



**Universidad de Talca**  
**Facultad de Ciencias Forestales**  
**Departamento de Gestión Forestal y ambiental**  
**Escuela de Ingeniería Forestal**

DIRECCION GENERAL DE AGUAS  
Centro de Información Recursos Hídricos  
Área de Documentación

**Modelación del tránsito de una avenida por el  
método de Muskingum en el río Perquilauquén,  
Región del Maule**

**Alumno: Manuel Eduardo Hormazábal Valdés**

**Memoria para optar al título de:  
INGENIERO FORESTAL**

**Profesor Guía: Dr. Ing. Roberto Pizarro T.**

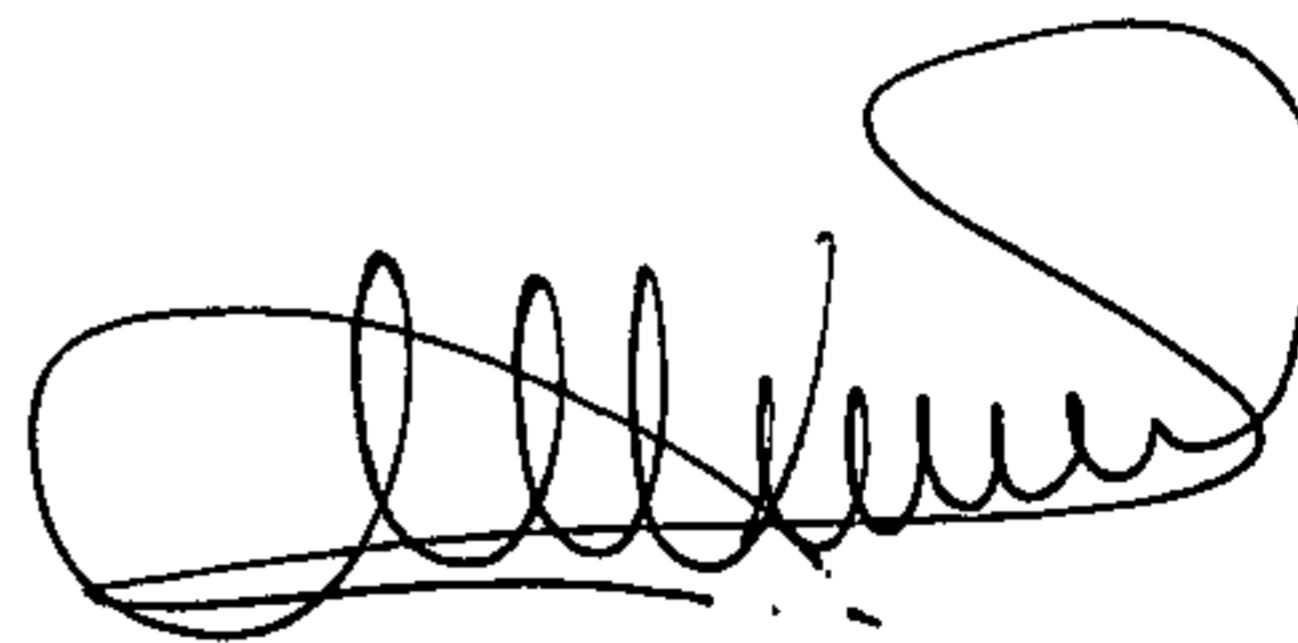
**Talca – Chile**

**2007**

**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**ESCUERLA DE INGENIERÍA FORESTAL**

El alumno Sr. Manuel Eduardo Hormazábal Valdés, ha realizado la memoria titulada **“Modelación del tránsito de una avenida por el método de Muskingun en el río Perquilauquén, Región del Maule”** como uno de los requisitos para optar al título profesional de Ingeniero Forestal, con el Sr. Roberto Pizarro Tapia, como profesor guía.

La comisión de evaluación, constituida por los profesores Sr. Juan Franco de la Jara y Sr. Roberto Pizarro Tapia, calificó con nota promedio de 7.0 (Siete).



**MARCIA VASQUEZ**

**Directora Esc. Ingeniería Forestal**

**TALCA, CHILE**

**2007**

A mis padres Olga y Manuel,  
mis hermanos Claudia y Mauricio,  
y a mi hija Florencia.

*Manuel.*

## AGRADECIMIENTOS

Reciban mis sinceros agradecimientos todas aquellas personas e instituciones que abrieron sus puertas, de manera desinteresada, aportando su tiempo, apoyo y conocimientos en aras de la realización de esta memoria. Muy especialmente a:

A mi profesor guía Roberto Pizarro quien, a pesar de tener su agenda muy ocupada, siempre tuvo un momento para atenderme.

No puedo dejar de lado a la Dirección General de Aguas (DGA), por su ayuda, ya que de no ser por ellos este trabajo no podría haberse llevado a cabo.

He dejado para el final a todas esas personas que han caminado junto a mí en esta dura tarea, por darme fuerzas y apoyo para seguir hasta el final.

*Manuel.*

## ÍNDICE

CAPÍTULO	PÁGINA
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- OBJETIVOS	3
2.1.- Objetivo General	3
2.2.- Objetivos Específicos	3
3.- ANTECEDENTES GENERALES	4
3.1.- Clima.	4
3.2.- Hidrografía	5
3.3.- Descripción de las estaciones fluviométricas	5
4.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
4.1.- Tránsito de Avenidas	7
4.1.1.- Tránsito de avenidas en vasos	7
4.1.2.- Tránsito de avenidas por cauces	11
4.2.- Métodos para Calcular el Tránsito de Avenidas en Cauces	12
4.2.1.- Método hidráulico	12
4.2.2.- Método hidrológico	13
4.3.- Método de Muskingum	14
4.4.- Aplicaciones del tránsito de avenidas	18
5.- METODOLOGÍA	20
5.1.- Etapas del Estudio	20
5.1.1.- Revisión bibliográfica	20
5.1.2.- Obtención de información	21
<i>Selección de las crecidas</i>	21
<i>Digitalización de las crecidas en estudio</i>	21
5.1.3.- Calibración de los parámetros X y K del método de Muskingum	22
5.1.4.- Calculo de los coeficientes $C_1$ , $C_2$ , $C_3$ del método de	

Muskingum	22
5.1.5.- Validación del método de Muskingum	22
5.1.6.- Análisis estadístico	23
<i>Estadística No Paramétrica</i>	23
<i>Medidas de calidad de ajuste.</i>	24
a. Coeficiente de Determinación (R <sup>2</sup> )	24
b. Error Estándar de Estimación (EEE)	24
c. Prueba U de Mann Whitney	25
d. Prueba de concordancia de Bland & Altman	26
e. Coeficiente de Correlación	26
5.1.7.- Presentación de resultados	27
5.1.8.- Análisis de resultados	27
<i>Análisis de resultados, según crecida por estación</i>	27
<i>Análisis de resultados, según crecidas, en las tres estaciones</i>	27
<i>Análisis gráfico de los parámetros</i>	28
5.1.9.- Conclusiones y recomendaciones	28
5.2.- Materiales y equipos	28
6.- PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	30
6.1 Selección de estaciones fluviométricas.	30
6.2 Determinación de crecidas controladas	30
6.3.- Determinación de los parámetros X y K	34
6.3.1.- Factor de ponderación (X)	34
6.3.2.- Coeficiente de proporcionalidad	36
6.4.- Determinación del factor alfa	37
6.5.- Determinación de los coeficientes C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> y C <sub>3</sub>	38
6.5.1.- Determinación del coeficiente C <sub>1</sub>	38
6.5.2.- Determinación del coeficiente C <sub>2</sub>	39
6.5.3.- Determinación del coeficiente C <sub>3</sub>	40
6.6.- Análisis de la calibración	41
6.6.1.- Presentación del análisis, aplicado a las crecidas comprendidas	

entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.	41
6.6.2.- Presentación de análisis aplicado a las crecidas comprendidas entre las estaciones de Ñiquén y Quella.	42
6.7.- Determinación de crecidas con las cuales se valida el método de Muskingum	42
6.8.- Validación	43
6.8.1.- Tramo San Manuel – Ñiquén	44
<i>Validación con la crecida N° 4</i>	44
<i>Validación con la crecida N° 6</i>	45
<i>Validación con la crecida N° 7</i>	46
6.8.2.- Tramo Ñiquén - Quella	48
<i>Validación con la crecida N° 1</i>	48
<i>Validación con la crecida N° 3</i>	49
<i>Validación con la crecida N° 7</i>	50
7.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	52
7.1.- Caracterización de parámetros y coeficientes	52
7.1.1.- Factor de Ponderación (X)	52
7.1.2.- Coeficiente de proporcionalidad (K)	52
7.1.3.- Coeficiente $C_1$	53
7.1.4.- Coeficiente de $C_2$	53
7.1.5.- Coeficiente de $C_3$	53
7.2.- Caracterización Paramétrica de las crecidas	53
7.2.1.- Coeficiente de Determinación (R <sup>2</sup> ).	53
7.2.2.- Error Estándar de Estimación (EEE).	54
7.2.3.- Prueba de Concordancia de Bland & Altman	55
7.2.4.- Prueba U de Mann Whitney	56
7.2.5.- Diferencia de Volumen	57
7.3.- Caracterización de crecidas, según tramo	57
7.3.1.- Tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.	57

7.3.2.- Tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella.	58
7.4.-Método de Muskingum	58
8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
8.1.- Conclusiones	60
8.2.- Recomendaciones	61
9.- BIBLIOGRAFÍA	62



## **ANEXOS**

### **Anexo I**

**Curvas de descarga para la estación de San Manuel**

### **Anexo II**

**Curvas de descarga para la estación de Ñiquén**

### **Anexo III**

**Curvas de descarga para la estación de Quella**

## **APÉNDICES**

### **Apéndices I**

**Datos de altura y caudal por crecida en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella**

### **Apéndices II**

**Limnigrama por crecida en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella**

### **Apéndices III**

**Resumen de análisis estadístico realizado a las crecidas con las cuales se validó el método de Muskingum.**

### **Apéndices IV**

**Representación gráfica de la validación**

### **Apéndices V**

**Resultado de la aplicación de la prueba de Concordancia de Bland y Altman**

### **Apéndices VI**

**Resultados de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney**

### **Apéndices VII**

**Resumen de la aplicación de las pruebas de bondad de ajuste aplicadas a los tramos comprendidos entre las estaciones de San Manuel – Ñiquén y Ñiquén – Quella.**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Nº	PAGINA
1: Mapa de ubicación de las estaciones fluviométricas.	6
2: Hidrogramas de entrada y salidas.	9
3: Almacenamiento durante el paso de una avenida.	15
4: Hidrograma de entrada, Crecida 1.	31
5: Hidrograma de entrada, Crecida 2.	31
6: Hidrograma de entrada, Crecida 3.	31
7: Hidrograma de entrada, Crecida 4.	32
8: Hidrograma de entrada, Crecida 5.	32
9: Hidrograma de entrada, Crecida 6.	32
10: Hidrograma de entrada, Crecida 7.	33
11: Hidrograma de entrada, Crecida 8.	33
12: Hidrograma de entrada, Crecida 9.	33
13: Hidrograma de entrada, Crecida 10.	34
14: Determinación de factor de ponderación (X), para la crecida Nº 2.	35
15: Determinación del coeficiente de proporcionalidad, para la crecida Nº2.	36
16: Hidrograma modelado a través de la crecida 4 en el tramo San Manuel – Ñiquén	44
17: Hidrograma modelado a través de la crecida 6 en el tramo San Manuel – Ñiquén	45
18: Hidrograma modelado a través de la crecida 7 en el tramo San Manuel - Ñiquén	47
19: Hidrograma modelado a través de la crecida 1 en el tramo Ñiquén – Quella	48
20: Hidrograma modelado a través de la crecida 3 en el tramo Ñiquén – Quella	49
21: Hidrograma modelado a través de la crecida 7 en el tramo Ñiquén – Quella	51
22: Representación grafica de la relación entre la diferencia de volumen y el coeficiente de determinación.	54
23: Representación grafica de la relación entre el error estándar de estimación y el coeficiente de determinación.	55
24: Limnigrama de la Crecida Nº1, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella	94
25: Limnigrama de la Crecida Nº2, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y	

Quella	94
26: Limnigrama de la Crecida N°3, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella	95
27: Limnigrama de la Crecida N°4, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella	95
28: Limnigrama de la Crecida N°5, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella	96
29: Limnigrama de la Crecida N°6, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella	96
30: Limnigrama de la Crecida N°7, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella	97
31: Limnigrama de la Crecida N°8, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella	97
32: Limnigrama de la Crecida N°9, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella	98
33: Limnigrama de la Crecida N°10, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella	98
34: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 4 del tramo San Manuel – Ñiquén.	106
35: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 6 del tramo San Manuel – Ñiquén.	107
36: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 7 del tramo San Manuel – Ñiquén.	108
37: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 9 del tramo San Manuel – Ñiquén.	109
38: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 10 del tramo San Manuel – Ñiquén.	110
39: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 1 del tramo Ñiquén - Quella.	111
40: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 2 del tramo Ñiquén - Quella.	112
41: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 3 del tramo Ñiquén - Quella.	113

42: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 7 del tramo Ñiquén - Quella.	114
43: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 8 del tramo Ñiquén - Quella.	115

## ÍNDICE DE TABLAS

Nº	PAGINA
1: Estaciones seleccionadas en el río Perquilauquén	30
2: Determinación del Parámetro X	36
3: Determinación del Parámetro K	37
4: Determinación del factor Alfa	38
5: Determinación del Coeficiente $C_1$	39
6: Determinación del Coeficiente $C_2$	40
7: Determinación del Coeficiente $C_3$	41
8: Resultados de la aplicación de análisis para el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel – Ñiquén.	41
9: Resultados de la aplicación del análisis en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén - Quella.	42
10: Coeficientes y parámetros por crecidas seleccionadas para el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.	43
11: Coeficientes y parámetros por crecidas seleccionadas para el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella.	43
12: Coeficientes del método de Muskingum.	44
13: Resultados del análisis estadístico aplicado a la crecida Nº4	45
14: Coeficientes del método de Muskingum	45
15: Resultados del análisis estadístico aplicado a la crecida Nº6	46
16: Coeficientes del método de Muskingum	46
17: Resultados del análisis estadístico aplicado a la crecida Nº7	47
18: Coeficientes del método de Muskingum	48
19: Resultados del análisis estadístico aplicado a la crecida Nº1	49
20: Coeficientes del método de Muskingum	49
21: Resultados del análisis estadístico aplicado a la crecida Nº 3	50
22: Coeficientes del método de Muskingum	50
23: Resultados del análisis estadístico aplicado a la crecida Nº7	51
24: Datos de altura y caudal para la crecida Nº 1 en las estaciones de San Manuel,	

Ñiquén y Quella.	75
25: Datos de altura y caudal para la crecida N° 2 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.	76
26: Datos de altura y caudal para la crecida N° 3 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella	78
27: Datos de altura y caudal para la crecida N° 4 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.	80
28: Datos de altura y caudal para la crecida N° 5 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.	81
29: Datos de altura y caudal para la crecida N° 6 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.	83
30: Datos de altura y caudal para la crecida N° 7 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.	85
31: Datos de altura y caudal para la crecida N° 8 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.	87
32: Datos de altura y caudal para la crecida N° 9 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.	89
33: Datos de altura y caudal para la crecida N° 10 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.	91
34: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 4 entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.	100
35: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 6 entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.	100
36: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 7 entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.	101
37: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 9 entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.	101
38: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 10 entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.	102
39: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 1 entre las estaciones	

de Ñiquén y Quella.	102
40: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 2 entre las estaciones de Ñiquén y Quella.	103
41: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 3 entre las estaciones de Ñiquén y Quella.	103
42: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 7 entre las estaciones de Ñiquén y Quella.	104
43: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 8 entre las estaciones de Ñiquén y Quella.	104
44: Resultado de la aplicación de la prueba de Bland y Altman en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén	117
45: Resultado de la aplicación de la prueba de Bland y Altman en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella.	118
46: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén para la crecida N° 4.	120
47: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén para la crecida N° 6.	120
48: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén para la crecida N° 7.	120
49: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén para la crecida N° 9.	121
50: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén para la crecida N° 10.	121
51: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella para la crecida N° 1.	121
52: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella para la crecida N° 2.	122
53: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella para la crecida N° 3.	122
54: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo	

comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella para la crecida N° 7.	122
55: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella para la crecida N° 8.	123
56: Resumen de las pruebas de bondad de ajuste aplicadas al tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén, para la validación de las crecidas.	125
57: Resumen de las pruebas de bondad de ajuste aplicadas al tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quela, para la validación de las crecidas.	125



## RESUMEN

La presente memoria tiene por objetivo evaluar y determinar si el método de Muskingum de tránsito de avenidas, es aplicable a cuencas de la Región del Maule.

Para la confección de la actual memoria se utilizó la información hidráulica proveniente de 20 crecidas controladas, 10 de las cuales se utilizaron para la calibración del método, y las siguientes 10 para la validación del mismo. Las crecidas fueron medidas en tres estaciones fluviométricas vecinas ubicadas en el río Perquilauquén, a saber, San Manuel, Ñiquén y Quella. A través de limnigramas fueron obtenidas las alturas del caudal en las tres estaciones y luego, mediante curvas de descarga, se obtuvo el caudal del río en  $m^3/s$  en dichas estaciones. Con estos datos se procedió a realizar los cálculos necesarios para determinar los parámetros (K y X) y los coeficientes ( $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$ ) del método de Muskingum, con los cuales se llegó a determinar la expresión matemática del método, expresión con la cual se validó. Asimismo se aplicaron pruebas de bondad de ajuste para la calibración y la validación, las cuales fueron Coeficiente de Determinación, Error Estándar de Estimación, concordancia de Bland y Altman y U de Mann Whitney.

Los resultados permitieron deducir que en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén en general no es posible modelar el tránsito de avenidas a través del método de Muskingum, debido principalmente a que existen grandes aportaciones intermedias, entre las estaciones. Contrapuesto al resultado anterior es la situación comprendida entre las estaciones de Ñiquén y Quella donde en general es posible modelar a través de esta ecuación, debido a que este tramo no presenta aportaciones intermedias entre las estaciones y la distancia entre ellas es reducida.

En función de lo expuesto el método de Muskingum sólo posee validez cuando los volumen de entrada y salida del tramo son similares y no existen aportaciones intermedias de relevancia. De acuerdo con lo anterior, se recomienda para próximos trabajos relacionados, tomar en consideración la diferencia de volumen entre las estaciones.

## SUMMARY

The present memory must by objective evaluate and determine if the method of Muskingum of flood routing, is applicable to river basins of the Region of the Maule.

For the preparation of the present memory I am used the originating hydraulic information of 20 controlled swellings, 10 of which they were used for the calibration of the method, and following the 10 for the validation of the same one. The swellings were measured in three located neighboring fluviométricas stations in the Perquillauquén river, that is to say, San Manuel, Ñiquén and Quella. Through limnigramas the heights of the volume in the three stations were obtained and soon, by means of unloading curves, the volume of the river in  $m^3/s$  in these stations was obtained. With these data it was come to make the calculations necessary to determine the parameters (K and X) and the coefficients (C1, C2 and C3) of the method of Muskingum, with which it was gotten to determine the mathematical expression of the method, expression with which it was validated. Also the calibration and the validation were applied to tests of kindness of adjustment for, to knowing Coefficient of Determination, Standard Error of Estimation, Bland and Altman and U of Mann Whitney.

The results allowed to deduce mainly that in the section between the stations of San Manuel and Ñiquén in general it is not possible to model the transit of avenues through the method of Muskingum, had to that great intermediate contributions exist, between the stations. Opposed al previous result is the situation between the stations of Ñiquén and Quella where in general it is possible to model to traverse of this equation, had to that this section does not present/display intermediate contributions between the stations and the distance among them are reduced.

Based on exposed the method of Muskingun it only has validity when the volume of entrance and exit of the section are similar and intermediate contributions of relevance do not exist. In agreement with the previous thing, it is recommended for next related works, to take in consideration the difference from volume between the stations.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El tránsito de avenidas es un método que hace referencia a conceptos hidrológicos fundamentales, como la relación precipitación – escorrentía y el hidrograma unitario instantáneo (HUI). Su aplicación desempeña una gran función en el dimensionamiento de presas y obras para el control de inundaciones.

Normalmente, el sitio donde se miden los escurrimientos o donde se encuentra una presa para el control de inundaciones, se localiza varios kilómetros aguas arriba del punto donde las avenidas pueden causar daños, debido a las condiciones topográficas y geológicas que deben existir para construir una presa o las que debe reunir el sitio para instalar una estación fluviométrica (Aparicio, 2003).

Es necesario por ello, contar con métodos que permitan conocer la variación de un hidrograma al recorrer un tramo del cauce, para poder determinar el efecto de presas reguladoras en tramos aguas abajo, y ello con el fin de diseñar taludes de protección contra inundaciones. La simulación de la variación de un hidrograma al recorrer un cauce se conoce como tránsito de avenidas en cauces (Solís, J. 2003).

Los métodos existentes para el tránsito de avenidas en cauces se pueden dividir en dos tipos: hidráulicos e hidrológicos. Los métodos hidráulicos se basan en la solución de las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento, para escurrimiento no permanente. Mientras que los métodos hidrológicos utilizan simplificaciones de las ecuaciones de conservación de masa y conservación de cantidad de movimiento, para llegar a soluciones más simples, pero menos aproximadas que las que se logran con los métodos hidráulicos (Linsley *et al*, 1988).

El método de Muskingum fue presentado por primera vez en 1938. Utiliza la ecuación de continuidad simplificada, y una relación algebraica entre el almacenamiento en el tramo y las entradas y salidas.

En el presente estudio se pretende modelar el tránsito de una avenida en el río Perquilauquén, por medio del método de Muskingum, para lo cual se tomarán 10 tormentas para calibrar los coeficientes de dicho modelo ( $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$ ) y posteriormente se tomarán 10 tormentas para la validación del método.

## 2.- OBJETIVOS

### 2.1.- Objetivo General

Determinar si el método Muskingum de tránsito de avenidas, es aplicable a cuencas de la Región del Maule.

### 2.2.- Objetivos Específicos

- Calibrar los coeficientes del método Muskingum en el río Perquillauquén, Región del Maule en base a crecidas controladas.
- Validar, si es posible, la aplicación del método Muskingum, en el río Perquillauquén.

### 3.- ANTECEDENTES GENERALES

El área donde se ubican las unidades hidrográficas a estudiar se encuentra ubicada en la VII Región administrativa del país o Región del Maule, y se extiende entre los 36° 03'00" y 36°25'00" de latitud sur, correspondiente a la Provincia de Linares.

