



UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**MODELACIÓN DE CAUDALES RECESIVOS PARA LA CUENCA DEL RÍO MAIPO,  
REGIÓN METROPOLITANA Y LA CUENCA DEL RÍO BIOBÍO, REGIÓN DEL  
BIOBÍO, CHILE**

**EDGAR ALEXIS CASTILLO JAÑA**

Memoria para optar al título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Profesor Guía: Dr. Ing. Roberto Pizarro Tapia

TALCA – CHILE

2015

## 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. Hidrograma de Crecida.....	4
3.2. Curva Recesiva.....	6
3.3. Modelación Matemática de la Curva Recesiva .....	8
3.4. Antecedentes de las Cuencas.....	10
4. METODOLOGÍA.....	14
4.1. Revisión Bibliográfica .....	14
4.2. Información Requerida.....	14
4.3. Elaboración de los Hidrogramas.....	15
4.4. Identificación de la Curva Recesiva .....	15
4.5. Modelos Matemáticos a Ajustar .....	16
4.6. Ajuste de los Modelos .....	16
4.6.1 Tiempos involucrados .....	16

4.6.2. Determinación del coeficiente de agotamiento “ $\alpha$ ” .....	17
4.6.3. Determinación del coeficiente adimensional “n” .....	18
4.7. Validación Estadística de los Modelos .....	18
4.7.1. Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) .....	18
4.7.2. Error estándar de estimación (EEE).....	19
4.7.3. Prueba U de Mann-Whitney .....	20
4.7.4. Prueba de concordancia de Bland & Altman .....	21
4.8. Presentación de Resultados .....	23
4.9. Análisis y Discusión de los Resultados.....	24
4.10. Conclusiones y Recomendaciones .....	24
4.11. Materiales y Equipos.....	24
5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	26
5.1. Crecidas Seleccionadas y sus Parámetros Respectivos.....	26
5.2 Validación Estadística .....	37
5.2.1 Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) .....	37
5.2.2. Error Estándar de Estimación (EEE).....	46
5.2.3. U de Mann-Whitney.....	55
5.2.4 Prueba de concordancia de Bland & Altman .....	64
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	81
6.1. Análisis de Resultados.....	81

6.2. Análisis de la Crecidas Seleccionadas.....	81
6.2.1. Cuenca del río Maipo .....	81
6.2.2 Cuenca del río Biobío .....	82
6.3. Análisis de los Caudales Modelados Bajo los Cuatro Modelos Propuestos para Ambos Planteamientos y en Ambas Cuencas.....	83
6.4 Análisis del coeficiente de agotamiento “ $\alpha$ ” .....	84
6.5 Análisis del coeficiente adimensional “n” .....	88
6.6. Análisis de la Validación de los Modelos.....	89
6.6.1. Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) .....	89
6.6.2. Error estándar de estimación (EEE).....	92
6.6.2.1. Cociente entre el EEE y el promedio de los caudales observados .....	95
6.6.3. Prueba U de Mann-Whitney .....	97
6.6.4. Prueba de concordancia de Bland & Altman .....	99
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	103
7.1. Conclusiones.....	103
7.2. Recomendaciones .....	105
8. BIBLIOGRAFÍA .....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

NÚMERO	CONTENIDO	PÁGINA
Figura N° 1.	Hidrograma de crecida.....	4
Figura N° 2.	Gráfico semilogarítmico para determinar quiebres. ....	7
Figura N° 3.	Ubicación de la cuenca del río Maipo. ....	11
Figura N° 4.	Ubicación de la cuenca del río Biobío.....	13
Figura N° 5.	Ejemplo de un gráfico resultante de la prueba Bland & Altman.....	23

## ÍNDICE DE TABLAS

NÚMERO	CONTENIDO	PÁGINA
<b>Tabla N° 1:</b>	Parámetros $Q_0$ y $\alpha$ para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Maipo.....	27
<b>Tabla N° 2:</b>	Parámetros $Q_0$ y $\alpha$ para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1 $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Maipo.....	28
<b>Tabla N° 3:</b>	Parámetros $Q_0$ y $\alpha$ para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo. ....	29
<b>Tabla N° 4:</b>	Parámetros $Q_0$ y $n$ para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo. ....	30
<b>Tabla N° 5:</b>	Parámetros $Q_0$ y $\alpha$ para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Maipo.....	31
<b>Tabla N° 6:</b>	Parámetros $Q_0$ y $\alpha$ para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Biobío.....	32

**Tabla N° 7:** Parámetros  $Q_0$  y  $\alpha$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Biobío..... 33

**Tabla N° 8:** Parámetros  $Q_0$  y  $\alpha$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío..... 34

**Tabla N° 9:** Parámetros  $Q_0$  y  $n$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío..... 35

**Tabla N° 10:** Parámetros  $Q_0$  y  $\alpha$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Biobío..... 36

**Tabla N° 11:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Maipo..... 38

**Tabla N° 12:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Maipo..... 39

**Tabla N° 13:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo..... 40

**Tabla N° 14:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Maipo. .... 41

**Tabla N° 15:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Biobío..... 42

**Tabla N° 16:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Biobío..... 43

**Tabla N° 17:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío. .... 44

**Tabla N° 18:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Biobío..... 45

**Tabla N° 19:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Maipo. .... 47

**Tabla N° 20:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Maipo. .... 48



**Tabla N° 21:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo..... 49

**Tabla N° 22:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Maipo. .... 50

**Tabla N° 23:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Biobío..... 51

**Tabla N° 24:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Biobío..... 52

**Tabla N° 25:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío. .... 53

**Tabla N° 26:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$  cuenca del río Biobío..... 54

**Tabla N° 27:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Maipo. .... 56

**Tabla N° 28:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Maipo. .... 57

**Tabla N° 29:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo..... 58

**Tabla N° 30:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Maipo. .... 59

**Tabla N° 31:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Biobío..... 60

**Tabla N° 32:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Biobío..... 61

**Tabla N° 33:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío. .... 62

**Tabla N° 34:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M):  
Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Biobío..... 63

**Tabla N° 35:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Maipo..... 65

**Tabla N° 36:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Maipo..... 66

**Tabla N° 37:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo. .... 67

**Tabla N° 38:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Maipo..... 68

**Tabla N° 39:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Maipo..... 69

**Tabla N° 40:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Maipo..... 70

**Tabla N° 41:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo. .... 71

**Tabla N° 42:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Maipo..... 72

**Tabla N° 43:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Biobío..... 73

**Tabla N° 44:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Biobío..... 74

**Tabla N° 45:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío..... 75

**Tabla N° 46:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Biobío..... 76

**Tabla N° 47:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Biobío..... 77

**Tabla N° 48:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Biobío..... 78

<b>Tabla N° 49:</b> Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2 $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío.....	79
<b>Tabla N° 50:</b> Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3 $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Biobío.....	80
<b>Tabla N° 51:</b> Caudales modelados promedio (m <sup>3</sup> /s) para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M) junto con sus respectivos promedios de caudal observado (Q obs.), para ambas cuencas en estudio. ....	83
<b>Tabla N° 52:</b> Valores comparativos para el coeficiente de agotamiento “ $\alpha$ ” para los 4 modelos, en los lapsos establecidos y bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), cuenca del río Maipo.....	86
<b>Tabla N° 53:</b> Valores comparativos para el coeficiente de agotamiento “ $\alpha$ ” para los 4 modelos, en los lapsos establecidos y bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), cuenca del río Biobío. ....	87
<b>Tabla N° 54:</b> Valores comparativos para el coeficiente de agotamiento “ $n$ ” para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), para la cuenca del río colorado y del río Biobío. ....	89
<b>Tabla N° 55:</b> Valores comparativos para el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), para la cuenca del río Maipo. ....	90

<b>Tabla N° 56:</b> Valores comparativos para el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), para la cuenca del río Biobío.....	91
<b>Tabla N° 57:</b> Valores comparativos para el error estándar de estimación (EEE) para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), para la cuenca del río Maipo.....	93
<b>Tabla N° 58:</b> Valores comparativos para el error estándar de estimación (EEE) para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), para la cuenca del río Biobío. ....	94
<b>Tabla N° 59:</b> Cocientes entre el promedio del error estándar de estimación (EEE) y el promedio de los caudales observados para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M) y para la cuenca del río Maipo y la del río Biobío.....	96
<b>Tabla N° 60:</b> Cocientes (%) entre el número de pruebas aceptadas, a un nivel de significancia del 5%, y el total de crecidas para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), para la cuenca del río Maipo y la del río Biobío.....	97
<b>Tabla N° 61:</b> Prueba de concordancia de Bland & Altman para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), para la cuenca del río Maipo.....	100

**Tabla N° 62:** Prueba de concordancia de Bland & Altman para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), para la cuenca del río Biobío.....101

## RESUMEN

A continuación se presenta este estudio que tiene como principal objetivo modelar los caudales recesivos generados a partir de las aportaciones pluviales sobre las cuencas seleccionadas. Estas cuencas corresponden a la cuenca del río Maipo, Región Metropolitana, y a la cuenca del río Biobío, Región del Biobío.

Para realizar este estudio, la Dirección General de Aguas facilitó la información fluviométrica correspondiente a dichas cuencas.

Se ajustaron y evaluaron cuatro modelos matemáticos, estos son: modelo potencial ( $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ ), modelo exponencial 1 ( $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ ), modelo exponencial 2 ( $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ ) y modelo exponencial 3 ( $Q(t) = Q_0 * e^{-2\alpha\sqrt{t}}$ ); donde: “ $Q_0$ ” es el caudal inicial ( $m^3/s$ ) de la curva recesiva, “ $\alpha$ ” el coeficiente de agotamiento, “ $n$ ” parámetro exclusivo,  $t$  tiempo (horas), “ $t_0$ ” tiempo de inicio de la curva recesiva y “ $e$ ” la constante de Euler. Los ajustes se realizaron en los lapsos de 48, 72, 168 y 240 horas con el fin de obtener los valores respectivos de “ $\alpha$ ”. Posteriormente, se procedió a buscar el caudal inicial “ $Q_0$ ” bajo el planteamiento original, que utiliza el segundo punto de quiebre de la curva recesiva, y bajo el planteamiento modificado, que utiliza el tercer punto de quiebre, a través de la transformación logarítmica del caudal versus tiempo. La evaluación se llevó a cabo a partir de la comparación entre el caudal modelado versus el caudal observado utilizando estadísticos como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), error estándar de estimación (EEE), prueba U Mann-Whitney y prueba de concordancia de Bland & Altman.



Se concluyó que, para la cuenca del río Maipo, el modelo exponencial 2 logra con mayor éxito la modelación de los caudales recesivos bajo ambos planteamientos, mientras que para la cuenca del río Biobío, el modelo exponencial 3, es el que mejor resultado obtuvo bajo planteamiento modificado. En cuanto a los lapsos horarios, el que mejor destacó, para la cuenca del río Maipo, fue el de 240 horas y, para la cuenca del río Biobío, lo fue el de 72 horas.

## SUMMARY

The following study has the main objective model the recessive flow that is generated by stormwater inputs on selected basins is presented. This basins are Maipo river, Región Metropolitana, and Biobío river, Región del Biobío.

For this study, the Dirección General de Aguas was provided the respective fluviometric information for such basins.

Were adjusted and evaluated four mathematical models. These are: potencial model ( $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ ), exponential model 1 ( $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ ), exponential model 2 ( $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ ) and exponential model 3 ( $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ ); where: “ $Q_0$ ” is the initial recessive curve flow ( $m^3/s$ ), “ $\alpha$ ” the exhaustion coefficient, “ $n$ ” exclusive parameter, “ $t$ ” time (hours), “ $t_0$ ” time at the recessive curve flow start and “ $e$ ” Euler constant. The adjustment was realized in 48, 72, 168 and 240 hours lapses to obtain the respective “ $\alpha$ ” values. Later, were proceeded to search the initial flow “ $Q_0$ ” under original approach, that use the second breakpoint of the recession curve, and under modified approach, that use the third breakpoint, through logarithmic flow transformation versus time. The evaluation was conducted bases on the comparison between modeled flow versus real flow using statistics like coefficient of determination ( $R^2$ ), stimated standard error (EEE), U Man-Whiney test and Bland & Altman concordance test.

This study concluded that model exponential 2 achieve the best results under both approaches at Maipo river basin, whereas that model exponential 3 achieve the best results, under modified

approach at Biobío river basin. The best hour lapse was the 240 hours one at Maipo river basin and the 72 hours one at Biobío river basin.

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es el compuesto químico primordial para la sustentación de la vida en la Tierra y forma parte de los constantes cambios que ocurren en la superficie del planeta (Chow et al., 1994).

La hidrósfera es un espacio físico ubicado entre la atmósfera y la litósfera. En ella yace el agua y se desarrolla el ciclo hidrológico (Chow et al., 1994), el cual es un sistema de circulación del agua que pasa por los distintos estados de la materia para alcanzar las cimas montañosas, generar lluvias, infiltrar hacia los acuíferos, o escurrir por cauces superficiales para luego evacuar al océano y continuar con el ciclo.

De toda el agua existente en la Tierra, el 97,4% es agua salina y el 2,5% es agua dulce. Esta última se halla dividida en un 0,03% en la superficie terrestre, un 0,75% en acuíferos (aguas subterráneas) y un 1,72% en glaciares y nieve en las altas cumbres (USGS, 2014). De lo anterior se observa que el agua dulce líquida disponible representa menos del 1% a nivel general, siendo esta la necesaria para la especie humana.

El clima mediterráneo chileno se caracteriza por presentar marcados periodos húmedos invernales y secos estivales, siendo este último el periodo en donde la utilización del suelo y de los recursos hídricos se hace máxima para la producción silvoagropecuaria. Por lo tanto, una adecuada planificación hidrológica implica mejores tomas de decisiones para el aprovechamiento hídrico, ya que las aguas que fluyen en los cauces superficiales provienen netamente de reservas subterráneas en los periodos estivales (Balocchi et al., 2014).

En este contexto, la modelación matemática de los caudales recesivos es una herramienta que permite predecir su comportamiento en el periodo estival de un año determinado; además, permite calcular el volumen de agua almacenado en la cuenca tras una crecida siendo necesario establecer para ello el punto de inicio de la curva recesiva del hidrograma.

En esta investigación, se utilizará como punto de partida de la curva recesiva el segundo punto de quiebre que plantea Pizarro (1993), llamado planteamiento original, el que posteriormente se contrastará con un planteamiento modificado que utiliza como inicio de dicha curva el tercer punto de quiebre para analizar si existen diferencias en la estimación del caudal (Balocchi et al., 2014)

De esta manera, la presente investigación pretende evaluar y analizar el comportamiento temporal de los caudales recesivos del río Colorado de la cuenca del río Maipo y del río Biobío de la cuenca de mismo nombre.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

- Evaluar el comportamiento temporal de los caudales recesivos en periodos estivales, en el río Colorado de la cuenca del río Maipo y del río Biobío de la cuenca de nombre homónimo.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Modelar las curvas de caudales recesivos, mediante modelos matemáticos, utilizando la separación de hidrogramas y la obtención de los valores paramétricos de los modelos.
- Determinar, a través de distintos estadísticos, qué modelo se ajusta mejor a los datos de caudales reales de ambas cuencas.

### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Hidrograma de Crecida

Un hidrograma de crecida, o simplemente hidrograma, es una relación gráfica que explica el flujo o caudal ( $Q$ ) en función del tiempo ( $t$ ) para un cauce determinado. En él se reflejan las aguas originadas a partir de la escorrentía subterránea y la superficial (Pizarro y Saavedra, 1991; Pizarro, 1993; Ehret y Zehe, 2011). El hidrograma se ilustra a continuación en la figura N° 1:

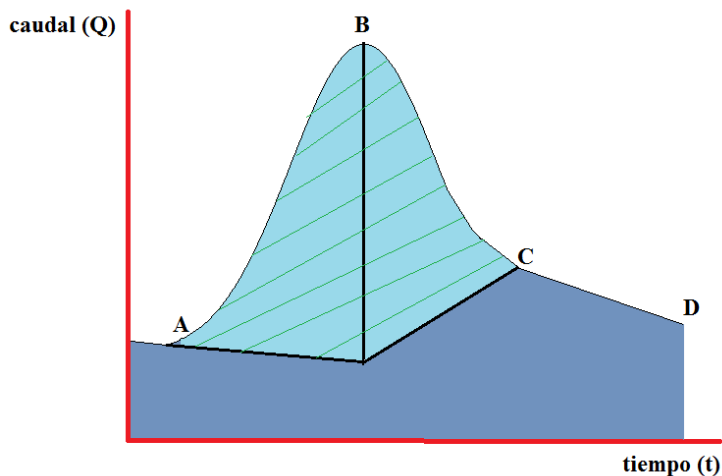


Figura N° 1. Hidrograma de crecida.

Éste se compone de la curva de crecida, tramo AB (figura N° 1), la cual corresponde a un incremento de la pendiente gracias a las aportaciones pluviales o aguas superficiales hasta llegar al caudal punta (punto B) en un determinado tiempo. La curva de bajada corresponde al tramo BC en donde terminan las aportaciones superficiales y comienza a reducirse el caudal o flujo. El último tramo, CD, corresponde a la curva de agotamiento o recesiva que se sustenta exclusivamente de aguas subterráneas (Yimen y Anagnostou, 2015).

Como se señaló anteriormente, el hidrograma está compuesto de las aportaciones superficiales y subterráneas. Una forma de separarlo consiste en proyectar una línea imaginaria desde el punto A de igual pendiente hasta coincidir perpendicularmente con una proyección vertical del punto B o caudal punta, para luego continuar con otra línea que intercepte con el punto C o segundo punto de quiebre (Pizarro, 1993; Chow et al., 1994), tal como se muestra en la figura N° 1. Por lo tanto, toda el área achurada que está entre los puntos A y C corresponde al volumen aportado por aguas superficiales y, el área por debajo de la misma zona representa el volumen de agua de aporte subterráneo. A esta forma de separar el hidrograma de crecida se le conoce como el *método del flujo base fijo* (Chow et al., 1994).

Existen otros métodos gráficos para separar el hidrograma de crecida (Koskelo et al., 2012; Yimen y Anagnostou, 2015). Uno de ellos consiste en proyectar una recta imaginaria horizontal desde el inicio de la crecida hasta lograr una intercepción con la curva recesiva; a este se le llama *método de la línea recta* y se utiliza en cauces efímeros, es decir, cuando el clima es árido y casi no infiltra la lluvia, el caudal desaparece y solo reaparece frente a grandes eventos de lluvia (Chow et al., 1994).

El método exacto a usar para separar el hidrograma de crecida no tiene mayor trascendencia (Linsley et al., 1949 y Bedient y Huber, 2002, citados por Balocchi, 2008); sólo se debe procurar utilizar siempre el mismo método de separación a lo largo del estudio.

Es importante señalar que la forma del hidrograma de crecida de la figura N° 1 es genérica y en la mayoría de los casos tiende a ser parecida, sin embargo, se podría registrar el caso de un hidrograma cuyas curvas de crecida, bajada y recesiva sean muy irregulares producto de los eventos de lluvia principalmente (Aksoy y Wittenberg, 2011).



### 3.2. Curva Recesiva

Pasado el caudal punta de un hidrograma, comienza la curva de bajada, en donde las aportaciones fluviales cesan anulándose la escorrentía superficial y la subsuperficial quedando solo el caudal que aflora gracias a la escorrentía subterránea, siendo ésta la curva recesiva (Vilaró, 1976, citado por Caro, 2001).

La curva recesiva o de agotamiento, es el tramo del hidrograma que denota el decrecimiento de las aguas subterráneas, más el residuo del flujo hipodérmico (Llamas, 1993).

El segundo punto de quiebre (punto C en la figura N° 1) representa el inicio de la curva recesiva y también el inicio del caudal recesivo ( $Q_0$ ) que se sustenta de las aguas subterráneas; este punto de quiebre debe identificarse por medio de un gráfico semilogarítmico del caudal versus tiempo (Log Q vs t) para observar la distribución lineal de los datos y así encontrar el segundo punto de quiebre junto con sus respectivas coordenadas (Pizarro, 1993). El gráfico semilogarítmico se ilustra a continuación en la figura N° 2.

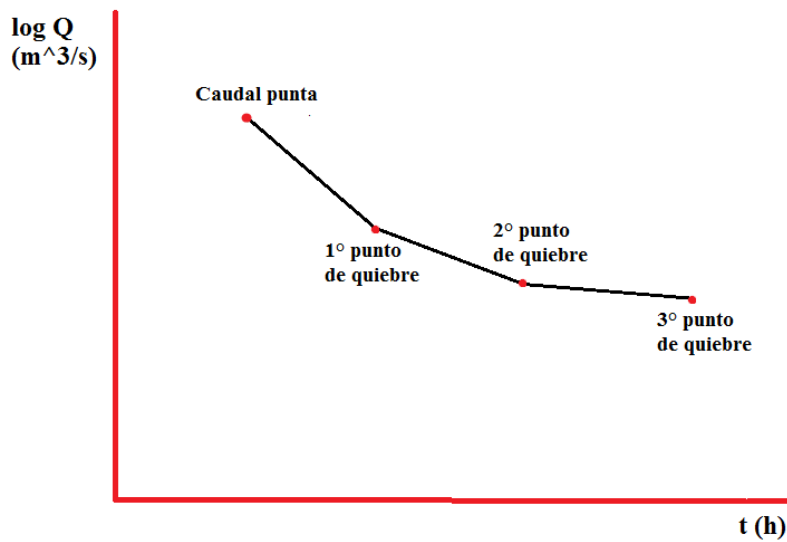


Figura N° 2. Gráfico semilogarítmico para determinar quiebres.

Es importante señalar que la identificación de los puntos de quiebre podría resultar difícil, dada la alta dispersión de los datos (nube de puntos) que pudiera registrarse al momento de calcular y graficar el logaritmo del caudal versus el tiempo.

En este marco, el hecho de tomar como punto de inicio de la curva recesiva al segundo punto de quiebre, se le conoce como el *Planteamiento original*.

No existe un consenso entre los expertos en el tema para determinar la segmentación entre la escorrentía directa y el aporte de las aguas subterráneas, es decir, cuándo efectivamente se inicia la curva recesiva (Linsley et al., 1988 y Viessman y Lewis, 2003, citados por Balocchi, 2008; Pizarro et al., 2013).

En este mismo contexto, Martínez (2004) y Balocchi et al. (2014) sugieren utilizar como punto de inicio de la curva recesiva el tercer punto de quiebre que se ilustra en la figura N° 2, con

la hipótesis de que al transcurrir mayor tiempo, el ajuste de los modelos matemáticos predictivos de esta curva serian mejores que con el segundo punto de quiebre. A este nuevo método se le conoce como *Planteamiento modificado* y resultó ser satisfactorio en los resultados de sus trabajos, es decir, los modelos matemáticos ajustados se semejaron más a la realidad que los obtenidos con el *Planteamiento original*.

### 3.3. Modelación Matemática de la Curva Recesiva

Singh (1988) y Llamas (1993) plantean que la modelación matemática es una representación simplificada de un sistema complejo bajo una forma matemática o física en donde las respuestas de dicho sistema resultan difíciles de manejar, dado el gran número de factores que influyen.

La curva recesiva o de agotamiento posee una variación negativa del caudal (Q) en función del tiempo (t) (Pizarro, 1993). Para determinar la función Q (t) se emplean ecuaciones diferenciales separables. Así mismo, un modelo ampliamente utilizado es el siguiente (Remenieras, 1971):

$$Q = Q_0 * e^{(-\alpha*t)}$$

Donde el “Q” es el caudal (m<sup>3</sup>/s); “Q<sub>0</sub>” es el caudal inicial de la curva recesiva (m<sup>3</sup>/s); “e” es la constante de Euler;  $\alpha$  es una constante de proporcionalidad; “t” es el tiempo (horas).

Este modelo surge del hecho que la variación negativa del caudal en función del tiempo:

$$\frac{dQ}{dt} < 0$$

Así mismo, se plantea que la variación del caudal en el tiempo es proporcional al mismo caudal, quedando:

$$\begin{aligned}\frac{dQ}{dt} &= -\alpha * Q \\ \frac{dQ}{Q} &= -\alpha * dt\end{aligned}$$

Al tener la ecuación diferencial separada, se procede a integrar:

$$\begin{aligned}\int \frac{dQ}{Q} &= \int -\alpha * dt \\ \ln Q &= -\alpha * t + C\end{aligned}$$

Como se mencionó anteriormente, “ $\alpha$ ” es una constante de proporcionalidad, también llamado coeficiente de agotamiento. Pero se sabe que al tiempo cero, el caudal es igual al caudal inicial  $Q_0$ , por tanto:

$$\text{Si } t = 0 = t_0 \rightarrow C = \ln Q_0$$

En donde  $Q_0$  es el mayor valor de la curva. Reemplazando la igualdad de “C”, queda lo siguiente:

$$\begin{aligned}\ln Q - \ln Q_0 &= -\alpha * t \\ Q &= Q_0 * e^{(-\alpha * t)}\end{aligned}$$

Dicha expresión final es un ejemplo de un modelo exponencial para la curva recesiva.

Existen diversos modelos matemáticos para modelar la curva recesiva que se ajustan mejor dependiendo de la geomorfología de la cuenca. Así, Cirujeda (1985) citado por Caro (2001), indica que los modelos potenciales se ajustan mejor a cuencas con terrenos permeables, mientras que los modelos exponenciales lo hacen mejor en terrenos poco permeables.

### **3.4. Antecedentes de las Cuencas**

Para el desarrollo de este estudio, se abordaron dos cuencas de la zona mediterránea de Chile, las cuales son la cuenca del río Maipo y la cuenca del río Biobío. La idea original es establecer un análisis comparativo del comportamiento de los caudales recesivos en ambas cuencas.

La cuenca del río Maipo (figura N° 3) se extiende entre las regiones de Valparaíso y la de O'Higgins cubriendo casi la totalidad de la región Metropolitana; específicamente se ubica entre los paralelos 32°55'-34°15' latitud sur y meridianos 69° 55'-71°33' longitud oeste, teniendo un área de 15.304 Km<sup>2</sup>. Su principal afluente para la región Metropolitana es el río Maipo cuya longitud alcanza los 250 Km. Esta cuenca presenta 2 tipos de climas: Templado de tipo Mediterráneo con estación seca prolongada, con temperaturas medias de 14,8° C y 165,1 mm anuales de precipitación según la estación Quinta Normal (Dirección Meteorológica de Chile, 2013); presenta frío de altura en la Cordillera de los Andes sobre los 3.000 metros, en donde la

precipitación sólida permite la acumulación de nieve y la formación de campos de hielo permanentes (Dirección General de Aguas, 2004a).

La estación fluviométrica río Colorado antes Junta río Maipo, se ubica al sureste de Santiago a 980 m.s.n.m entre los  $33^{\circ} 35' 15''$  y  $70^{\circ} 22' 01''$  latitud sur y longitud oeste respectivamente en la subcuenca río Maipo Alto (Dirección General de Aguas, s.f). Tiene un régimen hidrológico nival en donde los mayores caudales se registran en los meses de verano, dado el deshielo que ocurre por la acción de las temperaturas (Dirección General de Aguas, 2004a).

