



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**MODELACIÓN DE CAUDALES RECESIVOS PARA
PERÍODOS ESTIVALES EN LA CUENCA DEL ESTERO
UPEO, REGIÓN DEL MAULE**

FRANCISCO JAVIER BALOCCHI CONTRERAS

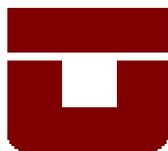
Memoria para optar al título de:

INGENIERO FORESTAL

Profesor Guía: Dr. Ing. Roberto Pizarro Tapia

TALCA-CHILE

2008



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

El Sr. Francisco Javier Balocchi Contreras, ha realizado la Memoria: **"MODELACIÓN DE CAUDALES RECESIVOS PARA PERÍODOS ESTIVALES EN LA CUENCA DEL ESTERO UPEO, REGIÓN DEL MAULE"**, como uno de los requisitos para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal, con el Sr. Roberto Pizarro Tapia como profesor guía.

La comisión de Calificación constituida por el profesor Sr. Roberto Pizarro Tapia y la profesora Sra. Marcia Vásquez Sandoval, han evaluado con nota promedio 6,9 (seis coma nueve).

TALCA, CHILE
2008

MARCIA VÁSQUEZ SANDOVAL
DIRECTORA ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

ÍNDICE

CAPÍTULO	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Cuenca Hidrográfica	4
3.2. Hidrograma de Crecida.....	5
3.3. Curva de Agotamiento	9
3.4. Modelación Matemática.....	11
4. METODOLOGÍA.....	14
4.1. Revisión Bibliográfica	14
4.2. Selección de la Estación.....	14
4.3. Información Requerida	15
4.3.1. Antecedentes de la Cuenca	15
4.4. Construcción de Hidrogramas	16
4.5. Determinación de las Aportaciones Subterráneas.....	17
4.6. Modelos Matemáticos Empleados	18
4.7. Determinación de los Tiempos Involucrados para el Ajuste	18
4.8. Determinación de los Parámetros de los Modelos.....	19
4.8.1. Determinación del coeficiente de agotamiento ()	19
4.8.2. Determinación del coeficiente adimensional (n).....	20
4.9. Validación Estadística.....	21
a. Test de concordancia de Bland y Altman (ACBA).....	21
b. Prueba U de Mann-Whitney.....	22
c. Coeficiente de determinación (R^2)	25

d. Error estándar de estimación (EEE)	25
4.10. Presentación de Resultados	26
4.11. Análisis y Discusión de Resultados	26
4.12. Conclusiones y Recomendaciones.....	26
4.13. Materiales y Equipos	27
5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	28
5.1. Selección de las Crecidas y Determinación de los Parámetros Requeridos.....	28
5.2. Validación de los Modelos	40
5.2.1. Análisis estadístico	40
5.2.1.1. Coeficiente de determinación (R^2)	40
5.2.1.2. Error estándar de estimación (EEE).....	45
5.2.1.3. U de Mann-Whitney	50
5.2.1.4. Test de concordancia de Bland y Altman (ACBA).....	55
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	64
6.1. Análisis de Resultados	64
6.2. Análisis de las Crecidas Seleccionadas	64
6.3. Análisis de los Caudales Modelados Bajo los Cuatro Modelos Propuestos y para Ambos Planteamientos.....	65
6.4. Análisis para el Coeficiente de Agotamiento ().....	69
6.5. Coeficiente Adimensional “n” del Modelo Exponencial 2	74
6.6. Análisis de la Validación de los Modelos Simulados	76
6.6.1. Coeficiente de determinación (R^2)	76
6.6.2. Error estándar de estimación.....	81
6.6.3. Prueba U de Mann-Whitney.....	85
6.6.4. Test de concordancia de Bland y Altman (ACBA).....	87
6.7. Análisis Global.....	93

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
7.1. Conclusiones	94
7.2. Recomendaciones	96
8. BIBLIOGRAFÍA	98
APÉNDICES.....	102

Apéndice I

Tablas límites de confianza test de concordancia de Bland y Altman (ACBA)

Apéndice II

Tablas promedio de caudal para los diferentes modelos, tiempos y planteamientos

ÍNDICE DE FIGURAS

N° FIGURA	C ONTENIDO	PÁGINA
1:	Hidrograma de crecida.....	7
2:	Gráfico semilogarítmico del caudal v/s tiempo	11
3:	Mapa ubicación microcuenca Estero Upeo en Upeo.....	16
4:	Ejemplo gráfico test concordancia de Bland y Altman	22
5:	Gráfico de los caudales promedio, (= 48 horas) para los cuatro modelos propuestos y ambos planteamientos.....	65
6:	Comportamiento de los caudales modelados, modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ y exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, crecida 26-02-2000 y 28-11-1986 para = 72 horas, planteamiento original (PO)	66
7:	Comportamiento de los caudales modelados, modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ y exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, crecida 26-02-2000 para = 72 y 168 horas, planteamientos original (PO) y modificado (PM)	67
8:	Comportamiento de los caudales modelados, para los cuatro modelos analizados, crecida 26-02-2000 para = 240 horas, planteamiento original (PO)	68
9:	Comportamiento de los caudales modelados, para los cuatro modelos analizados, crecida 06-10-1995 para = total de datos, planteamiento original (PO)	68
10:	Comportamiento parámetro para la crecida del 12-10-1990, modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ y exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, ambos planteamientos.....	70
11:	Comportamiento parámetro para la crecida del 21-08-1971 y 15-03-2002, modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, ambos planteamientos.....	71
12:	Comportamiento parámetro para la crecida del 21-08-1971 y 11-02-2000, modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, ambos planteamientos.....	72

13: Gráfico coeficiente adimensional “n” para el modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, ambos planteamientos (valores promedio).....	74
14: Gráfica de coeficientes de determinación promedio para ambos planteamientos y lapsos considerados.....	77
15: Gráfico EEE promedio para los cuatro modelos analizados, ambos planteamientos y lapsos considerados.....	83
16: Desviación estándar para los cuatro modelos analizados, lapsos utilizados y ambos planteamientos (PO, planteamiento original; PM, planteamiento modificado)	88
17: Gráfica ACBA modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, con buena calidad de ajuste, crecida 11-02-2000 para = 72 horas, para ambos planteamientos (PO, planteamiento original; PM, planteamiento modificado)	91
18: Gráfica ACBA modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, con mala calidad de ajuste, crecida 05-08-1983 para = 240 horas, para ambos planteamientos (PO, planteamiento original; PM, planteamiento modificado).....	92

ÍNDICE DE TABLAS

N° TABLA	CONTENIDO	PÁGINA
1:	Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, segundo punto de quiebre (P.O.).....	29
2:	Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, segundo punto de quiebre (P.O.).....	30
3a:	Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo punto de quiebre (P.O.).....	31
3b:	Parámetros n y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo punto de quiebre (P.O.).....	32
4:	Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, segundo punto de quiebre (P.O.).....	33
5:	Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, tercer punto de quiebre (P.M.).....	34
6:	Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, tercer punto de quiebre (P.M.).....	35
7a:	Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, tercer punto de quiebre (P.M.).....	36

7b: Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, tercer punto de quiebre(P.M.).....	37
8: Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, tercer punto de quiebre (P.M.).....	38
9: Caudal inicial Q_0 para las 25 crecidas seleccionadas, planteamiento original y planteamiento modificado	39
10: Coeficiente de determinación (R^2) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$,segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	41
11: Coeficiente de determinación (R^2) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	42
12: Coeficiente de determinación (R^2) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	43
13: Coeficiente de determinación (R^2) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	44
14: Error estándar de estimación para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	46

15: Error estándar de estimación para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	47
16: Error estándar de estimación para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	48
17: Error estándar de estimación para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	49
18: U de Mann-Whitney para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente)	51
19: U de Mann-Whitney para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente)	52
20: U de Mann-Whitney para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	53
21: U de Mann-Whitney para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente)	54
22: Diferencias promedio (dp) test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	56
23: Diferencias promedio (dp) test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	57

24: Diferencias promedio (dp) test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	58
25: Diferencias promedio (dp) test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	59
26: Desviación estándar (DS) de las diferencias promedio test Bland y Altman, para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	60
27: Desviación estándar (DS) de las diferencias promedio test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	61
28: Desviación estándar (DS) de las diferencias promedio test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	62
29: Desviación estándar (DS) de las diferencias promedio test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).....	63
30: Valores comparativos de para los cuatro modelos y para ambos planteamientos (original y modificado).....	73
31: Valores comparativos de “n” bajo ambos planteamientos.....	75
32: Valores comparativos de coeficiente de determinación (R^2), para los cuatro modelos bajo ambos planteamientos (original y modificado)..	80

33: Valores comparativos del error estándar de estimación para los cuatro modelos bajo ambos planteamientos (original y modificado).....	82
34: Cuociente entre el EEE y el promedio de caudales observados bajo ambos planteamientos (original y modificado).	84
35: Porcentaje de pruebas aceptadas para un nivel de confianza del 95% en los cuatro modelos en estudio y para los lapsos de ajuste considerados bajo ambos planteamientos (original y modificado).....	86
36: Test Bland y Altman, diferencias promedio (dp), desviación estándar (DS) y límites de confianza para los cuatro modelos y bajo ambos planteamientos (original y modificado).....	89

RESUMEN

El estudio que se presenta a continuación tiene como objetivo estimar los caudales recesivos originados por los aportes de las aguas subterráneas del estero Upeo, ubicado en la VII Región de Chile. La información de entrada requerida para tal fin fue aportada por la Dirección General de Aguas y corresponde a los limnigramas y curvas de descarga del estero Upeo, en Upeo.

Se ajustaron y evaluaron cuatro modelos predictivos, de los cuales tres fueron exponenciales ($Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$) y uno potencial ($Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$), donde Q_0 es el caudal inicial; α el coeficiente de agotamiento; n el parámetro específico, t tiempos y e constante de Neper. Los ajustes consistieron en la obtención de los coeficientes de agotamiento bajo los lapsos de 48, 72, 168, 240 horas y el total de horas de cada crecida. Con esta información, se determinó el caudal inicial de las crecidas seleccionadas bajo dos planteamientos: el original (segundo punto de quiebre en la curva de bajada del hidrograma) y el modificado (tercer punto de quiebre). Estos puntos fueron identificados a través de la gráfica semilogarítmica del caudal (Q) v/s tiempo (t). La evaluación de los resultados se realizó a partir de las predicciones de cada modelo, cuyos valores se contrastaron con los observados, utilizando para ello el coeficiente de determinación (R^2), la prueba U de Mann-Whitney, el error estándar de estimación y el test de concordancia de Bland y Altman (ACBA).

De los cuatro modelos analizados, el que obtuvo mejores resultados fue el modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$ seguido del modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$. Además, el planteamiento modificado dio mejores resultados por sobre el planteamiento original. Finalmente, el mejor lapso para la estimación fue el correspondiente a las 240 horas, en base al test de Bland y Altman.

SUMMARY

This research analyzes different models to estimate recessive flows at Upeo river basin, located in the VII Region in Chile. The required data concerning the Upeo Station limnigraphs was provided by Dirección General de Aguas.

Four predictive models were adjusted and evaluated: three exponential models ($Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$) and one potential model ($Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$), Q_0 is the initial flow; α is the Coefficient of Exhaustion; n is the specific parameter, t is time and e is the neper constant. The adjustment determined the coefficient of exhaustion from the lapses adjustment of 48, 72, 168, 240 hours and the total hours of each storm. With this data, the recessive initial flow from selected storms was determined according to two premises: the original (second break point) and the modified (third break point) which are present in the recession limb of the hydrograph. Both points were determined by the semi logarithmic plot of flow v/s time. The evaluation of these results were carried out from predicted data, whose values were contrasted by the real ones, using the coefficient of determination (R^2), the test U of Mann-Whitney, the standard error of estimation and the conformity test of Bland and Altman (ACBA).

Finally, from those four analyzed models, the one obtaining the best results was the exponential model $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$ followed by the potential model $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$. Further more, the modified premise showing the best results above original premise, and the best lapse for the estimation was the one corresponding to 240 hours, based on the test of Bland and Altman.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el principal elemento constituyente de los seres vivos. Su comportamiento y disponibilidad son de gran importancia, por ser un bien cada vez más escaso y limitado, el que está condicionado por el crecimiento de la población y las mayores necesidades que presionan por su uso. Un ejemplo claro es el de Chile, país que presenta un consumo diario de agua por persona de 15.000 litros, la cifra más alta de América Latina (Pizarro *et al*, 2002).

En este marco surge la necesidad de estimar la disponibilidad de este recurso para su utilización en los períodos estivales. Así, la modelación matemática constituye una importante herramienta para el análisis y una mejor comprensión del comportamiento del agua en estos períodos, considerando que estos modelos pueden estudiar el comportamiento de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad. Estrela (1992) señala que los modelos matemáticos para estimar caudales, constituyen una forma válida para resolver los problemas hídrico-teóricos y además, son los que tienen un mayor sentido físico-hidrológico. Asimismo es particularmente importante lo concerniente a las aguas subterráneas en zonas áridas y semiáridas, donde los aportes de escorrentía en períodos estivales corresponden exclusivamente a aguas provenientes de las reservas de la cuenca.

Guzmán (1994) señala que si se conoce la forma de la curva de recesión del hidrograma, es factible calcular el flujo de corrientes durante períodos de sequía o de estiaje. Así, el hidrograma muestra el comportamiento de los caudales con respecto al tiempo, y éste está compuesto por una curva de concentración, una curva de descenso y una curva recesiva. La curva recesiva permite calcular la disponibilidad de agua en los períodos estivales.

Cabe destacar la importancia de determinar el punto donde se inicia el aporte de las aguas subterráneas; es así que esta investigación utilizará la metodología

citada por Pizarro (1993), la cual menciona al segundo punto de quiebre de la curva de descenso como el punto en donde la afluencia es exclusivamente de aguas subterráneas. Sin embargo, también se utilizará una nueva metodología propuesta por Martínez (2004), la cual menciona al tercer punto de quiebre de la curva de bajada. Estos puntos son determinados graficando la curva de descenso en un gráfico semilogarítmico.

Considerando lo anteriormente planteado y en base al conocimiento de las curvas recesivas, se modelará el comportamiento en períodos estivales de los caudales subterráneos que afloran en el Estero Upeo, en el Río Lontué, precordillera andina, VII Región de Chile.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Modelar el comportamiento de los caudales recesivos en períodos estivales en base a la separación de hidrogramas y a modelos predictivos, en la cuenca del Estero Upeo, Región del Maule.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar el comportamiento paramétrico de cuatro modelos de estimación de caudales recesivos en la cuenca del Estero Upeo.
- Evaluar la calidad del ajuste de cuatro modelos de estimación de caudales recesivos en períodos superiores a un mes.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Cuenca Hidrográfica

Llamas (1993) define la cuenca como un espacio geográfico alimentado exclusivamente por las precipitaciones y los excedentes, tanto en aguas como en materias sólidas, los cuales se unen en un punto espacial único, llamado desembocadura o exutoria. Asimismo, la cuenca es delimitada siguiendo los puntos más elevados desde la desembocadura hasta cerrar el circuito. Aparicio (2003) asocia a estas cuencas otra cuenca subterránea, cuya forma en planta es similar a la superficial antes descrita.

En este marco y refiriéndose al caudal como tal, Aparicio (1997) y Bedient y Huber (2002) afirman que el caudal presente en una crecida estará constituido por los escurrimientos superficial, subsuperficial y subterráneo. Así, Rodríguez (1976) citado por Caro (2001) señala que la separación de los escurrimientos resulta difícil, dada la complejidad de determinar los límites de cada uno. Por dicha razón y para efectos prácticos, algunos autores como Cirugeda (1985) citado por Caro (2001) y, Pizarro y Novoa (1986), citados por Guzmán (1994), dividen el caudal en dos partes:

- a) Escurrimiento superficial: Corresponde al volumen de agua que avanza sobre la superficie de la tierra hasta alcanzar algún cauce, siendo el escurrimiento que llega más rápido a la salida de la cuenca.
- b) Escurrimiento subterráneo: Constituye la parte de las precipitaciones que se infiltra hasta llegar al nivel freático y eventualmente llega a los ríos como un flujo subterráneo, siendo de esta manera, el escurrimiento más lento en llegar a la salida de la cuenca.

Rodríguez (1976), citado por Caro (2001), menciona además que, resulta difícil hacer la distinción de los tipos de escurrimiento ya que es complicado determinar sus límites de forma exacta debido a que, por ejemplo, el agua comienza como escurrimiento superficial, se infiltra y fluye en el subsuelo, para nuevamente aflorar en forma superficial.

Con esto, la sumatoria de las aguas superficiales, subsuperficiales y las aguas subterráneas conforman en su conjunto el agua almacenada en las cuencas hidrográficas (Newson, 1993).

Asimismo, Cirugeda (1985), citado por Guzmán (1994), señala que es importante desarrollar la red de aguas subterráneas debido a que, comúnmente, estas son inexistentes, al contrario de las aguas superficiales.

Con el análisis de la curva de la escorrentía subterránea, la cual muestra la variación del caudal base en períodos de baja cantidad de lluvia caída, se puede cuantificar el desagüe de las aguas subterráneas de una cuenca (Todd, 1980). Sin embargo, Lamb y Beven (1997) mencionan que, debido a la gran variabilidad que puede existir entre períodos de recesión individual, el análisis de la curva recesiva puede ser un tanto difícil.

3.2. Hidrograma de Crecida

Chow *et al* (1994) definen al hidrograma como una tabla o gráfica la cual muestra la tasa de flujo como función del tiempo. Otros autores como Pizarro (1993) y Bedient y Huber (2002) describen al hidrograma como la relación gráfica existente entre las variables caudal o descarga (Q) y tiempo (t), obtenida en un punto del cauce denominado punto de desagüe de la cuenca.

Bedient y Huber (2002) también dividen en forma práctica al hidrograma en dos componentes: la esorrentía directa y el caudal base, siendo este último considerado mayoritariamente como aportador a las aguas subterráneas. Brodie *et al* (2007), además señalan que, la separación del hidrograma es probablemente la técnica más usada para resolver muchos de los problemas hidrológicos.

Las características fisiográficas y climáticas en su conjunto, influyen directamente en la conformación de la cuenca y, como tal, en la forma del hidrograma resultante. Entre los factores climáticos están el tipo de precipitación, la intensidad de la lluvia y su duración, entre otros. Para el caso de los factores fisiográficos están el uso del suelo, el tipo de suelo, la altitud, la pendiente, el tipo y red de drenaje, etc. (Chow *et al*, 1994; Bedient y Huber, 2002).

Así mismo, si se conoce el caudal punta, la curva de recesión puede ser generada a través de aproximaciones probabilísticas; sin embargo, este procedimiento puede no generar los efectos estacionales y estocásticos que son considerados en el caudal de recesión de un río (Akson *et al*, 2001).

Es importante señalar que si la lluvia mantiene una intensidad constante por un período de tiempo, se alcanza la capacidad máxima de almacenaje y se logra el estado de equilibrio del caudal. Así también, el hidrograma tiende a nivelarse a un valor constante para un período de tiempo (Bedient y Huber, 2002).

El hidrograma de crecida, posee una composición y forma como lo indica la figura N°1, según Pizarro (1993):

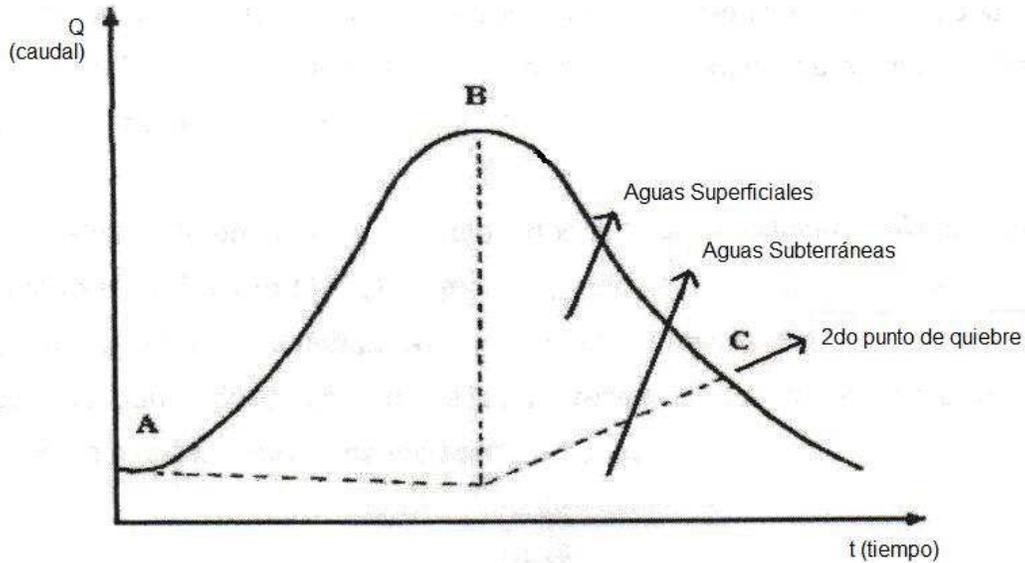


Figura N°1. Hidrograma de crecida.

Donde la curva de crecida corresponde a la parte del hidrograma que comprende los puntos A y B (figura N°1), entre los cuales se inicia la crecida y se alcanza el caudal punta. Luego de la curva de crecida, comienza la curva de bajada, que comprende al tramo entre los puntos B y C, en donde C, representa el fin de la afluencia de aguas superficiales.

Finalmente, la curva recesiva o de agotamiento, comprende desde el punto C en adelante, en donde las aguas proceden teóricamente de alimentación subterránea en forma exclusiva, generando la curva de agotamiento o curva de caudales recesivos.

Bedient y Huber (2002) también separan al hidrograma en 3 componentes como los señalados anteriormente, añadiendo que el punto de inflexión de la curva de bajada indica el término de la escorrentía directa. Bedient también señala que la curva de bajada se determina en gran medida por la intensidad de la crecida y, el segundo punto de quiebre, en la bajada de la curva, generalmente marca el tiempo en que cesa el afluente de superficie.

En muchos casos, como lo señalan Linsley *et al* (1949) y Bedient y Huber (2002), el método exacto de separación del hidrograma no es tan importante en cuanto se utilice el mismo procedimiento a lo largo del estudio para poder comparar los hidrogramas de crecida en crecida y de cuenca en cuenca. Así mismo, es necesario seleccionar datos de períodos suficientemente largos para justificar que las crecidas seleccionadas generan caudales subterráneos (Linsley *et al*, 1949).

Es importante considerar que, según Bedient y Huber (2002), las contribuciones al acuífero dependen de la intensidad de la lluvia, la infiltración del suelo y la cantidad de humedad versus la capacidad de campo.

Ponce (1989) señala que la recesión es logarítmica por naturaleza, aproximándose al caudal cero en una forma asintótica. El mismo autor también menciona que, para efectos prácticos, el final de la recesión es usualmente definida de manera arbitraria y comúnmente definida por el investigador.

Además existen muchas otras técnicas para separar la escorrentía directa del caudal indirecto o subterráneo basado en el análisis de la curva de recesión de las aguas subterráneas por lo que, en muchos casos, la curva de recesión puede ser descrita por una ecuación exponencial (Bedient y Huber, 2002). Siguiendo con el tema, el análisis del caudal base del hidrograma de crecida puede generar valiosos puntos de vistas en cómo las contribuciones al caudal de las aguas subterráneas cambian a través del tiempo (Brodie y Hostetler, 2005).

Por otro lado, el caudal base es el componente de la sumatoria de las descargas de las crecidas y su reconocimiento es posible en temporadas de bajo caudal y por ende, la proporción de la disminución del caudal base es similar año a año (Manga, 2001).

Para Brodie y Hostetler (2005), el análisis del caudal base, teniendo un abanico de metodologías disponibles, es una importante herramienta para entender la dinámica de la descarga de las aguas subterráneas al río. Asimismo, y con respecto a las metodologías a emplear, los mismos autores señalan que, en la separación del caudal base, el temprano desarrollo de métodos gráficos está siendo reemplazado por técnicas de procesamiento de datos. En base a lo anterior, el reto se encuentra en desarrollar algoritmos que tengan bases hidrológicas y se puedan derivar a parámetros hidrológicos.

Brodie *et al* (2007) señalan que el análisis está siendo enfocado actualmente en definir soluciones analíticas o modelos matemáticos que puedan ajustarse adecuadamente a los segmentos recesivos. Asimismo, algunos ríos no se agotan en períodos estivales o de estiaje por lo que presentan una curva de agotamiento que se aproxima a un caudal mínimo, usualmente denominado caudal base, que en inglés se denomina base flow (Cirugeda, 1985, citado por Martínez, 2004). El análisis del caudal base puede proveer información de cambios temporales, pero no de cambios en la distribución espacial de las entradas de aguas subterráneas a lo largo del acuífero (Brodie y Hostetler, 2005; Brodie *et al*, 2007).

3.3. Curva de Agotamiento

Vilaró (1976), citado por Caro (2001) menciona que pasada la punta del hidrograma, se inicia la curva de descenso o bajada, en que finalmente el caudal queda reducido a los aportes recibidos de la escorrentía subterránea. Asimismo, Llamas (1993) plantea que la curva de agotamiento representa el decrecimiento de las aguas subterráneas, más el residuo del flujo hipodérmico (precipitación que no se infiltra ni circula por la superficie y circula bajo el suelo a poca profundidad).

Para determinar el punto donde se producen estos aportes subterráneos, Pizarro (1993) afirma que, teóricamente, se debe graficar el logaritmo del caudal (Q) versus tiempo (t) de la curva de bajada del hidrograma. Así, el segundo punto de quiebre de la curva recesiva señala el comienzo de la afluencia exclusiva de los caudales subterráneos. Esto se debe a que - al someter los datos en el gráfico al logaritmo - éstos adquieren una distribución gráfica lineal posibilitando la determinación del segundo punto de quiebre y sus coordenadas.

Como apoyo a la idea anterior, Barnes (1939) citado por Linsley *et al* (1949), señala que la crecida puede ser graficada sobre un papel semilogarítmico, con el fin de separar los distintos tipos de caudal que componen al hidrograma.

Sin embargo, no existe un consenso en la metodología para determinar la división de la escorrentía directa y el aporte de las aguas subterráneas sumado además a que la definición de estos componentes es relativamente arbitraria (Linsley *et al*, 1988; Viessman y Lewis, 2003).

Debido a lo anterior y como alternativa a lo expresado por Pizarro (1993) con respecto a cómo determinar el punto en donde se inicia el aporte de las aguas subterráneas y, buscando un mejor ajuste de los modelos a la realidad, Martínez (2004) propuso un nuevo planteamiento, denominado "Planteamiento Modificado", el cual, basándose en el planteamiento original, establece al tercer punto de quiebre de la curva de bajada como el punto de inicio de las aguas subterráneas esperando lograr una mejor aproximación ya que, al transcurrir una mayor cantidad de tiempo, los modelos se ajustan de mejor manera. El resultante de lo anterior se puede observar en la figura N°2 (que a continuación se presenta).

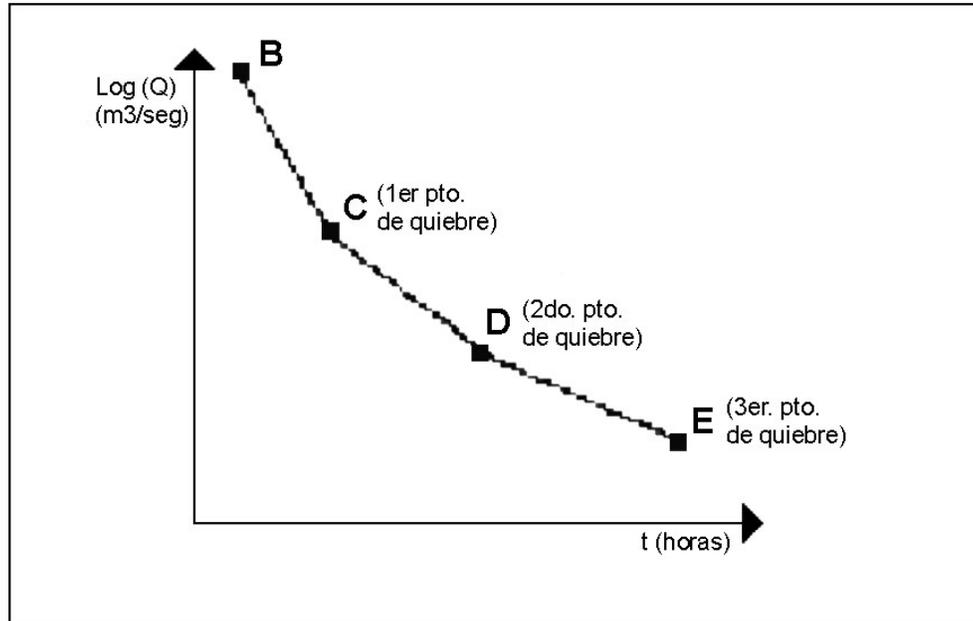


Figura N°2 . Gráfico semilogarítmico del caudal v/s tiempo.

Bedient y Huber (2002) mencionan que para efectos prácticos, esta curva de recesión puede ser utilizada para estimar caudales asociados a algún período de retorno, para estimar la potencialidad de las aguas subterráneas y también como instrumento para realizar el balance de aguas.

3.4. Modelación Matemática

La modelación matemática constituye una representación simplificada de un sistema complejo, ya sea bajo una forma física o matemática, en el cual las respuestas producidas son difícilmente manejables debido al gran número de factores en juego (Singh, 1988; Llamas, 1993).

Para definir la curva de agotamiento, existe una gran cantidad de modelos matemáticos que dependen del tipo de cuenca. Entre los más comunes están los modelos potenciales y los modelos exponenciales donde los primeros se ajustan

mejor en terrenos permeables. Asimismo, los modelos exponenciales son más precisos, en general, en terrenos poco permeables (Cirugeda, 1985, citado por Caro, 2001).

En general y según lo mencionado por Dewandel *et al* (2003), el modelo potencial (ecuación cuadrática), modela de mejor manera al acuífero cuando el caudal horizontal en la cuenca es dominante. En cambio, las fórmulas exponenciales son solamente aproximadas ya que solucionan sobreestimaciones de la etapa de influencia, pero subestiman el volumen del acuífero; sin embargo, y al contrario que el modelo potencial, se ajustan mejor cuando los caudales tienen un componente vertical muy importante. A continuación y en forma general, se presentan y describen, un modelo potencial y un modelo exponencial:

Modelo potencial:

$$Q(t) = Q_0 (1 + \alpha \cdot t)^{-2}$$

Modelo exponencial:

$$Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$$

En donde:

$Q(t)$ = Caudal (m^3/s).

Q_0 = Caudal inicial de la curva de agotamiento en el tiempo t_0 (m^3/s).

= Coeficiente de agotamiento.

t = Tiempo (horas).

n = Coeficiente adimensional.

e = Constante de Neper.

Para la elaboración de un modelo matemático, Llamas (1993) menciona cuatro etapas. Identificación, calibración, validación y límites de aplicación pero, como forma práctica y de acuerdo a lo señalado por Farias (2001), la calibración y la validación corresponderían a las etapas más importantes dentro de la elaboración de un modelo, las cuales son definidas por Llamas (1993) como:

- *Calibración*, etapa en que se evalúan y estiman los parámetros del modelo a través de criterios deductivos, además de la ayuda de observaciones anteriores sobre las solicitaciones y respuestas.
- *Validación*, etapa donde se compara una respuesta teórica obtenida mediante solicitaciones experimentales, versus la misma respuesta obtenida por observaciones directas.

Para la modelación es preciso tener claro el funcionamiento de los procesos hidrológicos involucrados, ya que, en caso contrario, los modelos no podrán tener un buen resultado frente a cambios en las respuestas hidrológicas (Núñez, 2005).

4. METODOLOGÍA

4.1. Revisión Bibliográfica

Esta etapa consistió en recopilar la mayor cantidad de información relacionada con el tema en estudio, caudales recesivos y temas generales de hidrología para el entendimiento del tema en particular, la cual fue extraída principalmente de bibliografía especializada en hidrología, sin dejar de lado otro tipo de publicaciones afines al tema en estudio. Además, se complementó con búsqueda de información a través de la Internet.

Cabe mencionar que la mayoría de la bibliografía utilizada, ha sido desarrollada por autores extranjeros, poniendo de manifiesto la carencia de estudios similares en Chile, excepto los realizados en la Universidad de Talca.

4.2. Selección de la Estación

Para la selección de la estación, se tomó como base que ésta presentara un régimen natural de caudal, monitoreado por una estación fluviométrica que presenta un limnógrafo electrónico (datalogger). Esta estación posee datos desde 1964 hasta la fecha, en una serie importante para este tipo de estudios. Por tanto, se escogió la estación Estero Upeo, en Upeo, cuenca del Mataquito.

4.3. Información Requerida

Toda la información requerida para el presente estudio fue proporcionada íntegramente por la Dirección General de Aguas (DGA), VII Región. Esta información consistió en los limnigramas y curvas de descargas correspondientes a la Estación Upeo en Upeo (subcuenca del Río Lontué). La información comprende el período entre los años hidrológicos 1971 - 2003 en que, a partir de ellos, se procedió a construir los hidrogramas correspondientes para el estudio.

4.3.1. Antecedentes de la Cuenca

La zona de estudio corresponde a la subcuenca del Río Lontué ubicada entre los 35° 10` 23" L.S y los 71° 05` 28" L.O, abarcando una superficie de 2784 km² que, conjuntamente con el Río Teno, ambos de régimen nivo pluvial, originados en la Cordillera de Los Andes, dan como origen al Río Mataquito, que avanza hacia el poniente a través de la Cordillera de la Costa y las planicies costeras, desembocando en el mar en la localidad de Iloca. Además, posee una precipitación de 1800 mm/año. El Río Lontué recibe por su flanco derecho dos tributarios de cierta importancia, los cuales son, los esteros Upeo y Chenquelmo, que afluyen en pleno Valle Central.

En la figura N°3 se puede observar el mapa de ubicación de la microcuenca Estero Upeo.