#### 3.1.- Clima.

Según Santibáñez 1990, el clima de la Región del Maule se encuentra dominado por condiciones anticiclónicas durante buena parte del año y por condiciones frontales intermitentes durante el invierno. En consecuencia, en la Región del Maule existe una variedad de tipos climáticos que van desde un templado cálido con lluvias intermitentes y bastante nubosidad, en la cordillera de la costa y valle central, hasta el tipo frío en la Cordillera de los Andes. En este contexto según el atlas geográfico de Chile para la educación (1985), la VII Región posee una estación seca que dura 8 meses, y una concentración del máximo de lluvias en otra húmeda desde mayo a Septiembre, siendo los meses de mayor pluviosidad, Junio y Julio.

Por su parte, durante la estación seca se presentan las máximas temperaturas medias de 19° C, y extremas de 30° C, en los valles y cuencas interiores; mientras que en el periodo húmedo las temperaturas mínimas medias son de 7° C.

En la zona central y hacia el sur del país, las precipitaciones se van incrementando como producto de una mayor actividad frontal. En el área de Linares, al sur de la región del Maule, la precipitación media anual alcanza los 895 mm.

### 3.2.- Hidrografía

El río Perquilauquén es un tributario del río Loncomilla en la Región del Maule. El río se une al Longaví para formar el río Loncomilla, un importante tributario del río Maule.

El Perquilauquén tiene uno de los cursos más curiosos de la hidrografía chilena. Inicialmente, corre desde el sureste hacia el noroeste y forma el límite entre las provincias de Linares y Ñuble. Luego, cambia su curso y fluye hacia el norte, extendiéndose después hacia el este y, nuevamente hacia el norte, hasta que se junta con las aguas del Longaví.

A lo largo de su cauce que se extiende por 190 km y que drena una hoya de 5.023 km<sup>2</sup>, el río presenta una complicada trama de drenaje, ya que desagua porciones de la precordillera andina, de la depresión intermedia y de la cordillera de la Costa. Esta última, a su vez, representa una red hidrográfica compleja que se canaliza por el río Cauquenes para desaguar hacia el oriente, en la depresión intermedia (Cade – Idepe, 2004).

Las aguas del río Perquilauquén son utilizadas principalmente en el riego de terrenos agrícolas.

### 3.3.- Descripción de las estaciones fluviométricas

La determinación de las estaciones a considerar para desarrollar el método de Muskingum de tránsito de avenidas en cauces, se realizó bajo cierto requerimiento específico que debe ser considerado a la hora de llevar a cabo dicho modelo, el cual es que el cauce presente estaciones fluviométricas vecinas, es decir, estaciones que se encuentren relativamente cercanas y que en el tramo donde se localizan estas estaciones, no se produzcan grandes aportaciones. Por esta razón es que se eligió el río Perquilauquén, ya que presenta tres estaciones vecinas relativamente cercanas.

A continuación se presentan algunos datos de estas estaciones:

- Estación San Manuel: Esta estación se encuentra a 280 m. sobre el nivel de mar y esta localizada en los 36° 25' 00'' de Latitud S y los 71° 30' 00'' de Longitud O
- Estación Ñiquén: Esta estación se encuentra a 140 m. sobre el nivel de mar y esta localizada en los 36° 14' 00'' de Latitud S y los 72° 00' 00'' de Longitud O
- Estación Quella: Esta estación se encuentra a 120 m. sobre el nivel de mar y esta localizada en los 36° 03' 00'' de Latitud S y los 72° 05' 00'' de Longitud O

Las tres estaciones pertenecen a la cuenca del río Maule, subcuenca río Perquilauquén alto.

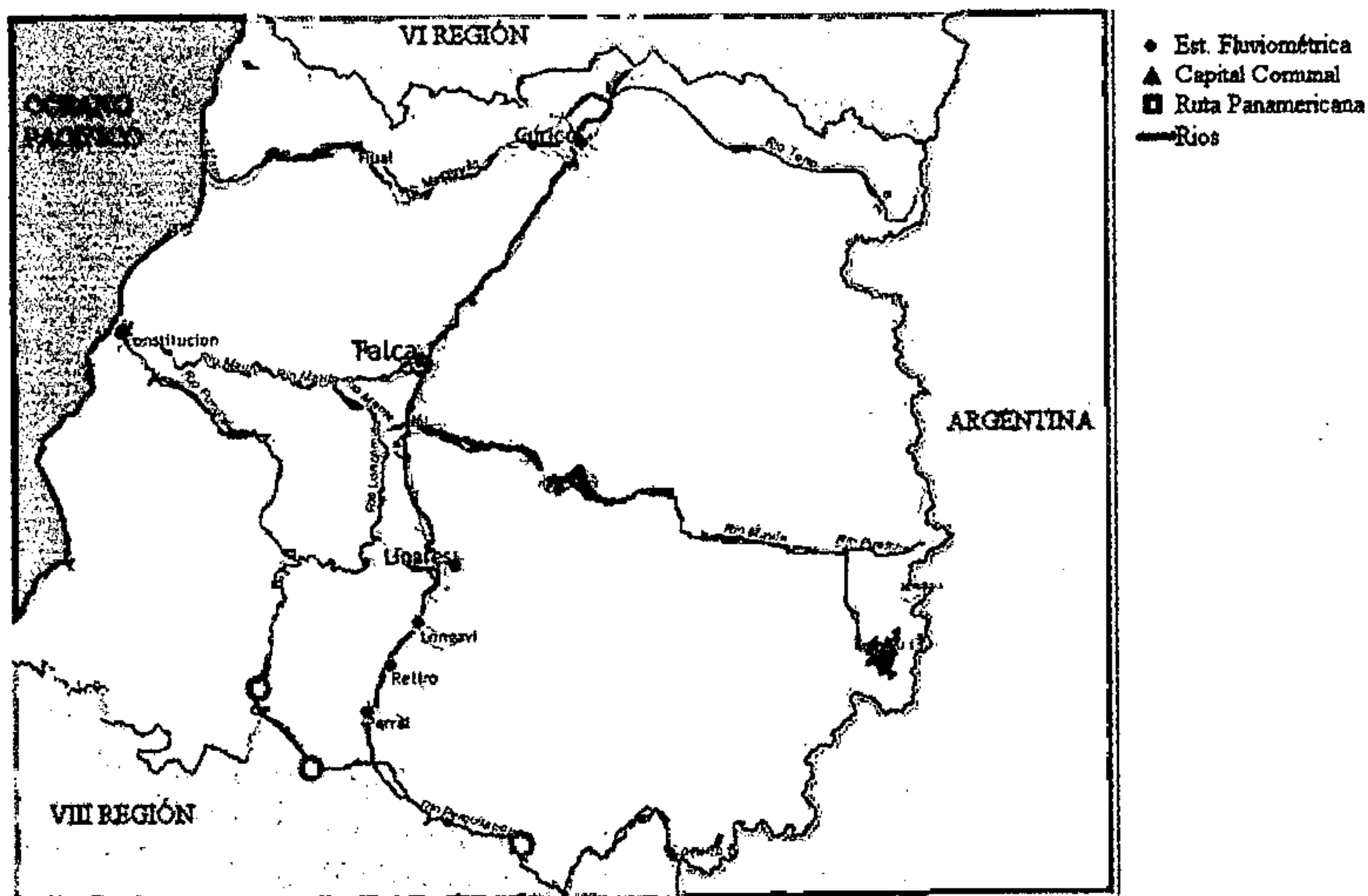


Figura N° 1: Mapa de ubicación de las estaciones fluviométricas



## 4.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 4.1.- Tránsito de Avenidas

Un volumen de escurrimiento procedente de la parte alta de una cuenca se mueve aguas abajo como una onda cuya forma en varias estaciones se puede calcular mediante una técnica conocida como cálculo del tránsito de crecidas. El estudio del tránsito de ondas de avenidas a través de embalses y canales se logra mediante muchos métodos que se basan en las ecuaciones de continuidad y energía:

$$A \frac{\delta v}{\delta x} + v \frac{\delta A}{\delta x} + \frac{\delta A}{\delta x} = q$$

$$\frac{\delta v}{\delta t} + v \frac{\delta v}{\delta x} + g \frac{\delta h}{\delta x} + \frac{v \cdot q}{A} = g (s - sf)$$

donde  $t$  es el tiempo,  $x$  la longitud en la dirección del flujo,  $A$  el área de la sección transversal,  $v$  la velocidad media sobre  $A$  en la dirección de  $x$ ,  $q$  el incremento lateral del caudal por unidad de longitud de  $x$ ,  $g$  la aceleración de la gravedad,  $h$  la altura media del agua,  $s$  la pendiente longitudinal del canal y  $sf$  la pendiente de fricción. Estas ecuaciones son la base de todos los métodos de cálculo del tránsito de avenidas en ríos y en embalses (Solís, 2003).

#### 4.1.1.- Tránsito de avenidas en vasos

El tránsito de avenidas en vasos tiene por objetivo principal obtener el hidrograma de salida de una presa a partir de su hidrograma de entrada. Este procedimiento resulta de gran utilidad, ya que algunas de sus aplicaciones son:

a) Conocer el volumen de agua que deberá pasar por la obra de excedencias ante una elevación del vaso, y saber si la operación de las compuertas del conducto es adecuada

o no, para que cuando se presente una avenida no ponga en riesgo la presa, los bienes materiales o las vidas humanas que se encuentren aguas abajo.

b) Dimensionar la obra de excedencias, que será la encargada de conducir el volumen de agua que sobrepasa la capacidad de almacenamiento del vaso.

c) Calcular el nivel de aguas máximo extraordinario, para dimensionar obras tales como desvíos y terraplenes (Solís, 2003).

Para determinar el tránsito de avenida en vasos, se hace necesario el uso de la ecuación de continuidad, que está expresada por los siguientes términos:

$$I - O = \frac{dV}{dt}$$

Donde:

I: Gasto de entrada al vaso

O: Gasto de salida del vaso

$\frac{dV}{dt}$ : Variación del volumen almacenado en el tiempo

o bien expresado en diferencias finitas:

$$\frac{I_i + I_{i+1}}{2} - \frac{O_i + O_{i+1}}{2} = \frac{V_{i+1} - V_i}{\Delta t}$$

Donde los subíndices  $i$  e  $i+1$  expresan valores al comienzo y al final del intervalo de tránsito  $\Delta t$ , respectivamente.

En el tránsito de avenidas el valor de  $\Delta t$  es considerablemente más pequeño en comparación al empleado en la simulación del funcionamiento de vasos; en el primero de los casos  $\Delta t$  es del orden de horas, mientras que en el segundo de ellos  $\Delta t$  es en general de un mes. Por esta razón, durante el tránsito de una avenida los términos de la lluvia directa en el vaso, la evaporación y la infiltración tienen valores muy pequeños y son ignorados. Es

recomendable que el  $\Delta t$  que se esté usando sea menor o igual a una décima parte del tiempo de punta del hidrograma de entrada, lo que se expresa como:

$$\Delta t \leq 0.1 t_p$$

Durante el tránsito de una avenida por un vaso, los hidrogramas de entrada y salida son de la forma que se muestra en la figura N° 2. En la gráfica se observa que antes del tiempo  $t_0$ , las condiciones están establecidas y la entrada es igual a la de salida. En el intervalo  $t_0 < t < t_1$ , la entrada es mayor a la salida, aumenta el volumen de almacenamiento y el máximo nivel del vaso. El área que se forma entre los dos diagramas, entre  $t_0$  y  $t_1$ .

$$V_s = \int_{t_0}^{t_1} (I - O) dt$$

Esta ecuación representa el volumen máximo almacenado que habrá en la presa, lo que significa que será el volumen de superalmacenamiento requerido para la avenida de entrada  $I(t)$  considerada, y el nivel que tiene el vaso en tiempo  $t_1$  será el nivel de aguas máximo extraordinario necesario para esa misma avenida. Cuando  $t < t_1$ , las salidas son mayores a las entradas y, el volumen almacenado en el vaso disminuye (Solís, 2003).

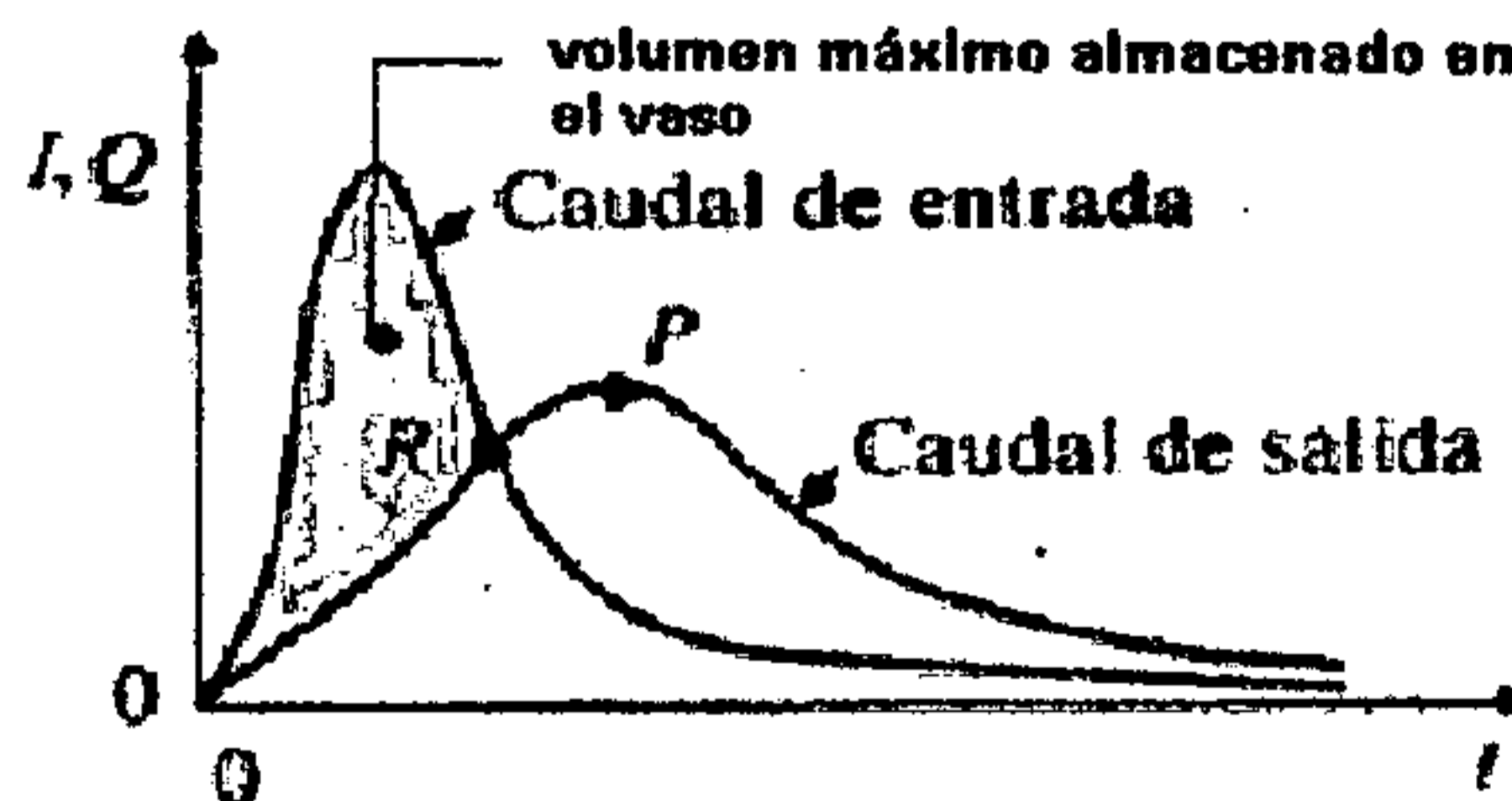


Figura N° 2: Hidrogramas de entrada y salidas

Al analizar el tránsito de una avenida por un vaso, en cualquier instante que se requiera, se cuenta con los datos de entrada, salida y volumen en un instante  $i$ , y se desean

conocer en un instante  $i+1$ , con lo que la ecuación de continuidad tiene dos incógnitas  $O_{(i+1)}$  y  $V_{(i+1)}$ , por lo que se requiere de una ecuación para tener un sistema determinado.

Esta ecuación es la que relaciona los gastos que salen por el conducto con la altura de la superficie libre del agua, que generalmente tiene la forma de la ecuación que se presenta a continuación:

$$O_v = CL (E - E_0)^{3/2}, \quad E > E_0$$

Donde:

$E$ : Elevación de la superficie libre del vaso, m.

$E_0$ : elevación de la cresta del vertedor, m.

$L$ : longitud de la cresta del vertedor, m.

$C$ . es un coeficiente de descarga

$O_v$ : gasto por el vertedor de excedencias,  $m^3/s$

Para el coeficiente de descarga, el valor que se adopta normalmente es igual a 2, lo que es un valor aproximado para realizar el cálculo del tránsito de una avenida. Claro que si  $E < E_0$ ,  $O_v$  será igual a cero (Solís, 2003).

Esta ecuación es válida para cuando la descarga por el conducto es libre; esto quiere decir que el conducto no tenga compuertas. Si se requiere utilizar la ecuación anterior para el caso de una presa que tenga compuertas y se desee analizar durante el paso de una avenida, la ecuación anteriormente mencionada se sustituirá por la regla de operación de compuertas, con la única limitante de que el gasto que deberá descargar será menor o igual a  $O_v$ . Para el caso que la obra de toma esté funcionando al mismo tiempo en que la avenida esté pasando, la salida total de la presa ( $O$ ) será igual a la suma del gasto que descarga la obra de toma ( $O_t$ ), más la descarga del conducto ( $O_v$ ), siendo así:

$$O = O_v + O_t$$

Con lo que la curva de elevación – volúmenes del vaso, se obtiene de un sistema de ecuaciones determinado, cuya solución proporciona las salidas y volúmenes en el vaso, a cada intervalo de tiempo.

Por otra parte existen dos procedimientos para desarrollar el método del tránsito de avenida en vasos: el semigráfico, que es muy útil para cuando los cálculos son manuales, y el numérico, que es empleado cuando se tiene una computadora o una calculadora programable.

#### 4.1.2.- Tránsito de avenidas por cauces

Regularmente el lugar donde se hacen las mediciones de escurrimiento o en donde se encuentra una presa para el control de inundaciones se localiza varios kilómetros aguas arriba del punto donde las avenidas pueden causar daños. Es necesario contar con métodos que permitan conocer la variación de un hidrograma a lo largo de un cauce, con el objetivo de determinar el efecto de las presas reguladoras aguas abajo, y así poder diseñar taludes de protección contra inundaciones. A la simulación de la variación de un hidrograma, al recorrer un cauce, se le conoce como tránsito de avenidas en cauces (Solís, 2003).

Este problema se asemeja al tránsito de avenidas en vasos en el sentido de que el río presente una especie de almacenamiento alargado y de que la solución se da a través de la ecuación de continuidad y alguna relación entre almacenamiento y gasto de salida. Sin embargo, en este método se presentan algunos problemas adicionales como:

a) No se tienen planos topográficos del tramo y la relación descargas – volúmenes no se conoce.

b) Casi siempre se tienen entradas a lo largo del tramo del cauce, adicionales a las de la sección aguas arriba, que se desconocen.

c) El nivel de la superficie libre del agua en el río no es horizontal, como en el caso de tránsito de avenida en vasos, lo que implica que un mismo tirante en el extremo final del tramo se puede formar para diferentes gastos de salida (Aparicio, 2003).

#### 4.2.- Métodos para Calcular el Tránsito de Avenidas en Cauces

##### 4.2.1.- Método hidráulico

Los métodos hidráulicos se basan en la solución de las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento, para escurrimiento no permanente. En su forma diferencial, estas ecuaciones son:

Conservación de masa:

$$y \left( \frac{dv}{dx} \right) + v \left( \frac{dy}{dx} \right) + \left( \frac{dy}{dt} \right) = \frac{q}{B}$$

Conservación de cantidad de movimiento:

$$\left( \frac{dv}{dt} \right) + v \left( \frac{dv}{dx} \right) + g \left( \frac{dy}{dx} \right) = g(S_o - S_f)$$

donde:

y: tirante

v: velocidad

q: gasto lateral

B: ancho de la superficie libre

So: pendiente del fondo

Sf: pendiente de fricción; si se calcula con la fórmula de Maning:

$$Q = \frac{A * r^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Donde:

Q: caudal,  $m^3/s$

A: área,  $m^2$

r: radio hidráulico

n: coeficiente de Maning

S: pendiente hidráulica, m/m

Las ecuaciones de conservación de masa y conservación de cantidad de movimiento forman un sistema de ecuaciones diferenciales parciales hiperbólicas no lineales, del que no existe una solución analítica conocida. Por ello, es necesario resolverlo usando algún método numérico como el de las características diferenciales finitas o elementos finitos.

#### 4.2.2.- Método hidrológico

Además de las técnicas que incorporan ambas ecuaciones de St. Venant (conservación de masa y conservación de cantidad de movimiento), existen varios métodos que sólo usan la ecuación de continuidad. Dichos métodos hidrológicos de tránsito de avenidas son muy usados. Estas técnicas, estudian exclusivamente la onda de propagación de crecidas al considerar los aumentos y disminuciones de almacenamiento en tramos que están entre dos puntos de medición. El modelo hidrológico es mucho más sencillo y es más fácil tener en cuenta los caudales afluentes provenientes de una variedad de fuentes. Sin embargo, como la relación entre el almacenamiento y el flujo se determina empíricamente estos métodos no se pueden usar directamente cuando los datos de flujo o los niveles se requieren para propósitos de diseño (OMM, 1994).

Al usar los métodos hidrológicos de tránsito, el flujo en un punto aguas arriba está determinado, y el tránsito se usa para calcular el flujo y el nivel del agua en un punto aguas abajo. El tránsito consiste en la solución de la siguiente ecuación usando una relación entre el almacenamiento y el flujo:

$$I dt - Q dt = dS$$

donde  $I$  y  $Q$  son los caudales de los puntos aguas arriba y aguas abajo, respectivamente,  $S$  es el almacenamiento y  $t$  el tiempo. La solución de esta ecuación implica aproximaciones concernientes a la relación flujo/almacenamiento, que constituye la principal dificultad en el tránsito hidrológico del escurrimiento. Un cierto número de métodos prácticos de tránsito se basan en la ecuación:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{Q_1 + Q_2}{2} \Delta t = S_2 - S_1$$

donde los subíndices  $1$  y  $2$  representan el comienzo y el final de un incremento de tiempo  $t$ , respectivamente. Este incremento de tiempo o período de tránsito, nunca debe ser superior al tiempo de recorrido a través del tramo. Generalmente, el período de tránsito no debe exceder de la mitad del tiempo de recorrido. Con suficientes datos hidrométricos, se pueden deducir empíricamente las relaciones flujo/almacenamiento. Los métodos de tránsito más sencillos se basan en relaciones lineales entre el flujo y el almacenamiento, que hacen posible obtener soluciones analíticas (OMM, 1994).