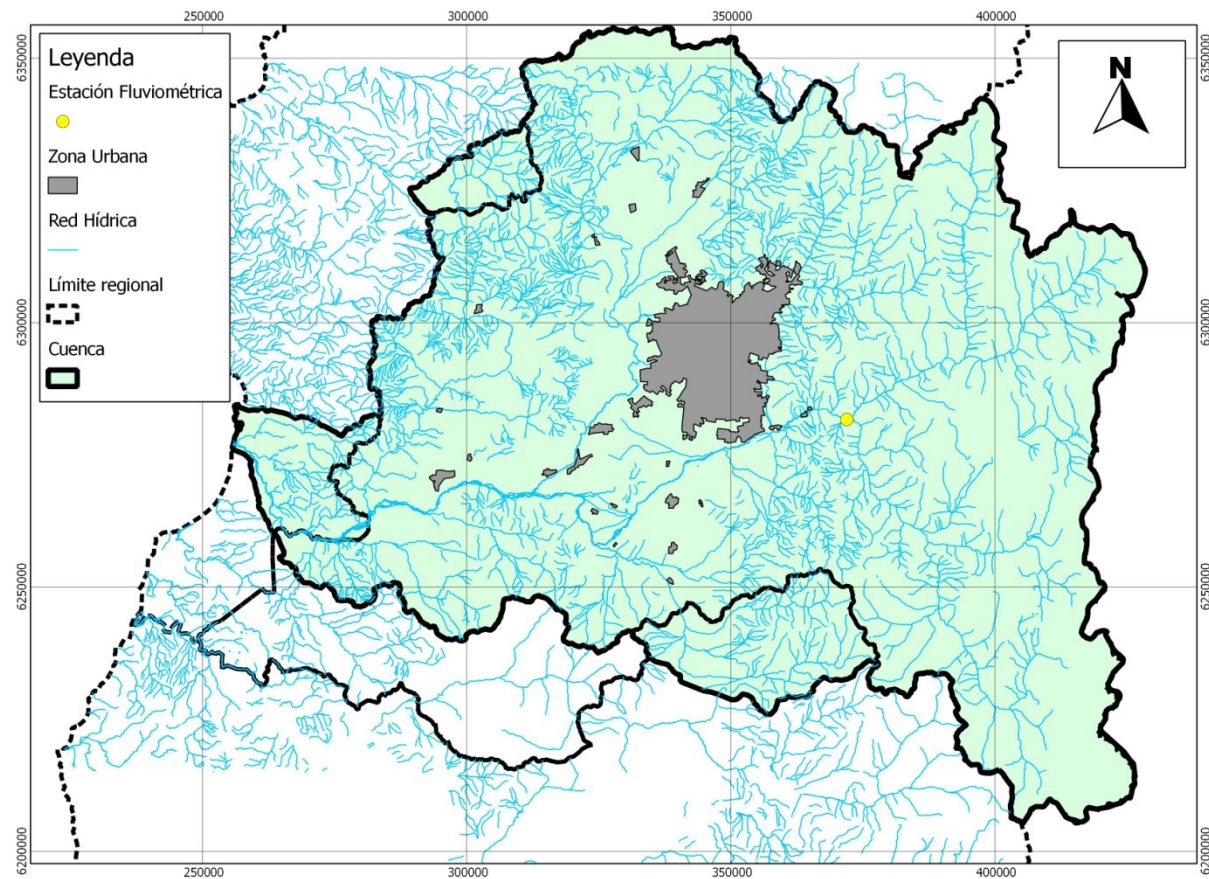


Figura N° 3. Ubicación de la cuenca del río Maipo.

En relación a la cuenca del río Biobío (figura N° 4), ésta se ubica entre los paralelos 36° 42' – 38° 49' Latitud Sur y meridianos 71° 0' – 73° 20' Longitud Oeste; abarca gran parte de la Región del Biobío y es una de las cuencas de mayor área y caudal del país. Su superficie es de 24.264 Km<sup>2</sup>. Su principal afluente es el río Biobío, el cual es el segundo río más largo del país, con 380 Km de longitud. Presenta un clima de transición del Mediterráneo al clima Templado húmedo, con una temperatura media anual de 14,3° C y lluvias con un monto anual de 666,4 mm según la estación Los Ángeles María Dolores (Dirección Meteorológica de Chile, 2013; Dirección General de Aguas, 2004b).

La estación fluviométrica de nombre río Biobío en Coihue, se ubica entre la ciudad de Negrete y la ciudad de Nacimiento, al suroeste de Los Ángeles. Se encuentra a 60 m.s.n.m entre los 37° 33' 01" y 72° 35' 25" latitud sur y longitud oeste respectivamente en la subcuenca llamada río Biobío entre río Duqueco y río Vergara (Dirección General de Aguas, s.f)

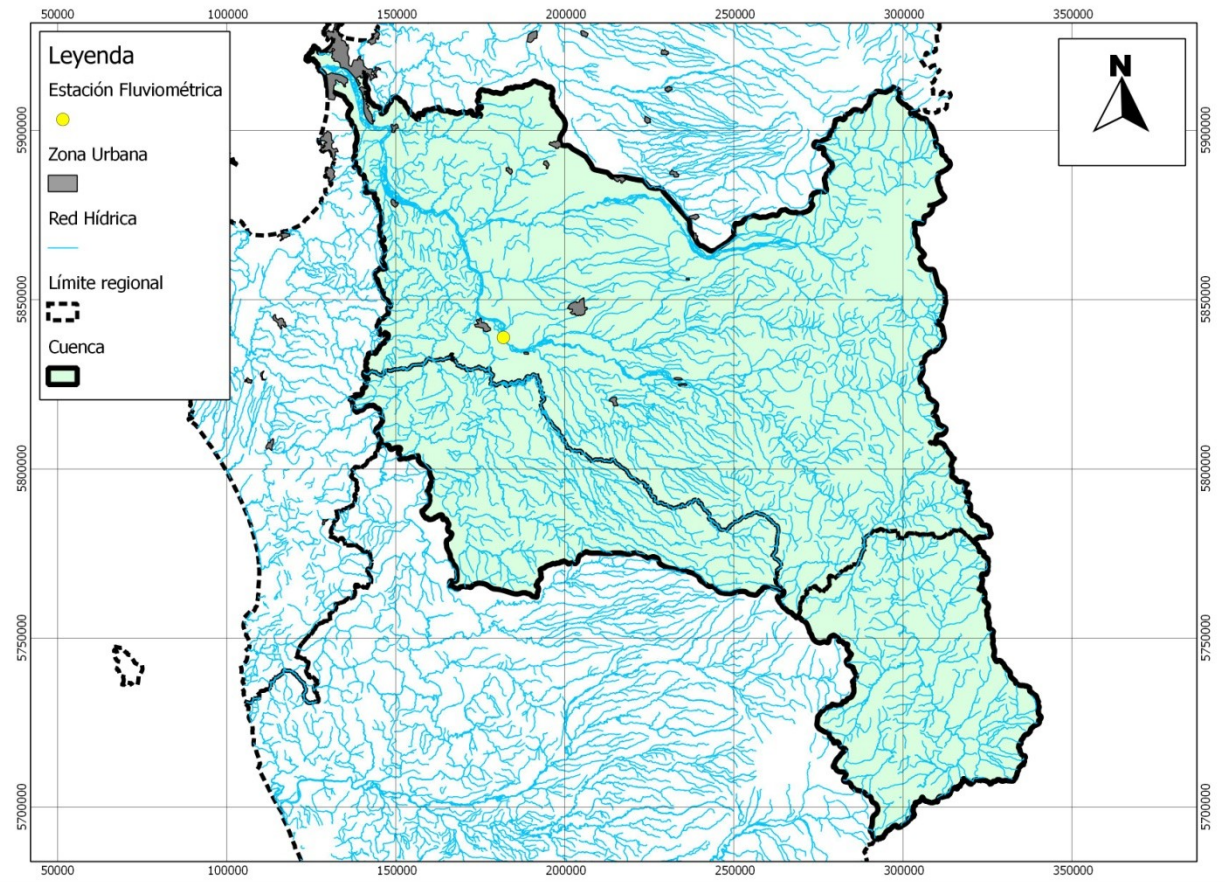


Figura N° 4. Ubicación de la cuenca del río Biobío.



## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. Revisión Bibliográfica**

Se recopiló la mayor cantidad de información afín con el tema en diversas revistas y publicaciones científicas y libros del área de las ciencias hidrológicas disponibles tanto en formato digital como en papel, junto con otras materias que complementen lo anterior, de tal forma de desarrollar adecuadamente la investigación.

### **4.2. Información Requerida**

La información fue proporcionada por la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas. La DGA dispuso de la información digitalizada de los caudales horarios de la estación fluviométrica río Colorado antes Junta río Maipo de la cuenca del río Maipo y de la estación río Biobío en Coihue, de la cuenca del río Biobío. Posteriormente se procedió a elaborar los hidrogramas y a la búsqueda de las curvas recesivas.

### **4.3. Elaboración de los Hidrogramas**

La construcción de los hidrogramas se llevó a cabo de forma digital, utilizando una planilla de cálculo con datos cuyas unidades para el caudal eran metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) y el tiempo en horas (h). Se construyeron hidrogramas para periodos comprendidos entre los meses de agosto a abril (ambos inclusive) del año siguiente, ya que abarca el periodo estival y se seleccionaron crecidas cuya curva recesiva tuviera a lo menos 240 horas o 10 días de duración.

En total se seleccionaron 50 crecidas repartidas igualmente entre las dos cuencas escogidas.

### **4.4. Identificación de la Curva Recesiva**

Una vez elaborados los hidrogramas, se procedió a identificar el inicio de la curva recesiva. Como se mencionó anteriormente en el punto 3.2, es necesario aplicar una transformación logarítmica al caudal ( $Q$ ) y posteriormente graficarlo con respecto al tiempo; así, el gráfico semilogarítmico final facilita la búsqueda y obtención del 2° y 3° punto de quiebre y del parámetro  $Q_0$ , que es el caudal inicial de la curva recesiva, lo que permite la aplicación del planteamiento original y el planteamiento modificado respectivamente sugerido por Balocchi et al. (2014).

## 4.5. Modelos Matemáticos a Ajustar

Se ajustarán cuatro modelos matemáticos distintos, tres exponenciales y uno potencial. Cada uno de ellos tiene como parámetro el caudal inicial ( $Q_0$ ), la constante de agotamiento ( $\alpha$ ), y el coeficiente “n” que es particular al modelo exponencial 2. Además, se incluye la variable tiempo “t” y “ $t_0$ ” que corresponde el tiempo de inicio de la curva recesiva, más la constante de Euler (e). Los modelos son los siguientes:

- Modelo potencial:  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$
- Modelo exponencial 1:  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$
- Modelo exponencial 2:  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$
- Modelo exponencial 3:  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$

## 4.6. Ajuste de los Modelos

### 4.6.1 Tiempos involucrados

Se seleccionaron 4 lapsos horarios para realizar el ajuste en ambas cuencas. Estos corresponden a 48, 72, 168 y 240 horas, pasado el inicio de la curva recesiva. Esto permite la obtención de las coordenadas necesarias para calcular los parámetros de los modelos

matemáticos. Así, las coordenadas quedan expresadas como:  $(Q_0, t_0)$ ,  $(Q_{48}, t_{48})$  para el lapso de 48 horas;  $(Q_0, t_0)$ ,  $(Q_{72}, t_{72})$  para el lapso de 72 horas y así sucesivamente.

Existe la hipótesis de que cuanto mayor sea el tiempo transcurrido del inicio de la curva recesiva o coordenada inicial  $(Q_0, t_0)$ , los valores calculados por los modelos se asemejan más a los valores observados, es decir, se ajustan de mejor forma (Martínez, 2004; Núñez, 2005; Balocchi et al., 2014).

Los tiempos anteriormente mencionados se evaluaron para el 2° punto de quiebre, que plantea Pizarro (1993), y para el 3° punto de quiebre sugerido por Martínez (2004) y Balocchi et al. (2014), esperando que este último, conocido como el planteamiento modificado, logre mejores resultados que el planteamiento original.

#### **4.6.2. Determinación del coeficiente de agotamiento “ $\alpha$ ”**

Una vez obtenidas las coordenadas respectivas para cada tiempo, se procedió a calcular el coeficiente de agotamiento “ $\alpha$ ” por medio de sistemas de ecuaciones y el posterior despeje algebraico para los 4 lapsos establecidos; así, se calcularon 4 coeficientes de agotamiento “ $\alpha$ ”, utilizando siempre como coordenada estática el inicio de la curva recesiva  $(Q_0, t_0)$  con el fin de homogeneizar el cálculo. Por ejemplo, el coeficiente de agotamiento a las 48 horas se ajustó utilizando los valores observados de la coordenada  $(Q_0, t_0)$ ,  $(Q_{48}, t_{48})$ ; luego el siguiente coeficiente de agotamiento utiliza la misma coordenada inicial  $(Q_0, t_0)$  pero cambia la segunda por el lapso respectivo hasta llegar a las 240 horas.

### 4.6.3. Determinación del coeficiente adimensional “n”

El coeficiente adimensional “n” es particular al modelo Exponencial 2 expuesto en el punto 4.5. Para la obtención de este fue necesario extraer una nueva coordenada a las 24 horas de iniciada la curva recesiva ( $Q_{24}, t_{24}$ ) y construir un sistema de 3 ecuaciones, que involucrara a la nueva coordenada ( $Q_{24}, t_{24}$ ), la coordenada inicial ( $Q_0, t_0$ ) y las coordenadas de los lapsos establecidos en el punto 4.6.1 ( $Q_{48}, t_{48}; Q_{72}, t_{72}; Q_{168}, t_{168}; Q_{240}, t_{240}$ ) para obtener posteriormente 4 valores del coeficiente adimensional “n” (Balocchi, 2008).

## 4.7. Validación Estadística de los Modelos

### 4.7.1. Coeficiente de determinación ( $R^2$ )

Este estadístico determina qué proporción de la variación de los caudales observados (variable observada o independiente) es explicada por los caudales estimados (variable estimada o dependiente). Valores cercanos a 1 sugieren un buen ajuste. Su fórmula es la siguiente:

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

Donde:

$y_i$  = Caudal observado

$\hat{y}_i$  = Caudal estimado

$\bar{y}_i$  = Caudal observado promedio

#### 4.7.2. Error estándar de estimación (EEE)

Este estadígrafo determina la disparidad promedio entre el caudal estimado y el caudal observado. De esta forma, valores cercanos a 0 indican que los caudales estimados de un determinado modelo se asemejan bastante a los caudales reales u observados. Su fórmula se muestra a continuación:

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

Donde:

$y_i$  = Caudal observado

$\hat{y}_i$  = Caudal estimado

$n$  = total de datos de caudal

### 4.7.3. Prueba U de Mann-Whitney

Conocida también como prueba W de Wilcoxon-Mann-Whitney, es una prueba estadística no paramétrica, es decir, no requiere que los datos provengan de una distribución normal ni necesita igualdad de varianzas, ya que utiliza la mediana de 2 vectores de datos, para este caso, el caudal estimado y el caudal real, para comprobar si provienen de una misma distribución. El procedimiento para su cálculo lo estipula Núñez (2005):

Dados 2 vectores de datos de las variables  $R_1$  y  $R_2$  cuyo tamaño es mayor a 25 observaciones ( $n_1$  y  $n_2 > 25$ ), se desea establecer si sus distribuciones corresponden a una misma población; entonces, se procede a plantear las siguientes hipótesis:

$H_0$  = Las distribuciones de las variables  $R_1$  y  $R_2$  son iguales.

$H_1$  = Las distribuciones de las variables  $R_1$  y  $R_2$  son distintas.

Luego se procede a fusionar los dos vectores de datos (en este caso, caudal observado y caudal estimado) y se ordenan sus datos de menor a mayor para posteriormente asignarles un número de rango consecutivo a cada uno. En caso de existir datos de igual valor, se procede a promediar los valores ordinales consecutivos de dichas paridades y asignarles el nuevo número de rango a cada uno

Hecho lo anterior, se calcula el siguiente estadístico:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n T_1 - \sum_{i=1}^n T_2 \left[ \frac{(n_1 - n_2)(n_1 + n_2 + 1)}{2} \right]}{\sqrt{n_1 * n_2 \left( \frac{n_1 + n_2 + 1}{3} \right)}}$$

Donde:

$\sum_{i=1}^n T_1$  = Suma de los rangos de la muestra R<sub>1</sub>

$\sum_{i=1}^n T_2$  = Suma de los rangos de la muestra R<sub>2</sub>

$n_1$  = Tamaño de la muestra R<sub>1</sub>

$n_2$  = Tamaño de la muestra R<sub>2</sub>

Como regla de decisión, se rechaza la hipótesis nula H<sub>0</sub>, a un nivel de significancia  $\alpha$  (5% para este estudio), si:

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

Donde:

$Z\alpha$  = valor crítico proveniente de la tabla Normal estándar, a un nivel de significancia  $\alpha$ .

#### 4.7.4. Prueba de concordancia de Bland & Altman

Este es un método gráfico y analítico que permite discriminar si 2 métodos de medición, como lo plantean sus autores originales (Bland y Altman, 1999), o si 2 vectores de datos, en el



contexto de este estudio, concuerdan lo suficiente como considerarlos intercambiables (Carrasco y Jover 2004; Balocchi et al., 2014; Pizarro et al., 2014). Esta prueba se lleva a cabo calculando las diferencias promedio entre el caudal real y el estimado (DP), además de la desviación estándar de las diferencias entre dichos caudales (DS). Posteriormente se establece el límite de concordancia del 95%, esperando que a lo más un 5% de las diferencias promedio escapen de los límites de concordancia (Bland y Altman, 1999; Paradis et al., 2011, citado por Balocchi et al., 2014). Los límites de concordancia (LC) se definen de la siguiente forma:

$$LC = DP \pm 2 * DS$$

Así, el valor de las diferencias promedio (DP) más cercana a cero entre los caudales reales y los caudales observados determinará la situación que mejor ajusta a los datos observados. De existir DP mínimas entre modelos o igualdad, se determina como mejor ajuste el que tenga menor valor DS y el LC más pequeño.

De igual forma, se puede deducir la concordancia graficando las diferencias entre ambos vectores en función a su respectivo promedio, tal como se muestra en la figura N° 5. Se espera que los puntos ilustrados en el gráfico (las diferencias) fluctúen entre los límites de concordancia sin sobrepasarlos ó que a lo mucho el 5% del total de los datos se escapen de dichos límites (Bland y Altman, 1999).

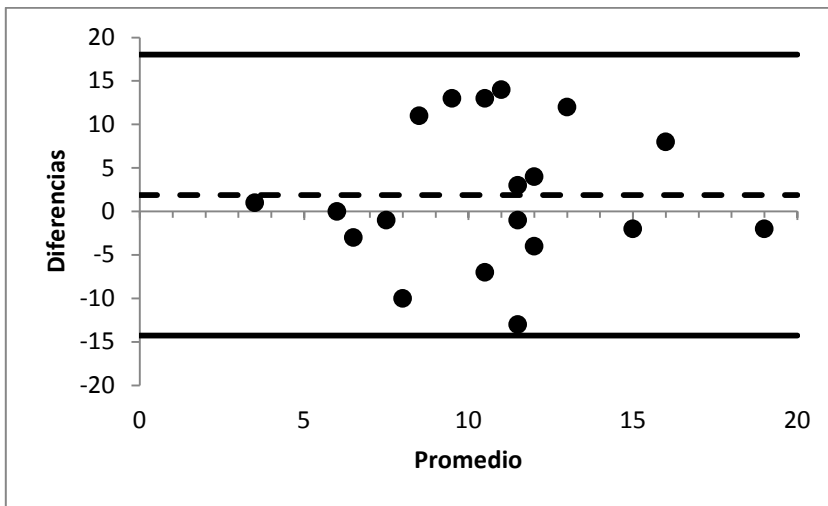


Figura N° 5. Ejemplo de un gráfico resultante de la prueba Bland & Altman.

En la figura N° 5, la línea central segmentada representa el promedio de las diferencias (DP) y las líneas continuas superior e inferior representan los límites de concordancia (LC) respectivos.

#### 4.8. Presentación de Resultados

Dada la gran cantidad de información y cálculos realizados, se elaboraron tablas de datos que contienen las crecidas seleccionadas e individualizadas por su pertinente fecha, los modelos matemáticos con sus parámetros respectivos para el planteamiento original y el modificado, para las dos cuencas seleccionadas. Esto con el fin de facilitar la interpretación y poder así elaborar el posterior análisis y discusión.

#### **4.9. Análisis y Discusión de los Resultados**

En base al punto 4.8, se analizaron y discutieron los resultados de la modelación matemática, seleccionando los modelos que mejor se ajustaron a los datos observados de las curvas recesivas a distintos lapsos horarios, bajo ambos planteamientos y en ambas cuencas.

#### **4.10. Conclusiones y Recomendaciones**

En función del punto anterior, fue posible establecer conclusiones y recomendaciones a futuros trabajos a realizar en el mismo tema y a partir de este estudio.

#### **4.11. Materiales y Equipos**

Para la elaboración de este estudio se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Información fluviométrica de las estaciones río Colorado antes Junta río Maipo y río Biobío en Coihue, proporcionada íntegramente por la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas.
- Equipo computacional
- *Software* procesador de texto: Microsoft Word 2007

- *Software* planilla de cálculo: Microsoft Excel 2007
- *Software* estadístico: Statgraphics XVI

## 5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en base a la metodología anteriormente expuesta y aplicada en las 25 crecidas seleccionadas (50 en total entre ambas cuencas). Dichas crecidas fueron individualizadas con sus respectivas fechas de inicio, evaluadas bajo los 4 modelos matemáticos para la estimación de la curva recesiva, tanto en la cuenca del río Colorado como en la cuenca del río Biobío. Así mismo, esto se hizo para los 4 lapsos establecidos, los que fueron repetidos para el planteamiento original (2° punto de quiebre) y para el planteamiento modificado (3° punto de quiebre), lo que significó la relación de 400 análisis de series de datos. Dichas crecidas se ubican entre los años hidrológicos 1995 – 2012, para la cuenca del río Colorado, y entre 1987 - 2013 para la cuenca del río Biobío.

Los resultados constan de los parámetros calculados  $Q_0$  y  $\alpha$ ; la validación estadística de los modelos con respecto a los estadísticos Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ), Error Estándar de Estimación (EEE), Valor-P calculado para la prueba U Mann-Whitney y Diferencias Promedio (DP) y Desviación Estándar de las diferencias (DS), en lo que respecta a la prueba de concordancia Bland & Altman.

### 5.1. Crecidas Seleccionadas y sus Parámetros Respectivos

Las tablas N° 1 a la N° 5, muestran los valores paramétricos obtenidos después del ajuste matemático realizado mencionado en la metodología para la cuenca del río Maipo, mientras que las tablas N° 6 a la N° 10, muestran los valores para la cuenca del río Biobío.

**Tabla N° 1:** Parámetros  $Q_0$  y  $\alpha$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)		$\alpha$ (48 h)		$\alpha$ (72 h)		$\alpha$ (168 h)		$\alpha$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	27,09	22,25	0,0031	0,0019	0,0025	0,0021	0,0016	0,0008	0,0010	0,0003
10-03-1996	25,12	21,50	0,0020	0,0009	0,0017	0,0010	0,0014	0,0008	0,0011	0,0007
01-02-1997	18,44	12,67	0,0054	0,0017	0,0039	0,0057	0,0019	0,0007	0,0017	0,0008
01-01-1998	87,20	77,98	0,0054	0,0019	0,0044	0,0028	0,0014	0,0022	0,0014	0,0012
27-02-1998	51,61	45,76	0,0040	0,0030	0,0034	0,0026	0,0012	0,0013	0,0015	0,0012
17-01-2000	72,53	61,46	0,0088	0,0046	0,0072	0,0046	0,0037	0,0014	0,0025	0,0011
14-02-2000	28,90	24,56	0,0026	0,0032	0,0025	0,0012	0,0013	0,0005	0,0009	0,0010
05-01-2002	75,86	72,52	0,0034	0,0036	0,0027	0,0026	0,0012	0,0004	0,0005	0,0007
19-03-2002	42,05	34,83	0,0044	0,0044	0,0036	0,0021	0,0019	0,0008	0,0013	0,0009
18-02-2003	33,41	25,97	0,0029	0,0019	0,0017	0,0037	0,0013	0,0008	0,0012	0,0006
05-03-2004	35,03	28,77	0,0024	0,0014	0,0034	0,0011	0,0013	0,0008	0,0010	0,0005
28-09-2004	21,99	16,02	0,0052	0,0038	0,0048	0,0030	0,0025	0,0011	0,0014	0,0004
01-01-2005	68,33	55,34	0,0040	0,0030	0,0024	0,0026	0,0009	0,0009	0,0011	0,0008
14-02-2006	68,21	52,01	0,0036	0,0020	0,0031	0,0015	0,0015	0,0007	0,0013	0,0007
28-12-2006	78,18	74,50	0,0044	0,0032	0,0037	0,0030	0,0011	0,0019	0,0009	0,0012
14-11-2008	77,87	71,42	0,0017	0,0031	0,0012	0,0017	0,0012	0,0008	0,0005	0,0004
01-01-2009	60,69	55,61	0,0059	0,0084	0,0036	0,0062	0,0019	0,0028	0,0015	0,0019
01-09-2009	23,82	20,18	0,0030	0,0020	0,0020	0,0016	0,0009	0,0006	0,0006	0,0005
13-11-2009	30,45	27,62	0,0900	0,0847	0,0600	0,0565	0,0165	0,0091	0,0045	0,0041
23-03-2010	39,47	32,19	0,0033	0,0019	0,0026	0,0013	0,0007	0,0005	0,0006	0,0004
29-03-2011	20,18	16,74	0,0024	0,0020	0,0028	0,0019	0,0017	0,0013	0,0011	0,0007
30-10-2011	26,52	22,24	0,0058	0,0039	0,0041	0,0031	0,0014	0,0011	0,0009	0,0005
26-03-2012	35,16	31,02	0,0032	0,0029	0,0026	0,0040	0,0023	0,0024	0,0021	0,0029
11-04-2012	16,74	14,84	0,0032	0,0010	0,0019	0,0010	0,0009	0,0008	0,0009	0,0005
30-12-2012	63,69	59,23	0,0050	0,0051	0,0045	0,0043	0,0027	0,0018	0,0020	0,0014

Donde:  $Q_0$  = Caudal inicial;  $\alpha$  = coeficiente de agotamiento.

**Tabla N° 2:** Parámetros  $Q_0$  y  $\alpha$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)		$\alpha$ (48 h)		$\alpha$ (72 h)		$\alpha$ (168 h)		$\alpha$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	27,09	22,25	0,0058	0,0036	0,0045	0,0039	0,0028	0,0015	0,0018	0,0006
10-03-1996	25,12	21,50	0,0038	0,0017	0,0033	0,0019	0,0025	0,0016	0,0020	0,0012
01-02-1997	18,44	12,67	0,0096	0,0033	0,0068	0,0095	0,0033	0,0013	0,0029	0,0014
01-01-1998	87,20	77,98	0,0096	0,0037	0,0076	0,0051	0,0025	0,0037	0,0024	0,0021
27-02-1998	51,61	45,76	0,0073	0,0055	0,0062	0,0047	0,0021	0,0023	0,0026	0,0021
17-01-2000	72,53	61,46	0,0147	0,0083	0,0116	0,0079	0,0057	0,0025	0,0039	0,0019
14-02-2000	28,90	24,56	0,0050	0,0060	0,0047	0,0023	0,0023	0,0011	0,0017	0,0019
05-01-2002	75,86	72,52	0,0063	0,0067	0,0050	0,0047	0,0022	0,0008	0,0010	0,0013
19-03-2002	42,05	34,83	0,0080	0,0080	0,0063	0,0039	0,0033	0,0014	0,0022	0,0017
18-02-2003	33,41	25,97	0,0054	0,0036	0,0033	0,0065	0,0024	0,0014	0,0021	0,0012
05-03-2004	35,03	28,77	0,0046	0,0026	0,0060	0,0021	0,0024	0,0014	0,0018	0,0010
28-09-2004	21,99	16,02	0,0093	0,0069	0,0083	0,0054	0,0042	0,0020	0,0025	0,0007
01-01-2005	68,33	55,34	0,0074	0,0057	0,0045	0,0048	0,0018	0,0016	0,0020	0,0014
14-02-2006	68,21	52,01	0,0067	0,0038	0,0057	0,0028	0,0027	0,0013	0,0022	0,0012
28-12-2006	78,18	74,50	0,0080	0,0059	0,0066	0,0055	0,0020	0,0033	0,0017	0,0021
14-11-2008	77,87	71,42	0,0032	0,0058	0,0023	0,0031	0,0022	0,0015	0,0010	0,0008
01-01-2009	60,69	55,61	0,0103	0,0142	0,0064	0,0103	0,0034	0,0045	0,0025	0,0032
01-09-2009	23,82	20,18	0,0056	0,0039	0,0037	0,0030	0,0016	0,0011	0,0011	0,0009
13-11-2009	30,45	27,62	0,0696	0,0676	0,0464	0,0451	0,0158	0,0110	0,0061	0,0057
23-03-2010	39,47	32,19	0,0062	0,0036	0,0047	0,0024	0,0013	0,0009	0,0012	0,0008
29-03-2011	20,18	16,74	0,0045	0,0038	0,0052	0,0035	0,0030	0,0024	0,0020	0,0013
30-10-2011	26,52	22,24	0,0102	0,0071	0,0072	0,0056	0,0026	0,0020	0,0016	0,0010
26-03-2012	35,16	31,02	0,0059	0,0055	0,0048	0,0070	0,0039	0,0040	0,0033	0,0044
11-04-2012	16,74	14,84	0,0060	0,0020	0,0035	0,0018	0,0017	0,0014	0,0017	0,0010
30-12-2012	63,69	59,23	0,0090	0,0091	0,0078	0,0075	0,0045	0,0031	0,0032	0,0024

Donde:  $Q_0$  = Caudal inicial;  $\alpha$  = coeficiente de agotamiento.