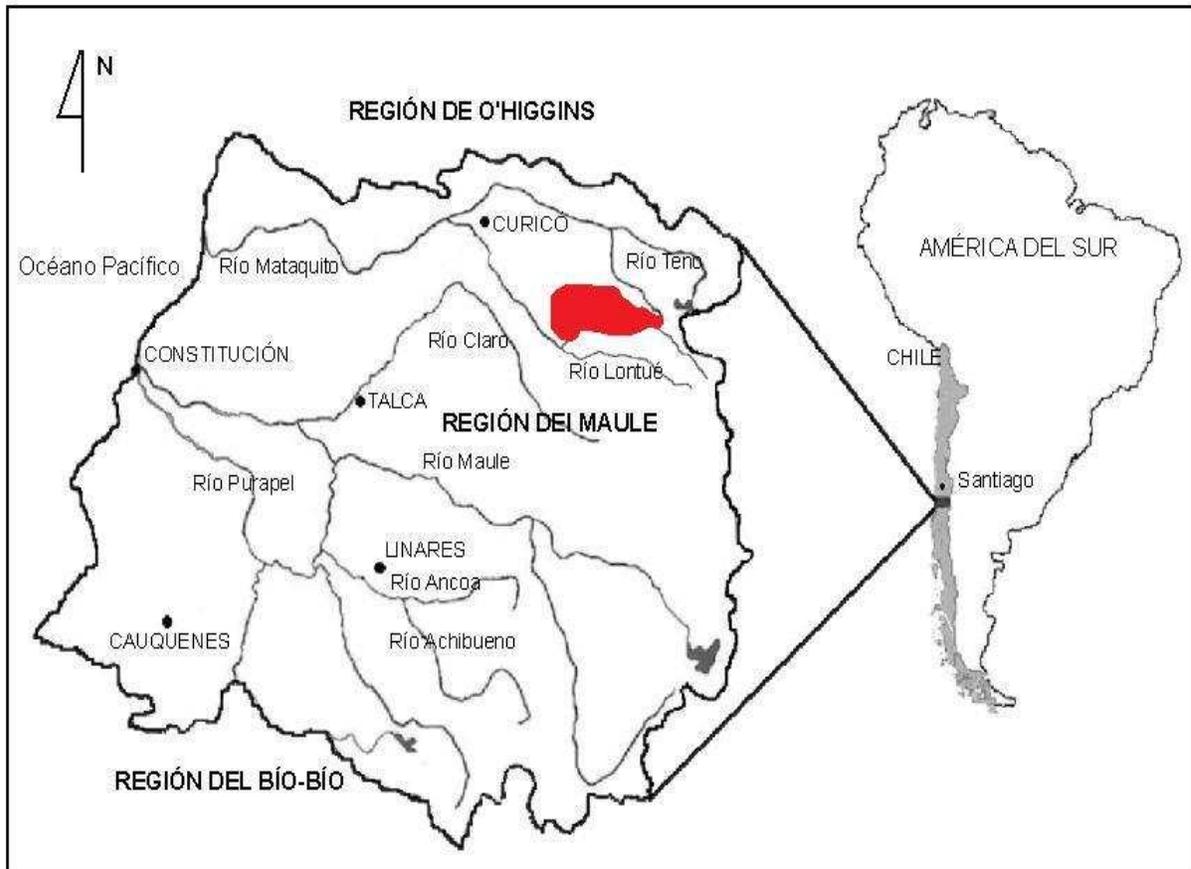


Figura N°3. Mapa ubicación microcuenca Estero Upeo en Upeo.

4.4. Construcción de Hidrogramas

En base a lo expuesto en la revisión bibliográfica, se desarrolló la construcción de los hidrogramas a partir de los limnigramas y, junto con las curvas de descarga, se obtuvieron los caudales de las crecidas seleccionadas. Así, con la ayuda de una regla milimétrica, se midieron las alturas cada 12 horas. Este procedimiento se continuó hasta encontrar la siguiente crecida. Finalmente, con las curvas de descarga para los períodos seleccionados, que indican el valor de caudal a una altura específica, se determinaron los caudales en m^3/s de las crecidas, para así construir los hidrogramas de las crecidas seleccionadas.

En el caso de las crecidas, se seleccionaron las últimas de cada año, en el período estival, las cuales se encuentran entre los meses de Agosto – Abril, contándose con datos horarios de, a lo menos, once días.

De acuerdo a esto, se seleccionaron 25 crecidas desde los hidrogramas, con una crecida mínima de 11 días y una máxima de 239 días para el desarrollo de este estudio.

4.5. Determinación de las Aportaciones Subterráneas

Para la determinación de las aportaciones subterráneas, se determinó el punto donde se inician las aportaciones subterráneas en cada crecida, a partir del gráfico logarítmico del caudal (Q) versus el tiempo (t), del cual se obtuvo una línea recta con dos quiebres donde el segundo punto de quiebre corresponde al caudal inicial (Q_0) o inicio de la aportación de las aguas subterráneas.

Sin embargo, y debido a que los métodos de separación sufren la desventaja de ser algo arbitrarios y un tanto inexactos (Linsley *et al*, 1988, citado por Núñez, 2005; Bedient y Huber, 2002) y buscando una mejor aproximación a la realidad, se procedió a realizar el “Planteamiento Modificado” establecido por Martínez (2004), que propone que el inicio de la curva de recesión se establezca a partir del tercer punto de quiebre de la curva de bajada.

4.6. Modelos Matemáticos Empleados

Estos consisten en 4 modelos, a saber, uno potencial y tres exponenciales en los cuales los parámetros utilizados son caudal inicial (Q_0), coeficiente de agotamiento (α), un parámetro particular del modelo exponencial dos (n), constante de Neper (e) y los tiempos t y t_0 , donde t_0 corresponde al tiempo inicial de los modelos. Con esto, los modelos empleados son:

- Modelo Potencial: $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$
- Modelo Exponencial 1: $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$
- Modelo Exponencial 2: $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$
- Modelo Exponencial 3: $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$

4.7. Determinación de los Tiempos Involucrados para el Ajuste

Las coordenadas para calcular los parámetros de los modelos pueden ser consideradas en distintos lapsos. Se consideraron 5 lapsos correspondientes a 48 horas, 72 horas, 168 horas, 240 horas y el total de horas de cada crecida debido a que existe la hipótesis que a mayor tiempo transcurrido desde la coordenada inicial (Q_0, t_0), el ajuste de cada modelo debería ser de mejor calidad (Martínez, 2004; Núñez, 2005). Así, las coordenadas para el lapso $t = 48$ horas sería (Q_0, t_0), (Q_{48}, t_{48}); para $t = 72$ horas, sería (Q_0, t_0), (Q_{72}, t_{72}), y así sucesivamente, para cada lapso escogido.

Cabe señalar que lo anteriormente expuesto se basa en que a partir del segundo punto de quiebre de la curva de bajada del hidrograma, existe la afluencia exclusiva de aguas subterráneas (Pizarro, 1993). Sin embargo, también se utilizó el “Planteamiento Modificado” realizado por Martínez (2004) el cual considera la afluencia exclusiva de aguas subterráneas desde el tercer punto de quiebre de la curva de bajada del hidrograma. Así, se espera tener una mejor aproximación y un mejor ajuste de los modelos debido a los buenos resultados obtenidos en el estudio realizado por Martínez (2004), donde se planteó el uso de este nuevo punto.

4.8. Determinación de los Parámetros de los Modelos

4.8.1. Determinación del coeficiente de agotamiento ()

Luego de determinados los tiempos (t) y calculada la información de entrada para cada curva recesiva, es posible obtener el coeficiente de agotamiento (). El procedimiento consideró la toma de dos coordenadas de caudal y tiempo distintos en la curva recesiva del hidrograma.

Para unificar criterios de selección de los caudales y homogeneizar el cálculo, se estableció como el punto de partida de los modelos utilizados el valor de Q_0 al tiempo t_0 de cada crecida seleccionada. Posteriormente, se procedió a determinar el segundo valor, es decir, el caudal Q_t al tiempo t , elemento necesario para el ajuste del parámetro .

El lapso “ t ” mencionado anteriormente corresponde a los tiempos establecidos para modelar cada una de las curvas recesivas de cada uno de los modelos expuestos, los cuales corresponden a los señalados en el punto 4.6. Así, una vez

despejado algebraicamente el valor de α , se obtuvieron cinco valores para cada crecida, para cada uno de los modelos y para ambos planteamientos.

4.8.2. Determinación del coeficiente adimensional (n)

Para determinar el coeficiente adimensional n , presente en el modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, se utilizó la metodología aplicada por Caro (2001), que consiste en construir un sistema de ecuaciones de acuerdo a dos valores distintos de caudal de la curva de agotamiento en un lapso definido (t), y -reemplazando estos valores en el modelo - se pudo obtener el coeficiente n , finalizando el ajuste matemático para los modelos expuestos.

Para el caso específico de este estudio, se consideró el dato recolectado más cercano al inicio de la curva recesiva para propiciar un sistema de ecuaciones con 2 incógnitas y 2 ecuaciones. Así, el valor utilizado para el ajuste de este parámetro fue el dato horario 12 horas, conjuntamente con su caudal asociado que, con los datos horarios planteados anteriormente (48, 72, 168, 240 y total de horas de cada crecida después del inicio de la curva recesiva), correspondería al caudal que permitiría completar el sistema. Es decir, se conoce el caudal de partida (Q_0) y se establecen valores de caudal y tiempo para (Q_{12}, t_{12}). Posteriormente se incluye una tercera coordenada, definida por los lapsos ya señalados (Q_{48}, t_{48}); (Q_{12}, t_{12}); (Q_{72}, t_{72}); y así sucesivamente.

4.9. Validación Estadística

La validación de los modelos se realizó a través de distintas pruebas e indicadores estadísticos no paramétricos o llamados sin distribución, en donde se verificó la calidad de los modelos ya planteados. Esta etapa, es una de las más importantes debido a que determinó cuál de los modelos se ajusta mejor a la realidad.

Estos test o pruebas estadísticas fueron empleadas para la simulación de datos obtenidos a continuación de los lapsos determinados en el punto 4.7. En este marco, se utilizaron los siguientes indicadores y pruebas estadísticas:

a. Test de concordancia de Bland y Altman (ACBA)

Este test determina si los modelos de estimación concuerdan lo suficiente para que puedan declararse intercambiables (Carrasco y Jover, 2004). En términos estadísticos, se procede a calcular las diferencias promedio (dp) entre el valor real y el estimado, cuya diferencia representa el error sistemático, mientras que la varianza de las diferencias (DS), mide la imprecisión. En este marco, se establecen los límites de concordancia del 95% (Carrasco y Jover, 2004; Núñez, 2005). Este límite de concordancia está definido por la expresión:

$$LC = dp \pm 2 \cdot DS$$

Así, la relación valor real versus valor estimado con un dp en valor absoluto lo más cercano a cero, será la de mejor ajuste. Si llegase a existir una igualdad o una mínima diferencia del valor dp , el mejor ajuste corresponderá al que presente un menor valor DS y sus límites de concordancia sean más estrechos (Bland y Altman,

1999, citado por Núñez, 2005).

Entonces, de no existir error sistemático, los puntos que representan el valor de la diferencia de los datos se distribuirán de forma aleatoria a uno y otro lado de la recta, lo que corresponde a la diferencia cero entre medidas (Moliner, 2001), como muestra la figura N°4.

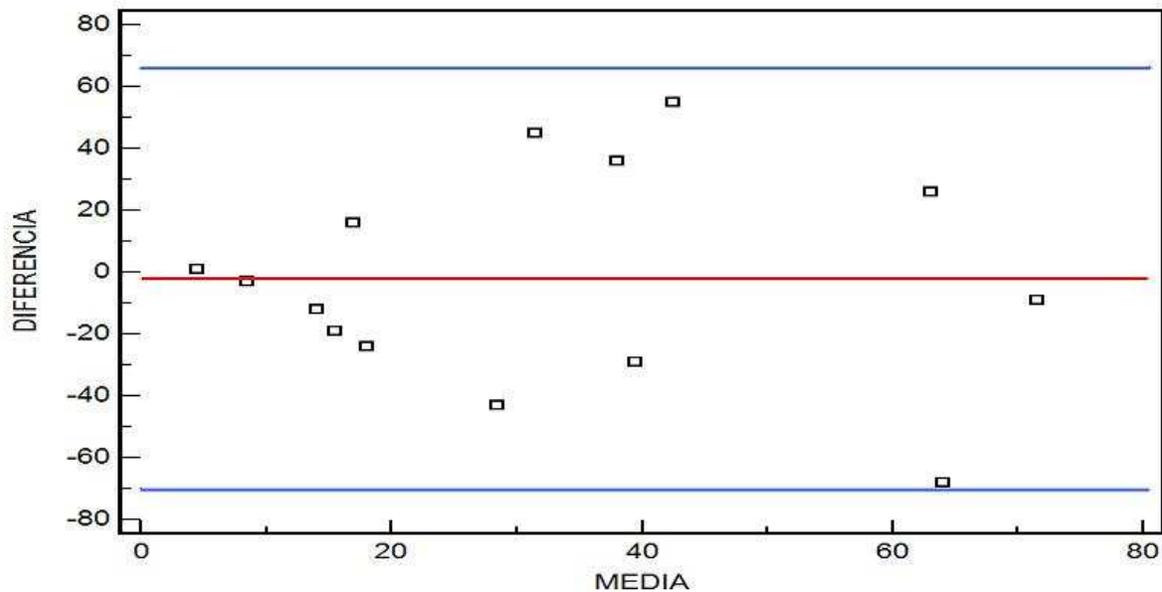


Figura N°4 . Ejemplo gráfico test concordancia de Bland y Altman.

Donde la línea de color rojo representa la media de las diferencias y las líneas azules representan los límites de confianza (superior e inferior).

b. Prueba U de Mann-Whitney

Esta prueba determina si dos muestras independientes provienen de la misma población (Montgomery y Runger, 1996; Mendenhall y Sincich, 1997). Así mismo, al

ser una prueba no paramétrica, no requiere de los supuestos de normalidad e igualdad de varianzas (Mason y Lind, 1995, citado por Farias, 2001). El procedimiento seguido fue el realizado por Farías (2001).

- i. Dadas dos muestras pequeñas (n_1 y $n_2 < 25$), de las variables R_1 y R_2 , se desea establecer si sus distribuciones corresponden a la misma población. Con esto, se establecen la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

H_0 : Las distribuciones de las variables R_1 y R_2 son idénticas.

H_a : Las distribuciones de las variables R_1 y R_2 no son idénticas.

- Se deben ordenar los datos de forma creciente o decreciente de la combinación de ambas variables.
- Se le asigna un valor ordinal de forma correlativa y ascendente a cada una de las variables o elementos ordenados, para posteriormente sumar los números asignados a cada variable.
- Se calcula el estadístico para muestras pequeñas ($n < 25$):

$$Ua = (n_1 \cdot n_2) + \frac{n_1 + n_2 + 1}{2} - R_1$$

Donde:

n_1 : Tamaño de la muestra R_1

n_2 : Tamaño de la muestra R_2

R_1 : Suma de los rangos para la muestra R_1

- Regla de decisión: se rechaza H_0 , a un nivel de significancia α , si:

$$Z \geq |Z\alpha|$$

Donde $Z\alpha$: Valor crítico obtenido de la tabla normal estándar, a un nivel de significancia de α del orden de 0,05.

- ii. Dadas dos muestras grandes (n_1 y $n_2 > 25$), de las variables R_1 y R_2 , se desea establecer si sus distribuciones corresponden a la misma población. Con esto, se establecen la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

H_0 : Las distribuciones de las variables R_1 y R_2 son idénticas.

H_a : Las distribuciones de las variables R_1 y R_2 no son idénticas.

- Se sigue el mismo procedimiento realizado para muestras pequeñas anteriormente descrito en el punto i y, posteriormente, se procede a calcular el estadístico de prueba para muestras grandes ($n > 25$). Como paso final, se procede a seguir la misma regla de decisión para muestras pequeñas. El estadístico para muestras grandes es el siguiente.

$$Z = \frac{R_1 - R_2 - (n_1 - n_2) \cdot \frac{n_1 + n_2 + 1}{2}}{\sqrt{n_1 \cdot n_2 \cdot \frac{n_1 + n_2 + 1}{3}}}$$

Donde:

R_2 : Suma de los rangos para la muestra R_2

c. Coeficiente de determinación (R^2)

Este coeficiente determina qué proporción de la variación total de los caudales observados (variable independiente), son explicados por los caudales modelados (variable dependiente). La forma de determinarla es la siguiente:

$$R^2 = 1 - \frac{(yi - \hat{y}i)^2}{(yi - \bar{y}i)^2}$$

Donde:

y_i : Caudales observados.

\bar{y}_i : Promedio de los caudales observados.

\hat{y}_i : Caudales modelados.

d. Error estándar de estimación (EEE)

Este estimador determinará la disparidad promedio entre los caudales observados y los estimados, donde los valores cercanos a cero indican que el modelo hace una buena descripción de los caudales de acuerdo a la fórmula del indicador.

$$EEE = \sqrt{\frac{(y - \hat{y})^2}{n - 2}}$$

Donde:

y : Caudales observados.

\hat{y} : Caudales modelados.

n : Número de datos de caudal

4.10. Presentación de Resultados

Debido a la gran cantidad de datos y cálculos realizados, en esta etapa se pretende mostrar de la forma más resumida, sencilla y clara los resultados obtenidos en base a tablas de datos, ecuaciones de los modelos y análisis de los mismos. Esto, para poder desarrollar un análisis adecuado considerando todos los factores propuestos y poder así elaborar una discusión acorde con los objetivos planteados.

4.11. Análisis y Discusión de Resultados

En base a los resultados obtenidos en la etapa anterior, se procedió a realizar el análisis y discusión de los resultados obtenidos, seleccionando los modelos que dieron mejores resultados en la modelación de los caudales recesivos tanto para el segundo como para el tercer punto de quiebre. Asimismo, se discutieron los métodos y resultados alcanzados.

4.12. Conclusiones y Recomendaciones

En función del análisis de los resultados, fue posible establecer las principales conclusiones y recomendaciones que se desprenden del estudio realizado.

4.13. Materiales y Equipos

En la elaboración de este estudio se utilizaron, fundamentalmente, los siguientes materiales y equipos:

- Información hidrológica proporcionada en su totalidad por la Dirección General de Aguas (DGA), VII Región, correspondiente a limnigramas y curvas de descarga de la Estación Estero Upeo, en Upeo, ubicada en la precordillera andina, VII Región de Chile.
- Equipos computacionales (PC, impresoras y escáner).
- Programas computacionales con velocidad y memoria RAM suficientes para desarrollar la calibración y validación de los modelos sin problemas y, para el manejo de los datos y su presentación final.

Planilla electrónica: Microsoft Excel 2003

Procesador de texto: Microsoft Word 2003

Software estadístico: SPSS v15

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se exponen los resultados obtenidos en cada una de las etapas anteriormente señaladas en la metodología, para los cuatro modelos propuestos que obtuvieron los mejores ajustes y en la totalidad de las 25 crecidas, seleccionadas entre los años hidrológicos 1971 – 2003. Sin embargo, es necesario señalar que con fines prácticos se omitieron los resultados de la etapa de la calibración, por no tener una mayor incidencia dentro del estudio, considerando que la etapa de la validación es la que determina finalmente la validez de los modelos propuestos.

5.1. Selección de las Crecidas y Determinación de los Parámetros Requeridos

De acuerdo a lo expuesto en el punto 4.4 de la metodología de trabajo, en las tablas N°1, N°2, N°3a, N°3b y N°4, que a continuación se presentan, se detalla la fecha de inicio de las 25 crecidas seleccionadas, junto con los parámetros requeridos para el ajuste de cada modelo propuesto, a saber, Q_0 , n y k cuando corresponda y, ello para los distintos lapsos de ajuste considerado. Éstos fueron determinados a partir del segundo punto de quiebre de la curva de bajada (planteamiento original). En las tablas N°5, N°6, N°7a, N°7b y N°8 se detalla en las mismas 25 crecidas seleccionadas, con la diferencia que los parámetros requeridos fueron determinados a partir del tercer punto de quiebre de la curva de bajada (planteamiento modificado).

Tabla N°1 : Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, segundo punto de quiebre (P.O.).

Crecida	Qo (m3/s)	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
21-08-1971	32,28	0,0054	0,0049	0,0044	0,0038	0,0011
21-12-1971	1,97	0,0014	0,0015	0,0020	0,0018	0,0010
16-03-1972	1,1	0,0053	0,0042	0,0007	0,0009	0,0007
16-11-1979	16,84	0,0051	0,0044	0,0031	0,0019	0,0007
29-10-1980	8,66	0,0011	0,0002	0,0001	0,0004	0,0005
29-12-1980	2,94	0,0054	0,0058	0,0048	0,0061	0,0007
14-09-1982	62,06	0,0083	0,0077	0,0059	0,0046	0,0040
04-10-1982	36,96	0,0057	0,0052	0,0035	0,0023	0,0022
05-08-1983	16	0,0040	0,0033	0,0019	0,0022	0,0005
28-11-1986	13,56	0,0055	0,0046	0,0030	0,0027	0,0014
04-11-1988	4,83	0,0018	0,0012	0,0010	0,0005	0,0004
29-03-1990	2,01	0,0035	0,0037	0,0027	0,0028	0,0022
12-10-1990	5,20	0,0026	0,0020	0,0008	0,0005	0,0009
25-12-1991	4,47	0,0033	0,0032	0,0025	0,0026	0,0003
05-04-1992	1,72	0,0027	0,0024	0,0018	0,0015	0,0013
19-11-1992	7,51	0,0022	0,0013	0,0017	0,0013	0,0007
03-12-1993	8,79	0,0071	0,0061	0,0033	0,0035	0,0012
23-09-1994	15,09	0,0017	0,0024	0,0017	0,0020	0,0015
22-03-1995	0,34	0,0004	0,0014	-0,0005	0,0000	0,0000
10-04-1995	0,85	0,0008	0,0008	0,0009	0,0006	0,0013
25-08-1996	15,36	0,0026	0,0018	0,0017	0,0020	0,0021
11-02-2000	3,05	0,0067	0,0063	0,0054	0,0056	0,0050
26-02-2000	2,26	0,0065	0,0044	0,0048	0,0038	0,0015
15-03-2002	4,77	0,0106	0,0088	0,0062	0,0054	0,0033
22-01-2003	4,04	0,0046	0,0034	0,0034	0,0039	0,0009

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original.

De la tabla N°1 se puede destacar la crecida del 15-03-2002 presenta el mayor valor del coeficiente de agotamiento que corresponde a 0,0106 para $t = 48$ horas. La crecida del 22-03-1995, denota el menor valor del coeficiente de agotamiento el cual corresponde a -0,0005 para $t = 168$ horas.

Tabla N°2 : Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, segundo punto de quiebre (P.O.).

Crecida	Qo (m3/s)	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
21-08-1971	32,28	0,0096	0,0084	0,0066	0,0054	0,0013
21-12-1971	1,97	0,0027	0,0028	0,0035	0,0030	0,0011
16-03-1972	1,1	0,0094	0,0073	0,0013	0,0016	0,0012
16-11-1979	16,84	0,0091	0,0076	0,0049	0,0031	0,0007
29-10-1980	8,66	0,0021	0,0005	0,0003	0,0007	0,0008
29-12-1980	2,94	0,0095	0,0097	0,0070	0,0076	0,0008
14-09-1982	62,06	0,0140	0,0122	0,0082	0,0062	0,0054
04-10-1982	36,96	0,0101	0,0089	0,0054	0,0037	0,0032
05-08-1983	16	0,0074	0,0059	0,0034	0,0035	0,0008
28-11-1986	13,56	0,0098	0,0080	0,0048	0,0041	0,0010
04-11-1988	4,83	0,0034	0,0023	0,0019	0,0010	0,0005
29-03-1990	2,01	0,0065	0,0066	0,0045	0,0043	0,0033
12-10-1990	5,20	0,0049	0,0038	0,0016	0,0010	0,0008
25-12-1991	4,47	0,0061	0,0058	0,0041	0,0040	0,0004
05-04-1992	1,72	0,0051	0,0045	0,0032	0,0026	0,0021
19-11-1992	7,51	0,0042	0,0024	0,0030	0,0023	0,0007
03-12-1993	8,79	0,0123	0,0101	0,0053	0,0051	0,0010
23-09-1994	15,09	0,0033	0,0045	0,0029	0,0033	0,0012
22-03-1995	0,34	0,0007	0,0026	-0,0011	0,0000	0,0000
10-04-1995	0,85	0,0015	0,0016	0,0017	0,0010	0,0021
25-08-1996	15,36	0,0049	0,0034	0,0030	0,0033	0,0009
11-02-2000	3,05	0,0116	0,0103	0,0077	0,0071	0,0060
26-02-2000	2,26	0,0114	0,0076	0,0071	0,0054	0,0018
15-03-2002	4,77	0,0172	0,0136	0,0085	0,0069	0,0040
22-01-2003	4,04	0,0084	0,0061	0,0054	0,0055	0,0009

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original.

De la tabla N°2 se puede destacar que, la crecida del 15-03-2002 presenta el mayor valor del coeficiente de agotamiento que corresponde a 0,0172 para $t = 48$ horas. La crecida del 22-03-1995, denota el menor valor del coeficiente de agotamiento el cual corresponde a -0,0011 para $t = 168$ horas.

Tabla N°3a : Parámetros Q_0 y $Q(t)$ para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo punto de quiebre (P.O.).

Crecida	Qo (m3/s)	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
21-08-1971	32,28	0,0214	0,0229	0,0237	0,0260	0,0407
21-12-1971	1,97	0,0024	0,0023	0,0019	0,0023	0,0040
16-03-1972	1,1	0,0545	0,0600	0,2118	0,1296	0,0893
16-11-1979	16,84	0,0247	0,0276	0,0325	0,0428	0,0467
29-10-1980	8,66	0,0226	0,1228	0,0817	0,0255	0,0139
29-12-1980	2,94	0,0656	0,0483	0,0485	0,0409	0,0822
14-09-1982	62,06	0,0531	0,0525	0,0582	0,0656	0,0707
04-10-1982	36,96	0,0331	0,0330	0,0410	0,0503	0,0481
05-08-1983	16	0,3531	0,2748	0,2267	0,1731	0,1992
28-11-1986	13,56	0,0344	0,0379	0,0458	0,0458	0,0505
04-11-1988	4,83	0,0159	0,0223	0,0172	0,0258	0,0168
29-03-1990	2,01	0,0052	0,0053	0,0080	0,0080	0,0095
12-10-1990	5,20	0,0060	0,0084	0,0164	0,0206	0,0121
25-12-1991	4,47	0,0880	0,0642	0,0558	0,0490	0,0875
05-04-1992	1,72	0,2453	0,3215	0,5381	0,6272	0,7534
19-11-1992	7,51	0,0023	0,0055	0,0038	0,0046	0,0067
03-12-1993	8,79	0,0539	0,0570	0,0761	0,0669	0,0806
23-09-1994	15,09	0,1435	0,0539	0,0506	0,0392	0,0374
22-03-1995	0,34	0,2534	0,0184	-0,1866	0,0000	0,0000
10-04-1995	0,85	0,1922	0,0854	0,0397	0,0497	0,0233
25-08-1996	15,36	0,0013	0,0026	0,0031	0,0028	0,0050
11-02-2000	3,05	0,0458	0,0439	0,0443	0,0425	0,0455
26-02-2000	2,26	0,1683	0,1996	0,1158	0,1233	0,1417
15-03-2002	4,77	0,0711	0,0799	0,0893	0,0927	0,1089
22-01-2003	4,04	0,0410	0,0509	0,0384	0,0337	0,0539

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original.

De la tabla N°3a se puede destacar que la crecida del 05-04-1992 presenta el mayor valor del coeficiente de agotamiento que corresponde a 0,7534 para = total de datos. La crecida del 22-03-1995, denota el menor valor del coeficiente de agotamiento el cual corresponde a -0,1866 para = 168 horas.

Tabla N°3b : Parámetros n y Q₀ para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo punto de quiebre (P.O.).

Crecida	Qo (m3/s)	n (48 hr)	n (72 hr)	n (168 hr)	n (240 hr)	n Total (*)
21-08-1971	32,28	0,7923	0,7645	0,7502	0,7133	0,5330
21-12-1971	1,97	1,0352	1,0468	1,1125	1,0501	0,8266
16-03-1972	1,1	0,5466	0,5077	0,0000	0,1977	0,3475
16-11-1979	16,84	0,7434	0,6988	0,6323	0,5216	0,4869
29-10-1980	8,66	0,3894	-0,2918	-0,1277	0,3414	0,5843
29-12-1980	2,94	0,5021	0,6254	0,6237	0,6916	0,4111
14-09-1982	62,06	0,6546	0,6593	0,6180	0,5696	0,5397
04-10-1982	36,96	0,6927	0,6933	0,6060	0,5240	0,5422
05-08-1983	16	0,0000	0,1009	0,1784	0,2868	0,2304
28-11-1986	13,56	0,6752	0,6363	0,5600	0,5601	0,5205
04-11-1988	4,83	0,6002	0,4644	0,5692	0,4056	0,5798
29-03-1990	2,01	1,0578	1,0514	0,8867	0,8861	0,8148
12-10-1990	5,20	0,9499	0,8122	0,5439	0,4522	0,6654
25-12-1991	4,47	0,3090	0,4362	0,4924	0,5444	0,3113
05-04-1992	1,72	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19-11-1992	7,51	1,1510	0,8063	0,9493	0,8749	0,7276
03-12-1993	8,79	0,6178	0,5955	0,4789	0,5309	0,4559
23-09-1994	15,09	0,0245	0,4181	0,4437	0,5464	0,5656
22-03-1995	0,34	-0,5129	0,5432	0,0000	0,0000	0,0000
10-04-1995	0,85	-0,2500	0,0767	0,3845	0,2942	0,5990
25-08-1996	15,36	1,3469	1,0632	0,9900	1,0289	0,8026
11-02-2000	3,05	0,6448	0,6616	0,6578	0,6743	0,6469
26-02-2000	2,26	0,3037	0,2350	0,4541	0,4288	0,3728
15-03-2002	4,77	0,6334	0,5865	0,5417	0,5265	0,4615
22-01-2003	4,04	0,5901	0,5029	0,6162	0,6693	0,4803

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original.

Para el caso del parámetro adimensional n, en la tabla N°3b se puede observar que, la crecida del 25-08-1996 presenta el mayor valor de este parámetro y corresponde a 1,3469 para = 48 horas. El menor valor se encuentra en la crecida del 22-03-1995, cuyo valor corresponde a -0,5129 para = 48 horas.

Tabla N° 4 : Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, segundo punto de quiebre (P.O.).

Crecida	Qo (m3/s)	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
21-08-1971	32,28	0,0331	0,0355	0,0427	0,0418	0,0259
21-12-1971	1,97	0,0094	0,0119	0,0225	0,0232	0,0238
16-03-1972	1,1	0,0326	0,0310	0,0082	0,0124	0,0163
16-11-1979	16,84	0,0317	0,0323	0,0320	0,0241	0,0210
29-10-1980	8,66	0,0074	0,0021	0,0016	0,0053	0,0123
29-12-1980	2,94	0,0330	0,0412	0,0457	0,0585	0,0204
14-09-1982	62,06	0,0483	0,0519	0,0533	0,0481	0,0441
04-10-1982	36,96	0,0349	0,0377	0,0353	0,0287	0,0309
05-08-1983	16	0,0255	0,0249	0,0218	0,0269	0,0144
28-11-1986	13,56	0,0339	0,0339	0,0311	0,0318	0,0298
04-11-1988	4,83	0,0117	0,0096	0,0123	0,0077	0,0163
29-03-1990	2,01	0,0226	0,0280	0,0289	0,0331	0,0291
12-10-1990	5,20	0,0171	0,0160	0,0103	0,0079	0,0233
25-12-1991	4,47	0,0210	0,0244	0,0268	0,0313	0,0103
05-04-1992	1,72	0,0177	0,0189	0,0208	0,0202	0,0199
19-11-1992	7,51	0,0145	0,0102	0,0192	0,0180	0,0210
03-12-1993	8,79	0,0425	0,0429	0,0342	0,0396	0,0282
23-09-1994	15,09	0,0114	0,0190	0,0190	0,0253	0,0314
22-03-1995	0,34	0,0025	0,0110	-0,0072	0,0000	0,0000
10-04-1995	0,85	0,0053	0,0070	0,0110	0,0080	0,0210
25-08-1996	15,36	0,0171	0,0145	0,0193	0,0258	0,0342
11-02-2000	3,05	0,0401	0,0438	0,0497	0,0553	0,0529
26-02-2000	2,26	0,0394	0,0321	0,0458	0,0417	0,0291
15-03-2002	4,77	0,0596	0,0578	0,0553	0,0536	0,0430
22-01-2003	4,04	0,0291	0,0258	0,0349	0,0426	0,0230

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original.

De la tabla N°4 se puede destacar que la crecida del 15-03-2002 presenta el mayor valor del coeficiente de agotamiento que corresponde a 0,0596 para $t = 48$ horas. La crecida del 22-03-1995, denota el menor valor del coeficiente de agotamiento el cual corresponde a -0,0072 para $t = 168$ horas.

Tabla N°5 : Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, tercer punto de quiebre (P.M.).

Crecida	Qo (m3/s)	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
21-08-1971	27,7	0,0043	0,0039	0,0038	0,0035	0,0010
21-12-1971	1,91	0,0007	0,0007	0,0017	0,0017	0,0009
16-03-1972	0,89	0,0035	0,0024	0,0000	0,0005	0,0005
16-11-1979	14,4	0,0040	0,0037	0,0030	0,0018	0,0006
29-10-1980	8,16	0,0004	-0,0002	0,0001	0,0002	0,0005
29-12-1980	2,34	0,0045	0,0037	0,0042	0,0065	0,0006
14-09-1982	47,36	0,0055	0,0055	0,0048	0,0032	0,0031
04-10-1982	30,72	0,0044	0,0044	0,0029	0,0021	0,0018
05-08-1983	11	0,0007	0,0008	0,0008	0,0012	0,0003
28-11-1986	11,28	0,0037	0,0034	0,0023	0,0021	0,0012
04-11-1988	4,5	0,0010	0,0008	0,0006	0,0004	0,0004
29-03-1990	1,87	0,0018	0,0012	0,0028	0,0025	0,0020
12-10-1990	4,88	0,0019	0,0018	0,0005	0,0003	0,0008
25-12-1991	3,69	0,0013	0,0018	0,0022	0,0016	0,0002
05-04-1992	1,72	0,0027	0,0024	0,0018	0,0016	0,0013
19-11-1992	7,21	0,0019	0,0010	0,0019	0,0011	0,0007
03-12-1993	6,84	0,0045	0,0043	0,0023	0,0025	0,0011
23-09-1994	12,96	0,0010	0,0009	0,0014	0,0019	0,0014
22-03-1995	0,32	0,0000	-0,0007	-0,0005	-0,0001	-0,0001
10-04-1995	0,77	0,0003	0,0001	0,0007	0,0004	0,0012
25-08-1996	14,80	0,0021	0,0014	0,0017	0,0021	0,0021
11-02-2000	2,43	0,0061	0,0050	0,0046	0,0046	0,0042
26-02-2000	1,58	0,0020	0,0022	0,0035	0,0025	0,0011
15-03-2002	3,38	0,0067	0,0061	0,0043	0,0043	0,0025
22-01-2003	3,38	0,0029	0,0022	0,0030	0,0034	0,0008

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.M.: Planteamiento modificado.