#### 4.3.- Método de Muskingum

Este método, desarrollado por G. T. Mc Carthy en 1934, se basa en el principio que una onda de crecida desplazándose en un río, se amortigua a causa de la fricción del fondo y de las márgenes, así como por los almacenamientos naturales en el lecho de inundación (Llamas, 1993).

La ecuación de Muskingum está planteada pensando en que el almacenamiento en un tramo de río se puede dividir en dos partes. El primero es un almacenamiento en prisma, que depende solamente de las salidas y sería el único si el nivel de superficie libre del agua fuera paralelo al fondo del río. Este almacenamiento se puede comparar con el que se tiene en el caso de un vaso. El otro tipo de almacenamiento, que en general no existe en el caso



de vasos, llamado almacenamiento en cuña, se debe al efecto de la pendiente de la superficie libre del agua en el gasto. Esta pendiente depende tanto de las entradas como de las salidas, y en el método de Muskingum el almacenamiento en cuña se toma como una función lineal de la diferencia de ambas:

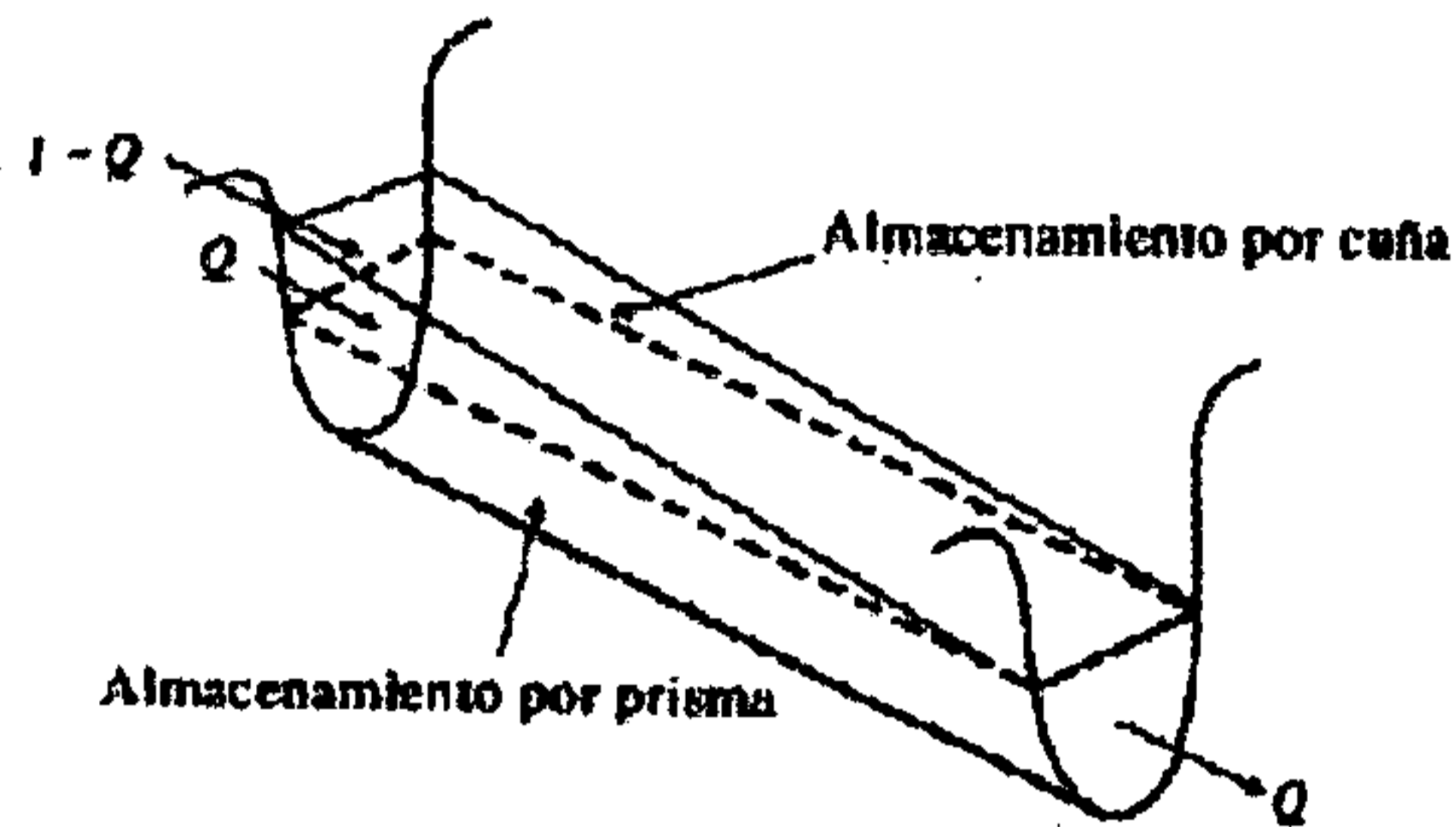


Figura N° 3: Almacenamiento durante el paso de una avenida. (Fuente: Aparicio, 2003)

Durante el periodo de crecida, el caudal de entrada en una sección aguas arriba es superior al de salida en una sección aguas abajo. El almacenamiento toma la forma de un prisma con la base aguas arriba. En el bajante de la crecida la situación es inversa y el prisma de almacenamiento tiene su base en la sección aguas abajo (Llamas, 1993).

Suponiendo que el área de la sección transversal del flujo de creciente es directamente proporcional al caudal en la sección, el volumen de almacenamiento por prisma es igual a  $KQ$  donde  $K$  es un factor de proporcionalidad, y el volumen de almacenamiento por cuña es igual a  $KX(I-Q)$ , donde  $X$  es un factor de ponderación dentro del rango  $0 < X < 0.5$ . El almacenamiento total es por consiguiente la suma de dos componentes,

$$S = K[Q + (1 - Q)X]$$

La cual puede reordenarse para dar la función de almacenamiento para el método de Muskingum,

$$S = K[Q + X - QX]$$

Y representa un modelo lineal para el tránsito de caudales en corrientes  $K[Q(1-X)+X]$ .

El valor de  $X$  depende de la forma de almacenamiento por cuña modelado. El valor de  $X$  varía desde 0.0 para un almacenamiento tipo embalse, hasta 0.5 para una cuña completamente desarrollada. Cuando  $X = 0.0$ , no existe cuña y por consiguiente no existe curva de remanso; éste es el caso para un embalse de piscina nivelada. En este caso la ecuación anterior resulta en un modelo de embalse lineal  $S = KQ$ . En corrientes naturales,  $X$  se encuentra entre 0.0 y 0.3 con un valor medio cercano a 0.2; asimismo, no se necesita una gran precisión en la determinación de  $X$  debido a que los resultados del método son relativamente insensibles al valor de este parámetro. El parámetro  $K$  es el tiempo de tránsito de una onda de creciente a través del tramo de canal. Para el tránsito hidrológico, los valores de  $K$  y  $X$  se suponen especificados y constantes para todo el rango de flujo (Chow *et al*, 1994).

Los valores de almacenamiento en el tiempo  $j$  y  $j+1$  pueden escribirse, respectivamente como,

$$S_j = K[X I_j + (1-X)Q_j]$$

y

$$S_{j+1} = K[X I_{j+1} + (1-X)Q_{j+1}]$$

Utilizando las ecuaciones anteriores, el cambio del almacenamiento durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$  es

$$S_{j+1} - S_j = K\{[X I_{j+1} + (1-X)Q_{j+1}] - [X I_j + (1-X)Q_j]\}$$

El cambio en el almacenamiento, también puede expresarse, como:

$$S_{j+1} - S_j = \frac{(I_j + I_{j+1})}{2} \Delta t - \frac{(Q_j + Q_{j+1})}{2} \Delta t$$

Combinando las ecuaciones anteriores y simplificando, se obtiene la siguiente ecuación

$$Q_{j+1} = C_1 I_j + C_2 I_j + C_3 Q_j$$

que es la ecuación de tránsito para el método de Muskingum, donde

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2KX}{\alpha}$$

$$C_2 = \frac{\Delta t + 2KX}{\alpha}$$

$$C_3 = \frac{2K(1-X) - \Delta t}{\alpha}$$

Donde,  $\alpha = 2K(1-X) + \Delta t$

Si se encuentran disponibles hidrogramas de entrada y salida observados para un tramo de río, pueden determinarse los valores de K y X. Suponiendo varios valores de X y utilizando valores conocidos de caudal de entrada y caudal de salida, pueden calcularse valores sucesivos del numerador y denominador para la siguiente expresión de K,

$$K = \frac{0.5\Delta t [(I_{j+1} + I_j) - (Q_{j+1} + Q_j)]}{X(I_{j+1} - I_j) + (1-X)(Q_{j+1} - Q_j)}$$

Los valores calculados de denominador y de numerador se grafican para cada intervalo de tiempo, con el numerador en la escala vertical y el denominador en la escala horizontal. Esto usualmente produce una gráfica en forma de rizo. El valor de X que produzca el rizo más parecido a una línea única se toma como el valor correcto para ese tramo, y K, de acuerdo con la ecuación anterior, es igual a la pendiente de esa línea. Como

K es el tiempo requerido para que la onda de creciente incremental atraviese el tramo, su valor también puede estimarse como el tiempo de tránsito observado del pico de flujo a través del tramo (Chow *et al*, 1994).

Si no se encuentran disponibles los hidrogramas de entrada y de salida para determinar K y X, sus valores pueden estimarse utilizando el método de Mukingum – Cunge (Gill, 1999).

#### 4.4.- Aplicaciones del tránsito de avenidas

Debido a que el agua se encuentra presente en casi todas las actividades desarrolladas por el hombre, es comprensible que el tránsito de avenidas tenga muchos campos de aplicación. Contrariamente a lo señalado por la Organización Mundial de Meteorología 1994, Strupczewski y Kundzewicz 1980, señalan algunas áreas de aplicación del tránsito de avenidas, a saber:

- Diseño, construcción, operación y mantenimiento de estructuras de toma, represamiento, conducción y medición.
- Estudio y control de procesos fluviales, estabilidad de taludes, encauzamiento y protección de riberas

Por otro lado Birkhead y James 2002, señalan que el tránsito de avenidas se utiliza principalmente para predecir los niveles de máxima crecida, el volumen del agua y el desarrollo temporal del flujo. Estas predicciones son necesarias para determinar el nivel de máxima crecida en lugares río abajo; pronosticar el nivel que pueden alcanzar las crecidas en las llanuras de inundación; y realizar otros cálculos que dependen del caudal.

Otro uso del tránsito de avenidas consiste en demostrar cómo una represa o un embalse de control de crecidas, afectará al volumen de agua que una tormenta puede producir río abajo. Los embalses almacenan temporalmente el caudal de una crecida. Debido a que el máximo caudal efluente es menor que el máximo caudal afluente, el embalse descarga el volumen de agua más lentamente de lo que hubiera sido el caso natural. Esto significa que un embalse puede reducir o atenuar el caudal máximo y atrasar o posponer el desarrollo temporal de la crecida máxima.

## 5.- METODOLOGÍA

La metodología consta de dos partes. En la primera, se describen las nueve fases de trabajo en las cuales se dividió el estudio, y en la segunda, se mencionan los materiales, equipos y programas computacionales requeridos en el desarrollo de la memoria.

### 5.1.- Etapas del Estudio

Para la realización de este estudio se considera el método de Muskingum propuesto en 1934 por G. T. Mc Carthy, para la determinación del tránsito de avenidas en cauces, el cual se debe efectuar en un río o cauce que cuente con estaciones fluviométricas vecinas, es decir, estaciones que se encuentren relativamente cercanas y que, en el tramo donde se localizan estas estaciones, no se produzcan grandes aportaciones. A continuación se presentan las etapas de este estudio

#### 5.1.1.- Revisión bibliográfica

Fundamentalmente, este ítem contempló la recopilación de información referida a estudios relacionados con el tránsito de avenidas y específicamente al método de Muskingum y sus aplicaciones, desarrollados a nivel nacional e internacional, además de información necesaria para realizar una descripción de todos los conceptos utilizados en esta memoria.

Cabe destacar, que la información se obtuvo, en primer lugar, a partir de textos especializados de instituciones universitarias, bibliotecas e Internet. En este sentido, la información recopilada corresponde a la teoría presentada en los capítulos de antecedentes generales y revisión bibliográfica, y parte de la utilizada para complementar el capítulo de metodología.

### 5.1.2.- Obtención de información

La información necesaria para la realización de este estudio fue proporcionada por la Dirección General de Aguas (DGA), la cual consiste en datos de limnigramas y curvas de descarga con los que se construyeron los hidrogramas de 20 crecidas controladas del río Perquilauquén, en tres estaciones vecinas (San Manuel, Ñiquén y Quella).

#### *Selección de las crecidas*

De acuerdo a los limnigramas del río Perquilauquén, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella, comprendidos entre los años 1997 y 2001, se preseleccionaron 20 crecidas aleatoriamente.

El criterio de preselección de las crecidas en estudio consistió, en primera instancia, en considerar aquellas crecidas que fueran legibles en las tres estaciones. A partir de esto, se estableció un total de 20 crecidas.

La selección de las 20 crecidas definitivas, se realizó de acuerdo a si presentaban un volumen acorde a los requerimientos del método de Muskingum, es decir, el caudal de entrada de una crecida en la primera estación, debe ser mayor que el caudal de salida de la misma crecida en la segunda estación.

#### *Digitalización de las crecidas en estudio*

Una vez que las 20 crecidas fueron preseleccionadas, se procedió a realizar una planilla donde se ingresaron los datos obtenidos de los limnigramas, es decir, metros de altura versus hora; una vez efectuada esta tarea, se procedió a obtener los metros cúbicos por hora del caudal, faena que fue posible realizar al comparar los datos del limnigrama con

las Curvas de descarga, curvas en las que se relaciona la altura del agua a un determinado caudal, en un tiempo determinado.

#### 5.1.3.- Calibración de los parámetros X y K del método de Muskingum

A través de los valores entregados por las estaciones fluviométricas, se calcularon las parejas de valores  $(V, [xI+(1-x)O])$ , para todos los tiempos establecidos, por medio de gráficas que relacionaron el volumen total almacenado y el resultado de la expresión  $[xI+(1-x)O]$ ; con ello se determinó el parámetro X, lo que se hizo a partir de la gráfica que más se ajusta a una línea recta, Asimismo y a través de la pendiente de dicha recta, se obtuvo el parámetro K.

#### 5.1.4.- Calculo de los coeficientes $C_1$ , $C_2$ y $C_3$ del método de Muskingum

Una vez obtenidos los parámetros K y X, factor de proporcionalidad y factor de ponderación respectivamente, es posible determinar los coeficientes  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  de la ecuación de Muskingum, a través de las expresiones que relacionan los parámetros anteriormente mencionados y un diferencial de tiempo.

#### 5.1.5.- Validación del método de Muskingum

Con los parámetros y coeficientes obtenidos de las primeras 10 crecidas utilizadas para la calibración del método, obtenidas de las estaciones fluviométricas de San Manuel, Ñiquén y Quella, se validó el modelo descrito anteriormente a través de la ecuación final del método de Muskingum, con 10 nuevas crecidas controladas, utilizadas exclusivamente para la validación del método.



### 5.1.6.- Análisis estadístico

En esta etapa del estudio se analizaron estadísticamente los datos obtenidos, donde se estableció si los datos eran paramétricos, o no paramétricos. Como los datos eran no paramétricos, se utilizaron métodos como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error estándar de estimación y la prueba de U de Mann - Whitney, entre otras, para analizar la calidad de las estimaciones.

#### *Estadística No Paramétrica*

Mientras los supuestos usados en la estadística paramétrica especifican la distribución original (generalmente la gaussiana), hay otros casos en la práctica donde no se puede hacer esto y donde no se puede especificar la forma de distribución original. Se requiere entonces otra metodología de trabajo, una estadística de distribuciones libres, donde no se necesitan hacer supuestos acerca de la distribución poblacional y donde se puede comparar distribuciones entre sí o verificar supuestos acerca de la forma de la población. La solución para estos casos es el empleo de la estadística no paramétrica (Canavos, G. 1993).

Hay ciertas ventajas en su uso, tales como:

- trabaja con magnitudes cualitativas, además de las cuantitativas
- estudia casos donde no es posible precisar la naturaleza de la distribución
- aplica el mismo modelo a casi todas las distribuciones en lugar de una sola;
- es más fácil de entender para quienes no poseen base matemática adecuada.

Y también tiene algunas desventajas como:

- cálculos usualmente más engorrosos;
- no extraen tanta información como los paramétricos, si se aplican al mismo caso;
- son menos eficientes si las muestras son grandes.

*Medidas de calidad de ajuste.*a. Coeficiente de Determinación ( $R^2$ )

Una vez determinada la nube de observaciones es importante disponer de una medida que evalúe la bondad del ajuste realizada y que permita decidir si el ajuste lineal es suficiente o se deben buscar modelos alternativos. Como medida de bondad del ajuste, se utiliza el coeficiente de determinación, definido como sigue

$$R^2 = \frac{scE}{scG} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y - \bar{Y})^2}$$

Como  $scE \leq scG$ , se verifica que  $0 \leq R^2 \leq 1$ , siempre y cuando se utilice estadística paramétrica. Con casos no paramétricos,  $R^2$  puede ser negativo.

El coeficiente de determinación mide la proporción de variabilidad total de la variable dependiente ( $Y$ ) respecto a su media, que es explicada por el modelo (Gujarati, D. 1992).

## b. Error Estándar de Estimación (EEE)

El error estándar de la estimación mide la dispersión de los valores observados alrededor de la recta de regresión.

Expresión utilizada para calcular el error estándar:

$$S_{Y.X} = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n - 2}}$$

Donde,  $n = N^\circ$  de observaciones

### c. Prueba U de Mann Whitney

La hipótesis nula del contraste es que las dos muestras, de tamaño  $n_1$  y  $n_2$ , respectivamente, proceden de poblaciones continuas idénticas;  $H_0: f_1(x) = f_2(x)$ . La hipótesis alternativa puede ser unilateral o bilateral y únicamente supone que la tendencia central de una población difiere de la otra, pero no una diferencia de forma o de dispersión. Por esta razón esta prueba es el equivalente no paramétrico de la prueba t para la diferencia de dos medias, cuando las muestras son independientes, pero no puede suponerse la normalidad de las poblaciones de origen (Canavos, G. 1993).

Para realizar el contraste se ordenan conjuntamente las observaciones de las dos muestras, de menor a mayor, y se les asignan rangos de  $n_1 + n_2$ . Si la tendencia central de ambas poblaciones es la misma, los rangos deberían distribuirse aleatoriamente entre las dos muestras y el rango medio correspondiente a las observaciones de una muestra debería ser muy similar al correspondiente a las observaciones de la otra. El estadístico de la prueba U de Mann Whitney se construye a partir de la suma de rangos de una de las muestras,  $R_i$ , elegida arbitrariamente:

$$U_i = n_1 * n_2 + \frac{n_i(n_i+1)}{2} - R_i \quad \text{donde } i=1, 2$$

Para tamaños de muestra pequeños, la distribución del estadístico U, bajo el supuesto de que la hipótesis nula sea cierta, es discreta y está tabulada. Si los tamaños son suficientemente grandes, la distribución del estadístico se aproxima a una normal de parámetros:

$$\mu_U = \frac{n_1 n_2}{2} \quad \sigma_U^2 = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}$$

El estadístico de prueba es el valor Z:

$$Z = \frac{U - \mu_U}{\sigma_U}$$

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

Esta prueba, es un método gráfico y analítico que permite discriminar cuánto difiere un método de otro ya establecido, es decir, permite discriminar cuál de los métodos en estudio se aproxima de mejor forma al valor real de la variable. Se basa en las diferencias promedio existentes entre el valor real y el estimado, y la comparación de las gráficas residuales. Además, permite apreciar la homogeneidad del error en la misma unidad de medida que los datos (Bland y Altman, 1999).

En términos estadísticos, el nivel de concordancia lo asignan las diferencias promedio (dp) entre el valor real y el estimado y la desviación estándar (SD) de dichas diferencias. Además, establece un límite de concordancia (LC) con un 95% de nivel de significación, definido por la expresión:

$$LC = dp \pm 1.96 * SD$$

De esta forma, el mejor ajuste será la relación valor real v/s valor estimado, con un valor dp lo más cercano a cero. En caso de existir diferencias mínimas del valor dp, se determina como mejor ajuste aquel que presente un menor valor SD y sus LC sean más estrechos (Bland y Altman, 1999).

En términos gráficos, esta prueba analiza la relación de las diferencias (DIF) v/s promedios (PROM) de los valores observados y predichos.

#### e. Coeficiente de Correlación

En el contexto del análisis de la regresión lineal simple el coeficiente de correlación establece una medida del grado de asociación lineal entre la variable real y la variable respuesta (Ausensi, P. 2005)

Se define, a partir de los n pares de observaciones, mediante

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Verificándose que  $-1 < r < 1$ . Este coeficiente es utilizado por la prueba de concordancia de Bland y Altman para su análisis.

#### 5.1.7.- Presentación de resultados

En esta etapa del estudio, se presentan todos los resultados obtenidos en el estudio, como los parámetros y coeficientes del método de Muskingum, los análisis estadísticos aplicados, las graficas de los limnigramas y los hidrogramas de entradas y salidas.

#### 5.1.8.- Análisis de resultados

En esta parte se pretendió analizar desde un punto de vista crítico los resultados obtenidos en el presente estudio, el comportamiento del caudal, las diferencias de los parámetros y los coeficientes del método.

##### *Análisis de resultados, según crecida por estación*

Esta fase se llevó a cabo, una vez determinados los factores de proporcionalidad y de ponderación por crecida en cada estación del cauce, definido ello por un análisis individual que consistió en una caracterización del método de Muskingum, según sus coeficientes.

##### *Análisis de resultados, según crecidas, en las tres estaciones*

De la descripción anterior, se determinaron, por una parte, las características comunes presentes en las crecidas, es decir, similitud en sus factores, y por otra, los

intervalos de variación de algunos parámetros. A continuación, se compararon las características encontradas, y se establecieron las principales diferencias y similitudes.

#### *Análisis gráfico de los parámetros*

En esta fase se procedió a graficar todos los resultados de cada parámetro; primero, los de la estación San Manuel, luego la estación Ñiquén y finalmente la estación Quella, para cada crecida.

Este análisis gráfico de los resultados permite, por una parte apreciar con mayor claridad el comportamiento de los parámetros, y por otra, visualizar la variación de sus valores.

#### **5.1.9.- Conclusiones y recomendaciones**

En esta última etapa, se identificaron las ventajas y desventajas de los procedimientos aplicados tanto en la obtención de la información como en los parámetros, y a partir de los resultados obtenidos se entregaron conclusiones, de acuerdo a los objetivos planteados inicialmente.

Finalmente, se indicaron las recomendaciones que se estimaron convenientes para ser aprovechadas en futuras investigaciones ligadas al tránsito de avenidas.