**Tabla N° 3:** Parámetros  $Q_0$  y  $\alpha$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)		$\alpha$ (48 h)		$\alpha$ (72 h)		$\alpha$ (168 h)		$\alpha$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	27,09	22,25	0,1807	0,0479	0,1336	0,0174	0,0989	0,0504	0,1310	0,1303
10-03-1996	25,12	21,50	0,1065	0,0098	0,0585	0,0041	0,0367	0,0047	0,0380	0,0058
01-02-1997	18,44	12,67	0,2846	0,0060	0,2749	0,0002	0,2757	0,0206	0,2112	0,0140
01-01-1998	87,20	77,98	0,1113	0,0094	0,1045	0,0029	0,2824	0,0059	0,1893	0,0121
27-02-1998	51,61	45,76	0,2535	0,1867	0,1405	0,1019	0,2897	0,1241	0,1352	0,0955
17-01-2000	72,53	61,46	0,2632	0,1030	0,2185	0,0549	0,2663	0,1913	0,3077	0,1799
14-02-2000	28,90	24,56	0,2097	0,0130	0,0815	0,1562	0,1046	0,1472	0,1101	0,0413
05-01-2002	75,86	72,52	0,0163	0,0016	0,0239	0,0067	0,0552	0,1184	0,1240	0,0345
19-03-2002	42,05	34,83	0,0381	0,0086	0,0466	0,0683	0,0717	0,1407	0,0905	0,0731
18-02-2003	33,41	25,97	0,0646	0,0829	0,1252	0,0058	0,0651	0,0717	0,0548	0,0640
05-03-2004	35,03	28,77	0,2207	0,1179	0,0309	0,0686	0,0814	0,0431	0,0864	0,0509
28-09-2004	21,99	16,02	0,4467	0,0018	0,1948	0,0054	0,2108	0,0281	0,3006	0,0848
01-01-2005	68,33	55,34	0,0002	0,1309	0,0027	0,0842	0,0148	0,1929	0,0100	0,1453
14-02-2006	68,21	52,01	0,0973	0,0656	0,0696	0,0709	0,1036	0,0875	0,0956	0,0612
28-12-2006	78,18	74,50	0,0109	0,0159	0,0177	0,0143	0,0861	0,0238	0,0776	0,0364
14-11-2008	77,87	71,42	0,1542	0,0215	0,1251	0,0845	0,0381	0,0974	0,0852	0,1458
01-01-2009	60,69	55,61	0,1472	0,6800	0,2598	0,5314	0,2268	0,5652	0,2277	0,5816
01-09-2009	23,82	20,18	0,1497	0,0069	0,1789	0,0124	0,2042	0,0396	0,2098	0,0376
13-11-2009	30,45	27,62	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0016	0,0065	0,0074	0,0171
23-03-2010	39,47	32,19	0,0360	0,0402	0,0475	0,0626	0,1770	0,1064	0,1326	0,0796
29-03-2011	20,18	16,74	0,2160	0,0033	0,0451	0,0045	0,0530	0,0078	0,0729	0,0153
30-10-2011	26,52	22,24	0,0753	0,0173	0,1119	0,0265	0,2481	0,0838	0,3159	0,1681
26-03-2012	35,16	31,02	0,0244	0,0003	0,0285	0,0003	0,0223	0,0022	0,0236	0,0020
11-04-2012	16,74	14,84	0,0022	0,0093	0,0140	0,0078	0,0290	0,0074	0,0230	0,0103
30-12-2012	63,69	59,23	0,0416	0,0511	0,0397	0,0538	0,0572	0,1196	0,0708	0,1207

Donde:  $Q_0$  = Caudal inicial;  $\alpha$  = coeficiente de agotamiento.



**Tabla N° 4:** Parámetros  $Q_0$  y  $n$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)		n (48 h)		n (72 h)		n (168 h)		n (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	27,09	22,25	0,1138	0,3306	0,2088	0,6493	0,3032	0,3144	0,2149	0,0155
10-03-1996	25,12	21,50	0,1380	0,5508	0,3264	0,8261	0,4731	0,7862	0,4627	0,7173
01-02-1997	18,44	12,67	0,1250	0,8486	0,1359	1,8590	0,1350	0,4608	0,2189	0,5825
01-01-1998	87,20	77,98	0,3680	0,7602	0,3880	1,1337	0,0751	0,9089	0,2009	0,6821
27-02-1998	51,61	45,76	0,0832	0,0912	0,2689	0,2816	0,0412	0,2197	0,2810	0,3023
17-01-2000	72,53	61,46	0,2541	0,3480	0,3128	0,5458	0,2504	0,1532	0,2050	0,1725
14-02-2000	28,90	24,56	0,0342	0,7987	0,3317	0,0168	0,2531	0,0355	0,2369	0,4355
05-01-2002	75,86	72,52	0,7531	1,3619	0,6325	0,9196	0,3694	0,0158	0,1148	0,4041
19-03-2002	42,05	34,83	0,5966	0,9814	0,5331	0,3302	0,3975	0,1029	0,3244	0,3087
18-02-2003	33,41	25,97	0,3570	0,1893	0,1486	1,0252	0,3545	0,2349	0,4083	0,2707
05-03-2004	35,03	28,77	0,0000	0,0178	0,6186	0,1880	0,3137	0,3340	0,2952	0,2823
28-09-2004	21,99	16,02	0,0000	1,3554	0,2612	1,0006	0,2363	0,4828	0,1246	0,1350
01-01-2005	68,33	55,34	1,9051	0,1897	1,1207	0,3286	0,5839	0,0676	0,7083	0,1568
14-02-2006	68,21	52,01	0,3087	0,2661	0,4140	0,2415	0,2886	0,1754	0,3141	0,2880
28-12-2006	78,18	74,50	0,9197	0,7421	0,7674	0,7763	0,2699	0,6157	0,3025	0,4826
14-11-2008	77,87	71,42	0,0000	0,6596	0,0659	0,2290	0,4396	0,1842	0,1866	0,0574
01-01-2009	60,69	55,61	0,3135	0,0000	0,1348	0,0775	0,1775	0,0582	0,1763	0,0491
01-09-2009	23,82	20,18	0,1520	0,8508	0,0959	0,6681	0,0541	0,3031	0,0457	0,3188
13-11-2009	30,45	27,62	4,3925	3,9039	2,7714	2,4631	1,4470	1,1034	0,9640	0,7998
23-03-2010	39,47	32,19	0,5459	0,3776	0,4581	0,2382	0,0444	0,0710	0,1353	0,1624
29-03-2011	20,18	16,74	0,0000	1,0393	0,4932	0,9433	0,4419	0,7673	0,3417	0,5569
30-10-2011	26,52	22,24	0,4833	0,7723	0,3589	0,6371	0,1082	0,2751	0,0322	0,0561
26-03-2012	35,16	31,02	0,6319	1,7930	0,5838	1,7243	0,6611	1,1215	0,6435	1,1418
11-04-2012	16,74	14,84	1,2572	0,6089	0,6763	0,6616	0,4478	0,6792	0,5211	0,5740
30-12-2012	63,69	59,23	0,6038	0,5549	0,6190	0,5387	0,5041	0,2873	0,4369	0,2845

Donde:  $Q_0$  = Caudal inicial;  $\alpha$  = coeficiente de agotamiento.

**Tabla N° 5:** Parámetros  $Q_0$  y  $\alpha$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)		$\alpha$ (48 h)		$\alpha$ (72 h)		$\alpha$ (168 h)		$\alpha$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	27,09	22,25	0,0203	0,0124	0,0192	0,0165	0,0180	0,0097	0,0137	0,0046
10-03-1996	25,12	21,50	0,0131	0,0060	0,0139	0,0083	0,0160	0,0101	0,0155	0,0095
01-02-1997	18,44	12,67	0,0333	0,0116	0,0290	0,0405	0,0212	0,0084	0,0226	0,0110
01-01-1998	87,20	77,98	0,0334	0,0129	0,0324	0,0216	0,0160	0,0238	0,0184	0,0164
27-02-1998	51,61	45,76	0,0252	0,0192	0,0261	0,0200	0,0138	0,0148	0,0203	0,0162
17-01-2000	72,53	61,46	0,0508	0,0286	0,0490	0,0334	0,0371	0,0162	0,0305	0,0149
14-02-2000	28,90	24,56	0,0173	0,0207	0,0198	0,0099	0,0148	0,0068	0,0130	0,0145
05-01-2002	75,86	72,52	0,0217	0,0231	0,0211	0,0202	0,0141	0,0050	0,0075	0,0102
19-03-2002	42,05	34,83	0,0277	0,0278	0,0268	0,0165	0,0212	0,0092	0,0173	0,0128
18-02-2003	33,41	25,97	0,0186	0,0125	0,0139	0,0275	0,0154	0,0092	0,0166	0,0091
05-03-2004	35,03	28,77	0,0159	0,0091	0,0257	0,0090	0,0157	0,0092	0,0141	0,0077
28-09-2004	21,99	16,02	0,0322	0,0241	0,0351	0,0230	0,0273	0,0129	0,0192	0,0057
01-01-2005	68,33	55,34	0,0256	0,0197	0,0191	0,0202	0,0114	0,0105	0,0156	0,0111
14-02-2006	68,21	52,01	0,0232	0,0133	0,0241	0,0117	0,0175	0,0083	0,0173	0,0096
28-12-2006	78,18	74,50	0,0277	0,0203	0,0278	0,0233	0,0132	0,0215	0,0132	0,0165
14-11-2008	77,87	71,42	0,0111	0,0199	0,0098	0,0133	0,0140	0,0097	0,0076	0,0064
01-01-2009	60,69	55,61	0,0358	0,0491	0,0272	0,0436	0,0217	0,0294	0,0193	0,0246
01-09-2009	23,82	20,18	0,0195	0,0135	0,0159	0,0127	0,0104	0,0072	0,0087	0,0070
13-11-2009	30,45	27,62	0,2412	0,2342	0,1970	0,1912	0,1026	0,0716	0,0473	0,0441
23-03-2010	39,47	32,19	0,0215	0,0125	0,0199	0,0102	0,0086	0,0059	0,0090	0,0063
29-03-2011	20,18	16,74	0,0156	0,0133	0,0219	0,0149	0,0197	0,0154	0,0153	0,0104
30-10-2011	26,52	22,24	0,0353	0,0248	0,0306	0,0238	0,0167	0,0132	0,0122	0,0074
26-03-2012	35,16	31,02	0,0204	0,0191	0,0204	0,0299	0,0254	0,0261	0,0259	0,0341
11-04-2012	16,74	14,84	0,0207	0,0071	0,0149	0,0078	0,0111	0,0093	0,0129	0,0078
30-12-2012	63,69	59,23	0,0311	0,0316	0,0330	0,0317	0,0292	0,0201	0,0250	0,0185

Donde:  $Q_0$  = Caudal inicial;  $\alpha$  = coeficiente de agotamiento.

**Tabla N° 6:** Parámetros  $Q_0$  y  $\alpha$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)		$\alpha$ (48 h)		$\alpha$ (72 h)		$\alpha$ (168 h)		$\alpha$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	1090,63	948,41	0,0043	0,0013	0,0016	0,0009	0,0011	0,0007	0,0009	0,0008
07-09-1989	839,22	756,29	0,0010	0,0010	0,0007	0,0006	0,0007	0,0005	0,0006	0,0003
01-09-1990	1352,64	1055,79	0,0031	0,0008	0,0025	0,0004	0,0010	0,0005	0,0005	0,0006
14-04-1991	341,78	299,59	0,0014	0,0033	0,0018	0,0026	0,0014	0,0014	0,0015	0,0015
15-09-1993	891,75	820,62	0,0014	0,0004	0,0012	0,0006	0,0009	0,0007	0,0009	0,0007
30-11-1993	904,97	733,78	0,0040	0,0035	0,0015	0,0018	0,0027	0,0018	0,0019	0,0020
01-10-1994	1533,31	1141,83	0,0050	0,0008	0,0033	0,0007	0,0012	0,0012	0,0011	0,0009
12-03-2002	672,22	401,33	0,0081	0,0026	0,0053	0,0032	0,0044	0,0023	0,0039	0,0019
11-10-2002	3610,32	2605,61	0,0055	0,0035	0,0048	0,0031	0,0039	0,0028	0,0030	0,0017
14-11-2003	937,42	774,11	0,0029	0,0008	0,0020	0,0015	0,0025	0,0016	0,0018	0,0028
30-10-2004	1148,41	1037,89	0,0019	0,0015	0,0020	0,0012	0,0012	0,0008	0,0024	0,0005
24-08-2005	1558,23	1438,21	0,0016	0,0017	0,0018	0,0017	0,0009	0,0008	0,0009	0,0007
20-11-2005	1019,91	840,53	0,0041	0,0020	0,0023	0,0013	0,0015	0,0004	0,0008	0,0004
01-08-2006	1579,96	1316,09	0,0032	0,0018	0,0027	0,0017	0,0021	0,0010	0,0024	0,0019
08-09-2006	1424,38	1231,05	0,0032	0,0020	0,0026	0,0008	0,0016	0,0012	0,0010	0,0006
24-10-2006	972,44	897,11	0,0011	0,0008	0,0012	0,0019	0,0008	0,0006	0,0007	0,0005
06-04-2008	147,93	116,90	0,0031	0,0034	0,0053	0,0023	0,0034	0,0018	0,0029	0,0024
26-08-2008	1628,21	1174,91	0,0026	0,0008	0,0022	0,0007	0,0027	0,0007	0,0015	0,0005
14-08-2009	1543,87	1399,56	0,0019	0,0014	0,0018	0,0013	0,0010	0,0008	0,0010	0,0004
09-11-2009	985,93	900,69	0,0012	0,0007	0,0019	0,0006	0,0008	0,0005	0,0018	0,0004
24-08-2010	1200,76	1035,47	0,0015	0,0013	0,0027	0,0010	0,0017	0,0018	0,0014	0,0007
08-03-2011	232,93	198,19	0,0024	0,0008	0,0018	0,0007	0,0010	0,0005	0,0008	0,0004
26-02-2012	481,03	380,15	0,0071	0,0051	0,0048	0,0036	0,0025	0,0020	0,0019	0,0016
19-12-2012	350,50	317,23	0,0017	0,0016	0,0014	0,0018	0,0019	0,0016	0,0002	0,0005
01-09-2013	1239,83	1117,30	0,0018	0,0013	0,0012	0,0009	0,0011	0,0007	0,0007	0,0008

Donde:  $Q_0$  = Caudal inicial;  $\alpha$  = coeficiente de agotamiento.

**Tabla N° 7:** Parámetros  $Q_0$  y  $\alpha$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)		$\alpha$ (48 h)		$\alpha$ (72 h)		$\alpha$ (168 h)		$\alpha$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	1090,63	948,41	0,0078	0,0026	0,0030	0,0018	0,0019	0,0013	0,0017	0,0014
07-09-1989	839,22	756,29	0,0019	0,0019	0,0013	0,0012	0,0014	0,0010	0,0012	0,0006
01-09-1990	1352,64	1055,79	0,0059	0,0015	0,0047	0,0009	0,0019	0,0009	0,0009	0,0011
14-04-1991	341,78	299,59	0,0027	0,0061	0,0035	0,0047	0,0025	0,0026	0,0026	0,0025
15-09-1993	891,75	820,62	0,0027	0,0008	0,0023	0,0011	0,0017	0,0014	0,0016	0,0013
30-11-1993	904,97	733,78	0,0072	0,0064	0,0029	0,0033	0,0044	0,0032	0,0031	0,0033
01-10-1994	1533,31	1141,83	0,0089	0,0015	0,0058	0,0014	0,0023	0,0022	0,0020	0,0016
12-03-2002	672,22	401,33	0,0137	0,0050	0,0089	0,0057	0,0065	0,0038	0,0055	0,0032
11-10-2002	3610,32	2605,61	0,0097	0,0065	0,0082	0,0056	0,0059	0,0045	0,0045	0,0028
14-11-2003	937,42	774,11	0,0053	0,0017	0,0038	0,0029	0,0042	0,0028	0,0030	0,0043
30-10-2004	1148,41	1037,89	0,0037	0,0029	0,0037	0,0024	0,0022	0,0014	0,0038	0,0010
24-08-2005	1558,23	1438,21	0,0031	0,0033	0,0033	0,0033	0,0017	0,0015	0,0015	0,0012
20-11-2005	1019,91	840,53	0,0076	0,0039	0,0043	0,0025	0,0027	0,0007	0,0014	0,0007
01-08-2006	1579,96	1316,09	0,0060	0,0035	0,0049	0,0032	0,0036	0,0019	0,0038	0,0031
08-09-2006	1424,38	1231,05	0,0060	0,0038	0,0048	0,0015	0,0029	0,0021	0,0018	0,0011
24-10-2006	972,44	897,11	0,0021	0,0016	0,0022	0,0036	0,0016	0,0012	0,0012	0,0010
06-04-2008	147,93	116,90	0,0057	0,0064	0,0090	0,0042	0,0054	0,0032	0,0044	0,0038
26-08-2008	1628,21	1174,91	0,0049	0,0016	0,0042	0,0014	0,0044	0,0013	0,0025	0,0010
14-08-2009	1543,87	1399,56	0,0037	0,0026	0,0034	0,0025	0,0019	0,0015	0,0018	0,0008
09-11-2009	985,93	900,69	0,0023	0,0014	0,0036	0,0011	0,0015	0,0009	0,0030	0,0008
24-08-2010	1200,76	1035,47	0,0030	0,0025	0,0049	0,0019	0,0029	0,0031	0,0024	0,0013
08-03-2011	232,93	198,19	0,0046	0,0017	0,0033	0,0014	0,0018	0,0010	0,0015	0,0008
26-02-2012	481,03	380,15	0,0121	0,0092	0,0083	0,0063	0,0042	0,0034	0,0032	0,0027
19-12-2012	350,50	317,23	0,0032	0,0032	0,0027	0,0034	0,0033	0,0028	0,0005	0,0009
01-09-2013	1239,83	1117,30	0,0035	0,0026	0,0023	0,0018	0,0020	0,0014	0,0013	0,0014

Donde:  $Q_0$  = Caudal inicial;  $\alpha$  = coeficiente de agotamiento.

**Tabla N° 8:** Parámetros  $Q_0$  y  $\alpha$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)		$\alpha$ (48 h)		$\alpha$ (72 h)		$\alpha$ (168 h)		$\alpha$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	1090,63	948,41	0,0001	0,0054	0,0053	0,0120	0,0091	0,0110	0,0095	0,0084
07-09-1989	839,22	756,29	0,0002	0,0438	0,0012	0,0604	0,0011	0,0239	0,0015	0,0343
01-09-1990	1352,64	1055,79	0,0137	0,0385	0,0203	0,0636	0,0570	0,0143	0,1076	0,0092
14-04-1991	341,78	299,59	0,0115	0,0073	0,0036	0,0148	0,0059	0,0278	0,0052	0,0230
15-09-1993	891,75	820,62	0,0423	0,0022	0,0314	0,0007	0,0209	0,0005	0,0185	0,0006
30-11-1993	904,97	733,78	0,0131	0,0016	0,1525	0,0162	0,0215	0,0105	0,0302	0,0088
01-10-1994	1533,31	1141,83	0,0535	0,0000	0,1052	0,0002	0,1946	0,0002	0,1550	0,0003
12-03-2002	672,22	401,33	0,4619	0,0326	0,5453	0,0121	0,2393	0,0184	0,2143	0,0207
11-10-2002	3610,32	2605,61	0,0191	0,0167	0,0254	0,0189	0,0299	0,0183	0,0371	0,0310
14-11-2003	937,42	774,11	0,0501	0,0463	0,0698	0,0036	0,0229	0,0034	0,0305	0,0018
30-10-2004	1148,41	1037,89	0,0138	0,0117	0,0094	0,0136	0,0165	0,0181	0,0064	0,0242
24-08-2005	1558,23	1438,21	0,0047	0,0014	0,0033	0,0019	0,0102	0,0079	0,0096	0,0093
20-11-2005	1019,91	840,53	0,0157	0,0049	0,0633	0,0166	0,0584	0,0693	0,1039	0,0471
01-08-2006	1579,96	1316,09	0,0232	0,0111	0,0274	0,0102	0,0263	0,0170	0,0202	0,0070
08-09-2006	1424,38	1231,05	0,0367	0,0005	0,0403	0,0141	0,0460	0,0039	0,0700	0,0096
24-10-2006	972,44	897,11	0,0302	0,0000	0,0113	0,0000	0,0116	0,0004	0,0136	0,0006
06-04-2008	147,93	116,90	0,0000	0,0363	0,0000	0,0692	0,0001	0,0451	0,0002	0,0271
26-08-2008	1628,21	1174,91	0,0197	0,0032	0,0211	0,0040	0,0113	0,0035	0,0227	0,0042
14-08-2009	1543,87	1399,56	0,0278	0,0011	0,0190	0,0017	0,0279	0,0042	0,0229	0,0095
09-11-2009	985,93	900,69	0,0147	0,0013	0,0023	0,0026	0,0110	0,0028	0,0036	0,0029
24-08-2010	1200,76	1035,47	0,0020	0,0029	0,0005	0,0058	0,0025	0,0019	0,0033	0,0066
08-03-2011	232,93	198,19	0,0729	0,0152	0,0790	0,0128	0,0773	0,0111	0,0731	0,0120
26-02-2012	481,03	380,15	0,0000	0,0422	0,0002	0,0774	0,0021	0,0939	0,0033	0,0945
19-12-2012	350,50	317,23	0,0141	0,0232	0,0145	0,0105	0,0061	0,0099	0,0841	0,0390
01-09-2013	1239,83	1117,30	0,0901	0,0030	0,1088	0,0080	0,0410	0,0080	0,0563	0,0064

Donde:  $Q_0$  = Caudal inicial;  $\alpha$  = coeficiente de agotamiento.

**Tabla N° 9:** Parámetros  $Q_0$  y  $n$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)		n (48 h)		n (72 h)		n (168 h)		n (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	1090,63	948,41	2,1671	0,8105	0,8675	0,5597	0,6988	0,5868	0,6849	0,6725
07-09-1989	839,22	756,29	1,5771	0,1909	1,0092	0,0897	1,0449	0,3816	0,9592	0,2684
01-09-1990	1352,64	1055,79	0,7811	0,1582	0,6566	0,0000	0,3313	0,4693	0,1315	0,6096
14-04-1991	341,78	299,59	0,6238	0,9550	0,9947	0,7336	0,8362	0,5342	0,8738	0,5950
15-09-1993	891,75	820,62	0,2903	0,7483	0,3842	1,1137	0,5124	1,1804	0,5506	1,1289
30-11-1993	904,97	733,78	0,8464	1,3599	0,0745	0,6301	0,6906	0,7653	0,5836	0,8203
01-10-1994	1533,31	1141,83	0,5372	1,8948	0,3242	1,4844	0,1306	1,5267	0,2024	1,2992
12-03-2002	672,22	401,33	0,0903	0,5138	0,0381	0,8265	0,2973	0,6944	0,3320	0,6571
11-10-2002	3610,32	2605,61	0,8253	0,7551	0,7359	0,7176	0,6845	0,7276	0,6170	0,5618
14-11-2003	937,42	774,11	0,4218	0,1409	0,3175	0,9480	0,6683	0,9607	0,5777	1,1555
30-10-2004	1148,41	1037,89	0,6612	0,6396	0,7814	0,5920	0,6053	0,5023	0,9046	0,4120
24-08-2005	1558,23	1438,21	0,8925	1,2282	1,0019	1,1240	0,6492	0,6806	0,6666	0,6285
20-11-2005	1019,91	840,53	0,8118	0,9383	0,3726	0,5537	0,3978	0,1039	0,2168	0,2257
01-08-2006	1579,96	1316,09	0,6494	0,7046	0,5969	0,7300	0,6094	0,5695	0,6936	0,8503
08-09-2006	1424,38	1231,05	0,5319	1,5088	0,5027	0,4761	0,4608	0,8802	0,3289	0,5982
24-10-2006	972,44	897,11	0,3090	2,0287	0,6193	2,3609	0,6093	1,2156	0,5606	1,0999
06-04-2008	147,93	116,90	3,1642	0,5503	2,7809	0,3472	1,7409	0,4817	1,5410	0,6418
26-08-2008	1628,21	1174,91	0,6417	0,8248	0,6203	0,7570	0,8161	0,8042	0,5974	0,7412
14-08-2009	1543,87	1399,56	0,4797	1,2210	0,5982	1,0940	0,4784	0,8049	0,5403	0,5478
09-11-2009	985,93	900,69	0,5205	1,0191	1,1120	0,8137	0,6126	0,7852	0,9631	0,7759
24-08-2010	1200,76	1035,47	1,0979	0,9569	1,5291	0,7440	1,0269	1,0938	0,9404	0,7029
08-03-2011	232,93	198,19	0,2860	0,4280	0,2611	0,4819	0,2679	0,5277	0,2854	0,5012
26-02-2012	481,03	380,15	2,9186	0,6055	1,8645	0,4149	1,1398	0,3544	0,9932	0,3522
19-12-2012	350,50	317,23	0,6151	0,4858	0,6064	0,7358	0,8783	0,7537	0,0537	0,3222
01-09-2013	1239,83	1117,30	0,1611	0,9653	0,1017	0,6534	0,4086	0,6544	0,3090	0,7271

Donde:  $Q_0$  = Caudal inicial;  $\alpha$  = coeficiente de agotamiento.

