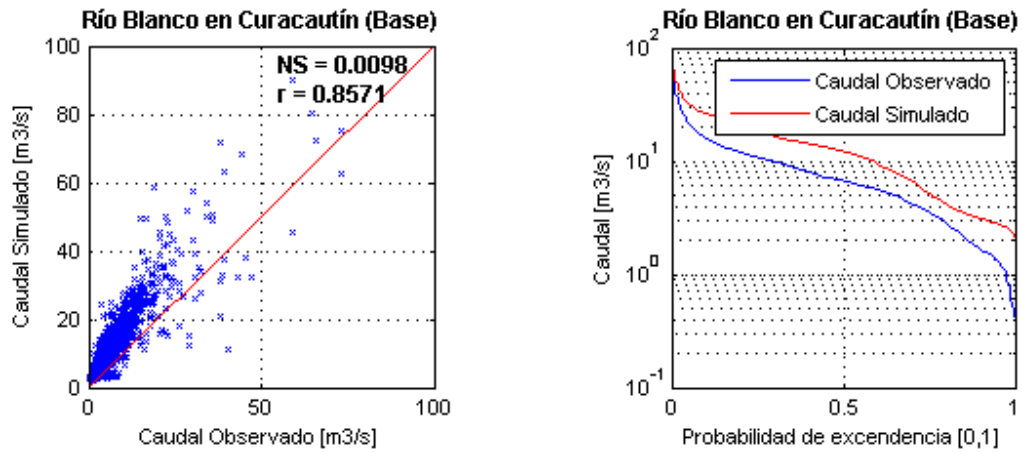


Figura 4.7. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Blanco en Curacautín. Gráficos de nube de puntos y Curva de duración para el escenario Base, en el periodo abril/2002-abril/2005.

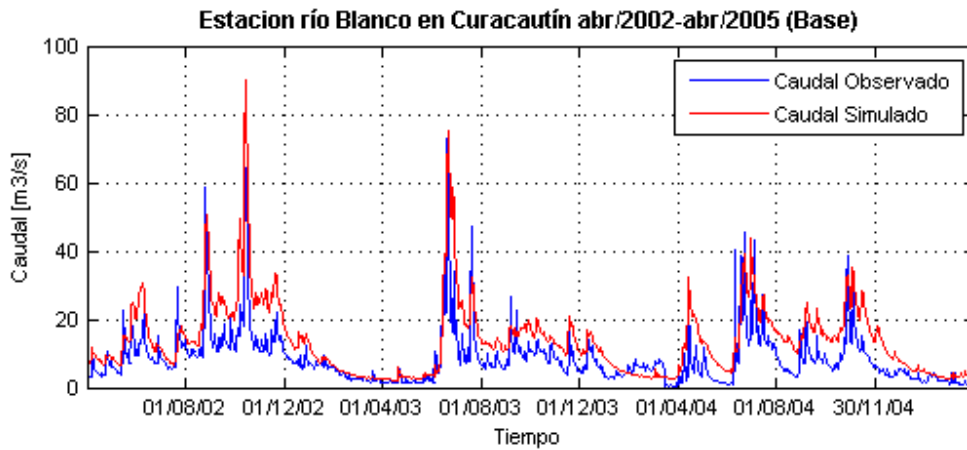


Figura 4.8. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.

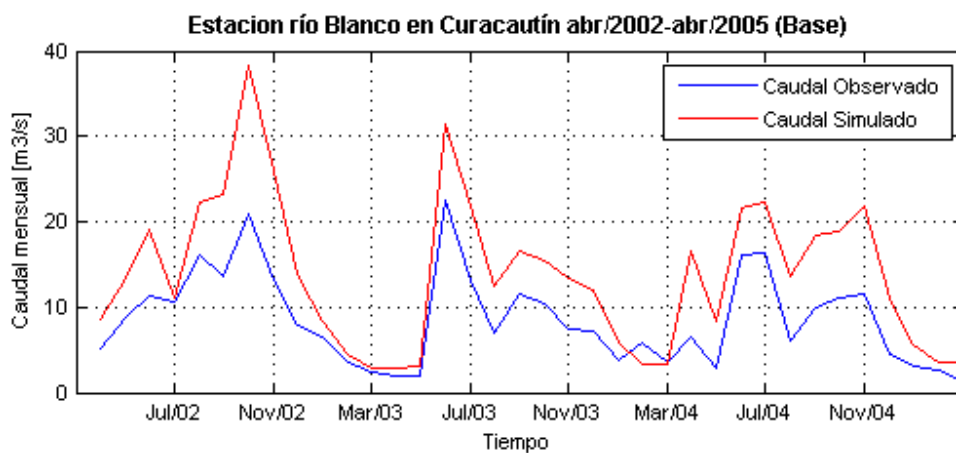


Figura 4.9. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.



4.2.3.3. *Análisis*

*Simulaciones:* De los resultados obtenidos en las simulaciones, se puede ver éstos no superan el rango de NS mínimo aceptable, lo que dificulta todo tipo de análisis. Por otro lado se puede ver que en las métricas %BiasRR y %BiasFLV presentan los mayores déficit, lo cual hace pensar a simple vista que los errores están enfocados en el área de flujo base, como en el área evapotranspirativa y sus derivados. De ésta forma es que se recalibraron los parámetros en la Tabla 4.10, de manera de comprender la causa de los resultados tan desfavorables, como a su vez ver el comportamiento de los parámetros, que es el objetivo principal de este estudio.

Tabla 4.10. Set de parámetros final a escala diaria para la estación Río Blanco en Curacautín. Calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Ponderador
Parámetro f de TOPMODEL	$f$	1/m	0,15
Conductividad hidráulica saturada	$K_0$	m/s	0,1
Velocidad de escurrimiento superficial	$V$	m/s	0,12
Coefficiente de rugosidad de Manning	$n$	$m^{-1/3}s$	12
Fracción de agua drenable	$\theta_{dr}$	-	0,15
Fracción de agua para las plantas	$\theta_{pa}$	-	0,7
Contenido de agua en el suelo	$\theta_t$	m	1,5
Tensión de succión del frente húmedo (Green-Ampt)	$\psi_f$	m	0,9
Capacidad de almacenamiento de agua en el follaje	$C_c$	m	2
Factor de corrección de la evaporación desde el follaje	$C_r$	-	2
Albedo superficial	$\alpha$	-	0,1

A pesar de que la gran parte de los parámetros cambio, los que presentaron más importancia en la calibración a la hora de aportar significativamente con  $+\Delta NS$  fueron:  $K_0$ ,  $C_c$ ,  $C_r$  y  $\alpha$ . Lo que permite concluir que  $K_0$  efectivamente aporta al ajuste del flujo base. Por otro lado al aumentar el parámetro  $C_c$  y mejorar el factor  $C_r$ , causa un efecto evapotranspirativo mayor, en consecuencia de tener más almacenamiento de agua en el follaje y aumentar el factor de evaporación, más aun esto se potencia con el hecho de tener menos radiación reflejada ( $\alpha$ ), ya que al absorber más energía dentro del follaje facilita la evaporación de las partículas de agua.

En cuanto al estudio de los parámetros, se optó solo por recalcular desde el escenario 1 al 4, dado que son los que permiten las conclusiones más objetivas, las cuales se pueden apreciar en la Tabla 4.11 y Tabla 4.12.

Tabla 4.11. . Resultados de NS para la cuenca de Río Cautín en Cajón, con los escenarios recalibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005, en donde los valores marcados con azul representan parámetros distribuidos, mientras que los rojos los no distribuidos

Escenario	Ponderador				NS
	$V$ [m/s]	$n$ [ $m^{-1/3}s$ ]	$f$ [1/m]	$K_0$ [m/s]	
Base	0,12	12	0,15	0,1	0,5163
1	0,2	12	0,15	0,1	0,5184
2	0,12	12	0,15	0,1	0,5163
3	0,12	12	0,19	0,1	0,5140
4	0,12	12	0,15	0,1	0,5092

Tabla 4.12. Evaluación de funciones y métricas para la estación Río Blanco en Curacautín, con los escenarios recalibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Resultados a nivel diario en la Estación Río Blanco en Curacautín							
Escenario	NS	r	%Bias <sub>RR</sub>	%Bias <sub>FLV</sub>	%Bias <sub>FMS</sub>	%Bias <sub>FHV</sub>	%Bias <sub>FMM</sub>
Base	0,5163	0,844	21,16	57,61	42,54	9,77	12,19
1	0,5184	0,845	21,16	57,55	42,28	9,96	12,44
2	0,5163	0,844	21,16	57,61	42,54	9,77	12,19
3	0,5140	0,849	21,02	57,04	44,24	12,47	11,93
4	0,5092	0,844	21,97	57,44	40,52	10,51	12,95

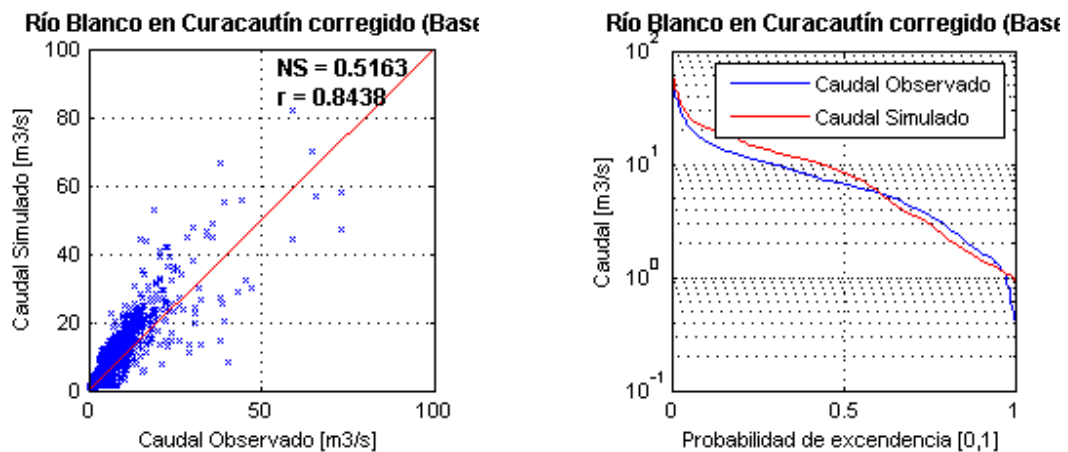


Figura 4.10. Caudales medios diarios observados y simulados corregidos con TopNet en la Estación Río Blanco en Curacautín. Gráficos de nube de puntos y Curva de duración para el escenario Base, en el periodo abril/2002-abril/2005.

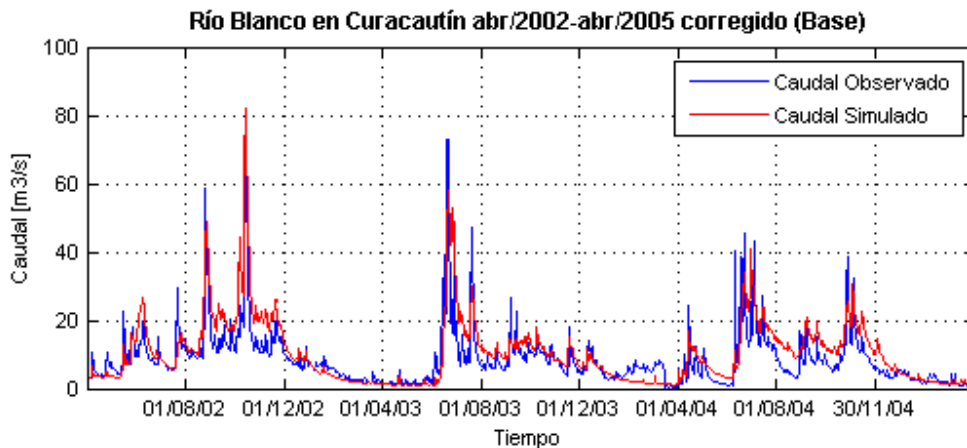


Figura 4.11. Caudales medios diarios observados y simulados corregidos con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.

*Coefficiente de Nash-Sutcliffe*: Claramente los resultados después de la corrección superaron a los anteriores, aun así existen diferencias en las tendencias en los parámetros, dado que en esta subcuenca el valor de NS con  $V$  no distribuido provoca un aumento y en  $K_0$  existe un déficit, que es completamente contrario a lo que sucede en la estación río Cautín en Cajón. Por otro lado cabe destacar que la recalibración fue exclusiva de esta subcuenca, con lo cual no se consideraron

estos resultados para el resto de estaciones, aun así estas presentaron una disminución en el coeficiente de Nash-Sutcliffe a la hora de ser evaluadas.

Parámetros de interés:

- **Velocidad no distribuida:** El coeficiente de Nash-Sutcliffe da como resultado que la simulación tiene una respuesta favorable respecto al escenario base, lo que no puede ser corroborado con la métrica %BiasFHV de eventos extremos la cual debería tener un comportamiento similar, sin embargo existe una mejora en %BiasFMS, la que tiene una baja incidencia en este parámetro pero que está presente y puede ser la métrica responsable de este ajuste.
- **Coefficiente de rugosidad de Manning no distribuido:** Las variaciones que produce este parámetro son nulas antes y después de la corrección al igual que en la estación Río Cautín en Cajón, con lo cual se puede observar que el hecho de distribuir el parámetro no causa ningún efecto en los resultados.
- **Parámetro  $f$  de TOPMODEL no distribuido:** Se puede observar que este parámetro, presenta déficit en casi todas las métricas medidas, salvo %BiasFMS la cual debería tener este mismo comportamiento, pero la variación es pequeña. Con lo cual al igual que en las estaciones anteriores, es conveniente distribuir este parámetro.
- **Conductividad hidráulica saturada no distribuida:** Este es el parámetro que más extrañeza causa, dado a que se esperaba que el comportamiento fuera igual a las dos cuencas anteriores. Por otro lado a pesar de que las métricas %BiasFLV y %BiasFMS las cuales son las que más importancia presentan en este parámetro contienen variaciones positivas, no lo hace %BiasRR y NS, lo cual hace pensar que el hecho de modificar  $K_0$  tuvo repercusión en las zonas de flujos altos, las cuales provocaron el déficit.

Resultados en estación Río Blanco en Curacautín: Una de las interrogantes que se desprende inmediatamente después de realizar una comparación en los resultados originales y corregidos, es el aumento de la métrica %BiasFMS, puesto que el resto de métricas presentan mejoras que pueden ser considerables. Evidentemente existe un mejor ajuste en la curva de duración corregida, aun así no necesariamente lo es la pendiente de caudales en escala logarítmica, con lo cual a pesar de que haya un mejor ajuste, no necesariamente lo debe hacer  $\Delta \text{Log}(Q)$  en los puntos de medición.

Por otra parte a pesar de los resultados de NS que son aceptables, las tendencias de las métricas no son las mismas que en las dos estaciones anteriores, lo que permite pensar que el hecho de distribuir o no distribuir un parámetro, puede depender de la calidad de información, como a su vez la adaptación de éstos o necesidades numéricas representadas en los parámetros de la subcuenca.

En cuanto a niveles de caudales, es evidente que en la corrección bajaron, con lo cual se puede concluir que el aumento en los ponderadores asociados a los parámetros  $C_c$ ,  $C_r$  y  $\alpha$ , buscan de alguna forma absorber cantidades altas de caudales de forma de ajustar mejor la simulación. Dentro de esta última hipótesis, es que se desprende que el problema no necesariamente debe ser

la modificación de esos parámetros, sino más bien un exceso de precipitación entrante en esa zona, la cual se equilibra con un aumento en el almacenamiento.

#### 4.2.4. Funciones y métricas evaluadas en estación Río Muco en puente Muco

##### 4.2.4.1. Funciones y métricas

La Tabla 4.13 presenta los resultados de funciones objetivo y métricas de evaluación para la estación Río Muco en puente Muco, calculados a partir de las calibraciones de escenarios en la estación Río Cautín en Cajón. Por otro lado, la Tabla 4.9 presenta los mejores y peores casos dependiendo del tipo de métrica medida.

Tabla 4.13. Evaluación de funciones y métricas para la estación Río Muco en puente Muco, con los escenarios calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Resultados a nivel diario en la Estación Río Muco en puente Muco							
Escenario	NS	r	%Bias <sub>RR</sub>	%Bias <sub>FLV</sub>	%Bias <sub>FMS</sub>	%Bias <sub>FHV</sub>	%Bias <sub>FMM</sub>
Base	0,6730	0,915	-4,92	-137,20	3,93	15,01	-11,24
1	0,6536	0,911	-4,91	-137,31	4,21	16,40	-11,32
2	0,6730	0,915	-4,92	-137,20	3,93	15,01	-11,24
3	0,5942	0,900	-5,21	-126,42	4,28	19,49	-12,01
4	0,6777	0,916	-4,89	-135,41	3,60	14,70	-11,12
5	0,6621	0,913	-4,92	-137,17	4,08	15,96	-11,40
6	0,5792	0,897	-5,21	-126,46	4,01	20,57	-12,23
7	0,6669	0,914	-4,89	-135,35	3,63	15,66	-11,40
8	0,6064	0,903	-5,20	-127,44	3,88	19,22	-11,79
9	0,6777	0,916	-4,89	-135,41	3,60	14,70	-11,12
10	0,6002	0,901	-5,20	-124,73	3,83	19,17	-11,89
11	0,5919	0,900	-5,20	-127,40	3,88	20,30	-11,83
12	0,6669	0,914	-4,89	-135,35	3,63	15,66	-11,40
13	0,5854	0,898	-5,20	-124,76	3,57	20,25	-11,98
14	0,5881	0,901	-3,99	-119,52	3,28	20,73	-11,46
15	0,5728	0,898	-3,99	-119,50	3,51	21,80	-11,44

Tabla 4.14. Escenarios favorables y desfavorables en función de las métricas calculadas para la estación Río Muco en puente Muco, para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Escenarios favorables y desfavorables en la Estación Río Muco en puente Muco							
Escenario	NS	r	%Bias <sub>RR</sub>	%Bias <sub>FLV</sub>	%Bias <sub>FMS</sub>	%Bias <sub>FHV</sub>	%Bias <sub>FMM</sub>
Favorable 1°	4	4	15	15	14	4	4
Favorable 2°	Base	Base	14	14	15	Base	Base
Desfavorable	15	6	3	1	3	15	6

4.2.4.2. Gráficos

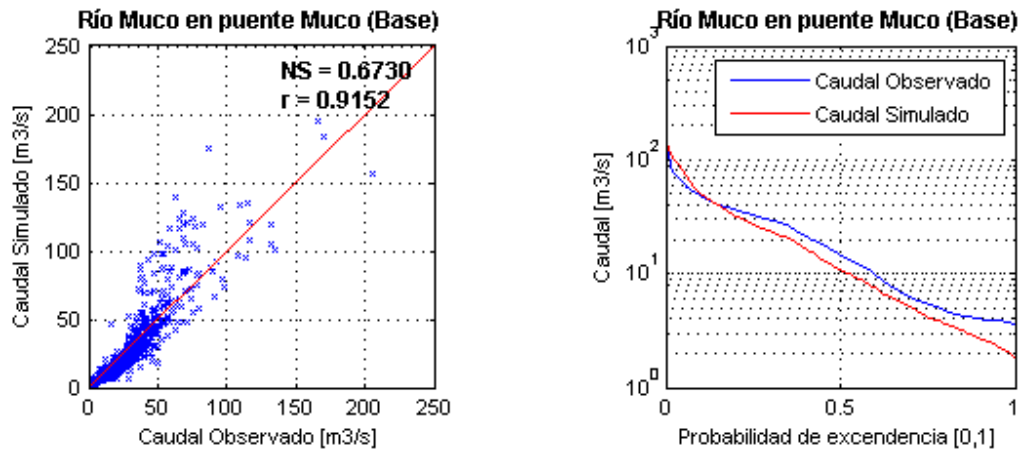


Figura 4.12. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Muco en puente Muco. Gráficos de nube de puntos y Curva de duración para el escenario Base, en el periodo abril/2002-abril/2005.

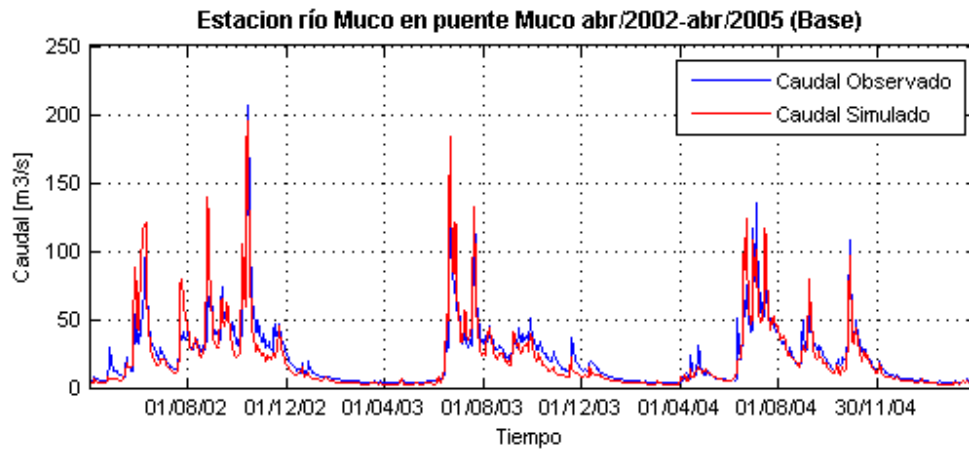


Figura 4.13. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.

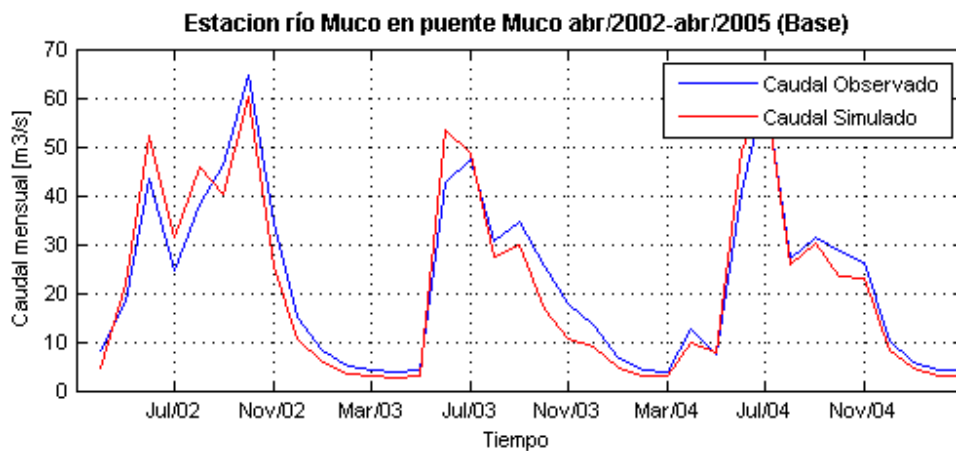


Figura 4.14. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.

4.2.4.3. *Análisis*

*Coefficiente de Nash-Sutcliffe:* De los resultados obtenidos en las simulaciones, se puede apreciar que los éstos son aceptables y que las diferencias a lo largo de los escenarios son notorias. Sin embargo lo esencial es que sigue la misma tendencia de la estación Río Cautín en Cajón, comportándose de la manera esperada dado que es una subcuenca de ésta.

*Parámetros de interés:*

- ***Velocidad no distribuida:*** Los resultados de este parámetro son consistentes, en cuanto a la disminución en las variaciones que presentan, quedando demostrado en NS y %BiasFHV, los cuales muestran que a nivel de error como de procesos, la simulación es desfavorable.
- ***Coefficiente de rugosidad de Manning no distribuido:*** Las variaciones que produce este parámetro al igual que en Cautín en Cajón son nulas, con lo cual se puede observar que el hecho de distribuir el parámetro no causa ningún efecto en los resultados de la estación presenta. Por otro lado las variaciones presentadas en los escenarios 14 y 15 se mantienen.
- ***Parámetro  $f$  de TOPMODEL no distribuido:*** Este parámetro el cual tiene influencia en el proceso de percolación, infiltración y en el flujo base del sistema, presenta un déficit significativo en la métrica %BiasFMS, mientras que en %BiasFLV presenta un avance. Con lo cual a pesar de que el coeficiente de Nash-Sutcliffe sea menor no necesariamente lo es la simulación en su totalidad, aun así dentro del margen de variación se puede observar que la disminución de %BiasFLV es baja, lo que permite concluir que el hecho de mantener invariable este parámetro no es conveniente.
- ***Conductividad hidráulica saturada no distribuida:*** Dado los resultados del coeficiente de Nash-Sutcliffe, se procede a ver las métricas específicas que presentan importancia para este parámetro que son %BiasFLV y %BiasFMS, lo que permite ver que ambas presentan mejores resultados en comparación con el escenario base, que a su vez dan mejores adaptaciones del proceso de percolación y flujo base del sistema. Además se puede ver que en la totalidad de las métricas medidas supera al caso base, con lo cual definitivamente es conveniente no distribuir este parámetro para esta estación.

*Resultados en estación Río Muco en puente Muco:* A pesar de que esta estación no tenga una calibración propia, debido a que los objetivos se cumplen en ésta, tiene resultados de NS bastante aceptables, además sigue el mismo patrón de NS obtenido en la estación Río Cautín en Cajón. Sin embargo presenta problemas graves en la métrica %BiasFLV y menos grave en la métrica %BiasFHV, lo cual se corrobora en la sección de gráficos en donde claramente se puede ver que en el gráfico de nube de puntos existe una subestimación en la zona baja, mientras que en la alta hay una sobre estimación, de la misma forma en el grafico Q Vs Tiempo se puede observar directamente esa tendencia.

La solución del mal resultado de la métrica %BiasFLV, podría solucionarse con una calibración en los parámetros relacionados a la percolación y a la de cantidad de agua en el suelo, con un énfasis especial en este último, dado que el proceso percolativo %BiasFMS presenta un buen ajuste , y éstos son los principales factores que influyen en el flujo base, aun así se desconoce la

solución concreta ya que no se hizo una calibración especial para esta estación, pero es evidente que necesita reparos en esa área.

#### 4.2.5. Funciones y métricas evaluadas en estación Río Collín en Codahue

##### 4.2.5.1. Funciones y métricas

La Tabla 4.15 presenta los resultados de funciones objetivo y métricas de evaluación para la estación Río Collín en Codahue, calculados a partir de las calibraciones de escenarios en la estación Río Cautín en Cajón. Por otro lado la Tabla 4.16 presenta los mejores y peores casos dependiendo del tipo de métrica medida.

Tabla 4.15. Evaluación de funciones y métricas para la estación Río Collín en Codahue, con los escenarios calibrados para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Resultados a nivel diario en la Estación Río Collín en Codahue							
Escenario	NS	r	%Bias <sub>SRR</sub>	%Bias <sub>FLV</sub>	%Bias <sub>FMS</sub>	%Bias <sub>FHV</sub>	%Bias <sub>FMM</sub>
Base	0,5093	0,881	-28,97	-160,50	39,34	-11,55	-37,31
1	0,4923	0,876	-28,97	-159,54	37,96	-10,23	-37,03
2	0,5093	0,881	-28,97	-160,50	39,34	-11,55	-37,31
3	0,4422	0,865	-29,27	-169,56	41,68	-8,67	-39,39
4	0,5104	0,881	-29,12	-160,34	39,28	-11,70	-37,27
5	0,5023	0,879	-28,97	-159,77	38,50	-10,57	-37,17
6	0,4307	0,862	-29,27	-168,69	41,64	-7,30	-39,51
7	0,5036	0,880	-29,12	-159,60	38,63	-10,71	-37,25
8	0,4461	0,866	-29,26	-170,47	42,03	-8,64	-39,39
9	0,5104	0,881	-29,12	-160,34	39,28	-11,70	-37,27
10	0,4443	0,865	-29,42	-169,70	41,57	-8,85	-39,58
11	0,4348	0,863	-29,27	-169,62	41,73	-7,28	-39,36
12	0,5036	0,880	-29,12	-159,60	38,63	-10,71	-37,25
13	0,4330	0,863	-29,42	-168,82	41,51	-7,51	-39,62
14	0,4393	0,863	-28,53	-152,59	40,96	-7,86	-37,65
15	0,4272	0,861	-28,54	-151,85	40,50	-6,45	-37,59

Tabla 4.16. Escenarios favorables y desfavorables en función de las métricas calculadas para la estación Río Collín en Codahue, para el periodo 01/04/2002 – 01/04/2005.

Escenarios favorables y desfavorables en la Estación Río Collín en Codahue							
Escenario	NS	r	%Bias <sub>SRR</sub>	%Bias <sub>FLV</sub>	%Bias <sub>FMS</sub>	%Bias <sub>FHV</sub>	%Bias <sub>FMM</sub>
Favorable 1°	4	4	14	15	1	15	1
Favorable 2°	Base	Base	15	14	5	11	5
Desfavorable	15	15	13	8	8	4	13

4.2.5.2. Gráficos

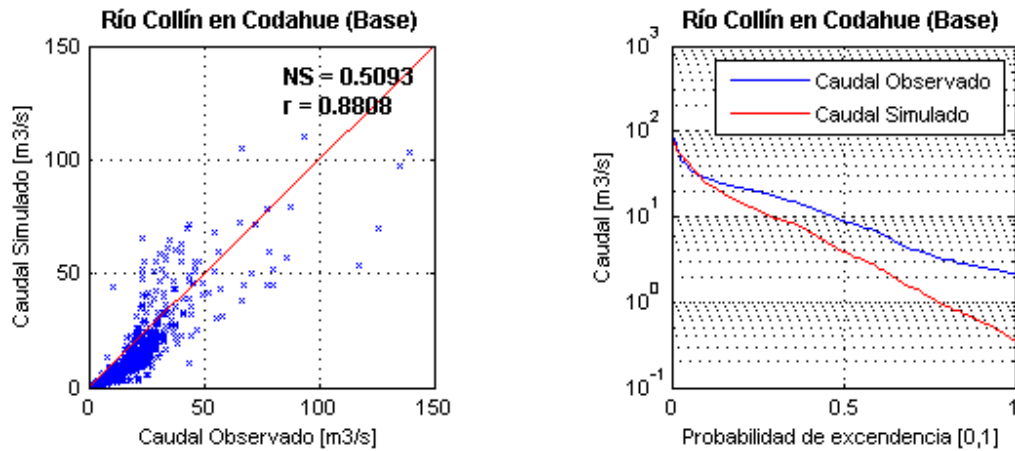


Figura 4.15. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Collín en Codahue. Gráficos de nube de puntos y Curva de duración para el escenario Base, en el periodo abril/2002-abril/2005.

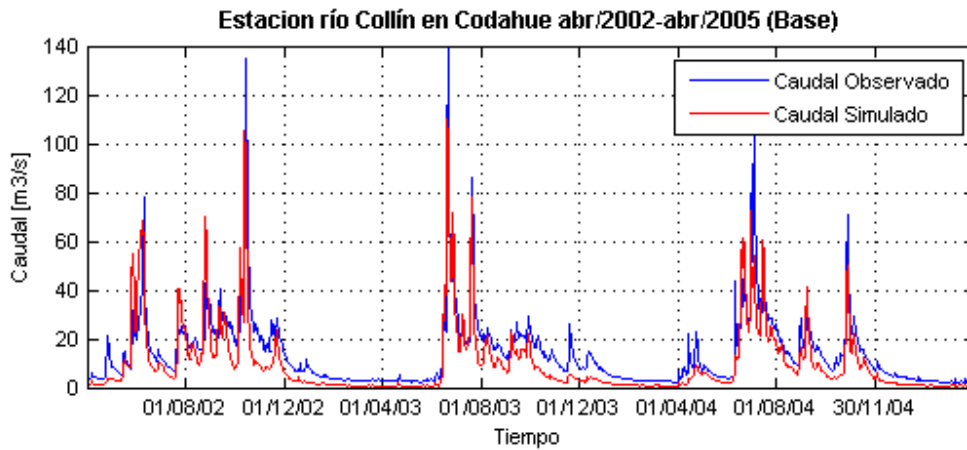


Figura 4.16. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.

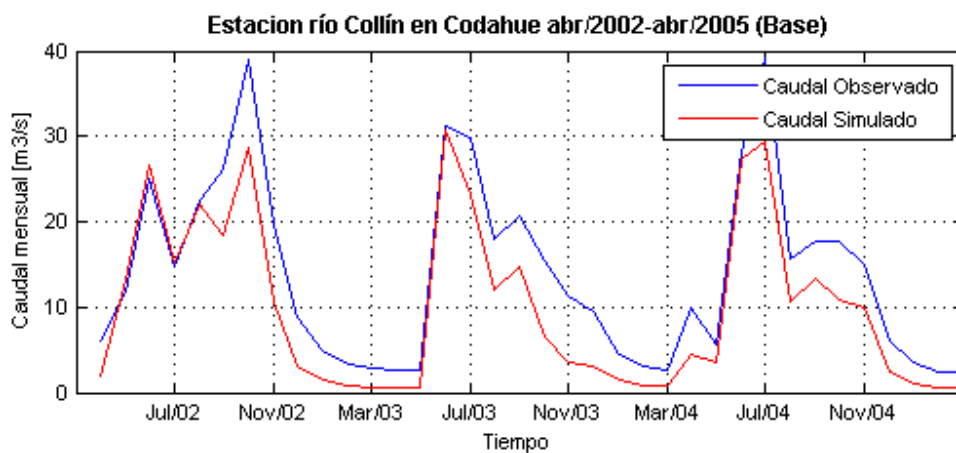


Figura 4.17. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario Base, para el periodo abril/2002-abril/2005.



4.2.5.3. *Análisis*

Coeficiente de Nash-Sutcliffe: De los resultados obtenidos en las simulaciones, se puede apreciar de que están al límite del rango aceptable y que las diferencias a lo largo de los escenarios son notorias. Sin embargo lo esencial es que sigue la misma tendencia de la estación Río Muco en puente Muco, comportándose de la manera esperada dado que es una subcuenca de ésta.

Parámetros de interés:

- **Velocidad no distribuida**: Los resultados de este parámetro son consistentes, en cuanto a la disminución en las variaciones que presentan, como es el caso de NS y %BiasFHV, los cuales muestran que a nivel de error como de procesos, la simulación es desfavorable
- **Coeficiente de rugosidad de Manning no distribuido**: Las variaciones que produce este parámetro al igual que en Muco en puente Muco son nulas, con lo cual se puede observar que el hecho de distribuir el parámetro no causa ningún efecto en los resultados de la estación presenta. Por otro lado las variaciones presentadas en los escenarios 14 y 15 se mantienen.
- **Parámetro *f* de TOPMODEL no distribuido**: Este parámetro el cual tiene influencia en los procesos de percolación, infiltración y en el flujo base del sistema, presenta un déficit significativo en las métricas %BiasFLV y %BiasFMS, lo cual se corrobora con el coeficiente de Nash-Sutcliffe. Según la información de éstas métricas, es posible ver que el hecho de no distribuir este parámetro afecta directamente a los procesos relacionados con éste como a su vez en el NS de una forma desfavorable, con lo cual se observa que en esta estación lo conveniente es tener información distribuida.
- **Conductividad hidráulica saturada no distribuida**: Dado los resultados del coeficiente de Nash-Sutcliffe, se procede a ver las métricas específicas que presentan importancia para este parámetro que son %BiasFLV y %BiasFMS, lo que permite ver que ambas presentan mejores resultados en comparación con el escenario base, que a su vez dan mejores adaptaciones en el proceso de percolación y flujo base del sistema.

Resultados en estación Río Collín en Codahue: Teniendo en cuenta que esta cueca es una subcuenca de la estación Río Muco en puente Muco, es predecible su mayor cantidad de sesgo en un rango  $\Delta\%$  similar para todas las métricas, dado que esta subcuenca está más alejada del punto de calibración original.

Dentro de los problemas que presenta esta cuenca, el principal al igual que la estación Río Muco en puente Muco es la métrica %BiasFLV, lo cual hace fundamental un especial énfasis en los parámetros ligados al flujo base, en particular al contenido de agua en el suelo, al igual que el resto de parámetros que necesitan un reajuste de valores, dado todos los procesos que se ven influenciados de forma desfavorable. Por otro lado la sección grafica complementa de manera directa estas observaciones, puesto que se ve una subestimación clara en los caudales bajos.

## Capítulo 5

### Conclusiones

#### 5.1. Parámetros de interés y resultados

Dado que el objetivo principal es visualizar los efectos que se producen al distribuir los parámetros en las simulaciones realizadas, la Tabla 5.1 presenta un resumen del efecto individual de cada parámetro, en función de las estaciones fluviométricas, donde el símbolo "O" es un caso eficiente, "-" un caso neutro y "X" un caso deficiente. De esta forma se puede concluir la tendencia de cada parámetro individualmente.

Tabla 5.1. Resultado del comportamiento de parámetros, asociados a cada estación fluviométrica.

Estaciones fluviométricas	Parámetros no distribuidos			
	$V$ [m/s]	$n$ [m <sup>-1/3</sup> s]	$f$ [1/m]	$K_0$ [m/s]
Río Cautín en Cajón	X	-	X	O
Río Cautín en Rariruca	X	-	X	O
Río Blanco en Curacautín	O	-	X	X
Río Muco en puente Muco	X	-	X	O
Río Collín en Codahue	X	-	X	O

##### 5.1.1. Velocidad de escurrimiento superficial “ $V$ ”

Interiorizando el cálculo de  $V$ , éste es el parámetro que presenta mayor confiabilidad en cuanto a la distribución, puesto que el método de estimación puede ser considerado continuo en lo que se refiere a pendientes extraídas de imágenes satelitales, presentando una vital importancia en la disminución de incertidumbre. Dicho esto, existe semejanza entre ésta hipótesis y los resultados obtenidos, dado que en la mayoría de estaciones presentan un déficit con el parámetro constante.

El caso particular de la estación Río Blanco en Curacautín presenta una excepción, indicando que no necesariamente todos los casos, ni todas las cuencas van a tener el mismo comportamiento. Si bien, existe un patrón que se sigue a lo largo de las subcuencas, este puede depender de numerosos factores, entre los cuales se encuentran:

- Bajos niveles de Velocidad en la zona alta de la cuenca de Cautín en Cajón: Puede ser que exista un mal ajuste de datos en esta zona, dando como resultado un aumento considerable del ponderador de  $V$ .
- Calibración corregida poco óptima: Esto se debe a que la calibración realizada para esta estación, nace de la base de ajustar excesos de precipitación, generando un desajuste en los ponderadores de manera de compensar dicha falta, de forma que puede no representar fielmente la influencia de cada parámetro

Finalmente de lo dicho anteriormente, se puede concluir que este parámetro funciona de manera óptima con una buena distribución, aun así con los experimentos realizados en la cuenca de Río Cautín en Cajón con sus estaciones interiores se pudo observar que la variación de mantener este parámetro constante tiene un valor aproximado del 1%, con lo cual se pueden obtener resultados perfectamente aceptables manteniendo este parámetro no distribuido.

### 5.1.2. Coeficiente de rugosidad de Manning “*n*”

Este parámetro no presenta ninguna variación, si bien existen casos donde se puede ver que los valores no coinciden, no necesariamente los resultados se ven afectados de forma notoria. Por otro lado en la Tabla 5.2 se muestran los escenarios donde *n* participa de forma no distribuida y se comparan con su caso homologo con *n* distribuido.

Tabla 5.2. Comparación de escenarios con *n* distribuido y no distribuido.

	No distribuido	Distribuido	NS No distribuido	NS Distribuido
Escenarios	2	Base	0,9149	0,9149
	5	1	0,9116	0,9117
	8	3	0,9133	0,9132
	9	4	0,9154	0,9154
	11	6	0,9101	0,9100
	12	7	0,9123	0,9123
	14	10	0,9141	0,9135
	15	13	0,9111	0,9104

Si bien se puede ver que en las dos últimas comparaciones no existe un alto nivel de exactitud en la similitud, no es precisamente porque la participación de *n* lo haya provocado directamente, sino que en estos escenarios se produjo un desajuste donde el valor del ponderador de  $K_0$  cambio de 1 a 2,5. Se desconoce el motivo de este desajuste, con lo cual no se descarta que la presencia de *n* haya sido la responsable.

Dentro de los motivos que pueden explicar este fenómeno, es que *n* solo participa en el rastreo de caudales, lo cual su modificación lo único que logra es un retraso en los tiempos de respuesta, que podrían llegar a ser ínfimos dado los cálculos a escala diaria.

Finalmente se puede concluir, que lo conveniente es mantener este parámetro constante, ya que el hecho de distribuirlo no es necesario.

### 5.1.3. Parámetro *f* de TOPMODEL “*f*”

Considerando los resultados originales según la calibración en la estación Río Cautín en Cajón, este parámetro solo presenta mejoras en las estaciones Río Cautín en Rariruca y Río Blanco en Curacautín, lo que muestra que este parámetro no necesariamente mantiene la misma tendencia bajo una calibración general.

En cuanto a las simulaciones corregidas, la conclusión llega de forma inmediata al ver que todas las simulaciones presentan un déficit al mantener este parámetro no distribuido. Esto puede deberse a que a pesar del alto nivel de incertidumbre de la información correspondiente al parámetro  $m$  dada su alta tasa de discretización, ésta se comporta de una manera satisfactoria a lo largo de la cuenca.

Finalmente la conclusión es directa, al observar que es conveniente distribuir este parámetro, sobre todo para un mayor nivel de eficiencia en los puntos interiores, no obstante en las tres estaciones en donde existió una calibración más detallada, se puede ver que la variación está en el orden de un 5% para algunas métricas, lo que permitiría obtener resultados aceptables con un escenario no distribuido, aunque quizás no con la exactitud que puede brindar una distribución acabada.

#### 5.1.4. Conductividad hidráulica saturada “ $K_0$ ”

La conductividad hidráulica saturada es el parámetro que presenta los resultados más opuestos en lo que se refiere a la distribución. Dentro de los resultados originales calibrados en la estación Río Cautín en Cajón, se puede ver que en la totalidad de las estaciones este parámetro presenta mejoras, sin embargo al corregirlos en la estación Río Blanco en Curacautín, se puede ver que la tendencia está reflejada de la misma forma.

Al intentar entender el comportamiento de este parámetro y su anomalía, se llega a que puede ser afectado por los siguientes factores:

- Los valores de  $K_0$ , además de tener una alta incertidumbre, tienen un alto nivel de discretización, lo cual puede generar que el parámetro a pesar de tener una información adecuada, no se ajuste de manera correcta.
- La calibración en la estación Río Blanco en Curacautín no necesariamente es la óptima, dado que los valores de sus ponderadores a pesar de ser aceptables, pueden no ser objetivos, debido a que se puede observar que es posible que estos intenten ajustar los altos niveles de precipitación, más que adaptarse de manera fiel al modelo, generando esta incongruencia.

Otro comportamiento que puede carecer de validez, es el hecho de que este parámetro en un comienzo presentaba mejoras en Blanco de Curacautín y con la recalibración no lo hizo, lo cual no deja muy claro su comportamiento en el resto de estaciones que no fueron recalibradas y en las cuales se asumió que el comportamiento lo hacía del mismo modo que en la estación Río Cautín en Cajón.

Finalmente dentro del espectro de posibilidades, se puede concluir que este parámetro no es conveniente distribuirlo para estas condiciones particulares, puesto que no supone una necesidad dada sus variaciones ínfimas que bordean el 2%, sin embargo no se descarta el hecho de considerar información con baja incertidumbre para su posterior distribución, la cual permita esclarecer si este patrón es normal para un gran porcentaje de cuencas o solo se trata de un mal ajuste en este estudio.

### 5.1.5. Tendencia de los parámetros de interés

A pesar de que los resultados presentan variaciones, éstos no sufrieron alteraciones de las cuales se pueda determinar inmediatamente algún tipo de conclusión, sino más bien son leves, con lo cual independientemente de la opción que se tome, los resultados tendrán un rango similar al caso de distribución completa.

Si bien el propósito es tener una tendencia clara de estos parámetros para futuros estudios, no se puede asegurar con un 100% de certeza que estos se regirán con el mismo patrón, ya que pueden ser exclusivos para la estación Río Cautín en Cajón y sus puntos interiores. Sin embargo, los resultados de los parámetros  $V$ ,  $n$  y  $f$ , presentan bastante confiabilidad en cuanto a lo que se espera de un modelo distribuido, mientras que  $K_0$  no lo hace.

### 5.1.6. Resultados bajo de función Nash-Sutcliffe

A pesar de que el coeficiente de Nash-Sutcliffe fue la herramienta fundamental para la realización de este estudio, otorgando los resultados para un posterior análisis, no permite saber con exactitud si el comportamiento de cada parámetro presentara fidelidad a la hora de buscar otra función objetivo de calibración. Este planteamiento surge al ver las tablas que presentan los escenarios favorables y desfavorables, en donde se puede ver que el mejor escenario según el coeficiente NS no necesariamente sigue esa tendencia al evaluar cada métrica. Por otro lado tampoco se puede descartar la posibilidad de que este sea el mejor indicador, ya que al evaluar cada métrica existe un proceso donde los caudales simulados pasan por una doble función, la primera es NS y la segunda es la métrica, mientras que si se calibra directamente bajo la métrica existe una alta probabilidad de que sus resultados cambien.