#### **5.2.- Materiales y equipos**

Básicamente, en el desarrollo de este estudio se utilizaron los siguientes materiales, equipos y programas computacionales:

- Datos de crecidas reales en estaciones fluviométricas vecinas, los cuales fueron proporcionados por la Dirección General de Aguas (DGA).
  
- Equipos computacionales (PC e impresora):
  - Ordenador AMD Athlon, 900Mh, 512 en RAM.
  
- Programas computacionales para el tratamiento de la información, análisis gráfico, redacción del desarrollo del estudio y presentación final:
  - Procesador de texto: Microsoft Word.
  - Planilla electrónica: Microsoft Excel
  - Programa estadístico: Statgraphics

## 6.- PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En esta fase se dan a conocer los resultados obtenidos en el desarrollo de la memoria.

### 6.1 Selección de estaciones fluviométricas.

Básicamente correspondió al proceso de determinar las estaciones en las cuales serian seleccionadas las crecidas que constituyen la base del estudio. Estas estaciones se ubicaban en tramos contiguos, con baja o nula influencia de aportaciones externas, según la información entregada y poseían datos por más de 15 años. Así se seleccionaron tres estaciones en el cauce del río Perquilauquén:

Tabla N° 1: Estaciones seleccionadas en el río Perquilauquén

	<b>Altitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
<b>San Manuel</b>	280	36° 25' 00''	71° 30' 00''
<b>Ñiquén</b>	140	36° 14' 00''	72° 00' 00''
<b>Quella</b>	120	36° 03' 00''	72° 05' 00''

### 6.2 Determinación de crecidas controladas

Una vez seleccionadas las tres estaciones fluviométricas, se procedió a seleccionar las crecidas que serian estudiadas. Para ello, se determinó la información base que contemplan los hidrogramas de entrada, en las tres estaciones, para una misma crecida.

A continuación se presentan las gráficas de la misma crecida para las tres estaciones consideradas. Los valores de las crecidas, se exponen en el Apéndice I.



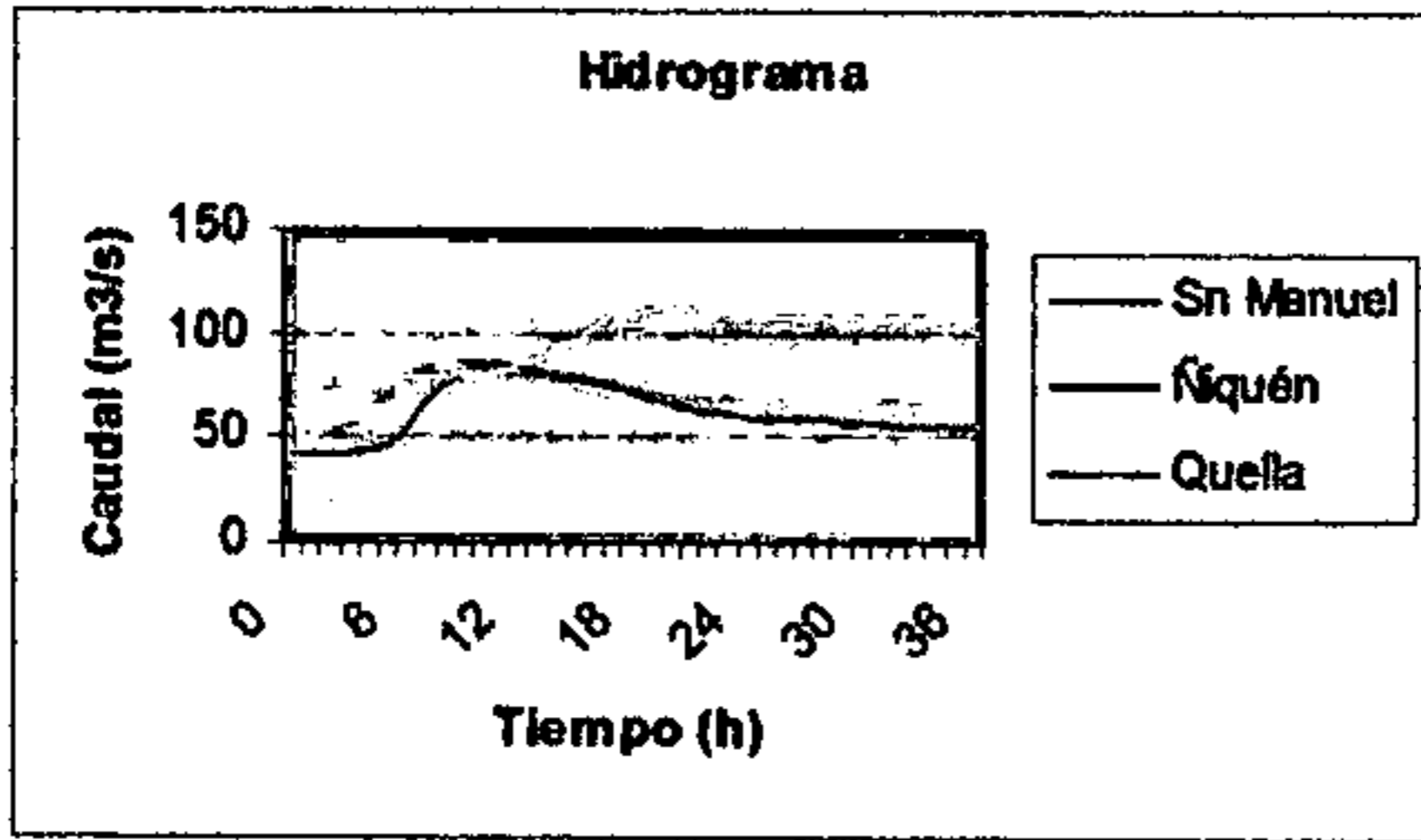


Figura N° 4: Hidrograma de entrada, Crecida 1.

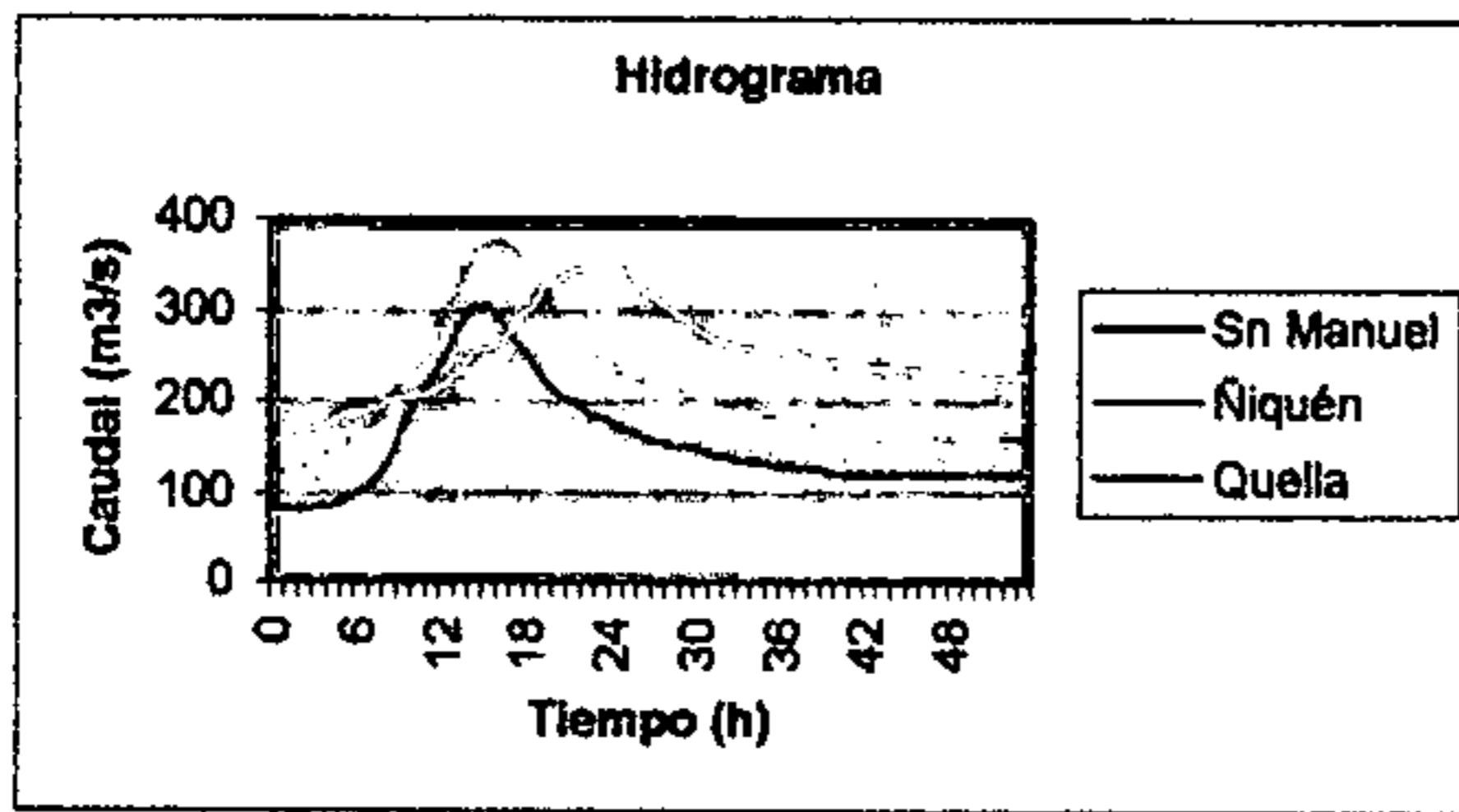


Figura N° 5: Hidrograma de entrada, Crecida 2.

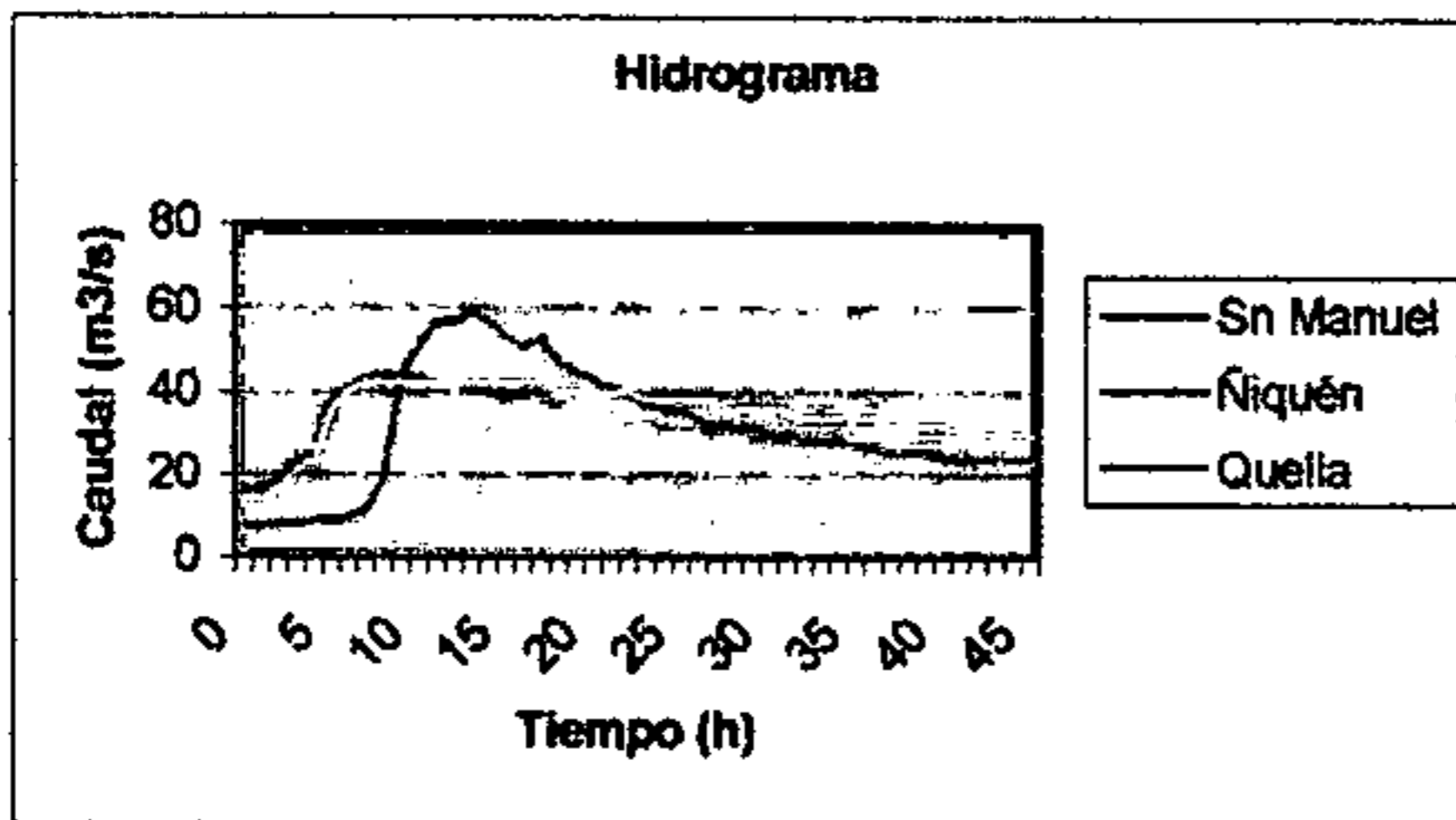


Figura N° 6: Hidrograma de entrada, Crecida 3.

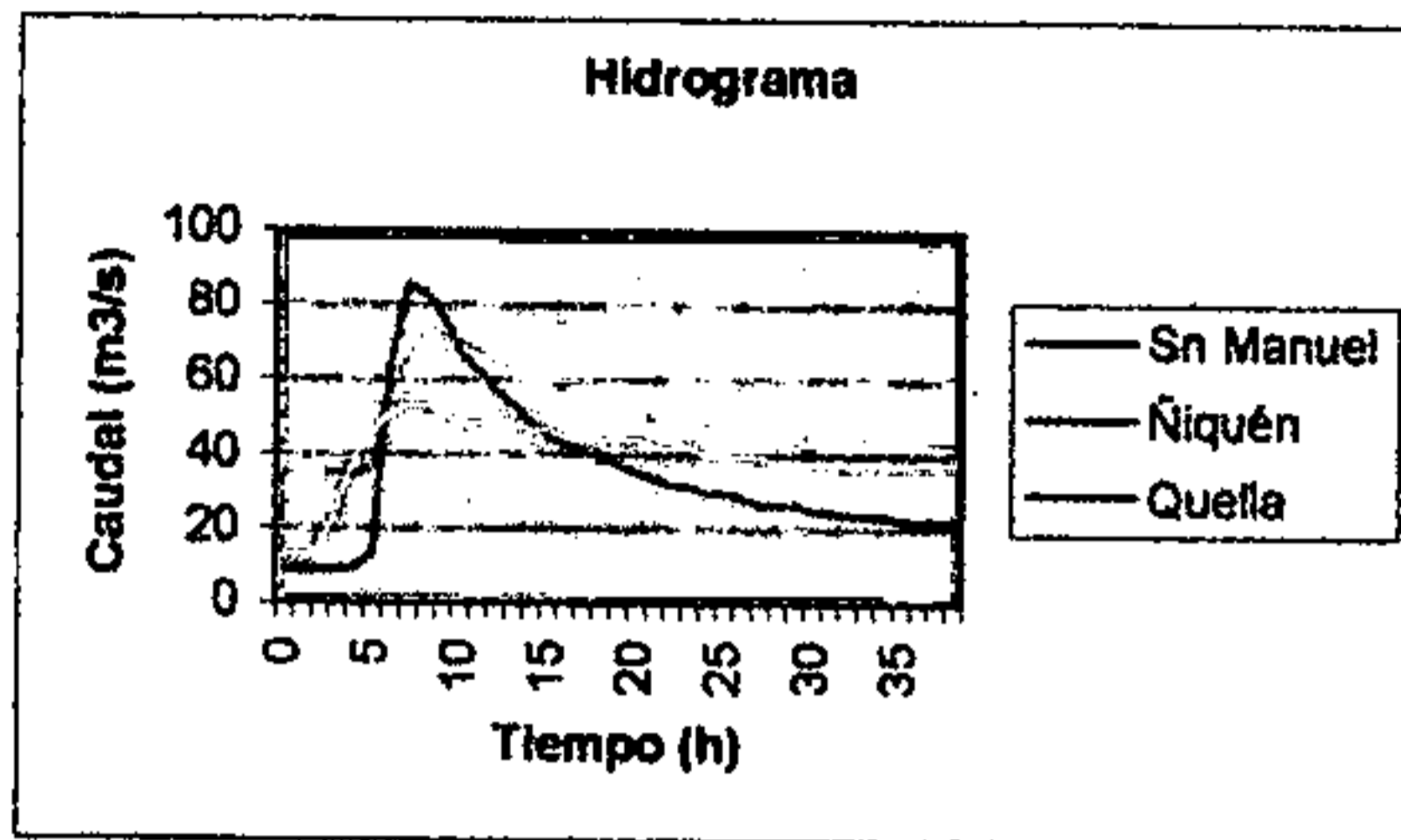


Figura N° 7: Hidrograma de entrada, Crecida 4.

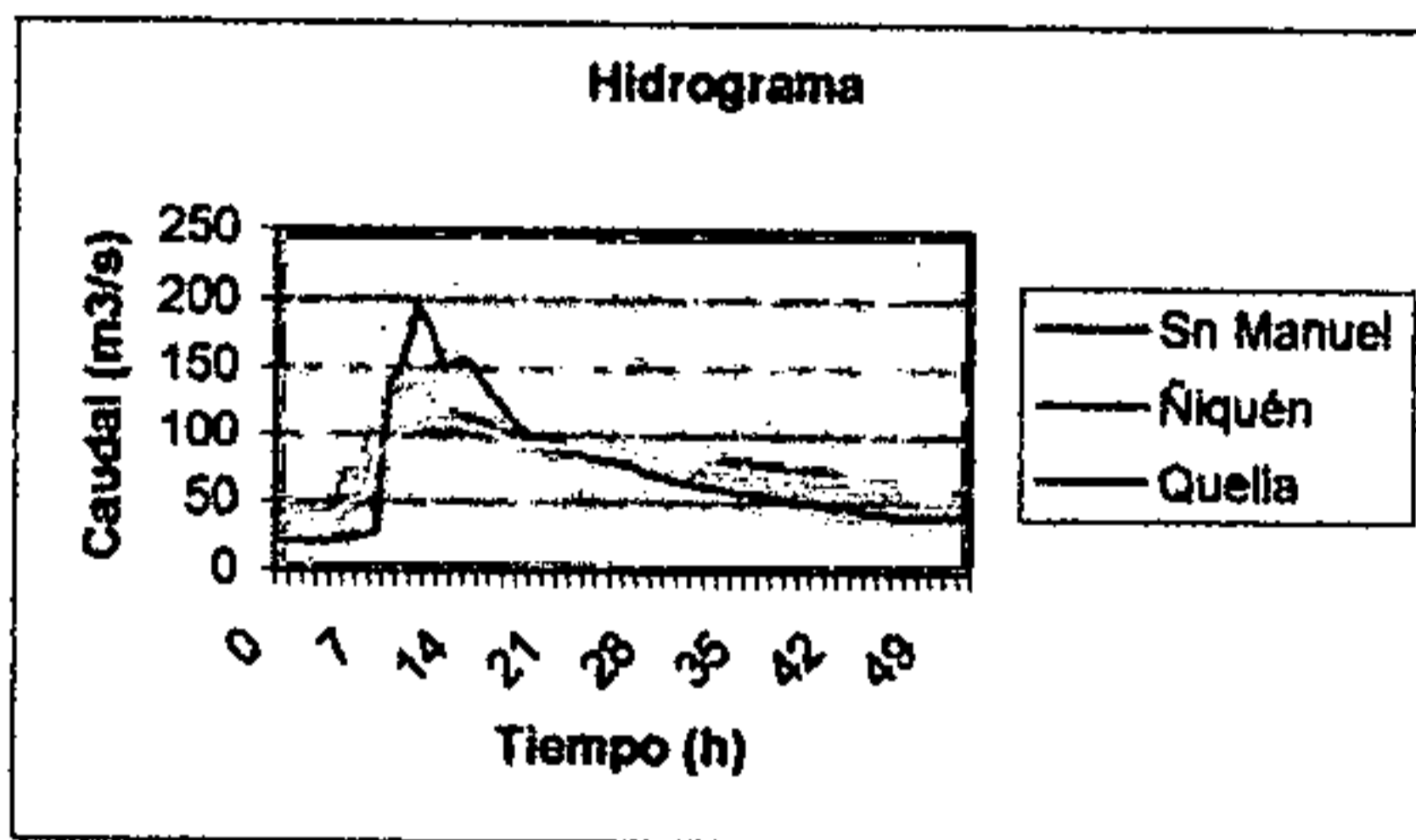


Figura N° 8: Hidrograma de entrada, Crecida 5.

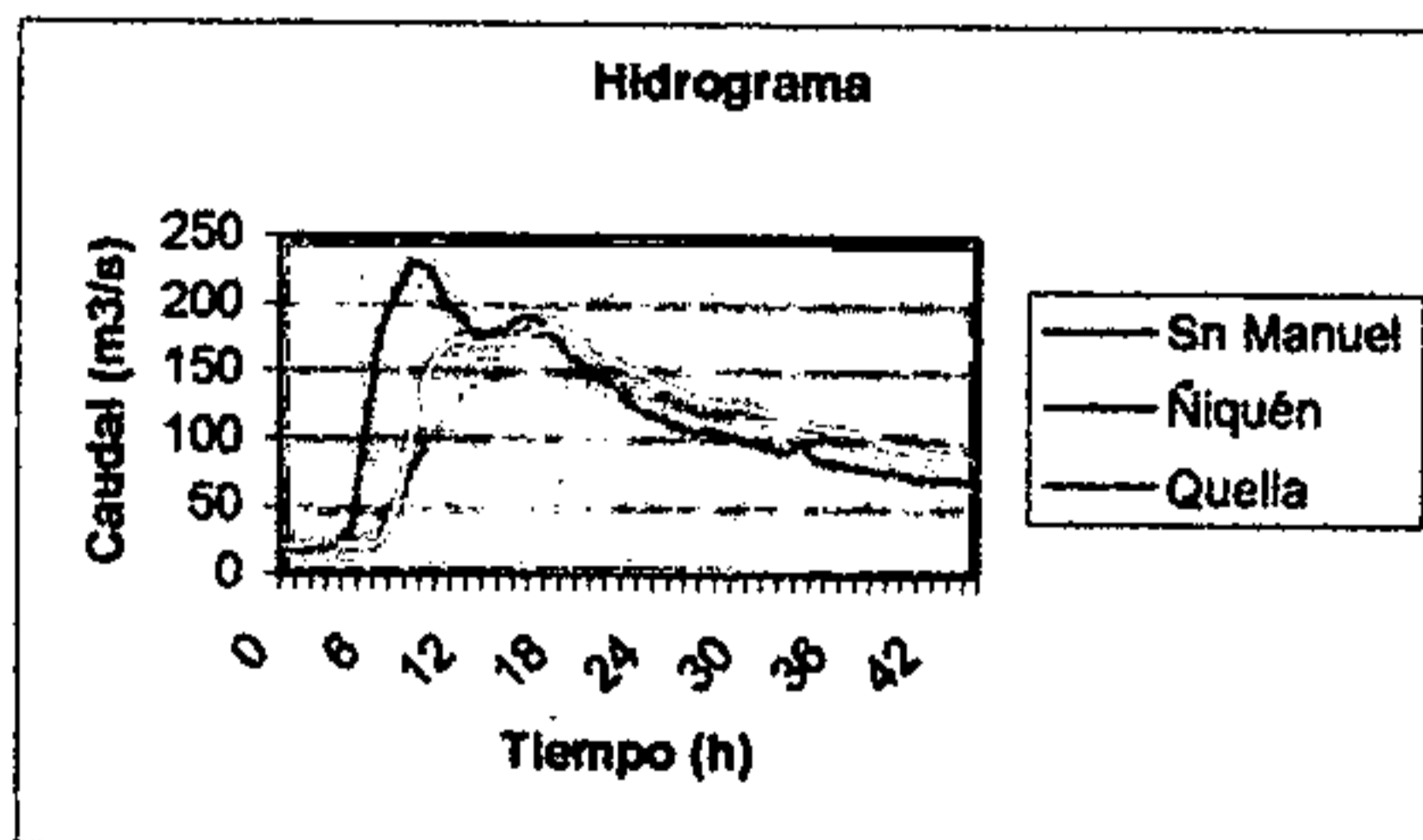


Figura N° 9: Hidrograma de entrada, Crecida 6.