**Tabla N° 10:** Parámetros  $Q_0$  y  $\alpha$  para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)		$\alpha$ (48 h)		$\alpha$ (72 h)		$\alpha$ (168 h)		$\alpha$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	1090,63	948,41	0,0271	0,0090	0,0128	0,0077	0,0126	0,0086	0,0131	0,0108
07-09-1989	839,22	756,29	0,0066	0,0066	0,0055	0,0052	0,0091	0,0065	0,0090	0,0048
01-09-1990	1352,64	1055,79	0,0203	0,0051	0,0198	0,0037	0,0120	0,0061	0,0071	0,0084
14-04-1991	341,78	299,59	0,0093	0,0213	0,0147	0,0201	0,0165	0,0166	0,0202	0,0193
15-09-1993	891,75	820,62	0,0094	0,0028	0,0096	0,0047	0,0111	0,0089	0,0122	0,0101
30-11-1993	904,97	733,78	0,0251	0,0222	0,0124	0,0141	0,0286	0,0205	0,0239	0,0256
01-10-1994	1533,31	1141,83	0,0309	0,0052	0,0248	0,0058	0,0147	0,0146	0,0152	0,0124
12-03-2002	672,22	401,33	0,0473	0,0172	0,0378	0,0244	0,0423	0,0249	0,0427	0,0244
11-10-2002	3610,32	2605,61	0,0337	0,0225	0,0349	0,0239	0,0385	0,0293	0,0352	0,0217
14-11-2003	937,42	774,11	0,0185	0,0058	0,0160	0,0121	0,0271	0,0181	0,0234	0,0335
30-10-2004	1148,41	1037,89	0,0129	0,0101	0,0157	0,0101	0,0141	0,0092	0,0292	0,0075
24-08-2005	1558,23	1438,21	0,0107	0,0116	0,0142	0,0139	0,0109	0,0100	0,0120	0,0094
20-11-2005	1019,91	840,53	0,0262	0,0133	0,0184	0,0104	0,0173	0,0046	0,0110	0,0052
01-08-2006	1579,96	1316,09	0,0207	0,0122	0,0207	0,0137	0,0231	0,0121	0,0291	0,0238
08-09-2006	1424,38	1231,05	0,0208	0,0132	0,0204	0,0064	0,0188	0,0137	0,0137	0,0082
24-10-2006	972,44	897,11	0,0072	0,0057	0,0094	0,0152	0,0102	0,0079	0,0095	0,0078
06-04-2008	147,93	116,90	0,0198	0,0220	0,0382	0,0180	0,0349	0,0206	0,0343	0,0295
26-08-2008	1628,21	1174,91	0,0170	0,0057	0,0176	0,0060	0,0286	0,0082	0,0193	0,0079
14-08-2009	1543,87	1399,56	0,0128	0,0091	0,0145	0,0106	0,0125	0,0100	0,0143	0,0062
09-11-2009	985,93	900,69	0,0080	0,0050	0,0154	0,0049	0,0098	0,0060	0,0229	0,0065
24-08-2010	1200,76	1035,47	0,0103	0,0086	0,0210	0,0082	0,0189	0,0200	0,0187	0,0100
08-03-2011	232,93	198,19	0,0159	0,0057	0,0142	0,0059	0,0118	0,0064	0,0113	0,0061
26-02-2012	481,03	380,15	0,0421	0,0318	0,0352	0,0269	0,0273	0,0223	0,0245	0,0210
19-12-2012	350,50	317,23	0,0110	0,0110	0,0114	0,0144	0,0213	0,0181	0,0036	0,0074
01-09-2013	1239,83	1117,30	0,0121	0,0090	0,0099	0,0077	0,0128	0,0088	0,0099	0,0110

Donde:  $Q_0$  = Caudal inicial;  $\alpha$  = coeficiente de agotamiento.

## **5.2 Validación Estadística**

### **5.2.1 Coeficiente de determinación ( $R^2$ )**

Las tablas N° 11 a la N° 14, muestran los valores para el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), obtenidos entre el caudal observado y el caudal estimado y ello a través de los distintos modelos aplicados en la cuenca del río Maipo. Así mismo, las tablas N° 15 a la N° 18 muestran los valores de  $R^2$  para la cuenca del río Biobío.



**Tabla N° 11:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	$R^2$ (48 h)		$R^2$ (72 h)		$R^2$ (168 h)		$R^2$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	0,29	0,16	0,30	0,16	0,30	0,18	0,30	0,19
10-03-1996	0,82	0,81	0,83	0,81	0,83	0,81	0,83	0,81
01-02-1997	0,06	0,00	0,05	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00
01-01-1998	0,39	0,25	0,38	0,26	0,34	0,26	0,34	0,25
27-02-1998	0,57	0,53	0,57	0,52	0,52	0,50	0,54	0,49
17-01-2000	0,35	0,10	0,34	0,10	0,30	0,09	0,28	0,09
14-02-2000	0,71	0,59	0,71	0,62	0,71	0,62	0,71	0,62
05-01-2002	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
19-03-2002	0,73	0,65	0,73	0,67	0,73	0,67	0,72	0,67
18-02-2003	0,36	0,20	0,38	0,16	0,39	0,25	0,40	0,26
05-03-2004	0,68	0,57	0,67	0,58	0,69	0,59	0,69	0,60
28-09-2004	0,11	0,00	0,10	0,00	0,05	0,02	0,03	0,03
01-01-2005	0,46	0,31	0,48	0,32	0,49	0,37	0,49	0,38
14-02-2006	0,65	0,40	0,63	0,39	0,55	0,37	0,54	0,37
28-12-2006	0,67	0,63	0,69	0,63	0,73	0,65	0,73	0,66
14-11-2008	0,03	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01
01-01-2009	0,53	0,33	0,51	0,36	0,49	0,41	0,49	0,43
01-09-2009	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00
13-11-2009	0,47	0,67	0,57	0,68	0,70	0,50	0,54	0,37
23-03-2010	0,65	0,71	0,69	0,75	0,79	0,80	0,80	0,80
29-03-2011	0,74	0,68	0,76	0,67	0,71	0,65	0,67	0,63
30-10-2011	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
26-03-2012	0,53	0,49	0,52	0,49	0,52	0,49	0,52	0,49
11-04-2012	0,62	0,53	0,57	0,53	0,57	0,53	0,57	0,52
30-12-2012	0,68	0,59	0,67	0,58	0,63	0,52	0,61	0,50

**Tabla N° 12:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	$R^2$ (48 h)		$R^2$ (72 h)		$R^2$ (168 h)		$R^2$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	0,29	0,16	0,29	0,16	0,30	0,19	0,31	0,20
10-03-1996	0,82	0,81	0,83	0,81	0,83	0,81	0,83	0,81
01-02-1997	0,06	0,00	0,04	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00
01-01-1998	0,38	0,25	0,37	0,25	0,33	0,25	0,33	0,24
27-02-1998	0,56	0,52	0,56	0,52	0,51	0,48	0,52	0,48
17-01-2000	0,35	0,10	0,33	0,10	0,28	0,09	0,26	0,09
14-02-2000	0,71	0,58	0,71	0,62	0,71	0,62	0,70	0,62
05-01-2002	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
19-03-2002	0,72	0,64	0,72	0,67	0,72	0,67	0,71	0,67
18-02-2003	0,31	0,15	0,35	0,09	0,38	0,25	0,38	0,27
05-03-2004	0,67	0,58	0,65	0,59	0,68	0,60	0,68	0,60
28-09-2004	0,11	0,00	0,09	0,01	0,04	0,02	0,02	0,03
01-01-2005	0,45	0,31	0,48	0,33	0,49	0,38	0,49	0,39
14-02-2006	0,63	0,39	0,61	0,38	0,52	0,36	0,51	0,36
28-12-2006	0,66	0,62	0,69	0,63	0,73	0,66	0,72	0,67
14-11-2008	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01
01-01-2009	0,46	0,30	0,50	0,34	0,48	0,42	0,48	0,44
01-09-2009	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00
13-11-2009	0,58	0,70	0,71	0,74	0,65	0,42	0,47	0,31
23-03-2010	0,63	0,72	0,69	0,77	0,80	0,81	0,80	0,81
29-03-2011	0,72	0,66	0,74	0,66	0,68	0,64	0,65	0,62
30-10-2011	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
26-03-2012	0,52	0,48	0,52	0,49	0,52	0,48	0,52	0,48
11-04-2012	0,61	0,53	0,54	0,53	0,56	0,52	0,56	0,52
30-12-2012	0,66	0,58	0,65	0,56	0,60	0,50	0,58	0,49

**Tabla N° 13:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	$R^2$ (48 h)		$R^2$ (72 h)		$R^2$ (168 h)		$R^2$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	0,32	0,17	0,32	0,17	0,32	0,17	0,32	0,15
10-03-1996	0,80	0,81	0,83	0,81	0,83	0,81	0,83	0,81
01-02-1997	0,06	0,00	0,05	0,03	0,05	0,00	0,05	0,00
01-01-1998	0,39	0,25	0,39	0,25	0,39	0,25	0,39	0,26
27-02-1998	0,57	0,53	0,57	0,52	0,57	0,52	0,57	0,52
17-01-2000	0,34	0,10	0,34	0,10	0,34	0,10	0,34	0,10
14-02-2000	0,69	0,61	0,72	0,60	0,71	0,61	0,71	0,62
05-01-2002	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00
19-03-2002	0,74	0,65	0,75	0,68	0,75	0,67	0,75	0,68
18-02-2003	0,43	0,27	0,43	0,09	0,43	0,27	0,43	0,27
05-03-2004	0,00	0,55	0,69	0,57	0,70	0,57	0,70	0,57
28-09-2004	0,00	0,00	0,10	0,01	0,10	0,01	0,10	0,01
01-01-2005	0,36	0,33	0,46	0,34	0,50	0,33	0,50	0,33
14-02-2006	0,68	0,41	0,66	0,41	0,68	0,42	0,68	0,41
28-12-2006	0,68	0,65	0,71	0,65	0,71	0,65	0,71	0,65
14-11-2008	0,00	0,00	0,05	0,00	0,04	0,00	0,05	0,00
01-01-2009	0,58	0,00	0,60	0,40	0,59	0,40	0,59	0,40
01-09-2009	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
13-11-2009	0,83	0,77	0,86	0,81	0,57	0,40	0,48	0,36
23-03-2010	0,73	0,72	0,74	0,70	0,68	0,66	0,71	0,69
29-03-2011	0,00	0,67	0,78	0,66	0,78	0,66	0,79	0,66
30-10-2011	0,03	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00
26-03-2012	0,54	0,46	0,54	0,46	0,54	0,48	0,54	0,48
11-04-2012	0,59	0,55	0,62	0,55	0,65	0,55	0,63	0,56
30-12-2012	0,67	0,57	0,67	0,57	0,67	0,58	0,68	0,58

**Tabla N° 14:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	$R^2$ (48 h)		$R^2$ (72 h)		$R^2$ (168 h)		$R^2$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	0,54	0,49	0,54	0,50	0,54	0,50	0,54	0,50
10-03-1996	0,65	0,56	0,66	0,56	0,63	0,56	0,64	0,56
01-02-1997	0,68	0,57	0,68	0,57	0,67	0,55	0,67	0,55
01-01-1998	0,56	0,39	0,55	0,40	0,55	0,42	0,54	0,42
27-02-1998	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01
17-01-2000	0,54	0,69	0,61	0,67	0,66	0,48	0,59	0,41
14-02-2000	0,73	0,74	0,74	0,75	0,77	0,76	0,77	0,76
05-01-2002	0,76	0,68	0,78	0,68	0,77	0,68	0,76	0,67
19-03-2002	0,03	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
18-02-2003	0,49	0,34	0,50	0,34	0,50	0,35	0,50	0,35
05-03-2004	0,65	0,40	0,65	0,40	0,63	0,39	0,63	0,40
28-09-2004	0,71	0,65	0,71	0,65	0,72	0,65	0,72	0,65
01-01-2005	0,03	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00
14-02-2006	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
28-12-2006	0,75	0,67	0,75	0,68	0,75	0,68	0,75	0,68
14-11-2008	0,42	0,27	0,43	0,23	0,43	0,28	0,43	0,28
01-01-2009	0,70	0,58	0,70	0,58	0,70	0,58	0,70	0,58
01-09-2009	0,08	0,01	0,08	0,01	0,07	0,01	0,06	0,01
13-11-2009	0,38	0,26	0,38	0,26	0,37	0,27	0,37	0,26
23-03-2010	0,56	0,51	0,56	0,51	0,54	0,51	0,56	0,51
29-03-2011	0,34	0,10	0,34	0,10	0,32	0,10	0,31	0,10
30-10-2011	0,72	0,62	0,72	0,62	0,72	0,62	0,72	0,62
26-03-2012	0,32	0,17	0,32	0,17	0,32	0,17	0,32	0,18
11-04-2012	0,84	0,81	0,84	0,81	0,83	0,81	0,83	0,81
30-12-2012	0,05	0,00	0,04	0,01	0,04	0,00	0,04	0,00

**Tabla N° 15:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	$R^2$ (48 h)		$R^2$ (72 h)		$R^2$ (168 h)		$R^2$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	0,82	0,79	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
07-09-1989	0,88	0,86	0,88	0,86	0,88	0,86	0,88	0,85
01-09-1990	0,94	0,90	0,93	0,89	0,90	0,89	0,89	0,89
14-04-1991	0,81	0,61	0,82	0,61	0,81	0,60	0,81	0,60
15-09-1993	0,48	0,42	0,48	0,43	0,48	0,43	0,48	0,43
30-11-1993	0,79	0,74	0,75	0,72	0,77	0,72	0,75	0,72
01-10-1994	0,73	0,66	0,71	0,65	0,68	0,66	0,68	0,66
12-03-2002	0,76	0,70	0,76	0,70	0,75	0,70	0,75	0,70
11-10-2002	0,83	0,70	0,82	0,69	0,80	0,68	0,76	0,65
14-11-2003	0,70	0,61	0,69	0,62	0,70	0,62	0,69	0,63
30-10-2004	0,65	0,60	0,65	0,61	0,66	0,61	0,63	0,61
24-08-2005	0,85	0,84	0,86	0,84	0,82	0,81	0,81	0,80
20-11-2005	0,52	0,58	0,60	0,62	0,64	0,64	0,67	0,64
01-08-2006	0,58	0,38	0,56	0,37	0,53	0,34	0,54	0,38
08-09-2006	0,81	0,80	0,82	0,80	0,82	0,80	0,80	0,79
24-10-2006	0,56	0,47	0,56	0,49	0,55	0,47	0,54	0,46
06-04-2008	0,46	0,23	0,51	0,21	0,48	0,20	0,46	0,21
26-08-2008	0,83	0,80	0,84	0,80	0,83	0,81	0,85	0,81
14-08-2009	0,69	0,72	0,70	0,72	0,76	0,76	0,76	0,78
09-11-2009	0,70	0,64	0,69	0,63	0,70	0,63	0,70	0,63
24-08-2010	0,30	0,16	0,36	0,14	0,31	0,19	0,29	0,12
08-03-2011	0,68	0,59	0,66	0,58	0,61	0,57	0,60	0,56
26-02-2012	0,31	0,23	0,32	0,24	0,32	0,25	0,32	0,25
19-12-2012	0,33	0,31	0,35	0,30	0,32	0,31	0,43	0,39
01-09-2013	0,71	0,66	0,71	0,65	0,71	0,64	0,69	0,64

**Tabla N° 16:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	$R^2$ (48 h)		$R^2$ (72 h)		$R^2$ (168 h)		$R^2$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	0,81	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
07-09-1989	0,88	0,86	0,87	0,85	0,87	0,85	0,87	0,85
01-09-1990	0,93	0,89	0,92	0,89	0,90	0,89	0,89	0,89
14-04-1991	0,81	0,60	0,81	0,60	0,81	0,59	0,81	0,59
15-09-1993	0,48	0,42	0,48	0,42	0,47	0,42	0,47	0,42
30-11-1993	0,77	0,73	0,74	0,71	0,75	0,70	0,74	0,71
01-10-1994	0,71	0,65	0,70	0,65	0,67	0,66	0,67	0,65
12-03-2002	0,74	0,70	0,75	0,70	0,73	0,70	0,72	0,69
11-10-2002	0,82	0,68	0,81	0,67	0,76	0,65	0,72	0,62
14-11-2003	0,68	0,60	0,68	0,61	0,68	0,61	0,67	0,61
30-10-2004	0,63	0,59	0,63	0,60	0,66	0,61	0,62	0,61
24-08-2005	0,85	0,83	0,85	0,83	0,80	0,80	0,79	0,79
20-11-2005	0,43	0,56	0,57	0,62	0,65	0,64	0,67	0,64
01-08-2006	0,57	0,37	0,54	0,36	0,50	0,33	0,50	0,36
08-09-2006	0,79	0,80	0,81	0,79	0,81	0,80	0,80	0,78
24-10-2006	0,55	0,47	0,55	0,49	0,54	0,46	0,52	0,45
06-04-2008	0,47	0,24	0,52	0,21	0,46	0,19	0,43	0,20
26-08-2008	0,78	0,79	0,80	0,80	0,79	0,81	0,84	0,81
14-08-2009	0,68	0,72	0,69	0,73	0,77	0,77	0,78	0,79
09-11-2009	0,70	0,63	0,69	0,63	0,70	0,63	0,70	0,63
24-08-2010	0,31	0,17	0,40	0,14	0,31	0,20	0,28	0,11
08-03-2011	0,67	0,57	0,64	0,57	0,59	0,55	0,58	0,55
26-02-2012	0,28	0,21	0,30	0,23	0,32	0,25	0,31	0,24
19-12-2012	0,32	0,28	0,34	0,27	0,31	0,30	0,44	0,39
01-09-2013	0,71	0,66	0,71	0,64	0,70	0,63	0,68	0,63

**Tabla N° 17:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	$R^2$ (48 h)		$R^2$ (72 h)		$R^2$ (168 h)		$R^2$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	0,68	0,80	0,81	0,81	0,82	0,81	0,82	0,81
07-09-1989	0,87	0,89	0,87	0,88	0,87	0,89	0,87	0,89
01-09-1990	0,93	0,95	0,93	0,00	0,94	0,94	0,94	0,93
14-04-1991	0,84	0,61	0,81	0,64	0,82	0,66	0,82	0,65
15-09-1993	0,56	0,48	0,55	0,40	0,54	0,39	0,53	0,40
30-11-1993	0,77	0,67	0,82	0,77	0,78	0,75	0,78	0,74
01-10-1994	0,72	0,50	0,73	0,56	0,74	0,56	0,73	0,59
12-03-2002	0,70	0,70	0,70	0,70	0,71	0,70	0,71	0,70
11-10-2002	0,78	0,67	0,74	0,66	0,71	0,66	0,68	0,66
14-11-2003	0,66	0,64	0,66	0,61	0,68	0,61	0,67	0,60
30-10-2004	0,67	0,62	0,66	0,62	0,66	0,62	0,64	0,62
24-08-2005	0,83	0,80	0,85	0,83	0,80	0,81	0,80	0,81
20-11-2005	0,58	0,58	0,67	0,63	0,67	0,61	0,67	0,62
01-08-2006	0,45	0,36	0,44	0,36	0,44	0,36	0,46	0,37
08-09-2006	0,82	0,70	0,81	0,81	0,81	0,80	0,81	0,81
24-10-2006	0,55	0,44	0,54	0,39	0,54	0,45	0,54	0,45
06-04-2008	0,09	0,20	0,19	0,19	0,54	0,20	0,49	0,20
26-08-2008	0,85	0,81	0,85	0,82	0,84	0,82	0,85	0,82
14-08-2009	0,79	0,62	0,79	0,70	0,79	0,77	0,79	0,76
09-11-2009	0,69	0,64	0,67	0,63	0,69	0,63	0,70	0,63
24-08-2010	0,36	0,16	0,42	0,11	0,31	0,21	0,27	0,11
08-03-2011	0,58	0,62	0,58	0,62	0,58	0,61	0,58	0,61
26-02-2012	0,08	0,24	0,18	0,24	0,32	0,24	0,31	0,24
19-12-2012	0,41	0,37	0,41	0,34	0,35	0,34	0,41	0,36
01-09-2013	0,68	0,66	0,68	0,63	0,68	0,63	0,68	0,63

**Tabla N° 18:** Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	$R^2$ (48 h)		$R^2$ (72 h)		$R^2$ (168 h)		$R^2$ (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	0,85	0,81	0,84	0,81	0,84	0,81	0,84	0,81
07-09-1989	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
01-09-1990	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,94	0,93	0,94
14-04-1991	0,85	0,67	0,85	0,66	0,85	0,66	0,85	0,66
15-09-1993	0,54	0,53	0,54	0,53	0,54	0,53	0,54	0,53
30-11-1993	0,79	0,80	0,78	0,79	0,79	0,80	0,79	0,80
01-10-1994	0,72	0,74	0,72	0,74	0,71	0,75	0,71	0,75
12-03-2002	0,72	0,70	0,71	0,70	0,71	0,70	0,71	0,70
11-10-2002	0,67	0,66	0,67	0,67	0,68	0,68	0,67	0,66
14-11-2003	0,67	0,62	0,66	0,63	0,68	0,63	0,67	0,64
30-10-2004	0,66	0,62	0,67	0,62	0,66	0,62	0,67	0,62
24-08-2005	0,81	0,83	0,81	0,83	0,81	0,82	0,81	0,82
20-11-2005	0,67	0,63	0,67	0,63	0,67	0,64	0,67	0,64
01-08-2006	0,43	0,37	0,43	0,37	0,43	0,37	0,44	0,39
08-09-2006	0,81	0,82	0,81	0,81	0,81	0,82	0,81	0,81
24-10-2006	0,54	0,48	0,54	0,49	0,55	0,48	0,54	0,48
06-04-2008	0,35	0,20	0,39	0,19	0,38	0,19	0,38	0,21
26-08-2008	0,85	0,82	0,85	0,82	0,86	0,82	0,85	0,82
14-08-2009	0,79	0,75	0,79	0,75	0,79	0,75	0,79	0,76
09-11-2009	0,69	0,63	0,69	0,63	0,69	0,64	0,70	0,64
24-08-2010	0,19	0,12	0,23	0,12	0,22	0,15	0,22	0,12
08-03-2011	0,58	0,61	0,58	0,61	0,58	0,61	0,58	0,61
26-02-2012	0,32	0,24	0,31	0,24	0,30	0,24	0,30	0,24
19-12-2012	0,42	0,37	0,42	0,36	0,40	0,35	0,43	0,38
01-09-2013	0,68	0,64	0,67	0,63	0,68	0,64	0,67	0,64



### **5.2.2. Error Estándar de Estimación (EEE)**

Las tablas N° 19 a la N° 22, muestran los valores para el Error Estándar de Estimación (EEE) obtenidos entre el caudal observado y el caudal estimado, a través de los respectivos modelos para la cuenca del río Maipo. Las tablas N° 23 a la N° 26, muestran los valores para la cuenca del río Biobío. Como se mencionó en la metodología, este estadístico permite determinar la disparidad promedio entre el caudal real versus el caudal estimado en  $m^3/s$ .

**Tabla N° 19:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	EEE (48 h)		EEE (72 h)		EEE (168 h)		EEE (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	5,00	3,13	4,83	3,17	4,29	2,33	3,51	1,23
10-03-1996	2,20	1,37	2,12	1,46	1,95	1,33	1,80	1,17
01-02-1997	3,97	2,10	3,95	2,30	3,41	1,31	3,32	1,42
01-01-1998	15,12	11,36	15,14	12,29	11,40	11,68	11,40	9,39
27-02-1998	7,09	6,49	7,27	6,62	7,37	6,62	7,62	6,56
17-01-2000	12,18	9,55	12,69	9,56	13,31	8,51	12,75	7,67
14-02-2000	3,46	2,52	3,44	2,46	3,02	1,81	2,74	2,36
05-01-2002	16,37	13,09	15,90	12,97	12,12	5,28	7,24	7,95
19-03-2002	4,86	3,64	4,76	3,40	4,14	2,16	3,57	2,42
18-02-2003	5,22	3,33	5,65	2,26	5,75	3,91	5,76	3,85
05-03-2004	4,39	3,30	4,43	3,14	4,02	2,75	3,72	2,31
28-09-2004	4,57	2,89	4,61	2,91	4,53	2,27	3,90	1,20
01-01-2005	11,01	7,85	10,07	7,70	6,64	5,03	7,38	4,70
14-02-2006	8,89	6,68	8,99	6,18	8,20	4,32	7,74	4,28
28-12-2006	9,77	8,44	9,64	8,45	7,33	8,11	6,85	7,24
14-11-2008	13,62	10,51	11,71	9,65	11,62	6,94	6,91	4,65
01-01-2009	9,13	7,88	9,30	8,40	8,37	8,31	7,58	7,61
01-09-2009	5,11	3,90	4,75	3,63	3,35	2,19	2,69	1,90
13-11-2009	2,41	0,54	2,65	0,85	3,41	3,41	4,26	3,83
23-03-2010	5,14	3,61	4,86	3,08	2,84	1,78	2,65	1,65
29-03-2011	2,17	1,72	2,15	1,70	2,13	1,58	1,91	1,25
30-10-2011	5,81	4,47	5,74	4,35	4,21	2,99	3,16	1,76
26-03-2012	4,64	3,42	4,34	3,62	4,13	3,22	3,91	3,41
11-04-2012	1,98	1,03	1,67	0,97	1,07	0,83	1,07	0,63
30-12-2012	7,88	6,55	7,85	6,64	7,30	5,64	6,59	5,06

**Tabla N° 20:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	EEE (48 h)		EEE (72 h)		EEE (168 h)		EEE (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	5,86	3,75	5,65	3,17	4,81	2,57	3,78	1,28
10-03-1996	2,59	1,56	2,47	1,46	2,20	1,47	1,99	1,27
01-02-1997	4,56	2,45	4,60	2,30	3,80	1,40	3,60	1,49
01-01-1998	17,53	13,33	17,72	12,29	12,51	13,28	12,22	10,08
27-02-1998	7,81	7,32	8,16	6,62	8,68	7,81	8,95	7,68
17-01-2000	13,63	11,28	14,59	9,56	15,46	9,58	14,31	8,33
14-02-2000	4,02	2,94	4,00	2,46	3,49	2,01	3,09	2,71
05-01-2002	19,13	15,54	18,52	12,97	13,30	5,54	7,53	8,44
19-03-2002	5,73	4,37	5,60	3,40	4,67	2,33	3,86	2,59
18-02-2003	5,64	3,57	6,40	2,26	6,67	4,68	6,70	4,58
05-03-2004	5,16	3,93	5,17	3,14	4,66	3,12	4,22	2,54
28-09-2004	5,21	3,41	5,33	2,91	5,20	2,52	4,28	1,25
01-01-2005	12,96	9,40	11,68	7,70	7,13	5,42	7,82	4,95
14-02-2006	10,62	8,00	10,82	6,18	9,41	4,68	8,61	4,57
28-12-2006	11,32	9,90	11,11	8,45	8,29	9,37	7,58	8,15
14-11-2008	15,68	12,70	13,12	9,65	12,62	7,53	7,14	4,83
01-01-2009	11,12	9,12	11,00	8,40	9,47	9,50	1,56	8,35
01-09-2009	5,98	4,59	5,53	3,63	3,65	2,35	2,84	1,99
13-11-2009	3,11	0,97	3,12	0,85	4,59	4,55	4,83	4,34
23-03-2010	6,04	4,18	5,63	3,08	3,11	1,92	2,86	1,75
29-03-2011	2,64	2,07	2,62	1,70	2,52	1,83	2,16	1,36
30-10-2011	6,72	5,26	6,68	4,35	4,57	3,22	3,28	1,81
26-03-2012	5,35	4,03	4,90	3,62	4,42	3,54	4,02	3,70
11-04-2012	2,31	1,12	1,90	0,97	1,11	0,86	1,09	0,63
30-12-2012	9,33	7,91	9,29	6,64	8,21	6,24	7,06	5,37

**Tabla N° 21:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	EEE (48 h)		EEE (72 h)		EEE (168 h)		EEE (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	0,55	0,79	1,09	2,30	1,71	0,74	1,13	0,02
10-03-1996	0,25	0,55	0,68	1,25	1,12	1,13	1,09	0,93
01-02-1997	0,65	1,95	0,71	3,31	0,70	0,67	1,18	1,00
01-01-1998	7,37	9,18	7,81	16,24	1,30	12,26	3,73	7,63
27-02-1998	0,72	0,56	2,78	2,23	0,34	1,62	2,92	2,45
17-01-2000	5,05	4,13	6,19	7,00	4,98	1,53	4,06	1,76
14-02-2000	0,10	2,60	1,33	0,02	0,94	0,05	0,87	1,20
05-01-2002	14,89	17,23	11,94	14,23	5,71	0,09	1,39	3,99
19-03-2002	3,53	4,31	3,08	1,08	2,13	0,25	1,65	0,98
18-02-2003	2,61	0,58	0,80	2,03	2,59	0,79	3,13	0,98
05-03-2004	0,00	0,03	3,57	0,38	1,51	0,88	1,39	0,68
28-09-2004	0,00	3,66	1,73	3,47	1,55	1,23	0,78	0,21
01-01-2005	16,65	1,30	13,04	2,61	4,51	0,40	6,26	1,03
14-02-2006	2,98	1,33	4,37	1,16	2,73	0,76	3,05	1,48
28-12-2006	10,67	7,71	9,13	8,09	2,49	6,13	2,87	4,32
14-11-2008	0,00	8,15	0,68	1,79	6,47	1,35	2,15	0,35
01-01-2009	3,76	0,00	1,46	0,92	1,98	0,69	0,41	0,58
01-09-2009	0,75	3,79	0,45	2,56	0,63	0,73	0,21	0,78
13-11-2009	3,93	3,00	3,64	2,93	6,25	4,96	4,72	3,70
23-03-2010	3,17	1,17	2,51	0,62	0,17	0,15	0,56	0,39
29-03-2011	0,00	2,16	1,24	1,92	1,06	1,38	0,74	0,77
30-10-2011	3,74	4,18	2,69	3,29	0,72	1,07	0,20	0,17
26-03-2012	3,22	6,65	2,89	6,56	3,45	3,86	3,30	3,98
11-04-2012	2,92	0,54	1,17	0,62	0,62	0,65	0,77	0,49
30-12-2012	5,92	4,57	6,09	4,41	4,79	2,02	4,02	2,00