De la tabla N°5 se puede decir que, la crecida del 15-03-2002 presenta el mayor valor del coeficiente de agotamiento que corresponde a 0,0067 para $t = 48$ horas. La crecida del 22-03-1995, denota el menor valor del coeficiente de agotamiento el cual corresponde a -0,0007 para $t = 72$ horas.

Tabla N°6 : Parámetros α y Q_0 para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, tercer punto de quiebre (P.M.).

Crecida	Qo (m3/s)	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
21-08-1971	27,7	0,0078	0,0069	0,0059	0,0051	0,0012
21-12-1971	1,91	0,0014	0,0014	0,0030	0,0029	0,0010
16-03-1972	0,89	0,0065	0,0044	0,0000	0,0010	0,0009
16-11-1979	14,4	0,0074	0,0065	0,0048	0,0030	0,0007
29-10-1980	8,16	0,0009	-0,0003	0,0001	0,0004	0,0008
29-12-1980	2,34	0,0082	0,0066	0,0064	0,0078	0,0007
14-09-1982	47,36	0,0097	0,0093	0,0071	0,0047	0,0046
04-10-1982	30,72	0,0080	0,0077	0,0047	0,0034	0,0028
05-08-1983	11	0,0015	0,0015	0,0015	0,0022	0,0005
28-11-1986	11,28	0,0068	0,0061	0,0039	0,0035	0,0010
04-11-1988	4,5	0,0019	0,0016	0,0011	0,0008	0,0005
29-03-1990	1,87	0,0035	0,0023	0,0046	0,0040	0,0032
12-10-1990	4,88	0,0037	0,0033	0,0010	0,0005	0,0008
25-12-1991	3,69	0,0026	0,0035	0,0037	0,0027	0,0004
05-04-1992	1,72	0,0051	0,0045	0,0032	0,0027	0,0022
19-11-1992	7,21	0,0037	0,0019	0,0033	0,0020	0,0007
03-12-1993	6,84	0,0082	0,0075	0,0039	0,0040	0,0009
23-09-1994	12,96	0,0020	0,0018	0,0025	0,0031	0,0012
22-03-1995	0,32	0,0000	-0,0015	-0,0010	-0,0002	-0,0002
10-04-1995	0,77	0,0006	0,0002	0,0013	0,0008	0,0019
25-08-1996	14,80	0,0040	0,0027	0,0030	0,0034	0,0009
11-02-2000	2,43	0,0108	0,0086	0,0068	0,0062	0,0055
26-02-2000	1,58	0,0039	0,0041	0,0056	0,0039	0,0015
15-03-2002	3,38	0,0116	0,0101	0,0065	0,0059	0,0033
22-01-2003	3,38	0,0054	0,0041	0,0048	0,0050	0,0008

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.M.: Planteamiento modificado.

De la tabla N°6 se puede desprender que, la crecida del 15-03-2002 presenta el mayor valor del coeficiente de agotamiento que corresponde a 0,0116 para $t = 48$ horas. La crecida del 22-03-1995, denota el menor valor del coeficiente de agotamiento el cual corresponde a -0,0015 para $t = 72$ horas.

Tabla N°7a : Parámetros Q_0 y $Q(t)$ para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, tercer punto de quiebre (P.M.).

Crecida	Qo (m3/s)	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
21-08-1971	27,7	0,0134	0,0147	0,0148	0,0158	0,0270
21-12-1971	1,91	0,0649	0,0990	0,5117	0,6879	2,1168
16-03-1972	0,89	0,0074	0,0127	0,0000	0,0336	0,0229
16-11-1979	14,4	0,0553	0,0494	0,0446	0,0585	0,0598
29-10-1980	8,16	0,0426	-0,0242	0,0782	0,0200	0,0086
29-12-1980	2,34	0,0033	0,0051	0,0055	0,0047	0,0157
14-09-1982	47,36	0,0212	0,0201	0,0225	0,0293	0,0296
04-10-1982	30,72	0,0088	0,0093	0,0143	0,0175	0,0185
05-08-1983	11	0,0700	0,0389	0,0212	0,0133	0,0208
28-11-1986	11,28	0,0827	0,0684	0,0665	0,0616	0,0585
04-11-1988	4,5	0,0129	0,0123	0,0117	0,0137	0,0090
29-03-1990	1,87	0,1685	0,1685	0,0405	0,0400	0,0442
12-10-1990	4,88	0,0209	0,0189	0,0423	0,0568	0,0180
25-12-1991	3,69	0,1254	0,2489	0,6222	0,6592	0,7623
05-04-1992	1,72	0,0416	0,0370	0,0341	0,0344	0,0355
19-11-1992	7,21	0,1771	0,1401	0,5550	0,4793	2,3537
03-12-1993	6,84	0,0986	0,0779	0,0922	0,0766	0,0785
23-09-1994	12,96	0,1614	0,1020	0,0342	0,0249	0,0256
22-03-1995	0,32	0,0000	-0,0082	-0,0084	-0,0361	-0,0219
10-04-1995	0,77	0,2219	0,4400	0,0191	0,0256	0,0106
25-08-1996	14,80	0,0410	0,0499	0,0261	0,0210	0,0234
11-02-2000	2,43	0,0166	0,0213	0,0223	0,0226	0,0238
26-02-2000	1,58	0,1874	0,1013	0,0412	0,0494	0,0580
15-03-2002	3,38	0,0282	0,0301	0,0372	0,0364	0,0465
22-01-2003	3,38	0,0354	0,0395	0,0223	0,0198	0,0343

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.M.: Planteamiento modificado.

De la tabla N7a se puede desprender que, la crecida del 19-11-1992 presenta el mayor valor del coeficiente de agotamiento que corresponde a 2,3537 para = total de datos. La crecida del 22-03-1995, denota el menor valor del coeficiente de agotamiento el cual corresponde a -0,0361 para = 240 horas.

Tabla N°7b : Parámetros n y Q₀ para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, tercer punto de quiebre (P.M.).

Crecida	Qo (m3/s)	n (48 hr)	n (72 hr)	n (168 hr)	n (240 hr)	n Total (*)
21-08-1971	27,7	0,8619	0,8234	0,8197	0,7941	0,5788
21-12-1971	1,91	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
16-03-1972	0,89	0,9698	0,7504	0,0000	0,3590	0,5135
16-11-1979	14,4	0,4800	0,5259	0,5670	0,4578	0,4484
29-10-1980	8,16	0,0000	0,0000	-0,2448	0,3043	0,6446
29-12-1980	2,34	1,2356	1,0583	1,0300	1,0930	0,6071
14-09-1982	47,36	0,7986	0,8204	0,7750	0,6672	0,6641
04-10-1982	30,72	0,9754	0,9546	0,7817	0,7007	0,6789
05-08-1983	11	0,0000	0,2364	0,4812	0,6686	0,4880
28-11-1986	11,28	0,3563	0,4332	0,4444	0,4748	0,4956
04-11-1988	4,5	0,5075	0,5253	0,5479	0,4827	0,6499
29-03-1990	1,87	0,0000	0,0000	0,5734	0,5789	0,5387
12-10-1990	4,88	0,5550	0,5956	0,2707	0,1515	0,6144
25-12-1991	3,69	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
05-04-1992	1,72	0,4586	0,5058	0,5386	0,5346	0,5220
19-11-1992	7,21	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
03-12-1993	6,84	0,3579	0,4525	0,3849	0,4596	0,4497
23-09-1994	12,96	-0,1334	0,0513	0,4906	0,6188	0,6079
22-03-1995	0,32	0,0000	0,5938	0,5843	0,0000	0,2006
10-04-1995	0,77	-0,5113	-0,7868	0,4755	0,3572	0,7128
25-08-1996	14,80	0,3981	0,3185	0,5794	0,6669	0,6232
11-02-2000	2,43	0,8882	0,7874	0,7697	0,7638	0,7421
26-02-2000	1,58	0,0000	0,2474	0,6092	0,5367	0,4718
15-03-2002	3,38	0,7709	0,7442	0,6591	0,6674	0,5693
22-01-2003	3,38	0,5149	0,4710	0,7018	0,7483	0,5280

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.M.: Planteamiento modificado.

En la tabla N°7b se puede observar que la crecida del 29-12-1980 denota el mayor valor del coeficiente adimensional n y corresponde a 1,2356 para = 48 horas. El menor valor es obtenido por la crecida del 10-04-1995 y su valor es -0,7868 para = 72 horas.

Tabla N°8 : Parámetros Q_0 y $Q(t)$ para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, tercer punto de quiebre (P.M.).

Crecida	Qo (m3/s)	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
21-08-1971	27,7	0,0271	0,0293	0,0382	0,0396	0,0241
21-12-1971	1,91	0,0047	0,0058	0,0197	0,0222	0,0234
16-03-1972	0,89	0,0227	0,0185	0,0000	0,0078	0,0125
16-11-1979	14,4	0,0256	0,0276	0,0314	0,0232	0,0197
29-10-1980	8,16	0,0031	-0,0014	0,0009	0,0034	0,0114
29-12-1980	2,34	0,0283	0,0278	0,0414	0,0604	0,0182
14-09-1982	47,36	0,0336	0,0395	0,0459	0,0367	0,0366
04-10-1982	30,72	0,0279	0,0326	0,0303	0,0263	0,0265
05-08-1983	11	0,0051	0,0063	0,0096	0,0167	0,0096
28-11-1986	11,28	0,0237	0,0257	0,0250	0,0268	0,0282
04-11-1988	4,5	0,0066	0,0069	0,0074	0,0062	0,0158
29-03-1990	1,87	0,0122	0,0099	0,0295	0,0308	0,0276
12-10-1990	4,88	0,0129	0,0142	0,0065	0,0042	0,0228
25-12-1991	3,69	0,0091	0,0147	0,0240	0,0213	0,0083
05-04-1992	1,72	0,0177	0,0189	0,0208	0,0208	0,0202
19-11-1992	7,21	0,0128	0,0083	0,0214	0,0155	0,0207
03-12-1993	6,84	0,0284	0,0318	0,0256	0,0307	0,0261
23-09-1994	12,96	0,0070	0,0075	0,0163	0,0239	0,0300
22-03-1995	0,32	0,0000	-0,0062	-0,0065	-0,0012	-0,0019
10-04-1995	0,77	0,0022	0,0009	0,0084	0,0059	0,0187
25-08-1996	14,80	0,0138	0,0115	0,0196	0,0262	0,0340
11-02-2000	2,43	0,0373	0,0364	0,0443	0,0480	0,0474
26-02-2000	1,58	0,0135	0,0172	0,0361	0,0302	0,0238
15-03-2002	3,38	0,0402	0,0428	0,0420	0,0456	0,0355
22-01-2003	3,38	0,0188	0,0174	0,0313	0,0386	0,0214

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta. P.M.: Planteamiento modificado.

De la tabla N°8 se puede decir que, la crecida del 11-02-2000 presenta el mayor valor del coeficiente de agotamiento que corresponde a 0,0480 para $t = 240$ horas. La crecida del 22-03-1995, denota el menor valor del coeficiente de agotamiento el cual corresponde a -0,0065 para $t = 168$ horas.

En la tabla N°9, que a continuación se presenta, se puede observar que, para el planteamiento original, el mayor caudal inicial tiene un valor de 62,06 m³/s y corresponde a la crecida del 14-09-1982. La crecida del 22-03-1995, obtiene el menor caudal inicial y corresponde a 0,34 m³/s siendo este último un 0,5% del caudal inicial mayor. Para el planteamiento modificado, el mayor y menor caudal inicial corresponden a 47,36 m³/s y 0,32 m³/s respectivamente, siendo este último un 0,7% del caudal inicial mayor.

Tabla N°9: Caudal inicial Q₀ para las 25 crecidas seleccionadas, planteamiento original y planteamiento modificado.

Crecida	Q ₀ (m ³ /s)		: Q ₀ (PO)-Q ₀ (PM)/Q ₀ (PO)
	PO	PM	
21-08-1971	32,28	27,7	0,14
21-12-1971	1,97	1,91	0,03
16-03-1972	1,1	0,89	0,19
16-11-1979	16,84	14,4	0,14
29-10-1980	8,66	8,16	0,06
29-12-1980	2,94	2,34	0,20
14-09-1982	62,06	47,36	0,24
04-10-1982	36,96	30,72	0,17
05-08-1983	16	11	0,30
28-11-1986	13,56	11,28	0,17
04-11-1988	4,83	4,5	0,07
29-03-1990	2,01	1,87	0,07
12-10-1990	5,20	4,88	0,06
25-12-1991	4,47	3,69	0,17
05-04-1992	1,72	1,72	0,00
19-11-1992	7,51	7,21	0,04
03-12-1993	8,79	6,84	0,22
23-09-1994	15,09	12,96	0,14
22-03-1995	0,34	0,32	0,07
10-04-1995	0,85	0,77	0,10
25-08-1996	15,36	14,80	0,04
11-02-2000	3,05	2,43	0,20
26-02-2000	2,26	1,58	0,30
15-03-2002	4,77	3,38	0,29
22-01-2003	4,04	3,38	0,16
Promedio	10,906	9,054	0,14

PO.: Planteamiento original, PM.: Planteamiento modificado y : Variación proporcional de la diferencia entre caudales iniciales recesivos, con respecto al caudal inicial del planteamiento original.

El promedio de los caudales iniciales del planteamiento original es de 10,904 m³/s y, para el planteamiento modificado, es de 9,054 m³/s. Con esto, la diferencia entre ambos caudales iniciales promedio es de un 17%.

5.2. Validación de los Modelos

5.2.1. Análisis estadístico

A continuación se presenta la totalidad de los resultados obtenidos en la etapa de validación de los cuatro modelos propuestos, tanto para el segundo como para el tercer punto de quiebre.

5.2.1.1. Coeficiente de determinación (R^2)

En las tablas N°10, N°11, N°12 y N°13, se presenta en los distintos coeficientes de determinación (R^2), para los cuatro modelos propuestos y ajustados bajo los dos planteamientos utilizados en el presente estudio, así como también, para los cinco lapsos establecidos. Esto, con el fin de contrastar los resultados obtenidos, además de facilitar la lectura de datos.

Tabla N°10 : Coeficiente de determinación (R^2) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.								
02-08-1971	0,04	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21-12-1971	0,90	0,14	0,90	0,04	0,60	0,75	0,60	0,64	0,70	0,77
16-03-1972	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,74	0,50	0,24	0,58
16-11-1979	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,31	0,31
29-10-1980	0,00	0,73	0,28	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	0,79	0,74
29-12-1980	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14-09-1982	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,56	0,65
04-10-1982	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,18	0,29
05-08-1983	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28-11-1986	0,39	0,58	0,47	0,61	0,69	0,78	0,69	0,75	0,66	0,79
04-11-1988	0,42	0,82	0,74	0,90	0,80	0,94	0,83	0,66	0,76	0,79
29-03-1990	0,56	0,64	0,25	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,88	0,87
12-10-1990	0,59	0,73	0,72	0,75	0,63	0,00	0,00	0,00	0,77	0,78
25-12-1991	0,00	0,22	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05-04-1992	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,61
19-11-1992	0,24	0,34	0,75	0,86	0,35	0,14	0,59	0,74	0,90	0,91
03-12-1993	0,18	0,38	0,22	0,32	0,64	0,78	0,43	0,62	0,22	0,57
23-09-1994	0,68	0,81	0,32	0,76	0,44	0,49	0,00	0,00	0,78	0,78
22-03-1995	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10-04-1995	0,65	0,00	0,70	0,00	0,47	0,29	0,00	0,00	0,74	0,61
25-08-1996	0,64	0,75	0,81	0,89	0,79	0,76	0,61	0,58	0,79	0,78
11-02-2000	0,90	0,79	0,92	0,94	0,65	0,50	0,00	0,20	0,92	0,96
26-02-2000	0,00	0,78	0,22	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
15-03-2002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
22-01-2003	0,59	0,76	0,72	0,75	0,25	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio	0,27	0,36	0,32	0,32	0,27	0,23	0,20	0,22	0,44	0,49

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

En la tabla N°10 se puede observar que, los mayores valores promedio de R^2 se encuentran concentrados en el P.M. cuyo valor máximo promedio se encuentra en = total de datos, el cual corresponde al 49%. En = 240 horas, se observa el menor valor promedio del P.M. con un valor de 22%.

Tabla N°11 : Coeficiente de determinación (R^2) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.								
02-08-1971	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21-12-1971	0,64	0,54	0,54	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,21
16-03-1972	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,57	0,68	0,07	0,56
16-11-1979	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,29
29-10-1980	0,00	0,71	0,36	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,81	0,76
29-12-1980	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14-09-1982	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,41
04-10-1982	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05-08-1983	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28-11-1986	0,00	0,14	0,00	0,15	0,13	0,29	0,07	0,20	0,00	0,00
04-11-1988	0,00	0,50	0,35	0,64	0,45	0,87	0,91	0,89	0,33	0,43
29-03-1990	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,80
12-10-1990	0,28	0,47	0,45	0,52	0,74	0,36	0,00	0,00	0,19	0,26
25-12-1991	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05-04-1992	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	0,45
19-11-1992	0,00	0,00	0,25	0,48	0,00	0,00	0,02	0,27	0,57	0,61
03-12-1993	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00
23-09-1994	0,10	0,47	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,68
22-03-1995	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10-04-1995	0,75	0,00	0,79	0,00	0,59	0,38	0,00	0,00	0,82	0,70
25-08-1996	0,30	0,42	0,48	0,61	0,40	0,37	0,19	0,17	0,60	0,63
11-02-2000	0,26	0,06	0,24	0,47	0,12	0,01	0,00	0,00	0,66	0,80
26-02-2000	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15-03-2002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22-01-2003	0,15	0,39	0,28	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio	0,10	0,19	0,15	0,17	0,12	0,10	0,09	0,08	0,26	0,30

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

En la tabla N°11 se puede observar que, los mayores valores promedio de R^2 se encuentran concentrados en el P.M. cuyo valor máximo promedio se encuentra en = total de datos, el cual corresponde al 30%. En = 240 horas, se observa el menor valor promedio del P.M. con un valor de 8%.

Tabla N°12 : Coeficiente de determinación (R^2) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.								
02-08-1971	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,28
21-12-1971	0,57	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00
16-03-1972	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,52
16-11-1979	0,00	0,13	0,00	0,02	0,00	0,00	0,17	0,16	0,26	0,21
29-10-1980	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	0,54
29-12-1980	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
14-09-1982	0,57	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,91	0,84
04-10-1982	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00	0,81	0,65
05-08-1983	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28-11-1986	0,55	0,00	0,67	0,51	0,89	0,44	0,85	0,72	0,93	0,95
04-11-1988	0,90	0,00	0,00	0,00	0,73	0,00	0,00	0,00	0,85	0,83
29-03-1990	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,89	0,83
12-10-1990	0,36	0,40	0,71	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77	0,80
25-12-1991	0,00	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05-04-1992	0,00	0,42	0,00	0,78	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	0,96
19-11-1992	0,00	0,00	0,83	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,90	0,00
03-12-1993	0,43	0,00	0,48	0,93	0,95	0,00	0,69	0,91	0,93	0,95
23-09-1994	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,63	0,34	0,80	0,78
22-03-1995	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
10-04-1995	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,39
25-08-1996	0,02	0,00	0,40	0,00	0,42	0,93	0,17	0,64	0,91	0,92
11-02-2000	0,92	0,50	0,94	0,93	0,60	0,47	0,00	0,00	0,98	0,97
26-02-2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,47	0,53	0,90	0,85
15-03-2002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,56
22-01-2003	0,81	0,00	0,27	0,00	0,30	0,04	0,00	0,00	0,42	0,34
Promedio	0,21	0,08	0,19	0,15	0,16	0,11	0,15	0,16	0,58	0,53

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

De la tabla N°12 se puede desprender que, los mayor es valores promedio de R^2 se concentran en el P.O. Así, el valor máximo promedio se encuentra en = total de datos, el cual corresponde a 58%. En = 240 horas, se observa el menor valor promedio del P.O. con un valor de 15%.

Tabla N°13 : Coeficiente de determinación (R^2) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.								
02-08-1971	0,63	0,44	0,56	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,56
21-12-1971	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,42	0,69	0,62	0,92	0,91
16-03-1972	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,51
16-11-1979	0,04	0,11	0,02	0,96	0,01	0,00	0,18	0,14	0,27	0,24
29-10-1980	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,35
29-12-1980	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14-09-1982	0,87	0,27	0,77	0,67	0,00	0,00	0,00	0,99	0,94	0,93
04-10-1982	0,27	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00	0,86	0,85
05-08-1983	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28-11-1986	0,94	0,79	0,93	0,87	0,90	0,74	0,87	0,80	0,95	0,95
04-11-1988	0,43	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,86	0,84
29-03-1990	0,54	0,00	0,71	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,82	0,80
12-10-1990	0,50	0,00	0,33	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	0,80
25-12-1991	0,13	0,00	0,22	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
05-04-1992	0,79	0,66	0,85	0,76	0,53	0,53	0,00	0,00	0,93	0,96
19-11-1992	0,63	0,41	0,00	0,00	0,86	0,80	0,83	0,67	0,89	0,88
03-12-1993	0,81	0,95	0,78	0,94	0,94	0,83	0,76	0,92	0,85	0,93
23-09-1994	0,00	0,00	0,65	0,00	0,43	0,33	0,73	0,70	0,71	0,62
22-03-1995	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10-04-1995	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00
25-08-1996	0,59	0,00	0,05	0,00	0,70	0,75	0,89	0,87	0,76	0,75
11-02-2000	0,42	0,65	0,54	0,30	0,24	0,06	0,00	0,44	0,96	0,91
26-02-2000	0,88	0,00	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,65	0,83
15-03-2002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,61
22-01-2003	0,68	0,00	0,24	0,00	0,57	0,58	0,06	0,14	0,34	0,43
Promedio	0,39	0,18	0,29	0,20	0,25	0,21	0,22	0,28	0,60	0,59

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

En la tabla N°13 se puede observar que, los mayores valores promedio de R^2 se encuentran concentrados en el P.O. cuyo valor máximo promedio se encuentra en = total de datos, el cual corresponde al 60%. En = 240 horas, se observa el menor valor promedio del P.O. con un valor de 22%.

En las tablas anteriormente presentadas se puede comentar que, las crecidas del 02-08-1971, 29-12-1980, 05-12-1983, 25-12-1991, 22-03-1995 y la del 15-03-2002 poseen en la gran mayoría de los modelos, como en ambos planteamientos, los valores del coeficiente de determinación más bajos. Inclusive, la crecida del 22-03-1995 en el 90% de los casos, no sobrepasa el valor 0%.

Cabe destacar las crecidas del 14-09-1982 y la del 11-02-2000, las que, en general, y para los cuatro modelos y planteamientos, poseen los más altos valores del coeficiente de determinación.

Así también, se puede señalar que, para todos los modelos, planteamientos y lapsos utilizados, su mínimo fue del 0%.

5.2.1.2. Error estándar de estimación (EEE)

Como fue mencionado anteriormente, este estadístico permite determinar la disparidad promedio o la diferencia observada entre los valores observados y los modelados en cada crecida, expresados en (m^3/s).

En las tablas N°14, N°15, N°16 y N°17, se presenta n los valores obtenidos para los cuatro modelos propuestos y planteados bajo la condición original del segundo punto de quiebre y también, en base a la condición modificada del tercer punto de quiebre de la curva de bajada.

Tabla N°14 : Error estándar de estimación para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.								
02-08-1971	3,694	3,337	3,459	3,142	3,363	3,248	3,177	3,232	7,578	6,445
21-12-1971	0,099	0,320	0,950	0,311	0,139	0,114	0,117	0,113	0,210	0,194
16-03-1972	0,444	0,405	0,409	0,333	0,108	0,363	0,044	0,056	0,150	0,105
16-11-1979	6,707	6,615	6,616	6,561	6,389	6,480	5,881	5,996	4,924	4,883
29-10-1980	2,028	0,852	1,385	4,355	2,229	2,329	1,000	1,393	0,752	0,841
29-12-1980	0,397	0,394	0,406	0,377	0,396	0,397	0,423	0,437	0,705	0,559
14-09-1982	5,600	3,497	5,107	3,818	3,920	4,152	2,882	-	8,477	5,740
04-10-1982	6,699	6,014	6,422	6,245	4,398	4,274	1,548	2,505	5,366	3,936
05-08-1983	8,946	6,082	8,675	6,205	7,858	6,543	8,386	7,864	4,579	4,467
28-11-1986	1,315	1,063	1,157	0,972	0,708	0,580	0,610	0,535	1,178	0,855
04-11-1988	0,786	0,432	0,515	0,324	0,418	0,236	0,362	0,504	0,528	0,490
29-03-1990	0,211	0,183	0,244	0,369	0,072	0,090	0,107	0,090	0,147	0,144
12-10-1990	0,676	0,542	0,510	0,499	0,545	0,931	0,987	1,673	0,539	0,521
25-12-1991	0,774	0,653	0,773	0,682	0,729	0,732	0,753	0,692	1,877	1,640
05-04-1992	0,271	0,252	0,229	0,211	0,139	0,126	0,096	0,102	0,129	0,150
19-11-1992	1,259	1,158	0,698	0,511	1,024	1,165	0,788	0,618	0,488	0,461
03-12-1993	0,850	0,713	0,780	0,689	0,445	0,338	0,488	0,391	1,079	0,692
23-09-1994	1,381	1,035	1,881	1,096	1,372	1,275	1,640	1,693	1,270	1,234
22-03-1995	0,064	0,045	0,152	0,126	0,130	0,083	0,020	0,023	0,033	0,036
10-04-1995	0,081	0,141	0,073	0,236	0,076	0,087	0,184	0,189	0,146	0,088
25-08-1996	1,472	1,215	1,027	0,772	0,942	0,987	1,179	1,222	1,228	1,223
11-02-2000	0,115	0,154	0,087	0,068	0,080	0,081	0,068	0,048	0,190	0,115
26-02-2000	0,275	0,107	0,189	0,111	0,220	0,209	0,172	0,134	0,412	0,248
15-03-2002	0,841	0,743	0,780	0,723	0,716	0,662	0,738	0,765	0,822	0,555
22-01-2003	0,297	0,217	0,225	0,198	0,228	0,224	0,256	0,253	0,805	0,683
Promedio	1,81	1,45	1,71	1,56	1,47	1,43	1,28	1,27	1,74	1,45

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

En la tabla N°14 se puede observar que, los menores valores promedio del EEE se presentan en el P.M. cuyo valor más bajo se encuentra en = 240 horas y corresponde a 1,27 m³/s. El valor más alto se encuentra en el P.O. para = 48 horas y corresponde a 1,81 m³/s.

Tabla N°15 : Error estándar de estimación para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.								
02-08-1971	5,236	4,778	4,913	4,494	4,493	4,316	4,178	4,163	10,264	8,529
21-12-1971	0,198	0,232	0,206	0,227	0,257	0,234	0,228	0,224	0,370	0,342
16-03-1972	0,517	0,475	0,485	0,399	0,084	0,363	0,057	0,045	0,166	0,108
16-11-1979	7,104	7,032	7,046	6,986	6,836	6,870	6,335	6,392	5,155	4,936
29-10-1980	2,554	0,882	1,295	4,260	2,201	2,321	0,903	1,337	0,711	0,790
29-12-1980	0,460	0,456	0,463	0,447	0,456	0,454	0,465	0,469	0,908	0,697
14-09-1982	9,818	6,597	8,741	6,537	5,633	5,338	3,514	-	11,521	7,472
04-10-1982	9,448	8,335	8,920	8,334	5,890	5,391	2,126	2,974	6,636	4,715
05-08-1983	9,806	6,691	9,629	6,810	8,875	7,088	9,261	8,487	4,545	4,383
28-11-1986	1,735	1,519	1,597	1,428	1,191	1,050	1,063	0,964	2,802	2,156
04-11-1988	1,055	0,723	0,814	0,601	0,695	0,343	0,251	0,286	0,891	0,807
29-03-1990	0,328	0,136	0,349	0,333	0,117	0,140	0,139	0,115	0,188	0,175
12-10-1990	0,890	0,751	0,752	0,698	0,454	0,700	0,754	1,443	1,021	0,952
25-12-1991	0,932	0,765	0,924	0,822	0,865	0,858	0,875	0,808	0,199	1,706
05-04-1992	0,384	0,362	0,325	0,304	0,188	0,171	0,120	0,123	0,158	0,179
19-11-1992	1,689	1,600	1,214	1,001	1,443	1,541	1,212	1,046	1,029	0,957
03-12-1993	1,068	0,956	1,007	0,925	0,737	0,631	0,730	0,640	2,036	1,448
23-09-1994	2,306	1,708	2,678	1,556	2,213	2,067	2,382	2,372	2,006	1,484
22-03-1995	0,066	0,045	0,162	0,112	0,124	0,079	0,020	0,023	0,033	0,035
10-04-1995	0,068	0,138	0,061	0,239	0,067	0,081	0,179	0,187	0,146	0,077
25-08-1996	2,051	1,851	1,706	1,458	1,570	1,591	1,700	1,717	1,703	1,604
11-02-2000	0,327	0,324	0,267	0,196	0,128	0,114	0,117	0,080	0,394	0,251
26-02-2000	0,381	0,206	0,313	0,216	0,315	0,294	0,270	0,222	0,566	0,332
15-03-2002	1,060	0,956	1,003	0,924	0,897	0,804	0,867	0,858	1,101	0,684
22-01-2003	0,428	0,346	0,358	0,303	0,341	0,331	0,348	0,341	1,173	0,968
Promedio	2,40	1,91	2,21	1,98	1,84	1,73	1,52	1,47	2,23	1,83

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

En la tabla N°15 se puede observar que, los menores valores promedio del EEE se presentan en el P.M. cuyo valor más bajo se encuentra en = 240 horas y corresponde a 1,47 m³/s. El valor más alto se encuentra en el P.O. para = 48 horas y corresponde a 2,40 m³/s.

Tabla N°16 : Error estándar de estimación para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.								
02-08-1971	4,057	4,023	3,768	3,664	3,792	3,845	3,507	3,734	4,404	4,237
21-12-1971	0,218	1,358	0,229	1,308	0,286	0,765	0,242	0,601	0,271	0,480
16-03-1972	0,316	0,466	0,275	0,294	0,359	0,363	0,201	0,151	0,115	0,113
16-11-1979	6,725	5,445	6,545	5,789	6,229	6,178	5,425	5,470	5,065	5,229
29-10-1980	1,487	2,393	2,953	2,862	3,022	2,759	1,890	2,084	1,092	1,109
29-12-1980	0,281	0,472	0,397	0,452	0,403	0,456	0,446	0,472	0,336	0,431
14-09-1982	3,601	3,439	4,019	4,362	3,480	4,356	2,611	-	3,826	3,902
04-10-1982	5,273	8,056	5,508	7,917	3,421	0,916	1,181	2,284	2,590	2,765
05-08-1983	4,415	4,231	4,154	4,178	4,701	5,115	6,385	7,373	4,970	4,832
28-11-1986	1,135	2,388	0,911	1,083	0,415	0,933	0,420	0,566	0,537	0,432
04-11-1988	0,328	1,467	1,292	1,340	0,486	1,184	1,799	1,682	0,414	0,445
29-03-1990	0,376	0,703	0,380	0,737	0,090	0,049	0,124	0,067	0,143	0,164
12-10-1990	0,841	0,803	0,551	0,578	1,414	2,857	2,202	3,425	0,548	0,496
25-12-1991	1,331	2,387	0,699	2,040	0,631	1,258	0,389	1,218	1,302	1,048
05-04-1992	0,391	0,119	0,313	0,063	0,136	0,056	0,087	0,070	0,351	0,048
19-11-1992	1,874	4,402	0,564	4,636	1,373	2,707	1,014	3,035	0,486	1,965
03-12-1993	0,710	0,995	0,637	0,212	0,172	0,731	0,361	0,189	0,309	0,221
23-09-1994	9,717	9,211	2,405	8,285	1,865	1,534	0,994	1,315	1,221	1,229
22-03-1995	0,036	0,045	0,112	0,057	0,068	0,057	0,020	0,024	0,033	0,033
10-04-1995	0,273	0,231	0,226	0,269	0,135	0,125	0,221	0,212	0,146	0,110
25-08-1996	2,431	4,421	1,835	6,602	1,552	0,535	1,731	1,122	0,800	0,738
11-02-2000	0,105	0,236	0,073	0,074	0,086	0,084	0,071	0,055	0,092	0,100
26-02-2000	0,299	0,877	0,513	0,554	0,118	0,173	0,073	0,067	0,111	0,114
15-03-2002	0,777	0,765	0,681	0,734	0,646	0,632	0,692	0,760	0,408	0,396
22-01-2003	0,201	0,500	0,361	0,705	0,220	0,246	0,283	0,296	0,451	0,443
Promedio	1,89	2,38	1,58	2,35	1,40	1,52	1,29	1,51	1,20	1,24

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

En la tabla N°16 se puede observar que, los menores valores promedio del EEE se presentan en el P.O. cuyo valor más bajo se encuentra en = total de datos y corresponde a 1,20 m³/s. El valor más alto se encuentra en el P.M. para = 48 horas y corresponde a 2,38 m³/s.