Por otro lado, la incorporación de métricas %Bias presento los beneficios de un buen indicador, en especial en los periodos de caudales bajos, no como NS que da más prioridad a los caudales de alto nivel.

## 5.2. Recomendaciones

El trabajo realizado consistió en hacer calibraciones en los ponderadores de los parámetros de la estación Río Cautín en Cajón, para luego medir en sus puntos interiores de forma de ver el comportamiento de los éstos, sin embargo la tendencia de resultados fue diferente en la recalibración de la estación Río Blanco en Curacautín, con lo cual quedan interrogantes las cuales quedaron fuera de los alcances de esta memoria. Estas son:

- Realizar una recalibración en las estaciones Río Cautín en Rariruca, Río Muco en puente Muco y Río Collín en Codahue, de forma de ver si los parámetros se comportan de la misma forma que lo hacen cuando son considerados como puntos de medición de la calibración de la estación Río Cautín en Cajón.
- Modificar el archivo de entrada de precipitación, exclusivamente para la zona alta de la cuenca, de forma de ver las variaciones que se presentan en la estación Blanco en Curacautín.

## Bibliografía

1. Bandaragoda, C.; Tarboton, D.; Woods, R. 2004. *Application of TopNet in the distributed model intercomparison Project*. Journal of Hydrology, Vol. 298, pp. 178-201.
2. Beven, K. 1997. *TOPMODEL: A CRITIQUE*. Hydrological processes, Vol. 11, pp 1069-1085.
3. Casper, M.; Grigoryan, G.; Gronz, O.; Gutjahr, O.; Heinemann, G.; Ley, R.; Rock, A. 2012. *Analysis of projected hydrological behavior of catchments based on signature indices*. Hydrol. Earth Syst. Sci, Vol. 16, pp. 409-421.
4. CIREN.1989. *Estudio agrológico de la provincial de Cautín, IX Región. Descripciones de suelos, materiales y símbolos*. Publicación CIREN N° 77.
5. CIREN. 2002. *Estudio agrológico. Descripciones de suelos, materiales y símbolos IX Región*. Publicación CIREN N° 122.
6. Clark, M.; Rupp, D.; Woods, R.; Zheng, X.; Ibbitt, R.; Slater, A.; Schmidt, J.; Uddstrom, M. 2008. *Hydrological data assimilation with the ensemble Kalman Filter: Use of streamflow observation to update states in a distributed hydrological model*. Advances resources, Vol. 31, pp. 1309-1324.
7. JCGM 2008. *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms*.
8. Kirchner, J. 2006. *Getting the right answer for the right reason*. Water resources research, Vol. 42, W03S04.
9. Mendoza, P. 2010. *Pronóstico de caudales de crecida mediante un modelo hidrológico distribuido y la asimilación de datos observados*. Tesis para optar al grado de magíster en ciencias de la Ingeniería, mención Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Universidad de Chile.
10. Mery, H. 1997. *Hidráulica aplicada al diseño de obras*.
11. Nash, J. E.; Sutcliffe, J. V. 1970. *River flow forecasting through conceptual models part I. A discussion of principles*, Journal of Hydrology, 10 (3), pp. 282–290.
12. Polo, M. J.; Lafuente, P.; Giráldez, J. V. 2003. *Variabilidad espacial de la conductividad hidráulica saturada en suelos de Olivar y su influencia en el balance hidrológico global*. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo, Vol. 6, pp. 209-214.
13. SCS (Soil conservation Service). 1972. *National Engineering Handbook*. Section 4, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

14. Yilmaz K., Guta H. y Wagener T. 2008. *A process-based diagnostic approach to model evaluation: Application to the NWS distributed hydrologic model*. Water resources research, Vol. 44, W09417.

### **Páginas Web**

1. ASTER, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection. [Consultado el 14 de Noviembre de 2013] <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/index.asp>>
2. Catalani C. 2006. *Catedra de Hidrología y procesos hidráulicos*. Unidad VIII “Flujo impermanente en canales abiertos. Propagación de crecidas”. [Consultado el 5 de Febrero de 2014]  
<[http://www.efn.uncor.edu/departamentos/hidraul/hidrologia/Auxiliar/Unidad\\_8\\_Teoria.pdf](http://www.efn.uncor.edu/departamentos/hidraul/hidrologia/Auxiliar/Unidad_8_Teoria.pdf)>
3. ESRI 1998. ShapefileTechnicalDescription. [Consultado el 15 de Noviembre de 2013]  
<<http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>>

## Anexo A: Gráficos de nube de puntos

### A.1. Gráficos de nube de puntos en estación Río Cautín en Cajón

La Figura A.1 y Figura A.2 presentan los gráficos de nube de puntos asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

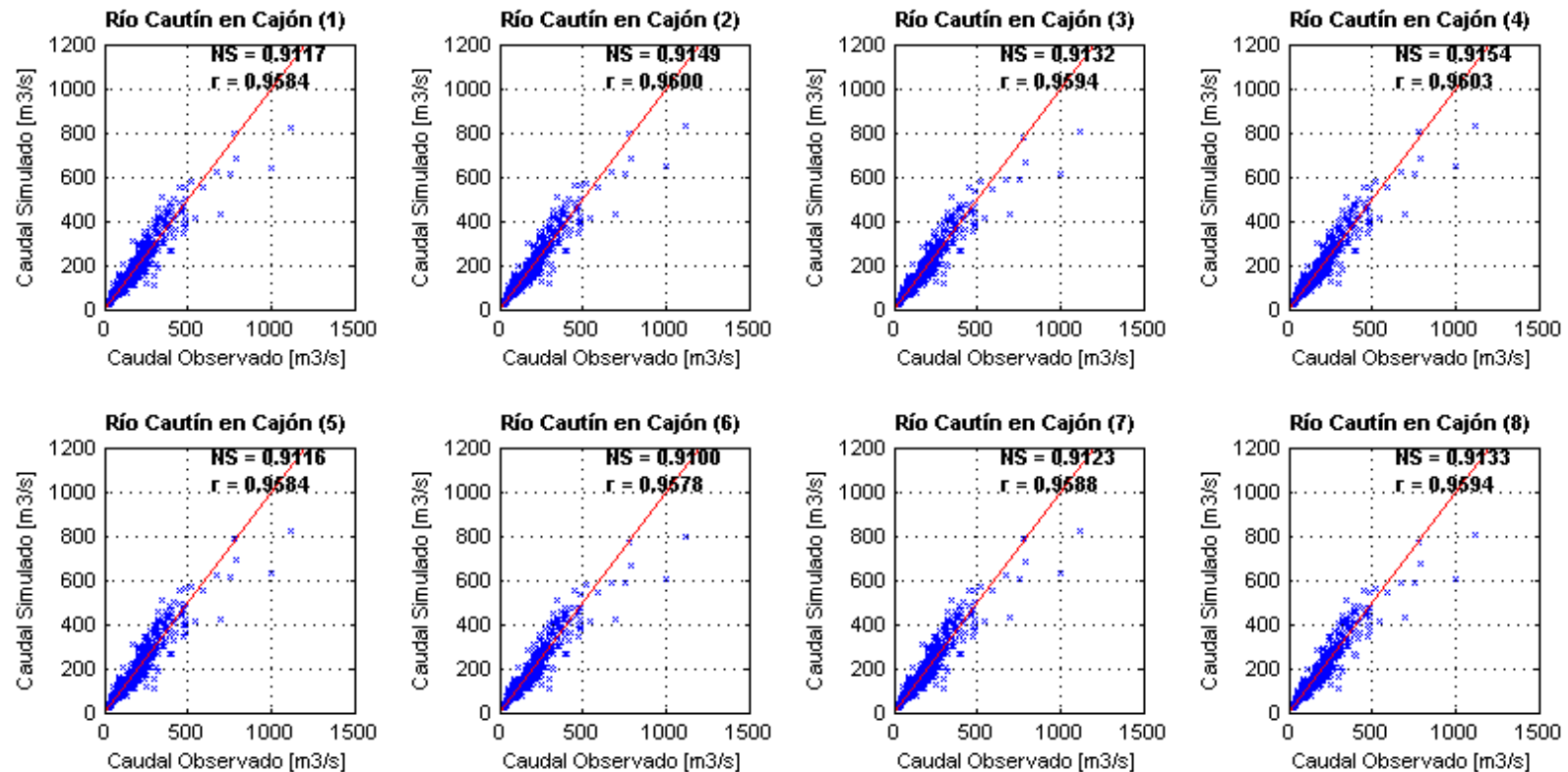


Figura A.1. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Cautín en Cajón. Gráficos de nube de puntos para los escenarios (1-8), en el periodo abril/2002-abril/2005.



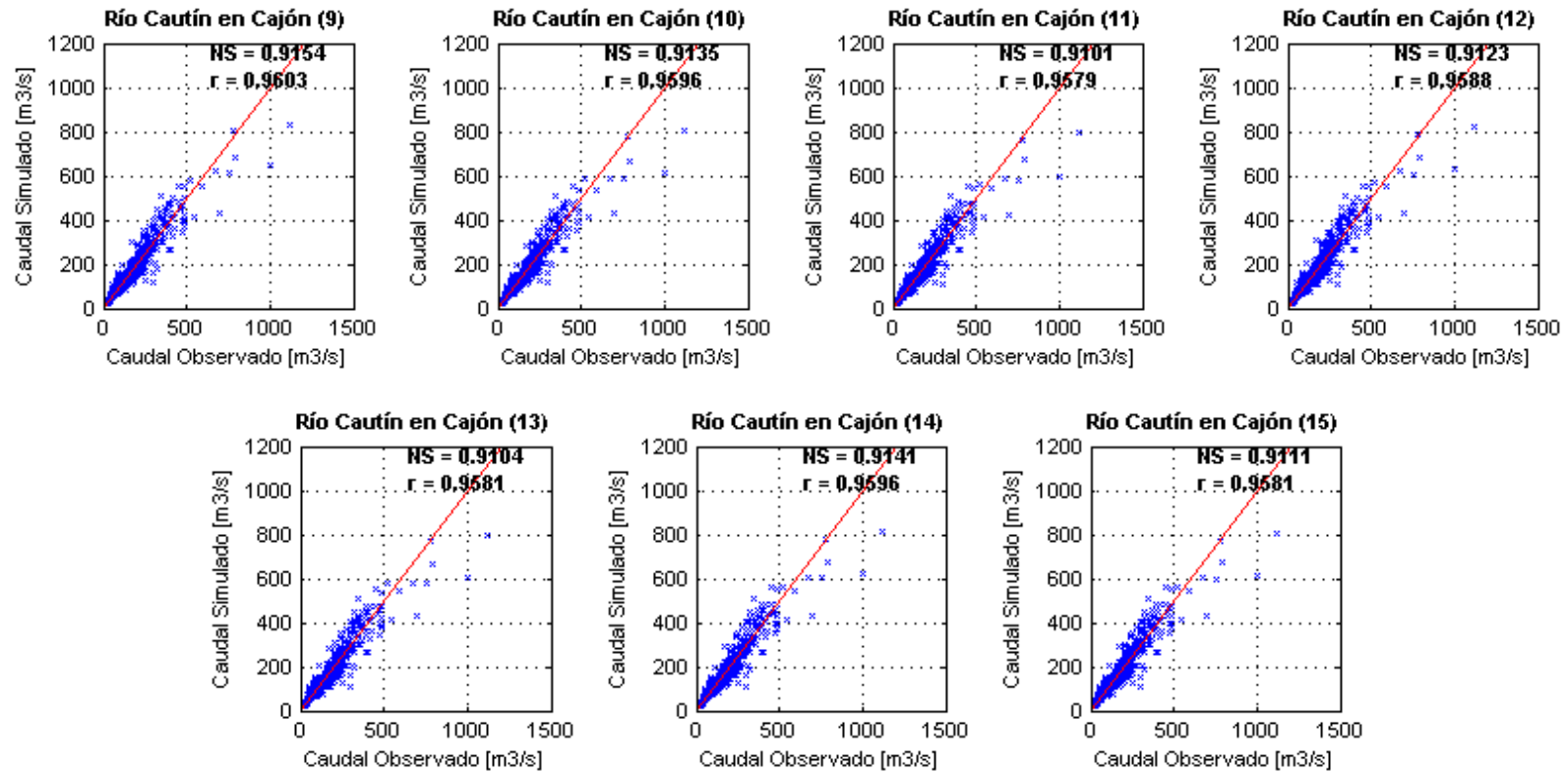


Figura A.2. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Cautín en Cajón. Gráficos de nube de puntos para los escenarios (9-15), en el periodo abril/2002-abril/2005.

## A.2. Gráficos de nube de puntos en estación Río Cautín en Rariruca

La Figura A.3 y Figura A.4 presentan los gráficos de nube de puntos asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

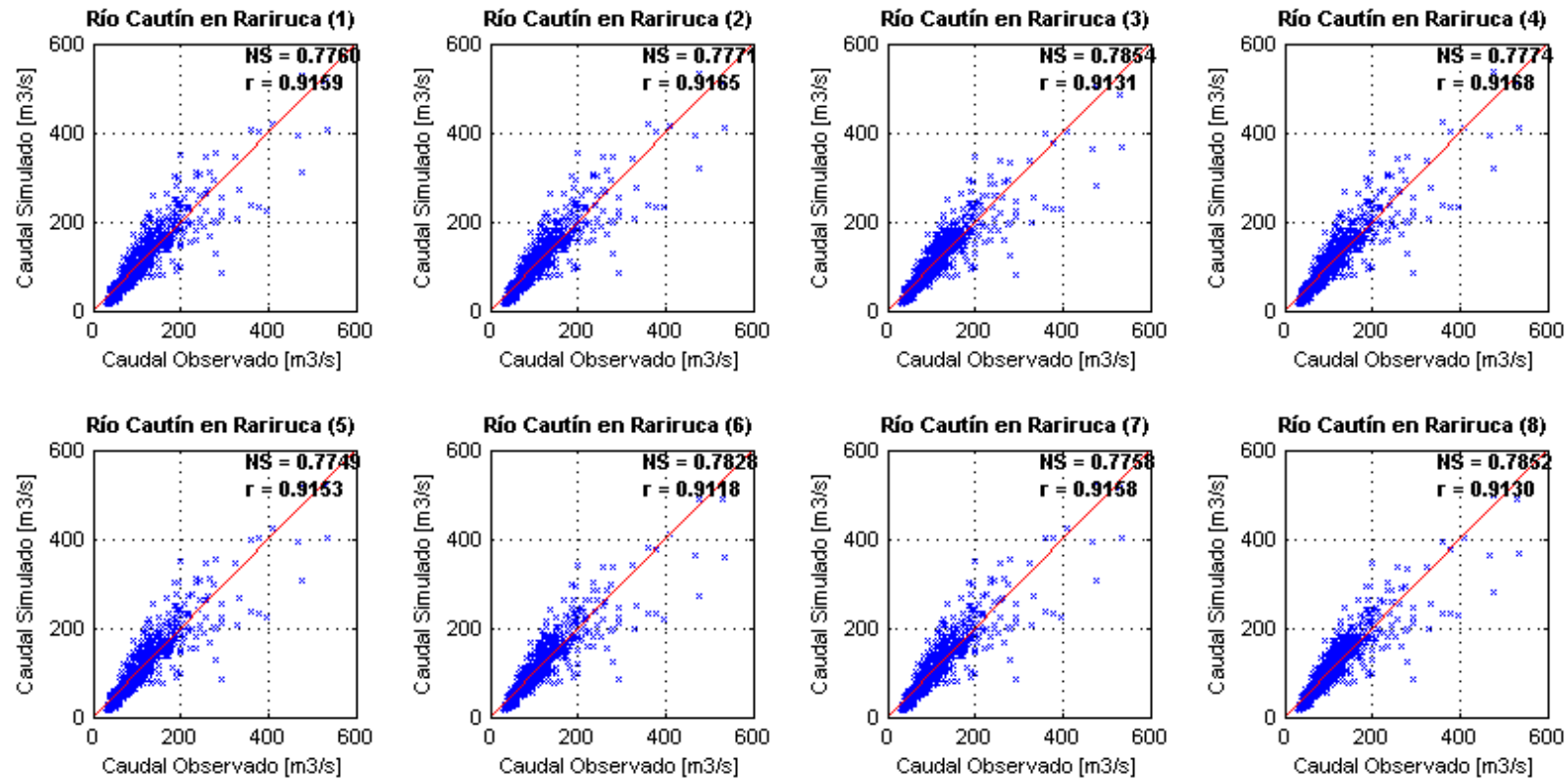


Figura A.3. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Cautín en Rariruca. Gráficos de nube de puntos para los escenarios (1-8), en el periodo abril/2002-abril/2005.

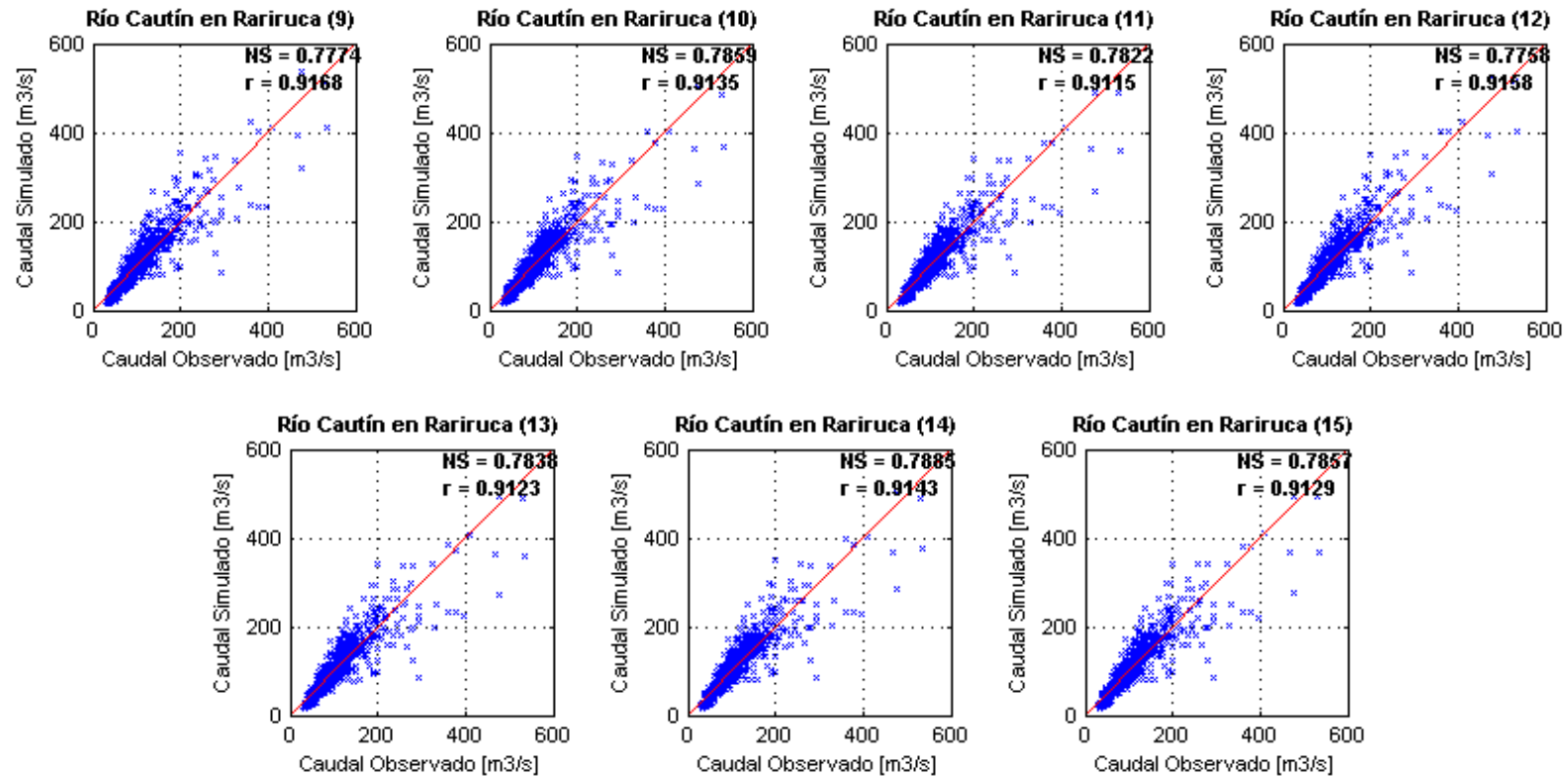


Figura A.4. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Cautín en Rariruca. Gráficos de nube de puntos para los escenarios (9-15), en el periodo abril/2002-abril/2005.

### A.3. Gráficos de nube de puntos en estación Río Blanco en Curacautín

La Figura A.5 y Figura A.6 presentan los gráficos de nube de puntos asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

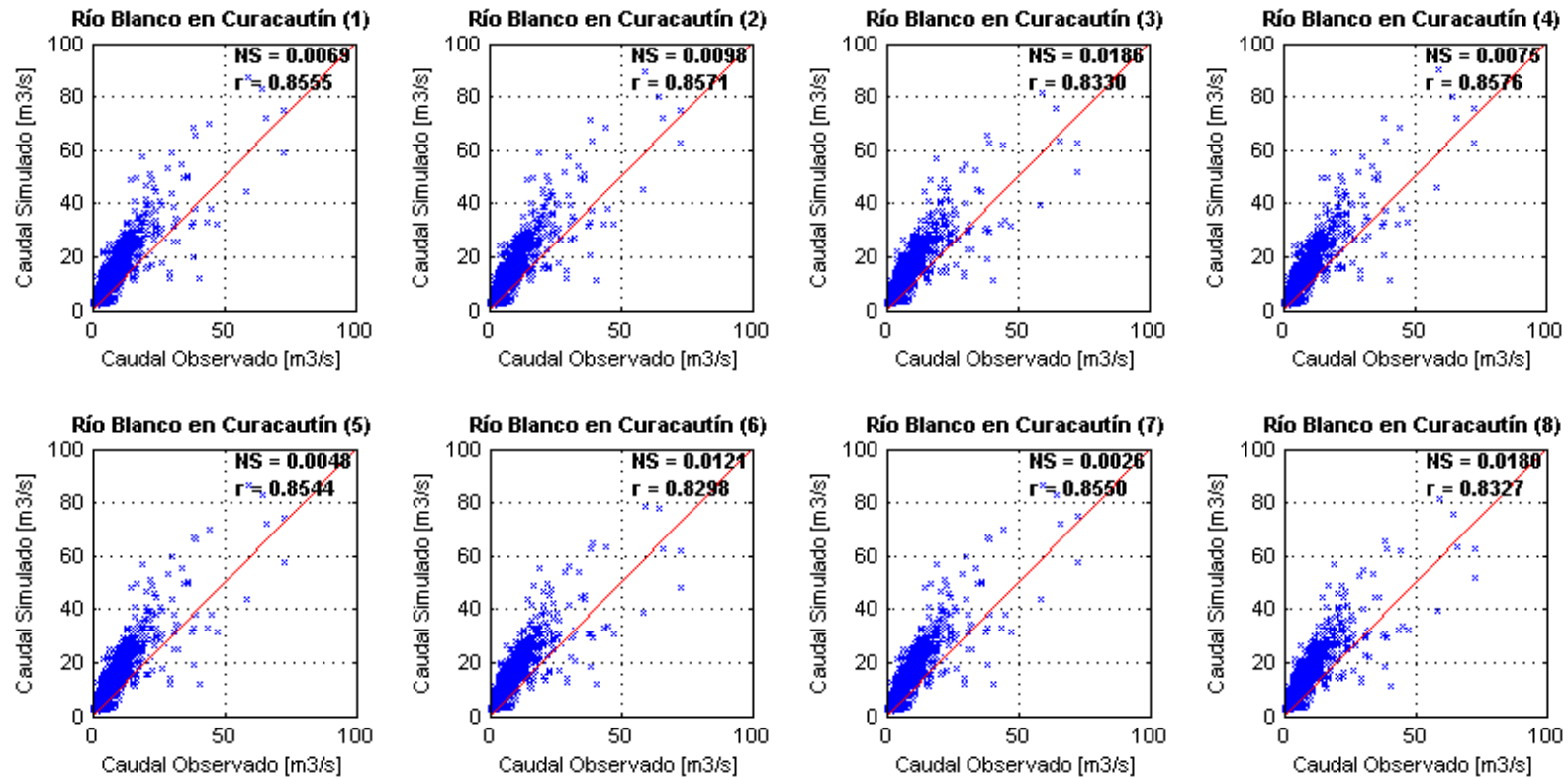


Figura A.5. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Blanco en Curacautín. Gráficos de nube de puntos para los escenarios (1-8), en el periodo abril/2002-abril/2005.

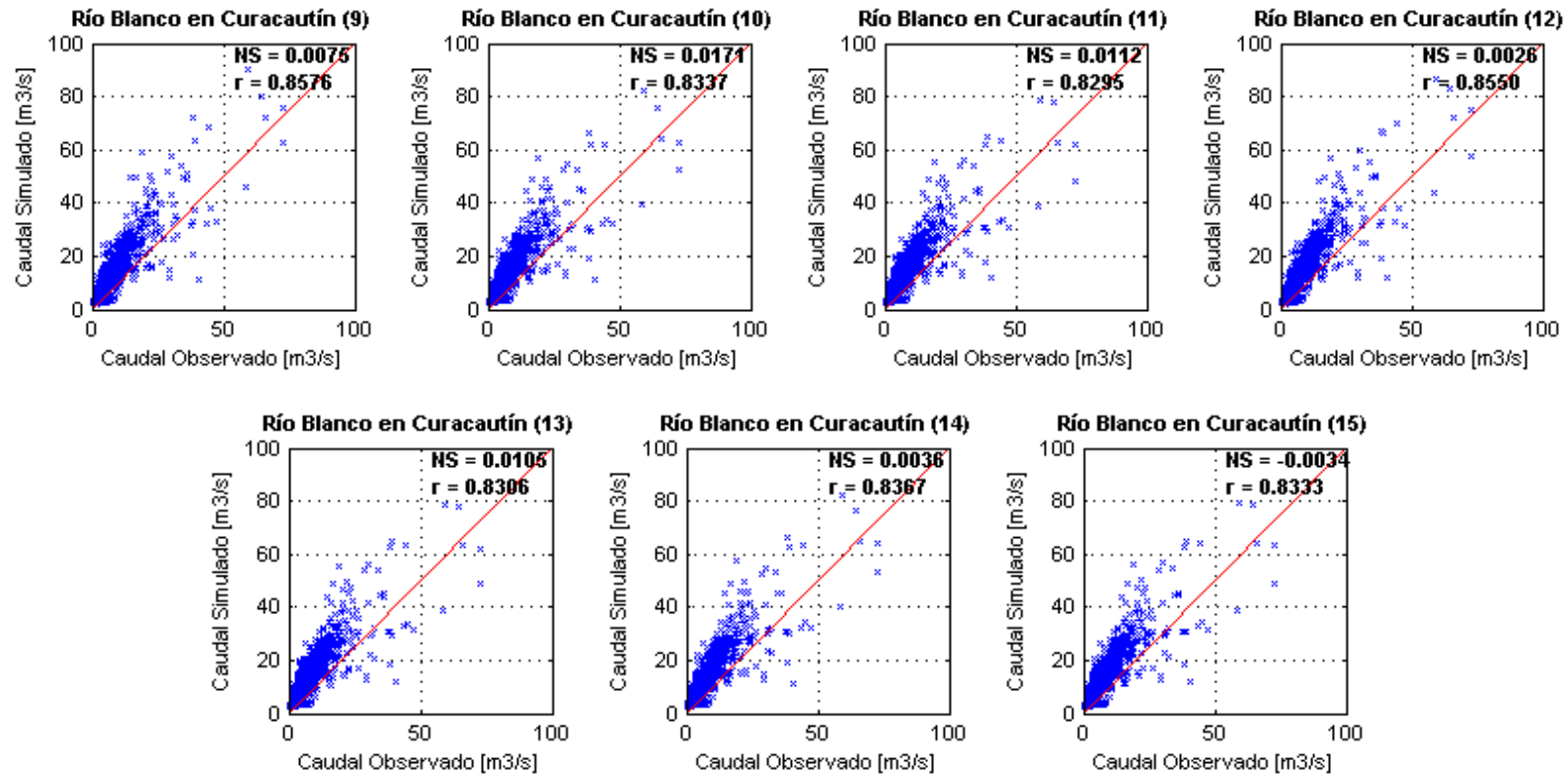


Figura A.6. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Blanco en Curacautín. Gráficos de nube de puntos para los escenarios (9-15), en el periodo abril/2002-abril/2005.

#### A.4. Gráficos de nube de puntos en estación Río Muco en puente Muco

La Figura A.7 y Figura A.8 presentan los gráficos de nube de puntos asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

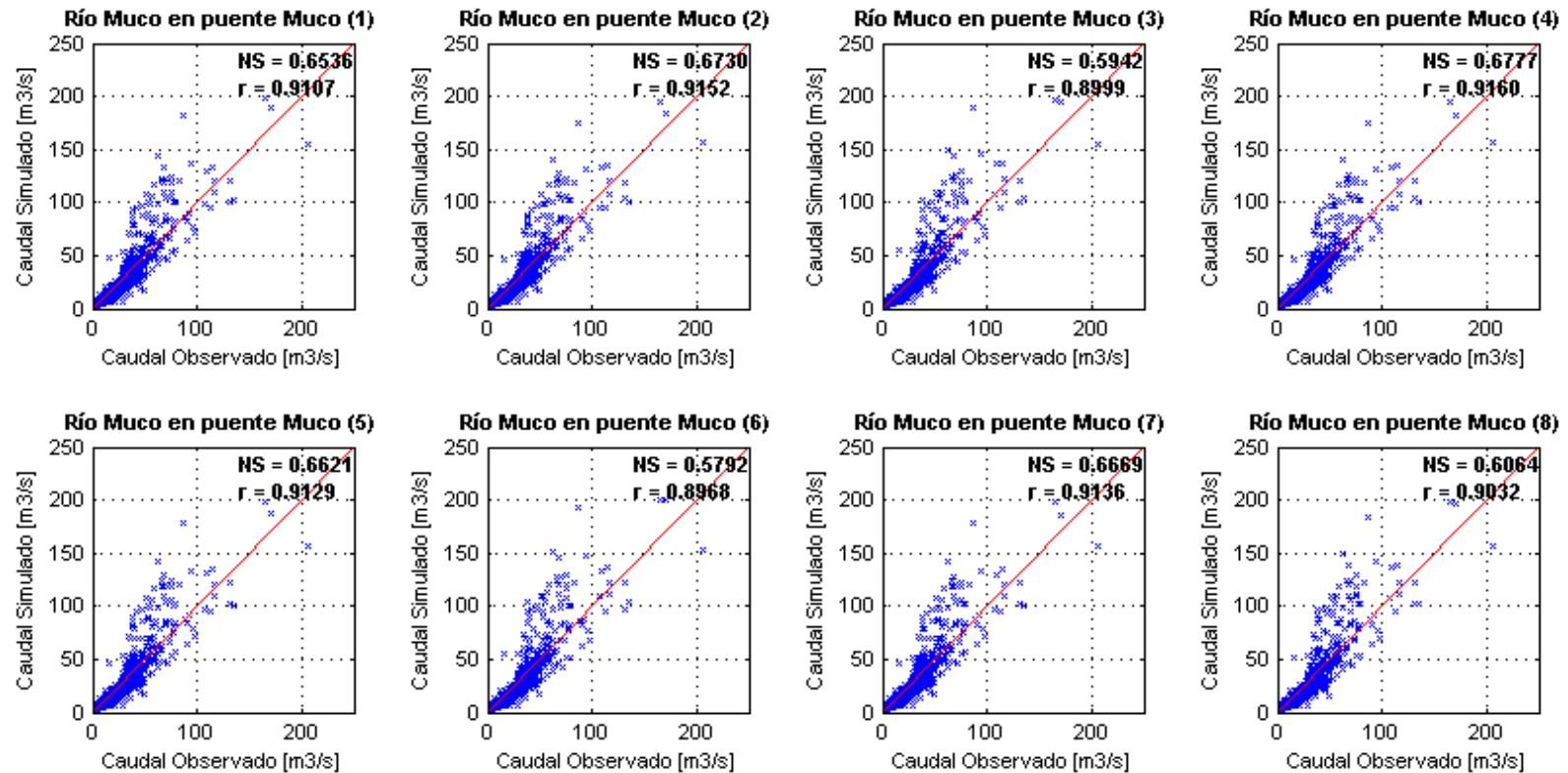


Figura A.7. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Muco en puente Muco. Gráficos de nube de puntos para los escenarios (1-8), en el periodo abril/2002-abril/2005.

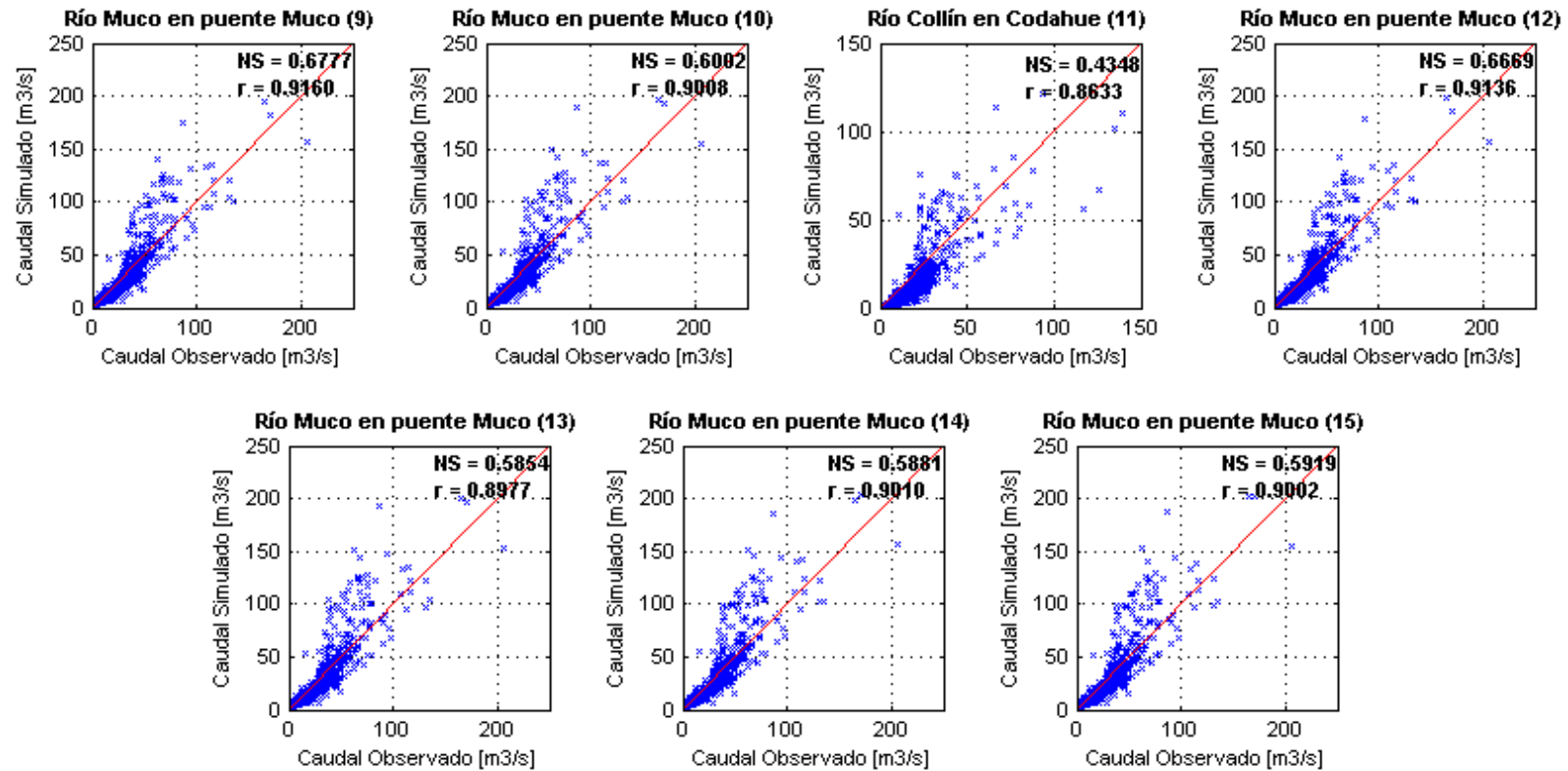


Figura A.8. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Muco en puente Muco. Gráficos de nube de puntos para los escenarios (9-15), en el periodo abril/2002-abril/2005.

**A.5. Gráficos de nube de puntos en estación Río Collín en Codahue**

La Figura A.9 y Figura A.10 presentan los gráficos de nube de puntos asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

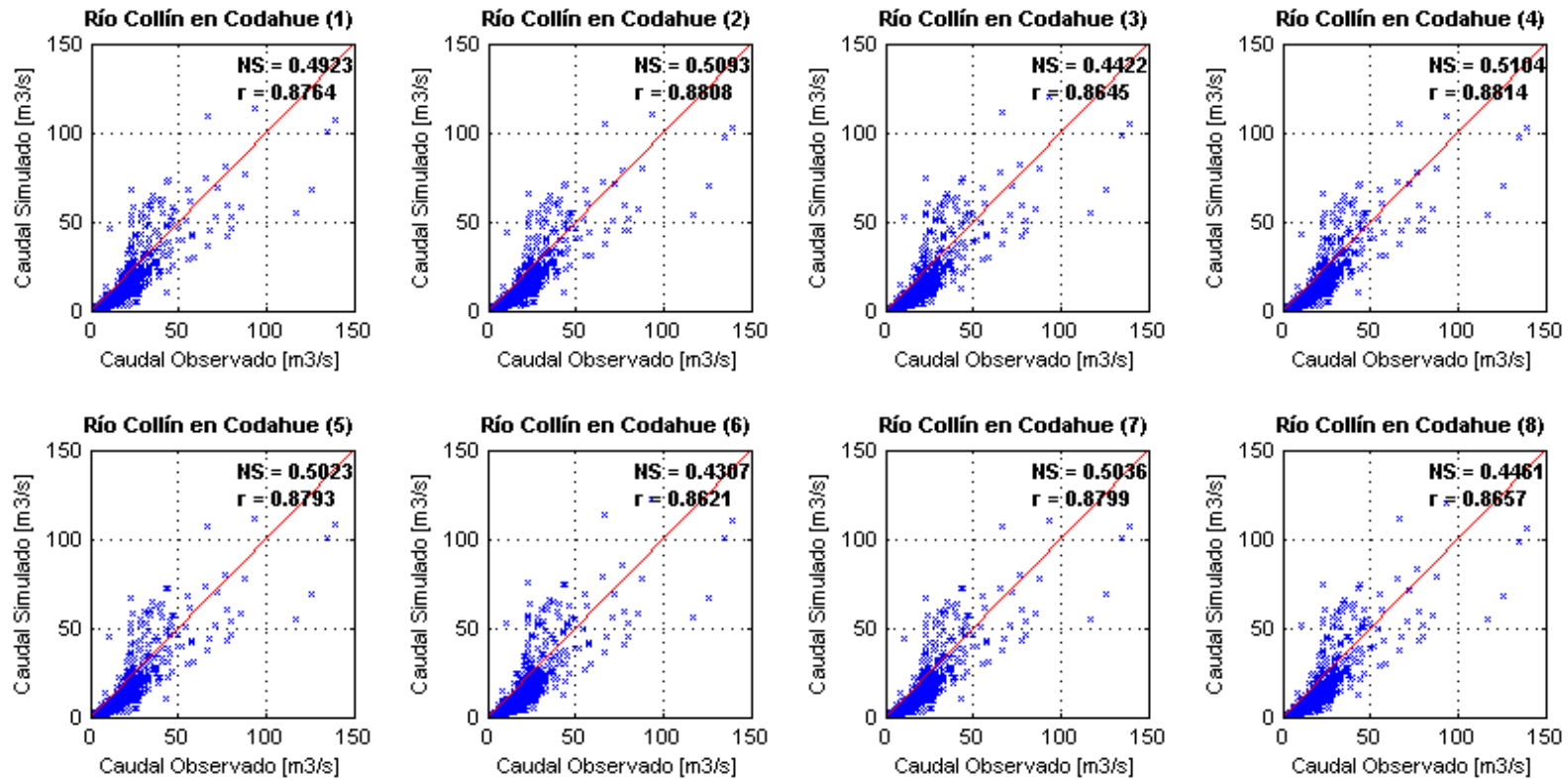


Figura A.9. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Collín en Codahue. Gráficos de nube de puntos para los escenarios (1-8), en el periodo abril/2002-abril/2005.



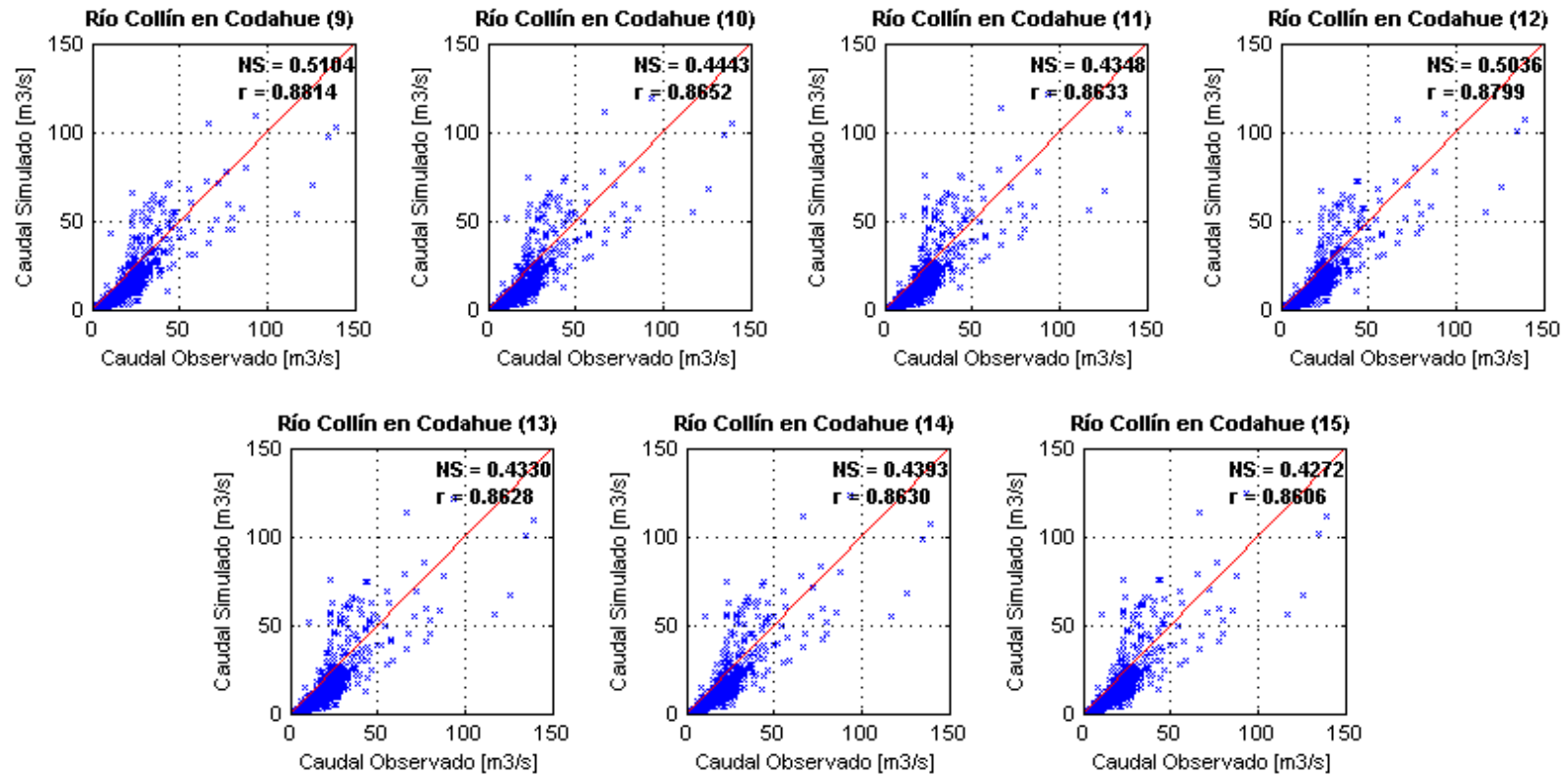


Figura A.10. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la Estación Río Collín en Codahue. Gráficos de nube de puntos para los escenarios (9-15), en el periodo abril/2002-abril/2005.