**Tabla N° 22:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	EEE (48 h)		EEE (72 h)		EEE (168 h)		EEE (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	2,83	1,41	2,75	1,66	2,66	1,20	2,25	0,66
10-03-1996	1,03	0,47	1,08	0,61	1,18	0,70	1,15	0,68
01-02-1997	2,66	0,92	2,54	1,60	2,21	0,73	2,29	0,89
01-01-1998	10,03	5,13	9,94	6,94	7,05	7,26	7,67	5,98
27-02-1998	5,24	4,27	5,27	4,33	4,23	3,85	4,97	4,01
17-01-2000	9,33	6,23	9,34	6,42	9,14	4,90	8,72	4,68
14-02-2000	1,94	1,60	2,07	1,10	1,78	0,84	1,65	1,37
05-01-2002	9,50	7,72	9,35	7,27	7,39	2,68	4,61	4,79
19-03-2002	2,93	2,22	2,89	1,74	2,58	1,17	2,30	1,49
18-02-2003	3,92	2,34	3,58	2,46	3,72	2,05	3,80	2,04
05-03-2004	2,39	1,37	2,90	1,36	2,37	1,38	2,23	1,21
28-09-2004	3,16	1,76	3,22	1,73	3,01	1,27	2,58	0,69
01-01-2005	6,53	4,15	5,61	4,21	3,97	2,80	4,95	2,90
14-02-2006	5,31	3,07	5,39	2,84	4,70	2,21	4,66	2,46
28-12-2006	6,25	4,92	6,25	5,18	4,30	5,03	4,28	4,46
14-11-2008	6,11	5,75	5,53	4,58	7,19	3,68	4,55	2,68
01-01-2009	6,11	5,81	5,66	5,81	5,15	5,38	1,48	5,03
01-09-2009	2,87	1,86	2,56	1,79	1,95	1,17	1,68	1,14
13-11-2009	1,67	0,48	1,86	0,74	2,57	2,31	2,94	2,49
23-03-2010	2,87	1,68	2,75	1,45	1,57	0,94	1,63	0,99
29-03-2011	1,08	0,81	1,26	0,86	1,21	0,88	1,07	0,69
30-10-2011	3,87	2,60	3,69	2,56	2,70	1,81	2,17	1,15
26-03-2012	2,49	1,71	2,49	2,14	2,83	2,02	2,86	2,24
11-04-2012	1,04	0,41	0,85	0,45	0,67	0,52	0,75	0,45
30-12-2012	4,88	4,08	4,98	4,09	4,76	3,38	5,47	3,23

**Tabla N° 23:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	EEE (48 h)		EEE (72 h)		EEE (168 h)		EEE (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	36,57	11,31	16,44	8,20	11,33	6,20	10,16	6,68
07-09-1989	20,29	18,47	15,03	13,09	16,45	11,24	14,35	7,33
01-09-1990	58,78	21,69	55,88	14,59	36,41	15,69	21,59	17,79
14-04-1991	4,70	9,17	6,02	7,59	4,78	4,64	5,13	4,71
15-09-1993	17,80	5,21	15,14	7,03	12,10	9,06	11,40	8,77
30-11-1993	49,56	36,31	26,51	23,26	39,45	23,70	30,79	25,72
01-10-1994	107,52	18,83	85,05	17,51	41,75	28,49	37,67	21,46
12-03-2002	69,51	42,47	73,24	43,40	74,25	41,38	74,56	39,86
11-10-2002	260,89	240,82	281,92	254,04	318,21	267,98	360,99	311,99
14-11-2003	109,84	92,58	115,15	97,62	112,09	97,49	116,19	90,07
30-10-2004	149,30	131,79	149,24	131,96	147,32	124,88	148,08	112,59
24-08-2005	132,30	118,21	130,75	118,23	133,77	114,77	132,92	109,52
20-11-2005	133,72	107,60	137,81	107,37	135,21	76,93	121,76	75,91
01-08-2006	228,11	195,02	232,08	193,43	232,48	170,62	233,04	195,14
08-09-2006	137,12	113,49	135,75	88,78	129,21	102,09	114,58	76,78
24-10-2006	127,41	110,62	129,65	126,33	118,87	100,20	108,32	92,22
06-04-2008	23,97	17,39	21,40	18,81	23,59	19,00	24,10	18,70
26-08-2008	137,45	96,63	137,79	93,99	137,40	92,09	138,38	86,76
14-08-2009	189,56	154,33	187,02	152,89	159,22	131,38	158,48	95,16
09-11-2009	109,19	85,08	120,48	77,65	96,44	70,48	118,84	67,25
24-08-2010	223,41	188,34	202,08	188,60	221,78	180,93	224,85	180,07
08-03-2011	27,04	15,87	25,49	14,45	20,47	11,69	18,37	9,97
26-02-2012	64,89	48,51	72,80	56,36	84,39	65,60	87,42	67,38
19-12-2012	63,26	52,75	62,82	52,40	63,28	52,86	33,30	43,25
01-09-2013	148,04	123,69	140,70	118,24	137,52	110,69	121,63	113,01

**Tabla N° 24:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	EEE (48 h)		EEE (72 h)		EEE (168 h)		EEE (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	34,68	11,34	15,82	8,13	10,58	5,98	9,29	6,28
07-09-1989	19,09	19,70	14,36	13,61	15,24	11,36	13,23	7,31
01-09-1990	61,35	23,45	58,72	15,26	36,83	16,16	21,41	18,12
14-04-1991	4,59	9,40	5,74	7,55	4,36	4,37	4,47	4,26
15-09-1993	17,16	5,21	14,50	6,98	11,25	8,69	10,38	8,25
30-11-1993	43,32	39,39	24,83	23,96	33,25	22,97	25,94	23,81
01-10-1994	84,31	19,21	71,18	17,70	37,17	27,71	32,99	20,46
12-03-2002	13,90	50,28	27,31	51,12	38,15	47,64	43,50	44,77
11-10-2002	89,92	258,98	119,15	282,82	192,91	319,39	267,14	380,28
14-11-2003	79,18	110,81	97,71	116,01	92,47	116,14	107,24	108,45
30-10-2004	113,81	153,17	114,09	154,86	135,25	147,10	113,00	130,37
24-08-2005	119,71	139,09	115,47	139,41	139,58	137,43	139,49	129,13
20-11-2005	26,97	122,91	58,75	125,08	84,72	87,85	102,22	85,98
01-08-2006	37,38	233,60	55,25	231,04	85,82	195,45	80,69	229,22
08-09-2006	96,88	135,40	106,26	103,13	118,17	118,75	112,61	85,14
24-10-2006	123,24	130,42	123,57	149,13	117,74	114,26	108,40	102,89
06-04-2008	11,21	19,64	5,76	22,26	11,96	22,65	14,36	22,56
26-08-2008	65,95	116,67	76,39	112,76	72,77	109,12	104,24	101,16
14-08-2009	82,58	180,87	87,43	178,24	107,79	149,27	108,27	105,01
09-11-2009	51,42	99,43	33,11	89,28	60,54	78,93	42,07	74,20
24-08-2010	169,55	219,57	109,56	223,66	171,17	209,24	188,74	211,39
08-03-2011	4,59	17,97	7,27	16,08	10,54	12,49	10,69	10,43
26-02-2012	16,71	49,51	29,83	60,36	58,79	75,61	70,19	78,89
19-12-2012	32,22	60,88	36,52	60,28	31,39	61,64	32,31	49,47
01-09-2013	71,70	146,44	92,70	140,69	98,25	129,33	101,77	131,35

**Tabla N° 25:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	EEE (48 h)		EEE (72 h)		EEE (168 h)		EEE (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	57,81	10,52	14,95	7,61	11,42	7,93	11,14	8,91
07-09-1989	43,85	2,80	14,59	1,24	15,94	6,44	12,83	4,15
01-09-1990	44,88	1,74	34,39	0,00	12,18	7,84	3,76	12,58
14-04-1991	3,03	9,14	5,72	6,77	4,47	4,77	4,75	5,37
15-09-1993	6,32	4,86	8,56	6,76	11,82	7,11	12,83	6,84
30-11-1993	35,42	54,18	1,70	16,79	26,26	22,09	20,58	24,44
01-10-1994	41,94	38,43	22,29	22,45	7,81	23,80	12,77	17,21
12-03-2002	4,81	22,87	1,96	43,49	15,49	35,13	16,67	32,59
11-10-2002	136,04	271,27	180,58	270,90	205,02	271,29	229,44	234,32
14-11-2003	49,31	4,95	32,81	111,77	75,79	112,84	70,39	118,08
30-10-2004	97,68	97,94	108,89	86,13	88,14	64,25	107,09	44,75
24-08-2005	119,10	155,89	115,46	148,62	85,38	85,63	89,19	73,41
20-11-2005	42,27	119,46	39,30	64,10	42,72	5,07	18,34	14,36
01-08-2006	75,30	151,28	73,89	160,19	74,53	105,09	73,73	200,04
08-09-2006	64,80	185,70	60,49	30,85	54,00	103,46	33,43	48,20
24-10-2006	18,05	185,01	65,69	173,37	63,71	145,80	54,37	114,94
06-04-2008	0,00	13,40	0,04	7,22	10,25	11,35	16,04	15,73
26-08-2008	75,82	86,63	74,99	72,60	69,34	82,36	73,59	69,36
14-08-2009	49,31	225,10	67,24	196,44	49,10	118,17	58,94	54,08
09-11-2009	26,07	102,73	25,41	61,60	35,25	56,51	42,17	54,91
24-08-2010	153,59	215,60	58,98	159,75	171,16	214,97	183,91	144,23
08-03-2011	2,45	4,37	2,14	5,37	2,22	6,32	2,45	5,76
26-02-2012	0,01	50,27	12,07	39,23	58,94	33,00	70,01	32,77
19-12-2012	28,82	26,60	28,28	49,19	31,90	50,38	0,76	13,28
01-09-2013	9,40	142,38	5,10	75,97	38,85	76,20	24,96	93,53



**Tabla N° 26:** Error Estándar de Estimación (EEE) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	EEE (48 h)		EEE (72 h)		EEE (168 h)		EEE (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	19,76	8,45	10,98	7,36	10,83	8,10	11,19	9,98
07-09-1989	5,95	7,75	5,08	6,27	7,66	7,64	7,64	5,81
01-09-1990	24,97	7,12	24,68	5,38	18,11	8,31	12,16	10,79
14-04-1991	2,49	5,72	3,67	5,47	4,01	4,70	4,71	5,31
15-09-1993	10,11	4,13	10,27	6,72	11,74	12,41	12,72	13,90
30-11-1993	19,10	19,47	11,84	13,86	20,45	18,41	18,60	21,40
01-10-1994	38,72	9,52	34,69	10,58	24,61	23,44	25,22	20,62
12-03-2002	22,90	22,09	25,69	26,17	24,46	26,37	24,36	26,20
11-10-2002	209,63	209,70	204,89	209,78	189,53	205,00	203,39	209,37
14-11-2003	60,69	32,22	58,81	52,03	60,65	61,34	61,62	64,39
30-10-2004	69,13	67,34	73,24	67,50	71,27	63,88	72,05	56,10
24-08-2005	60,50	62,76	67,32	68,22	61,01	57,81	63,48	55,98
20-11-2005	51,38	62,82	54,47	55,51	54,34	31,28	48,81	34,88
01-08-2006	63,93	91,65	63,93	97,83	63,34	91,28	59,24	124,23
08-09-2006	60,35	54,93	60,12	33,16	59,00	56,23	52,59	40,17
24-10-2006	39,92	37,37	47,34	71,03	49,65	48,02	47,58	47,64
06-04-2008	9,82	12,02	8,66	11,26	9,09	11,78	9,16	12,55
26-08-2008	62,96	33,86	62,99	35,30	56,15	43,50	62,75	42,51
14-08-2009	52,34	65,71	54,34	72,77	51,82	70,01	54,11	49,27
09-11-2009	24,29	27,12	30,95	26,78	26,92	31,70	30,42	33,73
24-08-2010	95,01	89,63	112,42	86,98	112,45	125,75	112,38	97,79
08-03-2011	5,28	5,50	5,15	5,64	4,83	5,99	4,75	5,75
26-02-2012	34,66	45,60	39,20	46,48	43,55	46,17	44,53	45,82
19-12-2012	21,58	27,79	21,89	31,58	23,88	34,23	10,77	21,74
01-09-2013	48,68	55,33	44,68	49,94	49,65	54,55	44,63	62,44

### **5.2.3. U de Mann-Whitney**

Las tablas N° 27 a la N° 30, muestran los valores-P para la prueba U de Mann-Whitney, obtenidos entre el caudal observado y el caudal estimado, a través de los respectivos modelos matemáticos utilizados para la cuenca del río Maipo. Las tablas N° 31 a la N° 34, muestran los valores para la cuenca del río Biobío. Como se mencionó en la metodología, este estadístico compara las medianas de dos vectores de datos e infiere si provienen de una misma distribución.

Los valores-P que se presentan a continuación fueron calculados a un nivel de significancia del 5% (95% de confianza).

El valor que se muestra al final de cada tabla, corresponde a la suma de las pruebas U Mann-Whitney que aceptaron la hipótesis nula a un 5% de significancia. Para ello, su valor-P debe ser mayor o igual a 0,05.

**Tabla N° 27:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	Valor-P (48 h)		Valor-P (72 h)		Valor-P (168 h)		Valor-P (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0528</b>	0,0000
10-03-1996	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0291
01-02-1997	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0008	0,0000	<b>0,0947</b>	0,0000
01-01-1998	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0005	0,0000	0,0005	<b>0,8274</b>
27-02-1998	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
17-01-2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,2747</b>	0,0000	0,0000
14-02-2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,3173</b>	0,0096	0,0000
05-01-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19-03-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	<b>0,4506</b>
18-02-2003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
05-03-2004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
28-09-2004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,6440</b>	0,0000
01-01-2005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0000	0,0000
14-02-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,2993</b>	0,0000
28-12-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,1176</b>
14-11-2008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,4787</b>
01-01-2009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0000	0,0000	<b>0,7016</b>
01-09-2009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000
13-11-2009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
23-03-2010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0012	0,0000	<b>0,7911</b>
29-03-2011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,8062</b>	0,0014
30-10-2011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
26-03-2012	0,0395	<b>0,0619</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0085	0,0000	<b>0,1115</b>
11-04-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0013	0,0000	0,0001
30-12-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,3873</b>	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Pruebas aceptadas</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>7</b>

**Tabla N° 28:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	Valor-P (48 h)		Valor-P (72 h)		Valor-P (168 h)		Valor-P (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0362	0,0000
10-03-1996	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0034
01-02-1997	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	<b>0,2732</b>	0,0000
01-01-1998	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0174	0,0000	0,0006	<b>0,9674</b>
27-02-1998	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
17-01-2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0261	0,0000	0,0000
14-02-2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,1548</b>	0,0001	0,0000
05-01-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19-03-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0003	<b>0,4961</b>
18-02-2003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
05-03-2004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
28-09-2004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,5082</b>	0,0000
01-01-2005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0066	0,0000	0,0000
14-02-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,3991</b>	0,0000
28-12-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0018	0,0000	0,0000	<b>0,4459</b>
14-11-2008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,4248</b>
01-01-2009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,1555</b>	0,0000	0,0000	<b>0,7736</b>
01-09-2009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,0000
13-11-2009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000
23-03-2010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,6177</b>	0,0000	0,0000	<b>0,2726</b>
29-03-2011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,6219</b>	0,0010
30-10-2011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
26-03-2012	<b>0,6305</b>	0,0001	0,0002	0,0000	0,0000	0,0070	0,0000	<b>0,5474</b>
11-04-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0027	0,0000	0,0000
30-12-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,2866</b>	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Pruebas aceptadas</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>7</b>

**Tabla N° 29:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	Valor-P (48 h)		Valor-P (72 h)		Valor-P (168 h)		Valor-P (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	0,0000	0,0000	<b>0,1300</b>	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,4750</b>	0,0000
10-03-1996	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0220	<b>0,7020</b>
01-02-1997	0,0000	0,0000	0,0036	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	0,0000
01-01-1998	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,4143</b>	<b>0,2895</b>
27-02-1998	0,0000	0,0000	0,0000	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
17-01-2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-02-2000	0,0000	0,0000	<b>0,1577</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
05-01-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19-03-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0028
18-02-2003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0240	0,0000	0,0016
05-03-2004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,7971</b>	0,0001	0,0000	0,0000
28-09-2004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,5574</b>	0,0000
01-01-2005	0,0000	0,0039	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-02-2006	0,0303	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,1239</b>	0,0000	0,0022	0,0000
28-12-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-11-2008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007
01-01-2009	<b>0,6767</b>	0,0024	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-09-2009	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
13-11-2009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000
23-03-2010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
29-03-2011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0107
30-10-2011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,5204</b>
26-03-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0051	0,0000	0,0457
11-04-2012	0,0000	0,0180	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,5724</b>	<b>0,5263</b>
30-12-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,9170</b>	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Pruebas aceptadas</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

**Tabla N° 30:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	Valor-P (48 h)		Valor-P (72 h)		Valor-P (168 h)		Valor-P (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,4559</b>	0,0000
10-03-1996	0,0000	0,0000	0,0241	0,0000	0,0000	<b>0,5386</b>	0,0077	<b>0,1765</b>
01-02-1997	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0643</b>	0,0000	0,0000	0,0000
01-01-1998	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0057	<b>0,0613</b>
27-02-1998	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
17-01-2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-02-2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0132	<b>0,3523</b>	0,0000	0,0000	0,0000
05-01-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19-03-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0729</b>
18-02-2003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
05-03-2004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006	0,0000
28-09-2004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,8774</b>	0,0000
01-01-2005	0,0000	0,0000	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-02-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0027	0,0019	0,0257	0,0000
28-12-2006	0,0000	<b>0,2040</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-11-2008	0,0000	0,0000	<b>0,2216</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,2395</b>
01-01-2009	0,0000	0,0000	<b>0,6155</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,3038</b>
01-09-2009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,4378</b>	0,0000	0,0000	0,0000
13-11-2009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000
23-03-2010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
29-03-2011	<b>0,6642</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,1428</b>	0,0224
30-10-2011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004
26-03-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,0000	0,0263	0,0000	0,0000
11-04-2012	0,0000	<b>0,4101</b>	0,0000	0,0365	0,0000	0,0000	<b>0,3222</b>	<b>0,0652</b>
30-12-2012	0,0113	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,9126</b>	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Pruebas aceptadas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>6</b>

**Tabla N° 31:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	Valor-P (48 h)		Valor-P (72 h)		Valor-P (168 h)		Valor-P (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
07-09-1989	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-09-1990	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-04-1991	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15-09-1993	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
30-11-1993	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-10-1994	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12-03-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
11-10-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-11-2003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
30-10-2004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24-08-2005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0199
20-11-2005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-08-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
08-09-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,0014
24-10-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,0000
06-04-2008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
26-08-2008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-08-2009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
09-11-2009	0,0000	0,0281	0,0000	0,0000	<b>0,4798</b>	0,0000	0,0000	0,0000
24-08-2010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
08-03-2011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,2378</b>	0,0000
26-02-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19-12-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-09-2013	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,3222</b>	0,0000	<b>0,2874</b>
<b>Pruebas aceptadas</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

**Tabla N° 32:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	Valor-P (48 h)		Valor-P (72 h)		Valor-P (168 h)		Valor-P (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
07-09-1989	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-09-1990	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-04-1991	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15-09-1993	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
30-11-1993	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-10-1994	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12-03-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0000
11-10-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-11-2003	0,0000	0,0247	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
30-10-2004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0033
24-08-2005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
20-11-2005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,1928</b>	0,0000
01-08-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
08-09-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,1196</b>
24-10-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
06-04-2008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
26-08-2008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-08-2009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0502</b>
09-11-2009	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,8728</b>	0,0043	0,0000	0,0000	0,0000
24-08-2010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
08-03-2011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,3459</b>	0,0000
26-02-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19-12-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-09-2013	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0013	0,0000	0,0000
<b>Pruebas aceptadas</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>



**Tabla N° 33:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	Valor-P (48 h)		Valor-P (72 h)		Valor-P (168 h)		Valor-P (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
07-09-1989	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-09-1990	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-04-1991	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15-09-1993	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
30-11-1993	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-10-1994	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12-03-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
11-10-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-11-2003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0005	0,0000
30-10-2004	0,0000	0,0259	0,0000	0,0000	<b>0,1977</b>	0,0000	0,0000	0,0000
24-08-2005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,7156</b>	<b>0,1442</b>	0,0000
20-11-2005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-08-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
08-09-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24-10-2006	0,0000	0,0000	0,0007	0,0000	0,0204	0,0000	0,0006	0,0000
06-04-2008	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,4673</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
26-08-2008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-08-2009	0,0293	0,0000	0,0000	0,0000	0,0164	0,0000	0,0000	0,0000
09-11-2009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24-08-2010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
08-03-2011	0,0000	<b>0,8365</b>	0,0057	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
26-02-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19-12-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-09-2013	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0269
<b>Pruebas aceptadas</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

**Tabla N° 34:** Valores-P (U de Mann-Whitney) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	Valor-P (48 h)		Valor-P (72 h)		Valor-P (168 h)		Valor-P (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
07-09-1989	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-09-1990	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-04-1991	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15-09-1993	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0006
30-11-1993	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-10-1994	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12-03-2002	0,0000	0,0000	<b>0,2424</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
11-10-2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14-11-2003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0121	<b>0,9674</b>	0,0000
30-10-2004	0,0000	0,0000	<b>0,6756</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24-08-2005	0,0000	0,0000	<b>0,8872</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
20-11-2005	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-08-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
08-09-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24-10-2006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,1011</b>	0,0042	0,0000	0,0008
06-04-2008	0,0274	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
26-08-2008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0000	0,0000
14-08-2009	<b>0,5933</b>	0,0000	0,0000	<b>0,7400</b>	<b>0,3437</b>	<b>0,0219</b>	0,0000	0,0000
09-11-2009	0,0000	0,0000	0,0192	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24-08-2010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
08-03-2011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000
26-02-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19-12-2012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01-09-2013	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Pruebas aceptadas</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

#### 5.2.4 Prueba de concordancia de Bland & Altman

Pita y Pértegas (1998), citado por Núñez (2005), señalan que si dos instrumentos miden sistemáticamente cantidades distintas uno del otro, la correlación podría ser perfecta a pesar de tener nula concordancia, haciendo al Coeficiente de Correlación  $R^2$  poco confiable. Por tal motivo se aplicó esta prueba que permite diferenciar en cuánto discrepa de los datos reales un modelo matemático.

Las tablas N° 35 a la N° 38 muestran las Diferencias Promedio (DP) y las tablas N°39 a la N° 42 muestran las Desviaciones Estándares (DS), ambas obtenidas entre el caudal observado y el caudal estimado, a través de de los respectivos modelos matemáticos utilizados para la cuenca del río Maipo. Las tablas N° 43 a la N° 46, muestran los valores (DP) y las tablas N° 47 a la N° 50 los valores (DS), en este caso, para la cuenca del río Biobío.

**Tabla N° 35:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	DP (48 h)		DP (72 h)		DP (168 h)		DP (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	7,68	7,40	6,07	8,04	3,04	2,60	0,09	-1,13
10-03-1996	4,09	1,64	3,28	2,32	1,78	1,34	0,60	0,29
01-02-1997	4,96	3,41	3,55	7,14	0,27	0,83	-0,07	1,10
01-01-1998	24,35	8,63	20,15	15,92	-4,51	10,68	-4,51	-0,47
27-02-1998	16,90	15,88	15,60	14,56	3,03	6,80	6,62	6,14
17-01-2000	22,72	18,74	20,10	18,70	9,66	-0,09	2,95	-3,74
14-02-2000	7,46	10,61	7,19	4,58	2,19	-0,18	0,08	3,63
05-01-2002	26,98	31,50	22,93	25,32	7,76	-4,06	-4,40	2,88
19-03-2002	10,21	13,60	8,07	6,90	1,45	-1,37	-2,40	-0,02
18-02-2003	13,61	13,71	10,94	16,18	9,10	8,42	8,55	7,20
05-03-2004	9,05	7,60	11,53	6,05	4,01	3,24	1,57	0,86
28-09-2004	6,29	7,13	5,92	6,21	2,61	2,03	-0,44	-1,06
01-01-2005	13,43	15,30	5,01	13,00	-10,10	-1,95	-7,43	-3,17
14-02-2006	16,47	15,63	14,15	11,27	1,85	2,26	-0,96	2,12
28-12-2006	19,98	16,52	17,12	15,86	-5,43	7,31	-8,55	-1,49
14-11-2008	13,61	32,21	7,72	20,15	7,48	7,74	-3,92	0,45
01-01-2009	11,83	17,37	5,30	14,21	-4,06	3,64	-8,30	-1,44
01-09-2009	7,97	7,64	5,58	6,35	0,85	1,96	-0,77	1,28
13-11-2009	5,59	5,01	4,95	4,54	0,76	-2,12	-7,79	-7,63
23-03-2010	13,03	11,04	10,70	7,76	-1,65	0,56	-2,66	-0,11
29-03-2011	3,29	4,33	4,16	4,01	1,69	2,49	-0,45	0,23
30-10-2011	10,04	9,51	7,96	8,25	1,16	2,72	-1,59	-0,30
26-03-2012	-2,17	0,21	-3,76	2,76	-4,77	-1,45	-5,77	0,10
11-04-2012	3,54	1,05	1,41	0,82	-0,80	0,32	-0,79	-0,33
30-12-2012	6,97	10,33	5,24	7,69	-2,60	-5,81	-7,57	-9,13

**Tabla N° 36:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	DP (48 h)		DP (72 h)		DP (168 h)		DP (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	9,45	8,68	7,49	9,25	3,58	2,88	0,25	-1,10
10-03-1996	5,58	2,28	4,51	3,01	2,39	1,68	0,87	0,44
01-02-1997	6,10	3,91	4,48	7,80	0,51	0,89	-0,09	1,11
01-01-1998	29,66	11,89	24,43	19,46	-3,75	11,63	-4,65	-0,54
27-02-1998	20,29	19,29	18,90	17,79	5,28	8,90	8,47	7,69
17-01-2000	26,44	23,03	23,37	22,26	10,74	0,75	2,76	-3,61
14-02-2000	9,55	12,54	9,08	5,83	3,10	0,19	0,57	4,14
05-01-2002	31,70	36,39	26,64	29,03	8,67	-3,85	-4,30	3,04
19-03-2002	12,84	15,93	10,17	8,33	2,00	-1,17	-2,39	0,01
18-02-2003	15,60	15,79	13,39	17,49	11,31	10,18	10,51	8,66
05-03-2004	11,64	9,45	13,81	7,54	5,35	4,00	2,37	1,23
28-09-2004	7,70	8,25	7,12	7,13	3,08	2,26	-0,33	-1,03
01-01-2005	17,67	18,75	7,94	15,69	-9,59	-1,54	-7,39	-3,11
14-02-2006	20,82	18,35	17,71	13,08	2,89	2,62	-0,74	2,25
28-12-2006	25,27	22,05	21,94	20,76	-3,61	9,86	-7,60	-0,33
14-11-2008	16,38	36,83	9,37	22,65	8,13	8,19	-3,89	0,48
01-01-2009	15,57	20,40	8,49	17,02	-3,07	4,66	-8,17	-1,39
01-09-2009	9,48	8,73	6,66	7,14	1,10	2,10	-0,70	1,33
13-11-2009	5,11	4,91	4,19	4,17	-0,98	-3,14	-9,16	-8,80
23-03-2010	15,87	13,26	13,31	9,39	-0,85	0,97	-2,16	0,15
29-03-2011	4,48	5,28	5,28	4,81	2,13	2,81	-0,31	0,32
30-10-2011	11,61	10,82	9,20	9,22	1,35	2,85	-1,62	-0,31
26-03-2012	-0,90	1,38	-2,96	3,82	-4,91	-1,57	-6,37	-0,75
11-04-2012	4,14	1,19	1,67	0,92	-0,81	0,32	-0,88	-0,36
30-12-2012	10,20	13,62	7,54	10,01	-2,74	-5,79	-8,46	-9,65