Tabla N°17 : Error estándar de estimación para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.								
02-08-1971	2,301	2,600	2,133	2,246	2,542	2,341	2,584	2,600	3,928	3,314
21-12-1971	0,674	0,986	0,526	0,895	0,117	0,173	0,103	0,109	0,109	0,124
16-03-1972	0,284	0,234	0,271	0,184	0,238	0,363	0,125	0,128	0,109	0,114
16-11-1979	5,737	5,533	5,796	5,682	5,867	6,006	5,387	5,532	5,044	5,130
29-10-1980	1,165	1,788	2,395	3,188	2,702	2,581	1,673	1,909	1,253	1,324
29-12-1980	0,280	0,250	0,321	0,249	0,352	0,345	0,414	0,431	0,436	0,345
14-09-1982	1,975	3,956	1,735	1,740	2,780	3,125	2,466	-	3,270	2,624
04-10-1982	2,300	1,876	2,929	2,856	2,751	2,773	1,183	1,939	2,235	1,779
05-08-1983	6,579	4,205	6,553	4,397	6,259	5,164	7,378	6,792	4,577	4,818
28-11-1986	0,403	0,756	0,406	0,566	0,407	0,632	0,392	0,487	0,470	0,430
04-11-1988	0,785	1,507	1,100	1,463	0,732	1,365	1,474	1,630	0,413	0,432
29-03-1990	0,216	0,466	0,152	0,570	0,085	0,046	0,070	0,059	0,180	0,178
12-10-1990	0,746	1,079	0,838	0,944	1,584	2,165	2,047	2,770	0,489	0,498
25-12-1991	0,707	1,304	0,634	0,839	0,632	0,622	0,664	0,646	1,517	1,378
05-04-1992	0,077	0,091	0,054	0,065	0,054	0,053	0,063	0,068	0,070	0,048
19-11-1992	0,886	1,094	1,752	2,130	0,477	0,563	0,513	0,706	0,527	0,541
03-12-1993	0,405	0,183	0,417	0,217	0,174	0,301	0,315	0,183	0,448	0,271
23-09-1994	3,810	4,923	1,358	4,662	1,387	1,463	0,855	0,892	1,467	1,619
22-03-1995	0,045	0,045	0,108	0,050	0,091	0,054	0,020	0,024	0,033	0,034
10-04-1995	0,191	0,195	0,165	0,255	0,122	0,123	0,210	0,207	0,146	0,143
25-08-1996	0,595	2,423	0,049	3,322	1,111	0,989	0,635	0,681	1,322	1,318
11-02-2000	0,292	0,197	0,209	0,226	0,119	0,111	0,048	0,037	0,145	0,173
26-02-2000	0,085	0,414	0,136	0,292	0,146	0,119	0,108	0,055	0,203	0,122
15-03-2002	0,582	0,432	0,574	0,483	0,619	0,548	0,681	0,709	0,447	0,371
22-01-2003	0,262	0,544	0,368	0,623	0,174	0,163	0,207	0,195	0,480	0,410
Promedio	1,26	1,48	1,24	1,53	1,26	1,29	1,18	1,20	1,17	1,10

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

En la tabla N°17 se puede observar que, los menores valores promedio del EEE se concentran en el P.O. Pero, el valor más bajo se encuentra en el P.M = total de datos y corresponde a 1,10 m³/s. El valor más alto se encuentra en el P.M. para = 72 horas y corresponde a 1,53 m³/s.

5.2.1.3. U de Mann-Whitney

Como se mencionó en la metodología, ésta es una prueba no paramétrica que busca comparar las medias muestrales, y definida para muestras independientes.

Los resultados obtenidos luego de haber aplicado el test no paramétrico U de Mann-Whitney, calculado con un nivel de significancia del 5% cuyo valor crítico de tabla corresponde a $Z= 1,645$, en cada una de las crecidas seleccionadas, para los cuatro modelos propuestos y planteados bajo la condición original y para la condición modificada, se presentan a continuación en las tablas N°18, N°19, N°20 y N°21.

Tabla N°18 : U de Mann-Whitney para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.
02-08-1971	-8,290	1,662	-8,172	2,473	5,445	6,773	5,581	5,762	-4,536	-4,727
21-12-1971	8,407	8,568	7,764	8,304	-8,181	-4,023	-2,984	-0,805	-1,857	-3,167
16-03-1972	17,604	17,207	17,233	16,995	16,133	16,654	12,907	13,577	-3,200	-2,721
16-11-1979	6,051	0,626	-3,068	-9,651	-7,481	-7,895	-2,562	-3,592	0,378	0,909
29-10-1980	14,647	14,627	15,133	13,987	15,161	15,412	16,754	17,271	-11,643	-11,326
29-12-1980	15,132	1,471	2,411	1,903	116,500	98,500	14,500	-	-2,252	-2,066
14-09-1982	4,072	3,944	4,255	4,404	3,875	4,082	1,472	165,500	-1,947	-1,696
04-10-1982	11,588	9,004	11,443	9,263	10,778	9,861	11,511	11,260	-0,212	3,351
05-08-1983	14,588	12,683	13,561	11,975	9,910	8,124	8,856	7,563	-3,512	-3,210
28-11-1986	13,938	7,437	9,427	4,697	7,627	-2,351	-7,243	-10,565	-9,817	-9,643
04-11-1988	2,076	-2,066	2,365	-3,611	0,410	1,299	73,500	54,000	-1,220	-1,272
29-03-1990	11,541	8,764	8,821	7,647	-6,866	-12,998	-13,572	-18,003	-6,339	-6,260
12-10-1990	10,395	3,550	10,431	7,200	9,115	9,324	10,042	6,706	-14,133	-13,902
25-12-1991	3,399	3,120	3,231	2,938	2,566	2,205	152,500	24,500	-1,492	-1,774
05-04-1992	12,498	11,612	6,477	3,506	10,627	12,145	8,117	5,850	-3,690	-3,623
19-11-1992	16,246	14,631	15,586	14,429	11,356	9,141	12,411	10,494	-6,708	-6,343
03-12-1993	4,459	0,936	8,783	-0,266	4,382	3,829	7,241	7,786	3,062	3,411
23-09-1994	16,690	4,014	5,995	-5,165	-4,959	-4,786	115,500	107,000	-0,218	2,210
22-03-1995	-1,104	-2,540	-0,821	-5,133	-1,183	-1,328	-3,231	-3,493	1,180	1,840
10-04-1995	5,124	-1,418	-10,652	-20,829	-7,043	-10,867	-8,427	-13,109	6,986	6,995
25-08-1996	4,962	1,356	-1,149	-4,032	-2,251	-1,720	0,721	1,379	1,516	1,503
11-02-2000	1,120	1,643	0,679	0,338	-0,153	-0,115	66,000	43,500	-0,925	-0,805
26-02-2000	8,005	2,241	6,062	2,993	7,799	7,742	6,683	5,563	-5,924	-5,317
15-03-2002	5,412	4,886	5,194	5,072	5,023	4,627	4,788	4,876	-1,650	-1,209
22-01-2003	12,611	9,830	10,326	7,106	10,890	10,771	12,614	12,511	-12,059	-11,926
Aceptadas	2	6	3	2	3	3	2	2	8	5

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado. Crecidas aceptadas se encuentran en negrita.

En la tabla N°18 se puede observar que, en general, en el P.O. se concentran la mayoría de las pruebas aceptadas para el test U de Mann-Whitney siendo en total de datos, en donde se obtienen la mayor cantidad de pruebas aceptadas. En 72 y 240 horas se observa la menor cantidad de pruebas aprobadas para el P.M.

Tabla N°19 : U de Mann-Whitney para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.
02-08-1971	-1,702	7,076	-1,412	7,549	9,214	10,040	9,195	9,311	-6,718	-6,948
21-12-1971	8,493	8,720	7,866	8,536	-8,181	-2,561	-1,705	0,805	-2,276	-3,705
16-03-1972	18,761	18,433	18,496	18,255	17,730	17,954	15,752	16,008	-6,879	-6,118
16-11-1979	6,625	1,684	-2,828	-9,650	-7,287	-7,868	-2,265	-3,487	-0,057	0,557
29-10-1980	15,939	15,824	16,205	15,395	16,111	16,149	16,958	17,289	-13,216	-12,747
29-12-1980	3,182	2,357	3,099	2,544	117,500	98,500	14,500	-	-2,757	-2,441
14-09-1982	4,498	4,290	4,547	4,695	4,192	4,185	2,050	167,500	-2,659	-2,189
04-10-1982	11,753	9,402	11,599	9,636	11,032	10,080	11,388	11,280	-1,321	2,801
05-08-1983	17,461	16,387	16,958	16,003	15,042	13,942	14,427	13,527	-8,654	-8,114
28-11-1986	17,669	13,761	15,052	12,153	13,830	7,875	4,470	0,934	-11,740	-11,441
04-11-1988	2,669	-0,986	3,194	-3,368	1,025	1,818	73,500	54,000	-1,600	-1,546
29-03-1990	15,948	14,434	14,536	13,811	5,428	-3,528	-3,883	-16,095	-9,643	-9,477
12-10-1990	12,610	8,068	12,613	10,357	11,646	11,581	12,100	9,824	-14,320	-14,039
25-12-1991	3,745	3,486	3,521	3,248	3,013	2,694	155,500	128,500	-1,900	-2,129
05-04-1992	15,352	15,076	12,140	10,319	14,449	15,281	12,922	11,529	-6,789	-6,649
19-11-1992	18,494	17,570	18,147	17,419	16,010	14,646	16,360	15,191	-10,941	-10,241
03-12-1993	11,119	7,175	13,333	5,677	10,927	10,197	12,396	12,520	-1,706	-0,990
23-09-1994	5,069	4,044	5,995	-5,165	-4,960	-4,786	115,500	107,000	-0,218	2,210
22-03-1995	-0,824	-2,458	-0,528	-5,115	-0,832	-1,297	-3,179	-3,492	0,718	1,598
10-04-1995	13,246	6,922	-9,694	-20,828	-5,120	-9,987	-7,475	-12,126	1,982	2,091
25-08-1996	20,689	19,207	17,966	15,596	17,010	17,261	18,533	18,747	-6,847	-6,765
11-02-2000	2,592	2,817	2,314	1,825	1,179	0,750	69,000	46,500	-1,738	-1,427
26-02-2000	9,236	5,100	7,905	5,505	8,827	8,602	8,029	7,044	-7,081	-6,237
15-03-2002	5,952	5,521	5,746	5,469	5,298	4,996	4,896	4,992	-2,863	-2,069
22-01-2003	15,476	13,836	14,263	12,327	14,355	14,110	15,089	14,912	-13,660	-13,391
Aceptadas	1	1	2	0	3	2	0	2	5	5

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado. Crecidas aceptadas se encuentran en negrita.

En la tabla N°19 no existen diferencias en las pruebas aceptadas para el test U de Mann-Whitney para ambos planteamientos, siendo en $n =$ total de datos, en donde se obtienen la mayor cantidad de pruebas aceptadas en ambos planteamientos. En $n = 72$ horas no se obtienen pruebas aprobadas para el P.M. y en $n = 240$ horas en el P.O.

Tabla N°20 : U de Mann-Whitney para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial $2 Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.
02-08-1971	-15,709	7,886	-15,613	8,369	-15,224	10,855	-14,727	9,709	10,229	-5,890
21-12-1971	8,493	7,765	7,373	7,454	-8,181	-8,100	-6,560	-7,431	0,004	0,279
16-03-1972	17,319	6,492	16,621	11,566	15,056	14,650	6,004	2,694	-0,745	0,686
16-11-1979	-1,805	-6,215	-8,791	-8,561	-9,365	-8,961	-5,248	-6,862	1,837	1,908
29-10-1980	7,470	16,471	14,058	15,571	14,740	16,590	16,822	17,289	-9,428	-10,692
29-12-1980	1,518	1,281	1,963	1,903	115,500	98,500	14,500	-	-1,670	-1,772
14-09-1982	3,400	4,290	3,816	4,560	3,559	4,047	0,260	160,500	-0,852	-1,014
04-10-1982	-7,832	-6,320	-2,499	-2,385	2,487	5,896	10,747	11,172	7,168	6,249
05-08-1983	13,350	-15,194	11,486	-11,169	4,337	-11,033	4,494	-7,969	-3,159	-2,156
28-11-1986	-5,334	-16,085	-15,386	-15,669	-10,171	-15,332	-18,357	-17,963	-8,750	-9,137
04-11-1988	2,933	-5,164	3,195	-5,140	1,025	0,144	73,500	54,000	-1,202	-0,403
29-03-1990	15,298	-12,807	10,175	-8,746	-14,128	-18,486	-18,324	-19,432	-6,926	-6,221
12-10-1990	-13,533	-15,854	-7,724	-15,572	0,172	-14,706	6,990	-14,689	-13,020	-11,302
25-12-1991	-5,838	-2,589	-5,578	-1,082	-4,391	0,622	71,500	108,500	5,287	-0,281
05-04-1992	16,882	-19,619	5,442	-19,844	13,917	-17,420	11,109	-18,843	-4,380	14,589
19-11-1992	14,491	-13,622	13,601	-3,738	0,660	-12,662	9,387	-1,956	-5,216	-4,404
03-12-1993	-18,022	-18,145	-10,874	-17,897	-8,419	-6,730	2,787	5,015	3,592	3,574
23-09-1994	1,211	4,044	5,918	-4,361	-4,684	-4,486	115,500	125,000	-0,218	1,012
22-03-1995	-6,531	-6,014	-5,337	-6,177	-2,788	-2,246	-3,641	-3,493	2,359	2,437
10-04-1995	14,095	-18,499	-19,870	-20,336	-14,159	-19,714	-15,251	-19,439	3,345	5,218
25-08-1996	-24,391	-22,286	-19,374	-25,425	-16,777	-7,661	-18,964	6,735	-4,498	-1,802
11-02-2000	-0,923	2,230	-0,427	0,419	-0,667	-0,115	66,000	45,500	-0,691	-0,741
26-02-2000	-8,473	-11,129	-10,424	-10,657	5,144	6,741	3,294	2,646	-3,578	-3,667
15-03-2002	4,949	4,804	4,544	4,751	4,675	4,395	4,599	4,876	-0,163	-0,134
22-01-2003	6,420	-12,820	-7,551	-15,205	9,182	10,689	12,919	13,396	-10,998	-11,089
Aceptadas	3	1	1	2	4	3	1	0	7	8

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado. Crecidas aceptadas se encuentran en negrita.

En la tabla N°20 no existen diferencias notorias en las pruebas aceptadas para el test U de Mann-Whitney para ambos planteamientos, siendo en $n =$ total de datos, en donde se obtienen la mayor cantidad de pruebas aceptadas para el P.M. En $n = 240$ horas no se obtienen pruebas aprobadas para el P.M.

Tabla N°21 : U de Mann-Whitney para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.
02-08-1971	-14,639	-13,399	-14,648	-12,729	-7,063	-4,967	-4,864	-4,330	-2,661	-2,988
21-12-1971	7,099	7,461	5,621	7,443	-8,181	-6,835	-5,895	-5,704	0,110	-1,113
16-03-1972	8,358	8,357	10,175	10,175	13,097	13,097	5,936	5,936	-0,261	-0,261
16-11-1979	-0,660	-3,860	-6,792	-9,027	-8,595	-8,216	-4,192	-5,477	2,299	2,579
29-10-1980	7,337	6,629	11,522	6,227	13,639	13,892	16,604	17,263	-10,352	-9,817
29-12-1980	-0,496	-2,705	0,585	-0,848	112,500	98,500	14,500	-	-1,505	-1,338
14-09-1982	11,550	0,657	2,516	2,852	3,306	3,496	0,144	149,500	-0,564	-0,049
04-10-1982	10,065	-217,00	1,095	1,649	9,614	6,289	11,145	11,036	2,938	6,130
05-08-1983	2,432	-9,076	2,505	-6,688	-0,962	-8,231	0,016	-5,045	-2,791	-2,192
28-11-1986	-12,391	-16,222	-14,404	-16,181	-12,463	-16,280	-17,130	-17,169	-7,999	-7,834
04-11-1988	-1,966	-4,061	-1,310	-4,531	-2,717	-0,491	73,500	54,000	-0,216	-0,210
29-03-1990	-12,249	-15,614	-13,484	-14,899	-17,197	-17,786	-18,138	-19,079	-4,907	-4,767
12-10-1990	-6,992	-13,375	-2,632	-10,442	0,714	0,411	5,608	-4,258	-13,539	-13,331
25-12-1991	-1,531	-1,949	-0,650	-1,103	0,637	0,169	127,500	107,500	0,056	-0,148
05-04-1992	-8,417	-9,166	-12,282	-14,529	-4,555	-0,416	-6,153	-8,082	-1,570	-1,462
19-11-1992	9,146	-1,146	9,422	3,321	2,765	-6,633	7,998	2,107	-5,939	-5,226
03-12-1993	-15,385	-16,210	-4,886	-16,311	-5,226	-6,239	1,662	2,387	4,637	5,167
23-09-1994	4,187	4,044	5,917	-4,175	-4,960	-4,786	115,500	107,000	-0,218	1,589
22-03-1995	-4,401	-4,162	-3,469	-5,591	-2,175	-2,151	-3,385	-3,492	2,873	3,155
10-04-1995	-7,000	-11,993	-17,546	-20,807	-14,108	-16,635	-14,953	-17,295	7,754	7,781
25-08-1996	-13,069	-16,099	-15,712	-19,239	-11,799	-11,315	-7,013	-6,480	0,293	0,343
11-02-2000	-2,592	-1,854	-2,163	-2,421	-1,897	-2,020	63,000	40,500	-0,043	0,183
26-02-2000	2,395	-9,570	-2,565	-8,587	5,942	5,368	4,744	1,752	-4,714	-3,859
15-03-2002	3,880	2,267	3,919	3,174	4,548	3,754	4,490	4,759	-0,467	0,420
22-01-2003	-2,956	-13,659	-7,884	-14,571	3,984	2,731	9,769	9,125	-11,154	-10,876
Aceptadas	3	2	4	2	3	4	2	0	11	11

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta., P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado. Crecidas aceptadas se encuentran en negrita.

En la tabla N°21 se puede observar que, en el P.O. se concentran la mayoría de las pruebas aceptadas para el test U de Mann-Whitney siendo en = total de datos, en donde se obtienen la mayor cantidad de pruebas aceptadas. En = 240 horas se observa la menor cantidad de pruebas aprobadas para el P.M.

5.2.1.4. Test de concordancia de Bland y Altman (ACBA)

Como se mencionó en la metodología, este método permite discriminar en cuánto difiere un modelo de simulación respecto a los datos reales. Para complementar y justificar el uso del presente test, cabe señalar que se escogió teniendo en consideración el hecho que tanto sus creadores como otros investigadores discrepan de la confiabilidad del Coeficiente de Determinación porque, si dos instrumentos miden sistemáticamente cantidades diferentes uno del otro, la correlación puede ser perfecta a pesar de que la concordancia sea nula (Pita y Pértegas, 1998, citado por Nuñez, 2005).

En las tablas N°22, N°23, N°24 y N°25, se encuentran los resultados obtenidos para \bar{dp} (diferencias promedio) en los cuatro modelos utilizados y para ambos planteamientos (planteamiento original y modificado). Asimismo, en las tablas N°26, N°27, N°28 y N°29, se encuentran los resultados para DS (varianza de las diferencias) para ambos planteamientos, las cuales se presentan a continuación.

Las tablas correspondientes a los límites de confianza del test ACBA de cada modelo se encuentran *in extenso* en el Apéndice I.

Tabla N°22 : Diferencias promedio (dp) test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.
02-08-1971	3,403	2,930	3,093	2,623	2,908	2,744	2,599	2,710	-5,928	-5,026
21-12-1971	-0,008	-0,287	0,012	-0,279	0,123	0,091	0,092	0,090	-0,166	-0,148
16-03-1972	0,413	0,378	0,383	0,310	-0,096	-0,333	-0,021	-0,046	-0,094	-0,031
16-11-1979	3,780	3,674	3,669	3,607	3,398	3,501	2,746	2,881	-0,314	0,019
29-10-1980	1,871	0,310	-0,944	-3,598	-1,901	-1,944	-0,602	-1,039	0,191	0,335
29-12-1980	0,342	0,341	0,359	0,309	0,341	0,345	0,385	0,403	-0,499	-0,399
14-09-1982	4,654	2,170	4,081	2,644	2,882	3,209	1,356	0,119	-6,991	-4,752
04-10-1982	5,529	4,834	5,256	5,178	3,526	3,504	1,024	1,941	-3,660	-2,469
05-08-1983	7,550	4,169	7,223	4,329	6,233	4,750	6,984	6,445	0,282	1,772
28-11-1986	1,071	0,881	0,957	0,810	0,570	0,433	0,463	0,374	-0,704	-0,527
04-11-1988	0,657	0,335	0,419	0,214	0,331	-0,059	-0,275	-0,427	-0,458	-0,410
29-03-1990	0,173	-0,136	0,209	-0,327	0,010	0,048	0,077	0,062	-0,088	-0,078
12-10-1990	0,482	0,352	0,352	0,302	-0,326	-0,776	-0,838	-1,579	-0,327	-0,299
25-12-1991	0,523	0,099	0,519	0,308	0,406	0,418	0,447	0,265	-1,700	-1,467
05-04-1992	0,234	0,208	0,195	0,171	0,108	0,091	0,044	0,044	-0,097	-0,119
19-11-1992	1,062	0,971	0,507	0,274	0,851	0,983	0,643	0,472	-0,291	-0,265
03-12-1993	0,693	0,595	0,644	0,579	0,383	0,282	0,423	0,339	-0,670	-0,495
23-09-1994	0,843	0,005	1,550	-0,312	0,825	0,752	1,244	1,332	0,535	0,705
22-03-1995	0,047	0,026	0,135	-0,097	-0,112	-0,068	-0,001	0,008	0,001	0,013
10-04-1995	-0,048	-0,098	-0,035	-0,169	-0,039	-0,047	-0,153	-0,160	0,043	0,064
25-08-1996	0,925	0,717	0,545	0,242	0,452	0,498	0,677	0,713	0,724	0,717
11-02-2000	0,083	0,133	0,052	0,021	-0,019	-0,016	0,046	0,023	-0,147	-0,088
26-02-2000	0,266	0,022	0,161	0,044	0,208	0,200	0,157	0,116	-0,336	-0,211
15-03-2002	0,709	0,585	0,626	0,558	0,533	0,467	0,568	0,606	-0,441	-0,219
22-01-2003	0,276	0,175	0,185	0,078	0,189	0,185	0,233	0,229	-0,635	-0,547
Promedio	1,421	0,936	1,206	0,713	0,871	0,770	0,733	0,637	-0,871	-0,557

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

De la tabla N°22 se puede desprender que, los valores más ajustados de las dp se encuentran en su totalidad en el P.M. cuyo mejor resultado se presenta en el = total de datos y corresponde a -0,557. El resultado menos satisfactorio es obtenido por el P.O. y corresponde a 1,421 para = 48 horas.

Tabla N°23 : Diferencias promedio (dp) test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.
02-08-1971	5,019	4,515	4,676	4,168	4,158	3,934	3,726	3,735	-8,253	-6,832
21-12-1971	0,152	-0,137	0,166	-0,130	0,241	0,216	0,325	0,206	-0,302	-0,278
16-03-1972	0,483	0,446	0,456	0,376	-0,066	-0,333	0,013	-0,030	-0,118	-0,043
16-11-1979	4,161	4,085	4,090	4,038	3,911	3,952	3,496	3,551	-1,640	-1,045
29-10-1980	2,394	0,500	-0,861	-3,525	-1,876	-1,937	-0,483	-0,985	0,060	0,228
29-12-1980	0,420	0,415	0,426	0,394	0,407	0,406	0,427	0,434	-0,698	-0,538
14-09-1982	8,471	4,974	7,296	5,008	4,212	4,108	1,647	0,220	-9,530	-6,196
04-10-1982	8,075	6,917	7,524	7,027	4,816	4,468	1,693	2,420	-4,845	-3,235
05-08-1983	8,472	4,876	8,226	5,032	7,313	5,399	7,912	7,147	-0,149	1,615
28-11-1986	1,365	1,240	1,287	1,185	1,012	0,906	0,911	0,834	-2,078	-1,631
04-11-1988	0,896	0,660	0,729	0,560	0,648	0,304	0,109	-0,071	-0,786	-0,704
29-03-1990	0,289	-0,075	0,314	-0,293	0,059	0,090	0,100	0,079	-0,139	-0,121
12-10-1990	0,699	0,609	0,610	0,570	0,071	-0,384	-0,434	-1,286	-0,778	-0,715
25-12-1991	0,743	0,398	0,733	0,565	0,633	0,626	0,645	0,494	-1,805	-1,528
05-04-1992	0,330	0,301	0,275	0,249	0,149	0,130	0,065	0,063	-0,125	-0,146
19-11-1992	1,436	1,367	1,035	0,834	1,255	1,336	1,088	0,946	-0,871	-0,813
03-12-1993	0,832	0,769	0,798	0,753	0,629	0,554	0,628	0,569	-1,542	-1,139
23-09-1994	1,847	1,075	2,319	0,764	1,733	1,615	1,980	2,001	-0,951	-0,531
22-03-1995	0,048	0,026	0,145	-0,086	-0,107	-0,065	-0,001	0,008	0,001	0,013
10-04-1995	-0,035	-0,095	-0,021	-0,169	-0,028	-0,041	-0,149	-0,159	0,027	0,052
25-08-1996	1,344	1,213	1,111	0,914	1,007	1,024	1,107	1,120	-1,068	-1,010
11-02-2000	0,283	0,292	0,225	0,156	0,068	0,049	0,084	0,050	-0,322	-0,208
26-02-2000	0,367	0,151	0,289	0,167	0,301	0,283	0,253	0,202	-0,474	-0,286
15-03-2002	0,943	0,807	0,862	0,764	0,715	0,612	0,701	0,705	-0,717	-0,371
22-01-2003	0,395	0,327	0,336	0,259	0,317	0,309	0,331	0,325	-0,952	-0,794
Promedio	1,977	1,426	1,722	1,183	1,263	1,102	1,047	0,903	-1,522	-1,050

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

De la tabla N°23 se puede desprender que los valores promedio más ajustados de las dp se encuentran en su totalidad en el P.M. cuyo mejor resultado se presenta en el = 240 horas y corresponde a 0,903. El resultado menos satisfactorio es obtenido por el P.O. y corresponde a 1,977 para = 48 horas.

Tabla N°24 : Diferencias promedio (dp) test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.
02-08-1971	3,697	3,617	3,311	3,103	3,316	3,345	2,883	3,206	-3,304	-3,165
21-12-1971	0,180	-1,306	0,196	-1,261	0,270	-0,726	0,222	-0,567	-0,219	0,278
16-03-1972	0,287	0,437	0,249	0,271	-0,327	-0,333	-0,185	-0,135	0,030	0,026
16-11-1979	3,829	1,797	3,650	2,550	3,276	3,143	1,729	1,492	0,758	1,170
29-10-1980	-0,738	-1,725	-2,403	-2,325	-2,608	-2,328	-1,490	-1,687	0,637	0,652
29-12-1980	0,099	0,440	0,333	0,402	0,343	0,408	0,408	0,436	-0,216	-0,303
14-09-1982	2,464	1,807	2,924	3,014	2,523	3,359	1,230	0,080	-3,054	-3,084
04-10-1982	3,955	6,647	4,287	6,639	2,640	3,467	0,199	1,696	-1,239	-1,428
05-08-1983	-1,513	-0,767	0,209	0,269	1,871	2,737	4,609	5,890	2,790	2,558
28-11-1986	0,977	-2,291	0,791	-0,958	0,183	-0,817	0,185	-0,389	-0,313	-0,070
04-11-1988	-0,100	-1,357	-1,189	-1,236	-0,341	-1,090	-1,712	-1,598	-0,247	-0,299
29-03-1990	0,333	-0,604	0,343	-0,648	0,031	-0,001	0,088	0,046	-0,075	0,041
12-10-1990	0,666	-0,630	0,401	-0,338	-1,314	-2,755	-2,142	-3,347	-0,314	-0,207
25-12-1991	-1,168	-2,258	-0,321	-1,904	0,019	-1,079	0,292	-1,046	-1,126	-0,677
05-04-1992	-0,339	-0,103	-0,268	-0,040	-0,104	0,014	-0,065	0,007	0,247	-0,010
19-11-1992	1,565	-4,149	0,392	-4,408	1,202	-2,387	0,913	-2,767	-0,342	1,254
03-12-1993	0,612	-0,953	0,558	-0,076	-0,018	-0,692	0,314	-0,037	-0,228	-0,092
23-09-1994	-9,376	-8,841	-2,231	-7,959	-1,702	-1,340	0,478	0,950	0,827	0,841
22-03-1995	0,008	0,026	0,099	-0,038	-0,060	-0,047	-0,001	0,010	0,001	0,005
10-04-1995	-0,223	-0,178	-0,178	-0,198	-0,096	-0,084	-0,184	-0,179	0,085	0,085
25-08-1996	1,546	-4,331	1,193	-6,478	0,996	-0,231	1,125	0,710	-0,337	0,344
11-02-2000	-0,078	0,210	-0,032	0,018	-0,033	-0,006	0,048	0,029	-0,063	-0,068
26-02-2000	-0,282	-0,836	-0,497	-0,533	0,105	0,163	0,054	0,042	-0,083	-0,075
15-03-2002	0,622	0,593	0,503	0,558	0,457	0,435	0,519	0,602	-0,048	-0,028
22-01-2003	0,083	-0,428	-0,260	-0,657	0,152	0,199	0,261	0,276	-0,369	-0,359
Promedio	0,284	-0,607	0,482	-0,489	0,431	0,134	0,391	0,149	-0,248	-0,104

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

De la tabla N°24 se puede desprender que, los valores promedio más ajustados de las dp se concentran en el P.M. El mejor resultado se presenta en el = total de datos y corresponde a -0,104 para el P.M. El resultado menos satisfactorio es obtenido por el P.M. y corresponde a -0,607 para = 48 horas.

Tabla N°25 : Diferencias promedio (dp) test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.	P.O.	P.M.
02-08-1971	-0,508	-1,356	0,142	-0,688	1,780	1,490	1,798	1,914	-2,876	-2,312
21-12-1971	-0,654	-0,955	-0,510	-0,871	-0,095	-0,156	-0,078	-0,086	-0,034	-0,018
16-03-1972	0,255	0,203	0,244	0,147	-0,218	-0,333	-0,115	-0,115	-0,013	0,028
16-11-1979	2,487	2,038	2,571	2,319	2,635	2,814	1,567	1,794	0,689	0,935
29-10-1980	-0,315	-1,113	-1,875	-2,623	-2,318	-2,165	-1,286	-1,526	0,785	0,872
29-12-1980	0,095	0,082	0,228	0,071	0,284	0,282	0,375	0,396	-0,299	-0,227
14-09-1982	-0,972	-3,406	0,435	-0,951	1,968	2,409	1,162	0,010	-2,390	-1,229
04-10-1982	0,657	0,225	1,782	1,960	2,019	2,130	0,123	1,209	-0,833	-0,179
05-08-1983	4,815	0,929	4,792	1,464	4,377	2,826	5,863	5,166	1,527	2,530
28-11-1986	0,137	-0,602	0,141	-0,363	-0,106	-0,466	-0,049	-0,270	-0,234	-0,084
04-11-1988	-0,661	-1,395	-1,000	-1,355	-0,607	-1,265	-1,400	-1,547	-0,129	-0,095
29-03-1990	-0,129	-0,396	-0,003	-0,503	-0,065	-0,017	0,050	0,040	0,061	0,058
12-10-1990	-0,554	-0,935	-0,668	-0,783	-1,490	-2,082	-1,986	-2,713	-0,057	-0,038
25-12-1991	-0,305	-1,133	-0,093	-0,554	0,036	0,051	0,228	-0,093	-1,357	-1,205
05-04-1992	-0,055	-0,075	-0,025	-0,043	0,018	0,005	-0,001	0,003	0,020	-0,002
19-11-1992	-0,749	-0,970	-1,665	-2,038	-0,068	0,231	-0,215	-0,523	0,166	0,181
03-12-1993	0,345	-0,050	0,357	0,120	0,047	-0,229	0,261	0,061	-0,340	-0,194
23-09-1994	-3,691	-4,761	-1,082	-4,521	-1,146	-1,258	0,189	0,325	1,114	1,252
22-03-1995	0,025	0,026	0,095	-0,031	-0,079	-0,044	-0,001	0,009	0,001	0,009
10-04-1995	-0,149	-0,144	-0,123	-0,184	-0,085	-0,082	-0,174	-0,175	0,103	0,115
25-08-1996	-1,482	-2,355	-2,252	-3,264	-1,021	-0,879	-0,006	0,080	0,769	0,767
11-02-2000	-0,262	-0,154	-0,181	-0,195	-0,084	-0,075	0,027	0,006	0,062	0,088
26-02-2000	0,041	-0,398	-0,099	-0,281	0,133	0,109	0,091	0,025	-0,175	-0,089
15-03-2002	0,398	0,187	0,380	0,271	0,427	0,338	0,507	0,544	-0,104	0,038
22-01-2003	-0,138	-0,479	-0,268	-0,565	0,021	0,002	0,165	0,149	-0,394	-0,330
Promedio	-0,055	-0,680	0,053	-0,538	0,254	0,145	0,284	0,187	-0,157	0,035

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

En la tabla N°25 se observa que, los valores promedio más ajustados de las dp se concentran en el P.O. El mejor resultado se presenta en el = total de datos y corresponde a 0,035 para el P.M. El resultado menos satisfactorio es obtenido por el P.M. y corresponde a -0,680 para = 48 horas.

Tabla N°26 : Desviación estándar (DS) de las diferencias promedio test Bland y Altman, para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.								
02-08-1971	1,317	1,513	1,453	1,662	1,598	1,657	1,749	1,673	4,597	3,929
21-12-1971	0,099	0,139	0,094	0,135	0,066	0,068	0,072	0,069	0,132	0,125
16-03-1972	0,144	0,128	0,124	0,107	0,047	0,126	0,039	0,031	0,115	0,100
16-11-1979	5,522	5,482	5,487	5,462	5,393	5,434	5,186	5,243	4,906	4,875
29-10-1980	0,708	0,786	0,993	2,353	1,100	1,219	0,782	0,896	0,722	0,764
29-12-1980	0,200	0,195	0,188	0,215	0,200	0,194	0,173	0,166	0,495	0,390
14-09-1982	2,598	2,555	2,600	2,480	2,026	1,736	1,182	0,168	4,184	2,780
04-10-1982	3,394	3,243	3,297	3,074	2,245	2,022	1,213	1,227	3,747	2,946
05-08-1983	4,662	4,370	4,675	4,382	4,674	4,423	4,498	4,375	4,550	4,075
28-11-1986	0,757	0,590	0,645	0,533	0,416	0,384	0,395	0,381	0,942	0,672
04-11-1988	0,429	0,272	0,297	0,243	0,255	0,228	0,235	0,267	0,259	0,267
29-03-1990	0,106	0,112	0,104	0,129	0,068	0,070	0,053	0,045	0,113	0,116
12-10-1990	0,471	0,411	0,408	0,397	0,435	0,510	0,515	0,535	0,428	0,425
25-12-1991	0,567	0,644	0,570	0,607	0,603	0,597	0,603	0,637	0,775	0,717
05-04-1992	0,118	0,126	0,106	0,112	0,077	0,077	0,079	0,084	0,079	0,085
19-11-1992	0,669	0,625	0,478	0,430	0,563	0,619	0,451	0,396	0,391	0,376
03-12-1993	0,490	0,390	0,436	0,370	0,225	0,185	0,241	0,195	0,766	0,482
23-09-1994	1,089	1,033	1,055	1,048	1,091	1,025	1,060	1,034	1,149	1,009
22-03-1995	0,042	0,035	0,055	0,075	0,053	0,040	0,019	0,020	0,033	0,033
10-04-1995	0,063	0,096	0,062	0,116	0,063	0,070	0,076	0,068	0,059	0,058
25-08-1996	1,142	0,979	0,869	0,732	0,826	0,851	0,964	0,991	0,991	0,990
11-02-2000	0,074	0,063	0,066	0,063	0,075	0,076	0,038	0,035	0,110	0,069
26-02-2000	0,058	0,105	0,096	0,101	0,064	0,054	0,064	0,063	0,233	0,126
15-03-2002	0,413	0,429	0,432	0,432	0,445	0,439	0,420	0,407	0,679	0,501
22-01-2003	0,108	0,128	0,128	0,182	0,128	0,125	0,106	0,106	0,492	0,405
Promedio	1,010	0,978	0,989	1,018	0,909	0,889	0,809	0,765	1,238	1,052

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

En la tabla N°26 se observa que el P.M. concentra los mejores resultados para la DS de las diferencias. Con esto, el mejor resultado promedio se encuentra en = 240 horas y corresponde a 0,765. El resultado menos satisfactorio se encuentra en el P.O. para = total de datos y su valor corresponde a 1,238.