## Anexo B: Curvas de duración

### B.1. Curvas de duración en la estación Río Cautín en Cajón

La Figura B.1 y Figura B.2 presentan las curvas de duración asociadas a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

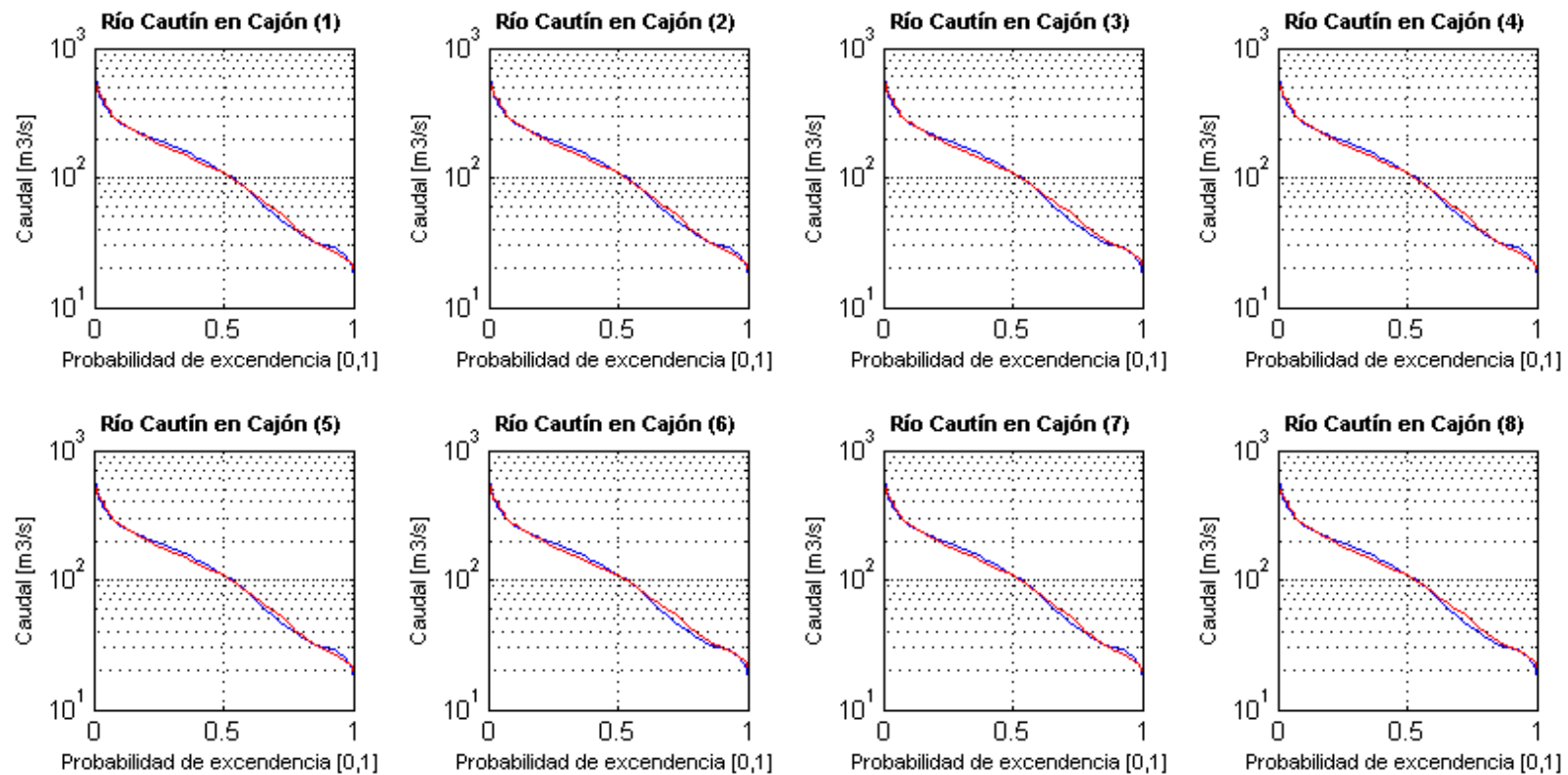


Figura B.1. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Curva de duración asociada a los escenarios (1-8), para el periodo abril/2002-abril/2005, donde la curva de color rojo representa los caudales simulados, mientras la de color azul los observados.

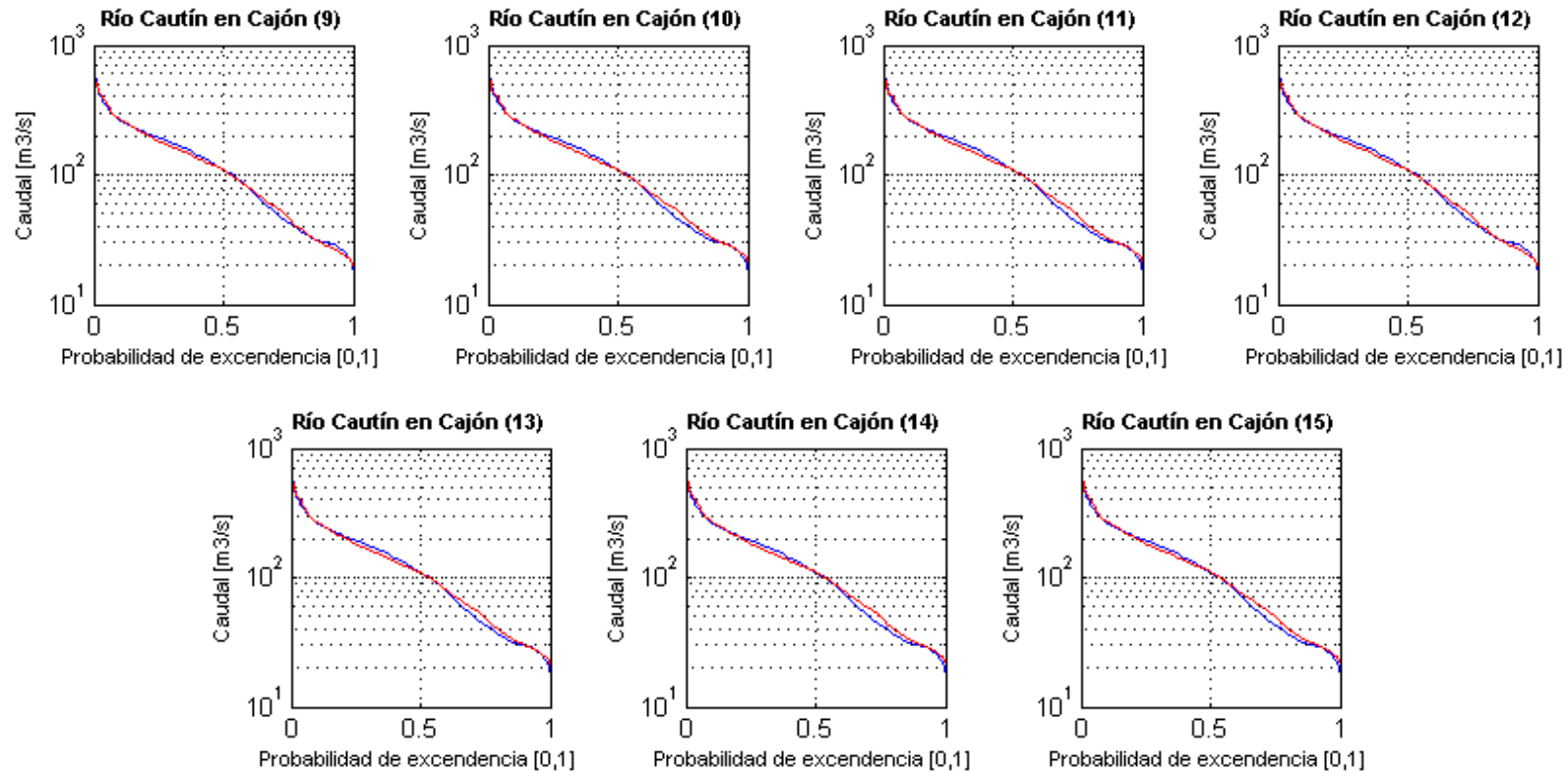


Figura B.2. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Curva de duración asociada a los escenarios (9-15), para el periodo abril/2002-abril/2005, donde la curva de color rojo representa los caudales simulados, mientras la de color azul los observados.

## B.2. Curvas de duración en la estación Río Cautín en Rariruca

La Figura B.3 y Figura B.4 presentan las curvas de duración asociadas a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

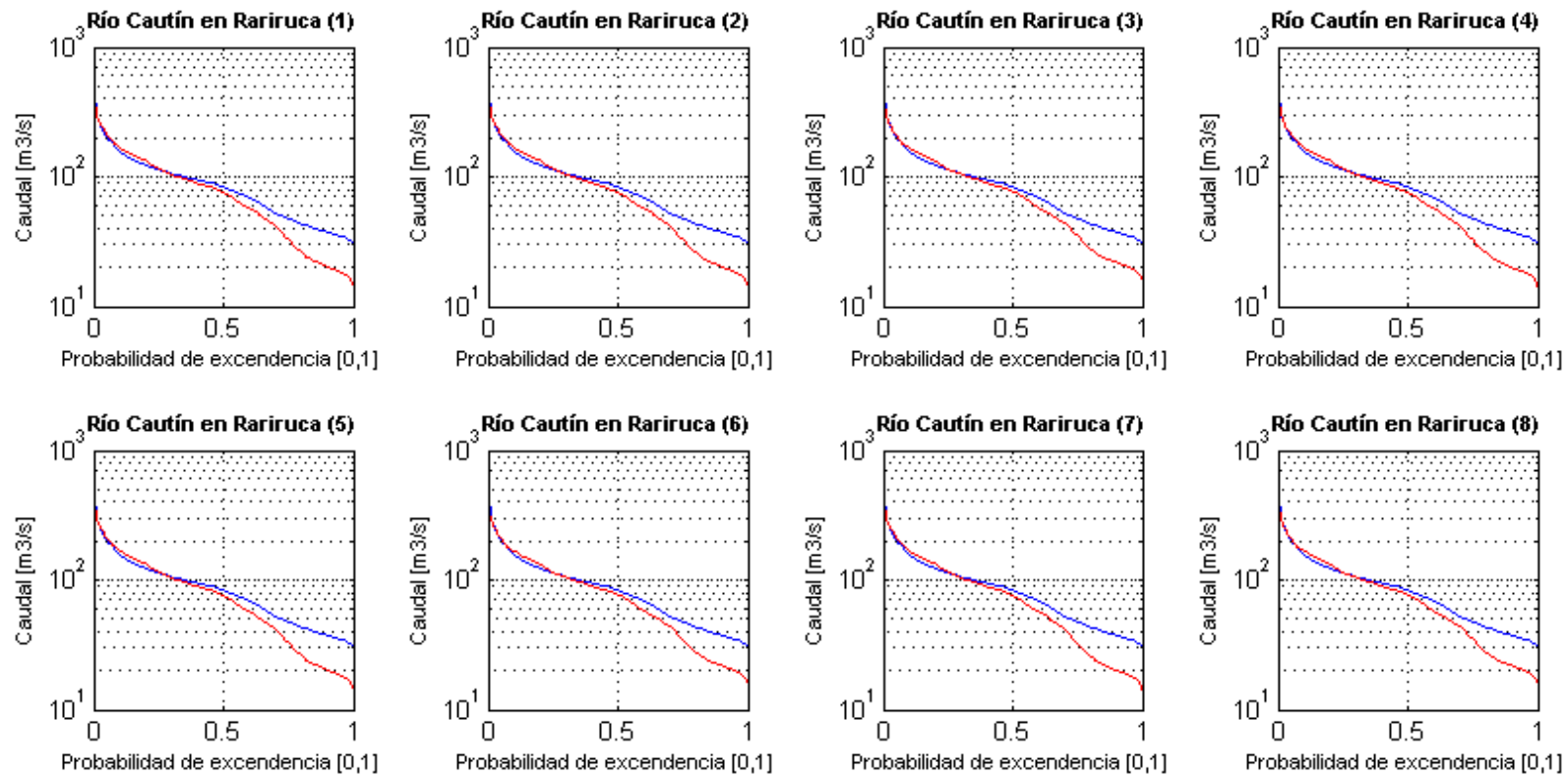


Figura B.3. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Curva de duración asociada a los escenarios (1-8), para el periodo abril/2002-abril/2005, donde la curva de color rojo representa los caudales simulados, mientras la de color azul los observados.

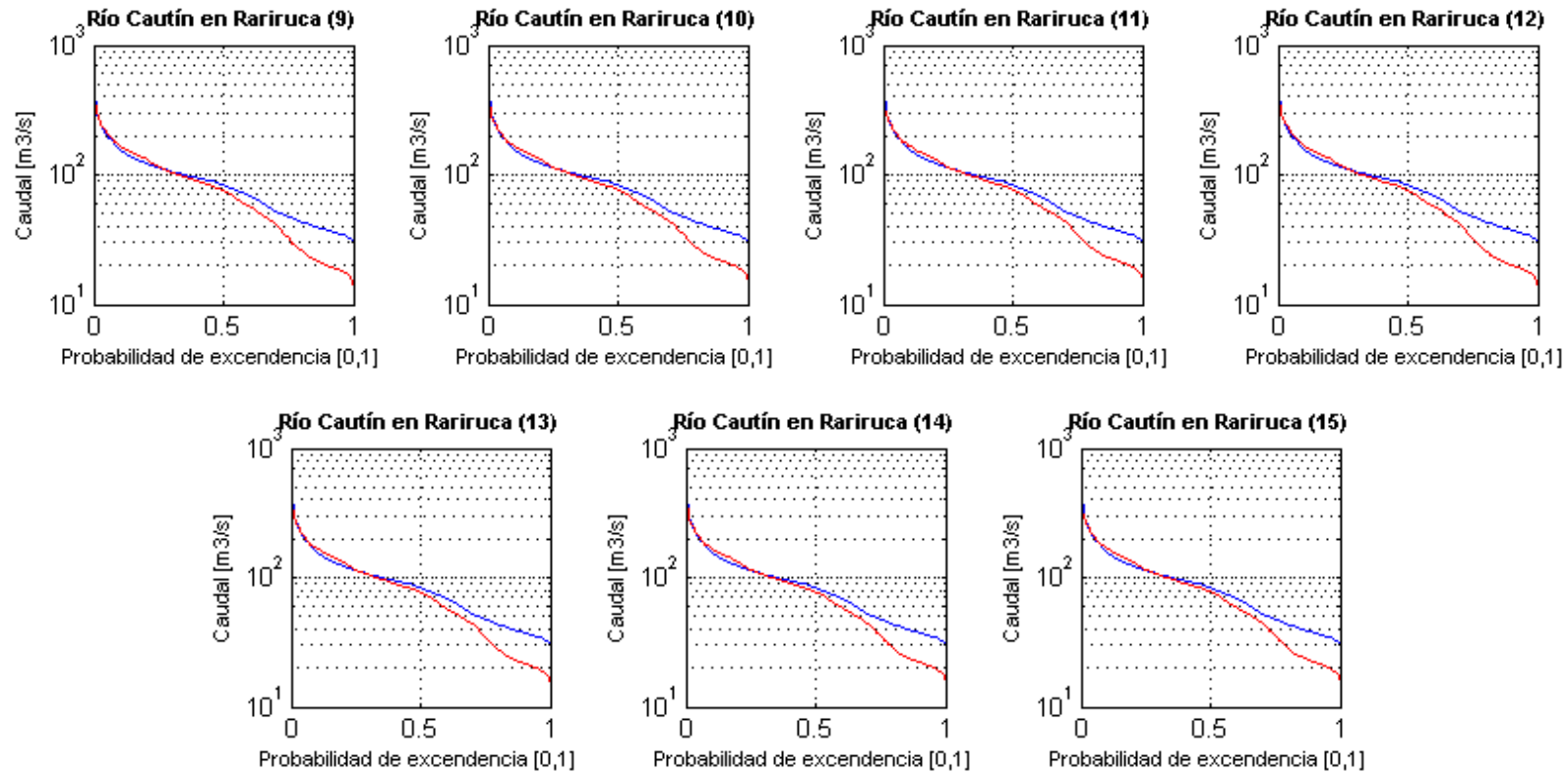


Figura B.4. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Curva de duración asociada a los escenarios (9-15), para el periodo abril/2002-abril/2005, donde la curva de color rojo representa los caudales simulados, mientras la de color azul los observados.

### B.3. Curvas de duración en la estación Río Blanco en Curacautín

La Figura B.5 y Figura B.6 presentan las curvas de duración asociadas a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

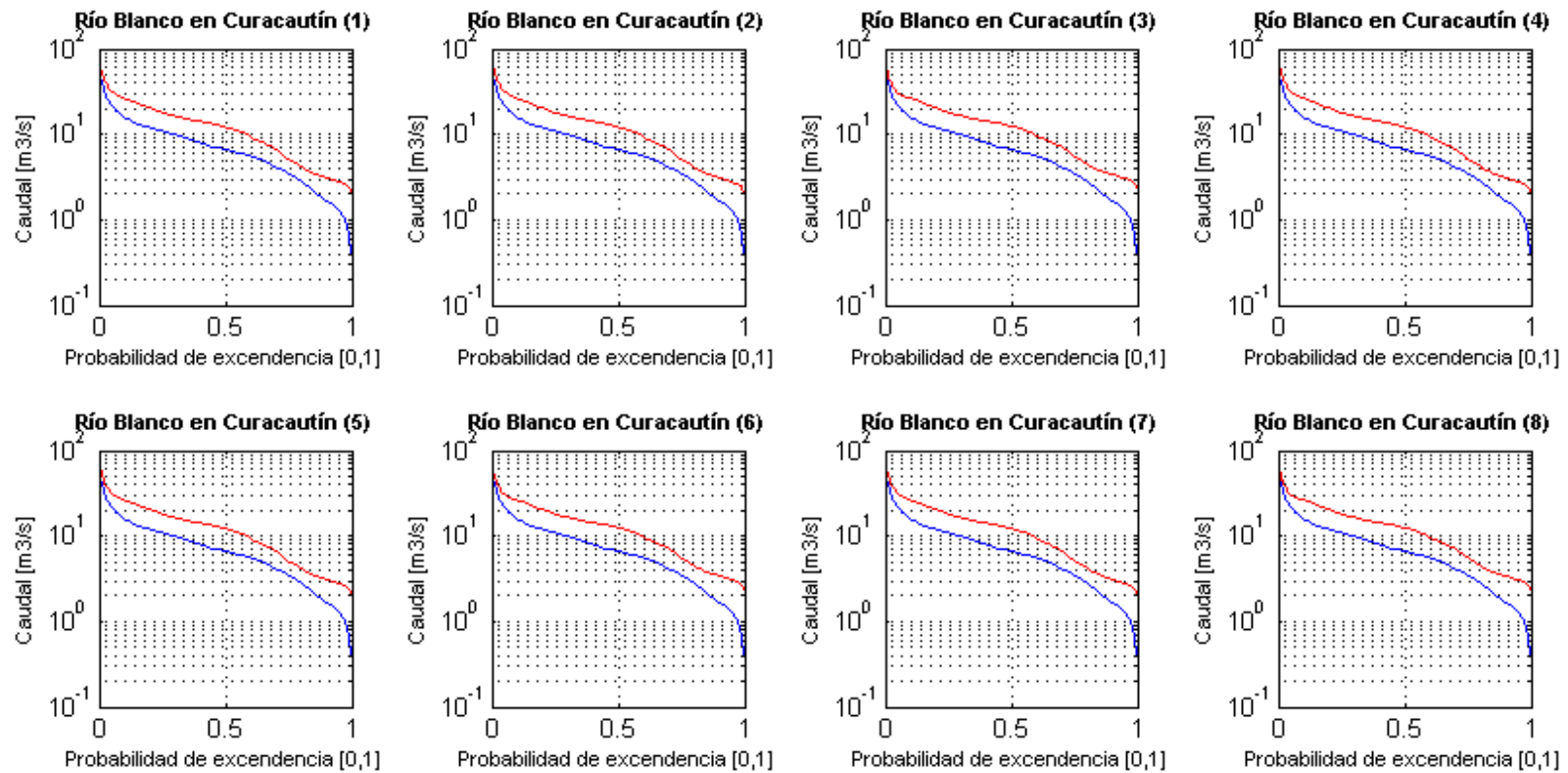


Figura B.5. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Curva de duración asociada a los escenarios (1-8), para el periodo abril/2002-abril/2005, donde la curva de color rojo representa los caudales simulados, mientras la de color azul los observados.

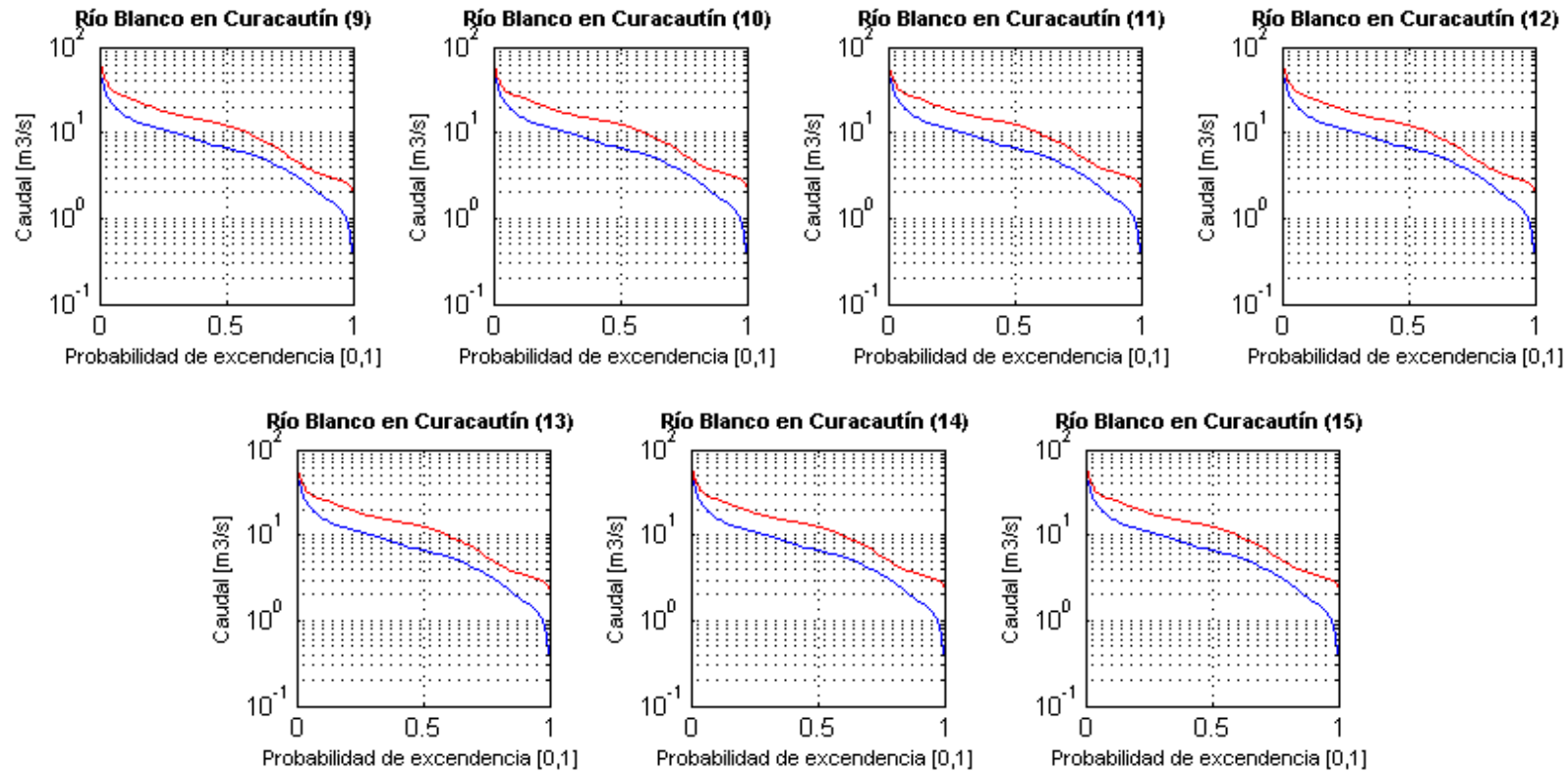


Figura B.6. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Curva de duración asociada a los escenarios (9-15), para el periodo abril/2002-abril/2005, donde la curva de color rojo representa los caudales simulados, mientras la de color azul los observados.

#### B.4. Curvas de duración en la estación Río Muco en puente Muco

La Figura B.7 y Figura B.8 presentan las curvas de duración asociadas a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

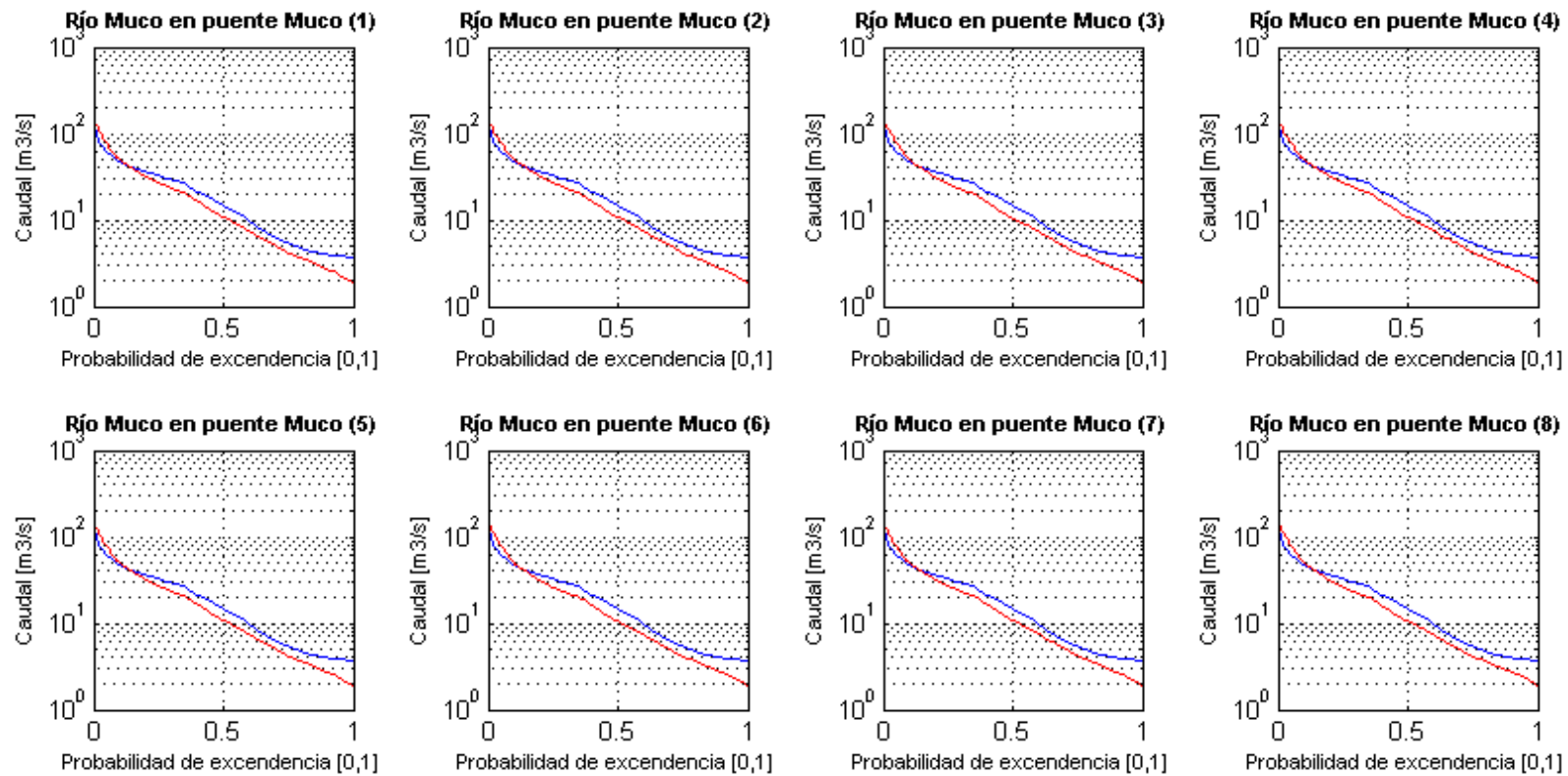


Figura B.7. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Curva de duración asociada a los escenarios (1-8), para el periodo abril/2002-abril/2005, donde la curva de color rojo representa los caudales simulados, mientras la de color azul los observados.



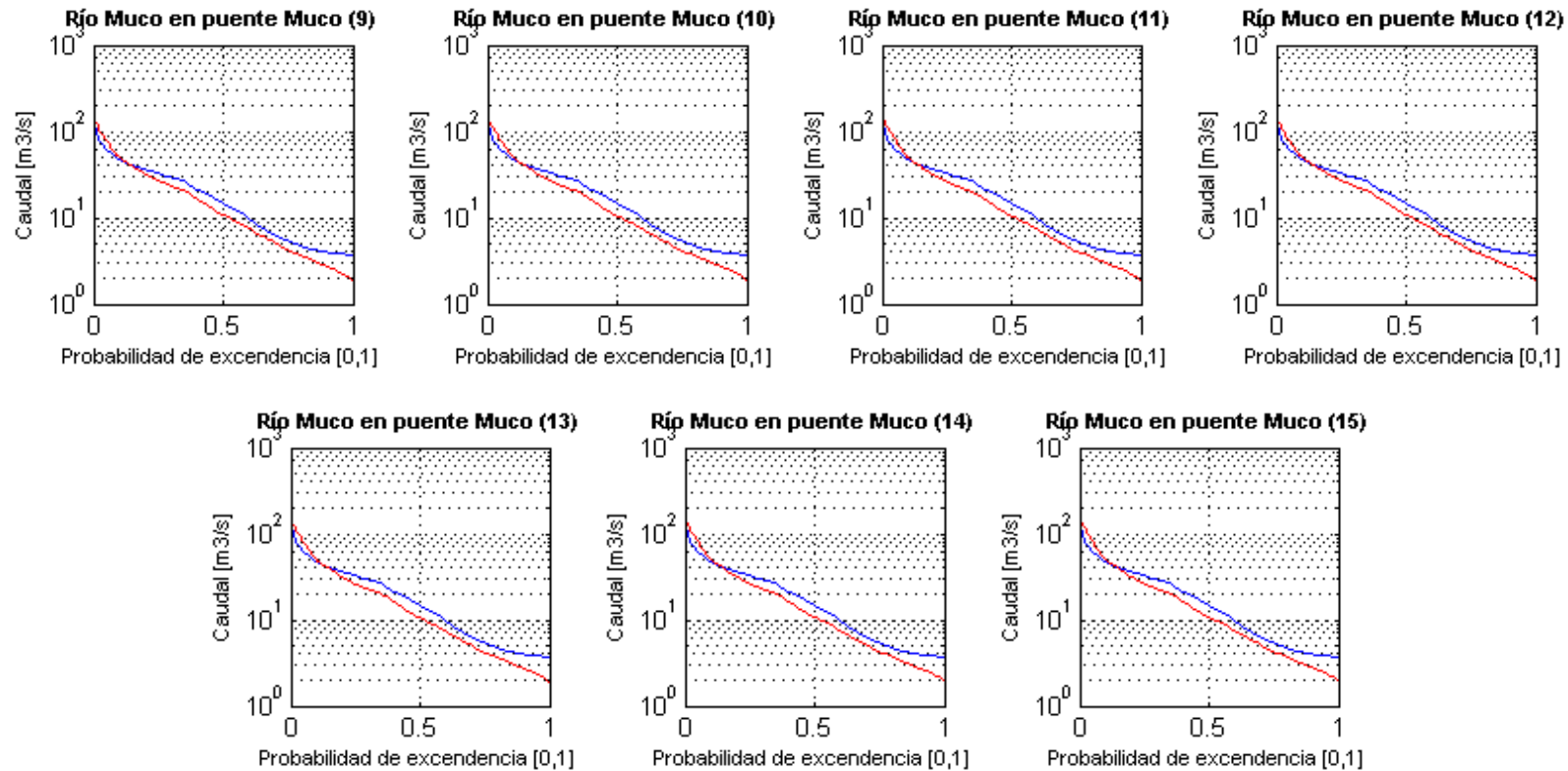


Figura B.8. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Curva de duración asociada a los escenarios (9-15), para el periodo abril/2002-abril/2005, donde la curva de color rojo representa los caudales simulados, mientras la de color azul los observados.

### B.5. Curvas de duración en la estación Río Collín en Codahue

La Figura B.9 y Figura B.10 presentan las curvas de duración asociadas a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

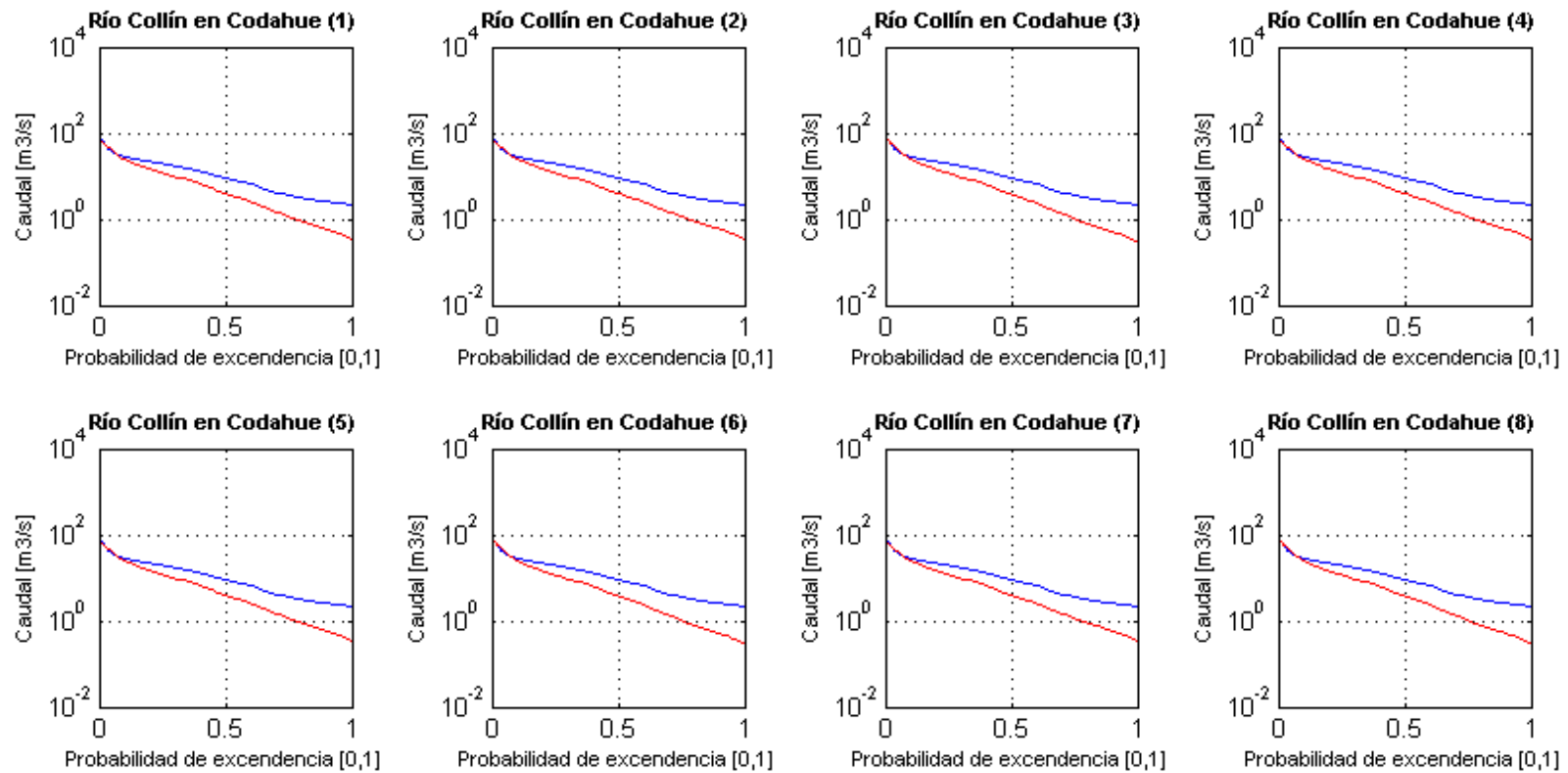


Figura B.9. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Curva de duración asociada a los escenarios (1-8), para el periodo abril/2002-abril/2005, donde la curva de color rojo representa los caudales simulados, mientras la de color azul los observados.

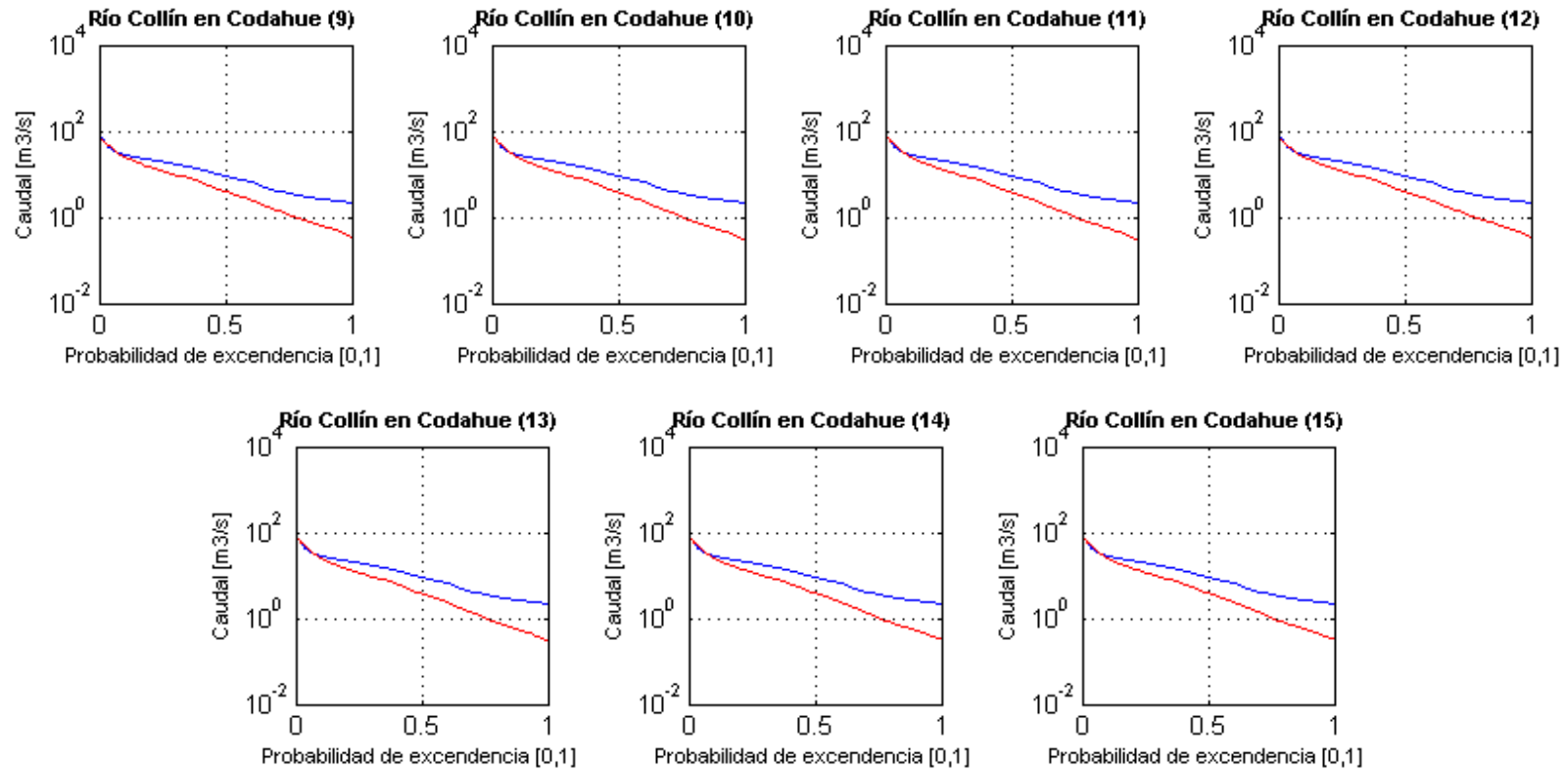


Figura B.10. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Coahuila. Curva de duración asociada a los escenarios (9-15), para el periodo abril/2002-abril/2005, donde la curva de color rojo representa los caudales simulados, mientras la de color azul los observados.

## Anexo C: Gráficos caudal vs tiempo

A continuación se presentaran los gráficos caudal vs tiempo, generados a partir de los 15 escenarios con parámetros no distribuidos, evaluados para las cinco estaciones fluviométricas.

### C.1. Gráficos caudal vs tiempo en estación Río Cautín en Cajón

Desde la Figura C.1 hasta la Figura C.15 se presentan los gráficos caudal vs tiempo, asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

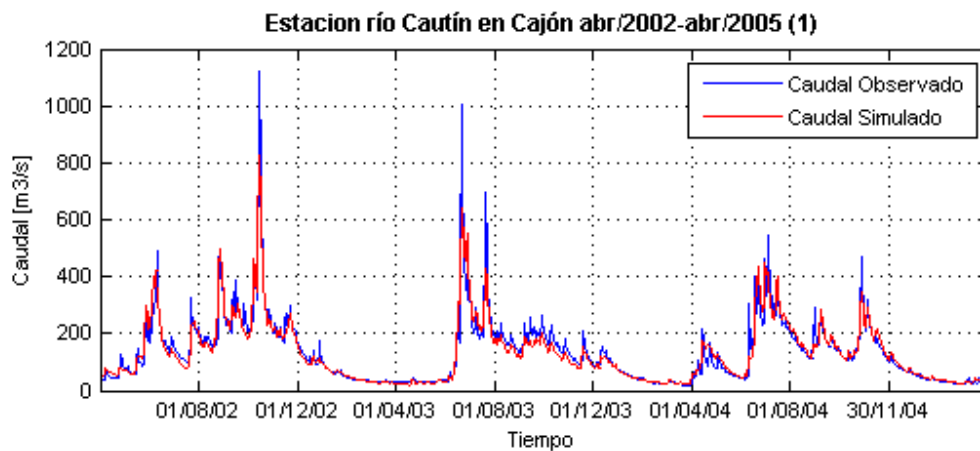


Figura C.1. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (1), para el periodo abril/2002-abril/2005.

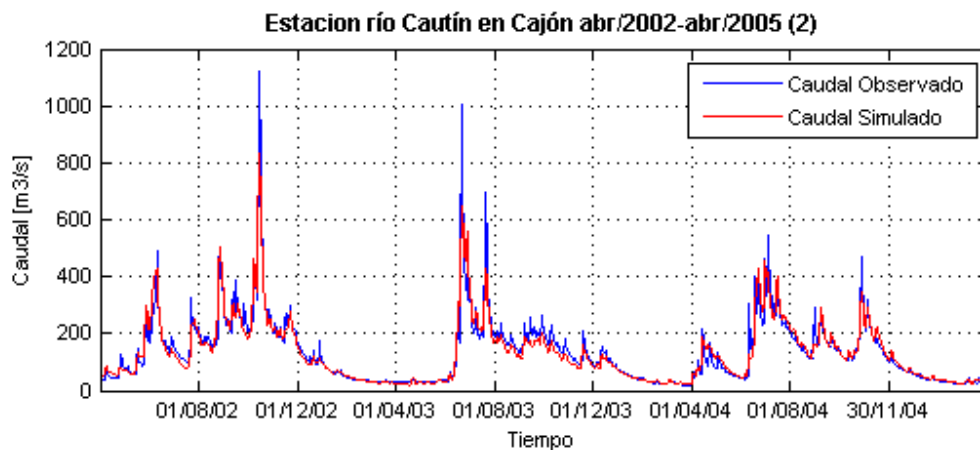


Figura C.2. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (2), para el periodo abril/2002-abril/2005.

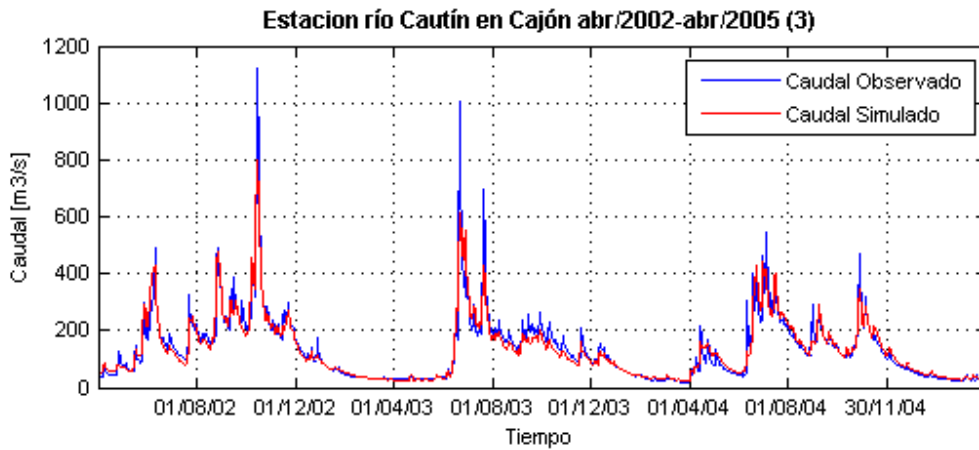


Figura C.3. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (3), para el periodo abril/2002-abril/2005.