**Tabla N° 37:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	DP (48 h)		DP (72 h)		DP (168 h)		DP (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	-1,23	1,33	0,14	5,98	1,70	1,14	0,24	-1,44
10-03-1996	-4,12	-1,69	-1,84	1,54	0,48	0,98	0,30	0,09
01-02-1997	-0,05	3,08	0,07	8,64	0,06	0,57	1,01	1,22
01-01-1998	9,60	4,01	10,72	22,36	-5,17	11,30	0,69	0,47
27-02-1998	-6,15	-5,41	1,90	1,18	-7,69	-1,19	2,47	2,01
17-01-2000	10,15	4,81	13,05	13,80	9,97	-3,09	7,69	-2,37
14-02-2000	-4,76	10,17	0,58	-3,57	-1,08	-3,39	-1,40	2,44
05-01-2002	23,89	43,66	17,69	27,07	5,42	-6,63	-3,15	3,22
19-03-2002	6,33	15,71	4,56	1,11	0,90	-2,57	-0,94	0,71
18-02-2003	2,00	-0,78	-4,89	17,56	1,91	0,20	3,99	1,04
05-03-2004	-6,82	-4,44	8,93	-2,59	-0,17	-0,34	-0,67	-1,22
28-09-2004	-1,42	9,71	2,34	7,14	1,95	1,40	0,26	-1,09
01-01-2005	26,97	-1,02	10,31	3,37	-11,15	-4,23	-6,85	-1,94
14-02-2006	0,37	1,74	4,96	1,17	-0,45	-0,26	0,60	2,27
28-12-2006	23,45	12,59	16,48	14,59	-12,28	4,84	-10,68	-3,15
14-11-2008	-6,03	25,07	-4,74	6,35	6,30	4,93	-1,89	1,46
01-01-2009	-0,13	-0,02	-7,18	3,02	-5,59	2,25	-5,63	1,89
01-09-2009	0,60	7,27	-0,03	4,77	-0,47	1,10	-0,55	1,22
13-11-2009	2,68	3,40	1,63	2,46	-2,95	-3,53	-8,93	-7,60
23-03-2010	6,71	1,75	3,77	-0,79	-6,87	-3,00	-5,12	-1,89
29-03-2011	-3,75	5,60	1,66	4,44	0,93	2,31	-0,39	0,12
30-10-2011	7,03	8,92	4,97	7,01	1,24	2,52	0,30	0,62
26-03-2012	-4,56	7,85	-5,33	7,14	-4,09	-1,75	-4,37	-1,43
11-04-2012	5,31	0,18	0,88	0,38	-0,43	0,45	-0,05	0,06
30-12-2012	2,71	4,80	3,23	4,23	-0,70	-4,10	-2,92	-4,19

**Tabla N° 38:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	DP (48 h)		DP (72 h)		DP (168 h)		DP (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	3,08	2,86	2,64	4,64	2,13	1,54	0,06	-1,35
10-03-1996	-0,81	-2,01	-0,41	-0,76	0,56	0,17	0,32	-0,11
01-02-1997	2,80	1,40	1,93	6,25	0,09	0,58	0,45	1,26
01-01-1998	14,34	-3,49	13,41	7,67	-5,40	10,14	-2,11	1,30
27-02-1998	8,04	6,11	8,66	6,78	-2,17	2,21	4,27	3,52
17-01-2000	17,57	9,44	16,75	12,80	9,98	-1,80	5,21	-3,16
14-02-2000	1,52	5,46	2,79	0,02	0,14	-2,00	-0,89	2,62
05-01-2002	15,17	19,49	14,46	16,30	5,89	-5,66	-4,17	3,10
19-03-2002	4,57	8,47	4,15	2,74	1,00	-2,14	-1,51	0,41
18-02-2003	6,45	5,86	3,20	12,87	4,36	3,33	5,17	3,23
05-03-2004	1,39	0,50	6,88	0,44	1,22	0,58	0,07	-0,60
28-09-2004	3,49	4,44	4,12	4,21	2,25	1,43	-0,22	-1,13
01-01-2005	3,85	5,88	-2,32	6,34	-11,37	-3,31	-6,16	-2,68
14-02-2006	6,02	6,11	6,85	4,52	0,24	0,63	-0,08	2,13
28-12-2006	8,02	1,89	8,09	5,30	-9,99	3,31	-10,14	-3,07
14-11-2008	2,33	19,59	0,27	11,21	6,41	5,95	-3,10	0,75
01-01-2009	4,98	12,86	-0,60	10,69	-5,02	3,11	-7,19	-0,23
01-09-2009	3,94	4,01	2,53	3,71	0,03	1,31	-0,84	1,20
13-11-2009	5,84	5,08	5,32	4,66	1,92	-0,96	-5,34	-5,50
23-03-2010	5,58	3,74	4,57	2,04	-4,62	-1,61	-4,21	-1,29
29-03-2011	-0,34	1,11	1,71	1,63	1,04	1,78	-0,44	0,11
30-10-2011	7,20	6,45	5,92	6,18	1,04	2,54	-0,98	0,02
26-03-2012	-5,75	-3,43	-5,75	0,82	-3,54	-0,55	-3,36	2,22
11-04-2012	1,88	-0,03	0,51	0,17	-0,48	0,55	0,00	0,15
30-12-2012	0,64	3,64	1,87	3,73	-0,67	-4,81	-3,71	-6,18

**Tabla N° 39:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	DS (48 h)		DS (72 h)		DS (168 h)		DS (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	5,01	3,38	4,84	3,42	4,28	2,80	3,55	2,40
10-03-1996	2,98	1,40	2,83	1,53	2,50	1,34	2,20	1,17
01-02-1997	4,18	3,01	4,20	3,05	3,83	2,60	3,76	2,65
01-01-1998	15,32	11,53	15,31	12,35	11,46	11,81	11,46	9,95
27-02-1998	7,60	6,70	7,83	6,85	7,72	6,76	8,12	6,69
17-01-2000	12,25	10,01	12,77	10,02	13,34	9,24	12,74	8,60
14-02-2000	3,98	2,52	3,97	2,48	3,33	1,88	2,88	2,37
05-01-2002	17,00	14,64	16,62	14,60	13,46	8,90	9,77	10,67
19-03-2002	6,51	4,12	6,36	3,82	5,20	2,16	4,14	2,45
18-02-2003	5,23	4,03	5,65	3,70	5,76	4,25	5,77	4,18
05-03-2004	5,59	3,59	5,54	3,40	5,03	2,90	4,50	2,35
28-09-2004	4,63	3,55	4,68	3,61	4,70	3,19	4,24	2,45
01-01-2005	11,05	8,24	10,06	8,10	7,16	6,40	7,64	6,29
14-02-2006	11,19	7,03	11,07	6,41	9,05	4,31	8,32	4,28
28-12-2006	9,92	8,44	9,85	8,44	7,33	8,10	6,93	7,29
14-11-2008	13,98	11,99	12,28	11,33	12,20	9,10	8,31	7,39
01-01-2009	9,49	7,89	9,61	8,46	8,44	8,49	7,58	7,73
01-09-2009	5,21	4,20	4,90	3,97	3,67	2,80	3,13	2,60
13-11-2009	7,44	7,22	6,84	6,79	5,33	5,72	6,33	6,31
23-03-2010	6,13	4,21	6,04	3,62	3,39	1,78	3,07	1,66
29-03-2011	3,07	2,21	3,16	2,17	2,80	1,92	2,27	1,35
30-10-2011	6,22	5,38	6,20	5,28	4,96	4,16	4,18	3,36
26-03-2012	4,74	3,42	4,39	3,61	4,15	3,22	3,90	3,40
11-04-2012	2,48	1,05	1,87	0,98	1,09	0,82	1,09	0,66
30-12-2012	8,98	6,88	8,84	6,94	7,70	5,63	6,68	5,08



**Tabla N° 40:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	DS (48 h)		DS (72 h)		DS (168 h)		DS (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	5,92	3,88	5,70	3,93	4,82	2,94	3,79	2,40
10-03-1996	3,84	1,72	3,62	1,91	3,06	1,57	2,59	1,27
01-02-1997	4,70	3,27	4,78	3,33	4,18	2,65	4,03	2,70
01-01-1998	18,03	13,35	18,17	14,52	12,51	13,30	12,24	10,51
27-02-1998	8,53	7,72	9,01	8,08	9,32	8,16	9,77	7,98
17-01-2000	13,83	11,53	14,83	11,67	15,58	10,13	14,32	9,13
14-02-2000	4,91	3,01	4,91	3,05	4,04	2,03	3,37	2,78
05-01-2002	19,59	16,82	19,09	16,79	14,53	9,07	10,00	11,06
19-03-2002	7,98	5,18	7,82	4,75	6,05	2,34	4,57	2,66
18-02-2003	5,66	4,31	6,41	3,86	6,72	4,83	6,77	4,73
05-03-2004	6,78	4,49	6,58	4,21	6,09	3,43	5,31	2,65
28-09-2004	5,23	3,99	5,36	4,10	5,36	3,42	4,61	2,49
01-01-2005	13,20	9,51	11,82	9,24	7,45	6,48	7,96	6,30
14-02-2006	13,66	8,60	13,53	7,63	10,45	4,69	9,28	4,57
28-12-2006	11,80	10,03	11,87	10,07	8,37	9,59	7,58	8,15
14-11-2008	15,96	14,01	13,61	12,86	13,15	9,59	8,51	7,52
01-01-2009	11,30	9,15	11,63	10,11	9,68	9,94	8,30	8,64
01-09-2009	6,05	4,83	5,64	4,50	3,94	2,92	3,26	2,66
13-11-2009	6,45	6,57	5,46	5,70	5,51	6,14	6,81	6,65
23-03-2010	7,32	5,27	7,36	4,53	4,01	1,97	3,52	1,76
29-03-2011	3,81	2,77	3,89	2,70	3,33	2,27	2,57	1,50
30-10-2011	7,08	6,09	7,06	5,92	5,25	4,31	4,27	3,38
26-03-2012	5,61	4,05	5,05	4,36	4,47	3,53	4,03	3,69
11-04-2012	2,96	1,17	2,13	1,07	1,14	0,85	1,11	0,67
30-12-2012	11,12	8,69	10,85	8,70	8,75	6,25	7,16	5,38

**Tabla N° 41:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	DS (48 h)		DS (72 h)		DS (168 h)		DS (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	2,55	2,44	2,38	2,81	2,41	2,44	2,37	2,65
10-03-1996	2,28	1,46	1,45	1,25	1,15	1,14	1,14	1,09
01-02-1997	2,24	2,93	2,25	3,72	2,25	2,32	2,35	2,43
01-01-1998	8,18	9,76	8,45	16,23	8,50	12,35	7,46	8,72
27-02-1998	4,65	4,61	3,57	3,62	5,05	3,84	3,59	3,59
17-01-2000	6,40	6,43	6,92	8,04	6,37	5,99	6,16	5,98
14-02-2000	3,25	2,63	1,86	2,80	2,14	2,77	2,21	1,77
05-01-2002	15,72	18,19	13,15	15,75	8,55	7,17	7,16	8,11
19-03-2002	4,29	5,11	3,52	1,85	2,13	2,70	1,79	1,91
18-02-2003	3,33	3,62	3,73	3,85	3,33	3,53	3,53	3,47
05-03-2004	2,94	2,35	4,31	1,98	1,63	1,62	1,61	1,73
28-09-2004	2,34	4,06	2,48	4,10	2,40	2,40	2,21	1,96
01-01-2005	16,94	7,03	13,35	6,51	6,50	7,56	6,93	7,18
14-02-2006	3,13	2,47	4,44	2,50	3,02	2,66	3,17	2,45
28-12-2006	11,11	7,73	9,34	8,08	8,74	6,68	8,27	6,73
14-11-2008	5,55	9,99	5,43	5,76	7,74	5,61	5,50	5,42
01-01-2009	4,59	5,13	5,48	4,47	5,07	4,62	5,08	4,69
01-09-2009	1,93	4,10	1,89	3,06	1,90	1,96	1,90	1,98
13-11-2009	3,96	3,93	3,64	3,52	6,61	6,32	6,74	6,40
23-03-2010	3,54	1,98	2,56	2,61	3,43	3,28	2,87	2,95
29-03-2011	1,50	2,91	1,47	2,49	1,17	1,61	0,74	0,77
30-10-2011	4,48	5,12	3,75	4,39	3,05	3,07	3,07	2,87
26-03-2012	3,23	7,16	2,98	7,06	3,42	3,86	3,31	3,99
11-04-2012	3,84	0,60	1,25	0,65	0,64	0,67	0,77	0,59
30-12-2012	6,08	4,58	6,31	4,45	4,78	3,90	4,19	3,91

**Tabla N° 42:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Maipo.

Crecida	DS (48 h)		DS (72 h)		DS (168 h)		DS (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
22-02-1995	2,98	2,46	2,92	2,53	2,86	2,43	2,61	2,45
10-03-1996	1,11	1,59	1,12	1,38	1,18	1,26	1,16	1,29
01-02-1997	3,17	2,40	3,10	2,66	2,90	2,34	2,94	2,38
01-01-1998	10,14	7,62	10,06	8,28	8,12	8,44	8,44	7,87
27-02-1998	5,26	4,35	5,30	4,39	4,30	4,05	4,97	4,15
17-01-2000	9,36	7,53	9,38	7,64	9,22	6,79	8,87	6,68
14-02-2000	1,96	1,79	2,07	1,80	1,86	1,95	1,81	1,75
05-01-2002	11,13	10,36	11,02	10,05	9,64	7,61	8,08	8,53
19-03-2002	3,27	2,22	3,21	1,82	2,72	1,79	2,33	1,74
18-02-2003	4,04	3,43	3,79	3,55	3,89	3,35	3,95	3,35
05-03-2004	2,49	1,57	3,25	1,56	2,47	1,57	2,28	1,54
28-09-2004	3,46	2,73	3,49	2,71	3,36	2,43	3,09	2,13
01-01-2005	7,08	6,37	6,67	6,38	6,56	6,40	6,52	6,38
14-02-2006	5,64	3,15	5,76	2,97	4,77	2,62	4,72	2,74
28-12-2006	6,70	6,58	6,71	6,58	6,82	6,57	6,83	6,67
14-11-2008	7,52	8,07	7,14	7,26	8,30	6,70	6,55	6,16
01-01-2009	6,10	5,82	5,71	5,82	5,33	5,41	5,16	5,10
01-09-2009	3,20	2,53	2,96	2,48	2,51	2,14	2,36	2,12
13-11-2009	7,71	7,27	7,27	6,97	6,27	6,21	6,50	6,39
23-03-2010	3,06	1,81	2,91	1,77	1,77	2,05	1,78	2,01
29-03-2011	1,16	0,81	1,50	0,88	1,39	0,90	1,14	0,70
30-10-2011	4,58	3,89	4,45	3,86	3,81	3,40	3,53	3,10
26-03-2012	2,74	2,42	2,74	2,49	2,93	2,45	2,95	2,52
11-04-2012	1,11	0,58	0,84	0,58	0,68	0,59	0,75	0,58
30-12-2012	4,87	4,19	4,97	4,19	4,75	3,89	4,49	3,85

**Tabla N° 43:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	DP (48 h)		DP (72 h)		DP (168 h)		DP (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
<b>05-09-1987</b>	-172,35	-162,66	-267,65	-177,41	-288,88	-186,67	-293,66	-184,47
<b>07-09-1989</b>	-267,36	-208,35	-299,73	-242,50	-291,32	-253,51	-303,65	-275,57
<b>01-09-1990</b>	-329,37	-443,25	-395,11	-496,89	-623,65	-489,08	-728,38	-473,76
<b>14-04-1991</b>	-108,21	-64,02	-102,30	-73,08	-107,88	-88,46	-106,34	-88,10
<b>15-09-1993</b>	-159,66	-125,67	-166,49	-121,18	-174,16	-116,12	-175,90	-116,83
<b>30-11-1993</b>	-337,48	-242,67	-454,20	-314,98	-394,97	-312,86	-435,87	-302,88
<b>01-10-1994</b>	-285,59	-279,21	-403,10	-284,33	-576,35	-240,10	-590,55	-268,85
<b>12-03-2002</b>	102,07	60,13	46,54	79,60	18,79	44,42	1,99	27,41
<b>11-10-2002</b>	750,10	725,94	694,95	679,79	596,26	625,29	466,43	369,80
<b>14-11-2003</b>	138,01	-39,51	73,62	70,91	115,19	79,83	52,22	176,25
<b>30-10-2004</b>	236,57	213,84	240,40	168,40	115,82	38,44	280,68	-63,58
<b>24-08-2005</b>	281,81	355,33	317,90	354,36	62,34	84,23	38,07	3,08
<b>20-11-2005</b>	274,81	206,64	185,78	124,96	94,42	-137,47	-65,84	-142,76
<b>01-08-2006</b>	414,37	334,77	347,56	308,88	250,59	134,84	302,97	337,17
<b>08-09-2006</b>	408,99	335,40	344,12	46,37	184,74	167,59	3,58	-38,26
<b>24-10-2006</b>	127,36	113,92	145,74	302,08	69,96	57,19	14,03	20,57
<b>06-04-2008</b>	27,48	40,16	43,01	29,34	30,80	22,53	25,99	30,83
<b>26-08-2008</b>	443,28	254,74	401,00	212,14	449,00	185,69	262,07	122,31
<b>14-08-2009</b>	424,33	361,01	402,75	348,58	198,76	185,65	193,77	-42,28
<b>09-11-2009</b>	84,76	18,82	204,43	-27,00	-8,85	-65,83	182,78	-82,06
<b>24-08-2010</b>	207,67	227,45	342,86	164,51	227,06	301,98	182,55	69,34
<b>08-03-2011</b>	58,73	28,16	40,68	21,84	8,96	10,88	-0,65	4,73
<b>26-02-2012</b>	185,83	186,71	167,27	168,72	121,26	129,87	96,06	112,39
<b>19-12-2012</b>	116,83	129,39	105,02	135,39	126,35	126,56	-39,32	37,31
<b>01-09-2013</b>	204,63	173,49	82,64	70,82	44,91	-5,33	-91,59	15,17

**Tabla N° 44:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	DP (48 h)		DP (72 h)		DP (168 h)		DP (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	-178,47	-163,35	-269,78	-178,15	-291,76	-187,92	-297,01	-186,58
07-09-1989	-264,94	-206,02	-299,06	-241,91	-293,17	-254,44	-306,40	-276,35
01-09-1990	-296,74	-439,48	-378,31	-495,82	-627,36	-489,92	-731,17	-476,85
14-04-1991	-108,46	-65,18	-103,20	-74,74	-109,49	-90,20	-109,00	-90,69
15-09-1993	-160,34	-125,73	-167,44	-121,40	-175,89	-117,18	-178,13	-118,28
30-11-1993	-337,35	-242,40	-455,57	-316,49	-411,73	-320,75	-450,30	-317,13
01-10-1994	-286,21	-279,14	-411,73	-284,77	-584,47	-246,57	-600,67	-274,42
12-03-2002	138,13	83,58	81,46	101,12	28,58	51,90	-3,64	28,10
11-10-2002	906,91	887,77	855,43	841,94	729,08	756,13	589,76	501,22
14-11-2003	205,62	6,83	142,26	128,07	163,10	124,04	92,61	203,79
30-10-2004	325,74	299,34	324,60	248,95	186,66	94,01	328,95	-27,30
24-08-2005	400,39	468,85	430,70	460,79	129,61	143,50	90,09	43,18
20-11-2005	328,58	272,59	256,38	189,98	157,47	-114,32	-19,45	-123,01
01-08-2006	525,80	416,91	444,73	379,72	302,45	164,10	327,75	360,19
08-09-2006	512,23	421,32	438,03	85,13	238,84	206,66	30,43	-24,70
24-10-2006	180,06	154,45	197,69	364,56	99,57	78,85	31,80	34,14
06-04-2008	38,29	49,09	50,86	37,52	36,34	27,58	29,22	33,98
26-08-2008	554,32	343,89	513,84	291,75	528,79	250,00	348,86	171,08
14-08-2009	545,01	466,88	516,13	447,42	275,30	247,00	255,34	-15,57
09-11-2009	142,27	54,54	270,98	-0,73	19,93	-50,19	213,96	-71,20
24-08-2010	303,41	310,96	422,08	238,33	299,04	365,55	242,47	111,98
08-03-2011	70,83	31,72	48,92	24,32	10,94	11,62	-0,32	4,88
26-02-2012	202,61	204,75	188,61	190,59	146,03	152,21	118,47	131,54
19-12-2012	144,82	155,36	131,83	159,77	147,00	146,58	-34,28	48,22
01-09-2013	298,14	253,51	158,31	131,18	98,00	31,65	-61,87	46,32

**Tabla N° 45:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	DP (48 h)		DP (72 h)		DP (168 h)		DP (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	-253,01	-156,31	-260,00	-155,40	-259,10	-155,55	-258,99	-155,92
07-09-1989	-218,21	-242,50	-298,90	-249,67	-295,27	-226,08	-303,70	-236,31
01-09-1990	-358,04	-508,26	-420,28	-522,81	-553,03	-467,25	-612,31	-441,76
14-04-1991	-103,09	-64,16	-103,07	-65,33	-103,19	-66,18	-103,17	-65,94
15-09-1993	-123,71	-122,94	-126,03	-123,47	-128,62	-123,52	-129,29	-123,49
30-11-1993	-334,43	-243,65	-389,55	-300,01	-349,52	-291,68	-358,78	-288,02
01-10-1994	-256,82	-276,17	-287,74	-295,22	-308,95	-293,55	-301,91	-301,84
12-03-2002	-73,44	-6,14	-96,92	79,70	23,38	42,81	39,17	32,34
11-10-2002	822,73	682,52	709,59	614,13	617,37	633,14	459,61	240,24
14-11-2003	-123,54	-341,27	-214,78	107,95	99,52	116,01	21,98	210,39
30-10-2004	79,07	19,68	214,11	-32,85	10,92	-125,66	318,07	-206,93
24-08-2005	298,99	598,12	431,91	528,30	-50,60	-11,84	-26,26	-76,82
20-11-2005	288,90	250,42	-99,43	-56,92	-71,96	-318,77	-253,58	-272,91
01-08-2006	258,22	195,91	192,60	222,00	208,27	65,99	312,66	348,54
08-09-2006	164,38	618,45	129,19	-154,12	79,40	173,51	-66,77	-75,25
24-10-2006	-166,24	495,57	10,31	535,55	2,96	131,72	-31,18	48,94
06-04-2008	60,29	20,72	58,21	-0,22	41,13	13,41	31,14	30,32
26-08-2008	257,60	168,34	222,19	82,16	485,77	141,78	182,98	62,68
14-08-2009	2,11	615,71	176,66	510,40	0,28	150,09	89,44	-144,04
09-11-2009	-137,79	65,67	311,48	-78,04	-75,92	-94,94	209,70	-100,26
24-08-2010	356,54	281,90	490,63	61,43	306,39	385,58	227,91	17,86
08-03-2011	4,32	1,35	1,67	4,34	2,38	7,14	4,26	5,50
26-02-2012	213,95	163,52	201,91	95,98	153,15	70,63	118,04	69,73
19-12-2012	49,09	32,34	45,85	116,42	137,45	122,02	-88,93	-12,85
01-09-2013	-319,26	228,01	-354,45	-86,41	-115,44	-85,50	-208,96	-16,98

**Tabla N° 46:** Diferencias Promedio (DP) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	DP (48 h)		DP (72 h)		DP (168 h)		DP (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	-111,50	-141,40	-221,57	-151,18	-223,33	-144,57	-219,24	-127,57
07-09-1989	-290,97	-231,79	-305,08	-248,20	-261,52	-233,02	-261,83	-253,16
01-09-1990	-427,91	-487,22	-435,54	-513,17	-577,67	-468,93	-678,84	-429,07
14-04-1991	-100,75	-51,89	-86,30	-54,86	-81,84	-63,56	-72,36	-56,70
15-09-1993	-138,15	-119,26	-137,00	-107,09	-126,65	-79,65	-119,60	-72,24
30-11-1993	-322,71	-234,50	-429,18	-292,74	-296,32	-246,25	-331,74	-211,99
01-10-1994	-253,21	-276,55	-329,38	-268,17	-470,59	-159,02	-463,21	-184,38
12-03-2002	48,24	-8,53	-1,83	35,09	23,74	37,70	25,48	35,49
11-10-2002	344,30	225,15	379,81	280,46	480,83	455,75	390,60	194,29
14-11-2003	-67,54	-246,68	-113,05	-103,59	53,46	-2,38	6,57	157,49
30-10-2004	-75,40	-99,04	-1,44	-97,71	-40,91	-126,59	236,90	-183,87
24-08-2005	-130,14	-30,39	-1,65	48,71	-122,22	-92,57	-80,72	-113,91
20-11-2005	114,92	-23,00	-7,15	-87,20	-27,54	-253,29	-176,48	-231,25
01-08-2006	125,41	54,23	126,87	94,00	181,97	51,97	306,01	323,75
08-09-2006	136,30	59,09	127,33	-145,96	90,67	73,32	-46,97	-85,26
24-10-2006	-97,45	-86,30	-40,48	130,58	-20,86	-27,13	-38,51	-29,35
06-04-2008	-1,75	16,75	30,88	8,73	26,50	13,93	25,63	28,65
26-08-2008	63,56	-125,56	82,32	-110,43	343,27	-18,67	133,23	-30,37
14-08-2009	24,19	-28,59	82,69	29,59	11,16	6,49	75,24	-155,28
09-11-2009	-147,26	-174,48	24,58	-176,64	-100,28	-144,31	151,40	-130,55
24-08-2010	-136,77	-86,79	140,13	-100,14	97,11	189,21	92,53	-43,28
08-03-2011	21,46	4,06	14,53	4,87	4,00	6,95	1,82	5,50
26-02-2012	149,02	138,18	125,85	117,92	88,18	93,57	70,85	86,14
19-12-2012	16,36	35,90	20,29	63,19	91,78	88,50	-70,27	0,71
01-09-2013	-105,47	-125,51	-173,98	-166,95	-84,94	-131,66	-174,70	-65,64

**Tabla N° 47:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo potencial  $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	DS (48 h)		DS (72 h)		DS (168 h)		DS (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	56,90	69,40	89,51	75,04	98,97	78,73	101,17	77,84
07-09-1989	97,42	90,49	111,87	103,56	108,01	108,04	113,70	117,40
01-09-1990	76,71	174,67	90,43	196,57	168,12	193,27	215,38	186,91
14-04-1991	48,01	28,63	45,32	30,19	47,86	33,30	47,15	33,22
15-09-1993	66,91	70,53	68,81	69,13	71,13	67,62	71,68	67,83
30-11-1993	90,58	81,61	128,26	100,37	107,05	99,74	121,27	96,80
01-10-1994	106,90	115,97	93,21	117,60	119,00	104,38	123,58	112,73
12-03-2002	76,27	43,17	82,27	43,88	83,17	42,46	83,10	41,66
11-10-2002	302,44	245,62	331,10	261,49	376,63	278,32	425,20	329,38
14-11-2003	109,94	101,61	115,11	102,55	112,09	102,39	116,15	98,22
30-10-2004	150,65	139,72	150,66	139,03	148,13	134,46	150,60	130,37
24-08-2005	157,24	136,78	157,21	136,81	142,77	121,75	140,06	111,73
20-11-2005	154,28	134,21	145,34	128,37	139,31	129,93	128,78	130,48
01-08-2006	248,79	195,55	249,77	193,74	245,18	170,96	248,49	195,69
08-09-2006	197,87	149,58	198,02	98,86	183,60	125,99	146,81	78,61
24-10-2006	127,81	111,59	130,39	126,34	118,80	103,59	109,38	98,52
06-04-2008	24,35	21,23	21,91	22,26	23,96	22,53	24,50	22,16
26-08-2008	166,40	99,71	172,44	96,67	165,48	94,34	182,50	87,70
14-08-2009	190,55	154,68	188,24	153,24	160,13	133,68	159,34	122,49
09-11-2009	109,54	99,28	120,46	99,00	100,84	100,26	118,79	101,29
24-08-2010	223,32	194,10	202,11	195,81	221,70	185,95	224,80	190,96
08-03-2011	38,59	18,16	34,61	15,99	24,83	12,12	21,31	10,02
26-02-2012	66,08	54,73	73,01	59,83	84,40	67,13	87,48	68,69
19-12-2012	65,18	58,26	64,49	58,33	65,50	58,20	45,89	50,24
01-09-2013	148,02	129,96	140,82	128,68	138,12	127,93	129,59	128,02