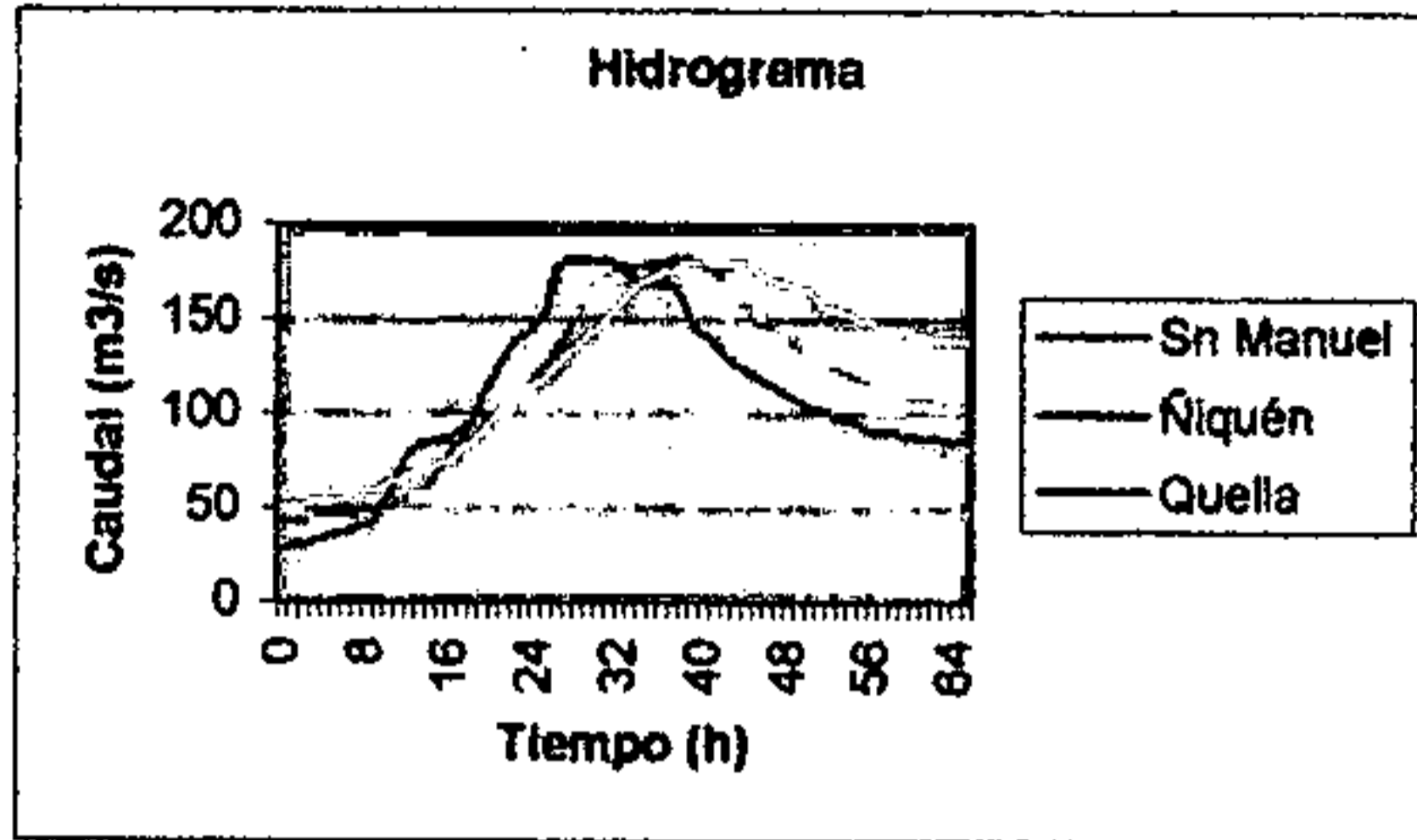


Figura N° 10: Hidrograma de entrada, Crecida 7.

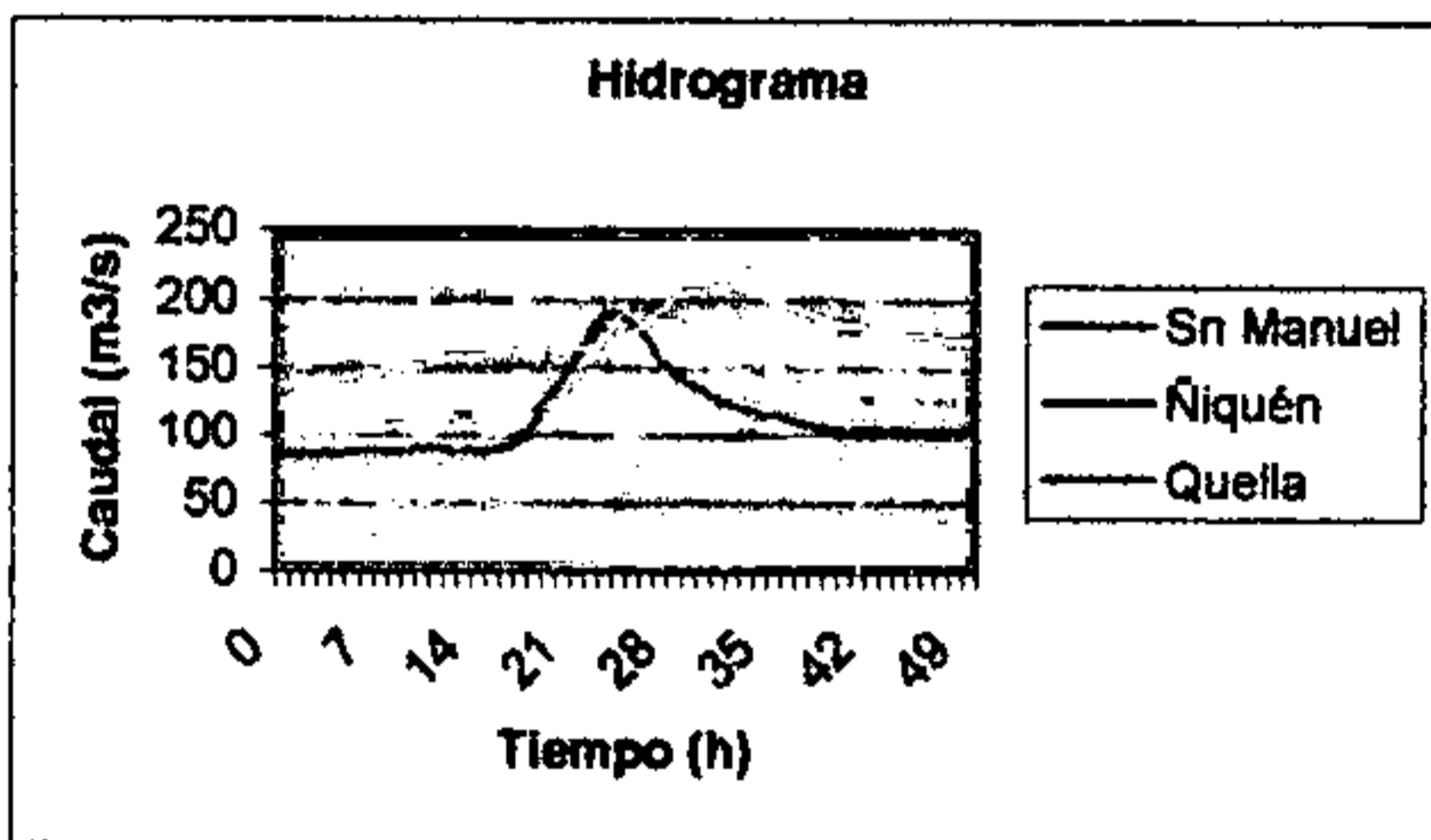


Figura N° 11: Hidrograma de entrada, Crecida 8.

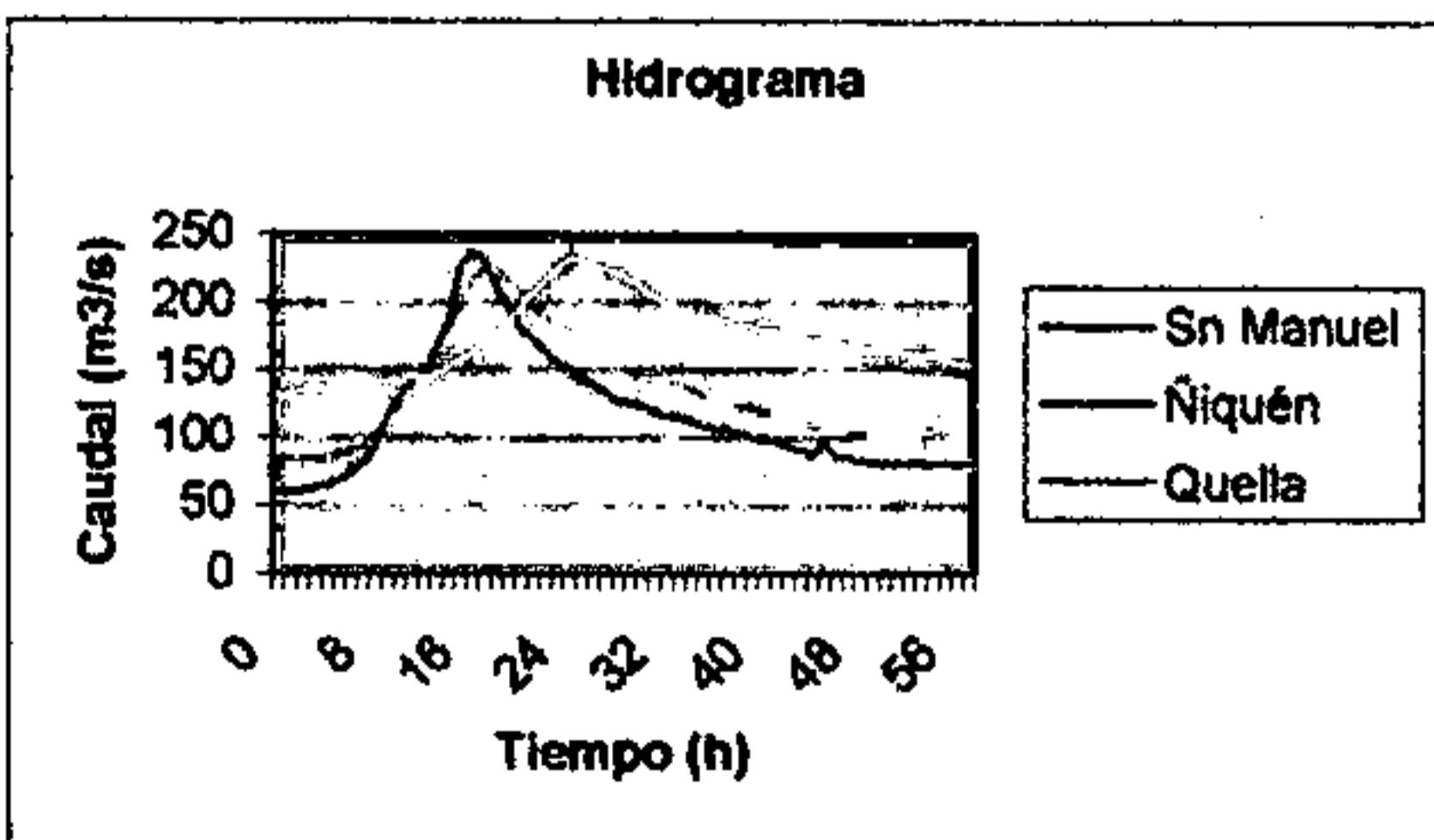


Figura N° 12: Hidrograma de entrada, Crecida 9.

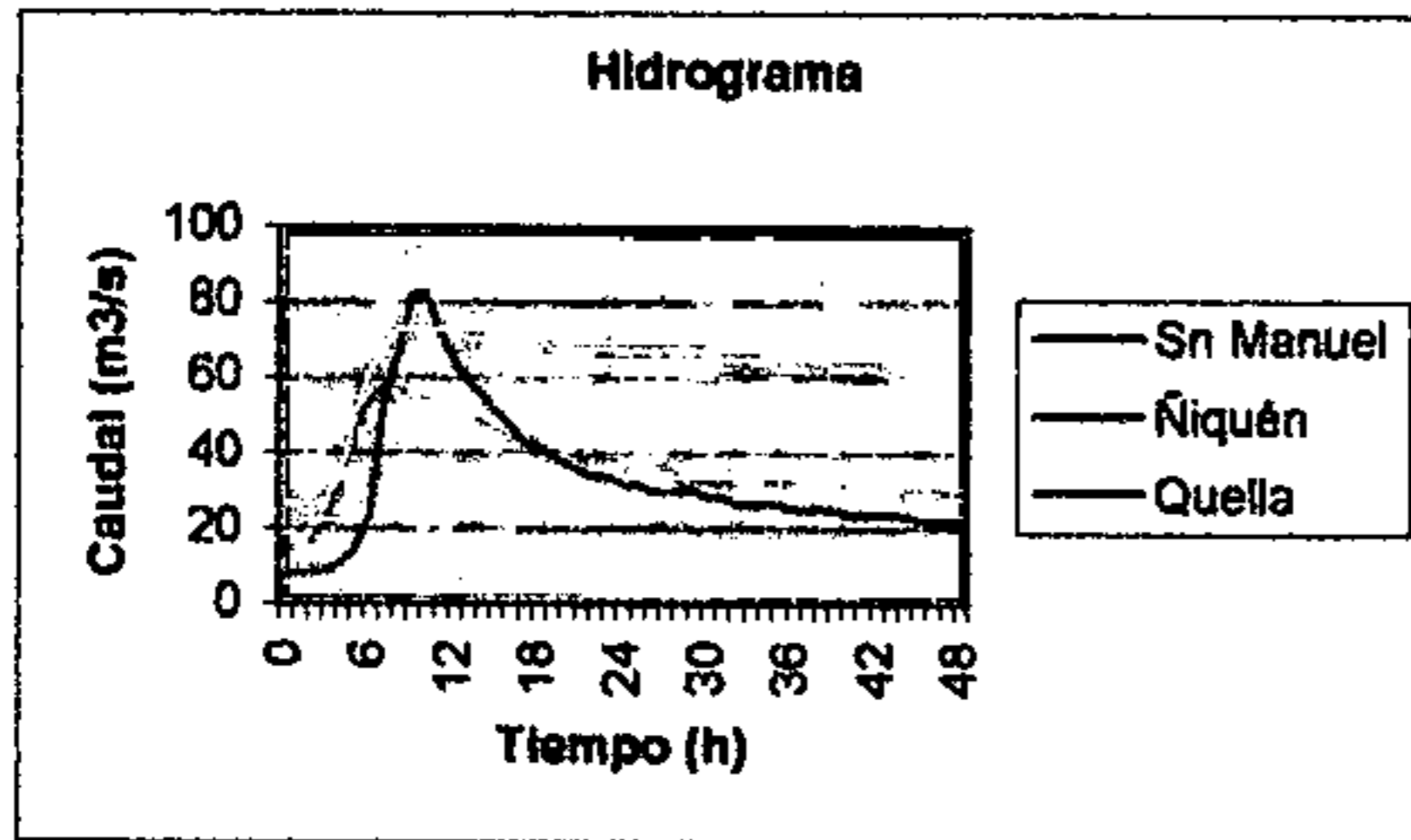


Figura N° 13: Hidrograma de entrada, Crecida 10.

### 6.3.- Determinación de los parámetros X y K

La determinación del factor de ponderación ( $x$ ) y del factor de proporcionalidad ( $K$ ), se realizó a partir de la información base obtenida en la sección anterior.

#### 6.3.1.- Factor de ponderación ( $X$ )

En base a lo expuesto en la revisión bibliográfica, donde hace mención a que el valor del factor de ponderación debe fluctuar entre 0.0 y 0.5, se tomaron para  $X$  valores de 0.0, 0.05, 0.1, 0.15, ..., 0.5, y se graficó el resultado de la expresión,  $XI + (1 - X)O$ , versus el volumen acumulado. De este gráfico, se determinó que la nube de puntos que más se aproximase a una línea recta, definía el valor de  $X$  a utilizar, para la determinación de los coeficientes del método. Como ejemplo en la figura N° 14, se muestra gráficamente la determinación del factor de ponderación en la crecida N° 2, en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella. De tal figura se desprende que la nube de puntos que más se acerca a una línea recta, es el gráfico donde el factor de ponderación es igual a 0.5 ( $X = 0.5$ ).

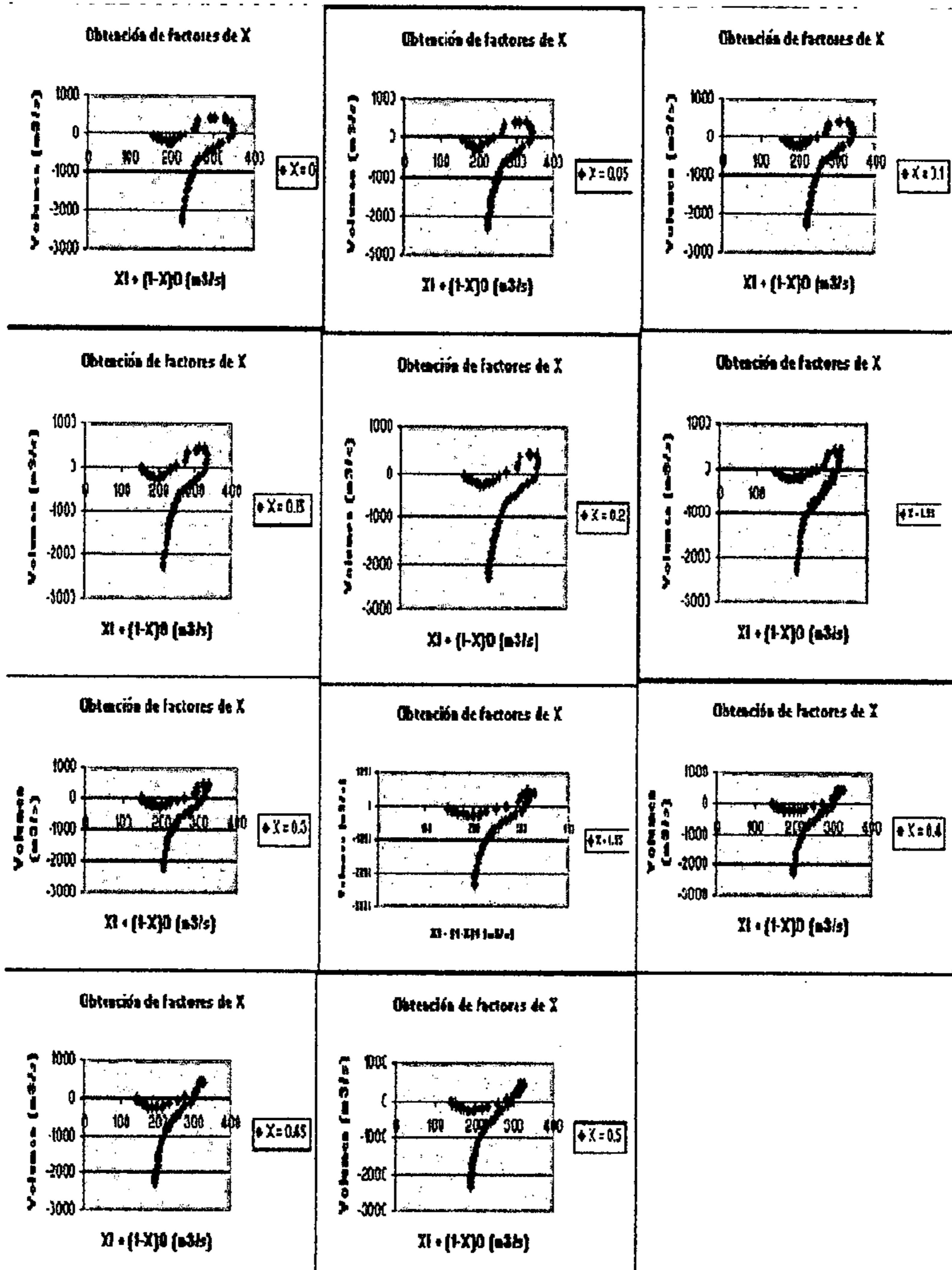


Figura N° 14: Determinación de factor de ponderación (X), para la crecida N° 2.

Así, los factores de ponderación X, según cada crecida, para los tramos comprendidos entre las estaciones de San Manuel – Ñiquén y Ñiquén – Quella, se presentan a continuación:

Tabla N° 2: Determinación del Parámetro X

	San Manuel - Ñiquén	Ñiquén - Quella
Crecida 1	0	0
Crecida 2	0	0,5
Crecida 3	0	0,5
Crecida 4	0,5	0,4
Crecida 5	0,5	0
Crecida 6	0	0,5
Crecida 7	0,5	0
Crecida 8	0	0
Crecida 9	0,5	0,5
Crecida 10	0,5	0,5

### 6.3.2.- Factor de proporcionalidad

Siguiendo con la metodología, una vez determinado el factor de ponderación se calculó el factor de proporcionalidad, K. Para tales efectos se tomó la gráfica que más se aproximó a una línea recta, como se señaló anteriormente, y se determinó la pendiente de dicha recta. Del cálculo se desprende que, para el ejemplo de la crecida N° 2, el factor de proporcionalidad es igual a 2.51 ( $K = 2.51$ ), tal como se muestra en la siguiente figura.