Tabla N°27 : Desviación estándar (DS) de las diferencias promedio test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.								
02-08-1971	1,237	1,367	1,285	1,519	1,528	1,620	1,748	1,688	5,922	4,955
21-12-1971	0,126	0,186	0,120	0,186	0,083	0,087	0,102	0,086	0,210	0,198
16-03-1972	0,163	0,141	0,139	0,115	0,051	0,126	0,055	0,034	0,115	0,098
16-11-1979	5,737	5,704	5,717	5,681	5,586	5,599	5,265	5,296	4,877	4,815
29-10-1980	0,783	0,717	0,948	2,293	1,087	1,215	0,750	0,874	0,704	0,750
29-12-1980	0,183	0,185	0,176	0,210	0,202	0,201	0,181	0,174	0,575	0,439
14-09-1982	3,914	3,844	3,883	3,624	2,794	2,267	1,451	0,311	5,635	3,600
04-10-1982	4,282	4,138	4,185	3,889	2,846	2,457	1,344	1,233	4,288	3,269
05-08-1983	4,774	4,511	4,847	4,512	4,889	4,501	4,636	4,423	4,522	4,050
28-11-1986	1,063	0,870	0,938	0,789	0,621	0,526	0,542	0,478	1,868	1,401
04-11-1988	0,554	0,291	0,358	0,217	0,248	0,157	0,226	0,278	0,414	0,392
29-03-1990	0,126	0,109	0,113	0,121	0,095	0,095	0,069	0,057	0,118	0,119
12-10-1990	0,548	0,439	0,436	0,401	0,448	0,584	0,616	0,645	0,658	0,626
25-12-1991	0,556	0,651	0,557	0,592	0,583	0,581	0,586	0,635	0,815	0,739
05-04-1992	0,169	0,178	0,150	0,155	0,098	0,098	0,091	0,096	0,091	0,095
19-11-1992	0,880	0,822	0,628	0,548	0,702	0,758	0,526	0,438	0,543	0,500
03-12-1993	0,666	0,564	0,610	0,533	0,381	0,298	0,367	0,289	1,321	0,889
23-09-1994	1,367	1,322	1,318	1,351	1,363	1,278	1,308	1,255	1,761	1,382
22-03-1995	0,042	0,035	0,060	0,066	0,050	0,038	0,019	0,020	0,033	0,033
10-04-1995	0,057	0,094	0,056	0,115	0,059	0,067	0,075	0,067	0,054	0,054
25-08-1996	1,546	1,396	1,291	1,134	1,202	1,215	1,287	1,299	1,323	1,244
11-02-2000	0,137	0,104	0,120	0,105	0,100	0,096	0,058	0,047	0,205	0,126
26-02-2000	0,087	0,139	0,112	0,135	0,081	0,070	0,083	0,086	0,300	0,163
15-03-2002	0,422	0,466	0,460	0,475	0,492	0,480	0,443	0,414	0,810	0,561
22-01-2003	0,163	0,112	0,119	0,156	0,121	0,117	0,107	0,102	0,679	0,548
Promedio	1,183	1,135	1,145	1,157	1,028	0,981	0,877	0,813	1,514	1,242

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

En la tabla N°27 se observa que el P.M. concentra los mejores resultados para la DS de las diferencias. Así, el mejor resultado promedio se encuentra en = 240 horas y corresponde a 0,813. Por otro lado, el resultado menos satisfactorio se encuentra en el P.O. para = total de datos y su valor corresponde a 1,514.

Tabla N°28 : Desviación estándar (DS) de las diferencias promedio test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.								
02-08-1971	1,546	1,646	1,702	1,866	1,731	1,765	1,910	1,803	2,846	2,753
21-12-1971	0,121	0,345	0,117	0,317	0,088	0,227	0,091	0,189	0,157	0,390
16-03-1972	0,120	0,139	0,107	0,102	0,134	0,126	0,068	0,059	0,110	0,109
16-11-1979	5,510	5,128	5,415	5,184	5,281	5,302	5,131	5,251	4,999	5,087
29-10-1980	1,275	1,621	1,652	1,606	1,435	1,403	1,114	1,166	0,876	0,885
29-12-1980	0,262	0,168	0,214	0,203	0,209	0,200	0,178	0,174	0,257	0,305
14-09-1982	2,417	2,770	2,463	2,841	1,853	1,836	1,068	0,114	2,057	2,132
04-10-1982	3,250	4,067	3,165	3,763	1,906	2,021	1,217	1,239	2,215	2,299
05-08-1983	4,123	4,140	4,128	4,149	4,281	4,280	4,339	4,320	4,078	4,066
28-11-1986	0,571	0,646	0,445	0,498	0,373	0,445	0,376	0,409	0,435	0,425
04-11-1988	0,312	0,548	0,499	0,508	0,345	0,455	0,537	0,513	0,332	0,328
29-03-1990	0,137	0,300	0,118	0,273	0,081	0,047	0,061	0,033	0,118	0,156
12-10-1990	0,510	0,497	0,377	0,467	0,508	0,720	0,476	0,667	0,449	0,451
25-12-1991	0,624	0,736	0,619	0,704	0,629	0,634	0,622	0,612	0,641	0,795
05-04-1992	0,166	0,053	0,139	0,046	0,077	0,052	0,049	0,066	0,238	0,046
19-11-1992	1,021	1,425	0,404	1,380	0,656	1,257	0,434	1,219	0,345	1,507
03-12-1993	0,356	0,276	0,305	0,197	0,171	0,228	0,176	0,185	0,208	0,201
23-09-1994	2,388	2,439	0,872	2,166	0,742	0,734	0,869	0,902	0,894	0,891
22-03-1995	0,034	0,035	0,042	0,040	0,024	0,027	0,019	0,020	0,033	0,033
10-04-1995	0,142	0,136	0,128	0,131	0,086	0,086	0,091	0,077	0,068	0,066
25-08-1996	1,872	0,841	1,391	1,203	1,188	0,480	1,313	0,867	0,725	0,652
11-02-2000	0,065	0,084	0,063	0,069	0,075	0,080	0,039	0,038	0,064	0,070
26-02-2000	0,090	0,230	0,102	0,126	0,052	0,052	0,049	0,051	0,072	0,084
15-03-2002	0,435	0,455	0,435	0,448	0,429	0,433	0,412	0,405	0,400	0,390
22-01-2003	0,183	0,255	0,250	0,246	0,158	0,143	0,109	0,105	0,257	0,256
Promedio	1,101	1,159	1,006	1,141	0,900	0,921	0,830	0,819	0,915	0,975

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

En la tabla N°28 se observa que el P.O. concentra los mejores resultados para la DS de las diferencias. Sin embargo, el mejor resultado promedio se encuentra en = 240 horas para el P.M. y corresponde a 0,819. El resultado menos satisfactorio se encuentra en el P.M. para = 48 horas y su valor corresponde a 1,159.

Tabla N°29 : Desviación estándar (DS) de las diferencias promedio test Bland y Altman para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos: Modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, segundo y tercer punto de quiebre (P.O. y P.M. respectivamente).

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	P.O.	P.M.								
02-08-1971	2,228	2,192	2,114	2,121	1,775	1,773	1,812	1,709	2,619	2,330
21-12-1971	0,149	0,225	0,115	0,184	0,068	0,072	0,066	0,066	0,104	0,122
16-03-1972	0,116	0,110	0,107	0,106	0,084	0,126	0,040	0,050	0,108	0,109
16-11-1979	5,157	5,132	5,180	5,174	5,227	5,290	5,143	5,221	4,988	5,034
29-10-1980	1,112	1,375	1,443	1,738	1,308	1,333	1,028	1,096	0,935	0,979
29-12-1980	0,262	0,235	0,224	0,238	0,206	0,195	0,172	0,164	0,315	0,258
14-09-1982	1,640	1,565	1,619	1,364	1,550	1,319	1,007	0,015	2,058	2,231
04-10-1982	2,156	1,825	2,221	1,953	1,676	1,546	1,228	1,333	2,029	1,740
05-08-1983	4,413	4,079	4,398	4,121	4,404	4,280	4,367	4,315	4,290	4,067
28-11-1986	0,379	0,453	0,380	0,433	0,392	0,425	0,388	0,404	0,406	0,421
04-11-1988	0,420	0,559	0,451	0,542	0,406	0,503	0,449	0,498	0,392	0,421
29-03-1990	0,165	0,205	0,148	0,203	0,044	0,040	0,035	0,029	0,165	0,164
12-10-1990	0,497	0,536	0,502	0,522	0,521	0,567	0,465	0,504	0,484	0,496
25-12-1991	0,636	0,634	0,625	0,627	0,629	0,618	0,622	0,637	0,661	0,655
05-04-1992	0,051	0,048	0,047	0,046	0,049	0,051	0,060	0,064	0,066	0,047
19-11-1992	0,467	0,498	0,523	0,594	0,471	0,512	0,465	0,471	0,499	0,509
03-12-1993	0,210	0,176	0,213	0,181	0,167	0,194	0,175	0,172	0,291	0,188
23-09-1994	0,873	1,164	0,812	1,050	0,772	0,734	0,831	0,828	0,946	1,018
22-03-1995	0,036	0,035	0,041	0,038	0,033	0,026	0,019	0,020	0,033	0,033
10-04-1995	0,110	0,122	0,102	0,125	0,081	0,085	0,087	0,075	0,074	0,079
25-08-1996	0,508	0,550	0,526	0,581	0,432	0,451	0,634	0,675	1,073	1,069
11-02-2000	0,100	0,110	0,083	0,093	0,074	0,072	0,032	0,032	0,127	0,144
26-02-2000	0,075	0,098	0,092	0,070	0,057	0,044	0,056	0,048	0,101	0,082
15-03-2002	0,407	0,382	0,413	0,388	0,422	0,411	0,411	0,404	0,429	0,364
22-01-2003	0,221	0,253	0,250	0,255	0,172	0,163	0,124	0,125	0,272	0,242
Promedio	0,896	0,902	0,905	0,910	0,841	0,833	0,789	0,758	0,939	0,912

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, P.O.: Planteamiento original y P.M.: Planteamiento modificado.

De la tabla N°29 se puede desprender que, el P.M. concentra los mejores resultados para la DS de las diferencias. El mejor resultado promedio se encuentra en = 240 horas y corresponde a 0,758. El resultado menos satisfactorio se encuentra en el P.O. para = total de datos y su valor corresponde a 0,939.

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Análisis de Resultados

Dada la magnitud de la información obtenida en la etapa de validación estadística, el análisis de resultados se realizará sobre la base de las condiciones más particulares presentadas en cada uno de los modelos propuestos, y bajo los dos planteamientos, original y modificado, en relación al inicio de la curva recesiva.

6.2. Análisis de las Crecidas Seleccionadas

Para el análisis de las crecidas, se puede destacar que éstas se encuentran concentradas entre los meses de agosto y abril, en donde la crecida del 25-08-1996 es la que presenta la mayor cantidad de datos (horas), que corresponden a 5736 horas, las cuales equivalen a 239 días; en tanto, la crecida del 14-09-1982 presenta la menor cantidad de datos (horas), correspondientes a 264 horas, equivalentes a 11 días.

Por otro lado, de los resultados presentados en la tabla N°1, se deduce que el mayor caudal inicial observado corresponde a la crecida del 14-09-1982, cuyo valor es de 62,06 m³/s. Así también, la crecida del 22-03-1995, posee el menor valor de caudal inicial, el cual corresponde a 0,34 m³/s (ambos valores corresponden al planteamiento original o segundo punto de quiebre de la curva de bajada).

6.3. Análisis de los Caudales Modelados Bajo los Cuatro Modelos Propuestos y para Ambos Planteamientos

En los caudales estimados a partir de las 25 crecidas seleccionadas y modeladas, se puede observar que, los cuatro modelos analizados presentan una sobreestimación evidente en el lapso de las 48 horas y en ambos planteamientos. Esto se debe principalmente a que este lapso presenta la mayor pendiente con respecto a la curva de bajada del hidrograma, generando un aumento de los caudales modelados con respecto a los observados. Lo anterior puede visualizarse en la figura N°5 que a continuación se presenta, la que reproduce la misma situación al considerar los caudales medios para las 25 crecidas seleccionadas.

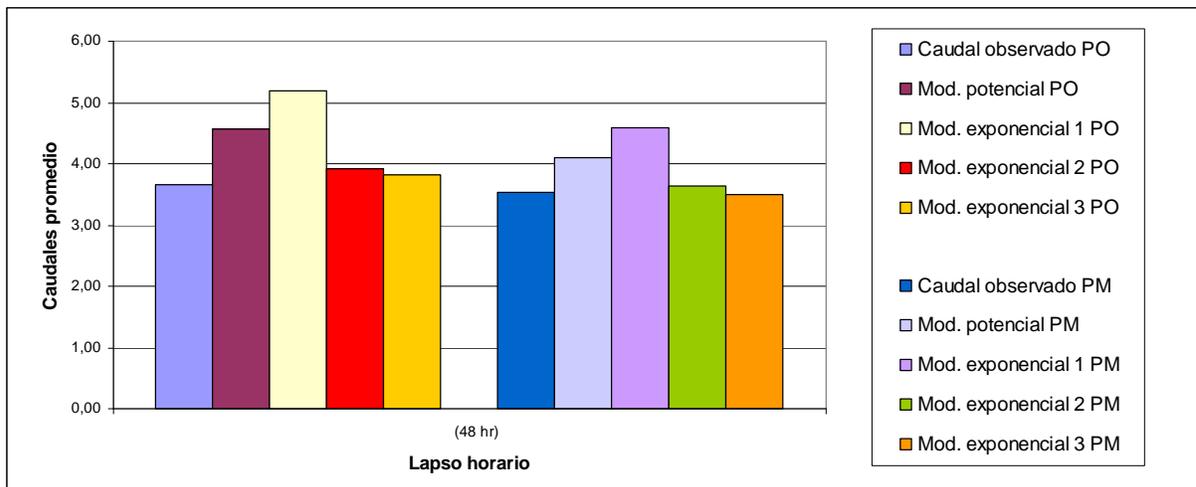


Figura N°5. Gráfico de los caudales promedio, (= 48 horas) para los cuatro modelos propuestos y ambos planteamientos.

Para el caso del modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ y el modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, en ambos planteamientos y en los lapsos de 72 y 168 horas, ambos no muestran una tendencia clara a sub o sobreestimar los caudales modelados. Esto puede observarse en la figura N°6, en donde, en ambos modelos antes mencionados en la crecida del 26-02-2000 para el lapso de 72 horas, se sobreestiman los caudales modelados, en cambio, en la del 28-11-1986 para el

mismo lapso, tienden a subestimar los caudales para el planteamiento original.

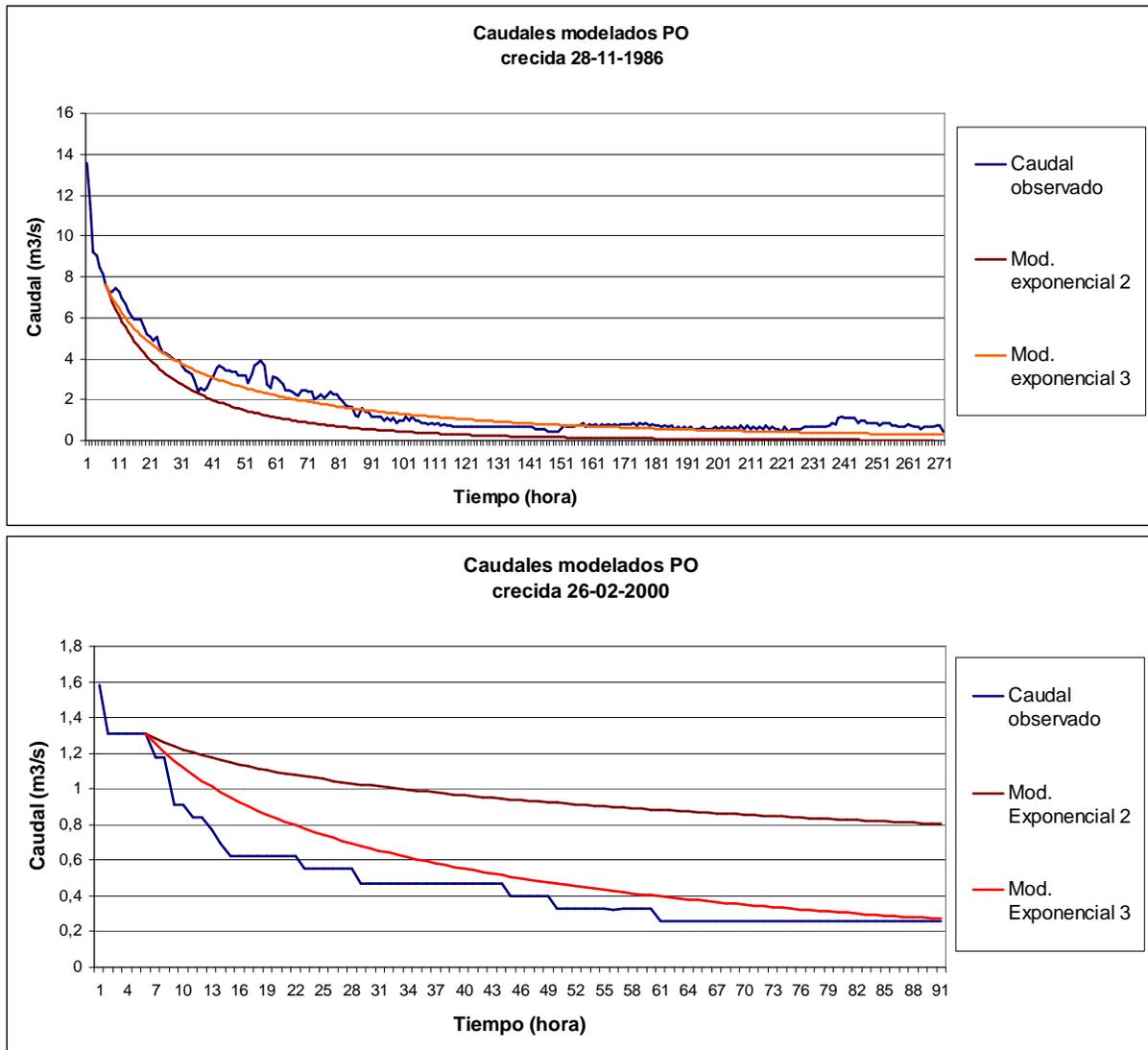


Figura N°6. Comportamiento de los caudales modelados, modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ y exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, crecida 26-02-2000 y 28-11-1986 para $\Delta t = 72$ horas, planteamiento original (PO).

Para los restantes modelos, el modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ y el modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$ y para los lapsos de 72 y 168 horas en ambos planteamientos, subestiman los caudales modelados con respecto a los observados. Como ejemplo, esto puede verse en la crecida del 26-02-2000, figura N°7.

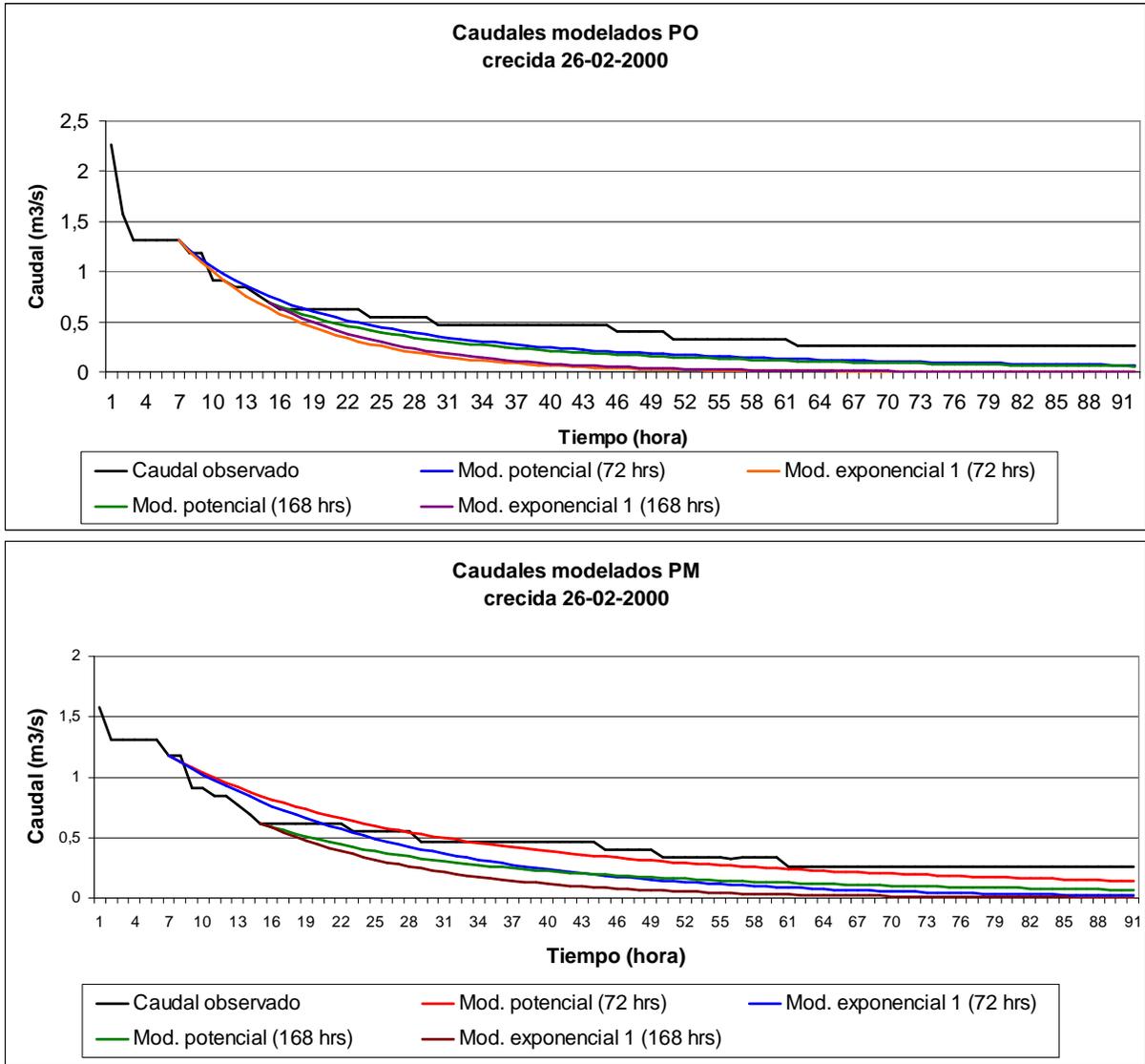


Figura N°7. Comportamiento de los caudales modelados, modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ y exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, crecida 26-02-2000 para $\alpha = 72$ y 168 horas, planteamientos original (PO) y modificado (PM).

Finalmente, se puede observar que los cuatro modelos propuestos presentan una subestimación para ambos planteamientos en los caudales promedios en los lapsos de 240 horas y al tiempo del total de datos. Esto puede deberse a que la pendiente se suaviza por los tiempos de estimación. El análisis anteriormente nombrado se puede observar, a modo de ejemplo, en las figuras N°8 y N°9, que se

presentan a continuación.

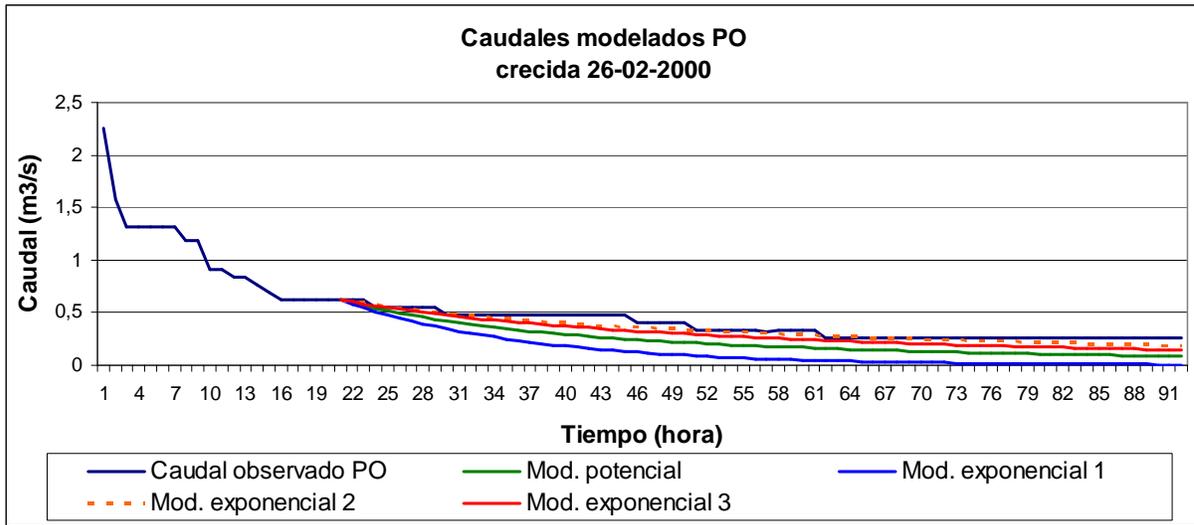


Figura N°8 . Comportamiento de los caudales modelados, para los cuatro modelos analizados, crecida 26-02-2000 para = 240 horas, planteamiento original (PO).

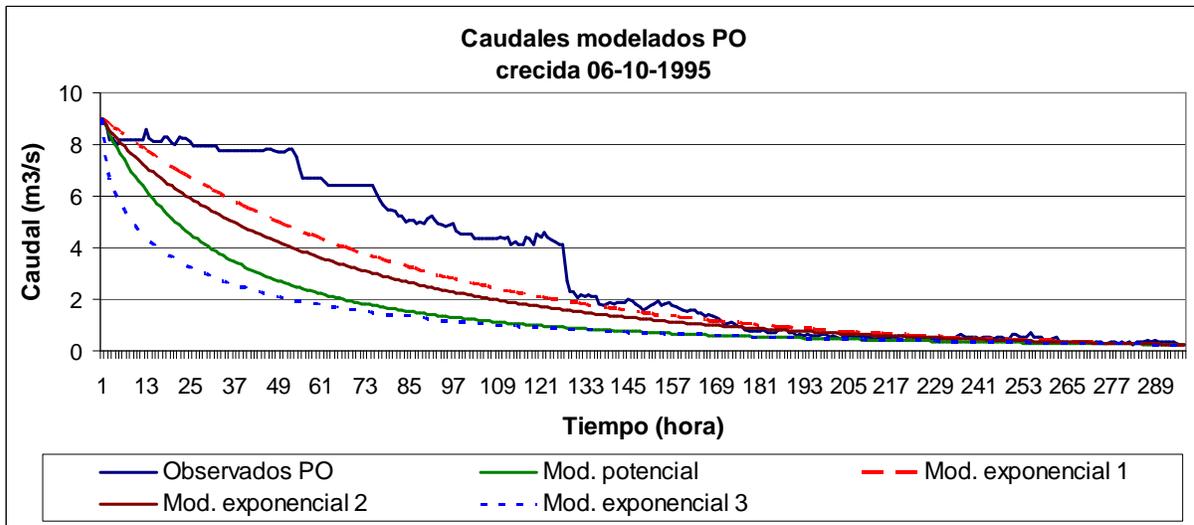


Figura N°9 . Comportamiento de los caudales modelados, para los cuatro modelos analizados, crecida 06-10-1995 para = total de datos, planteamiento original (PO).

En el Apéndice II, se pueden observar los valores de los caudales promedio *in extenso* de las simulaciones para cada modelo y planteamiento.

6.4. Análisis para el Coeficiente de Agotamiento ()

De los valores obtenidos para el coeficiente de agotamiento en las 25 crecidas seleccionadas y para los cuatro modelos propuestos, los cuales se observan desde la tabla N°1 hasta la tabla N°8, se puede desprender que los valores promedio de este coeficiente, disminuyen al pasar del planteamiento original al modificado lo que posiblemente se deba a que, al existir desplazamiento en el tiempo del planteamiento modificado, la pendiente es menor generando menores .

El valor del coeficiente de agotamiento va disminuyendo a medida que aumenta el tiempo de estimación, tanto en el modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ como en el modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, y para ambos planteamientos debido a que en sus fórmulas de cálculo, al aumentar el tiempo t el decrece. Como ejemplo se presenta la figura N°10 para la crecida del 12-10-1990.

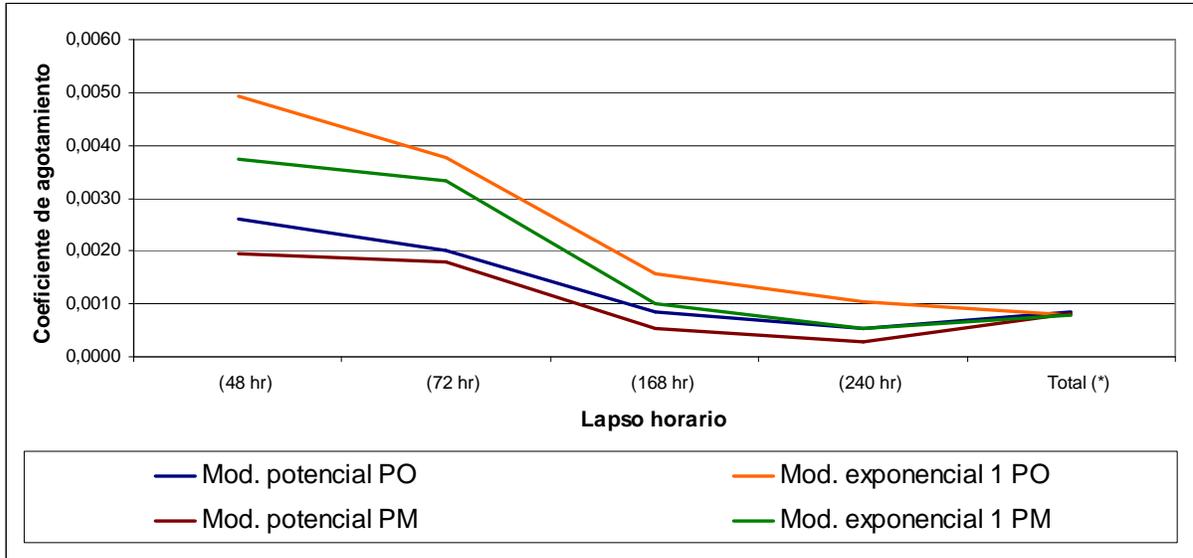


Figura N° 10. Comportamiento parámetro para la crecida del 12-10-1990, modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ y exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, ambos planteamientos.

Para el modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, el coeficiente de agotamiento va en aumento a medida que aumentan los tiempos de estimación y en ambos planteamientos. Esto se explica posiblemente ya que en su fórmula de cálculo, al estar elevado a "n" el tiempo t, disminuye el valor del mismo. Además, este modelo es el que posee los valores más altos en sus coeficientes en comparación con los otros tres modelos. En la figura N° 11 se puede apreciar lo expresado anteriormente.

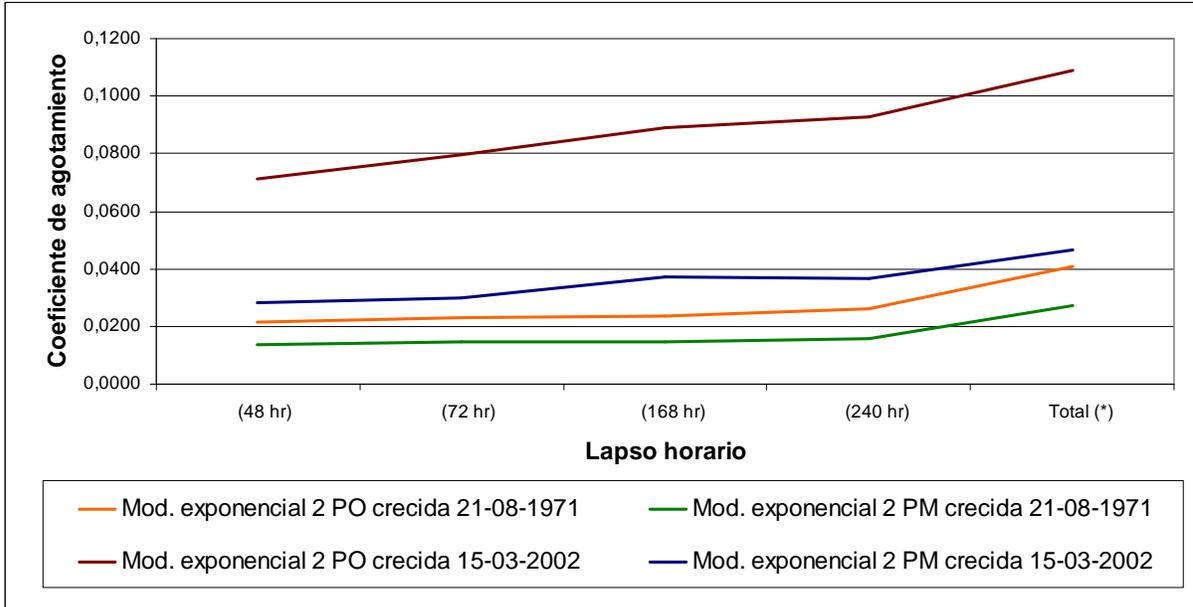


Figura N°11 . Comportamiento parámetro para la crecida del 21-08-1971 y 15-03-2002, modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, ambos planteamientos.