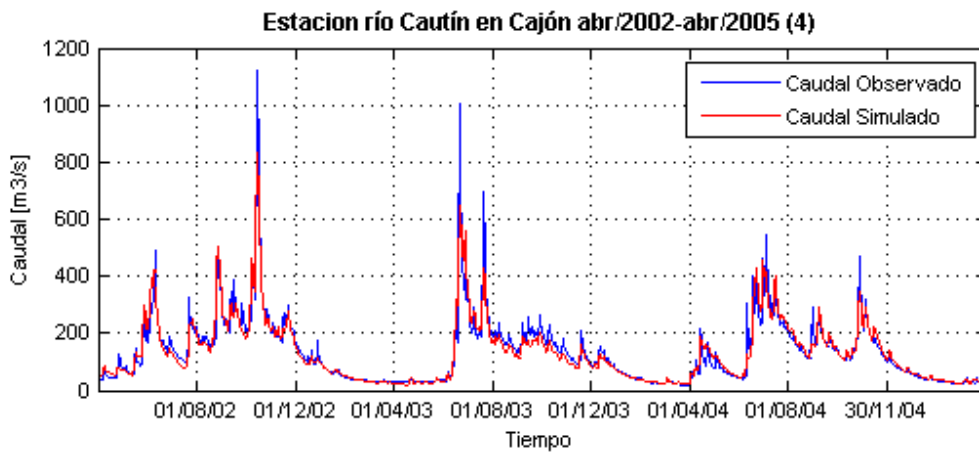


Figura C.4. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (4), para el periodo abril/2002-abril/2005.

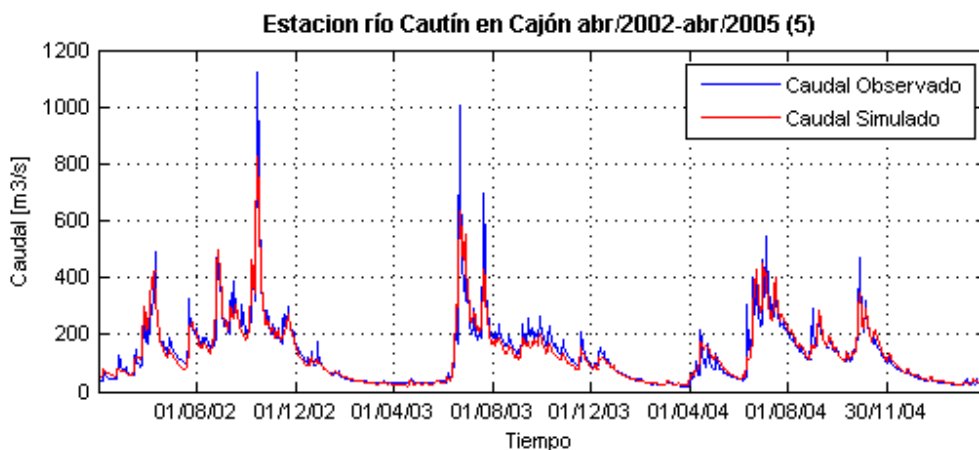


Figura C.5. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (5), para el periodo abril/2002-abril/2005.

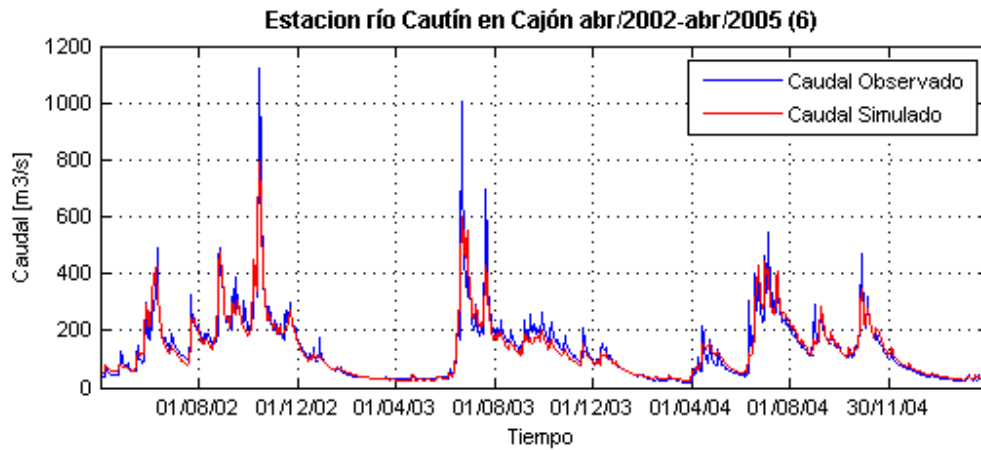


Figura C.6. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (6), para el periodo abril/2002-abril/2005.

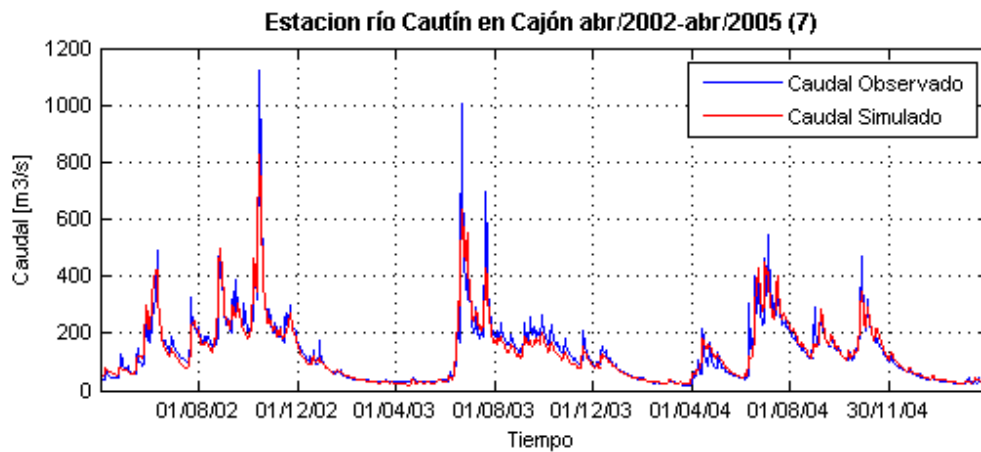


Figura C.7. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (7), para el periodo abril/2002-abril/2005.

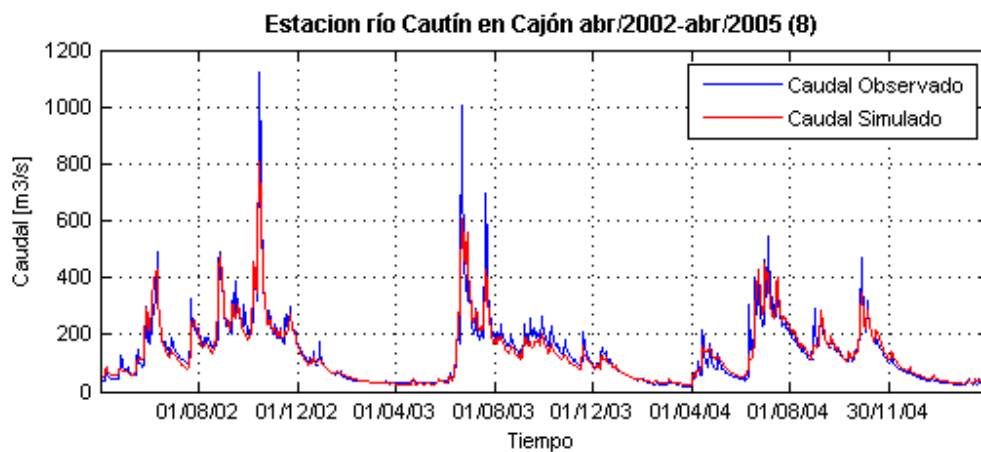


Figura C.8. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (8), para el periodo abril/2002-abril/2005.

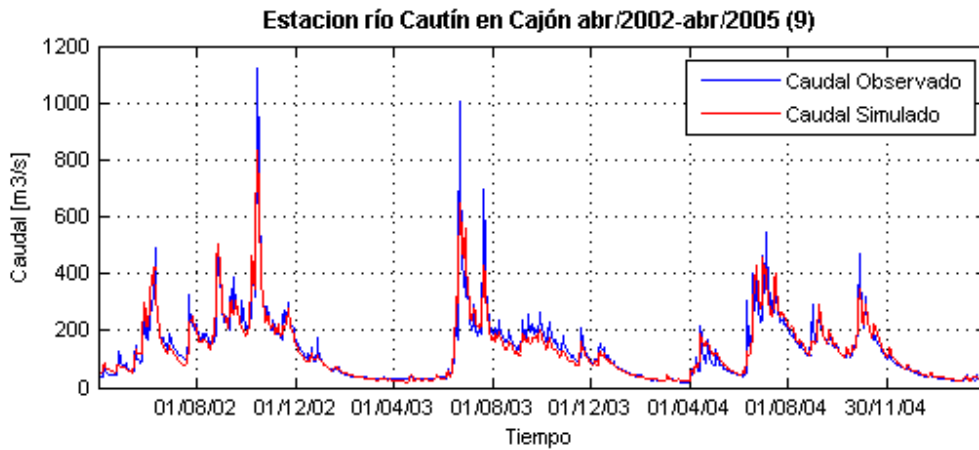


Figura C.9.Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (9), para el periodo abril/2002-abril/2005.

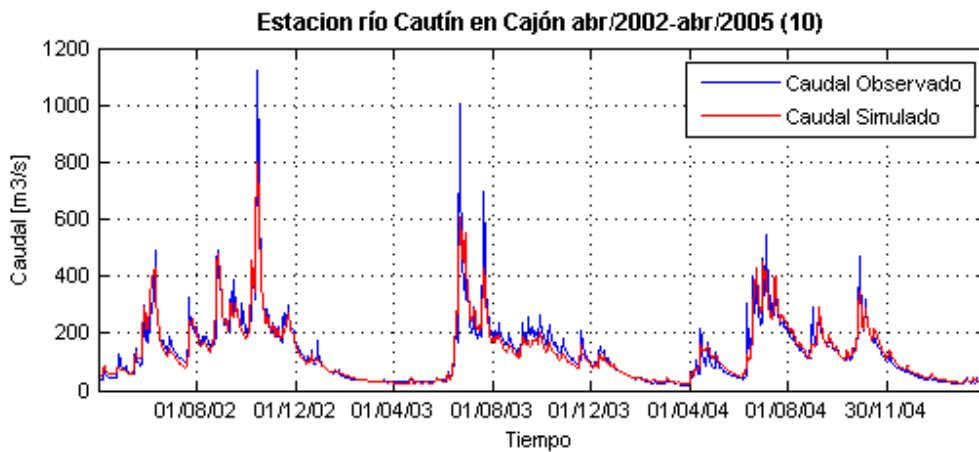


Figura C.10.Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (10), para el periodo abril/2002-abril/2005.

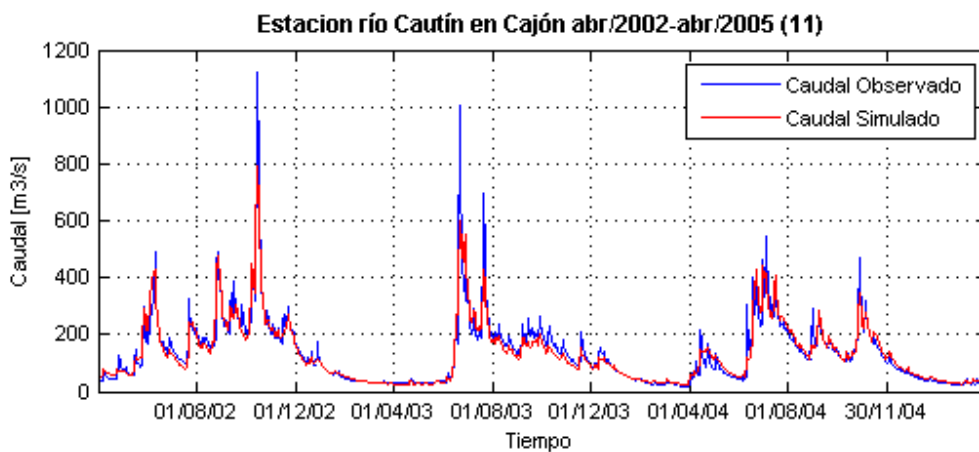


Figura C.11.Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (11), para el periodo abril/2002-abril/2005.

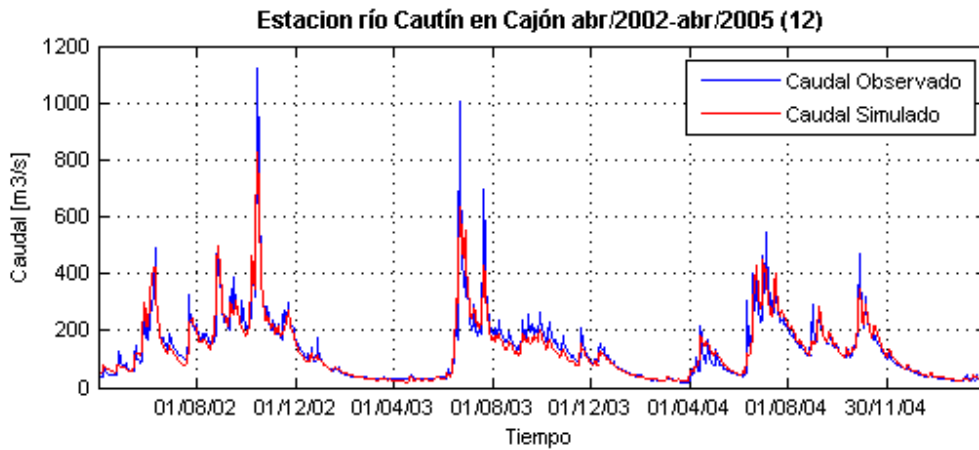


Figura C.12.Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (12), para el periodo abril/2002-abril/2005.

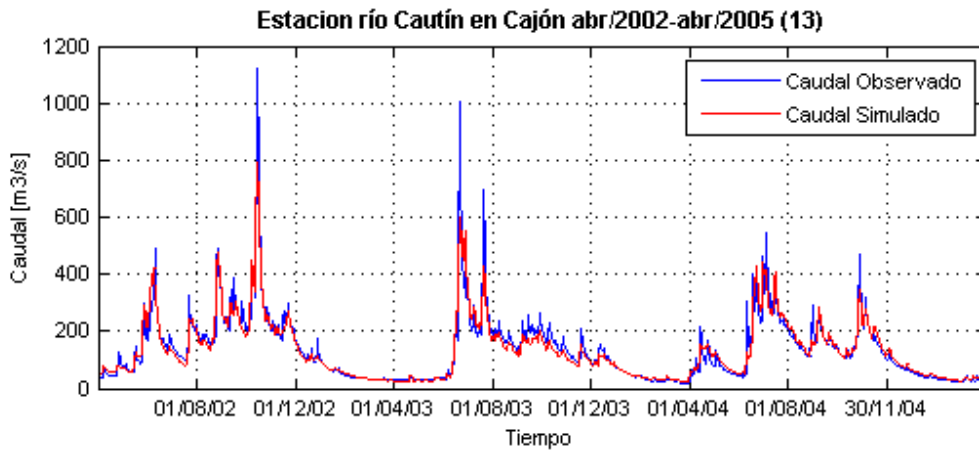


Figura C.13.Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (13), para el periodo abril/2002-abril/2005.

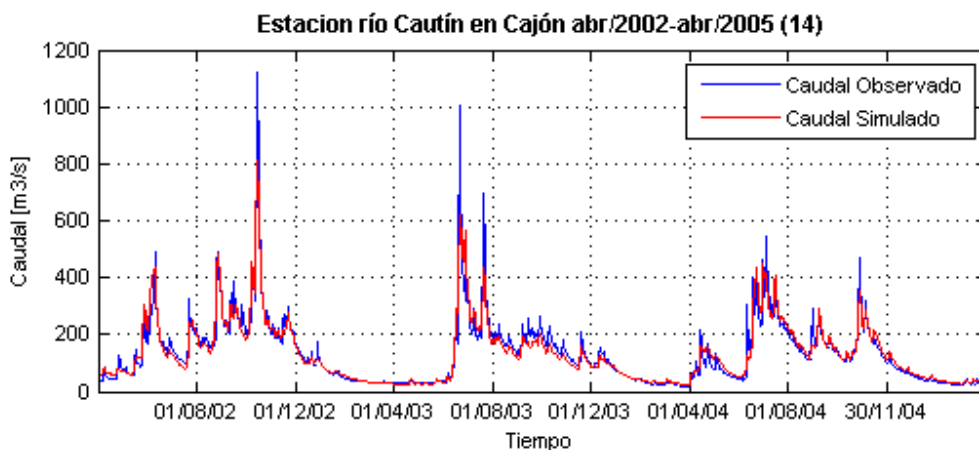


Figura C.14.Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (14), para el periodo abril/2002-abril/2005.



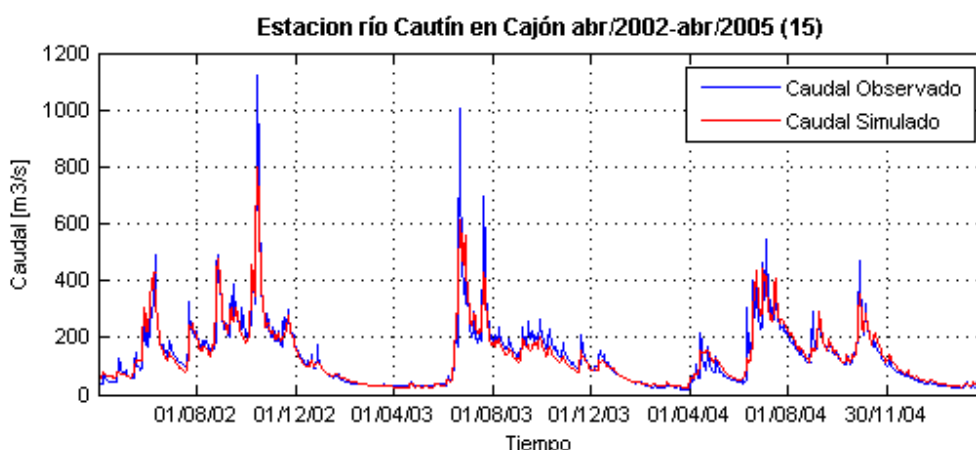


Figura C.15. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma asociado al escenario (15), para el periodo abril/2002-abril/2005.

## C.2. Gráficos caudal vs tiempo en estación Río Cautín en Rariruca

Desde la Figura C.16 hasta la Figura C.30 se presentan los gráficos caudal vs tiempo, asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

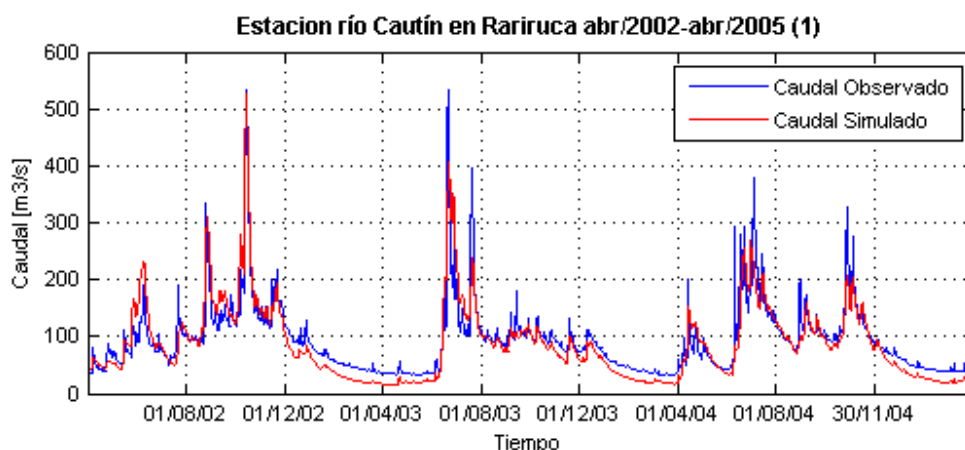


Figura C.16. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (1), para el periodo abril/2002-abril/2005.

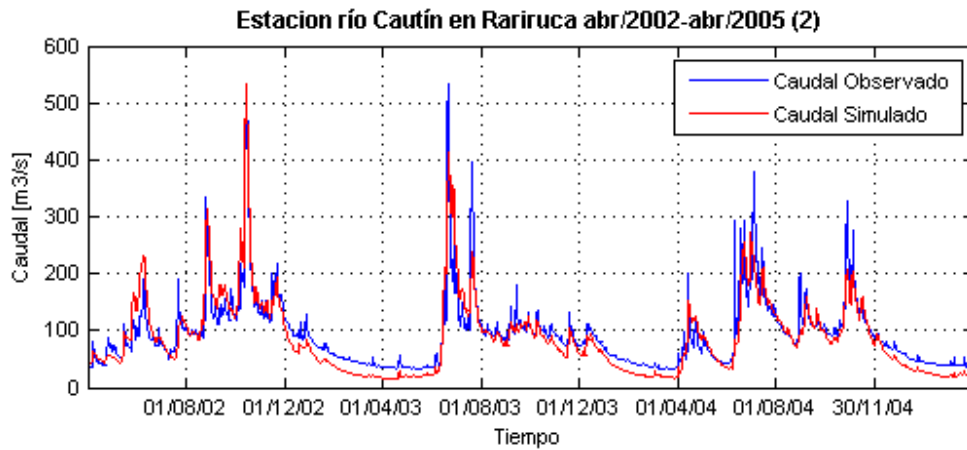


Figura C.17. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (2), para el periodo abril/2002-abril/2005.

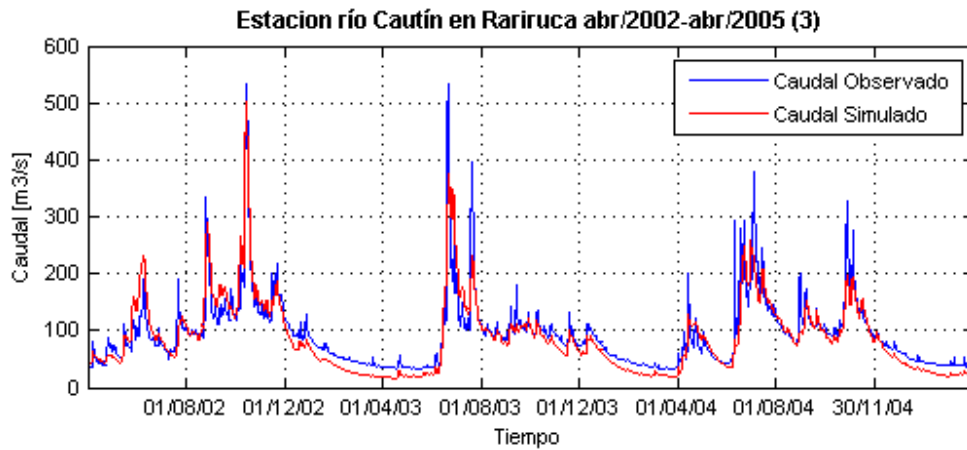


Figura C.18. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (3), para el periodo abril/2002-abril/2005.

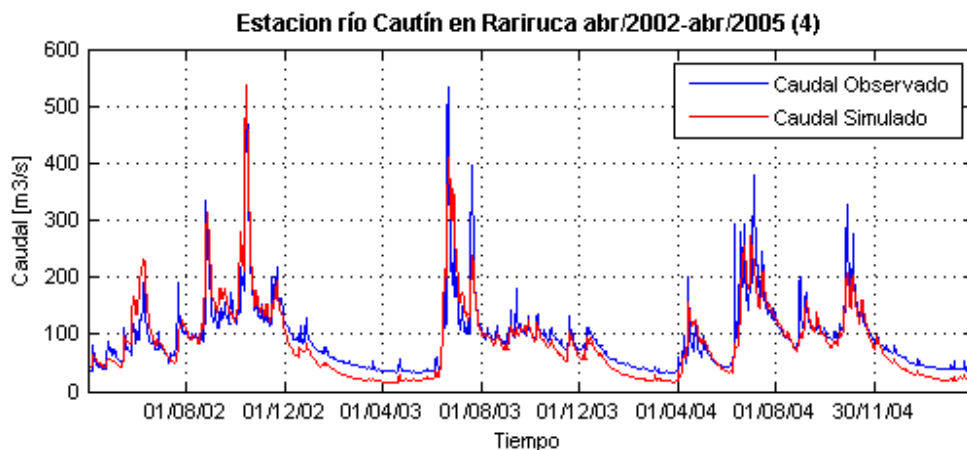


Figura C.19. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (4), para el periodo abril/2002-abril/2005.

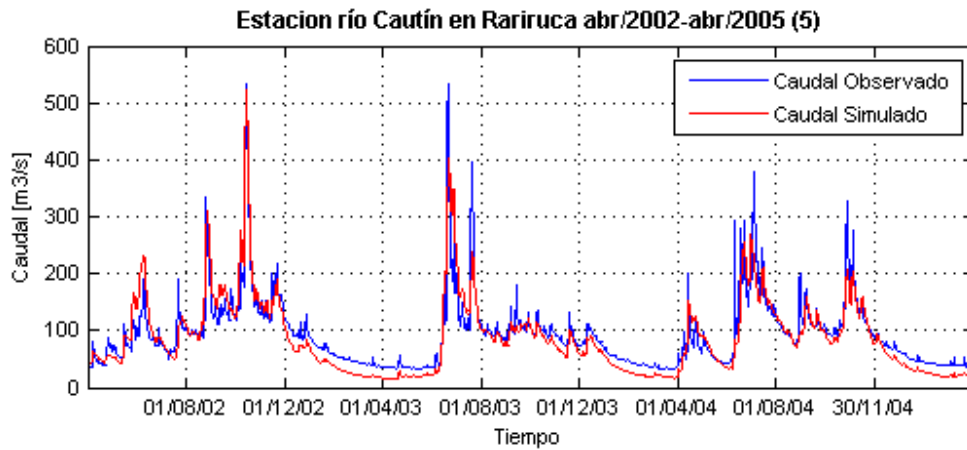


Figura C.20. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (5), para el periodo abril/2002-abril/2005.

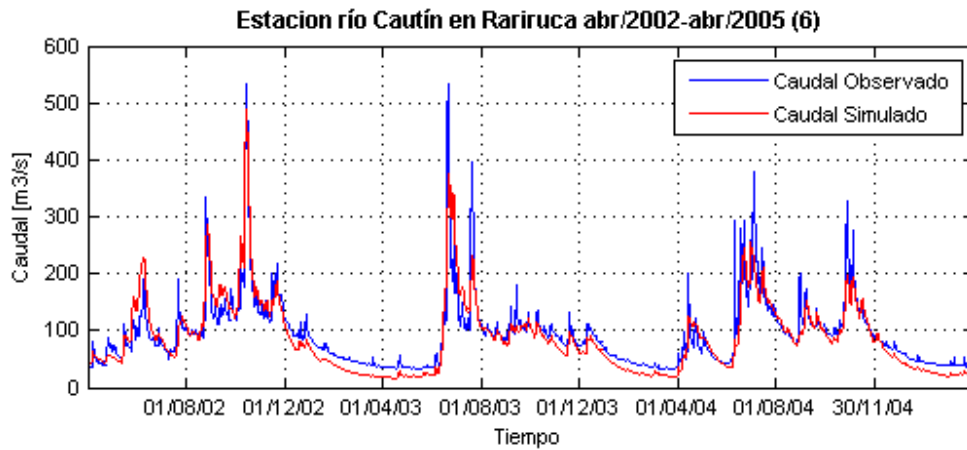


Figura C.21. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (6), para el periodo abril/2002-abril/2005.

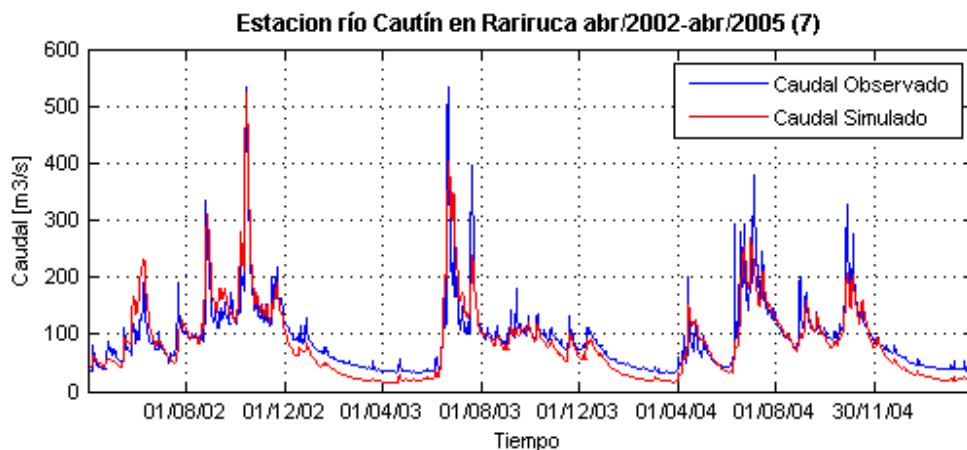


Figura C.22. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (7), para el periodo abril/2002-abril/2005.

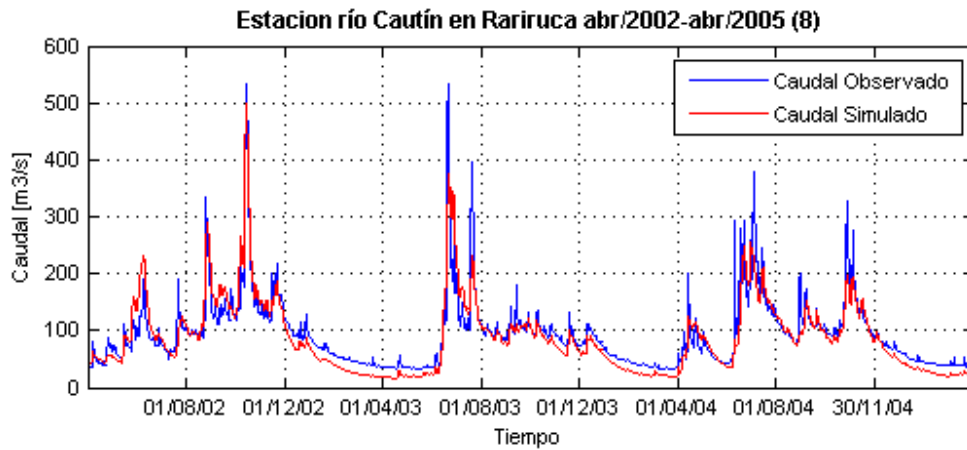


Figura C.23. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (8), para el periodo abril/2002-abril/2005.

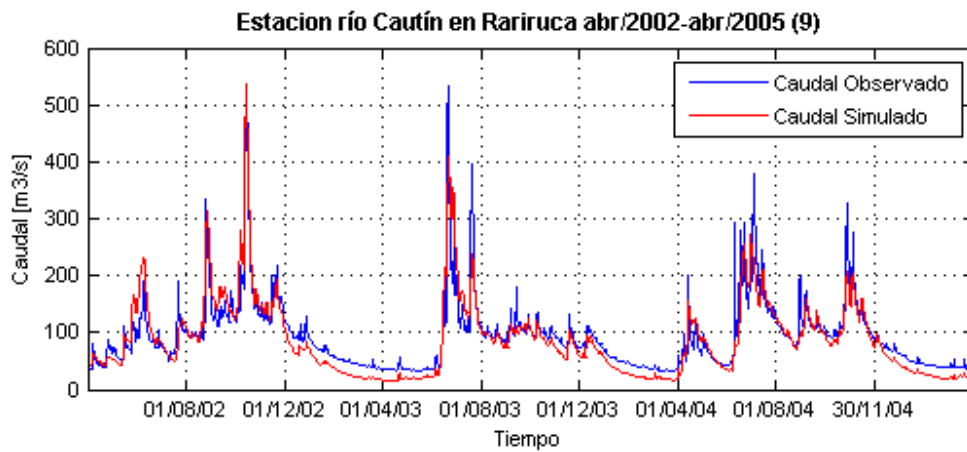


Figura C.24. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (9), para el periodo abril/2002-abril/2005.

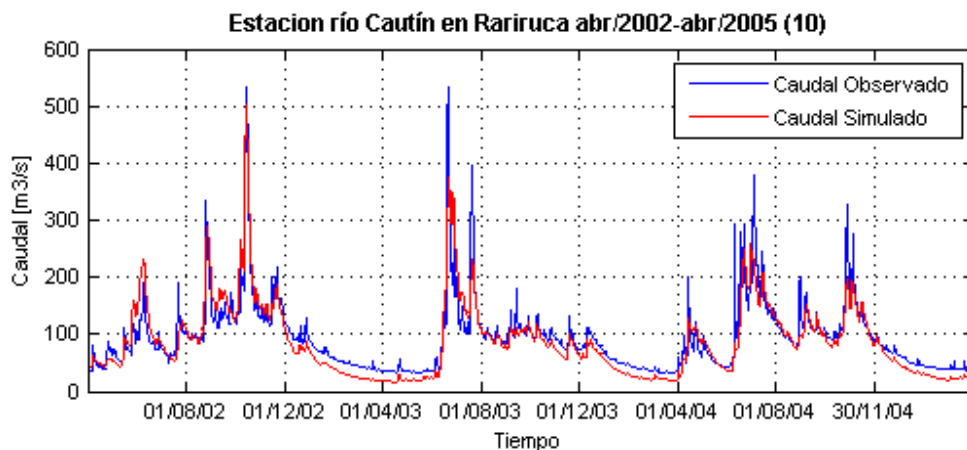


Figura C.25. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (10), para el periodo abril/2002-abril/2005.

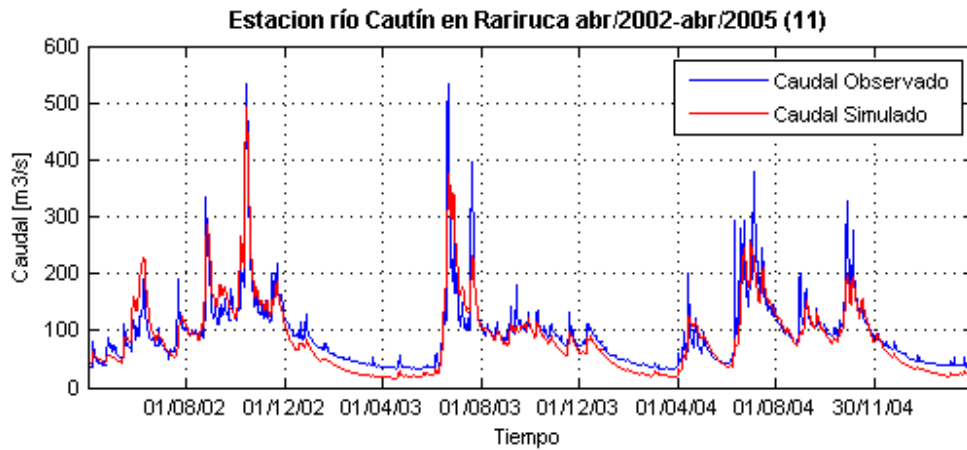


Figura C.26. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (11), para el periodo abril/2002-abril/2005.

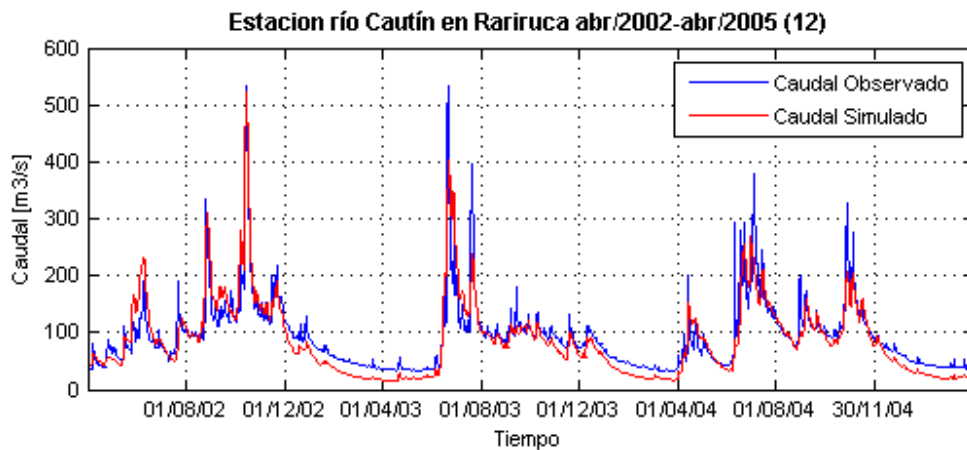


Figura C.27. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (12), para el periodo abril/2002-abril/2005.

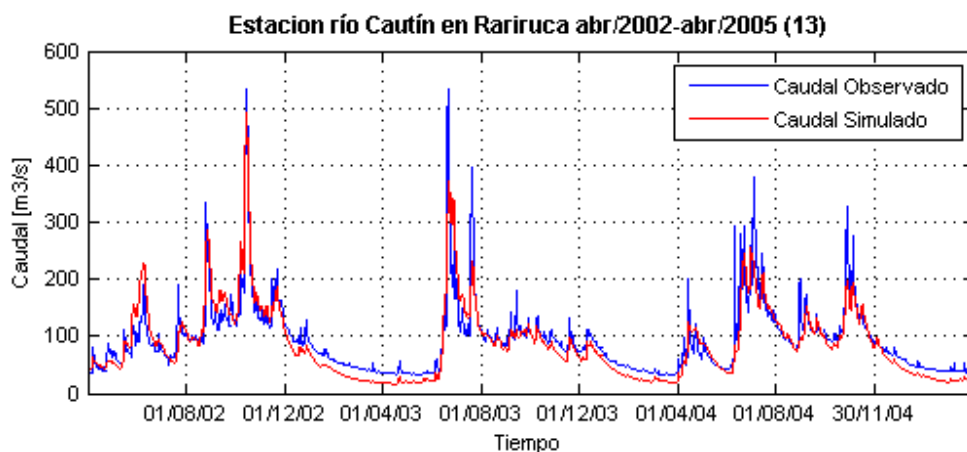


Figura C.28. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (13), para el periodo abril/2002-abril/2005.

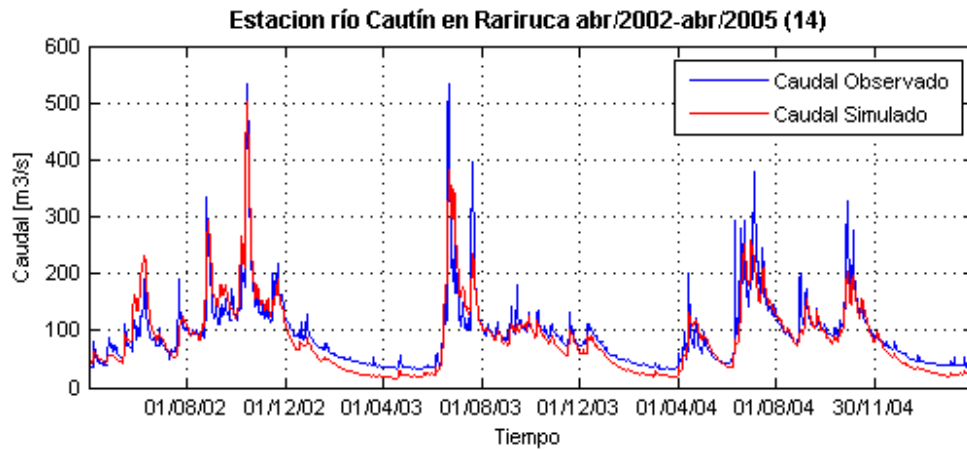


Figura C.29. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (14), para el periodo abril/2002-abril/2005.

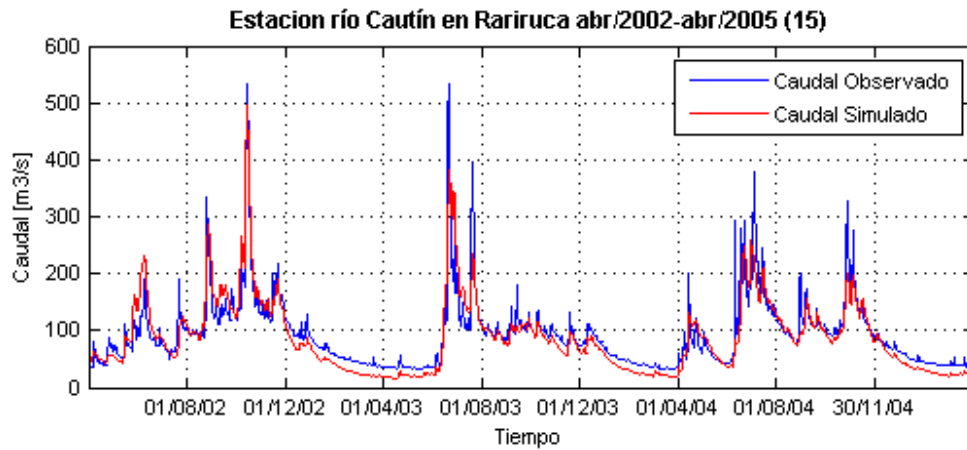


Figura C.30. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma asociado al escenario (15), para el periodo abril/2002-abril/2005.

### C.3. Gráficos caudal vs tiempo en estación Río Blanco en Curacautín

Desde la Figura C.31 hasta la Figura C.45 se presentan los gráficos caudal vs tiempo, asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

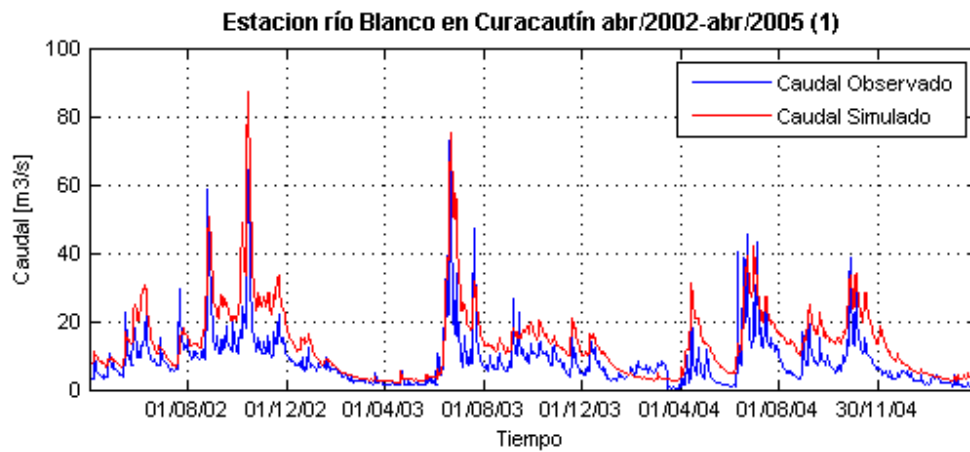


Figura C.31. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (1), para el periodo abril/2002-abril/2005.

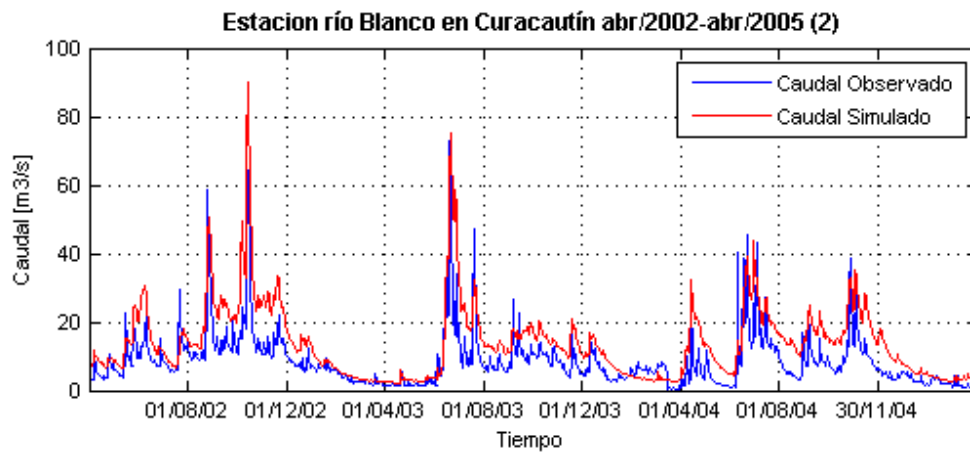


Figura C.32. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (2), para el periodo abril/2002-abril/2005.