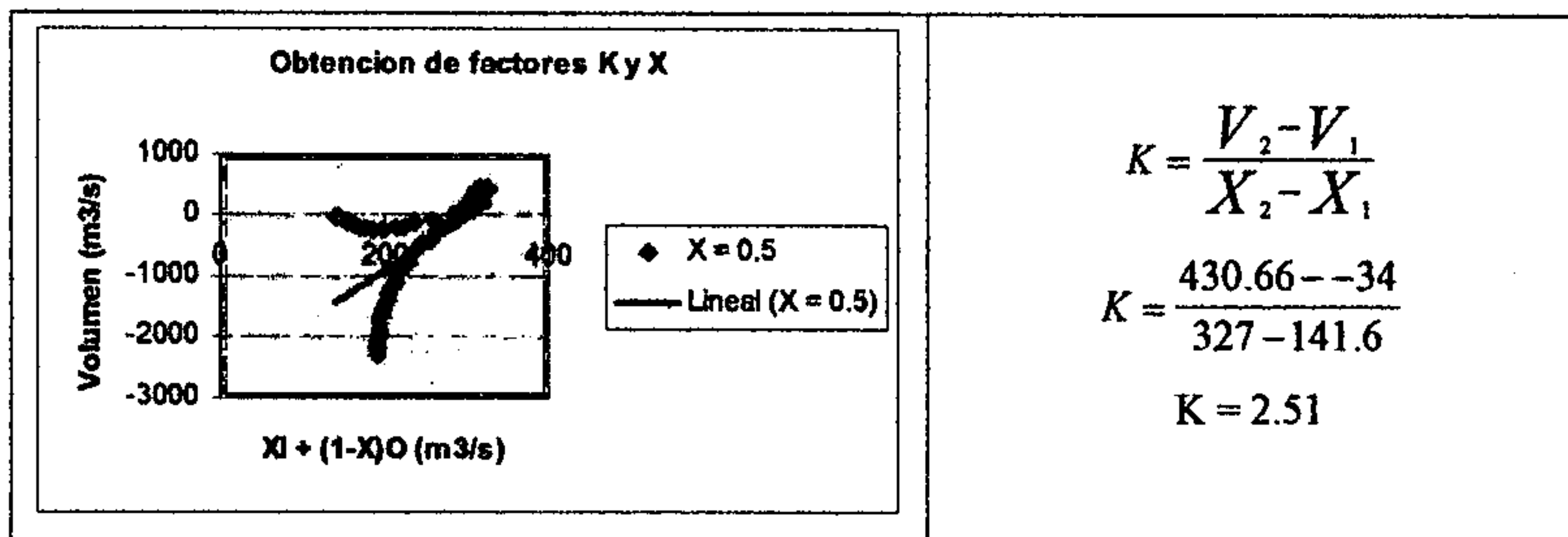


Figura N° 15: Determinación del factor de proporcionalidad, para la crecida N° 2.

Los factores de proporcionalidad, según cada crecida, para los tramos comprendidos entre las estaciones de San Manuel – Ñiquén y Ñiquén – Quella son los siguientes:

Tabla N° 3: Determinación del Parámetro K

	San Manuel - Ñiquén	Ñiquén - Quella
Crecida 1	-1,66	-14.29
Crecida 2	4,37	2.51
Crecida 3	-7,20	4.90
Crecida 4	3,63	-2.19
Crecida 5	1,30	2.17
Crecida 6	9,64	-2.05
Crecida 7	7,74	15.40
Crecida 8	-2,30	-14.51
Crecida 9	3,18	8.17
Crecida 10	0,52	4.05

#### 6.4.- Determinación del factor alfa

Siguiendo con la metodología de determinación de los parámetros necesarios para construir la ecuación de Muskingum, se determinó el factor alfa ( $\alpha$ ), a través de la ecuación  $2K(1-X)+\Delta t$ ; como ejemplo se muestra el cálculo de dicho factor para la crecida N° 2.

$$\alpha = 2K(1 - X) + \Delta t$$

$$\alpha = 2 * 2.51(1 - 0.5) + 1$$

$$\alpha = 3.51$$

A partir de esto se alcanzaron los siguientes valores para cada crecida.

Tabla Nº 4: Determinación del factor Alfa

	Crecida 1	Crecida 2	Crecida 3	Crecida 4	Crecida 5	Crecida 6	Crecida 7	Crecida 8	Crecida 9	Crecida 10
San Manuel - Ñiquén	-1,16	4,87	-6,70	2,32	1,15	10,14	4,37	-1,80	2,09	0,76
Ñiquén - Quella	-13,79	3,51	2,95	-0,81	2,67	-0,53	15,90	-14,01	4,59	2,53

6.5.- Determinación de los coeficientes  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$

Para la determinación del modelo de Muskingun, es necesario conocer los coeficientes que forman este método; para tales efectos se utilizaron las expresiones expuestas en la revisión bibliográfica, los cuales se presentan a continuación

6.5.1.- Determinación del coeficiente  $C_1$

La determinación del coeficiente  $C_1$  se realizó mediante la expresión expuesta en la revisión bibliográfica; a modo de ejemplo a continuación se expone el cálculo de dicho coeficiente para la crecida Nº 2, en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella.

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t}$$

$$C_1 = \frac{1 - 2 * 2.51 * 0.5}{2 * 2.51 * 0.5 + 1}$$

$$C_1 = -0.43$$

Los coeficientes  $C_1$  para cada crecida, en los tramos comprendidos entre las estaciones de San Manuel – Ñiquén y Ñiquén – Quella, son los siguientes:



Tabla N° 5: Determinación del Coeficiente  $C_1$

	San Manuel - Ñiquén	Ñiquén - Quella
Crecida 1	-0,43	-0,04
Crecida 2	0,10	-0,43
Crecida 3	-0,08	1
Crecida 4	1	0,46
Crecida 5	1	0,19
Crecida 6	0,05	1
Crecida 7	1	0,03
Crecida 8	-0,28	-0,04
Crecida 9	1	1
Crecida 10	1	1

DIRECCION GENERAL DE AGUAS  
Centro de Información Recursos Hídricos  
Área de Documentación

6.5.2.- Determinación del coeficiente  $C_2$

La determinación del coeficiente  $C_2$  se realizó mediante la expresión expuesta en la revisión bibliográfica; a modo de ejemplo se expone el cálculo de dicho coeficiente para la crecida N° 2, en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella.

$$C_2 = \frac{\Delta t + 2KX}{2K(1-X) + \Delta t}$$

$$C_2 = \frac{1 + 2 * 2.51 * 0.5}{2 * 2.51 * 0.5 + 1}$$

$$C_2 = 1$$

Los coeficientes  $C_2$  para cada crecida, en los tramos comprendidos entre las estaciones de San Manuel – Ñiquén y Ñiquén – Quella, son los siguientes:

Tabla N° 6: Determinación del Coeficiente  $C_2$ 

	San Manuel - Ñiquén	Ñiquén - Quella
Crecida 1	-0,43	-0,04
Crecida 2	0,10	1
Crecida 3	-0,08	-0,66
Crecida 4	-0,57	-1,69
Crecida 5	-0,13	0,19
Crecida 6	0,05	-2,91
Crecida 7	-0,77	0,03
Crecida 8	-0,28	0,04
Crecida 9	-0,52	-0,78
Crecida 10	0,32	-0,60

6.5.3.- Determinación del coeficiente  $C_3$ 

La determinación del coeficiente  $C_3$  se realizó mediante la expresión expuesta en la revisión bibliográfica; a modo de ejemplo a continuación se expone el cálculo de dicho coeficiente para la crecida N° 2, en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella.

$$C_3 = \frac{2K(1-X) - \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t}$$

$$C_3 = \frac{2 * 2.51 * 0.5 - 1}{2 * 2.51 * 0.5 + 1}$$

$$C_3 = 0.43$$

Los coeficientes  $C_3$  para cada crecida, en los tramos comprendidos entre las estaciones de San Manuel - Ñiquén y Ñiquén - Quella, son los siguientes:

Tabla N° 7: Determinación del Coeficiente  $C_3$ 

	San Manuel - Ñiquén	Ñiquén - Quella
Crecida 1	1,86	1,07
Crecida 2	0,79	0,43
Crecida 3	1,15	0,66
Crecida 4	0,57	2,23
Crecida 5	0,13	0,63
Crecida 6	0,90	2,91
Crecida 7	0,77	0,94
Crecida 8	1,56	1,07
Crecida 9	0,52	0,78
Crecida 10	-0,32	0,60

#### 6.6.- Análisis de la calibración

##### 6.6.1.- Presentación del análisis, aplicado a las crecidas comprendidas entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.

En las siguientes tablas se dan a conocer los resultados de calidad de ajuste de la calibración de las crecidas, tanto para el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel – Ñiquén, como para el tramo Ñiquén – Quella.

Tabla N° 8: Resultados de la aplicación del análisis, para el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel – Ñiquén.

	$R^2$	EEE ( $m^3/s$ )	Diferencia de Volumen (%)
Crecida 1	0,02	9,05	15.98
Crecida 2	0,01	9,07	25.86
Crecida 3	0	9,10	29.48
Crecida 4	0,24	7,94	-7.71
Crecida 5	0,06	8,85	11.43
Crecida 6	0,20	8,17	11.07
Crecida 7	0,53	6,23	8.50
Crecida 8	0,04	8,95	12.23
Crecida 9	0,25	7,90	-0.28
Crecida 10	0,68	5,17	5.7

6.6.2.- Presentación de análisis aplicado a las crecidas comprendidas entre las estaciones de Ñiquén y Quella.

Tabla N° 9: Resultados de la aplicación del análisis, en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén - Quella.

	R <sup>2</sup>	EEE (m <sup>3</sup> /s)	Diferencia de volumen (%)
Crecida 1	0,49	10,97	-6.9
Crecida 2	0,62	9,46	11.47
Crecida 3	0,50	10,87	17
Crecida 4	0,03	15,17	41.90
Crecida 5	0,13	14,36	27.05
Crecida 6	0,36	12,33	21.84
Crecida 7	0,65	9,12	8.70
Crecida 8	0,90	4,96	7
Crecida 9	0,04	15,10	-22.8
Crecida 10	0,27	13,12	23.99

La diferencia de volumen, es de vital importancia para el tránsito de avenidas, ya que éste asume que no existen aportaciones intermedias, ni hay diferencias de volumen entre las entradas y salidas en una crecida, por lo tanto de existir diferencias de volúmenes, esto quiere decir que existen aportaciones intermedias de consideración. Para la determinación de la diferencia de volumen porcentual se utilizó la siguiente expresión:

$$[(V_E - V_S) / V_E] * 100 \text{ donde; } V_E: \text{ Volumen de entrada y } V_S: \text{ Volumen de salida}$$

6.7.- Determinación de crecidas con las cuales se valida el método de Muskingum

Del análisis anteriormente expuesto, se determinó que las crecidas que presentaban mejores resultados, eran las crecidas 4, 6, 7, 9 y 10, para el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén. En tanto, los mejores resultados para el tramo entre las estaciones de Ñiquén y Quella, los presentaron las crecidas 1, 2, 3, 7 y 8.

A continuación, se presentan los coeficientes y parámetros, con los cuales se validó el método de Muskingum en el río Perquilauquén.

Tabla N° 10: Coeficientes y parámetros por crecidas seleccionadas para el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.

		San Manuel - Ñiquén					
	X	K	Alfa	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	Δt
Crecida 4	0,5	3,63	2,32	1	-0,57	0,57	1
Crecida 6	0	9,64	10,14	0,05	0,05	0,90	1
Crecida 7	0,5	7,74	4,37	1	-0,77	0,77	1
Crecida 9	0,5	3,18	2,09	1	-0,52	0,52	1
Crecida 10	0,5	0,52	0,76	1	0,32	-0,37	1

Tabla N° 11: Coeficientes y parámetros por crecidas seleccionadas para el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella.

		Ñiquén - Quella					
	X	K	Alfa	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	Δt
Crecida 1	0	14,29	-13,79	-0,04	-0,04	1,07	1
Crecida 2	0,5	8,68	4,84	1	-0,79	0,79	1
Crecida 3	0,5	4,90	2,95	1	-0,66	0,66	1
Crecida 7	0	15,40	15,90	0,03	0,03	0,94	1
Crecida 8	0	14,51	-14,01	-0,04	0,04	1,07	1

### 6.8.- Validación

Para la validación del método, se utilizaron 10 crecidas adicionales, (las que serán nombradas con el subíndice (v)), a las cuales se les aplicaron los coeficientes alcanzados en la fase de la calibración, (crecidas que serán nombradas con el subíndice (c)), y específicamente los considerados con buenos, en los tramos San Manuel – Ñiquén y Ñiquén – Quella.

El conjunto de simulaciones alcanzó un total de 50 validaciones en cada tramo analizado, por lo tanto, a continuación se presentan algunos ejemplos representativos de las situaciones encontradas. El resto de la información se encuentra en el apéndice IV.

A continuación se exponen los coeficientes del método de Muskingun para los diferentes caudales de salida simulados, los resultados gráficos de la validación del método

a través de las crecidas anteriormente expuestas y se detallan los valores arrojados por el análisis estadístico. A modo de ejemplo, sólo se presentan algunas; las restantes se entregan en el apéndice III.

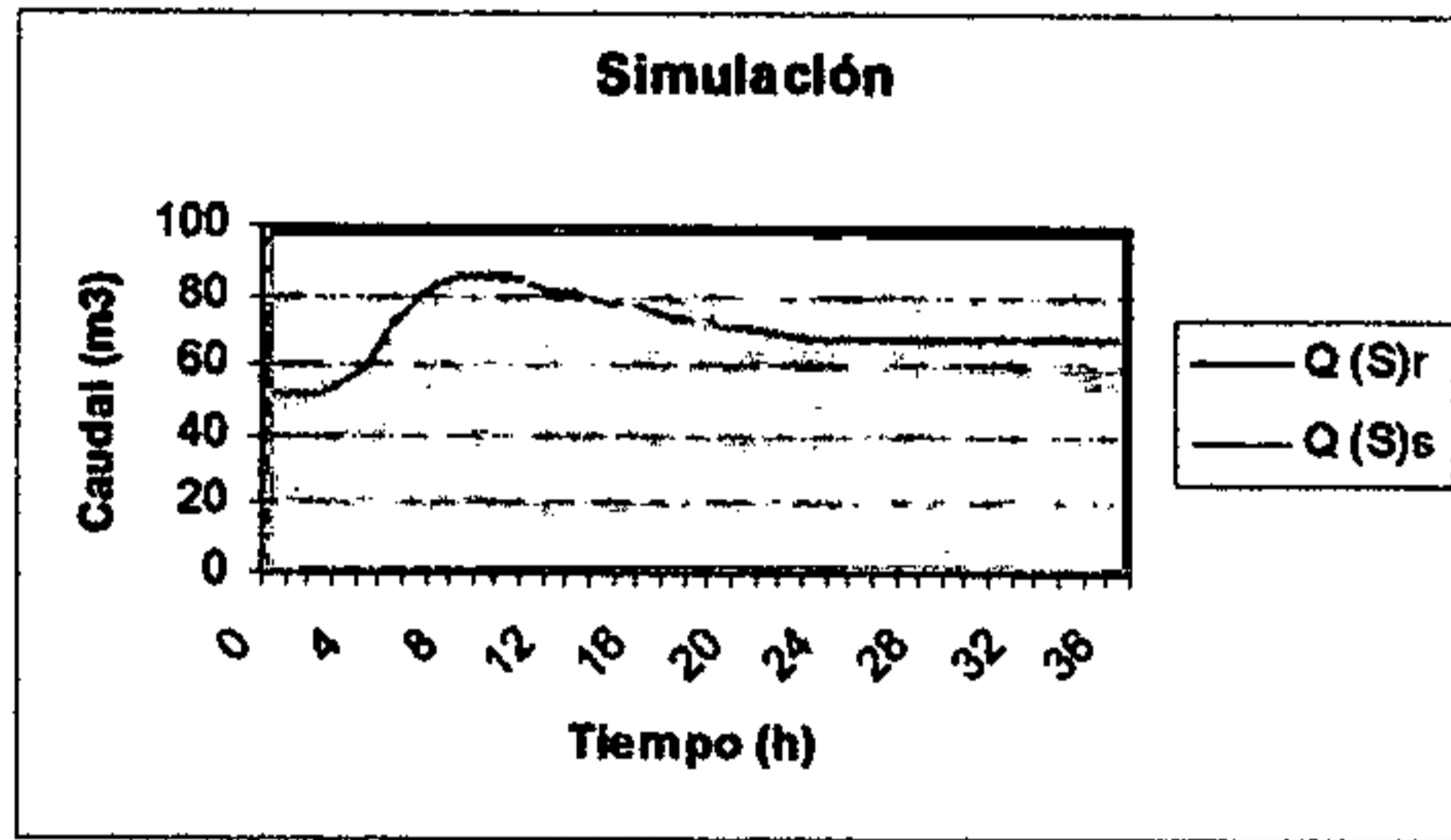
6.8.1.- Tramo San Manuel – Ñiquén

*Validación con la crecida N° 4(c), que modela la crecida N° 1(v)*

En la tabla N° 12, se muestran los coeficientes del método de Muskingum, para la crecida N° 4(c), resultantes de la calibración y por medio de los cuales se validó la crecida N° 1(v).

Tabla N° 12: Coeficientes del método de Muskingum.

Parámetros				
X	K	C1	C2	C3
0.5	3.63	1	-0.568	0.568



Q(S)r: Caudal de salida real, Q(S)s: Caudal de salida simulado

Figura N° 16: Hidrograma modelado a través de la crecida N° 4(c) en el tramo San Manuel – Ñiquén.

En la tabla N° 13, se muestran los resultados obtenidos de la aplicación del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error estándar de estimación (EEE), la prueba U de Mann Whitney y la prueba de concordancia de Bland y Altman para la validación de la crecida N° 1(v).

Tabla N° 13: Resultados del análisis estadístico aplicado a la crecida N° 1(v)

Bondad de Ajuste						
R <sup>2</sup>	EEE (m3/s)	U Mann Whitney	Bland y Altman			
0,03	10.88	Se rechaza Ho	DP = -5E-08	SD = 1.7E-08	LC- = -4E-09	LC+ = 2.8E-8

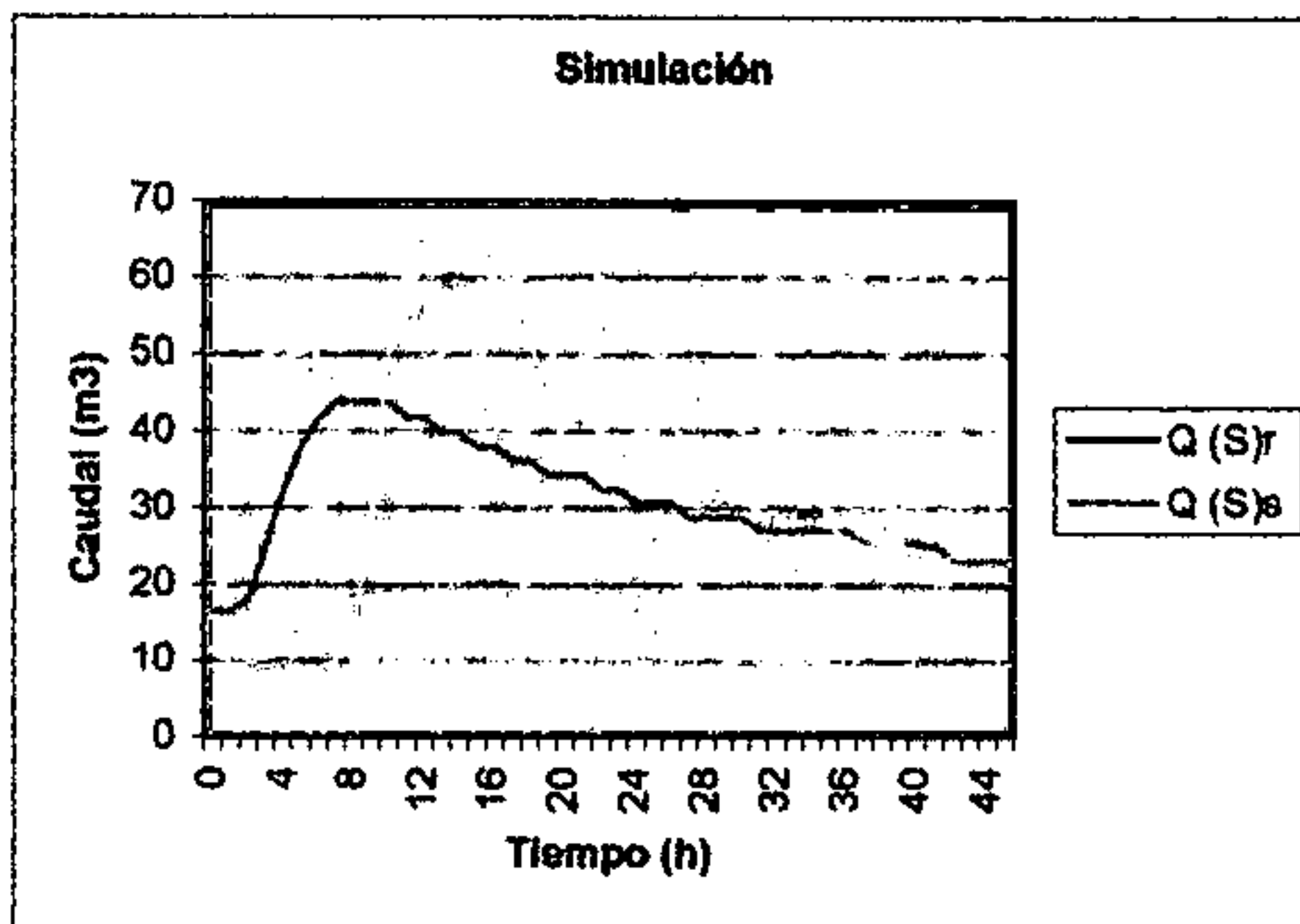
Según el análisis estadístico, esta crecida presenta una mala validación, ya que el coeficiente de determinación indica que el modelo sólo está siendo explicado en 3%, lo que es demasiado bajo. Además la prueba U de Mann Whitney rechaza el modelo, y cabe destacar que la diferencia promedio arrojada por Bland y Altman es bastante alta.

*Validación con la crecida N° 6(c), que modela la crecida N° 2(v)*

En la tabla N° 14, se muestran los coeficientes del método de Muskingum, para la crecida N° 6(c), resultantes de la calibración y por medio de los cuales se validó la crecida N° 2(v).