Finalmente, para el modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, se puede observar (figura N°12) que no denota una tendencia clara en sus coeficientes de agotamiento, pero denota una cierta estabilidad en sus valores (pendiente suavizada), por lo que, podría demostrar ser un buen modelo de ajuste.

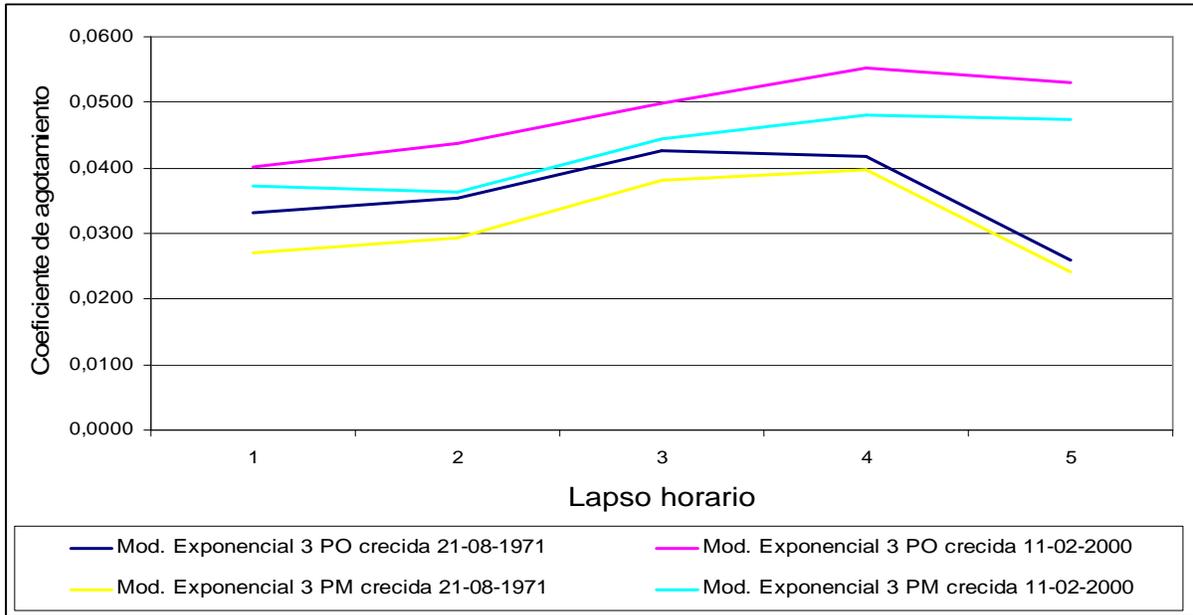


Figura N° 12. Comportamiento parámetro para la crecida del 21-08-1971 y 11-02-2000, modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, ambos planteamientos.

Para facilitar la apreciación de los resultados obtenidos, en la tabla N°30 se muestran los valores promedio y el coeficiente de variación, además del máximo, mínimo y rango, para cada modelo, planteamiento y lapso considerado para el parámetro .

Tabla N°30: Valores comparativos de para los cuatro modelos y para ambos planteamientos (original y modificado).

		Planteamiento original					Planteamiento modificado				
		(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
Modelo Potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$	Promedio	0,0042	0,0036	0,0027	0,0025	0,0014	0,0027	0,0024	0,0022	0,0021	0,0012
	CV	0,6108	0,6074	0,6794	0,6854	0,8307	0,6975	0,7806	0,6961	0,7437	0,8070
	Máximo	0,0106	0,0088	0,0062	0,0061	0,0050	0,0067	0,0061	0,0048	0,0065	0,0042
	Mínimo	0,0004	0,0002	-0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0007	-0,0005	-0,0001	-0,0001
	Rango	0,0103	0,0085	0,0068	0,0061	0,0050	0,0067	0,0068	0,0053	0,0065	0,0043
Modelo Exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$	Promedio	0,0074	0,0063	0,0042	0,0037	0,0017	0,0050	0,0042	0,0035	0,0031	0,0015
	CV	0,5638	0,5502	0,6042	0,5775	0,9157	0,6655	0,7445	0,6463	0,6281	0,9102
	Máximo	0,0172	0,0136	0,0085	0,0076	0,0060	0,0116	0,0101	0,0071	0,0078	0,0055
	Mínimo	0,0007	0,0005	-0,0011	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0015	-0,0010	-0,0002	-0,0002
	Rango	0,0165	0,0131	0,0096	0,0076	0,0060	0,0116	0,0115	0,0081	0,0079	0,0057
Modelo Exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$	Promedio	0,0799	0,0680	0,0673	0,0715	0,0811	0,0174	0,0178	0,0228	0,0244	0,0224
	CV	1,1677	1,2003	1,8299	1,7237	1,8238	0,6655	0,7445	0,6463	0,6281	0,4604
	Máximo	0,3531	0,3215	0,5381	0,6272	0,7534	0,0402	0,0428	0,0459	0,0604	0,0474
	Mínimo	0,0013	0,0023	-0,1866	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0062	-0,0065	-0,0012	-0,0019
	Rango	0,3518	0,3192	0,7247	0,6272	0,7534	0,0402	0,0489	0,0524	0,0616	0,0493
Modelo Exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$	Promedio	0,0256	0,0265	0,0270	0,0284	0,0249	0,0176	0,0180	0,0229	0,0244	0,0224
	CV	0,5638	0,5502	0,6042	0,5775	0,4547	0,6482	0,7249	0,6426	0,6269	0,4601
	Máximo	0,0596	0,0578	0,0553	0,0585	0,0529	0,0402	0,0428	0,0459	0,0604	0,0474
	Mínimo	0,0025	0,0021	-0,0072	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0062	-0,0065	-0,0012	-0,0019
	Rango	0,0570	0,0557	0,0625	0,0585	0,0529	0,0402	0,0489	0,0524	0,0616	0,0493

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

CV: Coeficiente de variación.

6.5. Coeficiente Adimensional “n” del Modelo Exponencial 2

Este coeficiente n es un parámetro propio del modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, dependiente del caudal inicial (Q_0) y del coeficiente de agotamiento (α). En las tablas N°3b y N°7b (planteamiento original y modificado respectivamente), se pueden apreciar los distintos valores obtenidos para cada crecida. Aquí, se denota que en general, para el planteamiento original, los valores no siguen una tendencia clara a aumentar o disminuir con respecto a los tiempos de estimación, en tanto que en el planteamiento modificado se observa que los valores aumentan a medida que se van incrementando los tiempos de estimación (figura N°13).

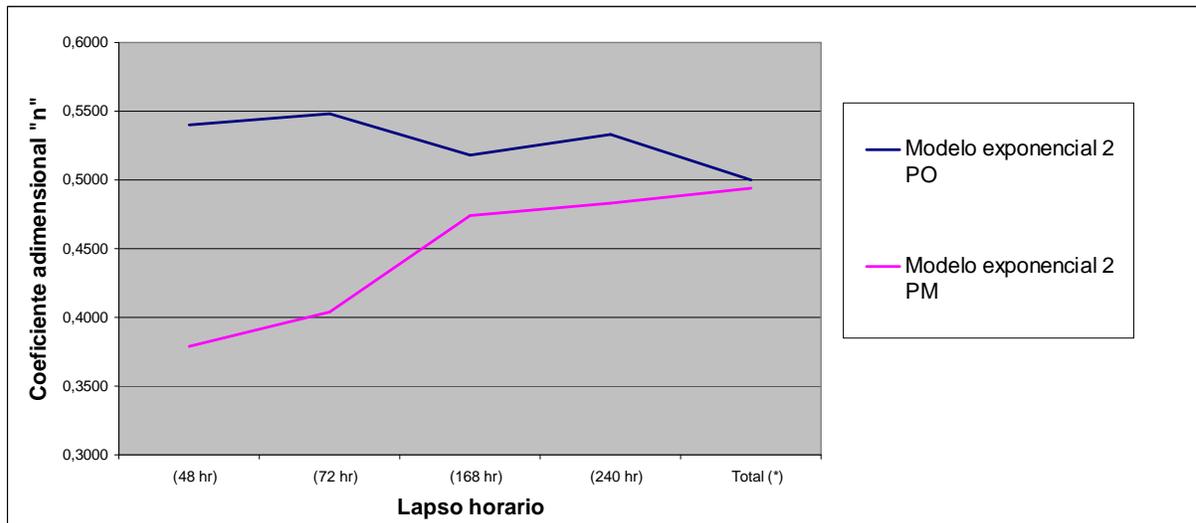


Figura N°13. Gráfico coeficiente adimensional “n” para el modelo exponencial 2

$$Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}, \text{ ambos planteamientos (valores promedio).}$$

Los resultados obtenidos en el parámetro “n” concuerdan con el comportamiento del parámetro α . Esto puede deberse a que, al aumentar el parámetro “n”, el coeficiente de agotamiento α también lo hace (por fórmula de

cálculo, directamente proporcional). Lo que está claro es que, a mayor lapso los valores de n tienden a igualarse para ambos planteamientos.

En la tabla N°31 y a modo de resumen, se encuentran los valores obtenidos para el coeficiente adimensional “n”.

Tabla N°31 : Valores comparativos de “n” bajo ambos planteamientos.

		(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
Modelo Exponencial 2 (2° pto. de quiebre)	Promedio	0,5399	0,5478	0,5185	0,5327	0,5002
	CV	0,8120	0,6012	0,6094	0,5028	0,4260
	Máximo	1,3469	1,0632	1,1125	1,0501	0,8266
	Mínimo	-0,5129	-0,2918	-0,1277	0,0000	0,0000
	Rango	1,8598	1,3550	1,2402	1,0501	0,8266
Modelo Exponencial 2 (3° pto. de quiebre)	Promedio	0,3794	0,4043	0,4736	0,4834	0,4940
	CV	1,1476	1,0099	0,6570	0,5885	0,4366
	Máximo	1,2356	1,0583	1,0300	1,0930	0,7421
	Mínimo	-0,5113	-0,7868	-0,2448	0,0000	0,0000
	Rango	1,7469	1,8450	1,2748	1,0930	0,7421

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

CV: Coeficiente de variación.

6.6. Análisis de la Validación de los Modelos Simulados

6.6.1. Coeficiente de determinación (R^2)

En las tablas N°10 a la N°13, se pueden apreciar los valores obtenidos para el coeficiente de determinación en el planteamiento original y en el planteamiento modificado, en las cuales se denota una gran variabilidad con respecto al coeficiente de determinación. Así, en la tabla N°32 y figura N° 14, que a continuación se presentan, puede verse un resumen de los resultados obtenidos para el coeficiente de determinación.

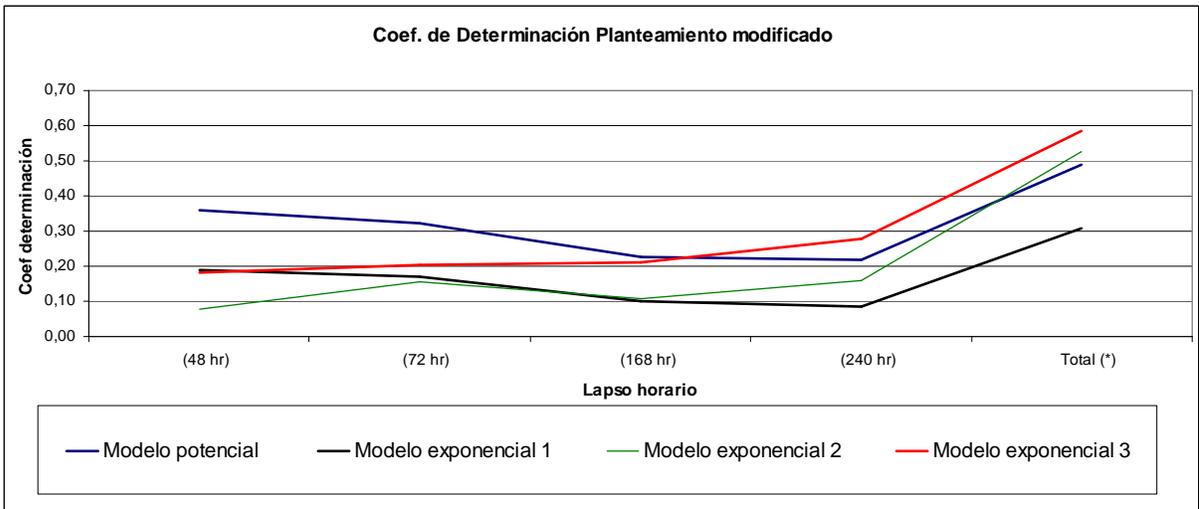
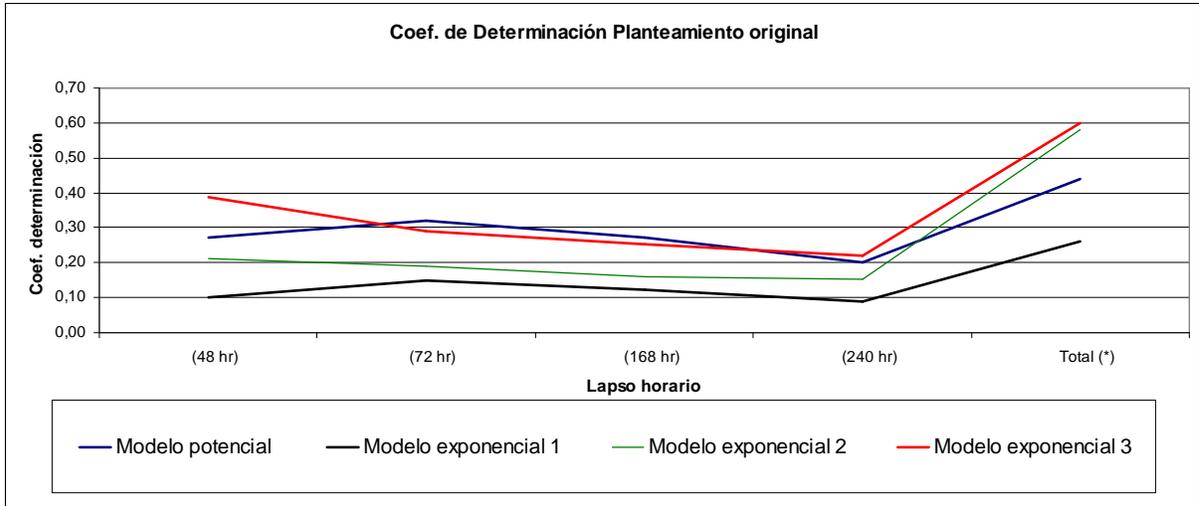


Figura N°14. Gráfica de coeficientes de determinación promedio para ambos planteamientos y lapsos considerados.

Para el caso del modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, en ambos planteamientos, los valores más altos en el coeficiente de determinación tienden, en general, a aumentar a medida que aumentan los tiempos de estimación. Con esto, el modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$ es el que presenta los mejores resultados para el planteamiento original obteniendo valores muy similares pero levemente menores el modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$. Para el caso del planteamiento modificado, es el modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ el que obtiene los mejores

resultados en el coeficiente de determinación y, al igual que el caso anterior, el modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$ obtiene valores levemente menores en el coeficiente de determinación.

Para los dos modelos restantes, exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$ y exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, se obtienen los coeficientes promedios más bajos en ambos planteamientos y se observa una irregularidad en sus valores, no observándose una tendencia clara a aumentar o disminuir a medida que aumentan los tiempos de estimación. Así, es el modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, el modelo que obtiene los valores más bajos del coeficiente de determinación lo que señalaría que este modelo no parece ser adecuado para la cuenca en estudio.

Además, es posible apreciar que en todos los modelos y en ambos planteamientos, los valores promedio de R^2 más altos se concentran en el último lapso (totalidad de datos). Esta situación podría deberse a que la fórmula de cálculo del R^2 es muy sensible a los cambios en el denominador. Esto quiere decir que la variabilidad de los caudales observados y su promedio afectan de manera directa a los resultados obtenidos.

Comparando ambos planteamientos, original y modificado, se puede deducir que es el planteamiento original presenta una leve superioridad con respecto al planteamiento modificado por lo que, al parecer, los planteamientos tienden a ser indiferentes al momento de ser utilizados.

Al comparar directamente ambos planteamientos, original y modificado, se vislumbra que el modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ y el modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$ presentan mejores resultados con el planteamiento original, en tanto que los modelos potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ y exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, lo hacen con el planteamiento modificado.

No obstante de lo expuesto anteriormente, los valores del coeficiente de determinación son muy bajos y no parecen representar adecuadamente el comportamiento de los modelos matemáticos utilizados (tabla N°32).

Tabla N°32 : Valores comparativos de coeficiente de determinación (R^2), para los cuatro modelos bajo ambos planteamientos (original y modificado).

		Planteamiento original					Planteamiento modificado				
		(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
Modelo Potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$	Promedio	0,27	0,32	0,27	0,20	0,44	0,36	0,32	0,23	0,22	0,49
	CV	1,191	1,091	1,121	1,476	0,840	0,952	1,196	1,463	1,440	0,706
	Máximo	0,900	0,920	0,800	0,830	0,920	0,820	0,940	0,940	0,800	0,960
	Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Rango	0,900	0,920	0,800	0,830	0,920	0,820	0,940	0,940	0,800	0,960
Modelo Exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$	Promedio	0,10	0,15	0,12	0,09	0,26	0,19	0,17	0,10	0,08	0,31
	CV	2,052	1,519	1,907	2,515	1,190	1,386	1,441	2,081	2,714	1,017
	Máximo	0,750	0,790	0,740	0,910	0,820	0,800	0,640	0,870	0,890	0,800
	Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Rango	0,750	0,790	0,740	0,910	0,820	0,800	0,640	0,870	0,890	0,800
Modelo Exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$	Promedio	0,21	0,19	0,16	0,15	0,58	0,08	0,15	0,11	0,16	0,53
	CV	1,518	1,601	1,918	1,724	0,604	2,184	2,077	2,122	1,816	0,703
	Máximo	0,920	0,940	0,950	0,850	0,980	0,500	0,930	0,930	0,910	0,970
	Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Rango	0,920	0,940	0,950	0,850	0,980	0,500	0,930	0,930	0,910	0,970
Modelo Exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$	Promedio	0,39	0,29	0,25	0,22	0,60	0,18	0,20	0,21	0,28	0,59
	CV	0,888	1,177	1,361	1,575	0,570	1,610	1,708	1,451	1,329	0,607
	Máximo	0,940	0,930	0,940	0,890	0,960	0,950	0,960	0,830	0,990	0,960
	Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Rango	0,940	0,930	0,940	0,890	0,960	0,950	0,960	0,830	0,990	0,960

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

CV: Coeficiente de variación.

6.6.2. Error estándar de estimación

En la tabla N°33 y en la figura N°15 se puede apreciar que el modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$ obtiene los valores más bajos del error estándar de estimación en ambos planteamientos, seguido de cerca por el modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ en el planteamiento original y, el modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ en el planteamiento modificado.

El modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, es modelo que obtiene los valores más altos del error estándar de estimación lo que estaría corroborando que este modelo no representaría de forma fehaciente, el comportamiento de los caudales recesivos de la cuenca en estudio.

Así también, se puede observar que los valores del error, para ambos planteamientos, disminuyen a medida que aumentan los tiempos de estimación, con lo cual podría confirmarse la hipótesis de que, a mayor tiempo transcurrido, mejor es el ajuste del modelo. Al comparar ambos planteamientos entre sí, es el planteamiento modificado el que presenta una leve superioridad en sus resultados, con respecto al planteamiento original, por lo que la elección de los planteamientos, al parecer, es indiferente.

Tabla N°33 : Valores comparativos del error estándar de estimación para los cuatro modelos bajo ambos planteamientos (original y modificado).

		Planteamiento original					Planteamiento modificado				
		(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
Modelo Potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$	Promedio	1,811	1,710	1,466	1,276	1,744	1,447	1,557	1,428	1,272	1,452
	CV	1,372	1,399	1,435	1,550	1,384	1,384	1,367	1,371	1,531	1,338
	Máximo	8,946	8,675	7,858	8,386	8,477	6,615	6,561	6,543	7,864	6,445
	Mínimo	0,064	0,073	0,072	0,02	0,033	0,045	0,068	0,081	0,023	0,036
	Rango	8,882	8,602	7,786	8,366	8,444	6,570	6,493	6,462	7,841	6,409
Modelo Exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$	Promedio	2,396	2,209	1,843	1,524	2,229	1,915	1,984	1,727	1,472	1,831
	CV	1,331	1,375	1,340	1,451	1,394	1,327	1,297	1,283	1,445	1,272
	Máximo	9,818	9,629	8,875	9,261	11,521	8,335	8,334	7,088	8,487	8,529
	Mínimo	0,066	0,061	0,067	0,02	0,033	0,045	0,112	0,079	0,023	0,035
	Rango	9,752	9,568	8,808	9,241	11,488	8,290	8,222	7,009	8,464	8,494
Modelo Exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$	Promedio	1,888	1,576	1,404	1,295	1,201	2,377	2,352	1,517	1,511	1,243
	CV	1,300	1,173	1,220	1,289	1,338	1,046	1,102	1,150	1,256	1,300
	Máximo	9,717	6,545	6,229	6,385	5,065	9,211	8,285	6,178	7,373	5,229
	Mínimo	0,036	0,073	0,068	0,02	0,033	0,045	0,057	0,049	0,024	0,033
	Rango	9,681	6,472	6,161	6,365	5,032	9,166	8,228	6,129	7,349	5,196
Modelo Exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$	Promedio	1,255	1,239	1,261	1,185	1,173	1,483	1,526	1,288	1,200	1,102
	CV	1,375	1,365	1,360	1,488	1,264	1,079	1,064	1,253	1,454	1,307
	Máximo	6,579	6,553	6,259	7,378	5,044	5,533	5,682	6,006	6,792	5,130
	Mínimo	0,045	0,049	0,054	0,02	0,033	0,045	0,05	0,046	0,024	0,034
	Rango	6,534	6,504	6,205	7,358	5,011	5,488	5,632	5,960	6,768	5,096

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

CV: Coeficiente de variación.

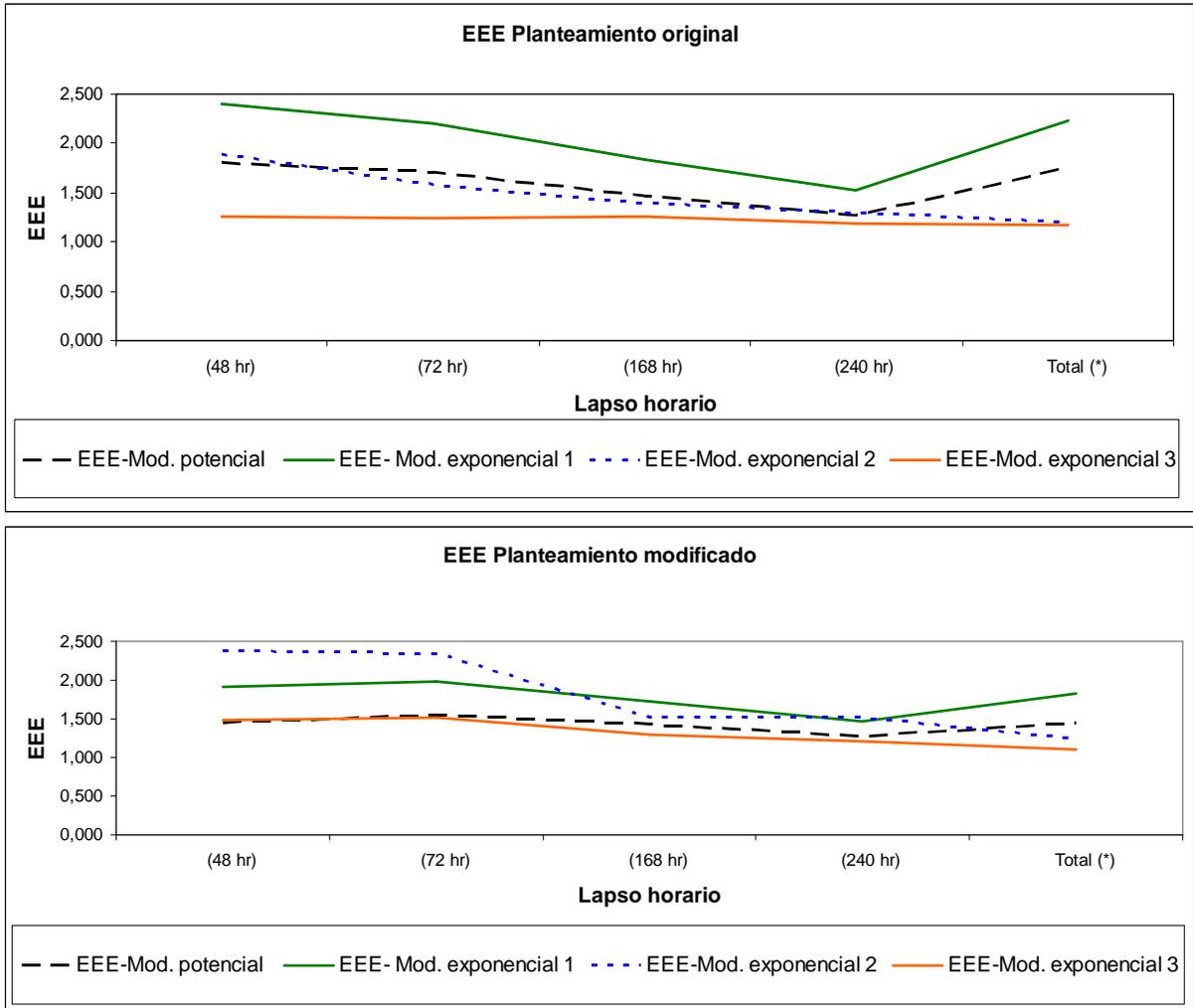


Figura N°15. Gráfico EEE promedio para los cuatro modelos analizados, ambos planteamientos y lapsos considerados.

En la figura N°15 se puede apreciar que el lapso del total de datos concentra los menores valores del error estándar de estimación, corroborando lo dicho en el coeficiente de determinación sobre dicho lapso.

Con el fin de profundizar aún más en el estadístico señalado, se procedió a hacer una comparación con los promedios reales de las crecidas. Para ello, se obtuvo un cociente entre el error estándar de estimación y los caudales promedio reales para las 25 crecidas estimadas, en cada modelo y planteamiento considerado. Esto es presentado a continuación en la tabla N°34.

Tabla N°34 : Cuociente entre el EEE y el promedio de caudales observados bajo ambos planteamientos (original y modificado).

		Planteamiento original				
Modelo		(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
Potencial		0,49	0,52	0,46	0,44	0,61
Exponencial 1		0,65	0,67	0,58	0,52	0,79
Exponencial 2		0,52	0,48	0,44	0,44	0,42
Exponencial 3		0,34	0,38	0,40	0,41	0,41
		Planteamiento modificado				
Modelo		(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
Potencial		0,41	0,48	0,46	0,44	0,51
Exponencial 1		0,54	0,62	0,55	0,51	0,65
Exponencial 2		0,67	0,73	0,49	0,52	0,44
Exponencial 3		0,42	0,47	0,41	0,41	0,39

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

Como se aprecia en la tabla N°34, y corroborando el análisis anterior realizado para el error estándar de estimación, es el modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, el modelo que obtiene los mejores resultados en ambos planteamientos (el menor cuociente entre el EEE y el promedio de los caudales observados) seguido de cerca del modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$.

Para el caso de los modelos restantes, el modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$ y exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$, no obtienen resultados satisfactorios siendo el modelo de peor calidad, en ambos planteamientos, el modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, corroborando nuevamente, no ser un modelo adecuado para la cuenca en estudio.

De los planteamientos analizados se puede decir que, se repite lo sucedido con respecto al comportamiento de los planteamientos en el error estándar de estimación en donde, el planteamiento modificado, tiene una leve ventaja en sus

resultados con respecto al planteamiento original por lo que, nuevamente, la elección de cual planteamiento elegir, al parecer, es indiferente.

Si se comparan directamente ambos planteamientos, original y modificado, en sus resultados y en relación a los distintos modelos estudiados, se observa que el modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ y exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$ presentan mejores resultados al utilizar el planteamiento original, en tanto que los modelos restantes, el modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ y exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, lo hacen con el planteamiento modificado.

6.6.3. Prueba U de Mann-Whitney

La siguiente prueba fue desarrollada para comparar los valores de los caudales reales y los simulados bajo los cuatro modelos propuestos. Se ha escogido un nivel de confiabilidad del 95% ($\alpha = 0,05$), cuyo valor correspondiente en la tabla normal estándar es de 1,645, como dato necesario para la regla de decisión.

Toda la información recabada de este test, ha sido resumida y presentada en la tabla N°35, con el fin de facilitar su lectura, comprensión e interpretación.

Tabla N°35 : Porcentaje de pruebas aceptadas para un nivel de confianza del 95% en los cuatro modelos en estudio y para los lapsos de ajuste considerados bajo ambos planteamientos (original y modificado).

Planteamiento original					
Modelo	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
Potencial	8%	12%	12%	8%	32%
Exponencial 1	4%	8%	12%	0%	20%
Exponencial 2	12%	4%	16%	4%	28%
Exponencial 3	12%	16%	12%	8%	44%
Planteamiento modificado					
Modelo	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
Potencial	24%	8%	12%	8%	20%
Exponencial 1	4%	0%	8%	8%	20%
Exponencial 2	4%	8%	12%	0%	32%
Exponencial 3	8%	8%	16%	0%	44%

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

Para ambos planteamientos, el modelo con los mejores resultados fue el modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, se destaca por sobre los otros tres modelos seguido muy de cerca por el modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$.

El modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, nuevamente se descarta como predictor de caudales recesivos al obtener los resultados menos satisfactorios con respecto al resto de los modelos.

Se deduce además que, no existen evidencias notorias de que el planteamiento modificado obtenga resultados superiores con respecto al planteamiento original. Así, al calcular el número total de pruebas aprobadas por planteamiento se puede observar que, el planteamiento original obtiene un total de 68 pruebas aprobadas de un total de 625 analizadas (25 crecidas, 4 modelos y 5

lapsos), para los cuatro modelos y los cinco lapsos. En contraparte, el planteamiento modificado obtiene sólo 61 pruebas aprobadas de 625. Con esto, no existen evidencias notorias que alguno de los planteamientos sea superior, en esta prueba estadística.

Por último, los bajos resultados obtenidos en la presente prueba, para ambos planteamientos, pueden explicarse debido a que la prueba U de Mann-Whitney, y al nivel de significancia utilizado, posee un área de aceptación pequeña por lo que se convierte en una prueba muy estricta.

6.6.4. Test de concordancia de Bland y Altman (ACBA)

Como ya se mencionó en la metodología, el presente test compara los datos observados con los estimados, en donde la menor diferencia promedio indica el mejor ajuste. Si este indicador no es lo suficientemente claro, se procede a comparar la desviación estándar de las diferencias, optando por la menor diferencia y, en su defecto, se puede analizar gráficamente, apreciando los límites de confianza y la dispersión de los datos.

Cabe recordar que los resultados del presente test se detallan en las tablas N°22 a N°29 conjuntamente con el Apéndice I, debido a la gran cantidad de datos resultantes. A continuación, en la tabla N°36 y figura N°16, se presentan los datos resumidos para los cuatro modelos en estudio, para cada lapso y para ambos planteamientos, correspondientes a las diferencias promedio, desviación estándar y límites de confianza superior e inferior.

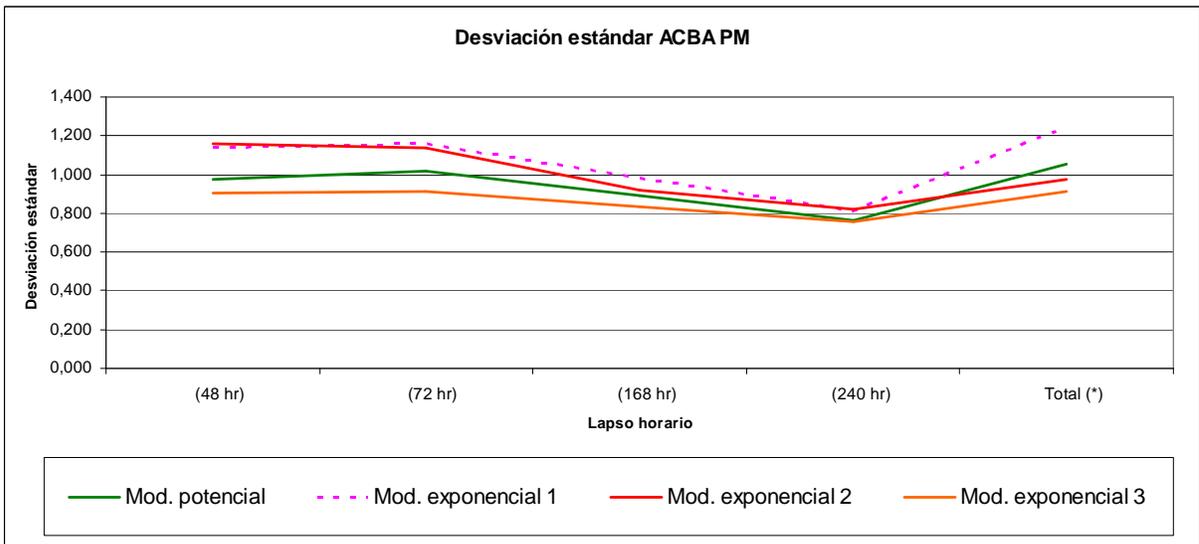
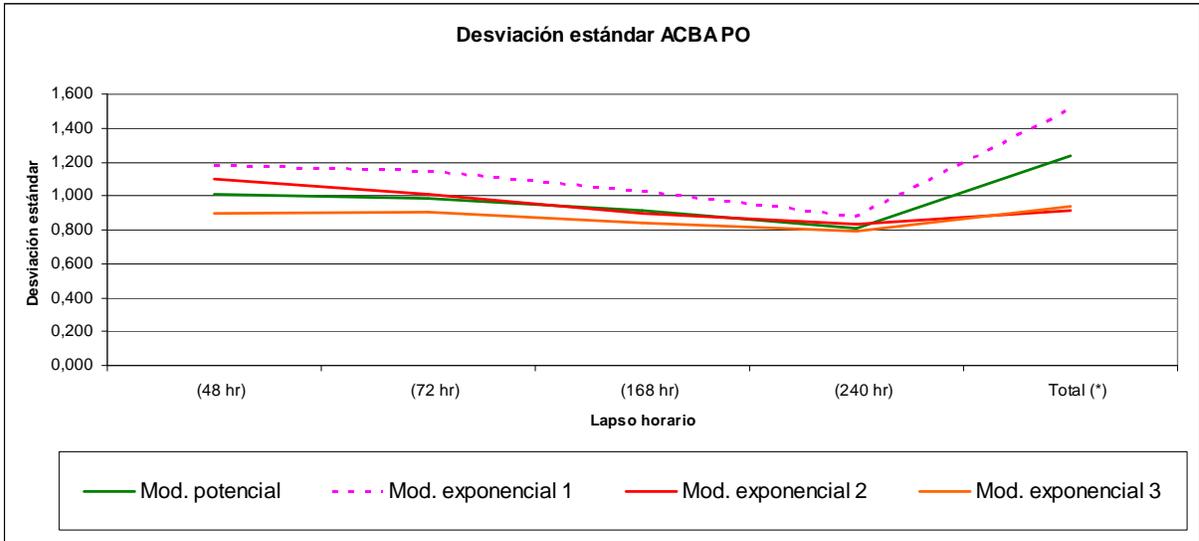


Figura N°16. Desviación estándar para los cuatro modelos analizados, lapsos utilizados y ambos planteamientos (PO, planteamiento original; PM, planteamiento modificado).