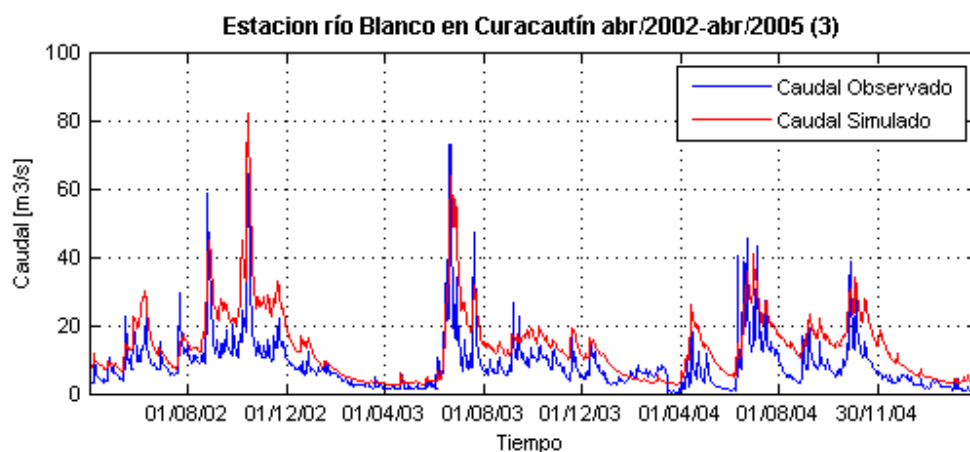


Figura C.33. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (3), para el periodo abril/2002-abril/2005.

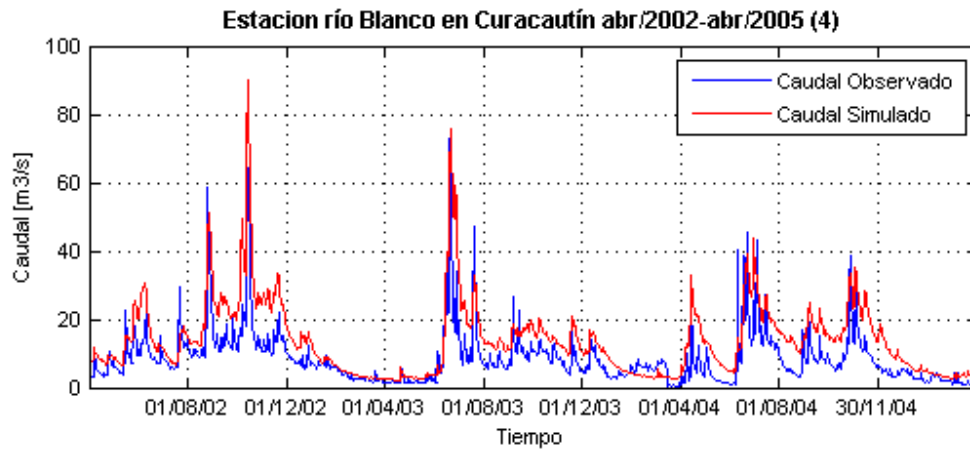


Figura C.34. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (4), para el periodo abril/2002-abril/2005.

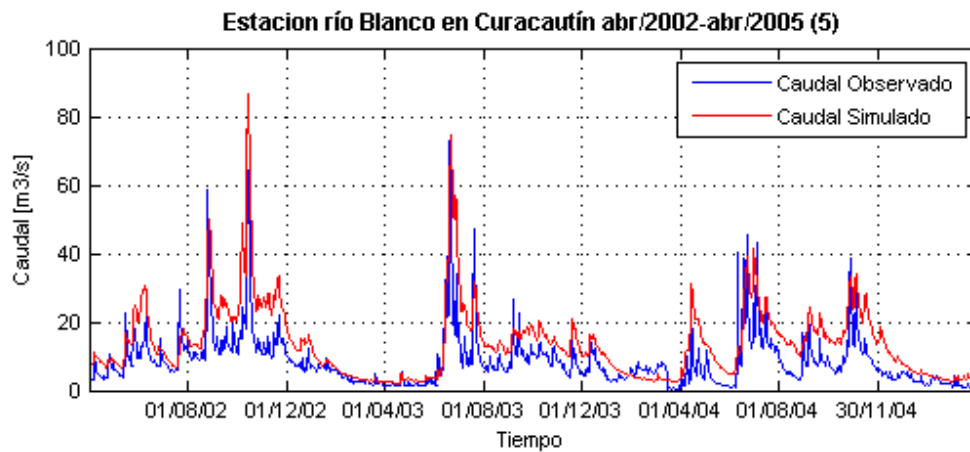


Figura C.35. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (5), para el periodo abril/2002-abril/2005.

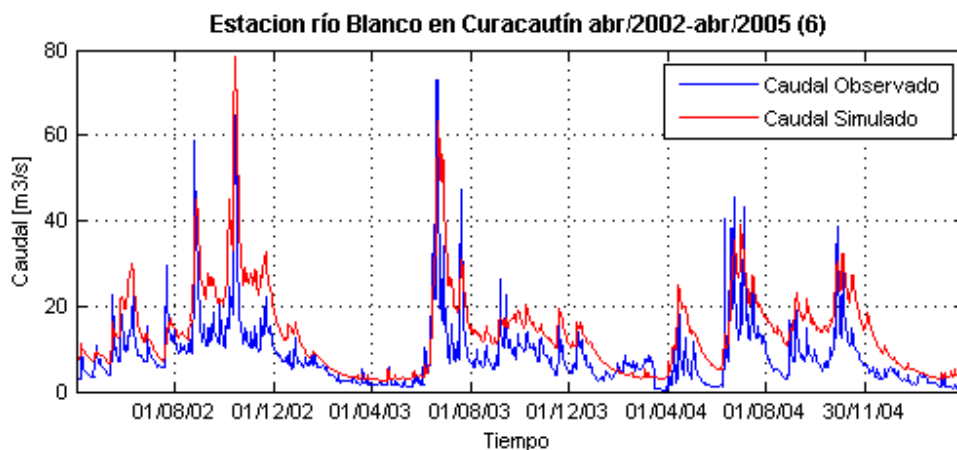


Figura C.36. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (6), para el periodo abril/2002-abril/2005.



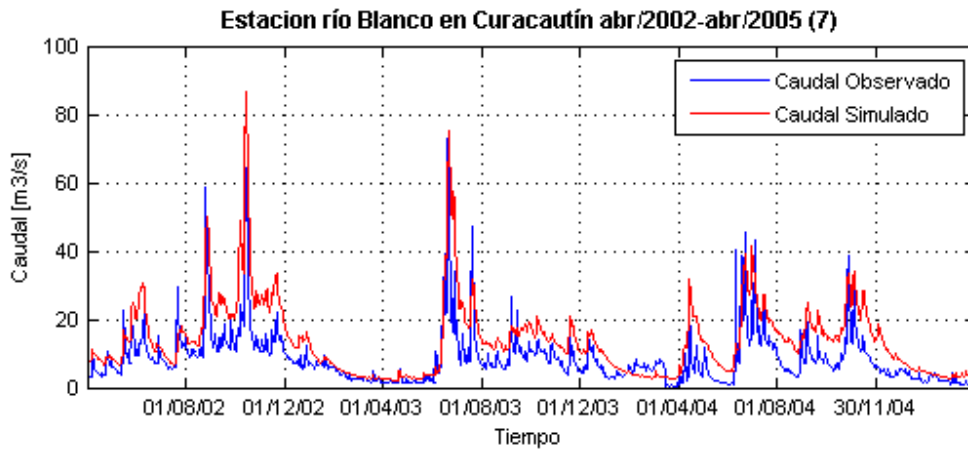


Figura C.37. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (7), para el periodo abril/2002-abril/2005.

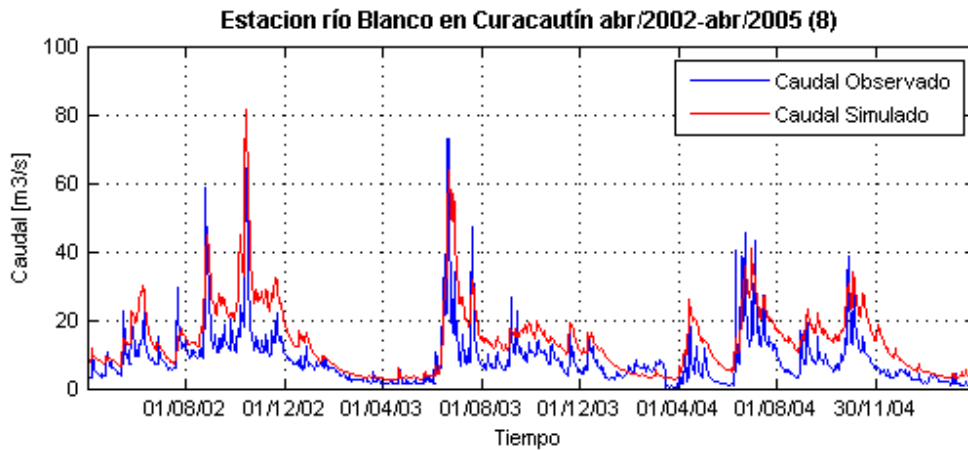


Figura C.38. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (8), para el periodo abril/2002-abril/2005.

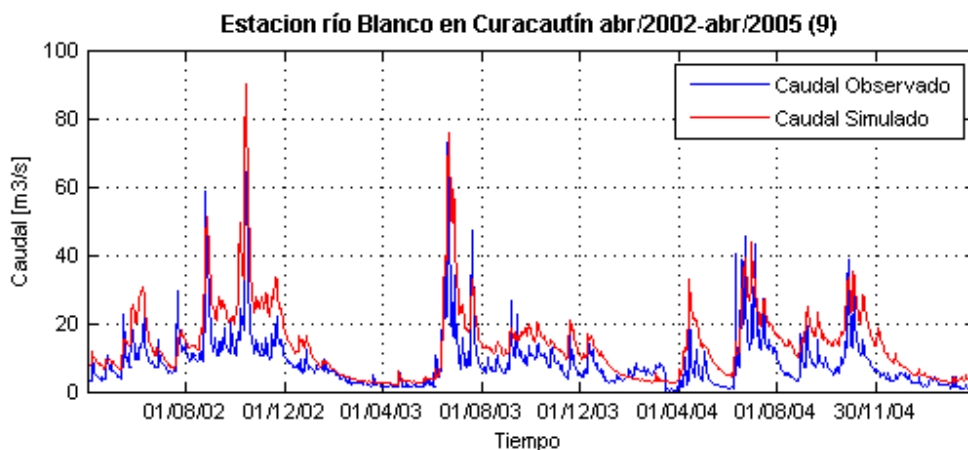


Figura C.39. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (9), para el periodo abril/2002-abril/2005.

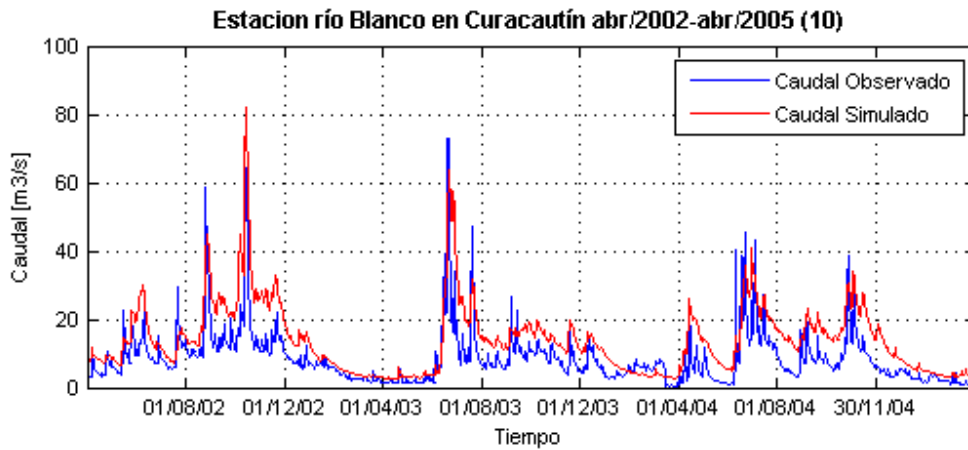


Figura C.40. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (10), para el periodo abril/2002-abril/2005.

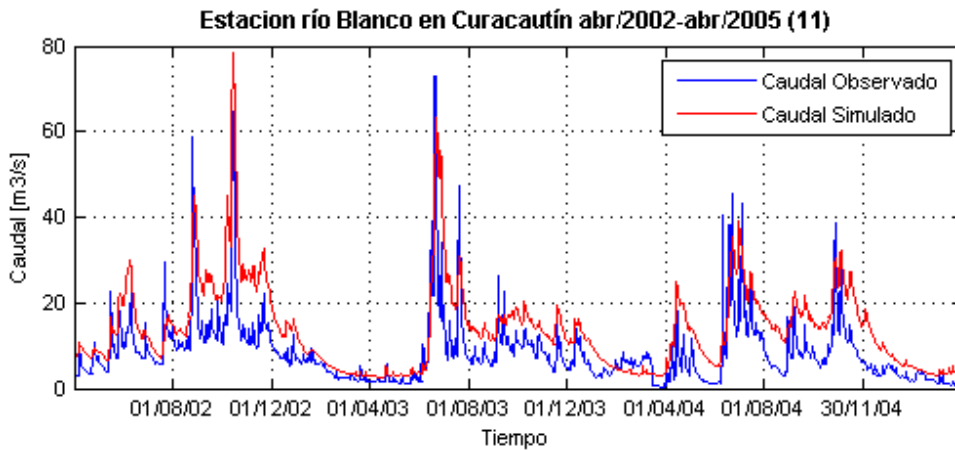


Figura C.41. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (11), para el periodo abril/2002-abril/2005.

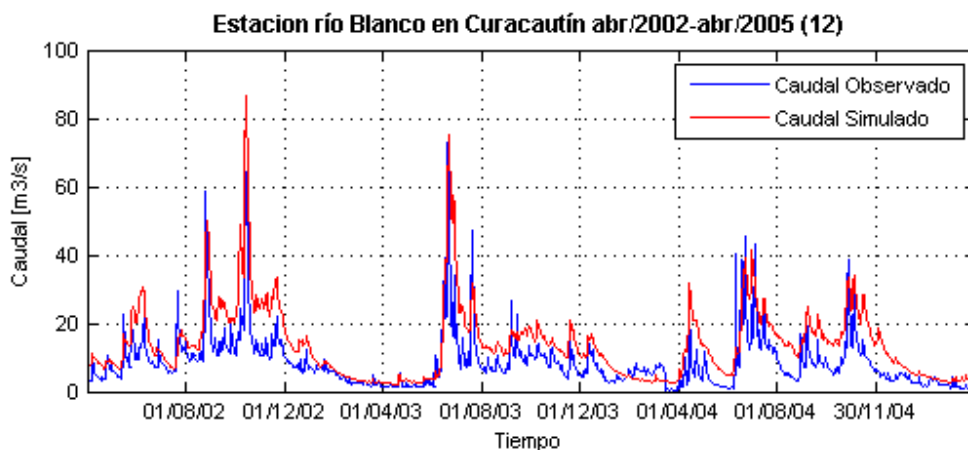


Figura C.42. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (12), para el periodo abril/2002-abril/2005.

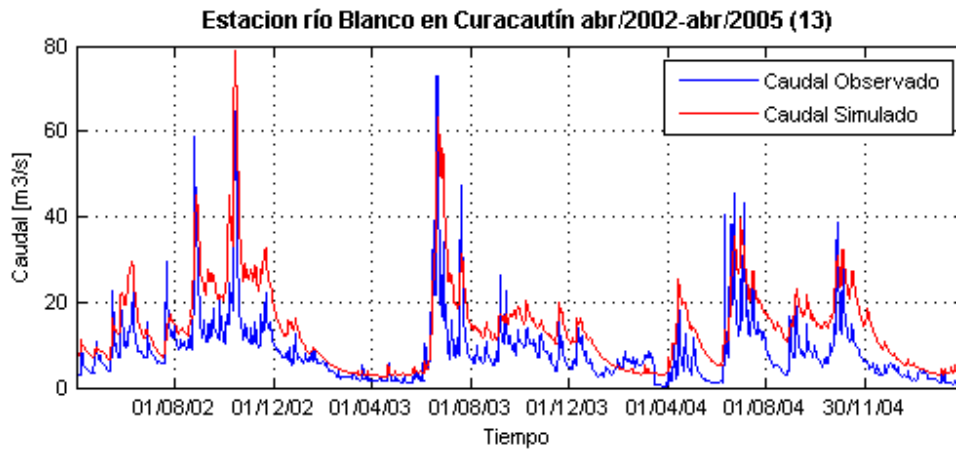


Figura C.43. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (13), para el periodo abril/2002-abril/2005.

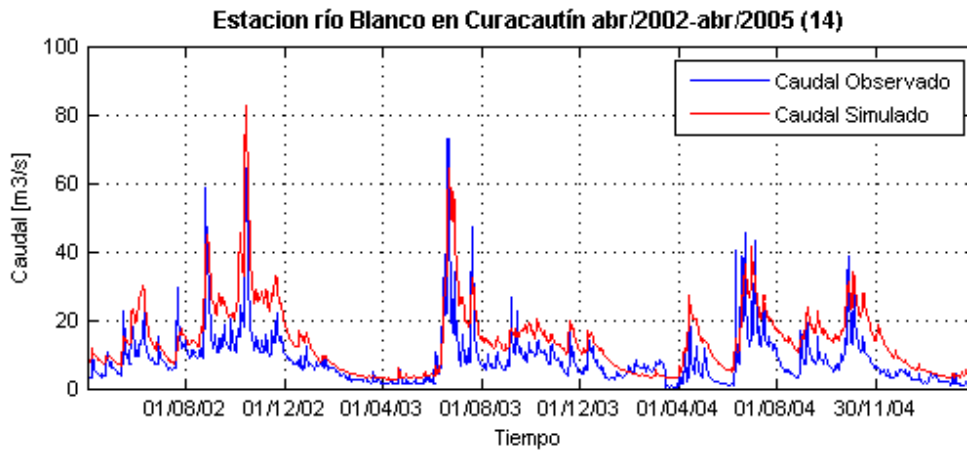


Figura C.44. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (14), para el periodo abril/2002-abril/2005.

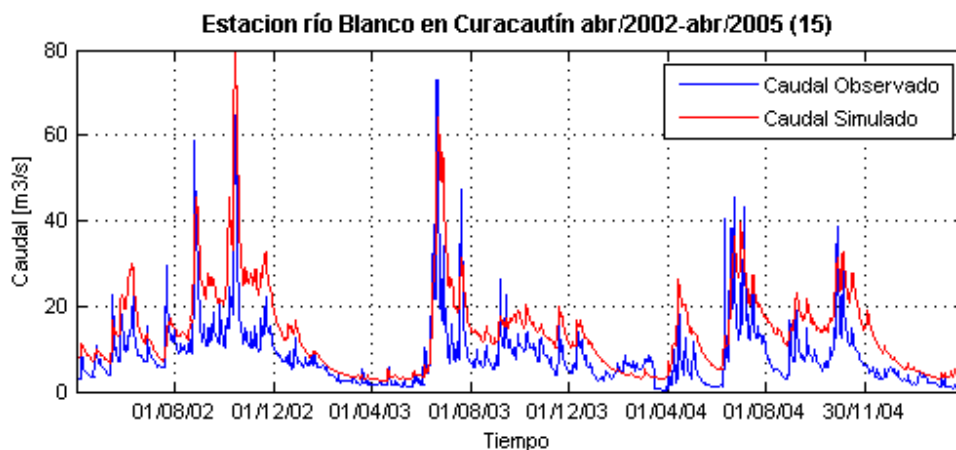


Figura C.45. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma asociado al escenario (15), para el periodo abril/2002-abril/2005.

### C.4. Gráficos caudal vs tiempo en estación Río Muco en puente Muco

Desde la Figura C.46 hasta la Figura C.60 se presentan los gráficos caudal vs tiempo, asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

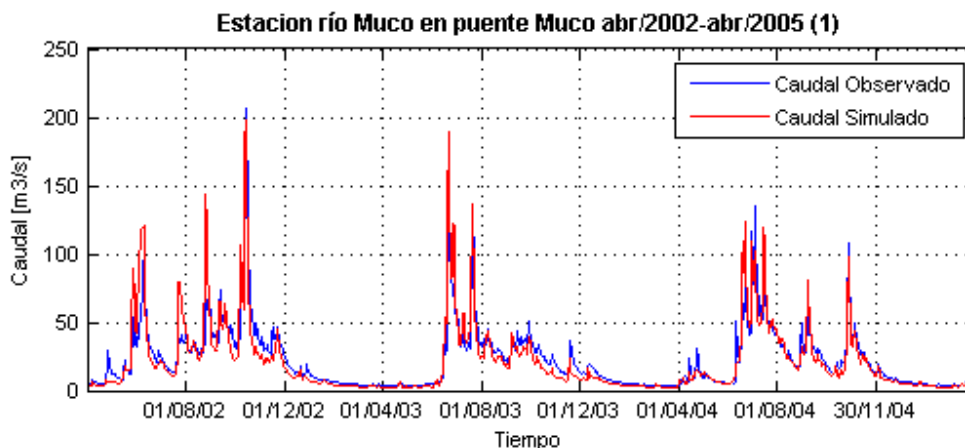


Figura C.46. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (1), para el periodo abril/2002-abril/2005.

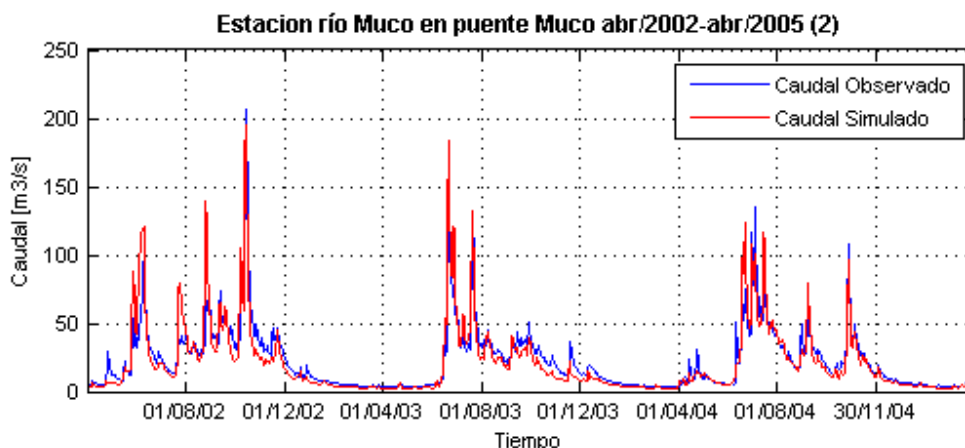


Figura C.47. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (2), para el periodo abril/2002-abril/2005.

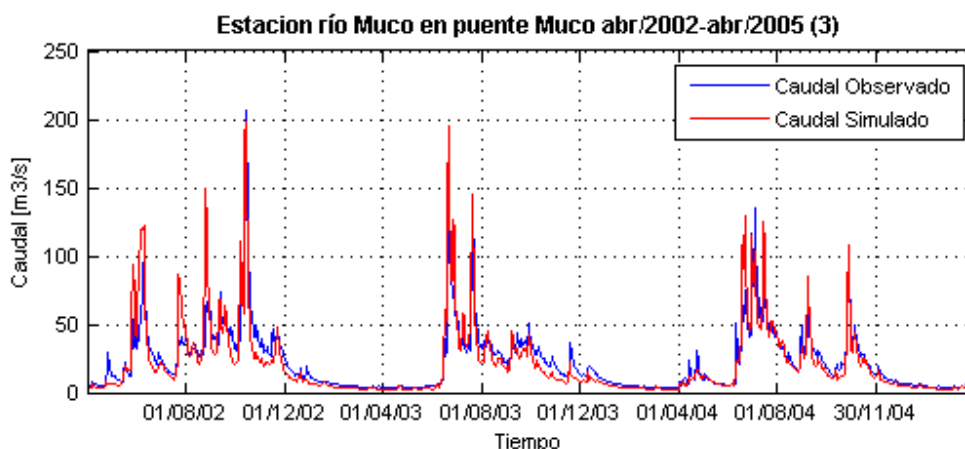


Figura C.48. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (3), para el periodo abril/2002-abril/2005.

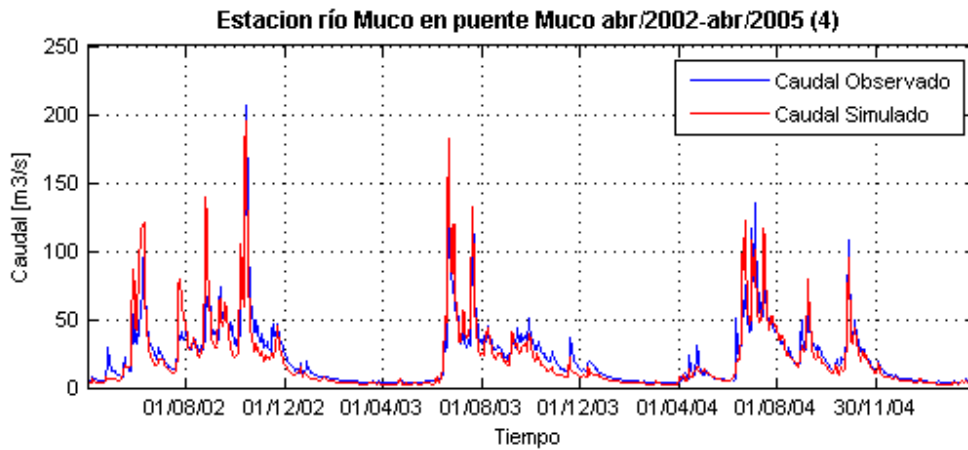


Figura C.49. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (4), para el periodo abril/2002-abril/2005.

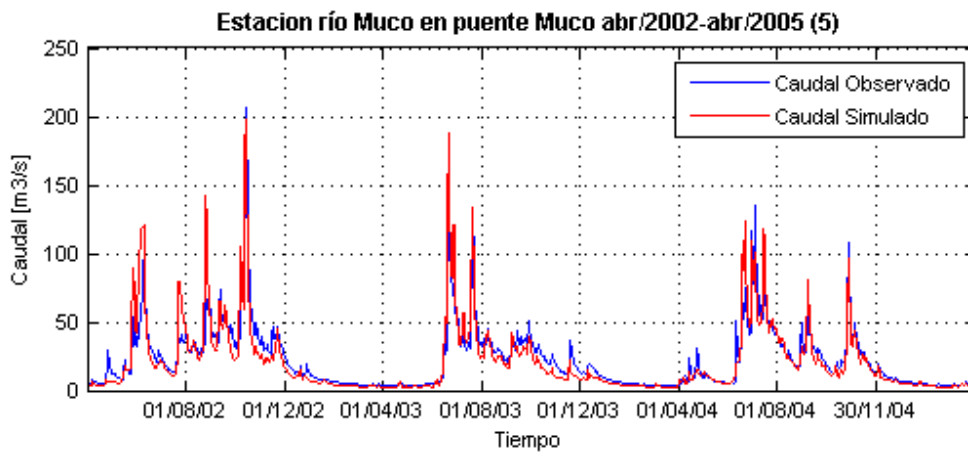


Figura C.50. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (5), para el periodo abril/2002-abril/2005.

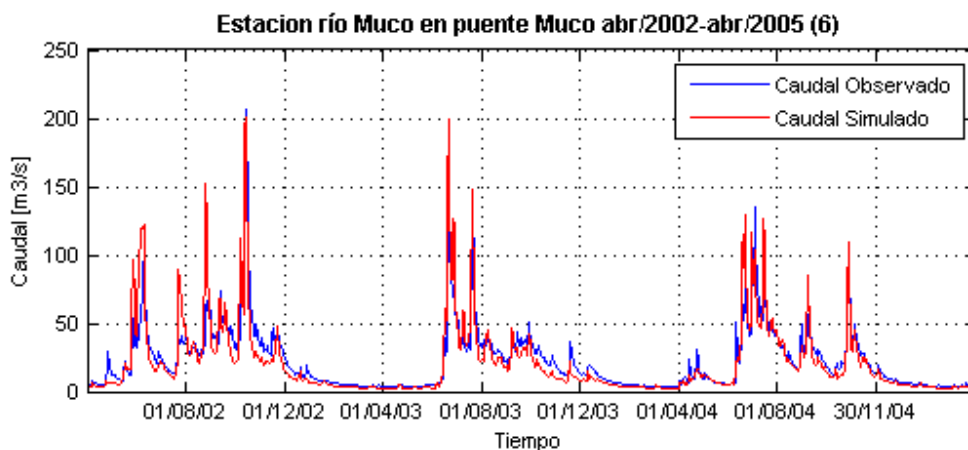


Figura C.51. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (6), para el periodo abril/2002-abril/2005.

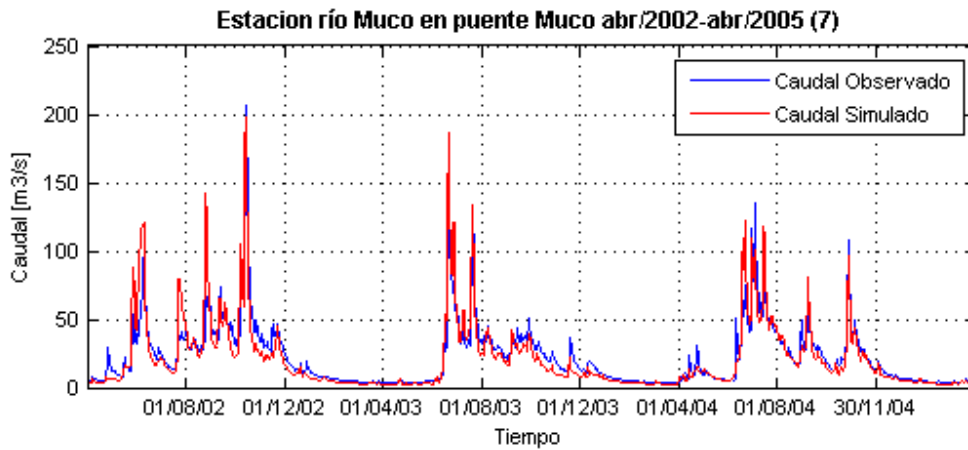


Figura C.52. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (7), para el periodo abril/2002-abril/2005.

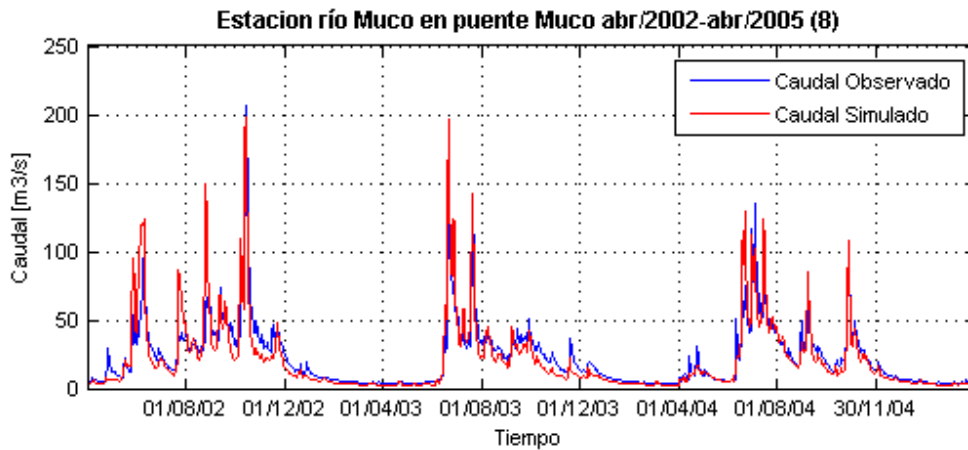


Figura C.53. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (8), para el periodo abril/2002-abril/2005.

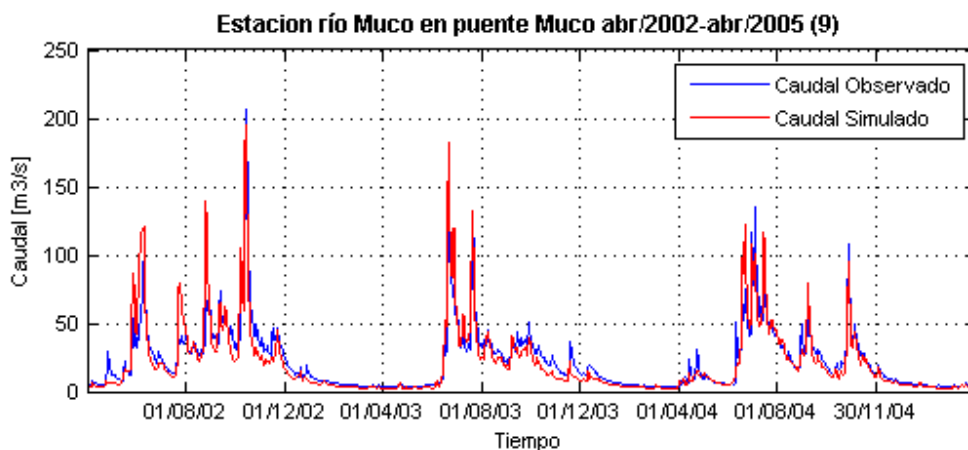


Figura C.54. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (9), para el periodo abril/2002-abril/2005.

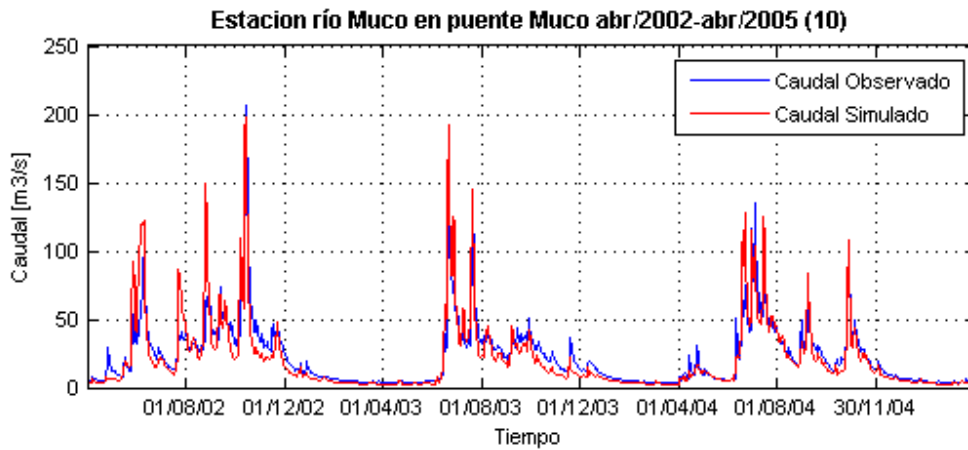


Figura C.55. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (10), para el periodo abril/2002-abril/2005.

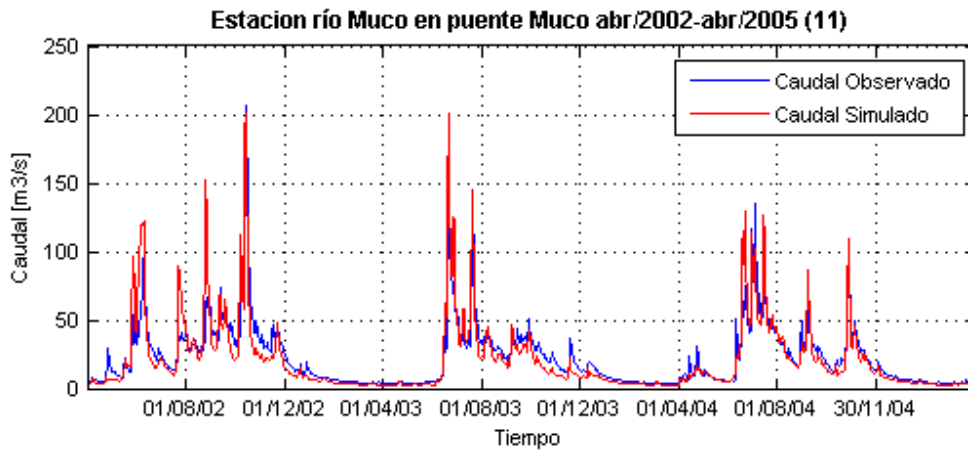


Figura C.56. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (11), para el periodo abril/2002-abril/2005.

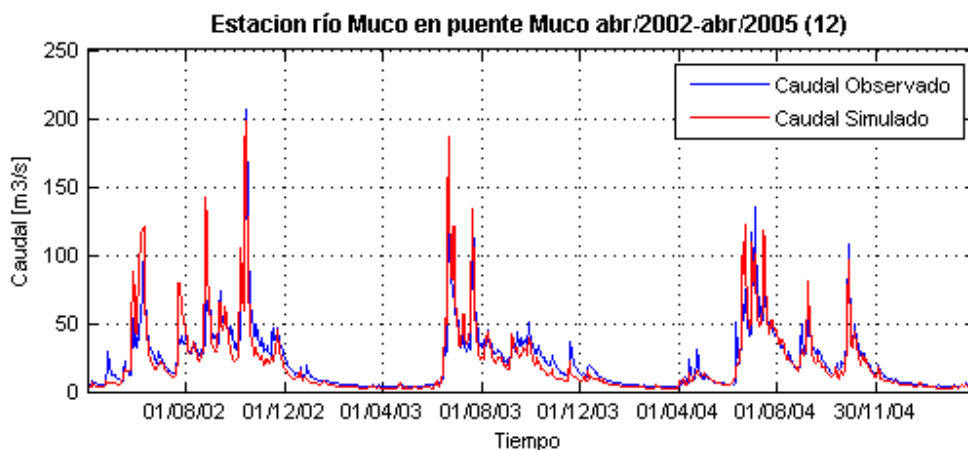


Figura C.57. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (12), para el periodo abril/2002-abril/2005.

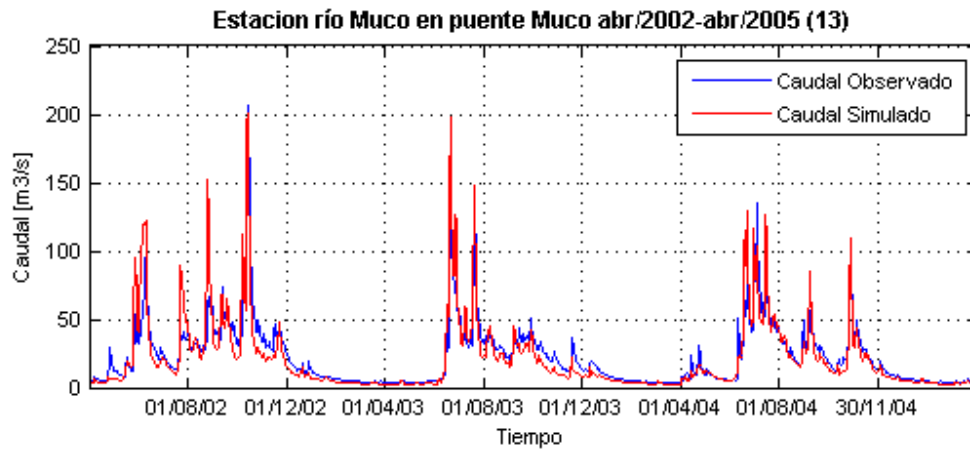


Figura C.58. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (13), para el periodo abril/2002-abril/2005.

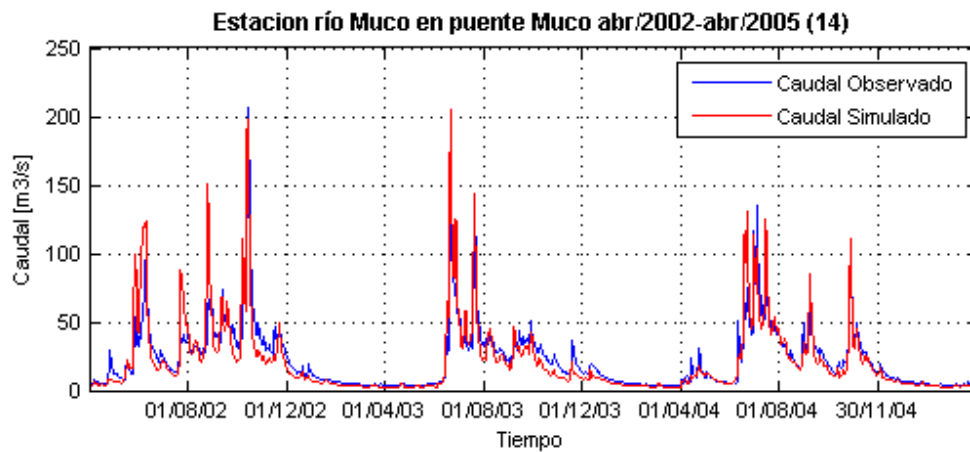


Figura C.59. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (14), para el periodo abril/2002-abril/2005.

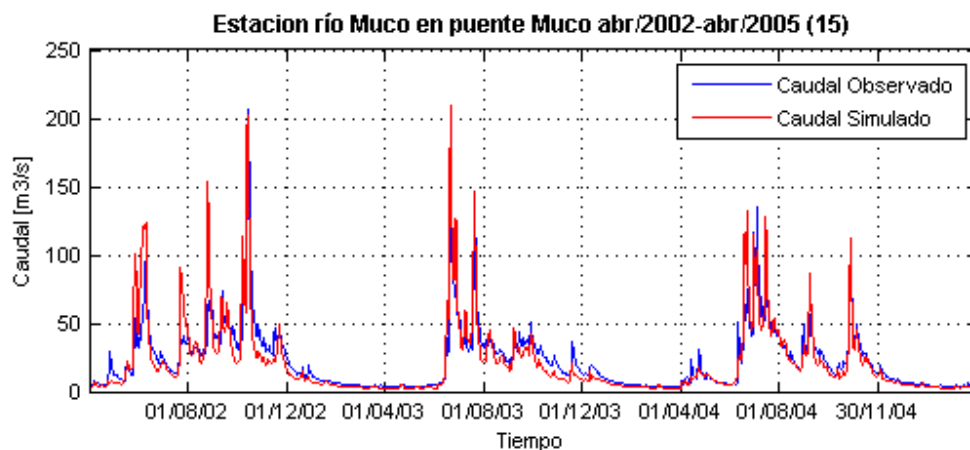


Figura C.60. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma asociado al escenario (15), para el periodo abril/2002-abril/2005.



### C.5. Gráficos caudal vs tiempo en estación Río Collín en Codahue

Desde la Figura C.61 hasta la Figura C.75 se presentan los gráficos caudal vs tiempo, asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

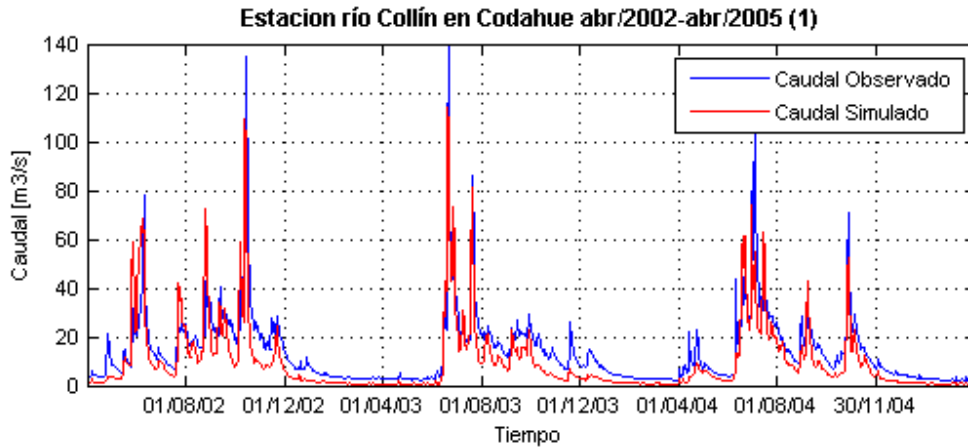


Figura C.61. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (1), para el periodo abril/2002-abril/2005.