**Tabla N° 48:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 1  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	DS (48 h)		DS (72 h)		DS (168 h)		DS (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	58,26	69,49	90,25	75,24	100,21	79,18	102,67	78,64
07-09-1989	95,48	88,68	111,08	102,86	108,30	108,10	114,58	117,61
01-09-1990	74,17	171,76	84,35	195,55	167,66	192,98	216,07	187,36
14-04-1991	48,07	28,66	45,63	30,38	48,56	33,64	48,32	33,75
15-09-1993	67,10	70,54	69,09	69,19	71,67	67,92	72,39	68,25
30-11-1993	90,79	80,90	128,48	100,39	112,20	101,72	126,40	100,59
01-10-1994	117,02	115,79	96,29	117,61	121,40	105,92	126,84	114,28
12-03-2002	92,17	50,35	102,85	51,30	104,65	47,59	102,69	45,10
11-10-2002	318,71	265,43	364,40	294,80	460,25	340,49	537,29	414,69
14-11-2003	124,96	112,88	136,14	116,52	133,17	116,64	140,34	110,31
30-10-2004	171,24	155,06	171,30	155,74	172,73	148,70	171,09	137,69
24-08-2005	207,72	178,70	206,34	179,36	185,96	158,00	179,11	138,90
20-11-2005	172,08	140,97	160,35	133,93	155,37	126,41	141,74	127,02
01-08-2006	299,28	237,23	304,23	233,89	295,73	195,28	298,58	231,66
08-09-2006	242,31	192,67	247,14	123,66	228,69	157,43	176,33	90,18
24-10-2006	154,92	130,36	158,07	151,36	138,06	115,17	122,17	106,18
06-04-2008	27,30	22,33	23,55	24,44	27,68	24,98	28,66	24,75
26-08-2008	199,63	131,62	211,35	127,39	207,27	122,49	236,70	110,35
14-08-2009	229,97	183,65	227,42	181,22	192,47	150,00	188,57	118,81
09-11-2009	129,85	104,61	144,00	100,78	110,72	99,78	139,09	100,30
24-08-2010	255,43	221,65	217,52	226,98	256,20	210,86	262,99	218,76
08-03-2011	46,61	20,93	41,09	18,06	27,60	13,05	22,92	10,51
26-02-2012	68,98	56,24	77,62	63,20	95,92	76,09	101,70	79,18
19-12-2012	73,61	64,51	73,30	64,41	73,61	64,52	46,29	53,31
01-09-2013	175,51	146,54	167,83	142,33	161,38	136,16	141,38	137,06

**Tabla N° 49:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 2  $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	DS (48 h)		DS (72 h)		DS (168 h)		DS (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	78,31	70,11	88,42	75,07	91,91	74,49	92,23	72,73
07-09-1989	68,38	126,89	110,80	131,27	108,30	116,78	114,16	123,09
01-09-1990	93,67	230,09	126,04	237,67	210,58	207,28	252,37	192,50
14-04-1991	48,57	28,75	45,61	30,49	46,75	32,36	46,47	31,76
15-09-1993	68,96	70,34	66,53	69,63	64,11	69,55	63,57	69,61
30-11-1993	92,55	78,96	161,82	105,11	102,40	98,77	110,75	96,26
01-10-1994	80,18	108,89	98,78	117,11	138,35	116,25	121,98	120,82
12-03-2002	73,88	44,48	83,96	43,94	44,00	40,12	42,38	40,06
11-10-2002	331,16	279,47	351,73	278,46	357,24	279,10	351,62	234,36
14-11-2003	102,04	150,50	119,23	112,88	103,18	113,76	97,14	118,62
30-10-2004	131,87	128,67	148,06	130,74	127,81	141,47	161,75	157,22
24-08-2005	179,83	193,43	206,69	194,30	97,99	87,90	100,53	86,30
20-11-2005	152,97	136,68	142,64	138,73	138,42	201,03	176,09	189,44
01-08-2006	196,31	152,80	174,19	160,81	179,44	119,31	214,50	200,54
08-09-2006	101,17	238,50	89,14	74,03	73,75	128,61	59,29	58,08
24-10-2006	106,82	190,18	89,98	174,22	89,15	146,23	87,08	116,06
06-04-2008	26,86	20,10	27,78	19,48	34,32	19,66	36,24	20,83
26-08-2008	135,31	87,80	126,92	73,65	176,30	82,59	117,46	71,91
14-08-2009	141,08	227,19	133,29	201,47	141,38	125,86	132,06	169,70
09-11-2009	114,74	106,49	157,35	103,36	101,66	105,99	134,68	106,94
24-08-2010	255,61	218,61	209,94	175,39	258,99	215,74	253,44	164,36
08-03-2011	6,89	6,26	6,42	6,28	6,52	6,67	6,87	6,40
26-02-2012	78,87	55,39	84,44	49,20	100,20	46,86	101,33	46,79
19-12-2012	51,00	47,67	50,52	54,93	68,77	55,78	59,55	51,55
01-09-2013	200,32	143,01	211,26	134,71	143,68	134,58	167,16	128,19

**Tabla N° 50:** Desviación Estándar (DS) para las crecidas seleccionadas en los distintos lapsos establecidos bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M): Modelo exponencial 3  $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ , cuenca del río Biobío.

Crecida	DS (48 h)		DS (72 h)		DS (168 h)		DS (240 h)	
	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
05-09-1987	60,18	73,38	87,09	75,52	87,58	74,07	86,45	70,43
07-09-1989	123,34	113,46	127,63	117,50	114,65	113,76	114,74	118,74
01-09-1990	153,67	210,66	155,46	217,39	192,12	206,03	221,62	196,22
14-04-1991	49,19	31,10	45,05	31,42	43,82	32,39	41,27	31,62
15-09-1993	66,23	70,58	66,00	68,09	63,97	62,97	62,66	61,72
30-11-1993	107,74	97,65	134,68	108,38	101,84	99,69	109,83	93,90
01-10-1994	80,22	124,61	86,55	122,88	109,61	102,56	108,09	106,92
12-03-2002	49,79	45,11	49,18	42,24	49,67	42,13	49,69	42,22
11-10-2002	283,48	210,78	279,48	210,65	265,57	205,90	278,18	210,60
14-11-2003	96,54	120,42	98,19	103,66	94,28	98,11	94,93	96,01
30-10-2004	131,34	139,46	128,80	139,36	129,91	141,72	130,20	147,47
24-08-2005	101,80	88,09	90,76	83,43	100,89	93,77	96,60	96,16
20-11-2005	130,60	140,33	128,62	145,50	128,78	168,84	135,43	164,91
01-08-2006	142,21	112,73	142,35	115,00	147,33	112,61	156,38	129,35
08-09-2006	89,42	57,25	88,25	70,90	83,35	57,78	65,66	62,41
24-10-2006	90,52	92,33	87,09	87,29	86,52	88,18	87,02	88,29
06-04-2008	20,46	19,77	20,06	19,69	20,21	19,74	20,23	19,76
26-08-2008	83,80	99,83	84,93	97,52	95,42	85,90	87,93	87,15
14-08-2009	137,34	157,86	135,41	151,19	137,99	153,66	135,57	177,59
09-11-2009	117,66	130,88	100,28	131,24	110,95	126,04	98,43	123,99
24-08-2010	143,29	132,23	162,75	131,30	161,05	147,55	160,83	135,34
08-03-2011	16,10	6,33	14,56	6,36	12,19	6,49	11,70	6,40
26-02-2012	60,75	52,46	62,89	53,01	63,99	52,88	63,71	52,69
19-12-2012	47,47	47,60	47,60	48,04	51,58	48,80	50,56	48,14
01-09-2013	133,80	148,22	140,84	153,25	132,14	148,93	140,92	142,10

## **6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1. Análisis de Resultados**

Debido a la gran cantidad de información generada a partir de los cálculos de los ajustes y posterior validación estadística, se procedió a realizar el análisis de resultados a partir de las condiciones más particulares, presentadas para cada modelo en específico, bajo ambos planteamientos y para ambas cuencas en estudio.

### **6.2. Análisis de la Crecidas Seleccionadas**

#### **6.2.1. Cuenca del río Maipo**

Al observar cualquiera de las tablas correspondientes para esta cuenca en particular, se desprende que las crecidas seleccionadas están concentradas entre los meses de septiembre a abril, ambos meses inclusive. Además, la crecida de mayor duración corresponde a la del 18-02-2003 con 2.477 horas (103 días aproximadamente).

Por otro lado se deduce que, al observar la tabla N°1, el caudal inicial ( $Q_0$ ) de la curva recesiva menor corresponde al de la crecida del 11-04-2012 con  $16,74 \text{ m}^3/\text{s}$ , mientras que el mayor caudal inicial corresponde a la del 01-01-1998 con  $87,20 \text{ m}^3/\text{s}$ ; ambos valores son

propios del planteamiento original o segundo punto de quiebre, es decir, el caudal inicial mayor es más de 5 veces el caudal inicial menor, lo que habla de una alta variabilidad.

### **6.2.2 Cuenca del río Biobío**

Similar al punto 6.2.1, las crecidas seleccionadas para esta cuenca están concentradas entre los meses de agosto a abril, ambos inclusive. Además, la crecida de mayor duración corresponde a la del 26-08-2008 con 1.681 horas (70 días aproximadamente).

Al observar la tabla N° 5, se aprecia que el caudal inicial ( $Q_0$ ) menor corresponde a la del 06-04-2008 con 147,93 m<sup>3</sup>/s, mientras que el mayor caudal inicial corresponde a la del 26-08-2008 con 1.628,21 m<sup>3</sup>/s; ambos valores son propios del planteamiento original o segundo punto de quiebre, es decir, el caudal inicial mayor es más de 11 veces el caudal inicial menor.

Sería esperable una mayor variabilidad en el río Maipo por tratarse de una zona árida y semiárida, sin embargo, llama la atención esta mayor variabilidad en el Biobío, que solo podría ser entendida por las características particulares de este río, ligadas a zonas con alta pluviometría y una gran superficie de aporte, pero con un periodo estival prolongado.

### 6.3. Análisis de los Caudales Modelados Bajo los Cuatro Modelos Propuestos para Ambos Planteamientos y en Ambas Cuencas.

A continuación se presenta la tabla N° 51, la cual contiene los caudales modelados promedio para cada lapso, modelo, planteamiento y cuenca en estudio.

**Tabla N° 51:** Caudales modelados promedio ( $m^3/s$ ) para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M) junto con sus respectivos promedios de caudal observado (Q obs.), para ambas cuencas en estudio.

		$\alpha$ (48 h)		$\alpha$ (72 h)		$\alpha$ (168 h)		$\alpha$ (240 h)		Q obs.	
		P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
Río Maipo	Modelo potencial	15,84	14,93	18,12	16,42	25,97	24,45	28,87	26,52	26,96	26,37
	Modelo exponencial 1	13,27	12,65	16,01	14,62	25,30	23,94	28,69	26,37	26,96	26,37
	Modelo exponencial 2	23,40	20,04	23,60	20,03	28,08	26,37	28,40	26,67	26,96	26,37
	Modelo exponencial 3	22,09	21,35	22,65	20,97	27,15	25,71	28,51	26,50	26,96	26,37
Río Biobío	Modelo potencial	451,40	460,57	480,60	486,62	554,66	536,61	593,78	578,72	564,79	561,14
	Modelo exponencial 1	396,80	414,15	428,93	444,31	520,47	509,40	568,29	559,93	564,79	561,14
	Modelo exponencial 2	549,26	449,52	542,88	515,08	570,54	556,86	593,90	606,71	564,79	561,14
	Modelo exponencial 3	619,32	630,36	609,90	621,03	602,48	595,56	613,49	611,47	564,79	561,14

De la tabla N° 51, se desprende que los lapsos de 48 y 72 horas, para la estimación del parámetro “ $\alpha$ ”, subestiman los valores reales, hecho que se revierte en las duraciones mayores, es decir, 168 y 240 horas especialmente y para todos los modelos estudiados en el río Maipo

En el caso del río Biobío, todos los modelos estudiados, a excepción del modelo exponencial 3, subestiman los valores observados en los lapsos de 48 y 72 horas, hecho que también se empieza a revertir en las duraciones mayores, principalmente en el lapso de 240 horas. El modelo exponencial 3, en todas las duraciones sobrestima el promedio de los caudales observados.

Otro aspecto importante a destacar en la cuenca del río Biobío es que, en el modelo potencial, exponencial 1 y exponencial 3, para los lapsos de 48 y 72 horas, el caudal modelado promedio es mayor bajo el planteamiento modificado, que bajo el planteamiento original, hecho que no sería esperable; lo mismo ocurre con el modelo exponencial 2 pero en el lapso de 240 horas. Esto sucede debido a que se registran crecidas de magnitud variable durante el transcurso de la curva recesiva, haciendo que la coordenada para  $(t_0, Q_0)$ , transcurrido un determinado lapso, sea mayor para el planteamiento modificado que para el original. Esto podría explicarse en parte, porque los lapsos de 48 y 72 horas están relativamente cerca del caudal inicial ( $Q_0$ ), en donde la curva recesiva no logra estabilizarse del todo y presenta importantes variaciones en su magnitud.

#### **6.4 Análisis del coeficiente de agotamiento “ $\alpha$ ”**

En general, al observar las tablas N°1 a la N° 10, se puede desprender que los valores “ $\alpha$ ” son menores para el planteamiento modificado que para el planteamiento original. Esto ocurre ya

que el tercer punto de quiebre está desplazado unas horas hacia adelante del segundo punto de quiebre en donde, en general, la pendiente comienza a disminuir.

El comportamiento para “ $\alpha$ ” se puede explicar según la ecuación matemática que lo contenga. Así, en el modelo potencial y exponencial 1, el coeficiente “ $\alpha$ ” no es factorizado por una constante o parámetro que incremente o disminuya su pendiente tendiendo así a disminuir a medida que aumenta el tiempo. Por otro lado, en el modelo exponencial 2 y exponencial 3, el coeficiente “ $\alpha$ ” se ve alterado por un coeficiente “ $n$ ” en la variable tiempo y por el valor “2”, respectivamente, que disminuyen su derivada, independiente del incremento del tiempo.

A continuación, en las tablas N° 52 y N° 53 se presentan los resultados comparativos y resumidos del coeficiente de agotamientos “ $\alpha$ ”, para ambas cuencas.



**Tabla N° 52:** Valores comparativos para el coeficiente de agotamiento “ $\alpha$ ” para los 4 modelos, en los lapsos establecidos y bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), cuenca del río Maipo.

		$\alpha$ (48 h)		$\alpha$ (72 h)		$\alpha$ (168 h)		$\alpha$ (240 h)	
		P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
<b>Modelo potencial</b>	<b>Promedio</b>	0,0074	0,0062	0,0055	0,0048	0,0022	0,0014	0,0013	0,0010
	<b>C.V</b>	2,3326	2,6400	2,0948	2,2446	1,4059	1,1932	0,6069	0,8338
	<b>Max</b>	0,0900	0,0847	0,0600	0,0565	0,0165	0,0091	0,0045	0,0041
	<b>Min</b>	0,0017	0,0009	0,0012	0,0010	0,0007	0,0004	0,0005	0,0003
<b>Modelo exponencial 1</b>	<b>Promedio</b>	0,0097	0,0079	0,0073	0,0064	0,0033	0,0024	0,0023	0,0017
	<b>C.V</b>	1,3171	1,6051	1,1499	1,3052	0,8518	0,8745	0,4805	0,6802
	<b>Max</b>	0,0696	0,0676	0,0464	0,0451	0,0158	0,0110	0,0061	0,0057
	<b>Min</b>	0,0032	0,0017	0,0023	0,0018	0,0013	0,0008	0,0010	0,0006
<b>Modelo exponencial 2</b>	<b>Promedio</b>	0,1260	0,0652	0,0949	0,0578	0,1240	0,0915	0,1252	0,0883
	<b>C.V</b>	0,8948	2,1033	0,8422	1,8463	0,7806	1,2586	0,7356	1,3141
	<b>Max</b>	0,4467	0,6800	0,2749	0,5314	0,2897	0,5652	0,3159	0,5816
	<b>Min</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0016	0,0022	0,0074	0,0020
<b>Modelo exponencial 3</b>	<b>Promedio</b>	0,0335	0,0274	0,0309	0,0272	0,0213	0,0153	0,0175	0,0135
	<b>C.V</b>	1,3171	1,6051	1,1499	1,3052	0,8518	0,8745	0,4805	0,6802
	<b>Max</b>	0,2412	0,2342	0,1970	0,1912	0,1026	0,0716	0,0473	0,0441
	<b>Min</b>	0,0111	0,0060	0,0098	0,0078	0,0086	0,0050	0,0075	0,0046

Donde: C.V = Coeficiente de Variación; Max = Valor Máximo; Min = Valor Mínimo

**Tabla N° 53:** Valores comparativos para el coeficiente de agotamiento “ $\alpha$ ” para los 4 modelos, en los lapsos establecidos y bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), cuenca del río Biobío.

		$\alpha$ (48 h)		$\alpha$ (72 h)		$\alpha$ (168 h)		$\alpha$ (240 h)	
		P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
<b>Modelo potencial</b>	<b>Promedio</b>	0,0030	0,0018	0,0024	0,0015	0,0018	0,0011	0,0015	0,0010
	<b>C.V</b>	0,6180	0,6592	0,5407	0,5994	0,5732	0,5625	0,6213	0,7110
	<b>Max</b>	0,0081	0,0051	0,0053	0,0036	0,0044	0,0028	0,0039	0,0028
	<b>Min</b>	0,0010	0,0004	0,0007	0,0004	0,0007	0,0004	0,0002	0,0003
<b>Modelo exponencial 1</b>	<b>Promedio</b>	0,0055	0,0034	0,0044	0,0028	0,0030	0,0020	0,0024	0,0017
	<b>C.V</b>	0,5674	0,6250	0,4892	0,5657	0,4913	0,5123	0,5282	0,6273
	<b>Max</b>	0,0137	0,0092	0,0090	0,0063	0,0065	0,0045	0,0055	0,0043
	<b>Min</b>	0,0019	0,0008	0,0013	0,0009	0,0014	0,0007	0,0005	0,0006
<b>Modelo exponencial 2</b>	<b>Promedio</b>	0,0412	0,0141	0,0544	0,0180	0,0380	0,0170	0,0441	0,0175
	<b>C.V</b>	2,1971	1,1389	2,0210	1,2738	1,5197	1,3092	1,2215	1,1776
	<b>Max</b>	0,4619	0,0463	0,5453	0,0774	0,2393	0,0939	0,2143	0,0945
	<b>Min</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0002	0,0003
<b>Modelo exponencial 3</b>	<b>Promedio</b>	0,0190	0,0117	0,0186	0,0118	0,0194	0,0133	0,0186	0,0135
	<b>C.V</b>	0,5674	0,6250	0,4892	0,5657	0,4913	0,5123	0,5282	0,6273
	<b>Max</b>	0,0473	0,0318	0,0382	0,0269	0,0423	0,0293	0,0427	0,0335
	<b>Min</b>	0,0066	0,0028	0,0055	0,0037	0,0091	0,0046	0,0036	0,0048

Donde: C.V = Coeficiente de Variación; Max = Valor Máximo; Min = Valor Mínimo

En general, a mayor lapso, menor es el coeficiente de variación (C.V) de los valores “ $\alpha$ ”, para todos los modelos analizados en la cuenca del Maipo (Tabla N° 52). Asimismo, el modelo potencial es el que presenta la mayor variabilidad para el coeficiente de agotamiento.

Lo anterior no es tan claro en la cuenca del Biobío (Tabla N° 53), en donde la menor variabilidad del coeficiente de agotamiento se encuentra, en general, en las duraciones intermedias. En este caso, el modelo exponencial 2 es el que presenta la mayor variabilidad.

### **6.5 Análisis del coeficiente adimensional “n”**

El coeficiente adimensional “n” es propio del modelo exponencial 2, depende del  $Q_0$  y del coeficiente “ $\alpha$ ”. Según se muestra a continuación en la tabla N° 54, “n” disminuye a medida que avanza el tiempo bajo ambos planteamientos y para ambas cuencas, de igual forma como ocurre con el coeficiente de agotamiento “ $\alpha$ ”. Ocurre la singularidad, para ambas cuencas y para un mismo lapso que, en general, el coeficiente resulta ser mayor en el planteamiento modificado que en el planteamiento original.

**Tabla N° 54:** Valores comparativos para el coeficiente de agotamiento “n” para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), para la cuenca del río Colorado y del río Biobío.

		n (48 h)		n (72 h)		n (168 h)		n (240 h)	
		P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
<b>Modelo exponencial 2 (cuenca río Colorado)</b>	<b>Promedio</b>	0,5735	0,7757	0,5090	0,7321	0,3468	0,3903	0,3158	0,3695
	<b>C.V</b>	1,5897	1,0157	1,0434	0,8012	0,8228	0,8533	0,6844	0,7389
	<b>Max</b>	4,3925	3,9039	2,7714	2,4631	1,4470	1,1215	0,9640	1,1418
	<b>Min</b>	0,0000	0,0000	0,0659	0,0168	0,0412	0,0158	0,0322	0,0155
<b>Modelo exponencial 2 (cuenca río Biobío)</b>	<b>Promedio</b>	0,8760	0,8653	0,7500	0,7593	0,6638	0,7216	0,6043	0,6758
	<b>C.V</b>	0,8958	0,5581	0,8049	0,6081	0,5050	0,4259	0,5617	0,4076
	<b>Max</b>	3,1642	2,0287	2,7809	2,3609	1,7409	1,5267	1,5410	1,2992
	<b>Min</b>	0,0903	0,1409	0,0381	0,0000	0,1306	0,1039	0,0537	0,2257

Donde: C.V = Coeficiente de Variación; Max = Valor Máximo; Min = Valor Mínimo

## 6.6. Análisis de la Validación de los Modelos

### 6.6.1. Coeficiente de determinación ( $R^2$ )

A continuación se presentan las tablas N° 55 y N° 56 que resumen el comportamiento del coeficiente de determinación para la cuenca del río Maipo y la del río Biobío respectivamente y para los 4 modelos, los lapsos establecidos y bajo el planteamiento original y el planteamiento modificado.

**Tabla N° 55:** Valores comparativos para el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), para la cuenca del río Maipo.

		$R^2$ (48 h)		$R^2$ (72 h)		$R^2$ (168 h)		$R^2$ (240 h)	
		P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
<b>Modelo potencial</b>	<b>Promedio</b>	0,4472	0,3688	0,4489	0,3723	0,4462	0,3711	0,4345	0,3670
	<b>C.V</b>	0,5947	0,7453	0,6007	0,7493	0,6296	0,7327	0,6368	0,7347
	<b>Max</b>	0,8246	0,8076	0,8277	0,8062	0,8312	0,8080	0,8323	0,8092
	<b>Min</b>	0,0217	0,0011	0,0174	0,0009	0,0130	0,0000	0,0091	0,0000
<b>Modelo exponencial 1</b>	<b>Promedio</b>	0,4400	0,3642	0,4457	0,3705	0,4355	0,3669	0,4231	0,3634
	<b>C.V</b>	0,5992	0,7590	0,6097	0,7670	0,6394	0,7367	0,6483	0,7407
	<b>Max</b>	0,8239	0,8085	0,8276	0,8076	0,8307	0,8089	0,8307	0,8103
	<b>Min</b>	0,0167	0,0009	0,0138	0,0008	0,0109	0,0000	0,0082	0,0000
<b>Modelo exponencial 2</b>	<b>Promedio</b>	0,4040	0,3630	0,4793	0,3750	0,4695	0,3647	0,4673	0,3636
	<b>C.V</b>	0,7472	0,7949	0,5912	0,7589	0,5807	0,7268	0,5804	0,7371
	<b>Max</b>	0,8325	0,8107	0,8639	0,8099	0,8334	0,8105	0,8332	0,8111
	<b>Min</b>	0,0000	0,0000	0,0209	0,0003	0,0240	0,0001	0,0310	0,0001
<b>Modelo exponencial 3</b>	<b>Promedio</b>	0,4635	0,3810	0,4673	0,3798	0,4663	0,3746	0,4622	0,3724
	<b>C.V</b>	0,5963	0,7292	0,5964	0,7315	0,6049	0,7254	0,6082	0,7268
	<b>Max</b>	0,8370	0,8097	0,8363	0,8083	0,8345	0,8072	0,8350	0,8075
	<b>Min</b>	0,0231	0,0002	0,0228	0,0002	0,0205	0,0001	0,0184	0,0001

Donde: C.V = Coeficiente de Variación; Max = Valor Máximo; Min = Valor Mínimo

**Tabla N° 56:** Valores comparativos para el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), para la cuenca del río Biobío.

		$R^2$ (48 h)		$R^2$ (72 h)		$R^2$ (168 h)		$R^2$ (240 h)	
		P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
<b>Modelo potencial</b>	<b>Promedio</b>	0,6691	0,5996	0,6725	0,5984	0,6646	0,5989	0,6633	0,5996
	<b>C.V</b>	0,2726	0,3476	0,2514	0,3495	0,2630	0,3466	0,2535	0,3453
	<b>Max</b>	0,9371	0,8985	0,9309	0,8912	0,9043	0,8922	0,8908	0,8943
	<b>Min</b>	0,2979	0,1617	0,3200	0,1430	0,3067	0,1870	0,2869	0,1190
<b>Modelo exponencial 1</b>	<b>Promedio</b>	0,6542	0,5925	0,6634	0,5925	0,6537	0,5929	0,6518	0,5923
	<b>C.V</b>	0,2813	0,3527	0,2499	0,3556	0,2655	0,3497	0,2592	0,3513
	<b>Max</b>	0,9277	0,8929	0,9199	0,8873	0,8955	0,8879	0,8857	0,8892
	<b>Min</b>	0,2756	0,1692	0,3039	0,1413	0,3077	0,1932	0,2758	0,1075
<b>Modelo exponencial 2</b>	<b>Promedio</b>	0,6383	0,5887	0,6549	0,5591	0,6652	0,6026	0,6633	0,6011
	<b>C.V</b>	0,3463	0,3487	0,3056	0,4300	0,2616	0,3532	0,2659	0,3624
	<b>Max</b>	0,9302	0,9503	0,9313	0,8836	0,9396	0,9384	0,9448	0,9296
	<b>Min</b>	0,0847	0,1578	0,1846	0,0000	0,3149	0,1953	0,2654	0,1113
<b>Modelo exponencial 3</b>	<b>Promedio</b>	0,6567	0,6187	0,6589	0,6186	0,6590	0,6207	0,6593	0,6222
	<b>C.V</b>	0,2960	0,3513	0,2859	0,3517	0,2899	0,3473	0,2867	0,3458
	<b>Max</b>	0,9367	0,9358	0,9364	0,9350	0,9321	0,9364	0,9290	0,9377
	<b>Min</b>	0,1907	0,1175	0,2274	0,1164	0,2202	0,1494	0,2194	0,1214

Donde: C.V = Coeficiente de Variación; Max = Valor Máximo; Min = Valor Mínimo

El primer elemento que destaca es que los valores del coeficiente de determinación son muy bajos y mayoritariamente menores al 50%, para la cuenca del Maipo (tabla N° 55). Asimismo, no se aprecia con claridad cuál presenta los mejores valores promedio de  $R^2$  a medida que transcurren los lapsos, a excepción si se comparara el planteamiento original con el planteamiento modificado. En este marco, los modelos exponencial 2 y exponencial 3 son los que presentan los mayores promedios, con las salvedades ya explicadas, para el planteamiento original y para el planteamiento modificado respectivamente, pero el modelo exponencial 3 resalta como el mejor ya que presentó los mayores valores promedio durante el transcurso de los lapsos. Para el planteamiento original, el mejor promedio de  $R^2$  lo obtuvo el modelo exponencial

2 al lapso de 72 horas; para el planteamiento modificado lo obtuvo el modelo exponencial 3 al lapso de 48 horas.