Tabla N° 36 : Test Bland y Altman, diferencias promedio (dp), desviación estándar (DS) y límites de confianza para los cuatro modelos y bajo ambos planteamientos (original y modificado).

		Planteamiento original					Planteamiento modificado				
		(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
Modelo Potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$	dp	1,421	1,206	0,871	0,733	-0,871	0,936	0,713	0,770	0,637	-0,557
	DS	1,010	0,989	0,909	0,809	1,238	0,978	1,018	0,889	0,765	1,052
	LI	-0,598	-0,772	-0,947	-0,884	-3,346	-1,018	-1,316	-0,999	-0,889	-2,650
	LS	3,440	3,184	2,690	2,350	1,605	2,887	2,743	2,543	2,163	1,542
Modelo Exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$	dp	1,977	1,722	1,263	1,047	-1,522	1,426	1,183	1,102	0,903	-1,050
	DS	1,183	1,145	1,028	0,877	1,514	1,135	1,157	0,981	0,813	1,242
	LI	-0,390	-0,568	-0,794	-0,708	-4,550	-0,845	-1,131	-0,860	-0,723	-3,534
	LS	4,344	4,012	3,320	2,802	1,505	3,697	3,497	3,065	2,529	1,434
Modelo Exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$	dp	0,284	0,482	0,431	0,391	-0,248	-0,607	-0,489	0,134	0,149	-0,104
	DS	1,101	1,006	0,900	0,830	0,915	1,159	1,141	0,921	0,819	0,975
	LI	-1,918	-1,530	-1,370	-1,269	-2,078	-2,926	-2,772	-1,709	-1,490	-2,055
	LS	2,487	2,495	2,232	2,051	1,582	1,711	1,793	1,977	1,788	1,846
Modelo Exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$	dp	-0,055	0,053	0,254	0,284	-0,157	-0,680	-0,538	0,145	0,187	0,035
	DS	0,896	0,905	0,841	0,789	0,939	0,902	0,910	0,833	0,758	0,912
	LI	-1,846	-1,757	-1,427	-1,293	-2,034	-2,485	-2,358	-1,521	-1,329	-1,789
	LS	1,736	1,863	1,936	1,861	1,720	1,125	1,281	1,812	1,704	1,859

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, dp: diferencias promedio, DS: desviación estándar, LI y LS: límites de confianza inferior y superior, respectivamente.

En las diferencias promedio ocurre una singularidad. Para el planteamiento original, el mejor modelo corresponde al exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$ seguido del modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ pero, para el planteamiento modificado, se intercambian. Así, el mejor modelo es el exponencial 2 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ seguido del modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$. Debido a esto, es que se procedió a analizar la desviación estándar de las diferencias.

Al observar la desviación estándar de las diferencias promedio, es posible detectar una clara supremacía en el modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, además de obtener los límites de confianza más estrechos, en ambos planteamientos, seguido del modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$.

Nuevamente se descarta como modelo predictor, al modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, debido a los malos resultados obtenidos tanto en las diferencias promedio como en la desviación estándar de las diferencias y en la totalidad de la validación estadística.

Para el caso del presente test y para el análisis de ambos planteamientos, original y modificado, considerando todos los modelos en el análisis, es posible apreciar que el planteamiento modificado, tanto para el análisis de las diferencias promedio como para la desviación estándar, obtiene los mejores resultados sobre el planteamiento original.

En las figuras N°17 y N°18 que a continuación se presentan, se puede apreciar en forma gráfica los resultados obtenidos para $t = 72$ y 240 horas, para el modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$ y exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$ respectivamente y, en ambos planteamientos, para el test Bland y Altman a modo de comparar los buenos resultados del modelo exponencial 3. Esto se presenta para la crecida del 11-02-2000, que es un ajuste de buena calidad donde los datos se

distribuyen uniformemente (figura N°17) y, los de la crecida del 05-08-1983 (figura N°18), en donde se observa gráficamente una mala calidad en el ajuste del modelo exponencial 1.

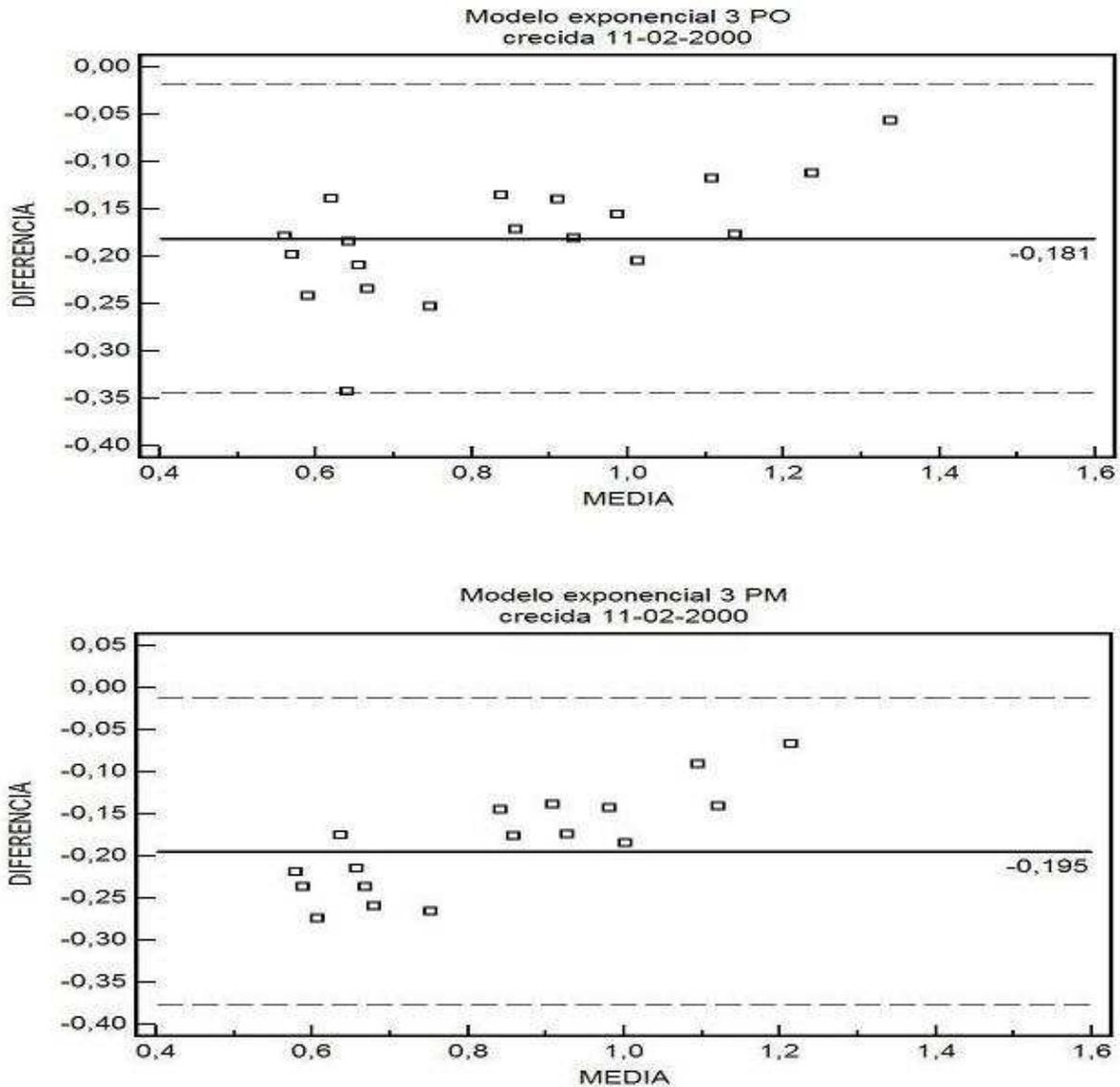


Figura N°17. Gráfica ACBA modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, con buena calidad de ajuste, crecida 11-02-2000 para $t = 72$ horas, para ambos planteamientos (PO, planteamiento original; PM, planteamiento modificado).

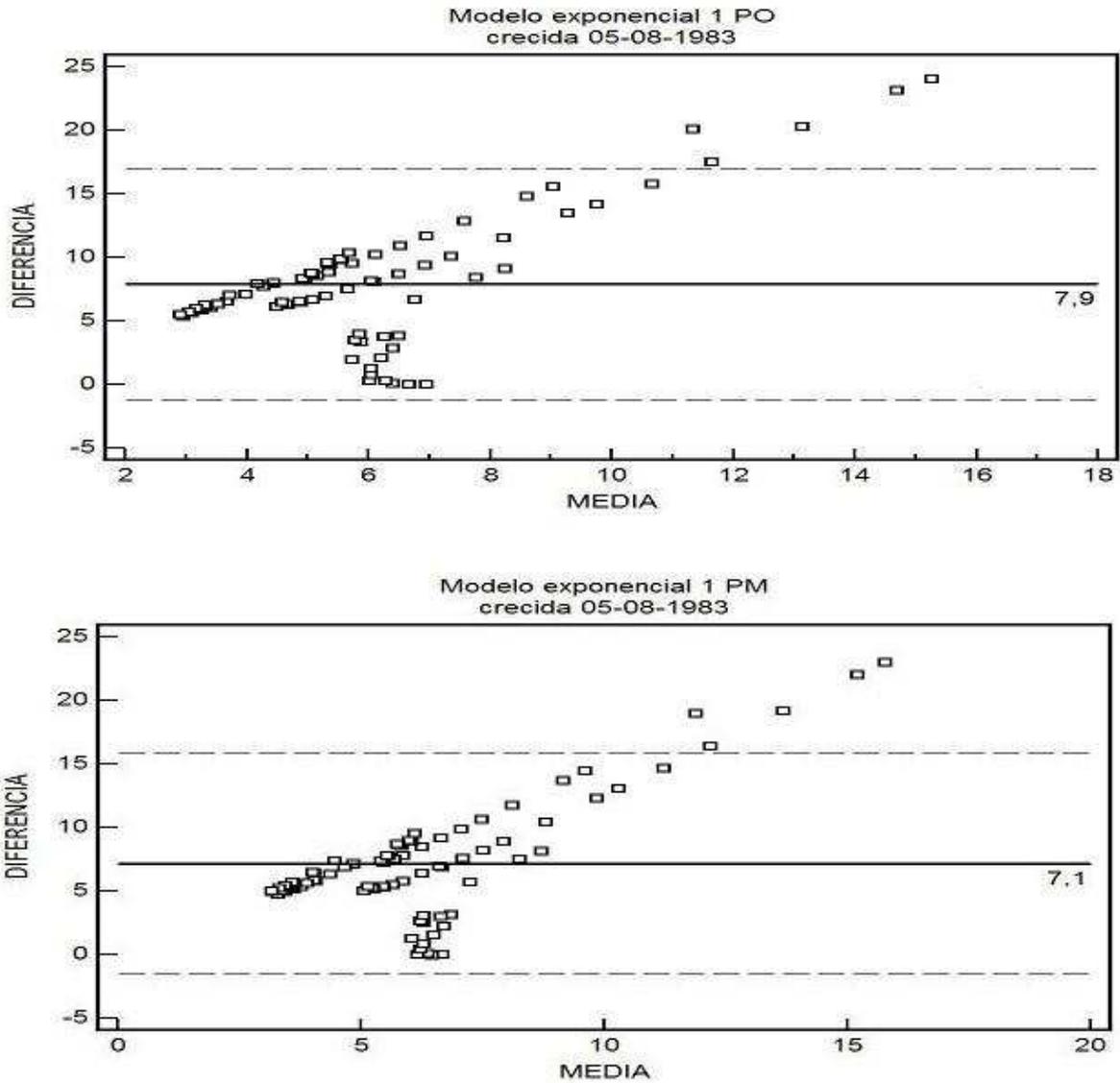


Figura N°18. Gráfica ACBA modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, con mala calidad de ajuste, crecida 05-08-1983 para $\tau = 240$ horas, para ambos planteamientos (PO, planteamiento original; PM, planteamiento modificado).

6.7. Análisis Global

El lapso que dio los mejores resultados, según el coeficiente de determinación, el error estándar de estimación y la prueba U de Mann-Whitney, en general, fue el correspondiente al total de datos con que se cuenta. En contraparte, no existen evidencias notorias sobre si algún lapso en particular posee malos resultados según los estadísticos antes señalados. Sin embargo, al observar el test de Bland y Altman, es posible visualizar que el lapso con los mejores resultados fue el correspondiente a las 240 horas (10 días) el cual, tiene como ventaja no utilizar la totalidad de datos. El peor lapso, según el test ACBA, en general, es el correspondiente a las 48 horas transcurridas desde el inicio de los aportes de las aguas subterráneas.

Otro aspecto importante a señalar es que, para el planteamiento original y para el planteamiento modificado, los distintos modelos señalan distintos resultados en función del estadístico usado y en función del lapso. Sin embargo, al utilizar el test de Bland y Altman, el cual es reconocido por lo novedoso y por su potencia, señala a modo general, para todos los modelos, que el planteamiento modificado obtiene los mejores resultados versus el planteamiento original. A nivel de los mejores modelos, a saber, el modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$ y el modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$, se puede decir que, y manteniendo el mismo test, tanto para las diferencias promedio como para la desviación estándar de las diferencias en el conjunto de resultados, el planteamiento modificado resulta ser superior con respecto al original.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las principales conclusiones y recomendaciones, derivadas de este estudio.

7.1. Conclusiones

- Esta investigación analizó cuatro modelos de caudales recesivos, a saber, modelo exponencial 1 ($Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$), modelo exponencial 2 ($Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$), modelo exponencial 3 ($Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$) y, finalmente, el modelo potencial ($Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$). De los resultados obtenidos en las pruebas U de Mann-Whitney, error estándar de estimación y el test de concordancia de Bland y Altman, se puede decir que el modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, obtuvo los mejores resultados para la estimación de caudales recesivos, en la cuenca del Estero Upeo, en Upeo, Chile.
- El modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ fue el modelo que obtuvo, después del modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$, los mejores resultados en el coeficiente de determinación, error estándar sobre la media, la prueba U de Mann-Whitney y el test ACBA.
- Para el caso del modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, no se obtuvieron buenos resultados en las distintas etapas de la validación estadística, debido a lo cual este modelo se descarta como predictor de caudales recesivos, para esta cuenca en particular.

- La innovación de un nuevo planteamiento, el planteamiento modificado, resultó obtener mejores resultados, en esta investigación, que el planteamiento original, en virtud de los resultados entregados por el error estándar de estimación, error estándar sobre la media y el test de Bland y Altman, confirmando lo expuesto por Martínez (2004) sobre la conveniencia de desplazar el caudal inicial al tercer punto de quiebre de la curva de bajada del hidrograma.

- En la determinación del mejor lapso para el cálculo del parámetro τ , se puede desprender que, en general τ correspondió al total de datos de cada crecida, obteniendo en ambos planteamientos, sustancialmente los mejores resultados en el coeficiente de determinación y en la prueba U de Mann-Whitney. Sin embargo, para el test Bland y Altman, el mejor lapso a utilizar, para los cuatro modelos propuestos, resultó ser el de 240 horas, obteniendo las menores desviaciones estándar de las diferencias promedio y los límites de confianza más estrechos. Con esto, y dada la reconocida potencia del test de Bland y Altman, se concluye que el mejor lapso de estimación de los modelos es el correspondiente a $\tau = 240$ horas.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el coeficiente de determinación (R^2), se confirman los dichos de Pita y Pértegas (1998), citado por Núñez (2005), sobre los errores de este indicador por lo que, se aconseja no utilizar solamente el R^2 para obtener una mayor confiabilidad de la validación.

7.2. Recomendaciones

- Debido a lo específico del estudio con respecto a la cuenca, sería recomendable ampliar el estudio a otro tipo de cuencas de similares características, para poder realizar estudios comparativos con los resultados obtenidos.
- Considerando que el presente estudio ratifica una vez más los mejores resultados utilizando el tercer punto de quiebre como inicio de la curva recesiva, es altamente recomendable continuar utilizándolo, con el fin de asegurar resultados óptimos al momento de modelar los caudales recesivos en cualquier época del año.
- Es aconsejable también prescindir o complementar la utilización del coeficiente de determinación (R^2) de acuerdo a los resultados obtenidos en esta cuenca, debido a que este indicador presentó importantes falencias como tal. Éstas consistieron en que, al obtener coeficientes de determinación bajos, también se obtuvieron errores muy pequeños.
- A pesar de que el modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$ fue el que obtuvo los mejores resultados, es recomendable seguir ahondando en el tema de los modelos recesivos, tratando de encontrar un modelo que proporcione resultados aún mejores que los aquí expuestos.
- Se recomienda, para obtener los mejores resultados posibles, utilizar, a lo menos, un lapso de 10 días a partir del inicio del aporte de las aguas subterráneas dado que ese tiempo parece asegurar una mejor estimación de los caudales recesivos.

- Finalmente, los modelos aquí estudiados no sólo permiten el cálculo de las reservas de agua del acuífero, sino que también, permiten analizar su comportamiento frente a crecidas, lo cual es altamente valioso en tareas de planificación de recursos hídricos y en el objetivo de alcanzar una mejor gestión territorial.

8. BIBLIOGRAFÍA

Akson, H.; Bayazit, M.; Wittenberg, H. 2001. Probabilistic approach to modeling of recession curves. *Hidrological Science Journal* 46(2):269-286.

Aparicio, F. 2003. *Fundamentos de Hidrología de superficie*. México. Editorial Limusa. 303p.

Brodie, R.; Hostetler, S. 2005. A review of techniques for analyzing baseflow from stream hydrographs. (en línea). Auckland, New Zealand. Consultado 12 nov. 2007. Disponible en http://www.connectedwater.gov.au/documents/IAH05_Baseflow.pdf.

Brodie, R.; Hostetler, S.; Slatter, E. 2007. Q-Lag: A new hydrographic approach to understanding stream-aquifer connectivity. (en línea). Canberra, Australy. Consultado 12 nov. 2007. Disponible en <http://www.affashop.gov.au/PdfFiles/q-lag.pdf>.

Bedient, P.; Huber, W. 2002. *Hidrology and floodplain analysis*. 3a. ed. New York. Adisson-Wesley Pub. Co. 692 p.

Caro, J. 2001. *Modelación de caudales recesivos para la cuenca del Río Purapel, estación Nirivilo*. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 121 p.

Carrasco, J.; Jover, L. 2004. Métodos estadísticos para evaluar la Concordancia. *Med Clin (Barc)* 122(1):28-34.

Chow, V; Maidment, D; Mays, L. 1994. *Hidrología aplicada*. Santa Fé de Bogotá, Colombia. Editorial McGraw-Hill Interamericana. 584 p.

Dewandel, B.; Lachassagne, P.; Bakalowicz, M.; Weng, P.; Almalki, A. 2003. Evaluation of aquifer thickness by analyzing recession hydrograph: Application to the Oman ophiolite hard-rock aquifer. *Journal Of Hydrology* 274(1):248-269.

Estrela, T. 1992. Modelación matemática para la evaluación de los recursos hídricos. Madrid, España. Centro de Estudios Hidrográficos, Ministerio de Obras Públicas. 55 p.

Farías, C. 2001. Calibración y validación de dos modelos de simulación de cuencas, para la cuenca hidrográfica del río Achibueno. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 104 p.

Guzmán, J. 1994. Modelación matemáticas de caudales recesivos para la cuenca del Río Achibueno, estación La Recova. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 62 p.

Lamb, R.; Beven, K. 1997. Using interactive recession curve analysis to specify a general catchment storage model. *Hidrology and Earth System Sciences* 1: 101-113.

Linsley, R.; Kohler, M.; Paulhus, J. 1949. *Applied Hydrology*. New York, Estados Unidos. McGraw Hill Civil Engineering Series. 398 – 404 p.

Llamas, M. 1993. Hidrología general, principios y aplicaciones. España. Servicio Editorial Universidad del País Vasco. 635 p.

Manga, M. 2001. Origin of postseismic streamflow changes inferred from baseflow and magnitude-distance relations. *Geophysical Research Letters* 28(10):2133 - 2136.

Martínez, E. 2004. Modelación de caudales recesivos para la cuenca del Río Lontué, estación Estero Upeo, en Upeo, VII Region del Maule, Chile. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 113 p.

Mendenhall, W.; Sincich, T. 1997. Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. 4a. ed. México. Prentice-Hall Hispanoamericana. 1176 p.

Molinero, L. 2001. Errores de medida en variables numéricas: Correlación y Concordancia. (en línea). España. Consultado 15 mayo 2007. Disponible en <http://www.seh-lilha.org/pdf/concor1.pdf>.

Montgomery, D.; Runger, G. 1996. Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería. México. Editorial McGraw-Hill. 895 p.

Newson, M. 1993. Land, water and development: Sustainable management of river basin systems. Second edition. New York, USA. (s.e.). 423 p.

Núñez, M. 2005. Propuesta y análisis de modelos matemáticos para la estimación de caudales recesivos en la cuenca del Río Lontué, estación Estero Upeo en Upeo, VII Región del Maule, Chile. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 102 p.

Pizarro, R. 1993. Elementos técnicos de Hidrología III. Talca, Chile. Editorial Universidad de Talca. 135 p.

Pizarro, R.; Salazar, C.; Soto, M.; Farías, C.; Jordán, C.; Vargas, J.; Carrasco, P. 2002. Aguas Continentales. *In* Informe País: estado del medio ambiente. Universidad de Chile. Santiago, Chile. LOM ediciones. 69 – 101 p.

Ponce, V. 1989. Engineering Hydrology, Principles and Practices. New Jersey. USA. Editorial Prentice-Hall. 640 p.

Singh, V. 1988. Hydrology systems. New Jersey, USA. Second edition. Prentice Hall. 2 vols.

Todd, D. 1980. Ground water hidrology. Second edition. USA. (s.e.). 535 p.

Viessman, W.; Lewis, G. 2003. Introduction to Hydrology. Fifth Edition. New Jersey, USA. 612 p.

APÉNDICES

APÉNDICE I: Tablas límites de confianza Test de concordancia de Bland y Altman (ACBA).

A) Límites de confianza (superior e inferior) para las distintas crecidas según el modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ para el segundo punto de quiebre, en los distintos lapsos considerados.

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf
02-08-1971	6,037	0,769	5,998	0,187	6,104	-0,287	6,096	-0,899	3,266	-15,122
21-12-1971	0,191	-0,206	0,201	-0,177	0,254	-0,009	0,235	-0,052	0,098	-0,430
16-03-1972	0,700	0,125	0,632	0,134	-0,001	-0,190	0,057	-0,099	0,136	-0,325
16-11-1979	14,824	-7,263	14,643	-7,306	14,184	-7,388	13,117	-7,626	9,498	-10,126
29-10-1980	3,287	0,455	1,041	-2,930	0,300	-4,101	0,962	-2,167	1,636	-1,254
29-12-1980	0,741	-0,058	0,735	-0,017	0,740	-0,059	0,730	0,040	0,490	-1,488
14-09-1982	9,851	-0,542	9,282	-1,120	6,934	-1,169	3,719	-1,007	1,377	-15,359
04-10-1982	12,317	-1,260	11,850	-1,338	8,017	-0,965	3,451	-1,403	3,834	-11,154
05-08-1983	16,873	-1,773	16,573	-2,128	15,581	-3,114	15,979	-2,012	9,382	-8,818
28-11-1986	2,584	-0,443	2,247	-0,334	1,402	-0,261	1,252	-0,327	1,179	-2,587
04-11-1988	1,516	-0,201	1,013	-0,174	0,841	-0,178	0,194	-0,744	0,060	-0,977
29-03-1990	0,385	-0,039	0,416	0,002	0,147	-0,126	0,182	-0,029	0,138	-0,314
12-10-1990	1,425	-0,460	1,168	-0,465	0,545	-1,197	0,192	-1,869	0,529	-1,183
25-12-1991	1,657	-0,610	1,658	-0,621	1,612	-0,799	1,653	-0,760	-0,150	-3,249
05-04-1992	0,470	-0,001	0,406	-0,017	0,261	-0,045	0,203	-0,115	0,061	-0,256
19-11-1992	2,400	-0,275	1,462	-0,449	1,978	-0,275	1,546	-0,259	0,490	-1,073
03-12-1993	1,672	-0,287	1,515	-0,227	0,833	-0,067	0,905	-0,058	0,861	-2,201
23-09-1994	3,020	-1,334	3,659	-0,560	3,008	-1,358	3,365	-0,877	2,833	-1,762
22-03-1995	0,130	-0,037	0,246	0,025	-0,005	-0,218	0,037	-0,039	0,066	-0,065
10-04-1995	0,078	-0,175	0,090	-0,160	0,087	-0,165	0,000	-0,306	0,160	-0,075
25-08-1996	3,210	-1,359	2,283	-1,193	2,103	-1,200	2,606	-1,252	2,705	-1,258
11-02-2000	0,232	-0,066	0,184	-0,080	0,131	-0,169	0,122	-0,030	0,074	-0,368
26-02-2000	0,383	0,149	0,353	-0,032	0,335	0,081	0,286	0,029	0,131	-0,803
15-03-2002	1,535	-0,116	1,491	-0,239	1,423	-0,356	1,408	-0,271	0,916	-1,798
22-01-2003	0,492	0,061	0,440	-0,070	0,444	-0,067	0,446	0,020	0,348	-1,618

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, L. Sup.: Límite superior y L. Inf.: Límite inferior.

B) Límites de confianza (superior e inferior) para las distintas crecidas según el modelo exponencial $1 Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$ para el segundo punto de quiebre, en los distintos lapsos considerados.

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf
02-08-1971	7,492	2,546	7,246	2,105	7,213	1,103	7,222	0,229	3,591	-20,098
21-12-1971	0,403	-0,100	0,406	-0,075	0,407	0,076	0,529	0,120	0,117	-0,722
16-03-1972	0,808	0,158	0,734	0,179	0,036	-0,168	0,123	-0,097	0,113	-0,348
16-11-1979	15,635	-7,314	15,524	-7,345	15,083	-7,261	14,025	-7,033	8,114	-11,394
29-10-1980	3,961	0,828	1,034	-2,757	0,297	-4,049	1,017	-1,984	1,469	-1,348
29-12-1980	0,786	0,055	0,779	0,074	0,812	0,003	0,790	0,064	0,453	-1,849
14-09-1982	16,298	0,643	15,061	-0,469	9,799	-1,375	4,549	-1,255	1,741	-20,800
04-10-1982	16,640	-0,489	15,894	-0,846	10,508	-0,876	4,381	-0,995	3,732	-13,421
05-08-1983	18,021	-1,077	17,920	-1,467	17,091	-2,466	17,185	-1,360	8,895	-9,193
28-11-1986	3,491	-0,762	3,163	-0,588	2,254	-0,230	1,995	-0,173	1,658	-5,815
04-11-1988	2,004	-0,213	1,444	0,014	1,144	0,152	0,561	-0,343	0,042	-1,614
29-03-1990	0,542	0,036	0,540	0,087	0,248	-0,131	0,237	-0,038	0,097	-0,375
12-10-1990	1,794	-0,397	1,483	-0,263	0,968	-0,825	0,797	-1,665	0,538	-2,094
25-12-1991	1,855	-0,369	1,846	-0,380	1,800	-0,533	1,816	-0,527	-0,176	-3,434
05-04-1992	0,669	-0,009	0,575	-0,025	0,346	-0,048	0,247	-0,117	0,057	-0,307
19-11-1992	3,196	-0,324	2,291	-0,221	2,659	-0,149	2,139	0,036	0,215	-1,956
03-12-1993	2,164	-0,499	2,018	-0,421	1,391	-0,134	1,362	-0,105	1,100	-4,184
23-09-1994	4,581	-0,888	4,955	-0,317	4,459	-0,993	4,596	-0,636	2,571	-4,472
22-03-1995	0,133	-0,037	0,265	0,025	-0,007	-0,207	0,037	-0,039	0,066	-0,065
10-04-1995	0,078	-0,149	0,091	-0,133	0,090	-0,146	0,000	-0,299	0,135	-0,082
25-08-1996	4,436	-1,749	3,694	-1,471	3,411	-1,396	3,681	-1,466	1,578	-3,715
11-02-2000	0,558	0,008	0,466	-0,015	0,268	-0,132	0,199	-0,031	0,088	-0,732
26-02-2000	0,541	0,193	0,514	0,064	0,463	0,139	0,419	0,088	0,127	-1,074
15-03-2002	1,787	0,099	1,782	-0,057	1,700	-0,270	1,586	-0,184	0,903	-2,336
22-01-2003	0,721	0,069	0,574	0,098	0,560	0,075	0,545	0,118	0,406	-2,311

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, L. Sup.: Límite superior y L. Inf.: Límite inferior.

C) Límites de confianza (superior e inferior) para las distintas crecidas según el modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ para el segundo punto de quiebre, en los distintos lapsos considerados.

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf
02-08-1971	6,789	0,605	6,715	-0,094	6,779	-0,147	6,703	-0,937	2,388	-8,996
21-12-1971	0,422	-0,062	0,429	-0,038	0,446	0,095	0,403	0,041	0,095	-0,533
16-03-1972	0,528	0,047	0,463	0,035	-0,060	-0,594	-0,049	-0,321	0,251	-0,191
16-11-1979	14,850	-7,192	14,480	-7,180	13,838	-7,285	11,991	-8,533	10,756	-9,240
29-10-1980	1,812	-3,289	0,900	-5,707	0,262	-5,477	0,737	-3,718	2,388	-1,115
29-12-1980	0,624	-0,425	0,762	-0,095	0,761	-0,075	0,764	0,051	0,298	-0,730
14-09-1982	7,298	-2,371	7,850	-2,001	6,229	-1,182	3,366	-0,905	1,059	-7,167
04-10-1982	10,454	-2,544	10,617	-2,043	6,453	-1,172	2,633	-2,235	3,192	-5,670
05-08-1983	6,734	-9,760	8,466	-8,048	10,434	-6,691	13,287	-4,069	10,945	-5,365
28-11-1986	2,120	-0,166	1,682	-0,099	0,928	-0,562	0,937	-0,567	0,557	-1,183
04-11-1988	0,525	-0,725	-0,190	-2,187	0,349	-1,031	-0,637	-2,786	0,416	-0,911
29-03-1990	0,607	0,060	0,580	0,107	0,192	-0,130	0,211	-0,034	0,161	-0,310
12-10-1990	1,686	-0,354	1,155	-0,354	-0,298	-2,331	-1,190	-3,094	0,584	-1,211
25-12-1991	0,081	-2,417	0,918	-1,559	1,276	-1,238	1,537	-0,952	0,156	-2,409
05-04-1992	-0,008	-0,671	0,011	-0,546	0,049	-0,257	0,033	-0,162	0,723	-0,229
19-11-1992	3,606	-0,476	1,200	-0,417	2,514	-0,110	1,781	0,045	0,348	-1,031
03-12-1993	1,324	-0,101	1,169	-0,053	0,324	-0,360	0,666	-0,038	0,188	-0,644
23-09-1994	-4,600	-14,152	-0,487	-3,976	-0,219	-3,186	2,216	-1,261	2,614	-0,961
22-03-1995	0,077	-0,060	0,183	0,015	-0,011	-0,109	0,037	-0,039	0,066	-0,065
10-04-1995	0,061	-0,508	0,079	-0,434	0,076	-0,269	-0,001	-0,366	0,221	-0,051
25-08-1996	5,289	-2,198	3,975	-1,590	3,372	-1,380	3,750	-1,500	1,114	-1,787
11-02-2000	0,052	-0,208	0,095	-0,159	0,118	-0,183	0,126	-0,030	0,065	-0,191
26-02-2000	-0,101	-0,463	-0,292	-0,701	0,208	0,002	0,151	-0,043	0,061	-0,228
15-03-2002	1,492	-0,249	1,373	-0,367	1,315	-0,401	1,344	-0,305	0,752	-0,849
22-01-2003	0,448	-0,283	0,240	-0,760	0,469	-0,165	0,479	0,042	0,146	-0,884

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, L. Sup.: Límite superior y L. Inf.: Límite inferior.

D) Límites de confianza (superior e inferior) para las distintas crecidas según el modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$ para el segundo punto de quiebre, en los distintos lapsos considerados.