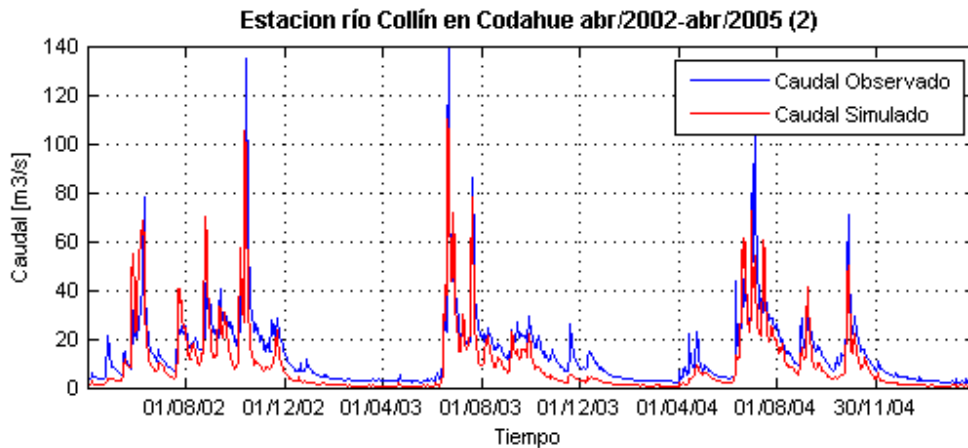


Figura C.62. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (2), para el periodo abril/2002-abril/2005.

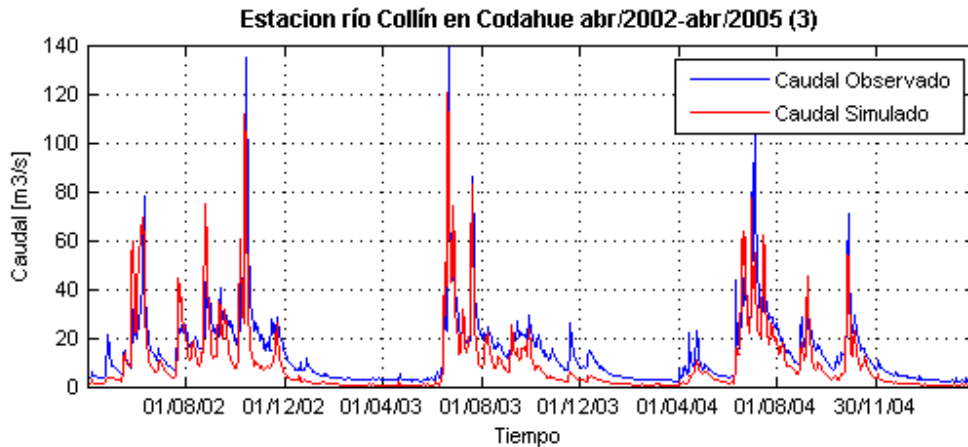


Figura C.63. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (3), para el periodo abril/2002-abril/2005.

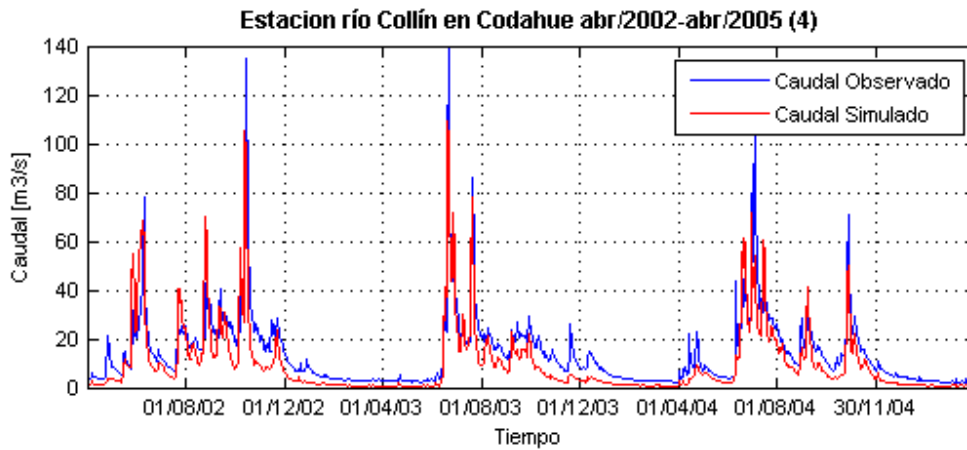


Figura C.64. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (4), para el periodo abril/2002-abril/2005.

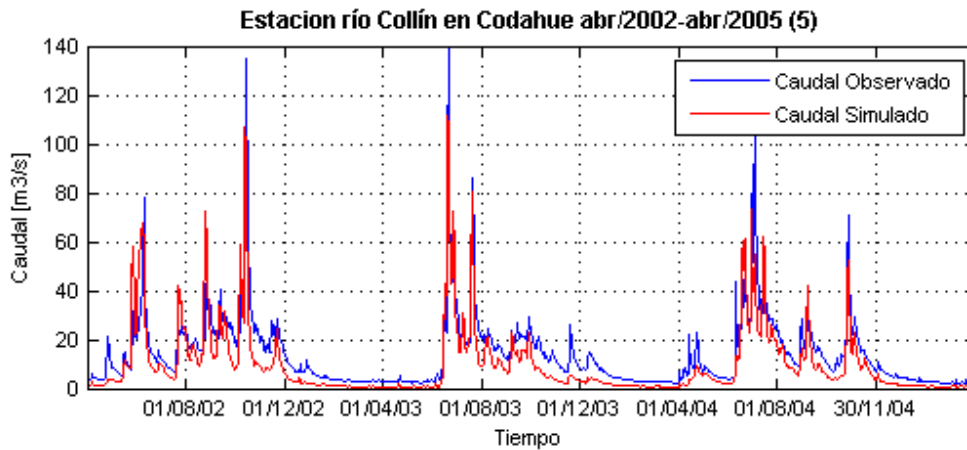


Figura C.65. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (5), para el periodo abril/2002-abril/2005.

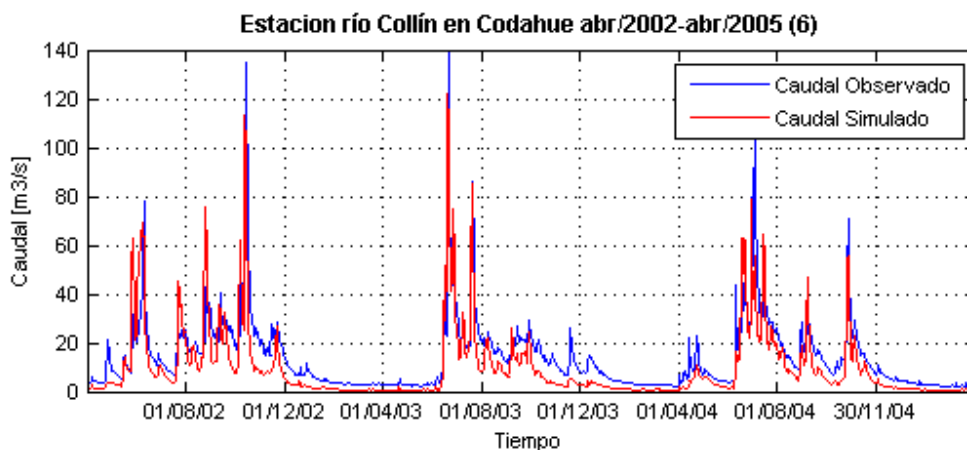


Figura C.66. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (6), para el periodo abril/2002-abril/2005.

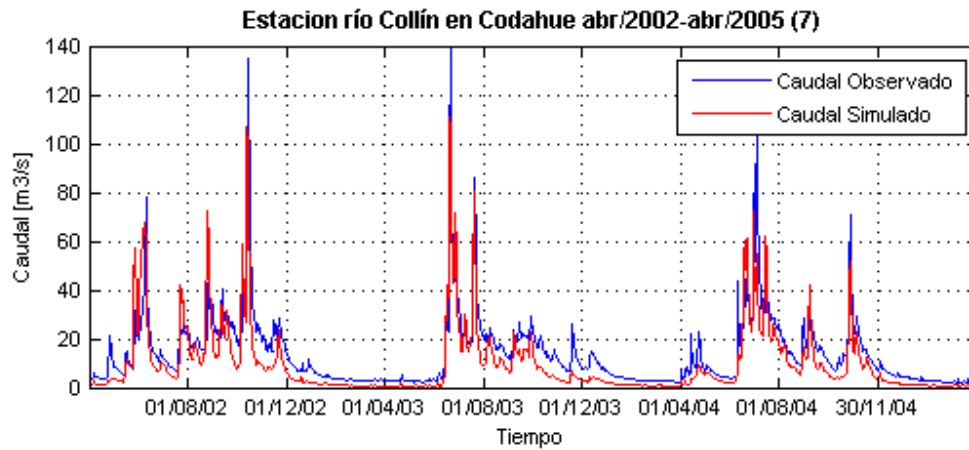


Figura C.67. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (7), para el periodo abril/2002-abril/2005.

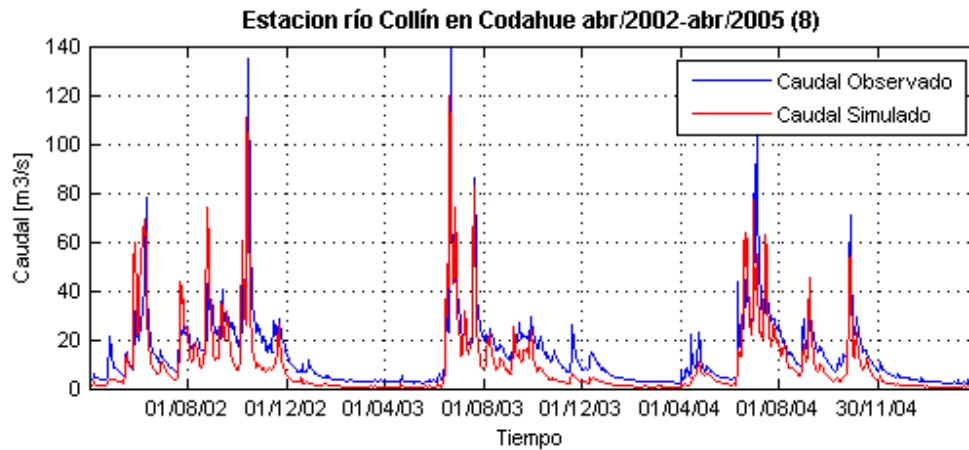


Figura C.68. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (8), para el periodo abril/2002-abril/2005.

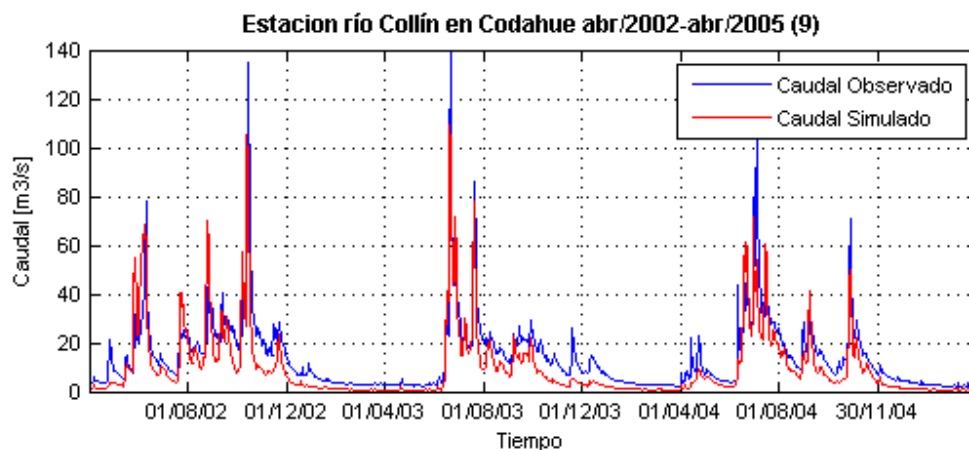


Figura C.69. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (9), para el periodo abril/2002-abril/2005.

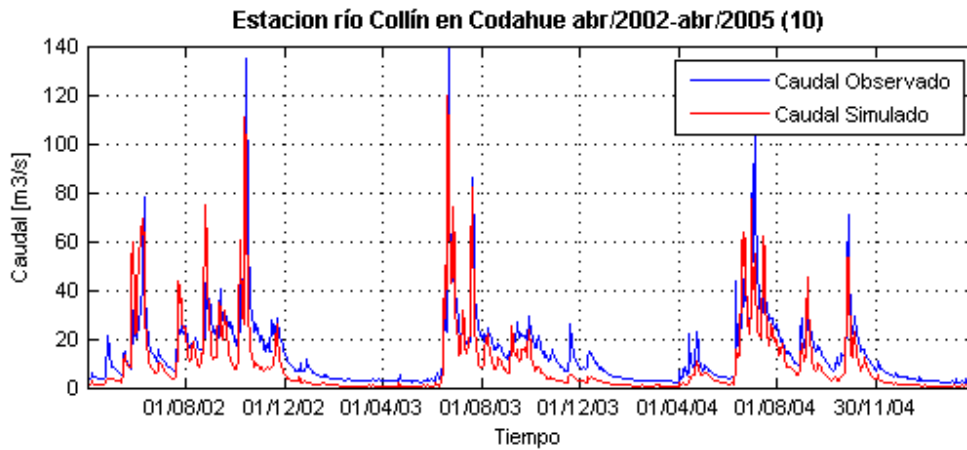


Figura C.70. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (10), para el periodo abril/2002-abril/2005.

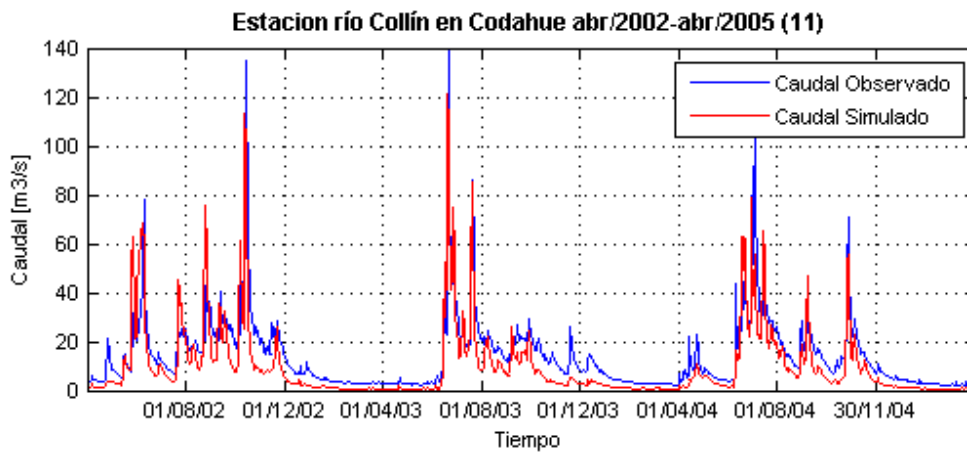


Figura C.71. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (11), para el periodo abril/2002-abril/2005.

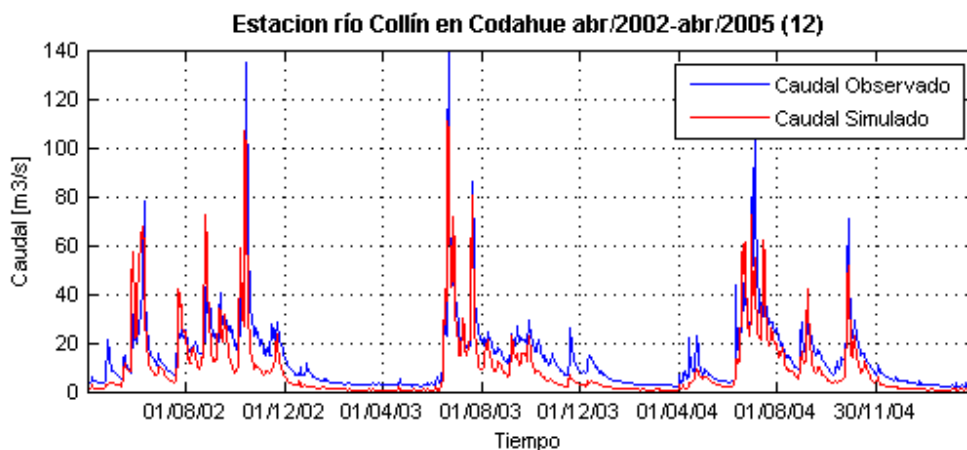


Figura C.72. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (12), para el periodo abril/2002-abril/2005.

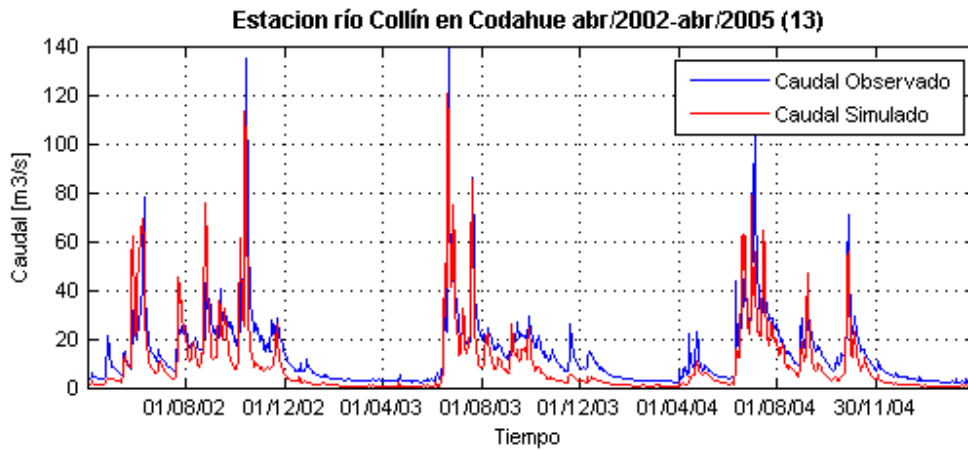


Figura C.73. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (13), para el periodo abril/2002-abril/2005.

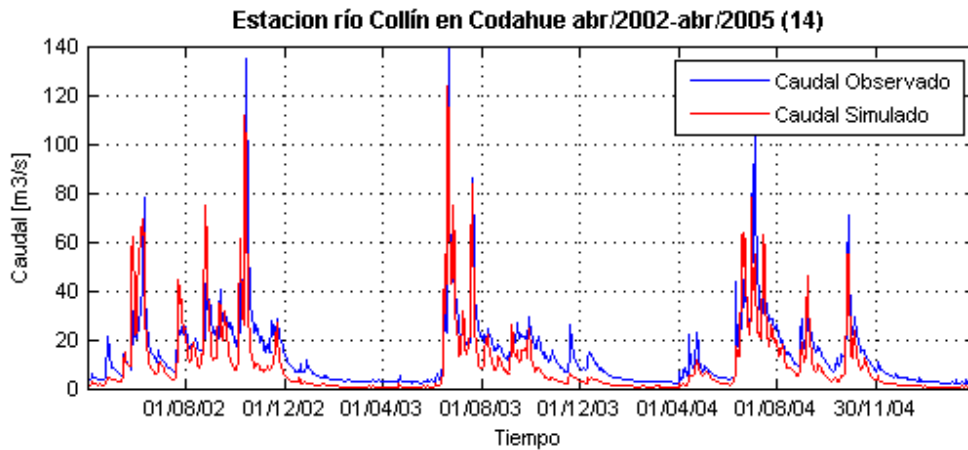


Figura C.74. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (14), para el periodo abril/2002-abril/2005.

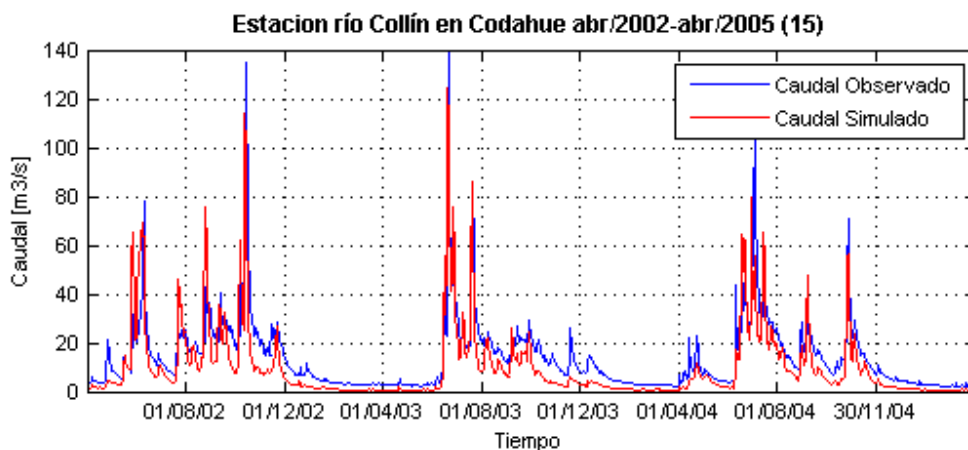


Figura C.75. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma asociado al escenario (15), para el periodo abril/2002-abril/2005.

## Anexo D: Gráficos caudal vs tiempo (mensual)

A continuación se presentaran los gráficos caudal a nivel mensual vs tiempo, generados a partir de los 15 escenarios con parámetros no distribuidos, evaluados para las cinco estaciones fluviométricas.

### D.1. Gráficos caudal (mensual) vs tiempo en estación Río Cautín en Cajón

Desde la Figura D.1 hasta la Figura D.15 se presentan los gráficos caudal (mensual) vs tiempo, asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

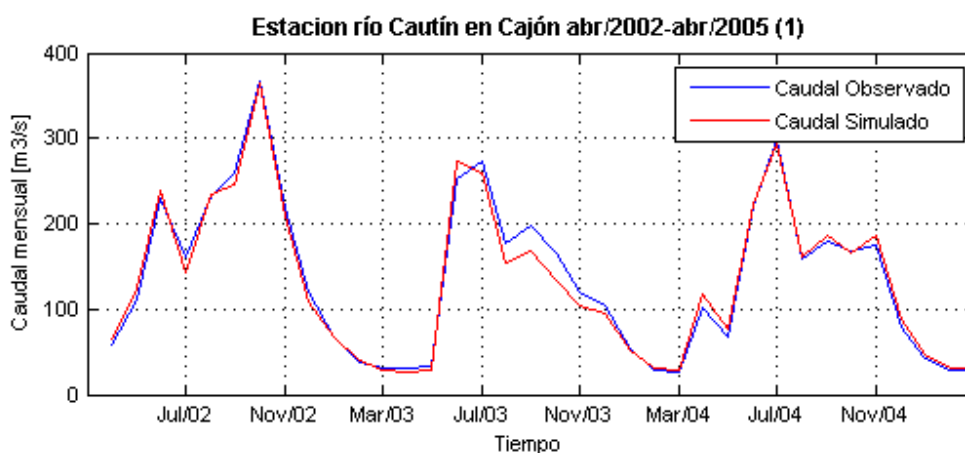


Figura D.1. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (1), para el periodo abril/2002-abril/2005.

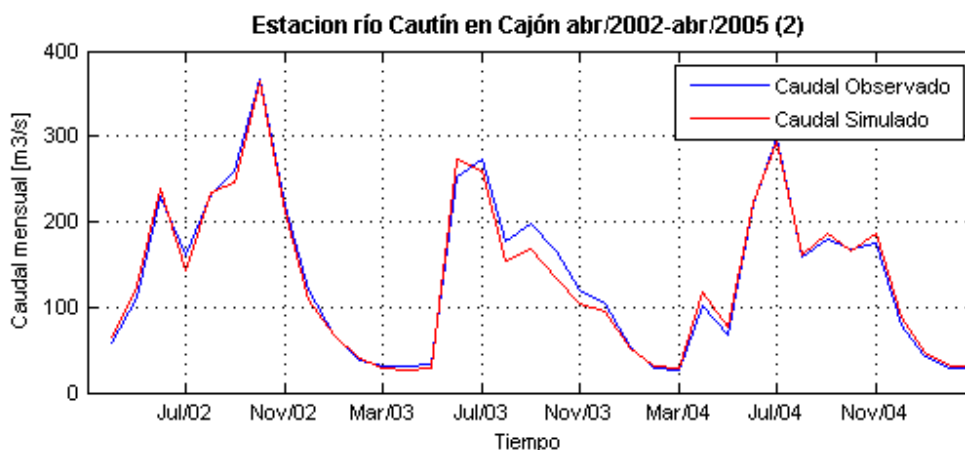


Figura D.2. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (2), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

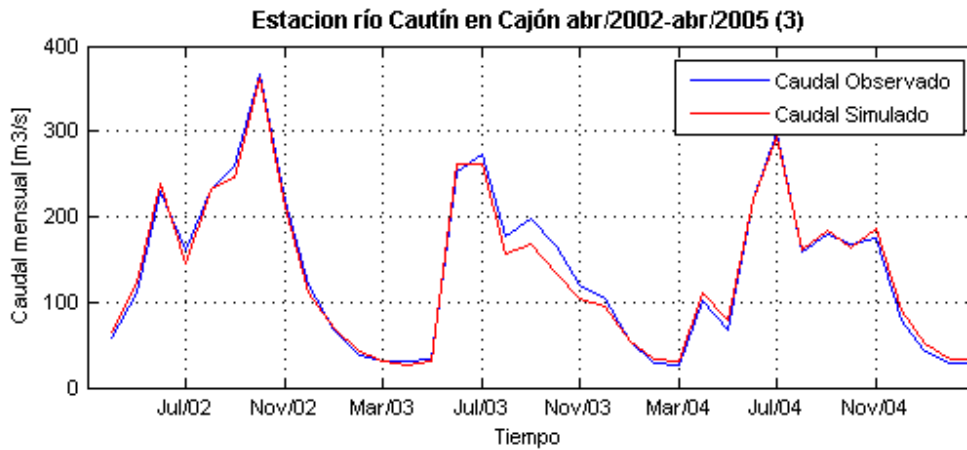


Figura D.3. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (3), para el periodo abril/2002-abril/2005.

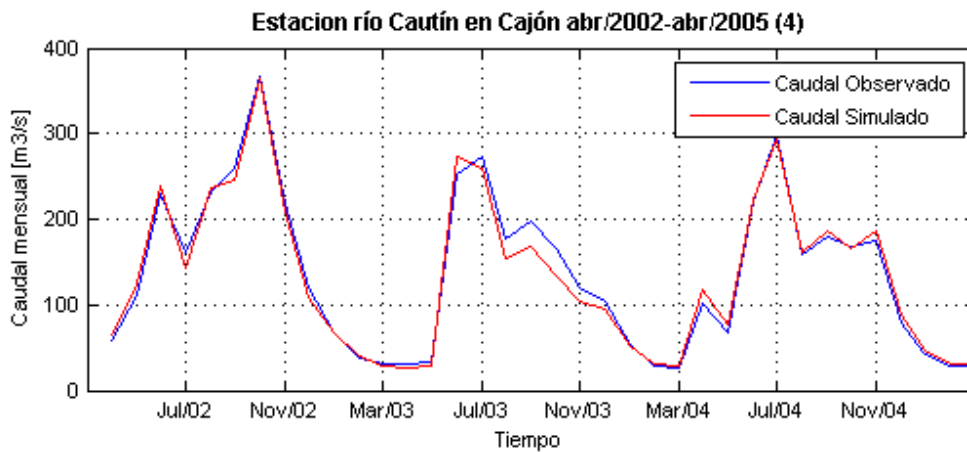


Figura D.4. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (4), para el periodo abril/2002-abril/2005.

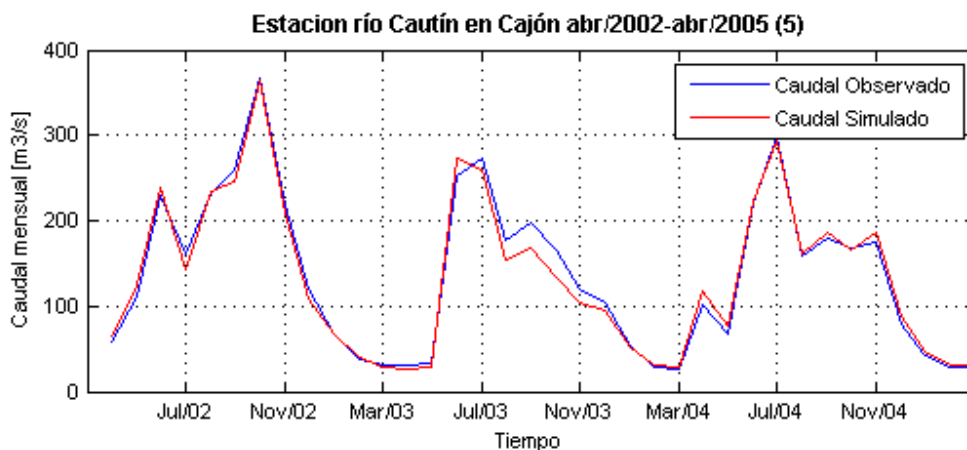


Figura D.5. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (5), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

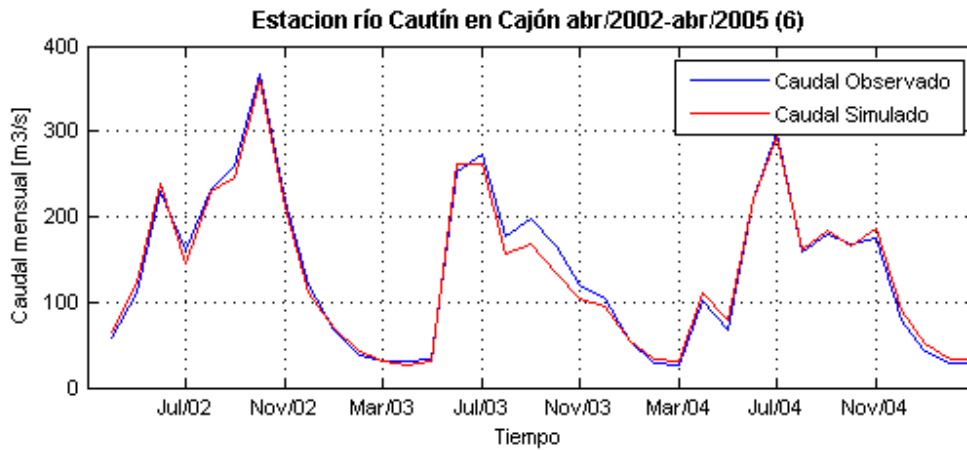


Figura D.6. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (6), para el periodo abril/2002-abril/2005.

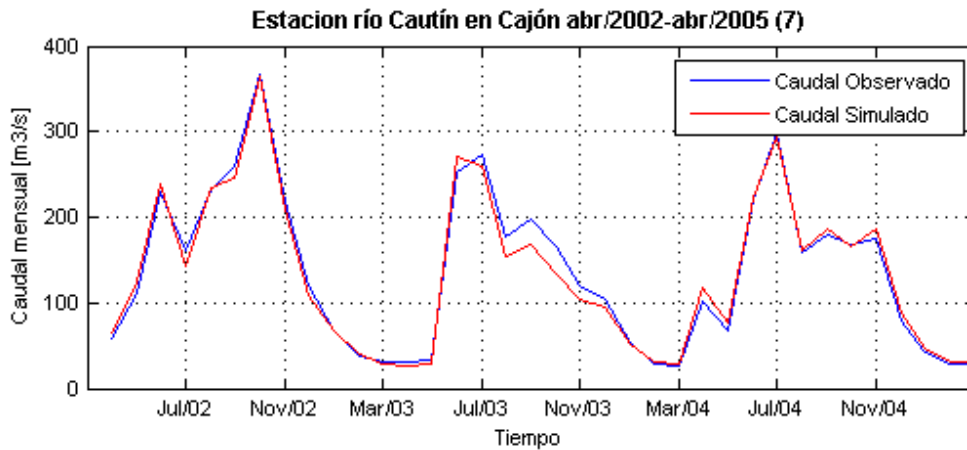


Figura D.7. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (7), para el periodo abril/2002-abril/2005.

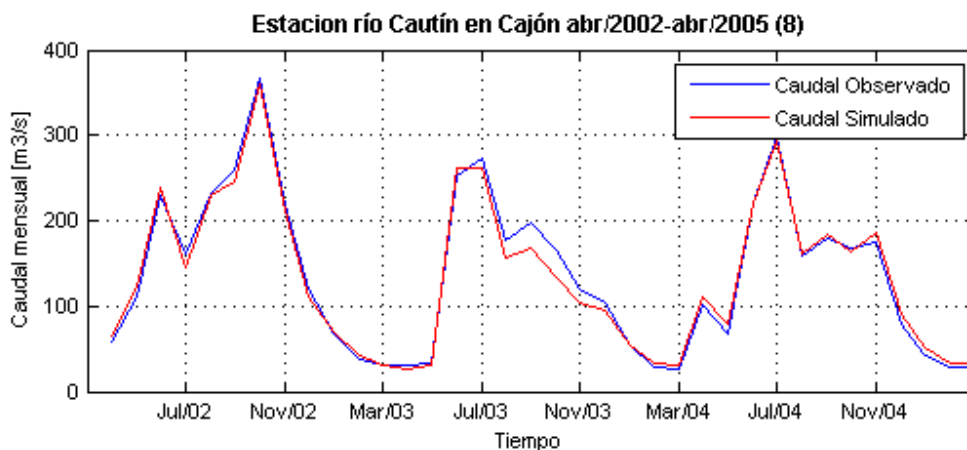


Figura D.8. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (8), para el periodo abril/2002-abril/2005.



ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

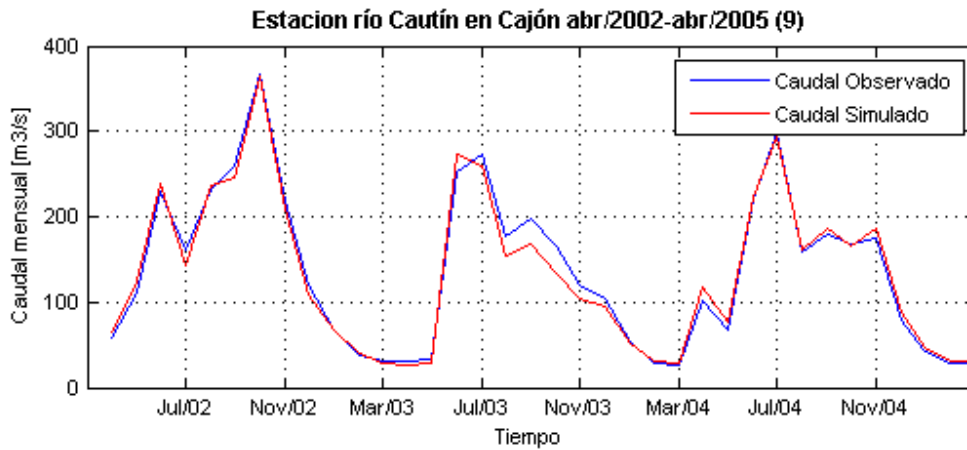


Figura D.9. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (9), para el periodo abril/2002-abril/2005.

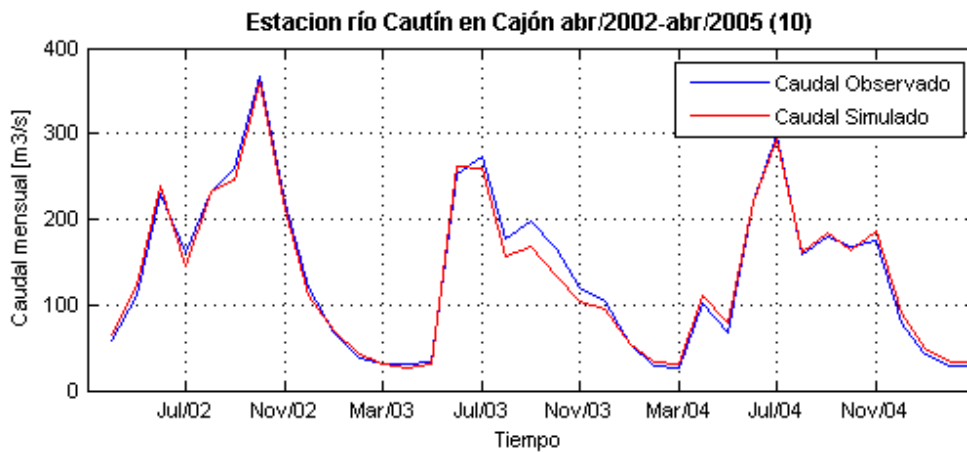


Figura D.10. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (10), para el periodo abril/2002-abril/2005.

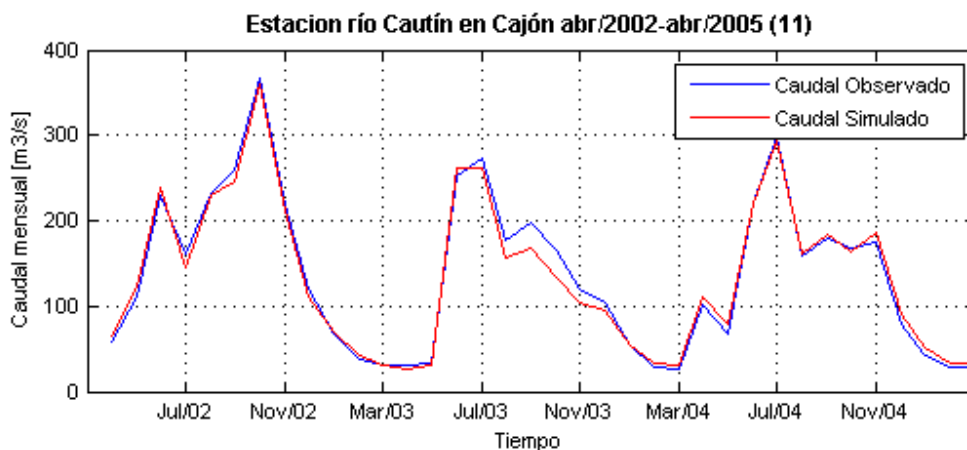


Figura D.11. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (11), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

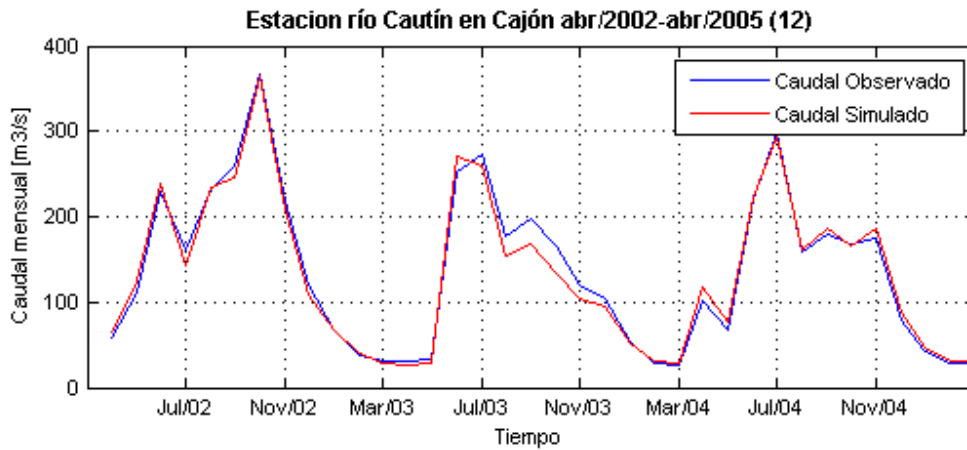


Figura D.12. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (12), para el periodo abril/2002-abril/2005.

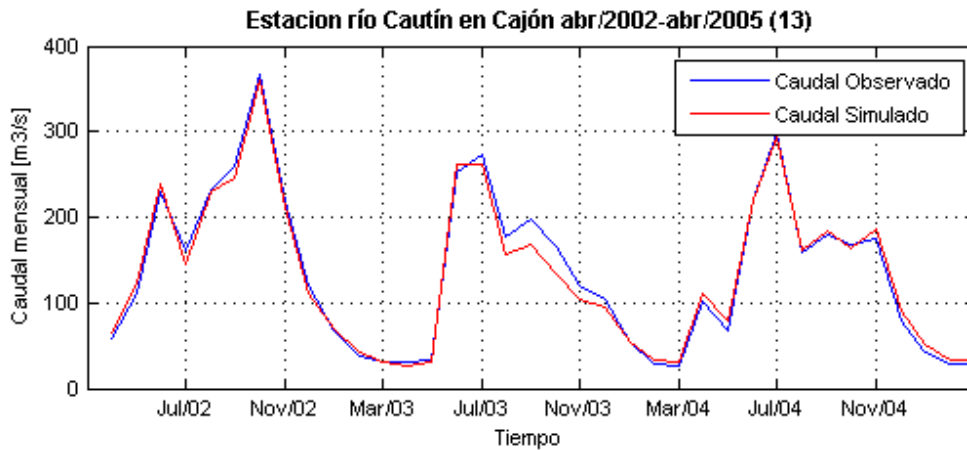


Figura D.13. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (13), para el periodo abril/2002-abril/2005.

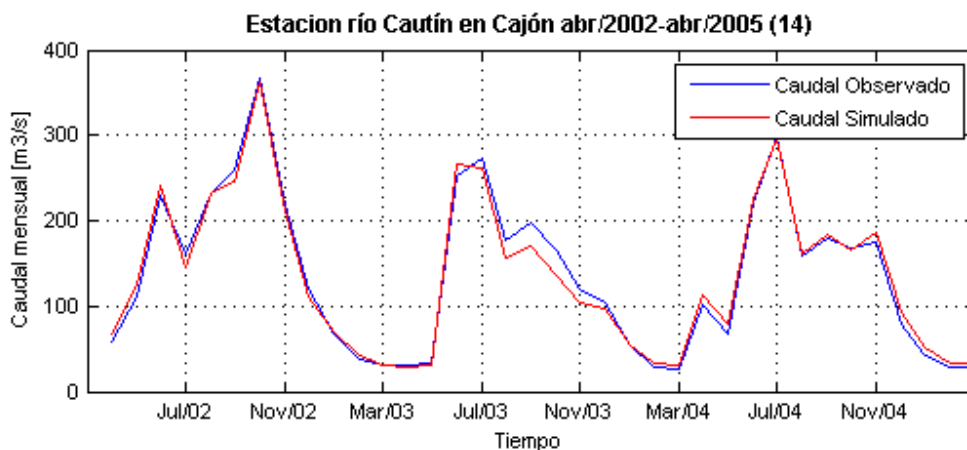


Figura D.14. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (14), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

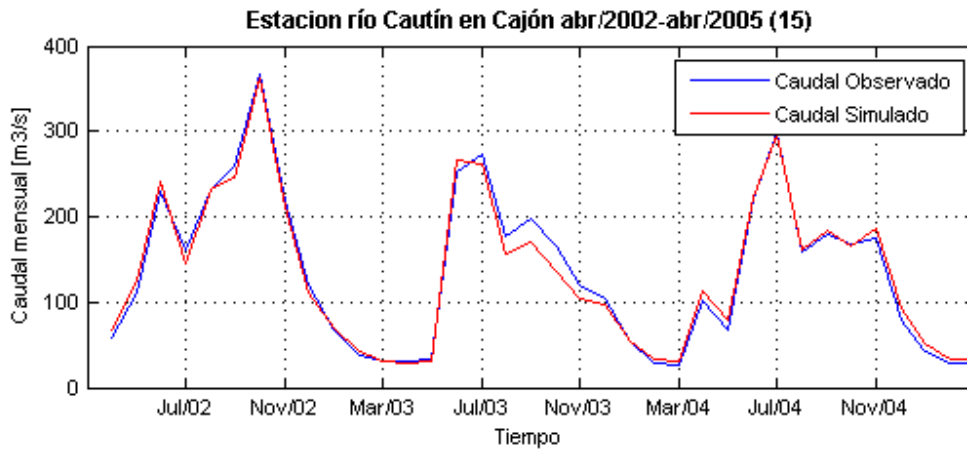


Figura D.15. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Cajón. Hidrograma mensual asociado al escenario (15), para el periodo abril/2002-abril/2005.