Tabla N° 14: Coeficientes del método de Muskingum

Parámetros				
X	K	C1	C2	C3
0	9.64	0.049	0.049	0.901



Q(S)r: Caudal de salida real, Q(S)s: Caudal de salida simulado

Figura N° 17: Hidrograma modelado a través de la crecida 6(c), en el tramo San Manuel – Ñiquén.

En la tabla N° 15, se muestran los resultados obtenidos de la aplicación del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error estándar de estimación (EEE), la prueba U de Mann Whitney y la prueba de concordancia de Bland y Altman para la validación de la crecida N° 2(v).

Tabla N° 15: Resultados del análisis estadístico aplicado a la crecida N° 2(v)

Bondad de Ajuste						
R <sup>2</sup>	EEE	U de Mann Whitney	Bland y Altman			
0,65	9,125	Se Rechaza Ho	DP = -29,83	SD = 8,99	LC- = -47,46	LC+ = -12,20

Según el análisis estadístico, esta crecida presenta una regular validación, ya que la diferencia promedio arrojada por Bland y Altman es relativamente baja, mientras que la prueba U de Mann Whitney rechaza el modelo, y el coeficiente de determinación indica que el modelo es explicado en un 65%, lo que es bastante aceptable.

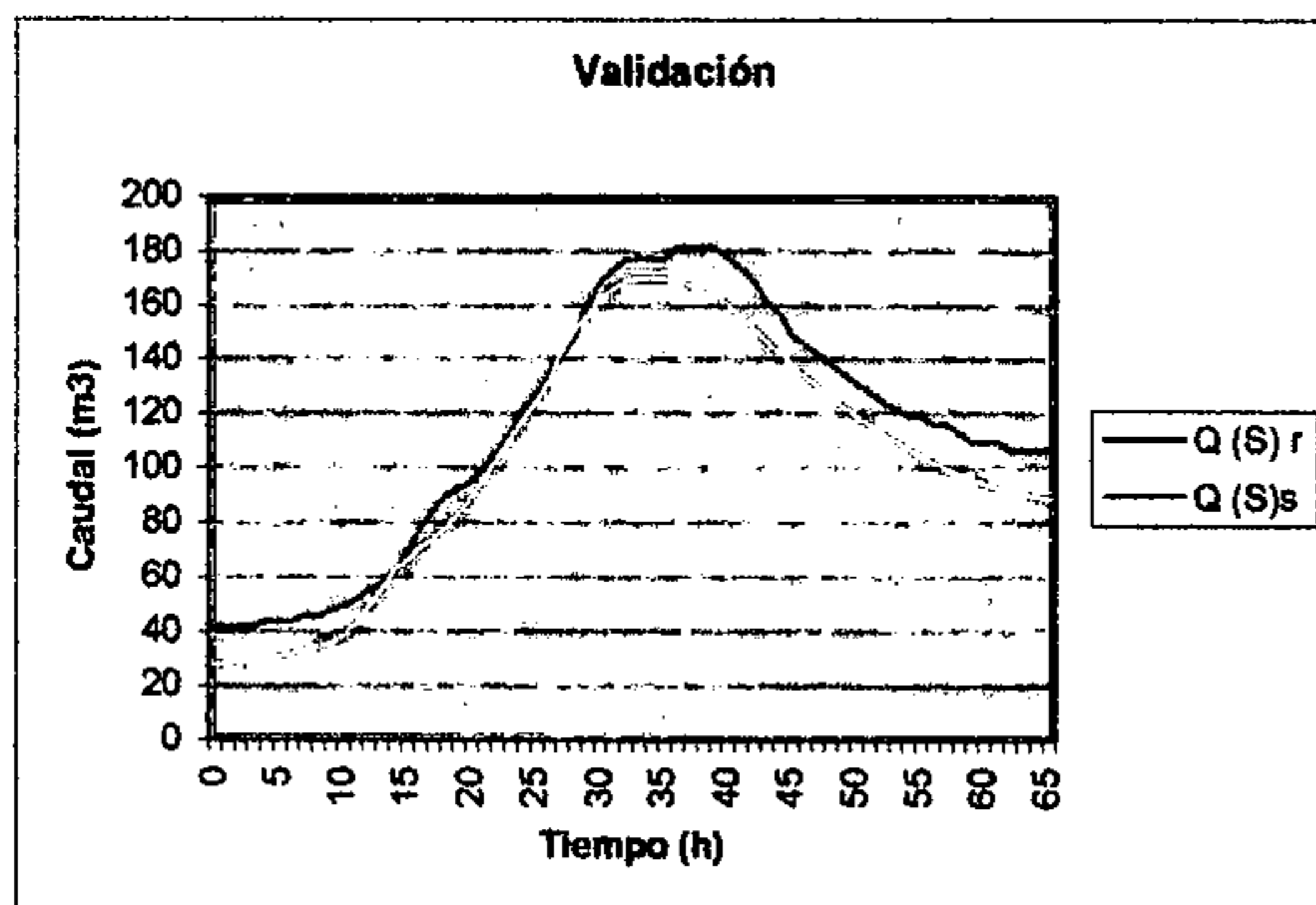
*Validación con la crecida N° 7(c), que modela la crecida N° 1(v)*

En la tabla N° 16, se muestran los coeficientes del método de Muskingum, para la crecida N° 7(c), resultantes de la calibración y por medio de los cuales se validó la crecida N° 1(v).

Tabla N° 16: Coeficientes del método de Muskingum

Parámetros				
X	K	C1	C2	C3
0,5	7,74	1	-0,771	0,771





Q(S)r: Caudal de salida real, Q(S)s: Caudal de salida simulado

Figura N° 18: Hidrograma modelado a través de la crecida 7(c), en el tramo San Manuel – Ñiquén.

En la tabla N° 17, se muestran los resultados obtenidos de la aplicación del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error estándar de estimación (EEE), la prueba U de Mann Whitney y el test de concordancia de Bland y Altman para la validación de la crecida N° 1(v).

Tabla N° 17: Resultados del análisis estadístico aplicado a la crecida N° 1(v).

Bondad de Ajuste						
$R^2$	EEE	U de Mann Whitney	Bland y Altman			
0,11	43.9	Se acepta Ho	DP = -4E-08	SD = 2E-09	LC- = -4E-09	LC+ = 8E-09

Según el análisis estadístico, esta crecida presenta una calidad de validación regular, ya que la diferencia promedio arrojada por Bland y Altman es alta; por otro lado la prueba U de Mann Whitney acepta el modelo, a pesar que el coeficiente de determinación indica que el modelo ésta siendo explicado en un bajo porcentaje.

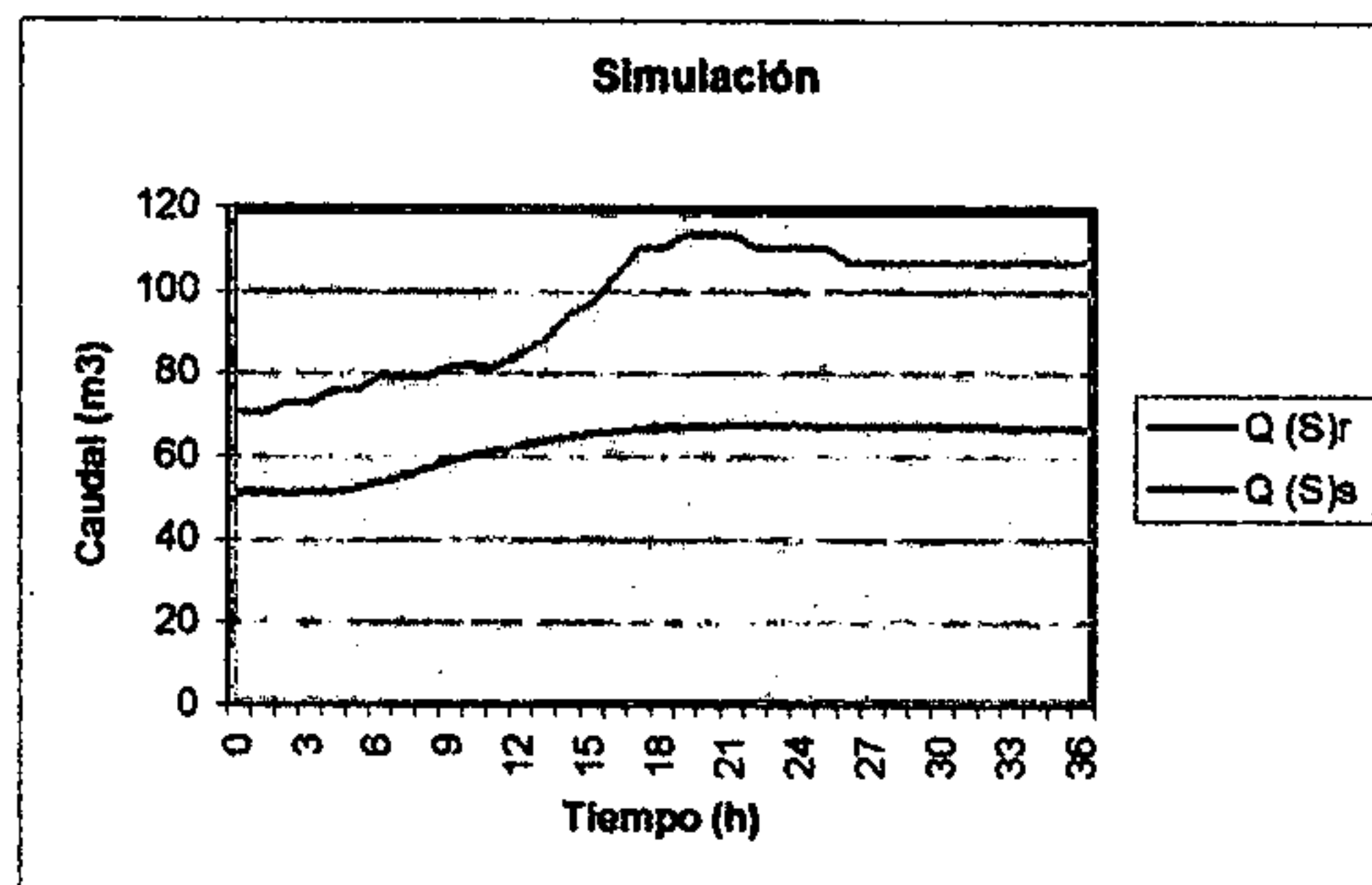
6.8.2.- Tramo Ñiquén - Quella

*Validación con la crecida N° 1(c), que modela la crecida N° 1(v)*

En la tabla N° 18, se muestran los coeficientes del método de Muskingum, para la crecida N° 1(c), resultantes de la calibración y por medio de los cuales se validó la crecida N° 1(v).

Tabla N° 18: Coeficientes del método de Muskingum

Parámetros				
X	K	C1	C2	C3
0	14,29	0,036	-0,036	1,073



Q(S)r: Caudal de salida real, Q(S)s: Caudal de salida simulado

Figura N° 19: Hidrograma modelado a través de la crecida 1(c), en el tramo Ñiquén - Quella.

En la tabla N° 19, se muestran los resultados obtenidos de la aplicación del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error estándar de estimación (EEE), la prueba U de Mann Whitney y la prueba de concordancia de Bland y Altman para la validación de la crecida N° 1(v).

Tabla N° 19: Resultados del análisis estadístico aplicado a la crecida N° 1(v).

Bondad de Ajuste						
R <sup>2</sup>	EEE	U de Mann Whitney	Bland y Altman			
0.0	53,32	Se rechaza Ho	DP = -2E+09	SD = 8,2E+09	LC- = -2E+10	LC+ = -1,3E+10

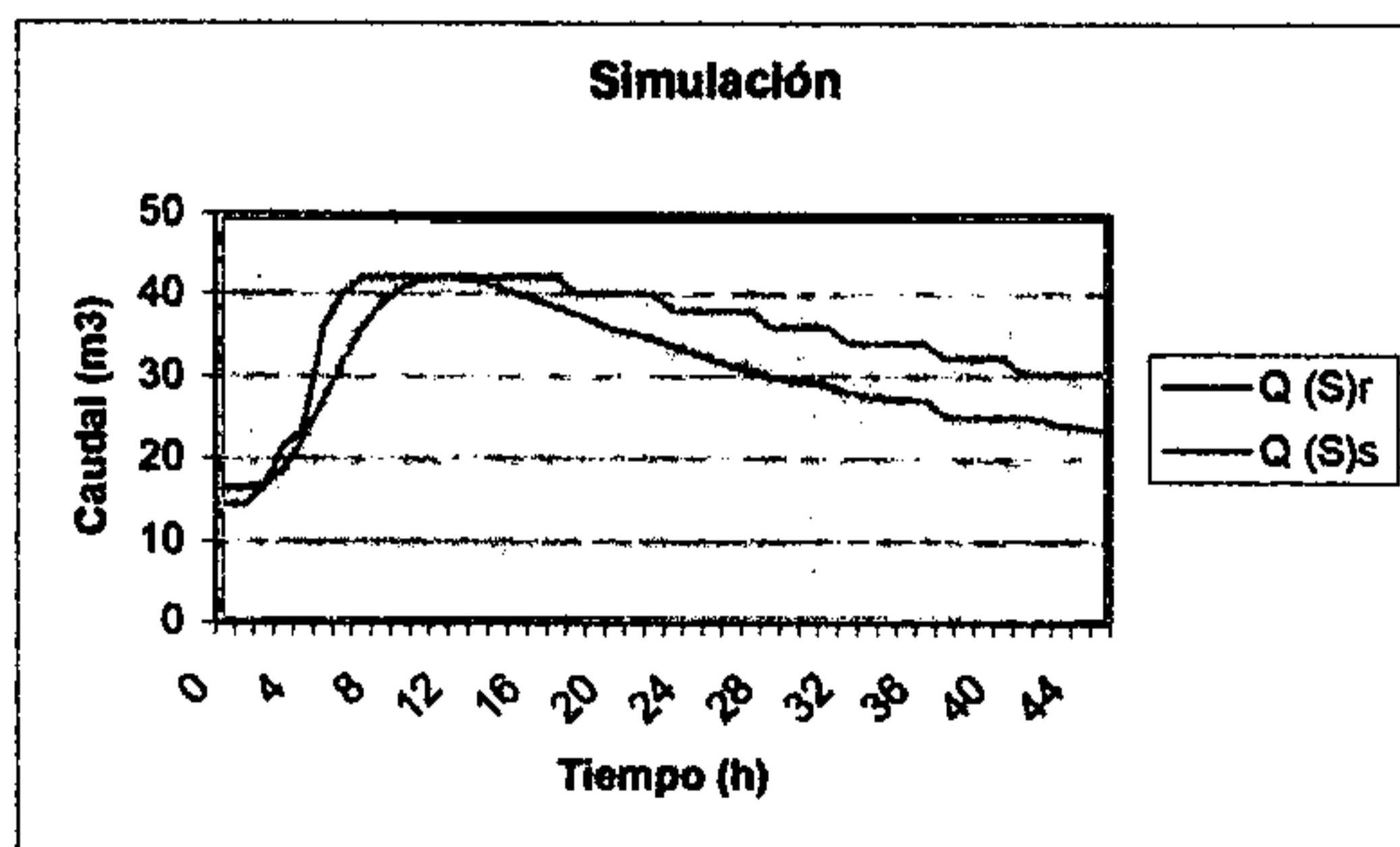
Según el análisis estadístico, esta crecida presenta una validación de baja calidad, ya que la diferencia promedio arrojada por Bland y Altman es alta, por otro lado el coeficiente de determinación indica que el modelo no está siendo explicado y además, la prueba de U Mann Whitney rechaza el modelo.

*Validación con la crecida N° 3(c), que modela la crecida N° 1(v)*

En la tabla N° 20, se muestran los coeficientes del método de Muskingum, para la crecida N° 3(c), resultantes de la calibración y por medio de los cuales se validó la crecida N° 1(v).

Tabla N° 20: Coeficientes del método de Muskingum

Parámetros				
X	K	C1	C2	C3
0,5	4,9	1	-0,661	0,661



Q(S)r: Caudal de salida real, Q(S)s: Caudal de salida simulado

Figura N° 20: Hidrograma modelado a través de la crecida 3(c), en el tramo Ñiquén – Quella.

En la tabla N° 21, se muestran los resultados obtenidos de la aplicación del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error estándar de estimación (EEE), la prueba U de Mann Whitney y la prueba de concordancia de Bland y Altman para la validación de la crecida N° 1(v).

Tabla N° 21: Resultados del análisis estadístico aplicado a la crecida N° 1(v).

Bondad de Ajuste						
$R^2$	EEE	U de Mann Whitney	Bland & Altman			
0,04	7.25	Se Rechaza Ho	DP = -75.7	SD = 71.3	LC- = -215	LC+ = 63.9

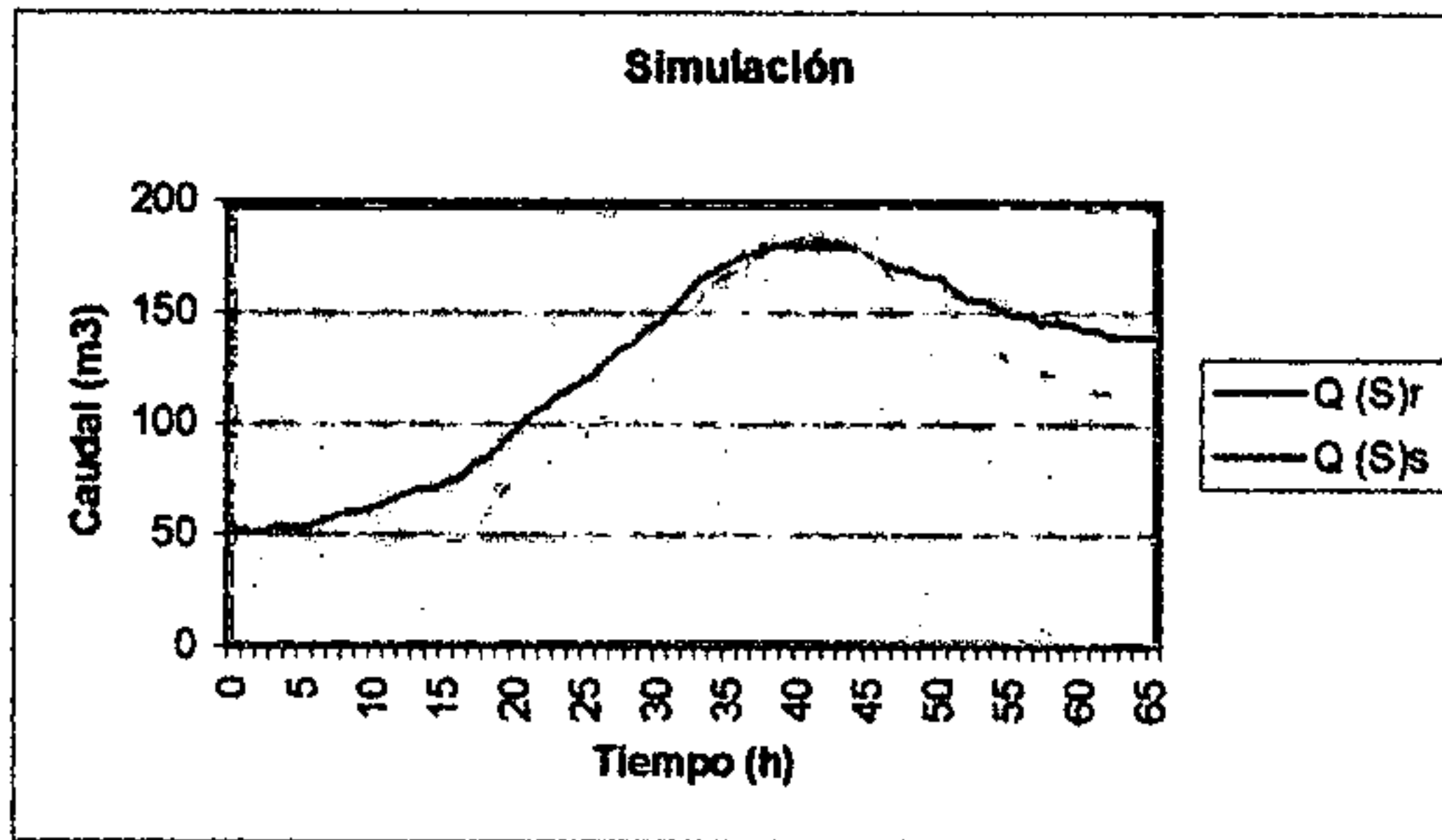
Según el análisis estadístico, esta crecida presenta una mala validación, ya que la diferencia promedio arrojada por Bland y Altman es de 75.7 m<sup>3</sup>/s; por otro lado el coeficiente de determinación indica que el modelo sólo está siendo explicado en 4%, lo que es bajo, Además, la prueba U de Mann Whitney rechaza el modelo.

*Validación con la crecida N° 7(c), que modela la crecida N° 5(v)*

En la tabla N° 22, se muestran los coeficientes del método de Muskingum, para la crecida N° 7(c), resultantes de la calibración y por medio de los cuales se validó la crecida N° 1(v).

Tabla N° 22: Coeficientes del método de Muskingum

Parámetros				
X	K	C1	C2	C3
0	15,4	0,031	0,031	0,937



Q(S)r: Caudal de salida real, Q(S)s: Caudal de salida simulado

Figura N° 21: Hidrograma modelado a través de la crecida 7(c), en el tramo Ñiquén – Quella.

En la tabla N° 23, se muestran los resultados obtenidos de la aplicación del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error estándar de estimación (EEE), la prueba U de Mann Whitney y la prueba de concordancia de Bland y Altman para la validación en la crecida N° 1(v).

Tabla N° 23: Resultados del análisis estadístico aplicado a la crecida N° 1(v).

Bondad de Ajuste						
$R^2$	EEE	U de Mann Whitney	Bland y Altman			
0,95	10,43	Se acepta Ho	DP = -13,19	SD = 10,89	LC- = -34,53	LC+ = 8.15

Según el análisis estadístico, esta crecida presenta una buena validación, ya que el coeficiente de determinación indica que el modelo esta siendo explicado en 95%, lo que es aceptable. Asimismo la prueba U de Mann Whitney acepta el modelo y además la diferencia promedio arrojada por Bland y Altman es de 13.19 m<sup>3</sup>/s, lo cual es baja.

## 7.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una vez presentados los resultados de la calibración y validación del método de Muskingum, se llevó a cabo la fase metodológica de análisis y discusión de la información.

### 7.1.- Caracterización de parámetros y coeficientes

#### 7.1.1.- Factor de Ponderación (X)

En lo que respecta al factor de ponderación, éste presentó sólo valores de 0.0 y 0.5; esto quiere decir que según los resultados obtenidos de X, el volumen medido en una estación salió completamente por la otra, o simplemente todo el volumen medido en la primera estación se mantuvo almacenado en el tramo, situación que generó modelaciones inadecuadas o de mala calidad. En ningún caso la gráfica de este factor se asimiló a una línea recta, comportándose absolutamente contrario a lo expuesto por el método Muskingum; esta contrariedad se explica fundamentalmente debido a que la diferencia de volumen entre el caudal de entrada y de salida es bastante significativa.