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf
02-08-1971	3,949	-4,964	4,370	-4,086	5,330	-1,771	5,421	-1,826	2,361	-8,114
21-12-1971	-0,356	-0,951	-0,280	-0,741	0,042	-0,231	0,054	-0,210	0,173	-0,242
16-03-1972	0,487	0,022	0,458	0,031	-0,049	-0,387	-0,036	-0,195	0,203	-0,228
16-11-1979	12,801	-7,827	12,932	-7,789	13,089	-7,819	11,852	-8,718	10,665	-9,286
29-10-1980	1,910	-2,540	1,010	-4,760	0,297	-4,933	0,771	-3,343	2,656	-1,086
29-12-1980	0,620	-0,429	0,676	-0,220	0,695	-0,127	0,718	0,031	0,330	-0,929
14-09-1982	2,307	-4,251	3,673	-2,804	5,069	-1,133	3,177	-0,852	1,726	-6,506
04-10-1982	4,969	-3,654	6,224	-2,660	5,371	-1,333	2,580	-2,334	3,226	-4,892
05-08-1983	13,640	-4,011	13,589	-4,005	13,186	-4,432	14,597	-2,871	10,107	-7,053
28-11-1986	0,894	-0,620	0,901	-0,619	0,679	-0,890	0,727	-0,825	0,579	-1,046
04-11-1988	0,180	-1,501	-0,098	-1,903	0,205	-1,419	-0,503	-2,297	0,656	-0,913
29-03-1990	0,200	-0,458	0,292	-0,299	0,022	-0,153	0,120	-0,019	0,391	-0,268
12-10-1990	0,441	-1,549	0,336	-1,672	-0,449	-2,532	-1,057	-2,915	0,912	-1,025
25-12-1991	0,967	-1,577	1,157	-1,342	1,294	-1,223	1,471	-1,015	-0,036	-2,679
05-04-1992	0,047	-0,156	0,069	-0,118	0,116	-0,080	0,119	-0,120	0,151	-0,112
19-11-1992	0,185	-1,684	-0,619	-2,711	0,873	-1,010	0,714	-1,145	1,163	-0,831
03-12-1993	0,765	-0,075	0,783	-0,069	0,381	-0,286	0,611	-0,090	0,241	-0,921
23-09-1994	-1,945	-5,438	0,543	-2,707	0,398	-2,690	1,851	-1,473	3,006	-0,779
22-03-1995	0,097	-0,047	0,178	0,013	-0,013	-0,146	0,037	-0,039	0,066	-0,065
10-04-1995	0,072	-0,369	0,082	-0,327	0,077	-0,246	-0,001	-0,347	0,251	-0,046
25-08-1996	-0,466	-2,498	-1,201	-3,303	-0,156	-1,885	1,262	-1,275	2,916	-1,377
11-02-2000	-0,063	-0,461	-0,014	-0,348	0,063	-0,231	0,091	-0,037	0,316	-0,192
26-02-2000	0,190	-0,108	0,086	-0,283	0,246	0,019	0,203	-0,021	0,026	-0,376
15-03-2002	1,212	-0,416	1,205	-0,445	1,271	-0,417	1,329	-0,315	0,753	-0,961
22-01-2003	0,304	-0,581	0,232	-0,768	0,364	-0,323	0,413	-0,083	0,151	-0,938

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, L. Sup.: Límite superior y L. Inf.: Límite inferior.

E) Límites de confianza (superior e inferior) para las distintas crecidas según el modelo potencial $Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ para el tercer punto de quiebre, en los distintos lapsos considerados.

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf
02-08-1971	5,957	-0,096	5,947	-0,701	6,057	-0,570	6,057	-0,637	2,831	-12,884
21-12-1971	-0,010	-0,565	-0,008	-0,549	0,228	-0,046	0,227	-0,048	0,102	-0,397
16-03-1972	0,634	0,122	0,524	0,097	-0,081	-0,586	0,017	-0,109	0,168	-0,230
16-11-1979	14,639	-7,290	14,531	-7,316	14,369	-7,367	13,367	-7,605	9,769	-9,730
29-10-1980	1,882	-1,262	1,108	-8,303	0,494	-4,383	0,752	-2,831	1,863	-1,193
29-12-1980	0,732	-0,049	0,738	-0,121	0,733	-0,044	0,734	0,072	0,381	-1,178
14-09-1982	7,280	-2,941	7,605	-2,317	6,681	-0,264	0,456	-0,218	0,808	-10,311
04-10-1982	11,321	-1,653	11,326	-0,971	7,548	-0,541	4,394	-0,513	3,424	-8,361
05-08-1983	12,909	-4,570	13,093	-4,434	13,595	-4,096	15,196	-2,306	9,922	-6,378
28-11-1986	2,061	-0,300	1,876	-0,257	1,202	-0,336	1,136	-0,388	0,817	-1,870
04-11-1988	0,879	-0,210	0,700	-0,272	0,398	-0,516	0,107	-0,960	0,124	-0,944
29-03-1990	0,088	-0,361	-0,069	-0,586	0,188	-0,091	0,151	-0,027	0,154	-0,311
12-10-1990	1,175	-0,471	1,095	-0,492	0,243	-1,795	-0,510	-2,649	0,551	-1,150
25-12-1991	1,387	-1,190	1,521	-0,906	1,613	-0,776	1,540	-1,009	-0,033	-2,901
05-04-1992	0,461	-0,045	0,394	-0,052	0,246	-0,064	0,213	-0,125	0,051	-0,288
19-11-1992	2,221	-0,280	1,134	-0,585	2,222	-0,255	1,264	-0,319	0,486	-1,017
03-12-1993	1,376	-0,185	1,320	-0,162	0,653	-0,089	0,728	-0,051	0,468	-1,458
23-09-1994	2,072	-2,061	1,784	-2,408	2,802	-1,298	3,400	-0,736	2,723	-1,312
22-03-1995	0,097	-0,045	0,053	-0,246	0,012	-0,148	0,049	-0,033	0,079	-0,053
10-04-1995	0,095	-0,291	0,062	-0,401	0,092	-0,186	-0,024	-0,296	0,180	-0,052
25-08-1996	2,676	-1,241	1,707	-1,223	2,200	-1,204	2,694	-1,268	2,696	-1,262
11-02-2000	0,133	0,063	0,021	0,063	-0,016	0,076	0,023	0,035	-0,088	0,069
26-02-2000	0,231	-0,187	0,247	-0,158	0,307	0,093	0,243	-0,010	0,041	-0,463
15-03-2002	1,442	-0,273	1,421	-0,305	1,346	-0,412	1,420	-0,208	0,784	-1,222
22-01-2003	0,431	-0,081	0,443	-0,286	0,435	-0,065	0,441	0,016	0,262	-1,357

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, L. Sup.: Límite superior y L. Inf.: Límite inferior.

F) Límites de confianza (superior e inferior) para las distintas crecidas según el modelo exponencial $1 Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$ para el tercer punto de quiebre, en los distintos lapsos considerados.

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf
02-08-1971	7,249	1,782	7,207	1,129	7,175	0,693	7,111	0,358	3,077	-16,741
21-12-1971	0,235	-0,510	0,242	-0,502	0,389	0,043	0,378	0,034	0,118	-0,673
16-03-1972	0,728	0,163	0,606	0,146	-0,081	-0,586	0,037	-0,097	0,154	-0,240
16-11-1979	15,493	-7,323	15,400	-7,324	15,150	-7,245	14,143	-7,042	8,584	-10,675
29-10-1980	1,934	-0,934	1,062	-8,112	0,492	-4,367	0,764	-2,734	1,729	-1,273
29-12-1980	0,786	0,044	0,813	-0,026	0,807	0,005	0,782	0,086	0,341	-1,417
14-09-1982	12,661	-2,714	12,257	-2,240	8,642	-0,426	0,842	-0,402	1,004	-13,397
04-10-1982	15,194	-1,360	14,805	-0,750	9,382	-0,446	4,886	-0,047	3,303	-9,772
05-08-1983	13,898	-4,147	14,057	-3,992	14,400	-3,603	15,993	-1,699	9,715	-6,484
28-11-1986	2,980	-0,500	2,763	-0,393	1,957	-0,146	1,790	-0,123	1,171	-4,434
04-11-1988	1,242	0,078	0,993	0,126	0,619	-0,010	0,484	-0,626	0,080	-1,488
29-03-1990	0,143	-0,294	-0,052	-0,535	0,279	-0,099	0,193	-0,036	0,117	-0,360
12-10-1990	1,486	-0,269	1,373	-0,233	0,784	-1,552	0,004	-2,576	0,537	-1,966
25-12-1991	1,699	-0,904	1,750	-0,619	1,788	-0,536	1,764	-0,777	-0,050	-3,006
05-04-1992	0,656	-0,054	0,559	-0,061	0,326	-0,066	0,255	-0,128	0,045	-0,337
19-11-1992	3,011	-0,278	1,931	-0,263	2,853	-0,181	1,822	0,070	0,188	-1,814
03-12-1993	1,897	-0,358	1,819	-0,313	1,150	-0,042	1,146	-0,009	0,639	-2,916
23-09-1994	3,718	-1,568	3,467	-1,939	4,170	-0,941	4,511	-0,509	2,234	-3,296
22-03-1995	0,097	-0,045	0,046	-0,218	0,010	-0,140	0,049	-0,033	0,078	-0,053
10-04-1995	0,093	-0,284	0,062	-0,400	0,093	-0,175	-0,024	-0,293	0,161	-0,056
25-08-1996	4,004	-1,578	3,182	-1,355	3,454	-1,405	3,717	-1,478	1,478	-3,498
11-02-2000	0,500	0,085	0,366	-0,054	0,242	-0,144	0,143	-0,044	0,044	-0,459
26-02-2000	0,428	-0,127	0,436	-0,103	0,422	0,143	0,374	0,030	0,040	-0,612
15-03-2002	1,740	-0,125	1,715	-0,186	1,572	-0,347	1,534	-0,124	0,750	-1,493
22-01-2003	0,551	0,103	0,570	-0,052	0,543	0,074	0,529	0,120	0,301	-1,889

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, L. Sup.: Límite superior y L. Inf.: Límite inferior.

G) Límites de confianza (superior e inferior) para las distintas crecidas según el modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ para el tercer punto de quiebre, en los distintos lapsos considerados.

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf
02-08-1971	6,909	0,325	6,834	-0,629	6,876	-0,185	6,812	-0,400	2,342	-8,672
21-12-1971	-0,616	-1,995	-0,628	-1,894	-0,271	-1,181	-0,188	-0,946	1,057	-0,501
16-03-1972	0,714	0,159	0,474	0,068	-0,081	-0,586	-0,017	-0,254	0,244	-0,192
16-11-1979	12,054	-8,460	12,917	-7,817	13,747	-7,462	11,994	-9,010	11,345	-9,004
29-10-1980	1,517	-4,966	0,887	-5,537	0,479	-5,134	0,645	-4,018	2,422	-1,117
29-12-1980	0,775	0,105	0,809	-0,004	0,808	0,009	0,784	0,088	0,307	-0,913
14-09-1982	7,348	-3,734	8,697	-2,668	7,032	-0,313	0,308	-0,147	1,180	-7,347
04-10-1982	14,780	-1,487	14,164	-0,886	7,509	-0,576	4,173	-0,782	3,170	-6,026
05-08-1983	7,513	-9,048	8,568	-8,029	11,296	-5,822	14,530	-2,750	10,690	-5,574
28-11-1986	-1,000	-3,582	0,038	-1,954	0,073	-1,707	0,430	-1,208	0,781	-0,921
04-11-1988	-0,261	-2,453	-0,219	-2,253	-0,180	-2,001	-0,571	-2,624	0,357	-0,955
29-03-1990	-0,003	-1,204	-0,101	-1,194	0,092	-0,095	0,112	-0,021	0,353	-0,271
12-10-1990	0,364	-1,625	0,596	-1,273	-1,314	-4,195	-2,012	-4,681	0,695	-1,108
25-12-1991	-0,786	-3,729	-0,497	-3,311	0,188	-2,346	0,177	-2,269	0,914	-2,268
05-04-1992	0,004	-0,209	0,053	-0,132	0,119	-0,090	0,139	-0,125	0,082	-0,102
19-11-1992	-1,299	-6,998	-1,648	-7,169	0,127	-4,901	-0,329	-5,205	4,267	-1,760
03-12-1993	-0,401	-1,505	0,319	-0,471	-0,237	-1,147	0,333	-0,408	0,310	-0,494
23-09-1994	-3,963	-13,718	-3,627	-12,291	0,129	-2,809	2,755	-0,855	2,624	-0,942
22-03-1995	0,097	-0,045	0,042	-0,118	0,007	-0,101	0,051	-0,030	0,070	-0,060
10-04-1995	0,095	-0,451	0,063	-0,459	0,087	-0,255	-0,026	-0,332	0,216	-0,047
25-08-1996	-2,648	-6,013	-4,073	-8,883	0,728	-1,190	2,445	-1,025	1,648	-0,960
11-02-2000	0,377	0,042	0,156	-0,120	0,154	-0,166	0,104	-0,046	0,072	-0,207
26-02-2000	-0,375	-1,297	-0,281	-0,785	0,267	0,058	0,145	-0,061	0,093	-0,244
15-03-2002	1,503	-0,317	1,455	-0,339	1,300	-0,431	1,411	-0,208	0,752	-0,808
22-01-2003	0,082	-0,938	-0,165	-1,150	0,485	-0,086	0,487	0,066	0,153	-0,871

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, L. Sup.: Límite superior y L. Inf.: Límite inferior.

H) Límites de confianza (superior e inferior) para las distintas crecidas según el modelo exponencial $Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$ para el tercer punto de quiebre, en los distintos lapsos considerados.

Crecida	(48 hr)		(72 hr)		(168 hr)		(240 hr)		Total (*)	
	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf	L. Sup	L. Inf
02-08-1971	3,028	-5,741	3,553	-4,929	5,036	-2,056	5,333	-1,504	2,348	-6,973
21-12-1971	-0,504	-1,406	-0,503	-1,239	-0,012	-0,300	0,046	-0,217	0,226	-0,263
16-03-1972	0,422	-0,016	0,360	-0,065	-0,081	-0,586	-0,014	-0,215	0,247	-0,190
16-11-1979	12,302	-8,227	12,668	-8,029	13,395	-7,766	12,236	-8,648	11,003	-9,132
29-10-1980	1,638	-3,863	0,853	-6,099	0,502	-4,831	0,666	-3,717	2,829	-1,085
29-12-1980	0,552	-0,388	0,546	-0,405	0,673	-0,108	0,724	0,069	0,289	-0,744
14-09-1982	-0,275	-6,537	1,777	-3,680	5,047	-0,230	0,040	-0,019	3,232	-5,691
04-10-1982	3,876	-3,425	5,866	-1,947	5,222	-0,962	3,875	-1,457	3,301	-3,658
05-08-1983	9,088	-7,230	9,705	-6,778	11,386	-5,734	13,795	-3,464	10,663	-5,604
28-11-1986	0,305	-1,509	0,502	-1,228	0,384	-1,316	0,537	-1,077	0,758	-0,927
04-11-1988	-0,278	-2,513	-0,271	-2,438	-0,259	-2,270	-0,550	-2,543	0,746	-0,936
29-03-1990	0,014	-0,807	-0,096	-0,910	0,063	-0,097	0,097	-0,018	0,387	-0,271
12-10-1990	0,137	-2,007	0,261	-1,827	-0,947	-3,216	-1,705	-3,722	0,953	-1,029
25-12-1991	0,135	-2,400	0,700	-1,807	1,286	-1,185	1,181	-1,368	0,106	-2,515
05-04-1992	0,021	-0,170	0,050	-0,136	0,106	-0,096	0,131	-0,125	0,092	-0,095
19-11-1992	0,025	-1,965	-0,851	-3,225	1,255	-0,792	0,419	-1,465	1,198	-0,836
03-12-1993	0,302	-0,401	0,481	-0,242	0,159	-0,617	0,406	-0,283	0,181	-0,570
23-09-1994	-2,434	-7,089	-2,420	-6,622	0,210	-2,727	1,981	-1,331	3,287	-0,784
22-03-1995	0,097	-0,045	0,044	-0,107	0,007	-0,095	0,050	-0,031	0,074	-0,057
10-04-1995	0,100	-0,389	0,065	-0,433	0,087	-0,252	-0,026	-0,324	0,273	-0,043
25-08-1996	-1,256	-3,455	-2,103	-4,426	0,024	-1,782	1,431	-1,270	2,906	-1,371
11-02-2000	0,065	-0,374	-0,009	-0,380	0,069	-0,219	0,070	-0,058	0,376	-0,200
26-02-2000	-0,203	-0,593	-0,141	-0,421	0,198	0,021	0,121	-0,071	0,076	-0,253
15-03-2002	0,950	-0,577	1,047	-0,506	1,159	-0,484	1,351	-0,264	0,766	-0,690
22-01-2003	0,027	-0,985	-0,055	-1,076	0,328	-0,324	0,398	-0,101	0,153	-0,813

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta, L. Sup.: Límite superior y L. Inf.: Límite inferior.

APÉNDICE II: Tablas promedios de caudal para los diferentes modelos, tiempos y planteamientos.

A) Tabla caudales observados promedio para el planteamiento original.

Crecida	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
02-08-1971	8,41	7,46	7,13	6,19	5,84
21-12-1971	0,52	0,48	0,47	0,42	0,39
16-03-1972	0,61	0,59	0,59	0,56	0,53
16-11-1979	4,66	4,53	4,49	4,38	4,32
29-10-1980	6,23	6,12	6,07	5,74	5,48
29-12-1980	0,53	0,50	0,49	0,46	0,45
14-09-1982	23,69	18,86	17,46	15,07	14,67
04-10-1982	16,84	14,99	14,46	13,80	13,74
05-08-1983	9,80	9,73	9,71	9,66	9,76
28-11-1986	1,78	1,65	1,60	1,43	1,33
04-11-1988	1,23	1,20	1,18	1,12	1,07
29-03-1990	1,12	1,00	0,95	0,76	0,72
12-10-1990	1,00	0,95	0,93	0,84	0,77
25-12-1991	1,08	1,01	0,99	0,91	0,87
05-04-1992	1,09	1,01	0,98	0,90	0,86
19-11-1992	1,98	1,90	1,87	1,76	1,71
03-12-1993	1,04	0,96	0,93	0,85	0,79
23-09-1994	3,52	3,35	3,27	3,00	2,86
22-03-1995	0,34	0,34	0,34	0,35	0,34
10-04-1995	0,61	0,59	0,57	0,51	0,47
25-08-1996	1,89	1,79	1,74	1,58	1,49
11-02-2000	1,07	0,85	0,77	0,58	0,52
26-02-2000	0,53	0,48	0,46	0,41	0,39
15-03-2002	1,46	1,25	1,21	1,13	1,16
22-01-2003	0,57	0,52	0,50	0,44	0,41
Promedio	3,66	3,28	3,17	2,91	2,84

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

B) Tabla caudales estimados promedio para el modelo potencial

$Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2}$ en el planteamiento original.

Crecida	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
02-08-1971	14,34	4,06	4,04	3,28	3,24
21-12-1971	0,68	0,48	0,45	0,29	0,30
16-03-1972	0,70	0,18	0,21	0,66	0,55
16-11-1979	4,97	0,75	0,82	0,99	1,58
29-10-1980	6,04	4,25	7,01	7,64	6,09
29-12-1980	1,03	0,16	0,13	0,12	0,07
14-09-1982	30,68	14,21	13,38	12,19	13,31
04-10-1982	20,50	9,46	9,21	10,28	12,71
05-08-1983	9,52	2,18	2,48	3,42	2,78
28-11-1986	2,49	0,58	0,64	0,86	0,86
04-11-1988	1,69	0,54	0,76	0,79	1,34
29-03-1990	1,21	0,82	0,74	0,75	0,64
12-10-1990	1,33	0,47	0,58	1,17	1,60
25-12-1991	2,78	0,49	0,47	0,51	0,42
05-04-1992	1,19	0,78	0,79	0,79	0,81
19-11-1992	2,27	0,84	1,37	0,91	1,06
03-12-1993	1,71	0,27	0,29	0,46	0,37
23-09-1994	2,99	2,51	1,72	2,17	1,61
22-03-1995	0,34	0,29	0,21	0,46	0,34
10-04-1995	0,57	0,63	0,61	0,55	0,62
25-08-1996	1,17	0,86	1,20	1,13	0,81
11-02-2000	1,22	0,76	0,72	0,60	0,47
26-02-2000	0,87	0,22	0,30	0,20	0,23
15-03-2002	1,90	0,54	0,58	0,60	0,59
22-01-2003	1,90	0,54	0,58	0,60	0,59
Promedio	4,56	1,88	1,97	2,06	2,12

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

C) Tabla caudales estimados promedio para el modelo exponencial 1

$$Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)} \text{ en el planteamiento original.}$$

Crecida	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
02-08-1971	16,66	2,44	2,46	2,03	2,12
21-12-1971	0,81	0,32	0,30	0,17	0,18
16-03-1972	0,73	0,11	0,13	0,63	0,51
16-11-1979	6,30	0,37	0,40	0,47	0,82
29-10-1980	6,17	3,73	6,93	7,61	5,97
29-12-1980	1,23	0,08	0,06	0,05	0,03
14-09-1982	33,22	10,39	10,17	10,86	13,02
04-10-1982	21,69	6,91	6,94	8,99	12,05
05-08-1983	9,95	1,25	1,48	2,34	1,85
28-11-1986	3,86	0,28	0,31	0,42	0,42
04-11-1988	2,02	0,30	0,45	0,47	0,96
29-03-1990	1,26	0,71	0,63	0,70	0,62
12-10-1990	1,78	0,25	0,32	0,77	1,20
25-12-1991	2,88	0,27	0,26	0,28	0,23
05-04-1992	1,21	0,68	0,71	0,75	0,79
19-11-1992	2,85	0,47	0,84	0,51	0,62
03-12-1993	2,58	0,13	0,13	0,22	0,16
23-09-1994	4,47	1,51	0,95	1,27	0,88
22-03-1995	0,34	0,29	0,20	0,46	0,34
10-04-1995	0,58	0,62	0,59	0,54	0,62
25-08-1996	2,96	0,44	0,63	0,57	0,38
11-02-2000	1,39	0,56	0,55	0,51	0,43
26-02-2000	1,01	0,12	0,18	0,11	0,14
15-03-2002	2,18	0,31	0,35	0,42	0,46
22-01-2003	1,52	0,12	0,16	0,12	0,08
Promedio	5,19	1,31	1,44	1,65	1,79

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

D) Tabla caudales estimados promedio para el modelo exponencial 2

$$Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n} \text{ en el planteamiento original.}$$

Crecida	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
02-08-1971	11,72	3,76	3,82	2,87	2,96
21-12-1971	0,73	0,30	0,27	0,14	0,17
16-03-1972	0,58	0,30	0,34	0,89	0,71
16-11-1979	3,90	0,71	0,84	1,11	2,59
29-10-1980	5,59	6,86	8,47	8,34	6,97
29-12-1980	0,75	0,40	0,15	0,12	0,05
14-09-1982	26,74	16,40	14,54	12,55	13,44
04-10-1982	18,08	11,04	10,18	11,16	13,54
05-08-1983	7,01	11,24	9,50	7,78	5,15
28-11-1986	2,10	0,67	0,81	1,25	1,14
04-11-1988	1,48	1,29	2,37	1,46	2,78
29-03-1990	1,20	0,66	0,60	0,73	0,63
12-10-1990	1,32	0,28	0,53	2,16	2,91
25-12-1991	2,20	2,18	1,31	0,89	0,58
05-04-1992	0,84	1,35	1,25	1,01	0,92
19-11-1992	2,32	0,34	1,48	0,56	0,79
03-12-1993	1,27	0,35	0,37	0,86	0,48
23-09-1994	2,70	12,73	5,50	4,70	2,38
22-03-1995	0,34	0,33	0,24	0,41	0,34
10-04-1995	0,52	0,81	0,75	0,61	0,65
25-08-1996	2,23	0,24	0,55	0,58	0,37
11-02-2000	1,14	0,92	0,81	0,61	0,47
26-02-2000	0,62	0,77	0,96	0,31	0,34
15-03-2002	1,51	0,63	0,71	0,68	0,64
22-01-2003	0,93	0,43	0,76	0,28	0,15
Promedio	3,91	3,00	2,68	2,48	2,45

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

E) Tabla caudales estimados promedio para el modelo exponencial 3

$$Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})}$$

en el planteamiento original.

Crecida	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
02-08-1971	11,29	7,97	6,99	4,41	4,04
21-12-1971	0,54	1,13	0,97	0,51	0,47
16-03-1972	0,62	0,34	0,34	0,78	0,64
16-11-1979	3,97	2,05	1,92	1,75	2,75
29-10-1980	5,44	6,44	7,94	8,05	6,77
29-12-1980	0,83	0,40	0,26	0,18	0,08
14-09-1982	26,08	19,83	17,03	13,10	13,50
04-10-1982	17,68	14,33	12,68	11,78	13,62
05-08-1983	8,27	4,91	4,91	5,28	3,90
28-11-1986	2,02	1,51	1,46	1,53	1,38
04-11-1988	1,36	1,86	2,18	1,72	2,47
29-03-1990	1,06	1,13	0,95	0,83	0,67
12-10-1990	1,06	1,50	1,60	2,33	2,75
25-12-1991	2,43	1,32	1,08	0,88	0,64
05-04-1992	1,07	1,06	1,01	0,88	0,86
19-11-1992	1,82	2,65	3,54	1,83	1,92
03-12-1993	1,38	0,61	0,57	0,80	0,53
23-09-1994	2,41	7,05	4,35	4,15	2,67
22-03-1995	0,34	0,32	0,25	0,43	0,34
10-04-1995	0,51	0,73	0,69	0,59	0,64
25-08-1996	1,12	3,27	4,00	2,60	1,50
11-02-2000	1,01	1,11	0,95	0,66	0,49
26-02-2000	0,71	0,44	0,56	0,28	0,30
15-03-2002	1,57	0,86	0,83	0,71	0,65
22-01-2003	0,96	0,66	0,77	0,42	0,25
Promedio	3,82	3,34	3,11	2,66	2,55

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

F) Tabla caudales observados promedio para el planteamiento modificado.

Crecida	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
02-08-1971	8,11	7,29	6,99	6,12	5,79
21-12-1971	0,51	0,48	0,46	0,41	0,39
16-03-1972	0,60	0,59	0,59	0,56	0,52
16-11-1979	4,62	4,51	4,47	4,37	4,31
29-10-1980	6,19	6,10	6,03	5,69	5,45
29-12-1980	0,52	0,49	0,48	0,46	0,45
14-09-1982	21,94	18,14	16,95	15,01	15,00
04-10-1982	16,19	14,70	14,26	13,74	13,61
05-08-1983	9,75	9,71	9,70	9,66	9,79
28-11-1986	1,74	1,62	1,58	1,41	1,31
04-11-1988	1,22	1,19	1,17	1,11	1,06
29-03-1990	1,09	0,98	0,93	0,75	0,72
12-10-1990	0,99	0,94	0,92	0,83	0,75
25-12-1991	1,06	1,00	0,98	0,90	0,86
05-04-1992	1,07	1,00	0,97	0,90	0,85
19-11-1992	1,96	1,89	1,86	1,75	1,70
03-12-1993	1,01	0,94	0,92	0,84	0,78
23-09-1994	3,47	3,31	3,24	2,97	2,84
22-03-1995	0,34	0,34	0,35	0,35	0,34
10-04-1995	0,60	0,58	0,56	0,50	0,45
25-08-1996	1,86	1,77	1,72	1,56	1,48
11-02-2000	1,00	0,80	0,74	0,56	0,51
26-02-2000	0,51	0,47	0,45	0,41	0,39
15-03-2002	1,38	1,23	1,19	1,13	1,17
22-01-2003	0,55	0,51	0,49	0,43	0,41
Promedio	3,53	3,22	3,12	2,90	2,84

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

G) Tabla caudales estimados promedio para el modelo potencial

$$Q(t) = Q_0(1 + \alpha \cdot t)^{-2} \text{ en el planteamiento modificado.}$$

Crecida	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
02-08-1971	13,14	4,36	4,37	3,37	3,08
21-12-1971	0,67	0,77	0,75	0,33	0,30
16-03-1972	0,63	0,21	0,28	0,89	0,57
16-11-1979	4,60	0,84	0,87	0,87	1,43
29-10-1980	5,86	5,79	9,63	7,64	6,49
29-12-1980	0,92	0,15	0,17	0,11	0,05
14-09-1982	26,70	15,97	14,30	11,80	14,88
04-10-1982	18,66	9,87	9,08	10,24	11,66
05-08-1983	7,97	5,54	5,37	4,91	3,35
28-11-1986	2,27	0,74	0,77	0,98	0,94
04-11-1988	1,63	0,85	0,96	1,17	1,49
29-03-1990	1,17	1,11	1,26	0,70	0,66
12-10-1990	1,29	0,59	0,62	1,61	2,33
25-12-1991	2,52	0,90	0,67	0,49	0,60
05-04-1992	1,19	0,79	0,80	0,80	0,81
19-11-1992	2,23	0,92	1,58	0,77	1,22
03-12-1993	1,51	0,35	0,34	0,55	0,45
23-09-1994	2,77	3,31	3,55	2,22	1,50
22-03-1995	0,33	0,32	0,44	0,41	0,33
10-04-1995	0,54	0,68	0,73	0,55	0,61
25-08-1996	1,14	1,05	1,48	1,06	0,77
11-02-2000	1,08	0,67	0,72	0,58	0,49
26-02-2000	0,72	0,45	0,41	0,21	0,27
15-03-2002	1,60	0,65	0,63	0,67	0,57
22-01-2003	1,60	0,65	0,63	0,67	0,57
Promedio	4,11	2,30	2,42	2,14	2,22

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

H) Tabla caudales estimados promedio para el modelo exponencial 1

$$Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)} \text{ en el planteamiento modificado.}$$

Crecida	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
02-08-1971	14,95	2,77	2,82	2,18	2,06
21-12-1971	0,80	0,62	0,60	0,20	0,19
16-03-1972	0,65	0,14	0,21	0,89	0,55
16-11-1979	5,66	0,43	0,43	0,42	0,76
29-10-1980	5,97	5,60	9,56	7,63	6,43
29-12-1980	1,06	0,08	0,09	0,05	0,02
14-09-1982	28,14	13,17	11,94	10,90	14,78
04-10-1982	19,43	7,78	7,23	9,28	11,19
05-08-1983	8,13	4,84	4,67	4,26	2,64
28-11-1986	3,37	0,38	0,39	0,51	0,48
04-11-1988	1,93	0,53	0,61	0,81	1,13
29-03-1990	1,21	1,05	1,23	0,66	0,64
12-10-1990	1,70	0,33	0,35	1,21	2,04
25-12-1991	2,59	0,60	0,41	0,28	0,37
05-04-1992	1,21	0,70	0,72	0,77	0,79
19-11-1992	2,78	0,52	1,02	0,41	0,75
03-12-1993	2,15	0,18	0,17	0,28	0,22
23-09-1994	4,00	2,24	2,47	1,36	0,83
22-03-1995	0,33	0,32	0,43	0,41	0,33
10-04-1995	0,55	0,67	0,73	0,54	0,61
25-08-1996	2,87	0,55	0,81	0,54	0,36
11-02-2000	1,20	0,51	0,58	0,51	0,46
26-02-2000	0,80	0,32	0,29	0,12	0,18
15-03-2002	1,75	0,42	0,43	0,52	0,47
22-01-2003	1,34	0,18	0,23	0,12	0,08
Promedio	4,58	1,80	1,94	1,79	1,93

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

l) Tabla caudales estimados promedio para el modelo exponencial 2

$Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ en el planteamiento modificado.

Crecida	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
02-08-1971	11,28	3,67	3,89	2,77	2,59
21-12-1971	0,24	1,79	1,73	1,15	0,96
16-03-1972	0,58	0,15	0,32	0,89	0,65
16-11-1979	3,45	2,71	1,92	1,23	2,82
29-10-1980	5,54	7,82	8,36	8,02	7,14
29-12-1980	0,82	0,05	0,08	0,05	0,02
14-09-1982	25,03	16,34	13,93	11,65	14,92
04-10-1982	17,62	8,05	7,62	10,28	11,91
05-08-1983	7,19	10,48	9,43	6,92	3,90
28-11-1986	1,81	3,91	2,53	2,23	1,70
04-11-1988	1,52	2,54	2,41	2,20	2,66
29-03-1990	1,05	1,58	1,58	0,75	0,67
12-10-1990	1,20	1,57	1,26	3,58	4,10
25-12-1991	1,74	3,26	2,88	1,98	1,91
05-04-1992	1,08	1,10	1,01	0,88	0,84
19-11-1992	0,71	6,04	6,27	4,14	4,46
03-12-1993	1,10	1,90	1,00	1,53	0,82
23-09-1994	2,63	12,15	11,20	4,31	1,89
22-03-1995	0,33	0,32	0,38	0,39	0,33
10-04-1995	0,52	0,76	0,76	0,59	0,63
25-08-1996	1,52	6,10	8,20	1,79	0,77
11-02-2000	1,06	0,59	0,72	0,57	0,48
26-02-2000	0,59	1,31	0,99	0,24	0,34
15-03-2002	1,41	0,64	0,63	0,70	0,57
22-01-2003	0,91	0,94	1,15	0,23	0,13
Promedio	3,64	3,83	3,61	2,76	2,69

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.

J) Tabla caudales estimados promedio para el modelo exponencial 3

$$Q(t) = Q_0 \cdot e^{(-2\alpha\sqrt{t})} \text{ en el planteamiento modificado.}$$

Crecida	(48 hr)	(72 hr)	(168 hr)	(240 hr)	Total (*)
02-08-1971	10,43	8,64	7,68	4,63	3,88
21-12-1971	0,54	1,44	1,34	0,57	0,48
16-03-1972	0,57	0,39	0,44	0,89	0,63
16-11-1979	3,68	2,47	2,15	1,56	2,51
29-10-1980	5,32	7,21	8,66	7,86	6,97
29-12-1980	0,75	0,41	0,41	0,18	0,06
14-09-1982	23,17	21,55	17,90	12,60	14,99
04-10-1982	16,37	14,48	12,30	11,61	12,40
05-08-1983	7,22	8,78	8,23	6,84	4,62
28-11-1986	1,82	2,23	1,94	1,88	1,58
04-11-1988	1,32	2,58	2,52	2,37	2,61
29-03-1990	1,03	1,37	1,44	0,76	0,68
12-10-1990	1,03	1,87	1,70	2,91	3,47
25-12-1991	2,26	2,13	1,53	0,85	0,96
05-04-1992	1,07	1,07	1,01	0,89	0,85
19-11-1992	1,78	2,86	3,89	1,52	2,22
03-12-1993	1,21	0,99	0,80	1,07	0,72
23-09-1994	2,22	8,07	7,76	4,23	2,51
22-03-1995	0,33	0,32	0,38	0,39	0,33
10-04-1995	0,49	0,72	0,75	0,58	0,63
25-08-1996	1,09	4,12	4,99	2,44	1,40
11-02-2000	0,91	0,96	0,93	0,63	0,50
26-02-2000	0,60	0,87	0,74	0,30	0,36
15-03-2002	1,34	1,04	0,92	0,80	0,63
22-01-2003	0,88	0,99	1,05	0,43	0,26
Promedio	3,50	3,90	3,66	2,75	2,65

(*) Considera la totalidad de datos con que se cuenta.