**D.2. Gráficos caudal (mensual) vs tiempo en estación Río Cautín en Rariruca**

Desde la Figura D.16 hasta la Figura D.30 se presentan los gráficos caudal (mensual) vs tiempo, asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

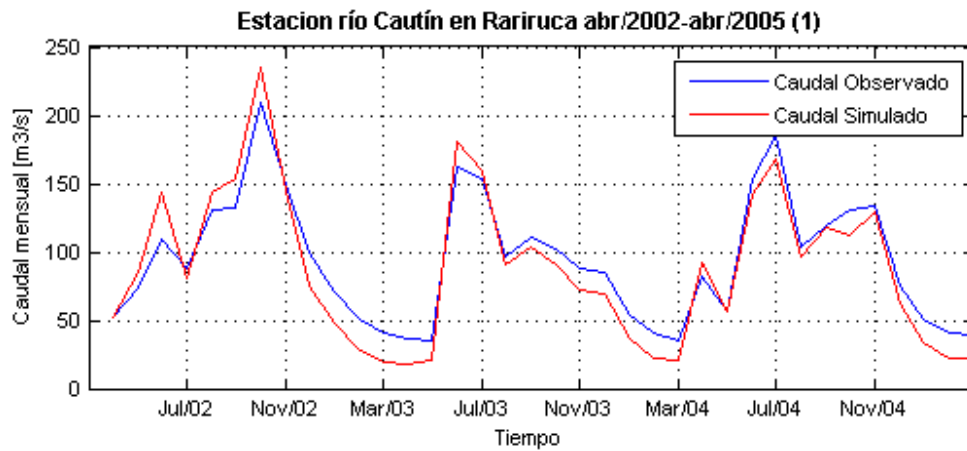


Figura D.16. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (1), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

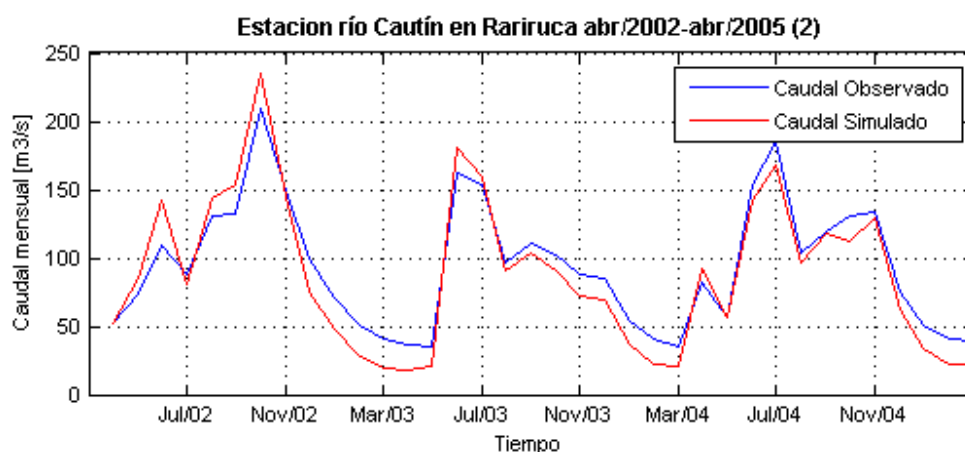


Figura D.17. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (2), para el periodo abril/2002-abril/2005.

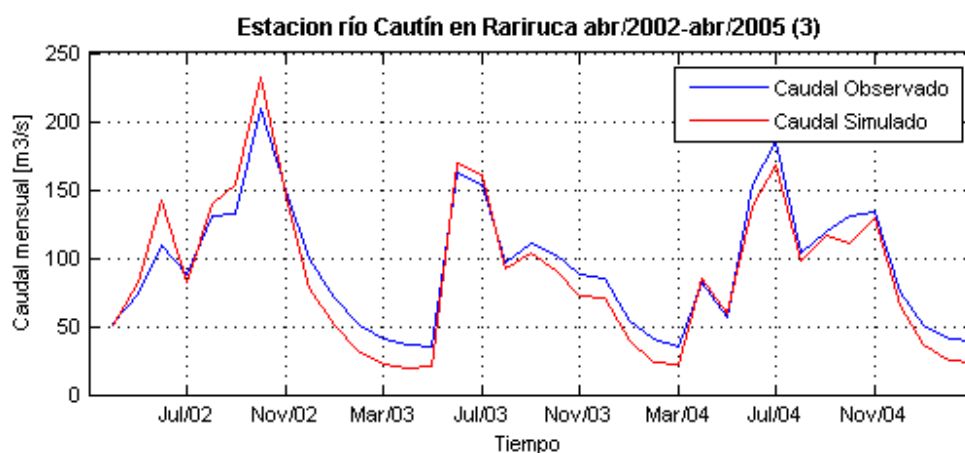


Figura D.18. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (3), para el periodo abril/2002-abril/2005.

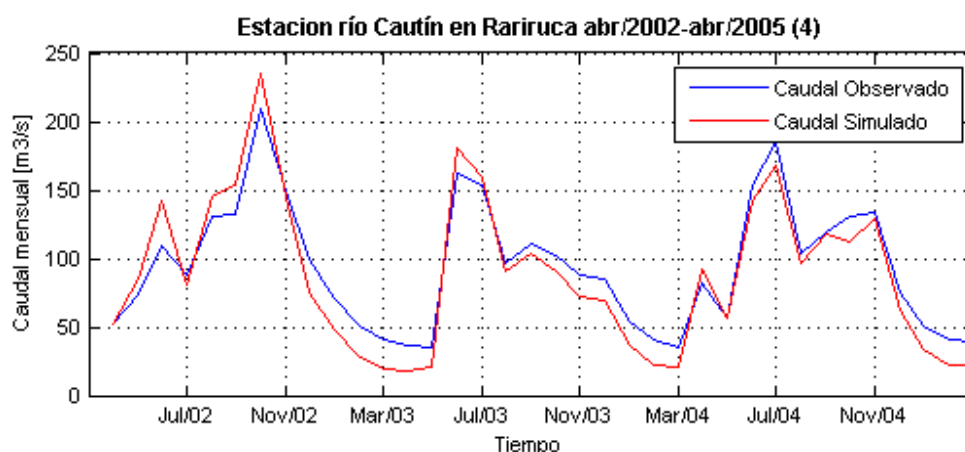


Figura D.19. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (4), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

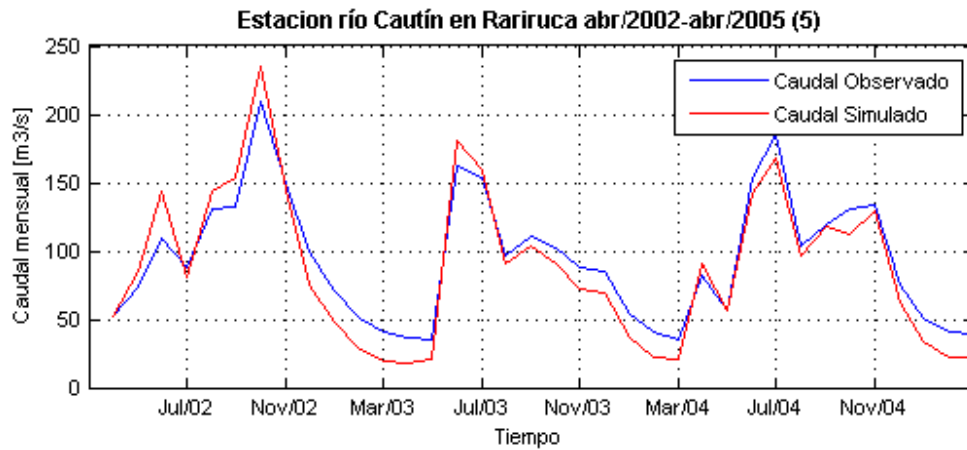


Figura D.20. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (5), para el periodo abril/2002-abril/2005.

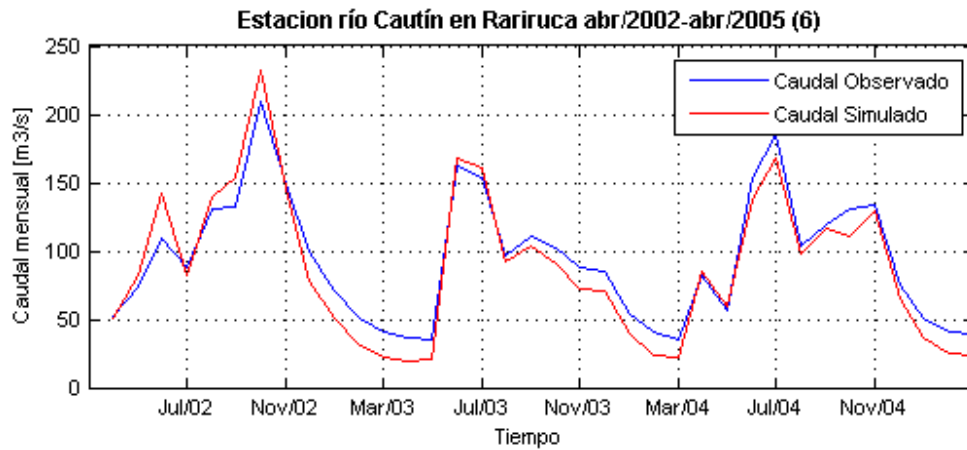


Figura D.21. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (6), para el periodo abril/2002-abril/2005.

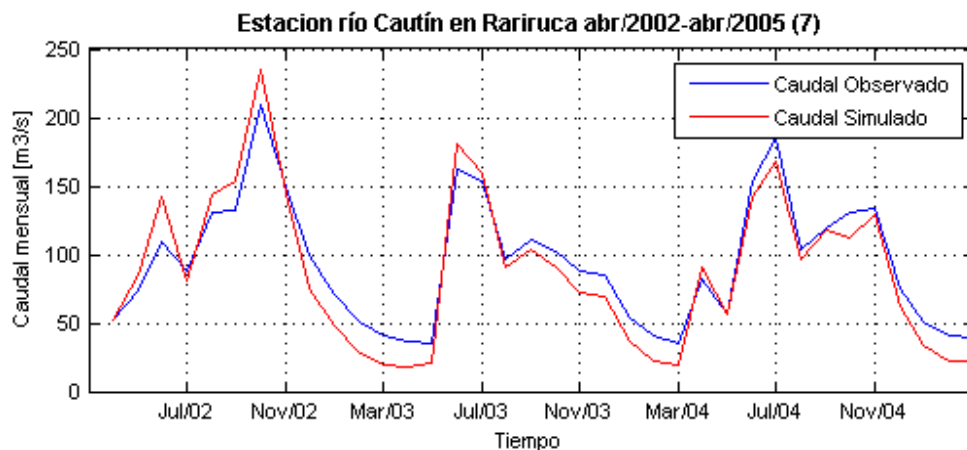


Figura D.22. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (7), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

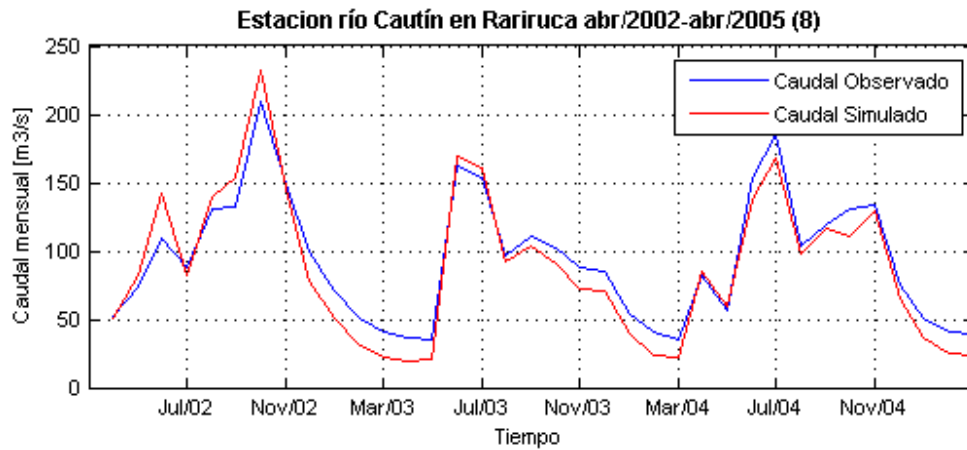


Figura D.23. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (8), para el periodo abril/2002-abril/2005.

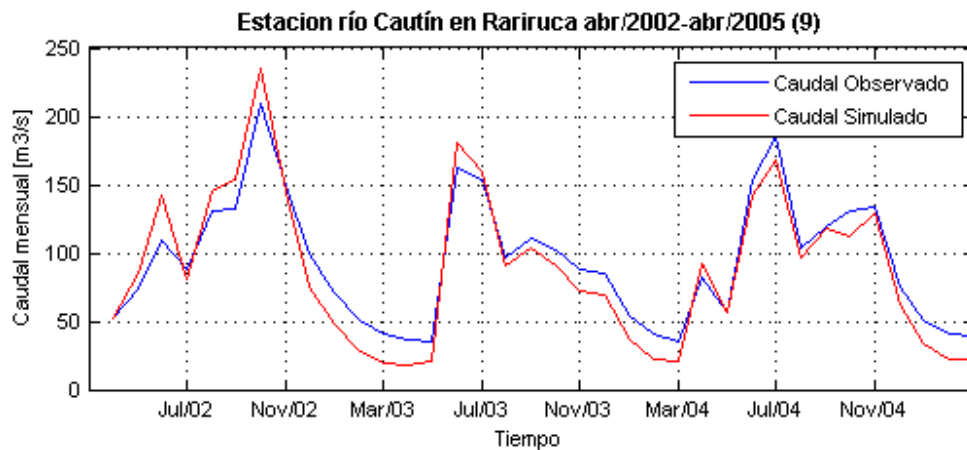


Figura D.24. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (9), para el periodo abril/2002-abril/2005.

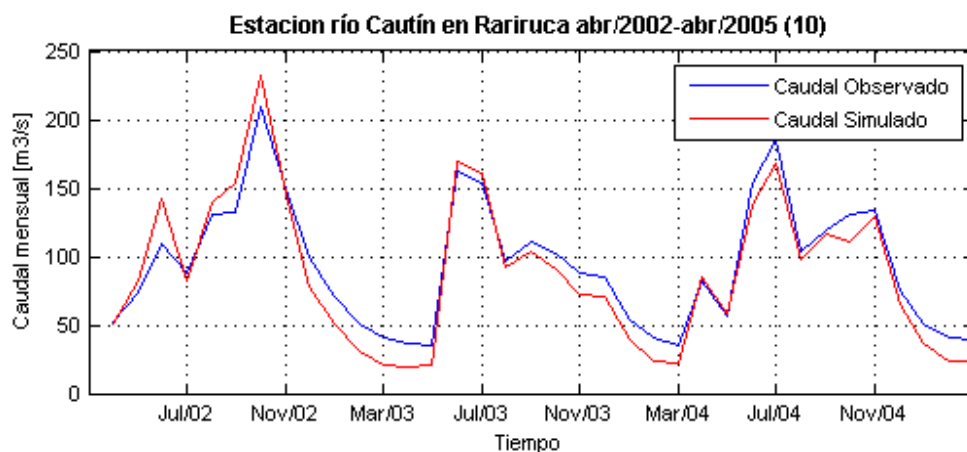


Figura D.25. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (10), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

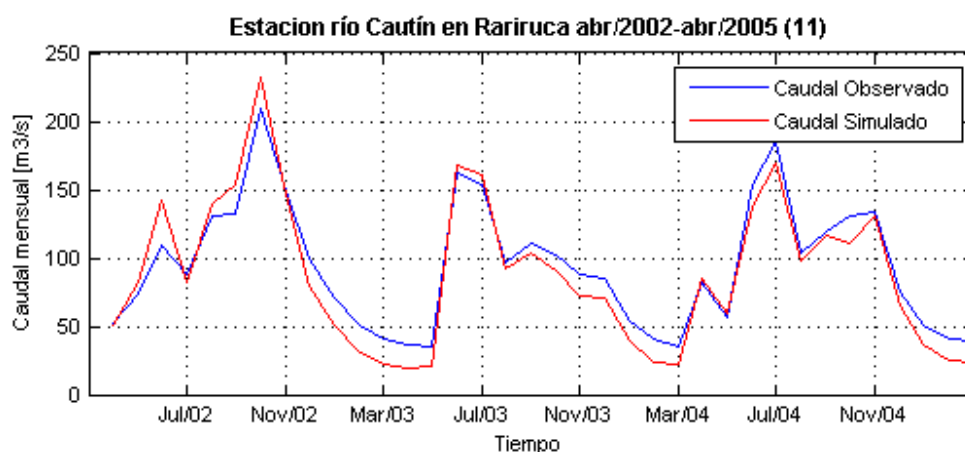


Figura D.26. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (11), para el periodo abril/2002-abril/2005.

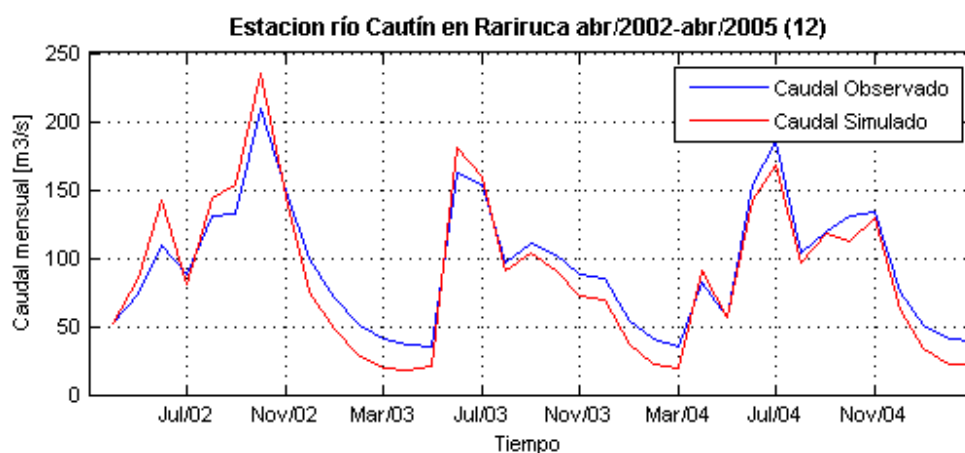


Figura D.27. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (12), para el periodo abril/2002-abril/2005.

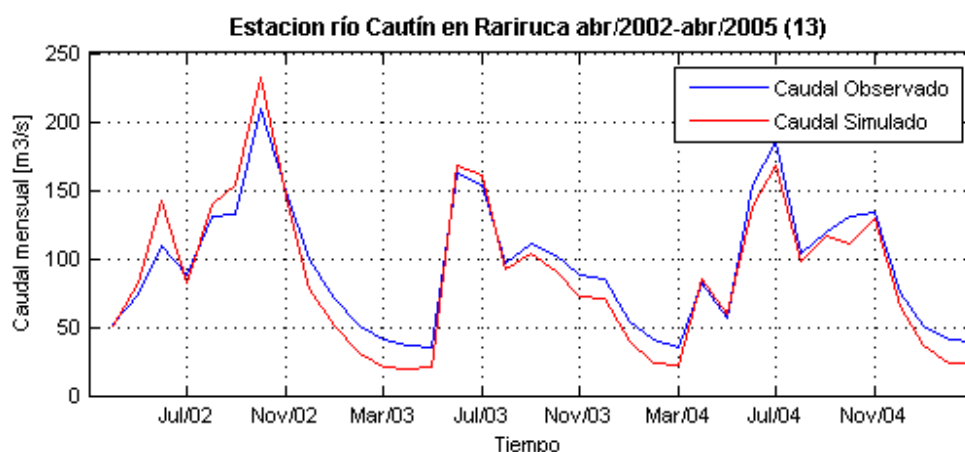


Figura D.28. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (13), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

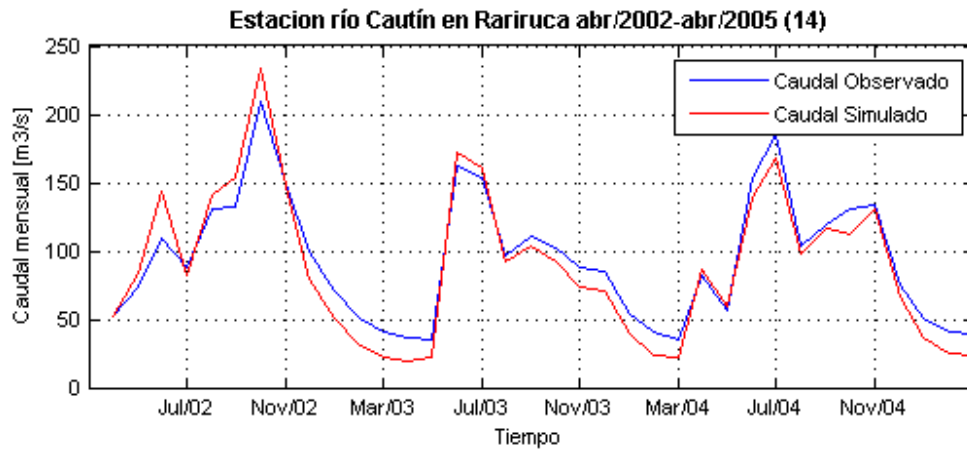


Figura D.29. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (14), para el periodo abril/2002-abril/2005.

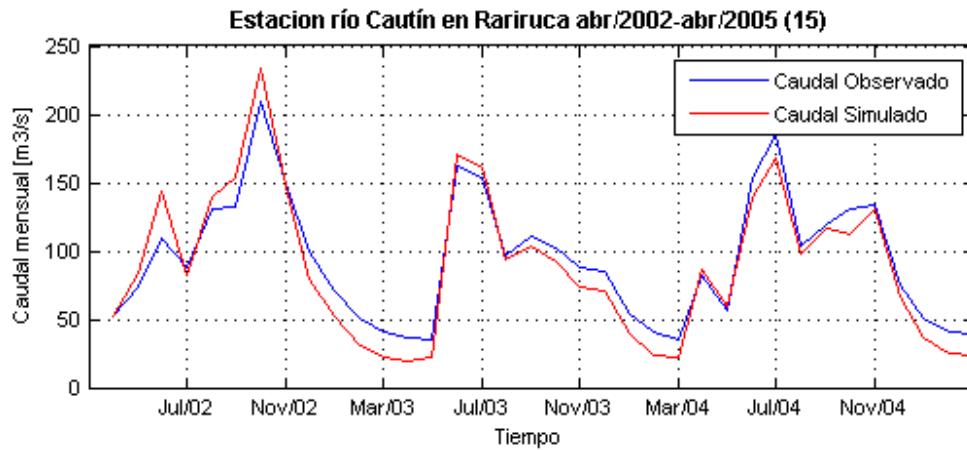


Figura D.30. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Cautín en Rariruca. Hidrograma mensual asociado al escenario (15), para el periodo abril/2002-abril/2005.

**D.3. Gráficos caudal (mensual) vs tiempo en estación Río Blanco en Curacautín**

Desde la Figura D.31 hasta la Figura D.45 se presentan los gráficos caudal (mensual) vs tiempo, asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.



ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

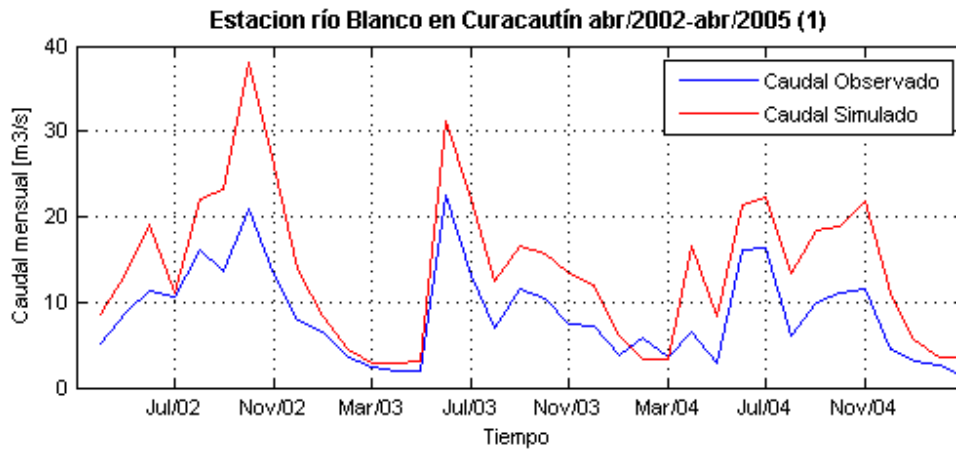


Figura D.31. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (1), para el periodo abril/2002-abril/2005.

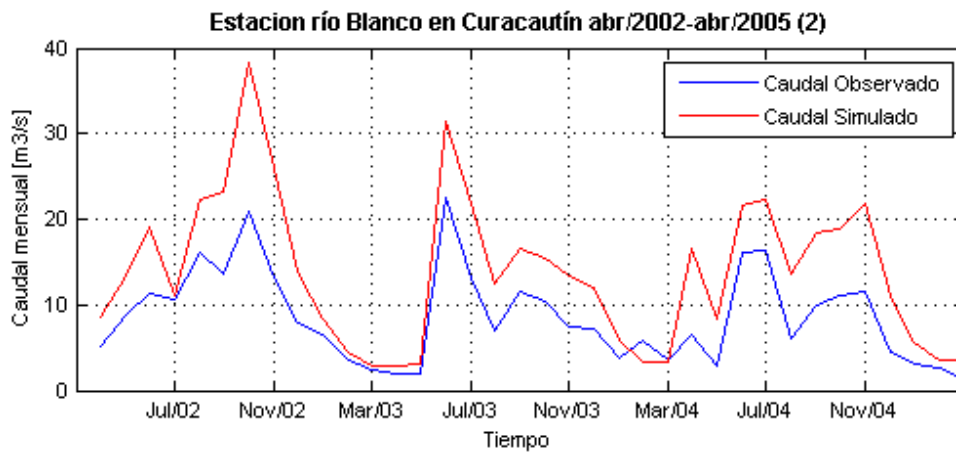


Figura D.32. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (2), para el periodo abril/2002-abril/2005.

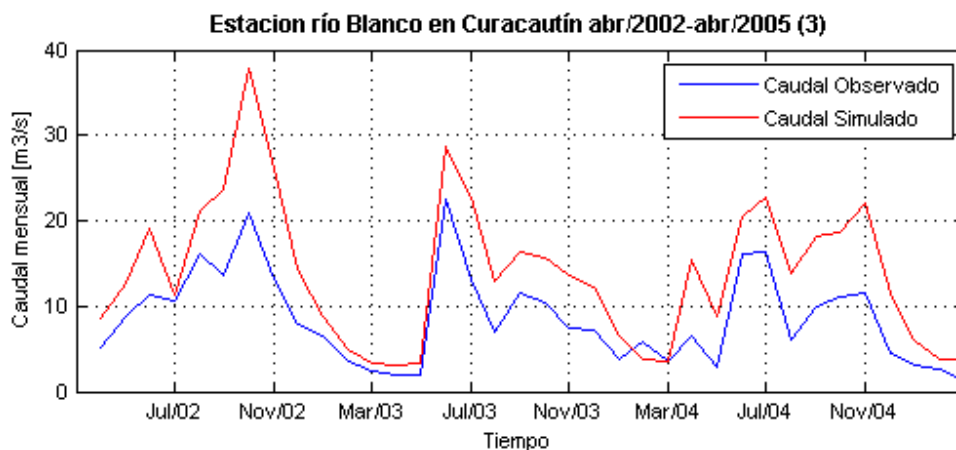


Figura D.33. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (3), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

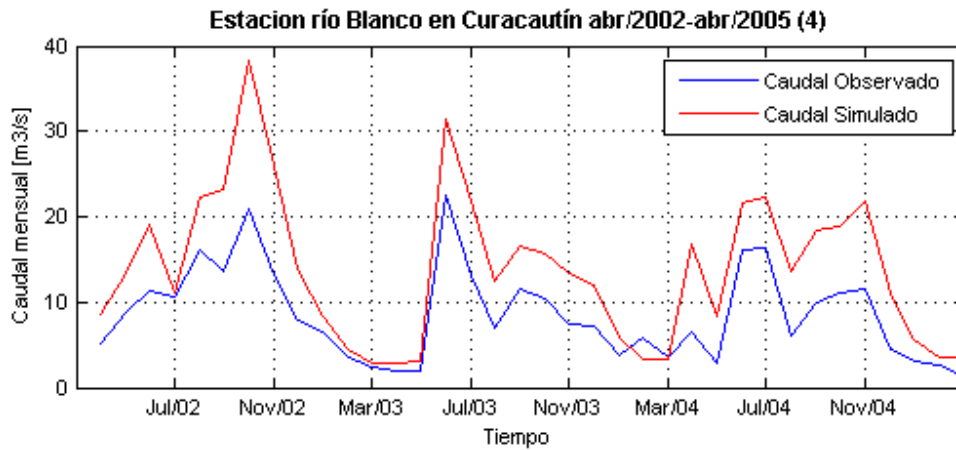


Figura D.34. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (4), para el periodo abril/2002-abril/2005.

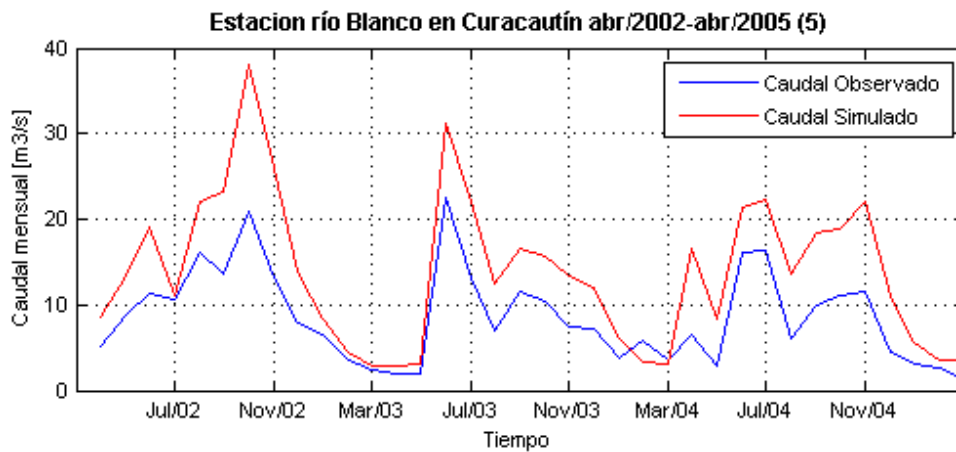


Figura D.35. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (5), para el periodo abril/2002-abril/2005.

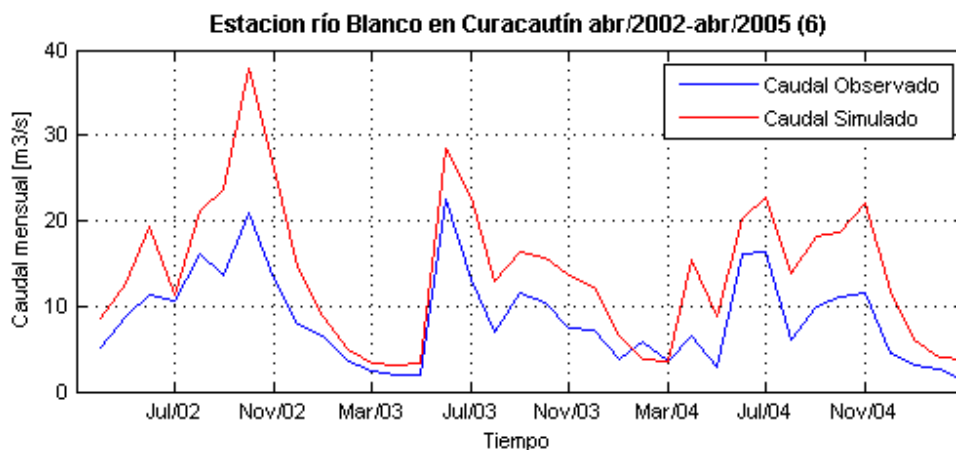


Figura D.36. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (6), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

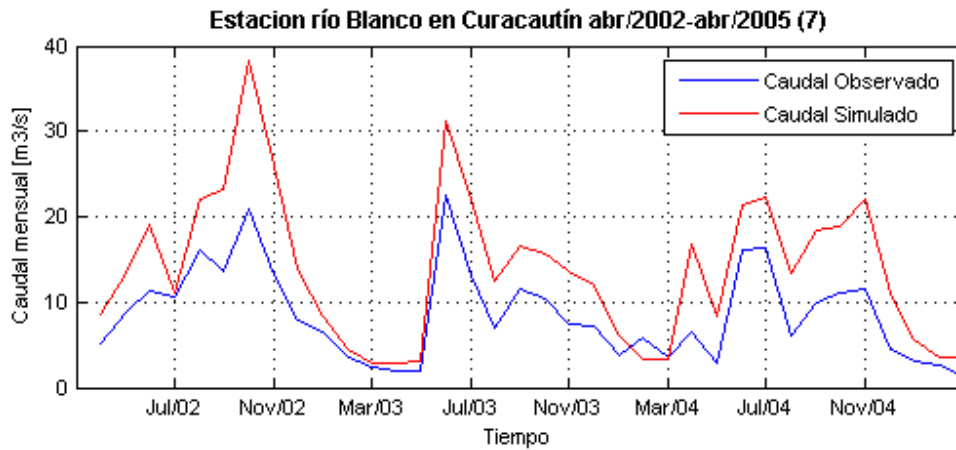


Figura D.37. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (7), para el periodo abril/2002-abril/2005.

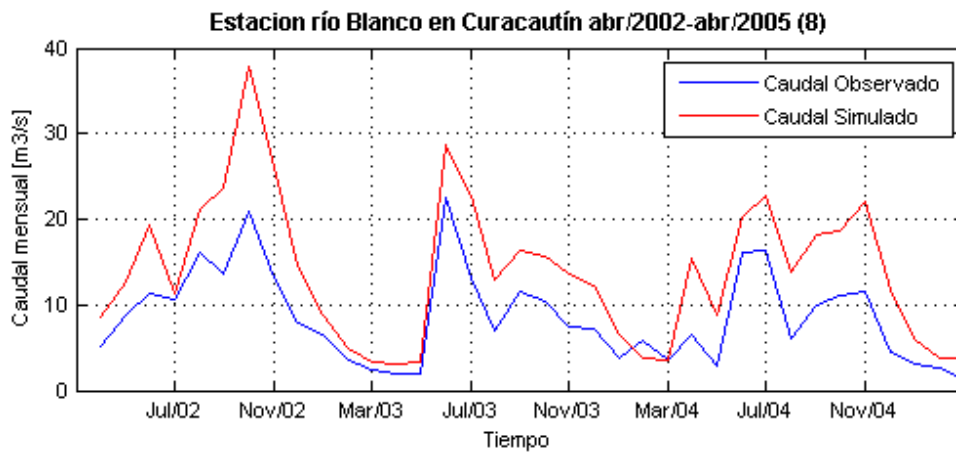


Figura D.38. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (8), para el periodo abril/2002-abril/2005.

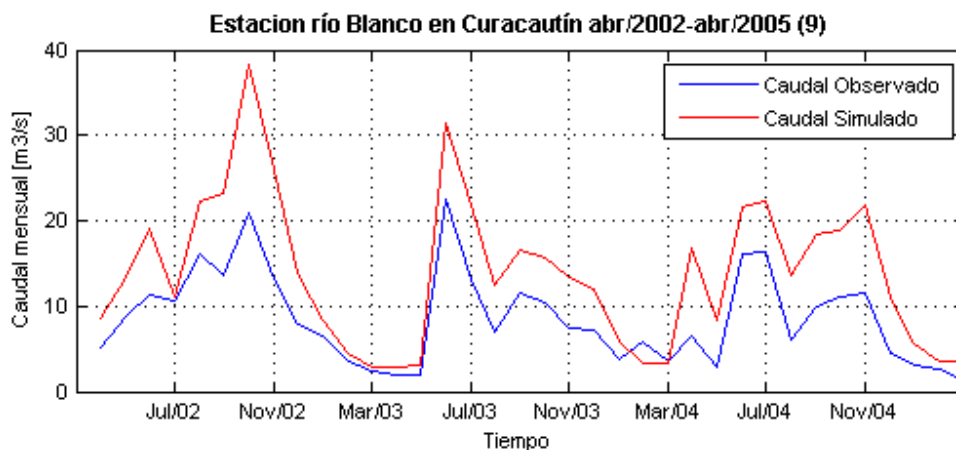


Figura D.39. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (9), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

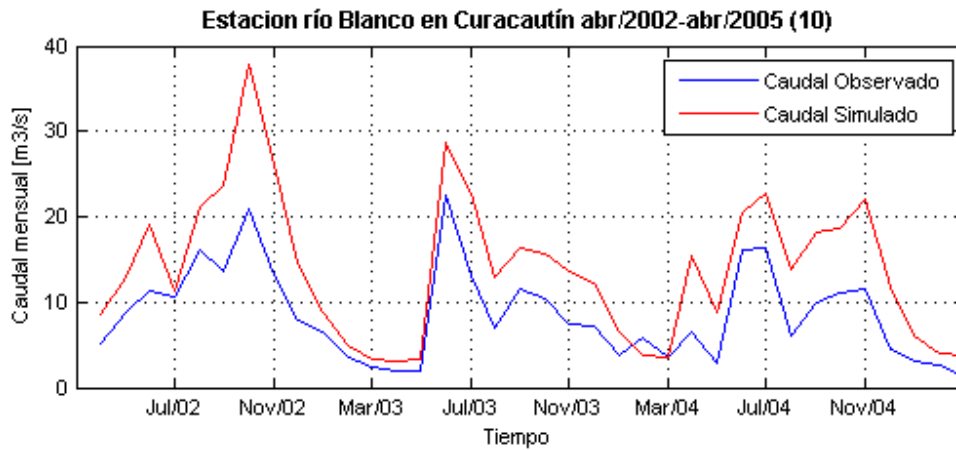


Figura D.40. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (10), para el periodo abril/2002-abril/2005.

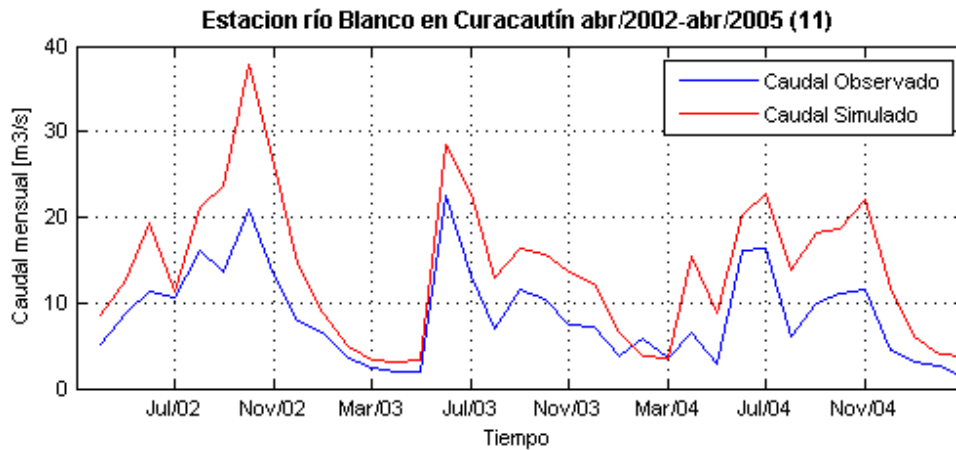


Figura D.41. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (11), para el periodo abril/2002-abril/2005.

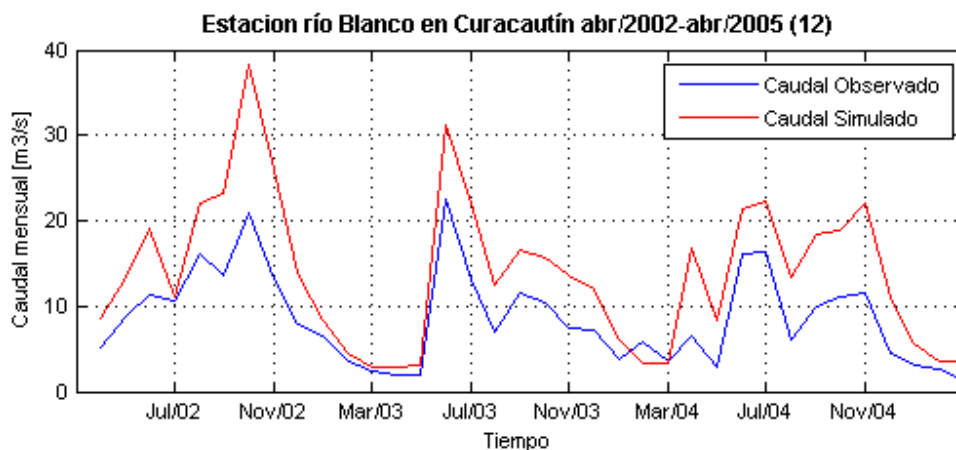


Figura D.42. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (12), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

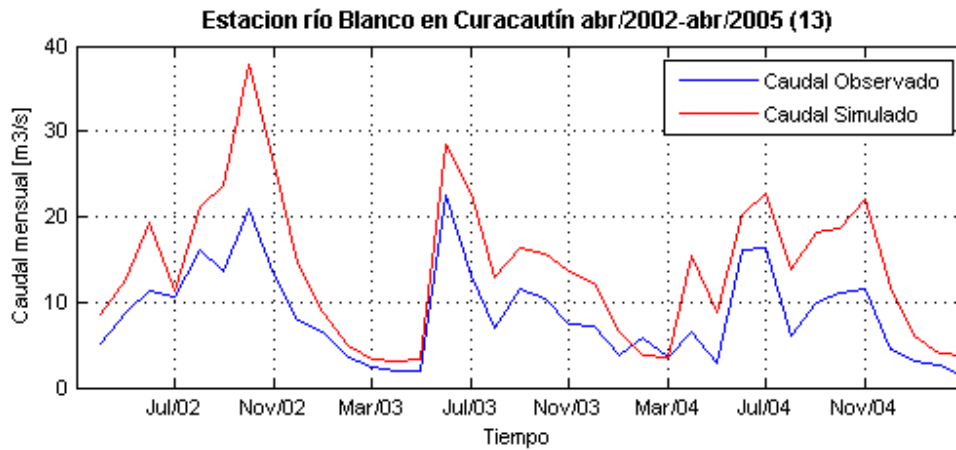


Figura D.43. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (13), para el periodo abril/2002-abril/2005.

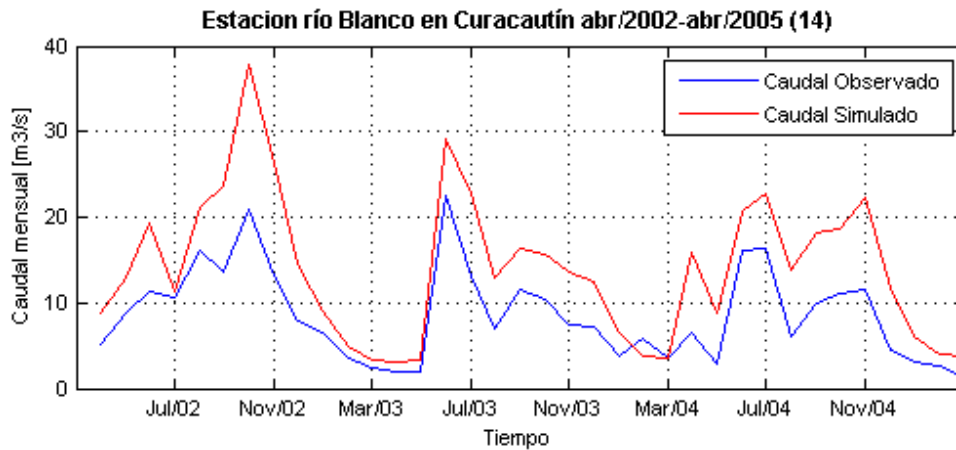


Figura D.44. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (14), para el periodo abril/2002-abril/2005.

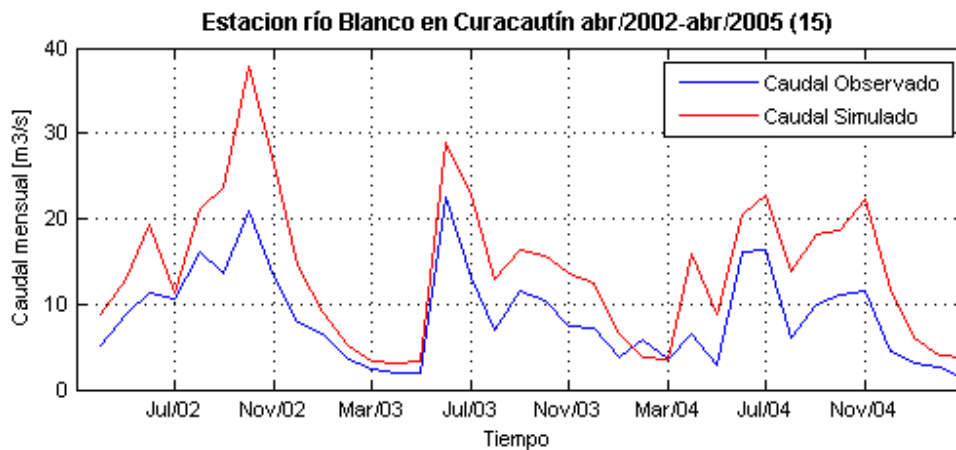


Figura D.45. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Blanco en Curacautín. Hidrograma mensual asociado al escenario (15), para el periodo abril/2002-abril/2005.