Para la cuenca del Biobío (tabla N° 56), los valores de  $R^2$  son notablemente altos comparados con los de la cuenca del Maipo (aproximadamente 20 puntos porcentuales). Los valores del coeficiente de determinación promedian más del 50%, a diferencia de la cuenca del Maipo que está por debajo del 50%. Del mismo modo, el modelo exponencial 3 resalta como el mejor por presentar los valores más altos bajo planteamiento modificado, seguido del modelo potencial como segunda opción y bajo el planteamiento original. Para el planteamiento original, el mejor promedio de  $R^2$  lo obtuvo el modelo potencial al lapso de 72 horas; para el planteamiento modificado lo obtuvo el modelo exponencial 3 al lapso de 240 horas

#### **6.6.2. Error estándar de estimación (EEE)**

A continuación se presentan las tablas N° 57 y N° 58 que resumen el comportamiento del error estándar de estimación para la cuenca del río Maipo y la del río Biobío respectivamente en los 4 modelos, para los lapsos establecidos y bajo el planteamiento original y el planteamiento modificado.

**Tabla N° 57:** Valores comparativos para el error estándar de estimación (EEE) para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), para la cuenca del río Maipo.

		EEE (48 h)		EEE (72 h)		EEE (168 h)		EEE (240 h)	
		P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
<b>Modelo potencial</b>	<b>Promedio</b>	6,88	5,17	6,74	5,11	5,84	4,17	5,20	3,82
	<b>C.V</b>	0,60	0,67	0,59	0,69	0,59	0,68	0,57	0,68
	<b>Max</b>	16,37	13,09	15,90	12,97	13,31	11,68	12,75	9,39
	<b>Min</b>	1,98	0,54	1,67	0,85	1,07	0,83	1,07	0,63
<b>Modelo exponencial 1</b>	<b>Promedio</b>	8,00	6,11	7,82	5,11	6,58	4,69	5,42	4,16
	<b>C.V</b>	0,60	0,67	0,59	0,69	0,58	0,69	0,61	0,69
	<b>Max</b>	19,13	15,54	18,52	12,97	15,46	13,28	14,31	10,08
	<b>Min</b>	2,31	0,97	1,90	0,85	1,11	0,86	1,09	0,63
<b>Modelo exponencial 2</b>	<b>Promedio</b>	3,74	3,60	3,64	3,64	2,42	1,82	2,10	1,67
	<b>C.V</b>	1,20	1,07	0,97	1,11	0,80	1,45	0,77	1,07
	<b>Max</b>	16,65	17,23	13,04	16,24	6,47	12,26	6,26	7,63
	<b>Min</b>	0,00	0,00	0,45	0,02	0,17	0,05	0,20	0,02
<b>Modelo exponencial 3</b>	<b>Promedio</b>	4,24	2,91	4,15	2,96	3,64	2,41	3,31	2,34
	<b>C.V</b>	0,62	0,71	0,61	0,71	0,60	0,73	0,61	0,70
	<b>Max</b>	10,03	7,72	9,94	7,27	9,14	7,26	8,72	5,98
	<b>Min</b>	1,03	0,41	0,85	0,45	0,67	0,52	0,75	0,45

Donde: C.V = Coeficiente de Variación; Max = Valor Máximo; Min = Valor Mínimo



**Tabla N° 58:** Valores comparativos para el error estándar de estimación (EEE) para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), para la cuenca del río Biobío.

		EEE (48 h)		EEE (72 h)		EEE (168 h)		EEE (240 h)	
		P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
<b>Modelo potencial</b>	<b>Promedio</b>	105,21	82,25	103,05	81,03	100,31	77,20	98,68	75,12
	<b>C.V</b>	0,67	0,80	0,72	0,84	0,79	0,85	0,87	0,96
	<b>Max</b>	260,89	240,82	281,92	254,04	318,21	267,98	360,99	311,99
	<b>Min</b>	4,70	5,21	6,02	7,03	4,78	4,64	5,13	4,71
<b>Modelo exponencial 1</b>	<b>Promedio</b>	58,86	94,93	60,05	93,98	71,07	89,18	74,59	86,77
	<b>C.V</b>	0,74	0,81	0,69	0,85	0,76	0,87	0,86	1,00
	<b>Max</b>	169,55	258,98	123,57	282,82	192,91	319,39	267,14	380,28
	<b>Min</b>	4,59	5,21	5,74	6,98	4,36	4,37	4,47	4,26
<b>Modelo exponencial 2</b>	<b>Promedio</b>	47,44	87,32	42,22	72,74	50,47	66,31	49,77	57,75
	<b>C.V</b>	0,90	0,95	1,05	1,01	0,98	1,04	1,14	1,08
	<b>Max</b>	153,59	271,27	180,58	270,90	205,02	271,29	229,44	234,32
	<b>Min</b>	0,00	1,74	0,04	0,00	2,22	4,77	0,76	4,15
<b>Modelo exponencial 3</b>	<b>Promedio</b>	44,57	42,62	45,49	44,14	44,36	45,92	43,95	44,73
	<b>C.V</b>	0,94	1,03	0,94	1,01	0,90	0,97	0,97	1,00
	<b>Max</b>	209,63	209,70	204,89	209,78	189,53	205,00	203,39	209,37
	<b>Min</b>	2,49	4,13	3,67	5,38	4,01	4,70	4,71	5,31

Donde: C.V = Coeficiente de Variación; Max = Valor Máximo; Min = Valor Mínimo

En la cuenca del Maipo (tabla N° 57), se aprecia que, a mayor lapso, menor es el error estándar de estimación. De esta forma, el modelo exponencial 2 sobresale como el mejor por registrar los menores promedios de EEE, bajo los dos planteamientos, en comparación con los demás modelos y específicamente en el lapso de 240 horas; le sigue el exponencial 3 en segundo lugar y bajo planteamiento modificado en los lapsos de 168 y 240 horas.

En cuanto a la cuenca del Biobío (Tabla N° 58), el error estándar de estimación, en general, tiende a disminuir a medida que aumenta el tiempo al igual que ocurre en la cuenca del Maipo. Particularmente, el modelo exponencial 3 resulta ser el mejor al registrar los menores

promedios de EEE, bajo los dos planteamientos y específicamente en el lapso de 48 horas bajo planteamiento modificado. Por otro lado, bajo planteamiento original, el modelo exponencial 2 logra el valor más bajo al lapso de 72 horas.

#### **6.6.2.1. Cociente entre el EEE y el promedio de los caudales observados**

Con el fin de profundizar más el análisis comparativo del error estándar de estimación, se elaboró un cociente entre el promedio del EEE y el promedio de los caudales reales u observados de las crecidas seleccionadas, para los lapsos establecidos bajo ambos planteamientos y para ambas cuencas. Este cociente señala que proporción del promedio de los datos observados, representa el promedio de los EEE obtenidos para las distintas crecidas. Por tanto, se espera que dicho cociente sea el menor posible. Dicho cociente se muestra a continuación en la tabla N° 59:

**Tabla N° 59:** Cocientes entre el promedio del error estándar de estimación (EEE) y el promedio de los caudales observados para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M) y para la cuenca del río Maipo y la del río Biobío.

		48 h		72 h		168 h		240 h	
		P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
<b>Cuenca río Maipo</b>	<b>Modelo potencial</b>	0,2564	0,1854	0,2534	0,1846	0,2261	0,1689	0,2105	0,1566
	<b>Modelo exponencial 1</b>	0,2993	0,2200	0,2943	0,1846	0,2589	0,1941	0,2220	0,1719
	<b>Modelo exponencial 2</b>	0,1344	0,1481	0,1355	0,1509	0,1136	0,0955	0,0985	0,0819
	<b>Modelo exponencial 3</b>	0,1595	0,1042	0,1576	0,1091	0,1433	0,0989	0,1350	0,0962
<b>Cuenca río Biobío</b>	<b>Modelo potencial</b>	0,1950	0,1538	0,1905	0,1525	0,1879	0,1457	0,1804	0,1401
	<b>Modelo exponencial 1</b>	0,1052	0,1767	0,1076	0,1764	0,1300	0,1680	0,1366	0,1611
	<b>Modelo exponencial 2</b>	0,0764	0,1463	0,0651	0,1274	0,0933	0,1187	0,0908	0,1046
	<b>Modelo exponencial 3</b>	0,0796	0,0808	0,0813	0,0841	0,0815	0,0874	0,0789	0,0847

En la cuenca del Maipo (tabla N° 59), se aprecia una disminución del cociente a medida que transcurre el tiempo en general y bajo ambos planteamientos. Análogamente a lo anterior, los menores valores se registran para el modelo exponencial 2 tanto para el planteamiento original, en los primeros lapsos, como para el planteamiento modificado en los lapsos finales, siendo los más bajos lo que aparecen en el lapso de 240 horas. Sigue en relevancia el modelo exponencial 3, que presenta los menores valores del cociente bajo planteamiento modificado y entre los lapsos de 48 y 72 horas.

Para la cuenca del Biobío (tabla N° 59), ocurre un comportamiento similar a la cuenca del Maipo en cuanto al cociente. Sin embargo, el modelo exponencial 3 posee lo menores valores del cociente tanto para el planteamiento original, como para el planteamiento modificado, siendo el más bajo el calculado al lapso de 48 horas bajo planteamiento modificado. Seguidamente, surge el modelo exponencial 2 como segunda opción y bajo el planteamiento original, pero durante el lapso de 72 horas.

### 6.6.3. Prueba U de Mann-Whitney

Esta prueba se aplicó para comparar las medianas del caudal estimado versus el caudal observado. El nivel de significancia  $\alpha$ , como regla de decisión, fue del 5%, lo que en la tabla normal estandarizada entrega un valor  $|Z|$  de 1,645.

A continuación, la tabla N° 60 presenta los porcentajes de aceptación de la prueba U de Mann-Whitney para las 25 crecidas, en los 4 modelos matemáticos utilizados y para los distintos lapsos, bajo ambos planteamientos y en ambas cuencas.

**Tabla N° 60:** Porcentaje (%) entre el número de pruebas aceptadas, con un nivel de significancia del 5%, para el total de crecidas y los 4 modelos, y los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M), en ambas cuencas.

		48 h		72 h		168 h		240 h	
		P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
<b>Cuenca río Maipo</b>	<b>Modelo potencial</b>	0,0%	4,0%	0,0%	0,0%	4,0%	8,0%	20,0%	28,0%
	<b>Modelo exponencial 1</b>	4,0%	0,0%	0,0%	0,0%	12,0%	4,0%	16,0%	28,0%
	<b>Modelo exponencial 2</b>	4,0%	0,0%	8,0%	0,0%	12,0%	0,0%	16,0%	16,0%
	<b>Modelo exponencial 3</b>	4,0%	8,0%	8,0%	0,0%	16,0%	4,0%	16,0%	24,0%
<b>Cuenca río Biobío</b>	<b>Modelo potencial</b>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%
	<b>Modelo exponencial 1</b>	0,0%	0,0%	0,0%	4,0%	0,0%	0,0%	8,0%	8,0%
	<b>Modelo exponencial 2</b>	0,0%	4,0%	0,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	0,0%
	<b>Modelo exponencial 3</b>	4,0%	0,0%	12,0%	4,0%	8,0%	4,0%	4,0%	4,0%

Para la cuenca del Maipo (tabla N° 60), en general se aprecia que a mayor lapso, mayor es el porcentaje de aceptación, sin embargo, dicho porcentaje es bastante bajo y es menor al 10%

durante los primeros lapsos de 48 y 72 horas. Aun así, el modelo exponencial 3 resalta como el que más porcentaje de aceptación acumula a medida que avanzan los lapsos. Pero esto se revierte en los dos últimos lapsos, en donde los mejores modelos son el potencial y el exponencial 1, particularmente al lapso de 240 horas y bajo planteamiento original y modificado respectivamente.

Por otro lado, para la cuenca del Biobío (tabla N° 60) se observa un comportamiento similar a la cuenca del Maipo, pero los porcentajes son menores comparados con esta última cuenca, siendo menores al 10% en general (salvo al lapso de 72 horas bajo planteamiento original). A pesar de lo anterior, el modelo exponencial 3 resalta como el mejor tanto bajo planteamiento original como bajo planteamiento modificado durante los lapsos de 48, 72 y 168 horas, pero particularmente mejor en el lapso de 72 horas con un 12%. Le sigue como segunda mejor opción el modelo exponencial 1, pero únicamente en el lapso de 240 horas.

Una de las posibles razones de por qué esta prueba denota un bajo porcentaje de aceptación, para ambas cuencas, es que la alta variabilidad existente a principio de la curva recesiva posteriormente se reduce y se comporta como una recta en declinación. Esto determina que el ajuste de cualquiera de los modelos en análisis, es deficiente dado que una leve inclinación por sobre o bajo la curva observada, provoca diferencias estadísticas insalvables y con ello el rechazo de la hipótesis nula, hecho que también explicaría los valores bajo de  $R^2$ .

#### **6.6.4. Prueba de concordancia de Bland & Altman**

Como se explicó en la metodología, el modelo que presenta menor diferencia promedio (DP) con respecto a 0 (valor absoluto) es el que mejor se ajusta; si esto no fuera claro, se procede a buscar la menor desviación estándar (DS) de las diferencias. Sus unidades son  $\text{m}^3/\text{s}$ .

En las tablas N° 61 y N° 62, se exponen las DP, DS y Límites de confianza (LC) superior e inferior para cada uno de los modelos, en los lapsos establecidos y bajo ambos planteamientos, para la cuenca del río Maipo y río Biobío respectivamente.

**Tabla N° 61:** Prueba de concordancia de Bland & Altman para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M). Cuenca del río Maipo.

		48 h		72 h		168 h		240 h	
		P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
<b>Modelo potencial</b>	<b>DP</b>	11,12	11,44	8,84	9,94	0,99	1,92	-1,92	-0,15
	<b>DS</b>	7,61	5,87	7,43	5,80	6,32	4,81	5,70	4,53
	<b>LC superior</b>	26,33	23,17	23,69	21,54	13,62	11,54	9,49	8,92
	<b>LC inferior</b>	-4,10	-0,29	-6,02	-1,65	-11,64	-7,71	-13,32	-9,22
<b>Modelo exponencial 1</b>	<b>DP</b>	13,69	13,72	10,95	11,74	1,65	2,43	-1,74	-0,01
	<b>DS</b>	8,85	6,80	8,65	6,70	7,11	5,30	6,23	4,85
	<b>LC superior</b>	31,39	27,32	28,24	25,15	15,87	13,02	10,72	9,69
	<b>LC inferior</b>	-4,01	0,12	-6,35	-1,66	-12,57	-8,17	-14,19	-9,70
<b>Modelo exponencial 2</b>	<b>DP</b>	3,55	6,33	3,35	6,33	-1,13	0,00	-1,44	-0,30
	<b>DS</b>	5,12	5,05	4,64	4,86	4,08	4,00	3,76	3,73
	<b>LC superior</b>	13,80	16,44	12,63	16,06	7,03	8,00	6,09	7,17
	<b>LC inferior</b>	-6,69	-3,77	-5,92	-3,39	-9,29	-8,01	-8,97	-7,77
<b>Modelo exponencial 3</b>	<b>DP</b>	4,87	5,02	4,30	5,40	-0,20	0,65	-1,56	-0,13
	<b>DS</b>	4,79	4,06	4,73	4,02	4,34	3,73	4,15	3,69
	<b>LC superior</b>	14,46	13,14	13,77	13,45	8,47	8,12	6,75	7,24
	<b>LC inferior</b>	-4,72	-3,10	-5,16	-2,65	-8,87	-6,81	-9,86	-7,51

Donde: DP = diferencias promedio para las 25 crecidas; DS desviación estándar para las 25 crecidas; LC = límite de concordancia.

**Tabla N° 62:** Prueba de concordancia de Bland & Altman para los 4 modelos, para los lapsos establecidos, bajo el planteamiento original (P.O) y el planteamiento modificado (P.M). Cuenca del río Biobío.

		48 h		72 h		168 h		240 h	
		P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M	P.O	P.M
<b>Modelo potencial</b>	<b>DP</b>	113,10	88,02	83,91	61,97	9,97	11,98	-29,14	-30,12
	<b>DS</b>	124,03	108,77	128,22	110,13	130,19	107,88	133,47	107,56
	<b>LC superior</b>	361,17	305,56	340,34	282,24	270,35	227,75	237,79	185,00
	<b>LC inferior</b>	-134,96	-129,52	-172,52	-158,29	-250,42	-203,78	-296,08	-245,24
<b>Modelo exponencial 1</b>	<b>DP</b>	167,63	134,44	135,51	104,28	44,11	39,20	-3,70	-11,34
	<b>DS</b>	141,65	121,66	146,39	123,22	150,30	119,72	153,80	118,21
	<b>LC superior</b>	450,92	377,77	428,28	350,73	344,71	278,65	303,89	225,08
	<b>LC inferior</b>	-115,67	-108,88	-157,26	-142,16	-256,48	-200,25	-311,30	-247,76
<b>Modelo exponencial 2</b>	<b>DP</b>	15,54	99,07	21,81	33,52	-5,73	-8,27	-29,16	-58,11
	<b>DS</b>	116,69	125,65	124,46	115,72	120,21	110,67	124,03	106,96
	<b>LC superior</b>	248,93	350,37	270,73	264,95	234,69	213,07	218,90	155,82
	<b>LC inferior</b>	-217,85	-152,23	-227,12	-197,92	-246,14	-229,61	-277,21	-272,04
<b>Modelo exponencial 3</b>	<b>DP</b>	-54,53	-81,76	-45,13	-72,44	-37,68	-46,97	-48,73	-62,87
	<b>DS</b>	100,68	100,92	102,58	101,23	103,42	99,62	104,35	100,40
	<b>LC superior</b>	146,83	120,08	160,02	130,03	169,15	152,27	159,96	137,94
	<b>LC inferior</b>	-255,88	-283,61	-250,29	-274,90	-244,52	-246,21	-257,42	-263,68

Donde: DP = diferencias promedio para las 25 crecidas; DS desviación estándar para las 25 crecidas; LC = límite de concordancia.

En base a las diferencias promedio (DP) presentes en la cuenca del Maipo (Tabla N° 61), se aprecia que el modelo exponencial 2 surge como el mejor, ya que presenta los menores valores promedio de DP tanto bajo el planteamiento original como bajo el planteamiento modificado, alternándose desde el lapso de 168 horas, siendo este en donde se obtiene el menor DP bajo planteamiento modificado. El segundo mejor modelo corresponde al exponencial 3, mayoritariamente bajo planteamiento original y durante los lapsos de 48, 72 y 168 horas, particularmente este último lapso registra el mejor valor para tal planteamiento.



En cuanto a la cuenca del Biobío (Tabla N° 62), el modelo exponencial 2 asoma como el mejor, tanto bajo planteamiento original como bajo planteamiento modificado, durante los primeros tres lapsos, aunque al lapso de 168 horas se registra el mejor valor para el planteamiento modificado. Durante el lapso final de 240 horas, el modelo exponencial 1 registra el valor más bajo de DP bajo planteamiento original.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

El presente estudio analizó 4 modelos matemáticos para la estimación de la curva recesiva, los cuales fueron el modelo potencial ( $Q(t) = Q_0 * (1 + \alpha * t)^{-2}$ ), el modelo exponencial 1 ( $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)}$ ), el modelo exponencial 2 ( $Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$ ) y el modelo exponencial 3 ( $Q(t) = Q_0 * e^{(-2\alpha*\sqrt{t})}$ ). De los distintos resultados obtenidos y de las pruebas estadísticas aplicadas, es posible concluir lo siguiente:

- Existe una alta variabilidad en el comportamiento de las distintas crecidas analizadas en ambas cuencas, lo que da cuenta de la dificultad de modelar estos procesos. Este hecho se corrobora en la disparidad que presentan las pruebas estadísticas analizadas, las que en algunos casos son contradictorias en sus resultados. Así por ejemplo, la prueba U de Mann-Whitney, posee un muy bajo porcentaje de aceptación de la hipótesis nula, en tanto que los errores estándar de estimación se presentan con valores totalmente admisibles desde un punto de vista hidrológico.
- Corroborando la conclusión anterior, surge el hecho que no es posible agrupar las crecidas según algunos criterios y el nivel de precisión de la modelación y esto en relación a los caudales observados. Así por ejemplo, crecidas de alta magnitud, en algunos casos presentan una buena calidad de ajuste, pero en otros casos no. Lo mismo para crecidas de baja magnitud. Igual caso ocurre con los periodos en los cuales se generaron las crecidas.

- En la cuenca del río Maipo, el planteamiento modificado, en promedio y en base a las crecidas analizadas, predomina según todas las pruebas estadísticas utilizadas, a saber,  $R^2$ ,  $EEE$ ,  $EEE/promedio$  de los caudales observados,  $U$  de Mann Whitney y Prueba de Concordancia de Bland y Altman.
- En la cuenca del río Maipo, el modelo que obtiene los mejores resultados, en promedio y en base a las crecidas analizadas, es el modelo exponencial 2 y en ambos planteamientos, original y modificado.
- En la cuenca del río Maipo, el lapso horario que obtuvo los mejores resultados, en promedio y en base a las crecidas analizadas, fue el de 240 horas y con similitudes para el planteamiento original y el modificado.
- En la cuenca del río Biobío, el planteamiento original, en promedio y en base a las crecidas analizadas, predomina levemente sobre el modificado, según todas las pruebas estadísticas utilizadas, a saber,  $R^2$ ,  $EEE$ ,  $EEE/promedio$  de los caudales observados,  $U$  de Mann Whitney y Prueba de Concordancia de Bland y Altman.
- En la cuenca del río Biobío, el modelo que obtiene los mejores resultados, en promedio y en base a las crecidas analizadas, es el modelo exponencial 3, aunque lo hace bajo el planteamiento modificado. En el Planteamiento original, el modelo que destaca, aunque no al mismo nivel, es el exponencial 2.
- En la cuenca del río Biobío, el lapso horario que obtuvo los mejores resultados, en promedio y en base a las crecidas analizadas, fue el de 72 horas y particularmente bajo planteamiento original.

## 7.2. Recomendaciones

En base al trabajo desarrollado y las conclusiones obtenidas, son posibles de plantear las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda continuar con los estudios en esta materia sobre las cuencas del río Maipo y del río Biobío, seleccionando distintas crecidas y contrastando las conclusiones de este trabajo con las otras nuevas que puedan aparecer.
- En este estudio se utilizó el lapso de 24 horas para ajustar el parámetro adimensional “n” del modelo exponencial 2, por lo tanto, resultaría interesante conocer el comportamiento de este modelo si se ajustara a un lapso distinto.
- Resultaría interesante idear y plantear un nuevo modelo matemático del tipo exponencial y aplicarlo en las cuencas analizadas en este estudio, toda vez que el modelo matemático exponencial 3, fue desarrollado en el Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental de la Universidad de Talca.
- Se sugiere seguir utilizando y contrastando el planteamiento modificado, con el planteamiento original, con el fin de conocer si se logran resultados similares a este estudio.
- Se recomienda para la modelación de caudales recesivos en la cuenca del río Maipo, la utilización del Planteamiento modificado, con el modelo exponencial 2 y el lapso de 240 horas.
- Se recomienda para la modelación de caudales recesivos en la cuenca del río Biobío, la utilización del Planteamiento original, con el modelo exponencial 2 y el lapso de 72 horas, aunque presenta valores muy cercanos, el planteamiento modificado, con el modelo exponencial 3 y el lapso de 240 horas, que también se recomienda como una alternativa.

- Finalmente, se recomienda insistir en el estudio de los caudales recesivos, porque es una herramienta que da cuenta de la posibilidad de las cuencas de almacenar agua en sus reservorios y tenerla disponible para periodos de mayor demanda, como son los meses estivales, hecho que es altamente importante en escenarios de cambio climático y de un incremento creciente de las demandas de agua.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Aksoy, H.; Wittenberg, H. 2011 Nonlinear baseflow recession analysis in watersheds with intermittent streamflow. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 56(2). 226–237 p.

Balocchi, F. 2008. Modelación de Caudales Recesivos para Periodos Estivales en la Cuenca del Estero Upeo, Región del Maule. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 101 p.

Balocchi, F.; Pizarro, R.; Morales, C.; Olivares, C. 2014. Modelamiento Matemático de Caudales Recesivo en la región Mediterránea Andina del Maule: El Caso del Estero Upeo, Chile. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5 (5), 179-188 p.

Bland M.; Altman D. 1999. Measuring Agreement in Method Comparison Studies. *Statistical Methods in Medical Research*. 135-160 p.

Carrasco, J.; Jover, L. 2004. Métodos Estadísticas para evaluar la Concordancia. *Med Clin (Barc)* 122(1): 28-34 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. 130 p.

Chow, V.; Maidment, D.; Mays, L. 1994. *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill. 584 p.

Dirección General de Aguas. 2004a. Diagnostico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad: Cuenca del río Maipo. Chile.

Dirección General de Aguas. 2004b. Diagnostico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad: Cuenca del río Biobío. Chile.

Dirección General de Aguas. s.f. Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea. Consultado el 30 ago. 2014 .Disponible en: <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>.

Dirección Meteorológica de Chile. 2013. Anuario Climatológico 2013. Santiago, Chile.

Ehret, E.; Zehe, E. 2011. Series distance – an intuitive metric to quantify hydrograph similarity in terms of occurrence, amplitude and timing of hydrological events. *Hydrology and Earth System Sciences*. Vol. 15. 877–896 p.

Koskelo, A.I.; Fisher, T.R.; Utz, R.M.; Jordan, T.E. 2012. A new precipitation-based method of baseflow separation and event identification for small watersheds (<50 km<sup>2</sup>). *Journal of Hydrology*. Vol. 450–451. 267–278 p.

Llamas, J. 1993. *Hidrología General: Principios y Aplicaciones*. Servicio Editorial Universidad del País Vasco. 635 p.

Martínez, E. 2004. Modelación de Caudales Recesivo para la Cuenca del río Lontué, Estación Espero Upeo, en Upeo, VII Región del Maule, Chile. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 113 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 de Maule, Chile. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 103 p.

Pizarro, R.; Saavedra, J. 1991. Predicción de los Caudales Recesivos Mediante Modelos Matemáticos. En: *Revista Universum*. Año 6. Universidad de Talca, Chile. 94 p.

Pizarro, R. 1993. *Elementos Técnicos de Hidrología III*. Talca, Chile. Editorial Universidad de Talca. 136 p.

Pizarro, R.; Balocchi, F.; Garcia, P.; Macaya, K.; Per Bro; León, L.; Helwig, B.; Valdés R. 2013. On Redefining the Onset of Baseflow Recession on Storm Hydrographs. *Open Journal of Modern Hydrology*, 2013, 3, 269-277.

Pizarro, R.; Valdés, R.; Olivares, C.; González, P. 2014. Development of Upstream Data-Input Models to Estimate Downstream Peak Flow in Two Mediterranean River Basins of Chile. *Open Journal of Modern Hydrology*, Vol. 4, 132-143.

Remenieras, G. 1971. *Tratado de Hidrología Aplicada*. Editores asociados. Madrid, España. 515 p.

Singh, V. 1988. Hydrology Systems. New Jersey, USA. Second Edition. Prentice Hall. 2 Vol.

USGS. 2014. The World's Water. Estados Unidos. Consultado el 30 ago. 2014. Disponible en <http://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>.

Yimen, M.; Anagnostou, E.N. 2015. A hydrograph separation method based on information from rainfall and runoff records. Journal of Hydrology. Vol. 523. 636–649 p.