#### D.4. Gráficos caudal (mensual) vs tiempo en estación Río Muco en puente Muco

Desde la Figura D.46 hasta la Figura D.60 se presentan los gráficos caudal (mensual) vs tiempo, asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

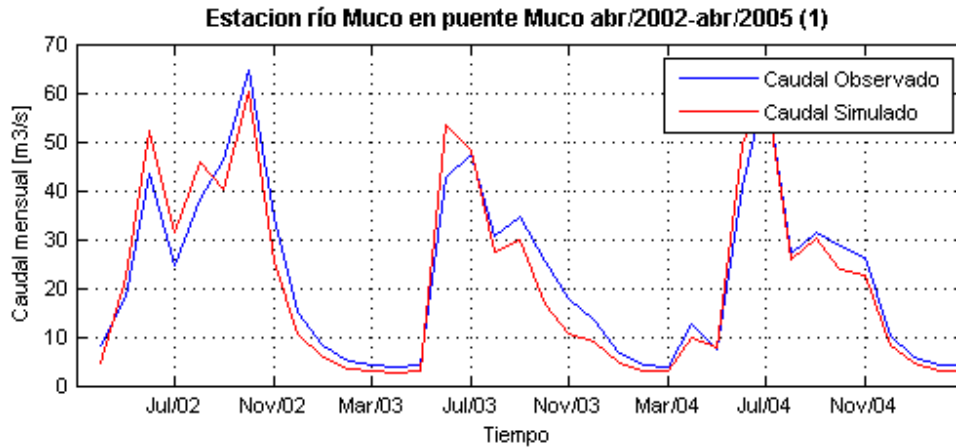


Figura D.46. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (1), para el periodo abril/2002-abril/2005.

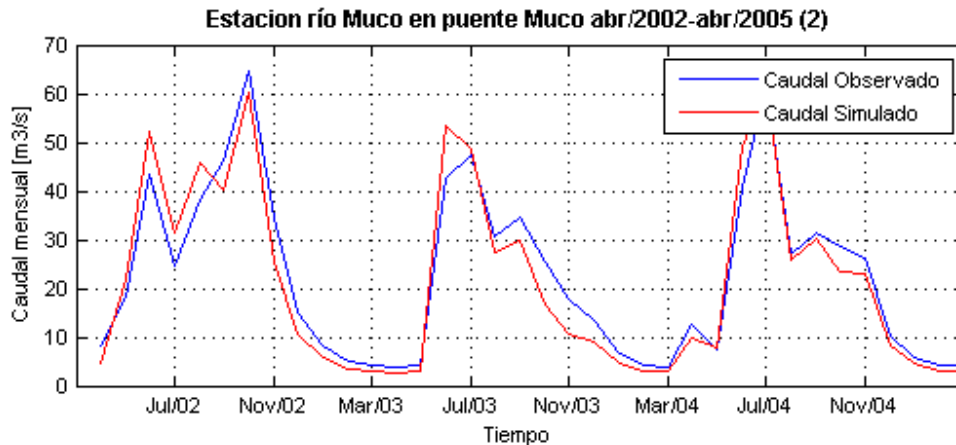


Figura D.47. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (2), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

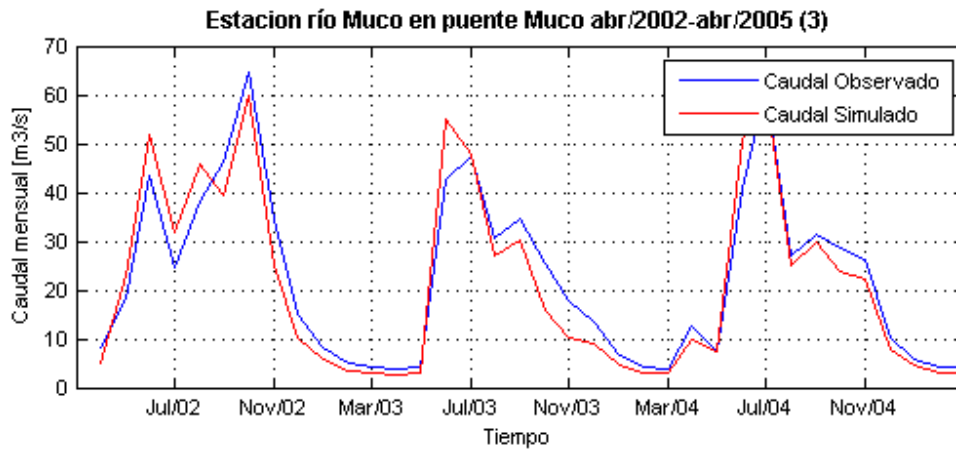


Figura D.48. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (3), para el periodo abril/2002-abril/2005.

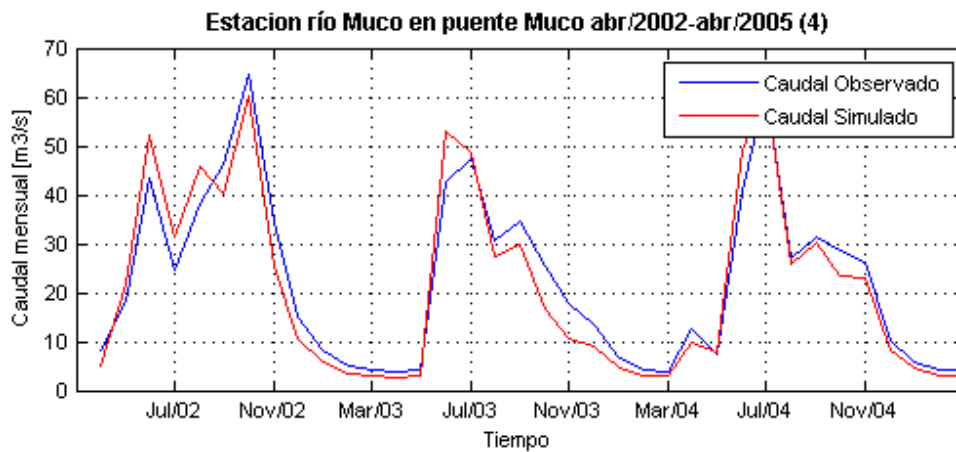


Figura D.49. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (4), para el periodo abril/2002-abril/2005.

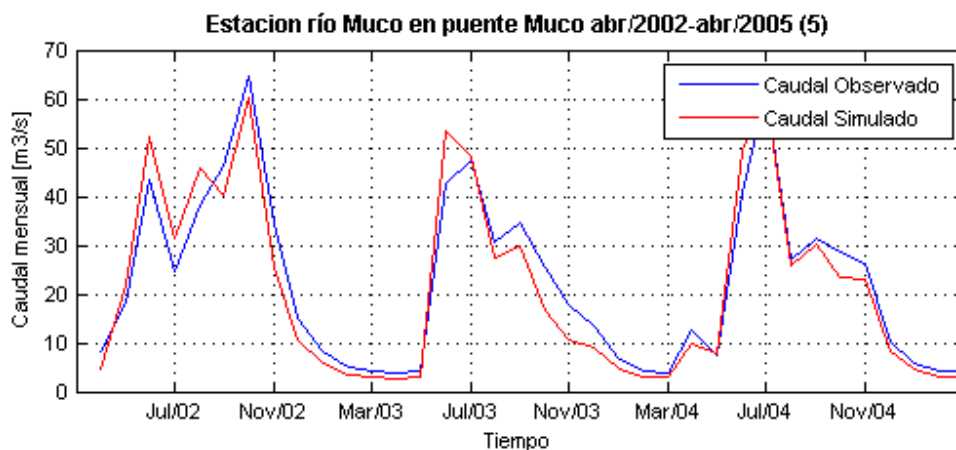


Figura D.50. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (5), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

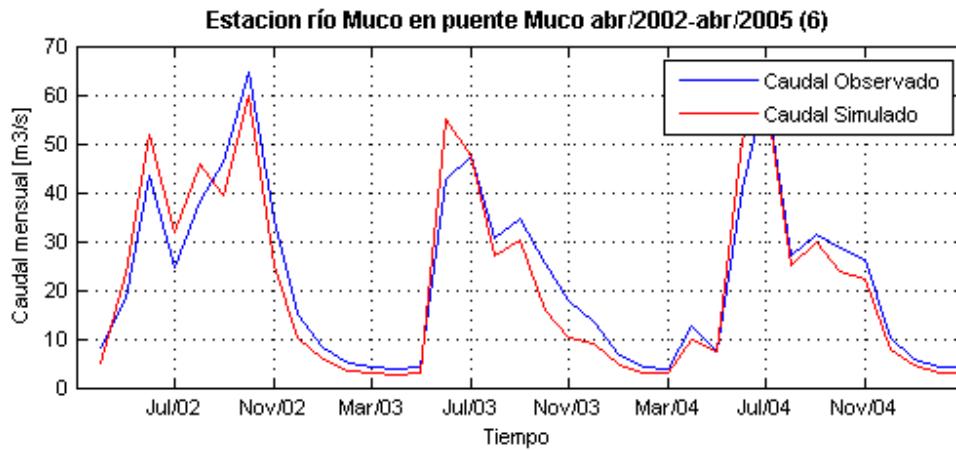


Figura D.51. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (6), para el periodo abril/2002-abril/2005.

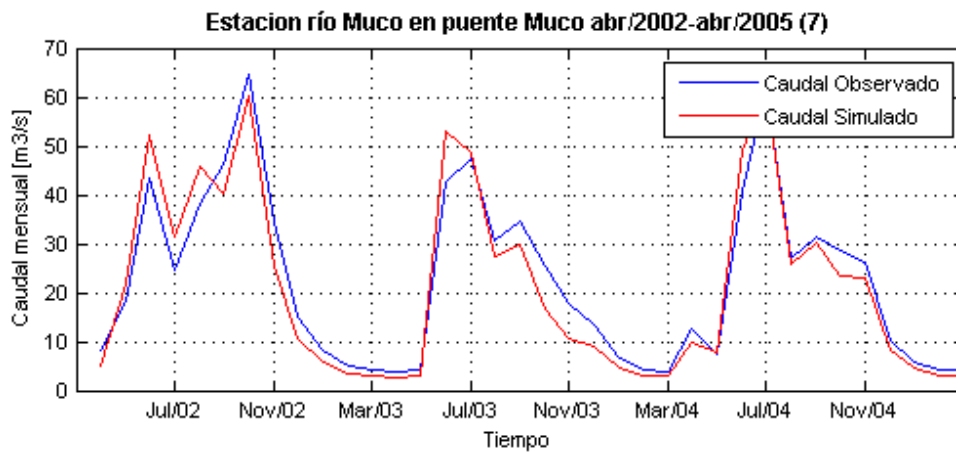


Figura D.52. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (7), para el periodo abril/2002-abril/2005.

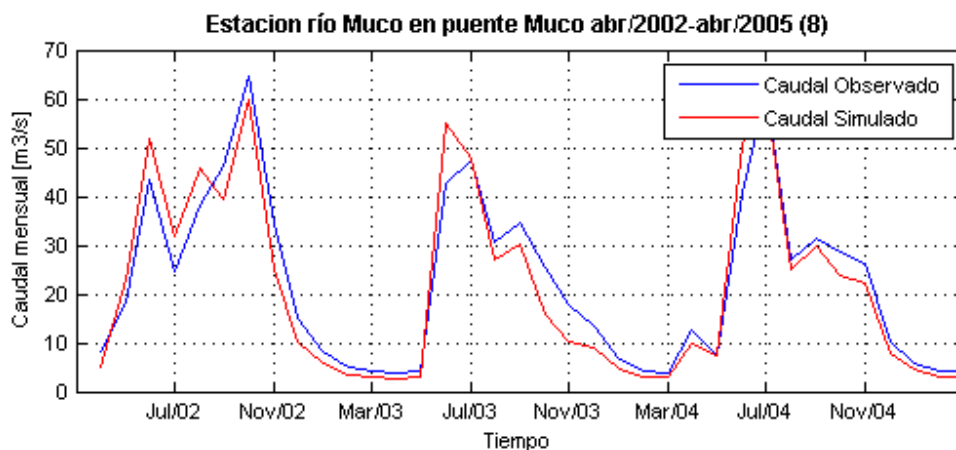


Figura D.53. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (8), para el periodo abril/2002-abril/2005.



ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

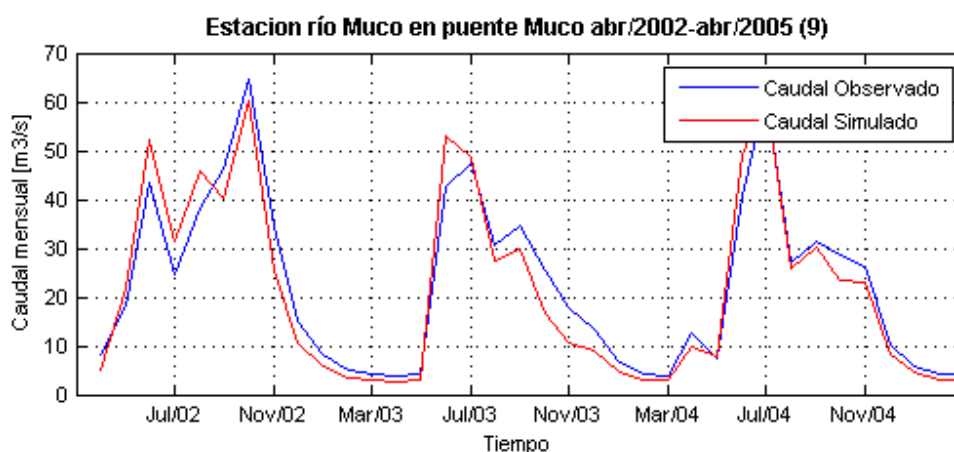


Figura D.54. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (9), para el periodo abril/2002-abril/2005.

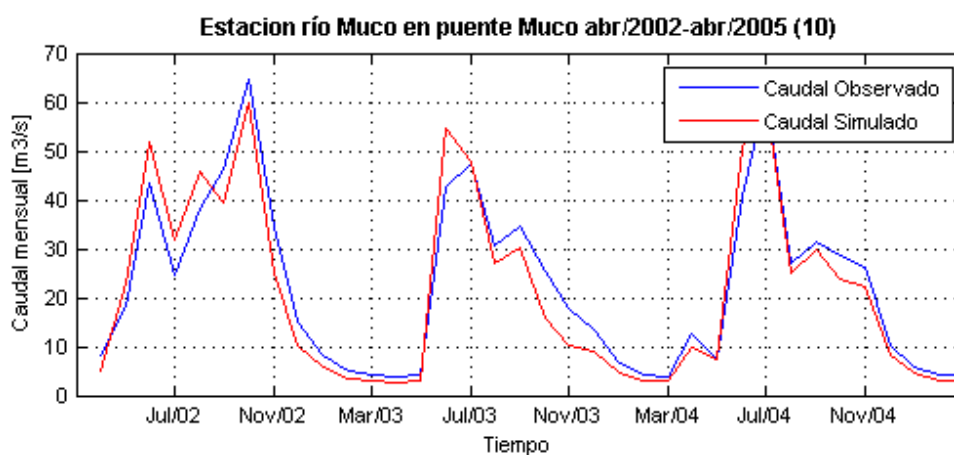


Figura D.55. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (10), para el periodo abril/2002-abril/2005.

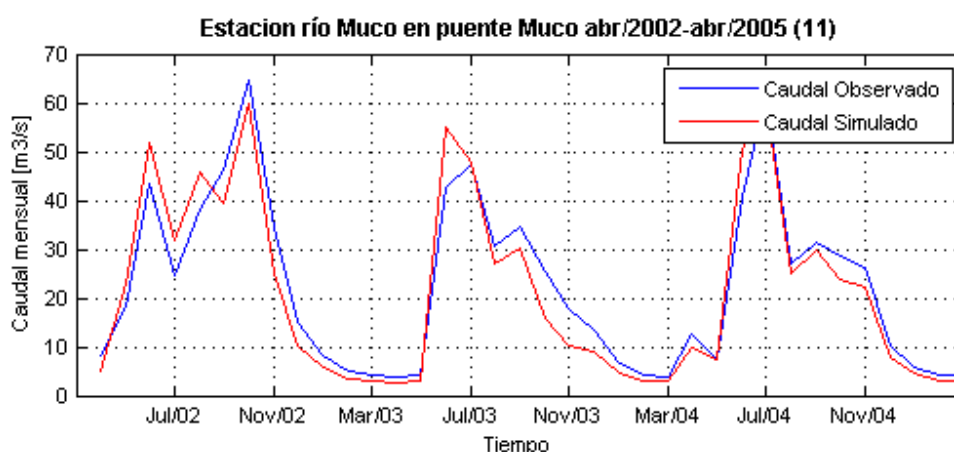


Figura D.56. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (11), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

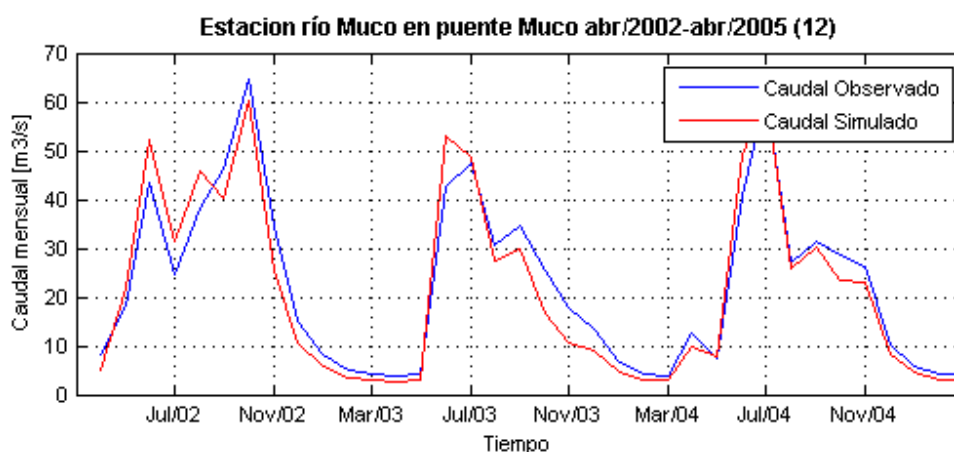


Figura D.57. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (12), para el periodo abril/2002-abril/2005.

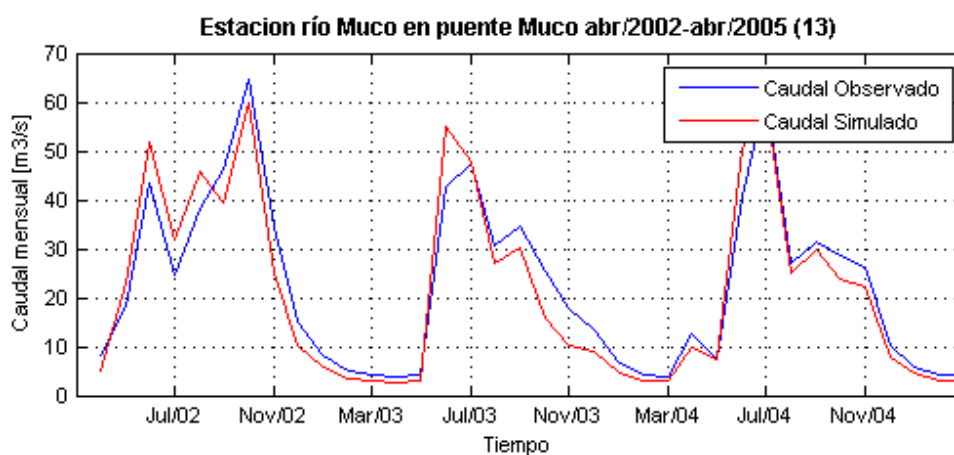


Figura D.58. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (13), para el periodo abril/2002-abril/2005.

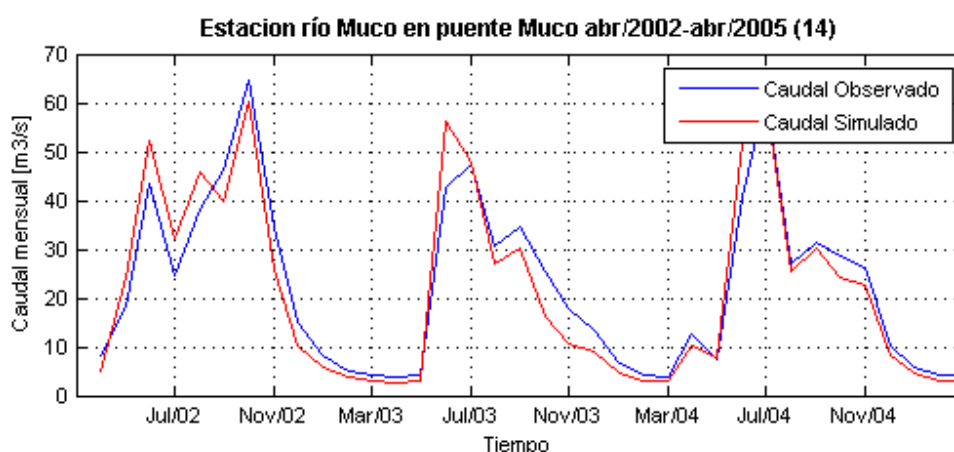


Figura D.59. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (14), para el periodo abril/2002-abril/2005.

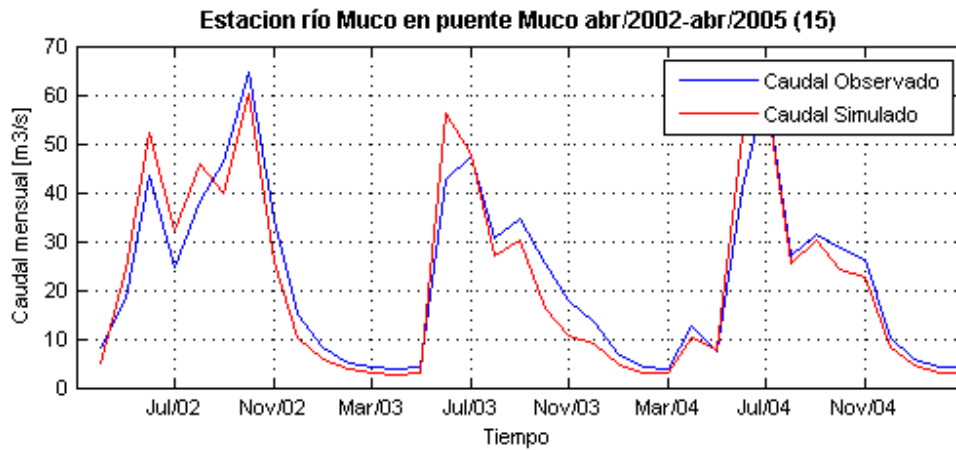


Figura D.60. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Muco en puente Muco. Hidrograma mensual asociado al escenario (15), para el periodo abril/2002-abril/2005.

### D.5. Gráficos caudal (mensual) vs tiempo en estación Río Collín en Codahue

Desde la Figura D.61 hasta la Figura D.75 se presentan los gráficos caudal (mensual) vs tiempo, asociados a los 15 escenarios, evaluados en la presente estación.

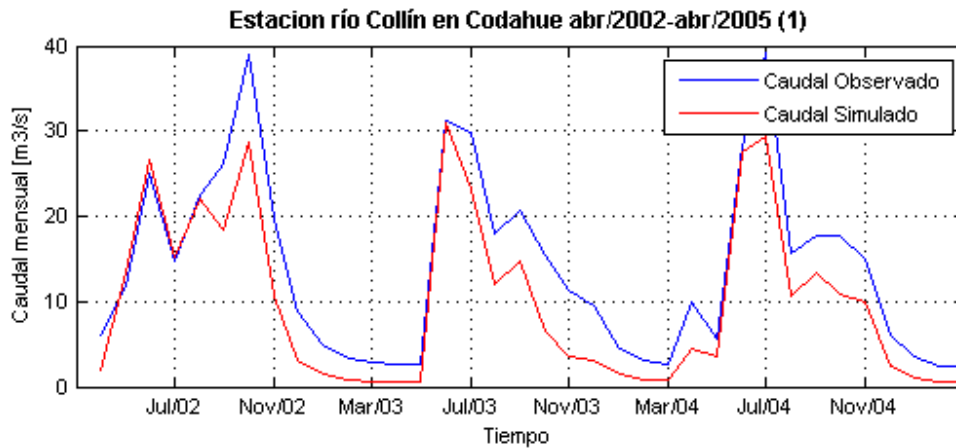


Figura D.61. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (1), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

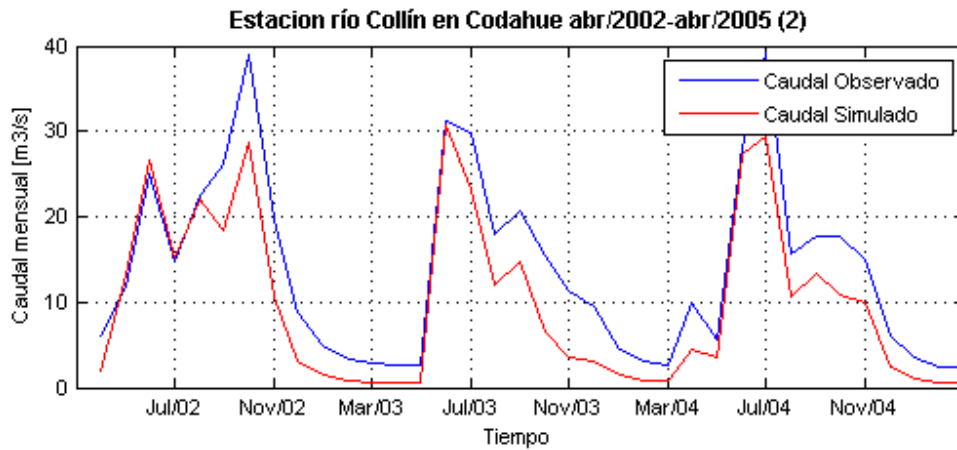


Figura D.62. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (2), para el periodo abril/2002-abril/2005.

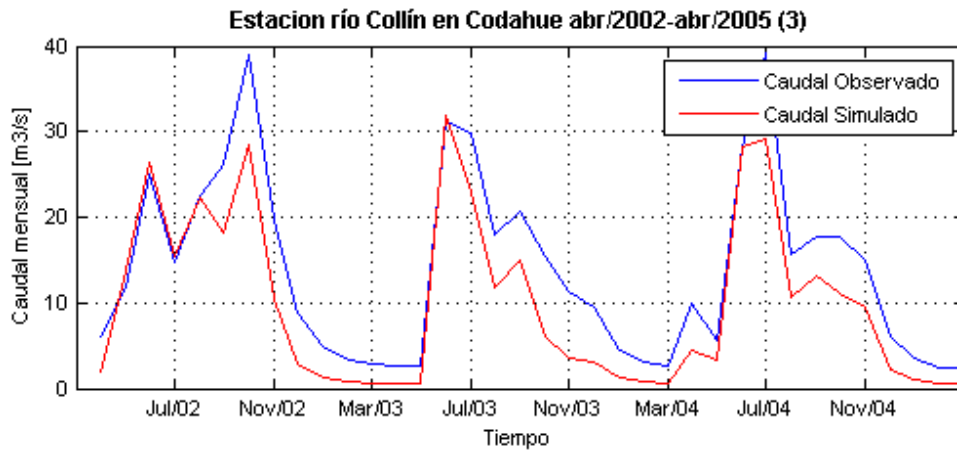


Figura D.63. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (3), para el periodo abril/2002-abril/2005.

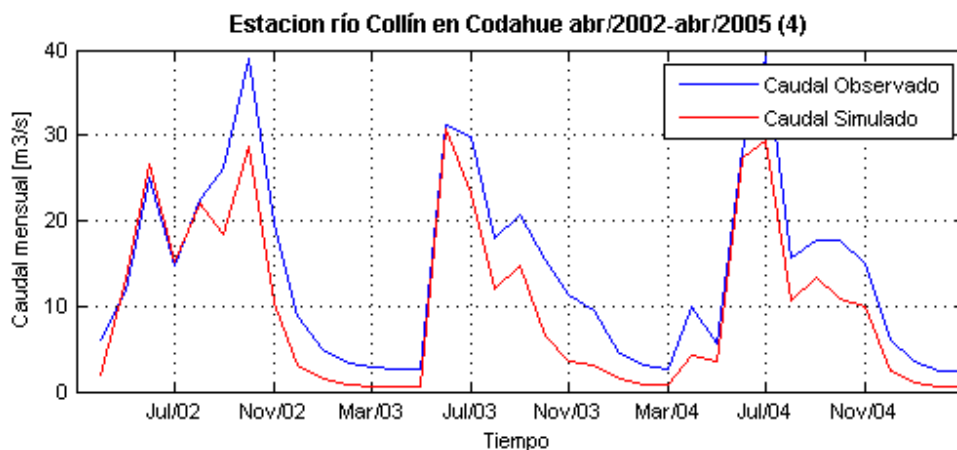


Figura D.64. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (4), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

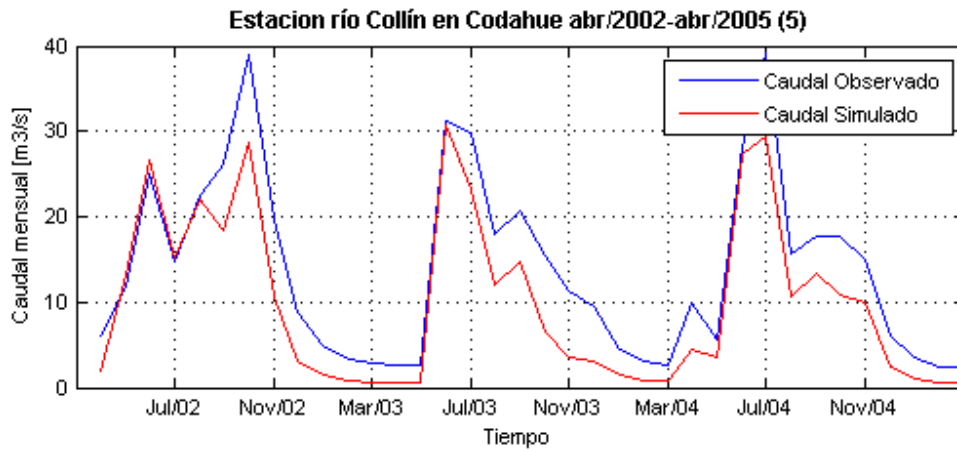


Figura D.65. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (5), para el periodo abril/2002-abril/2005.

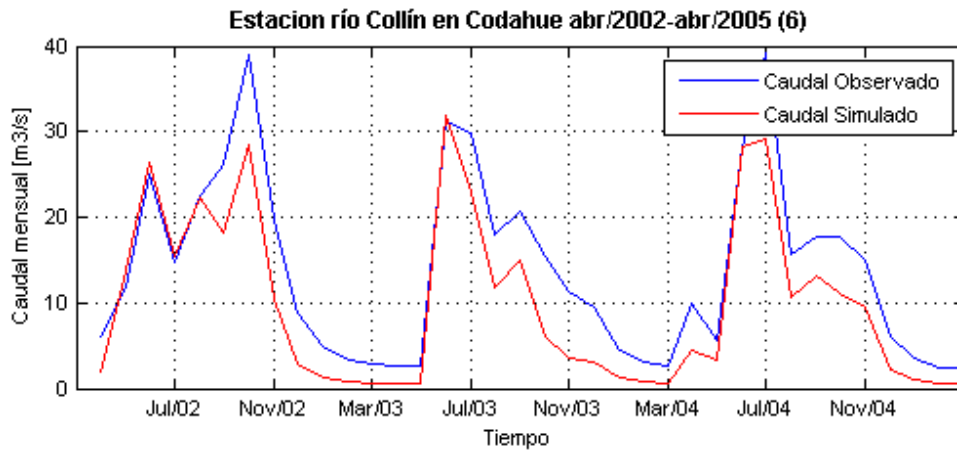


Figura D.66. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (6), para el periodo abril/2002-abril/2005.

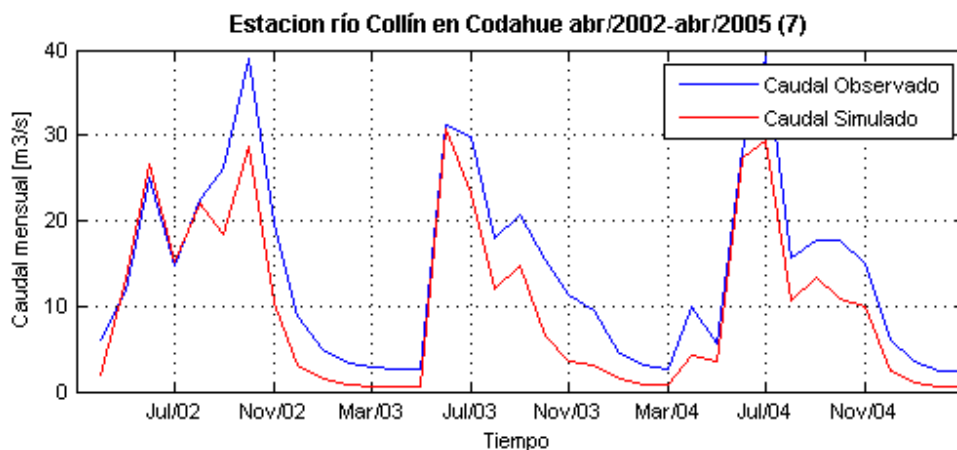


Figura D.67. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (7), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

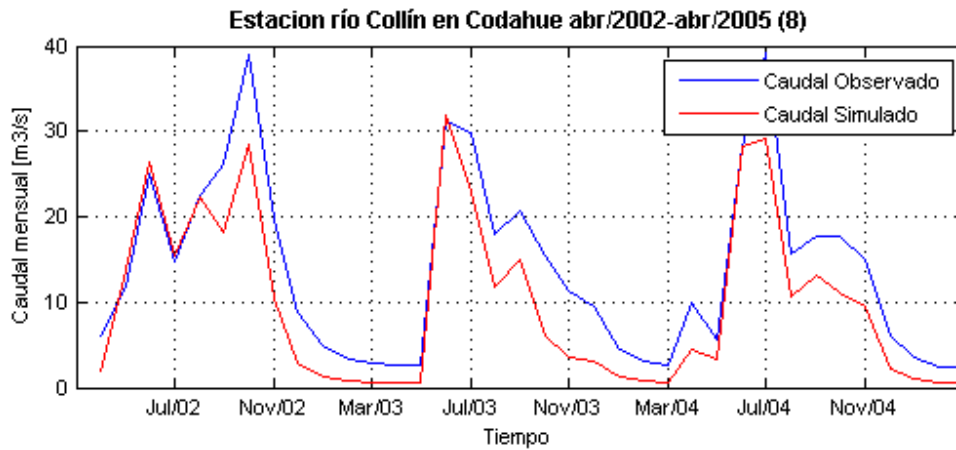


Figura D.68. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (8), para el periodo abril/2002-abril/2005.

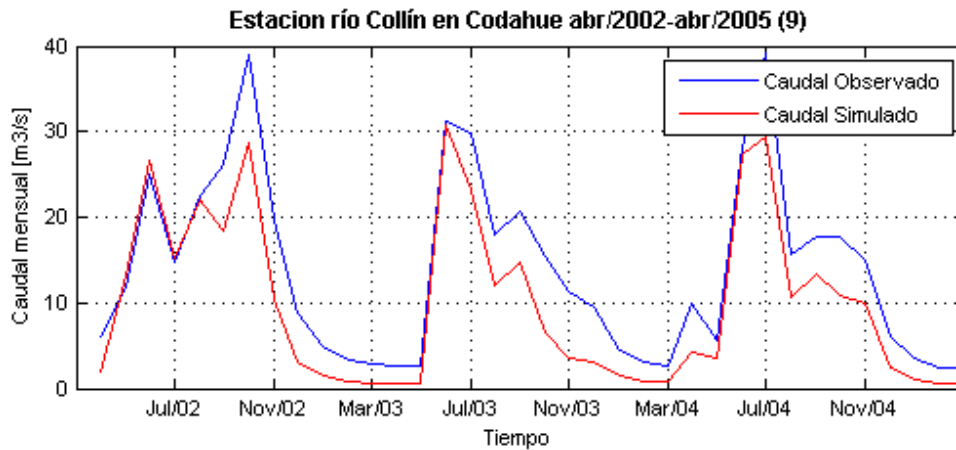


Figura D.69. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (9), para el periodo abril/2002-abril/2005.

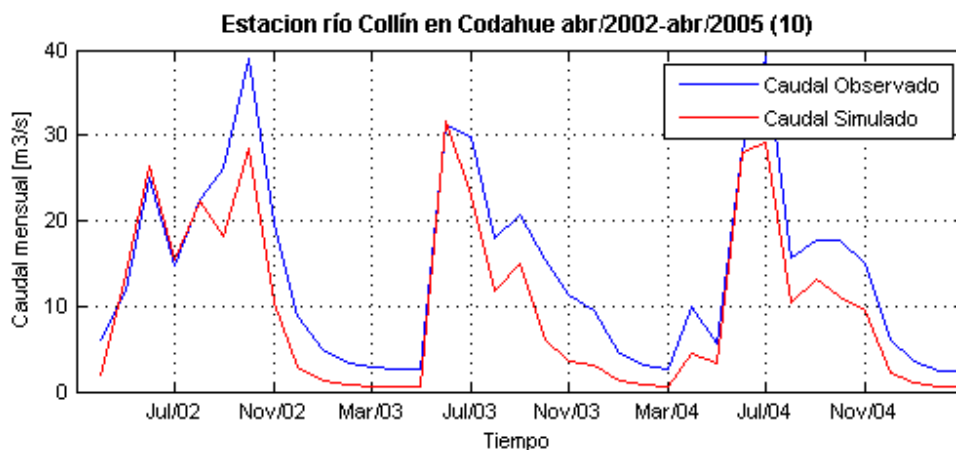


Figura D.70. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (10), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

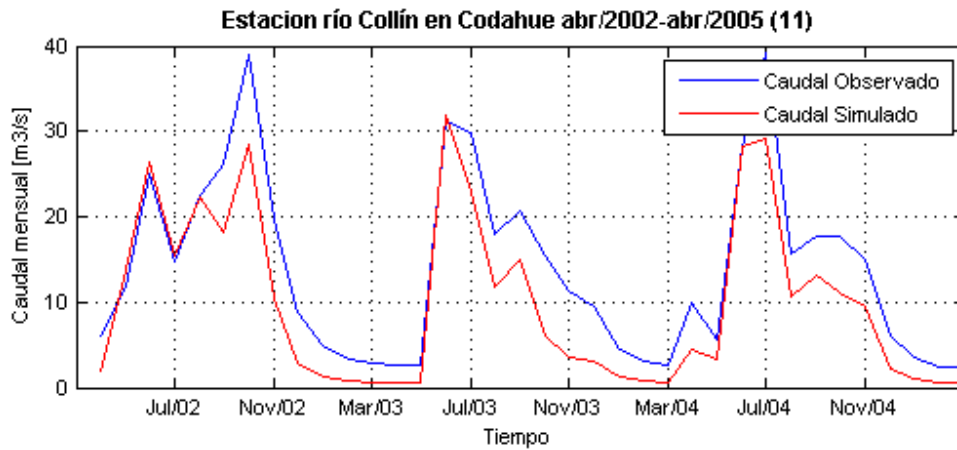


Figura D.71. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (11), para el periodo abril/2002-abril/2005.

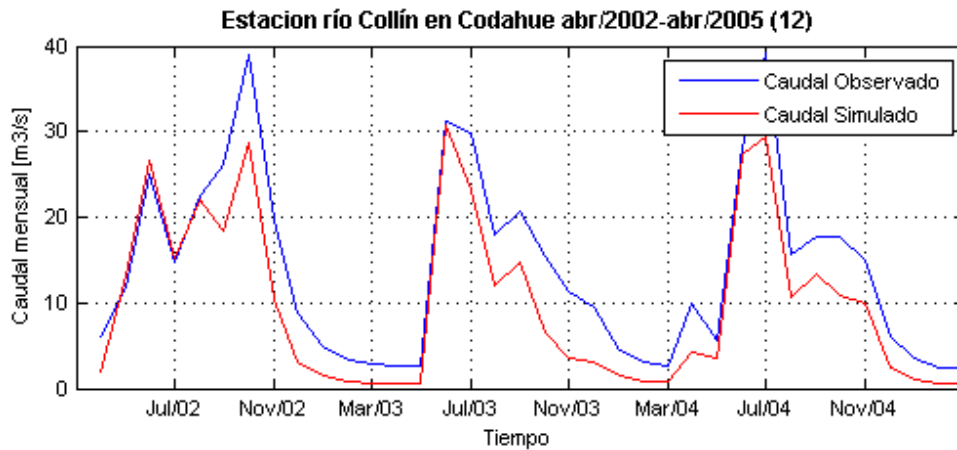


Figura D.72. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (12), para el periodo abril/2002-abril/2005.

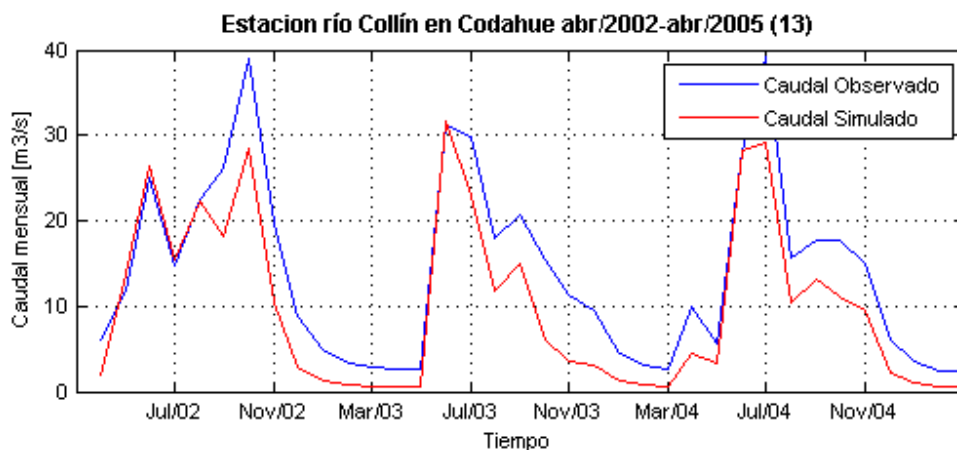


Figura D.73. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (13), para el periodo abril/2002-abril/2005.

ANEXO D: GRAFICOS CAUDAL (MENSUAL) VS TIEMPO

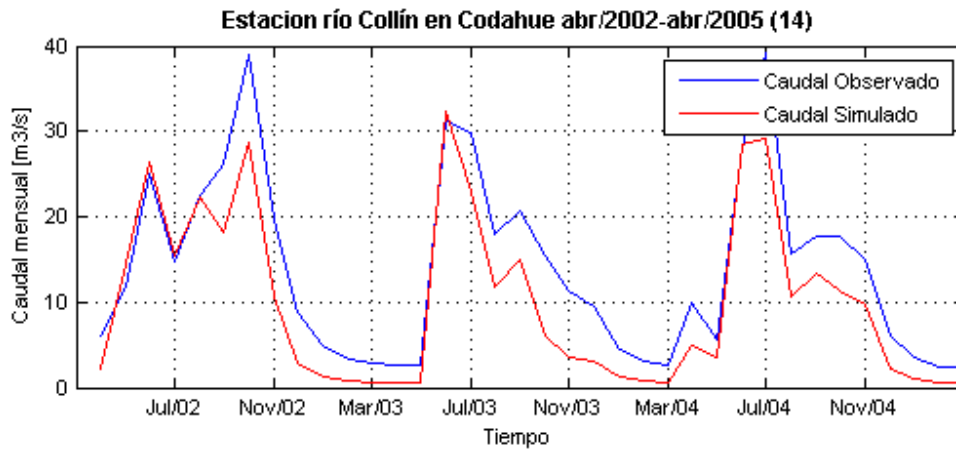


Figura D.74. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (14), para el periodo abril/2002-abril/2005.

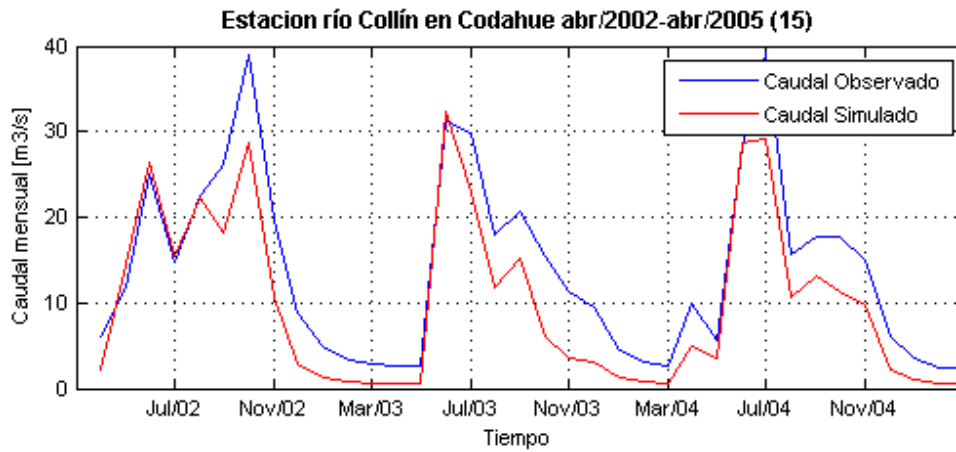


Figura D.75. Caudales medios diarios observados y simulados con TopNet en la estación Río Collín en Codahue. Hidrograma mensual asociado al escenario (15), para el periodo abril/2002-abril/2005.