#### 7.1.2.- Factor de proporcionalidad (K)

De acuerdo con el factor de proporcionalidad, éste no presentó uniformidad en las crecidas, siendo total y absolutamente diferente para cada crecida analizada. Por esto, presentó valores positivos y negativos. Este factor, por poseer dimensiones de tiempo, no podría alcanzar valores negativos. Esto se explica por el diferencial de volumen y la implicancia que esto tiene en la mala calidad de la estimación. Asimismo, si se asume que K posee dimensiones de tiempo, el que cada crecida posea distintos factores de proporcionalidad, implica que los tiempos en que se demora una onda en ser medida entre una estación y otra, es diferente para cada crecida.

### 7.1.3.- Coeficiente $C_1$

En lo que concierne al coeficiente  $C_1$  del método de Muskingun, éste presentó disparidad en sus valores, no mostrando uniformidad en sus resultados, de lo que se desprende que cada crecida se comporta totalmente diferente a otra. Cabe destacar que en todas las crecidas donde el factor de ponderación fue igual a 0.5, el coeficiente  $C_1$  presentó valores iguales a 1, por lo que los coeficientes  $C_2$  y  $C_3$  presentaban los mismos valores, siendo uno negativo y el otro positivo.

### 7.1.4.- Coeficiente $C_2$

De acuerdo con el coeficiente  $C_2$  del método de Muskingun, éste presentó disparidad en sus valores, no presentando uniformidad en sus resultados, de lo que se desprende que cada crecida se comporta totalmente diferente a otra.

### 7.1.5.- Coeficiente $C_3$

De acuerdo con el coeficiente  $C_3$  del método de Muskingun, éste presentó disparidad en sus valores, no presentando uniformidad en sus resultados, de lo que se desprende que cada crecida se comporta totalmente diferente a otra.

## 7.2.- Caracterización Paramétrica de las crecidas

### 7.2.1.- Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ).

Para tratar de identificar qué crecida se comporta de forma más parecida a los datos reales, una de las medidas aplicadas fue el coeficiente de determinación, el cual indica qué porcentaje de la variación total está explicada por el modelo. Al analizar este coeficiente, se deduce que los resultados obtenidos para las crecidas analizadas, son de una calidad aceptable, en aquellos casos en que la diferencia de volúmenes entre las entradas y las

salidas no son significativas. Esto quiere decir que existe una alta correlación entre el coeficiente de determinación y la diferencia de volumen, puesto que a mayor diferencia de volumen, menor es el coeficiente de determinación y, a menor diferencia de volumen, mayor es el coeficiente de determinación. Esto se cumple para la mayoría de las crecidas, especialmente las comprendidas en el tramo Ñiquén - Quella.

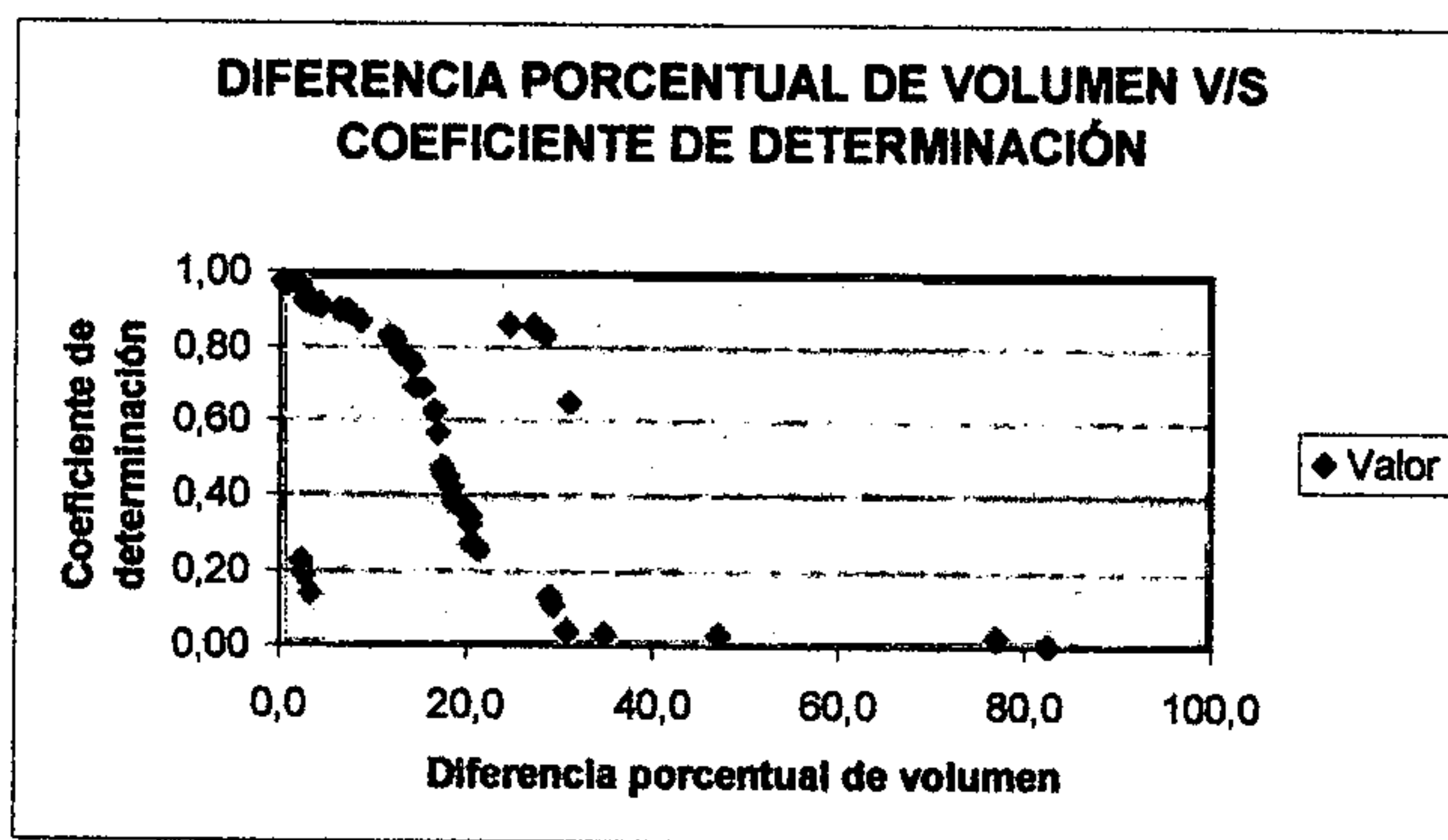


Figura N° 22: Representación gráfica de la relación entre la diferencia de volumen y el coeficiente de determinación.

### 7.2.2.- Error Estándar de Estimación (EEE).

Al igual que los valores del coeficiente de determinación, los valores del error estándar de estimación constituyen una prueba analítica que conforma un elemento más para inferir de forma global las tendencias en el comportamiento de las crecidas, en la misma unidad del parámetro utilizado. Los resultados obtenidos del error estándar de estimación, entre las crecidas analizadas, son aceptables en aquellos casos en que la diferencia de volumen entre la entrada y salida no es significativa, al igual como ocurrió con el coeficiente de determinación. Es decir, que existe una alta correlación entre el error estándar de estimación y la diferencia de volumen, puesto que en aquellos casos donde el



coeficiente de determinación era el más bajo, el error estándar de estimación era el más alto. Por consecuencia, esta afirmación ratifica que, a mayor diferencia de volumen, menor es el coeficiente de determinación y por efecto, a menor diferencia de volumen, menor es el error estándar de estimación, hecho que se cumple para la mayoría de las crecidas, especialmente para las comprendidas en el tramo Ñiquén – Quella. Ello se debe principalmente a que en este tramo, la distancia entre las estaciones no es significativa, hecho que contribuye a que la diferencia de volumen entre las entrada y la salida sea baja.

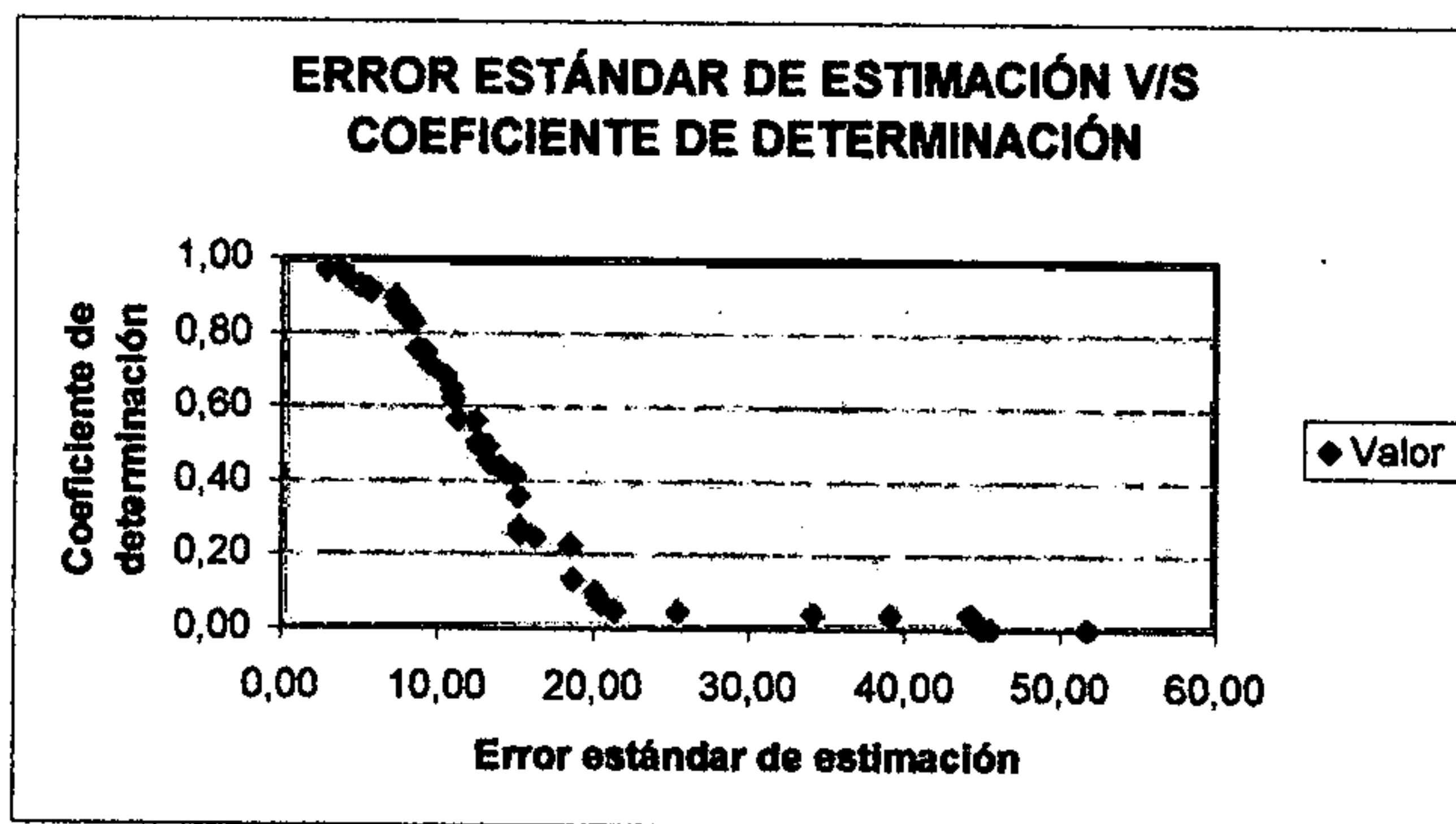


Figura N° 23: Representación gráfica de la relación entre el error estándar de estimación y el coeficiente de determinación.

### 7.2.3.- Prueba de Concordancia de Bland & Altman

Con esta prueba se procedió a determinar cuál de las crecidas analizadas, estimó de mejor forma el caudal de salida, para cada estación seleccionada. Para establecer cuál de las crecidas se ajusta mejor a los datos reales, se considera como mejor aquel que presente un menor valor de diferencias promedio ( $d_p$ ), entre los valores observados y los valores reales.

Los resultados arrojados por la prueba de concordancia de Bland y Altman (diferencias promedios), son presentados en el apéndice V, donde se muestran las diferencias promedio entre las crecidas.

De los valores arrojados tras la aplicación de la prueba, se desprende que la crecida N° 7, de la calibración, es la que mejor modela a las crecidas comprendidas entre el tramo de las estaciones de San Manuel y Ñiquén, ya que presenta las menores diferencias promedio, mientras que las crecidas que mejor modelan a las comprendidas en el tramo de las estaciones de Ñiquén y Quella, son las crecidas 3 y 7, ya que éstas son las que más se acercan a los valores reales, presentando las menores diferencias promedio. Las crecidas con mayor diferencia promedio reflejan una mayor diferencia de volumen entre la entrada y la salida.

#### 7.2.4.- Prueba U de Mann Whitney

La prueba U de Mann Whitney compara las medias de las dos muestras. Esta prueba se realiza combinando las dos muestras, ordenando los valores de menor a mayor, y comparando la media de los rangos de las dos muestras en los datos combinados. Para el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén, la prueba arrojó que el 20% de las crecidas analizadas presentan un valor-p mayor o igual a 0,05, por lo tanto esto quiere decir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias, de los valores reales y simulados de los caudales de salida del tramo, para un nivel de confianza del 95,0%.

Por otro lado, para las crecidas comprendidas entre las estaciones de Ñiquén y Quella la prueba arrojó que el 28% de las crecidas analizadas presentan un valor-p mayor o igual a 0,05, y por tanto, esto quiere decir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias, para un nivel de confianza del 95,0%.

La prueba de comparación de muestras, arrojó que en general el 76% de las crecidas analizadas en el río Perquilauquén, presentan diferencias estadísticamente significativas, entre el caudal de salida real y el caudal de salida simulado.

#### **7.2.5.- Diferencia de Volumen**

El análisis de esta cuantificación es de vital importancia para el estudio del método de Muskingum, puesto que esta medición es la que presenta mayor relevancia al momento de determinar los parámetros y coeficientes del método anteriormente mencionado, ya que el volumen medido en la segunda estación debe ser igual al cuantificado en la primera estación; el no cumplir con esta afirmación, demuestra que existen aportaciones intermedias, con lo cual no se cumple una de las hipótesis del método, la que dice que no deben existir aportaciones intermedias entre una estación y otra.

Analizadas las crecidas en los tramos comprendidos entre las estaciones de San Manuel – Ñiquén y Ñiquén – Quella, quedó de manifiesto que el volumen de salida medido en la estación de Ñiquén, en la mayoría de los casos es mayor que el volumen de entrada medido en la estación de San Manuel, lo que indica que existen aportaciones intermedias entre ambas estaciones, lo que también ocurre en la mayoría de los casos, en el tramo que se encuentra entre las estaciones de Ñiquén y Quella.

### **7.3 Caracterización de crecidas, según tramo**

#### **7.3.1.- Tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.**

En general las crecidas analizadas en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén, son difíciles de evaluar debido principalmente a que la distancia que existe entre ambas estaciones, es demasiada extensa, para una zona ecológica como la Región del Maule; ello presenta el problema que se verifican aportaciones de consideración, entre las estaciones, lo que queda de manifiesto al analizar los hidrogramas

de entrada y salida del cauce, ya que la estación de Ñiquén presenta en gran parte de las crecidas analizadas, mayor volumen que el medido en la estación de San Manuel, lo que demuestra que existen aportaciones intermedias entre ambas estaciones. En el apéndice VII se muestra un cuadro resumen con las pruebas de bondad de ajuste aplicadas al tramo.

#### 7.3.2.- Tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella.

Al contrario que en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén, en este tramo las estaciones de Ñiquén y Quella se encuentran a menor distancia, razón por la cual es factible mantener controladas las aportaciones intermedias. En general, las crecidas fueron modeladas y con porcentajes bastante aceptables, según el coeficiente de Determinación y se repitió la constante de que a mayor coeficiente de determinación, menor error estándar de estimación y de igual forma a menor diferencia de volumen, mayor coeficiente de determinación. Siguiendo con el análisis de estas crecidas, se aplicaron dos pruebas, la prueba U de Mann Whitney y la prueba de concordancia de Bland y Altman lo que no hicieron más que corroborar lo anteriormente expuesto, de lo que se desprende que el principal factor que influye en la modelación del tránsito de avenidas a través del método de Muskingum, son las aportaciones intermedias, ya que en aquellas crecidas que no pudieron ser modeladas, ello se debió principalmente a que el volumen medido en la segunda estación era mayor que el medido en la primera. En el apéndice VII se muestra un cuadro resumen con las pruebas de bondad de ajuste aplicadas al tramo.

#### 7.4 Método de Muskingum

Este es uno de los métodos mas utilizados a nivel mundial, por su fácil aplicación; no requiere de mucha información previa, sólo conocer los caudales de entrada y salida en dos estaciones cercanas. Sin embargo, a pesar de ser el método más recomendado en la literatura consultada, en la realización de este estudio no se obtuvieron buenos resultados al analizar las crecidas seleccionadas, según las pruebas de bondad de ajuste aplicadas. Al amparo del método, debe decirse que en las crecidas en donde no presentó buenos

resultados, se debió fundamentalmente a que el volumen de salida era mayor que el volumen de entrada. Por lo tanto, si no existe tránsito de avenidas puro, es difícil que el método simule adecuadamente.

## 8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1.- Conclusiones

De acuerdo con la investigación realizada en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel - Ñiquén y Ñiquén - Quella del río Perquilauquén, Región del Maule, es posible realizar las siguientes conclusiones:

- Para las crecidas analizadas, tanto entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén como en las estaciones de Ñiquén y Quella, se aprecia que existen diferencias notables en los parámetros de ponderación y de proporcionalidad, correspondientes al método de tránsito de avenidas de Muskingum. Esto, debido principalmente a que éste método no contempla que se verifiquen diferencias entre los volúmenes de entrada y los de salida.
- En la mayoría las crecidas comprendidas en el tramo de las estaciones de San Manuel y Ñiquén, no presentan un buen ajuste o validación; sólo una crecida presentó una buena calidad de ajuste. Mientras que, las crecidas del tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella, sí presentan una buena simulación, por lo que, en éste tramo el método de Muskingum es aplicable.
- Los métodos estadísticos aplicados a las crecidas simuladas, denotan diferencias, aunque en general son similares en sus resultados, es decir, existen crecidas simuladas en las cuales la prueba de concordancia de Bland y Altman arroja una diferencia promedio baja, en relación al caudal medio del río Perquilauquén, mientras que la prueba U de Mann Whitney, acepta la hipótesis nula. Asimismo el coeficiente de determinación es aceptable y el error estándar de estimación es bajo, sin embargo, en un conjunto no despreciable de crecidas se evidencian diferencias entre los resultados estadísticos.

- Por último, se puede decir que de no existir desigualdad entre los volúmenes de entrada y salida, es altamente probable que el método de Muskingum modele adecuadamente.

### 8.2.- Recomendaciones

Por último, en caso de posteriores estudios y que incluyan aspectos considerados en esta memoria, se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Ampliar el estudio a otra zona de la Región del Maule, considerando diversas situaciones hidráulicas, pero siempre evitando la presencia de aportaciones intermedias que se pudiesen producir.
- Con respecto a las aportaciones intermedias, se debe tener especial cuidado en la selección de las estaciones y específicamente en el tramo comprendido entre las estaciones seleccionadas, asegurándose que no existan tributantes, ya que éstos no figuran en los limnigramas.
- Finalmente, se recomienda usar los siguientes factores, para la simulación de tránsito de avenidas por el método de Muskingum, ya que éstos son los que mejor modelaron el tránsito de avenidas en el río Perquilauquén, en los tramos comprendidos entre las estaciones de San Manuel – Ñiquén y Ñiquén - Quella.

San Manuel - Ñiquén					Ñiquén - Quella				
K	X	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	K	X	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
7,7	0,5	1	-0,771	0,771	15,4	0	0,031	0,031	0,937
					Ñiquén - Quella				
					K	X	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
					2.5	0.5	-0.43	1	0.43

## 9.- BIBLIOGRAFÍA

Aparicio, F. 2003. Fundamentos de hidrología de superficie. . Editorial Limusa. Undécima reimpresión. México 303 p.

Ausensi, P. 2005. Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes. Tesis para optar al grado de licenciado en ciencias forestales. Chile. 111 p.

Birkhead A.L. and James C.S. 2001. Muskingum river routing with dynamic bank storage. Journal of Hydrology, 264, (1-4): 113-132

Bland, J. Altman, D. 1999. stadistical methods in medical reserarch. Measuring agreement in methods comparative studies. Volumen 8 number 2 U.S.A. 135 – 160 p.

Cade – Idepe. 2004. Diagnóstico y clasificación de los cuerpos de agua, según objetivos de calidad. Cuenca del río Maule. Gobierno de Chile. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas. Santiago, Chile. 152 p.

Canavos, G., 1993. Probabilidad y Estadísticas, aplicaciones y métodos. Mc Graw – Hill. España. 646 p.

Chow, V.T. ; Maidment D.R., Mays L.W., 1994. Hidrología aplicada. Mc Graw – Hill. México. 584 p.

Santibáñez, F. 1990. Atlas agroclimático de Chile. Regiones IV a IX. Publicación. CIREN N° 87, Santiago, Chile. 67 p.

Gill M.A. 1977. Flood routing by the Muskingum method Journal of Hydrology, 36, (3-4): 353- 363 p.



Gujarati, D. 1992. Econometría segunda edición. Editorial Mc Graw – Hill latinoamericana D.F. México. 597 p.

IGM (Instituto geográfico Militar). 1985. Atlas Geográfico de Chile para la Educación. Talleres gráficos del Instituto Geográfico Militar. Santiago. Chile. 140 p.

Linsley, R., Kohler M., Paulhus, J. 1993. Hidrología General principios y aplicaciones. Servicio editorial de la Universidad del país Vasco. España. 635 p.

OMM (Organización Mundial de Meteorología) 1994. Guía de prácticas hidrológicas (En línea). Consultado 8 set. 2005. Disponible en

[http://www.bom.gov.au/hydro/wr/wmo/guide\\_to\\_hydrological\\_practices/WMOSPA.pdf](http://www.bom.gov.au/hydro/wr/wmo/guide_to_hydrological_practices/WMOSPA.pdf)

Ponce, V. 1989. Engineering hydrology, principles and practices. Editorial Prentice hall. New Jersey, USA. 640 p.

Solís, J. 2003. Paquete interactivo para análisis hidrológico. Tesis Ing. Civil. Puebla, México, Universidad de las Américas, Escuela de Ingeniería. 133p. consultado 20 oct. 2005. Disponible en

[http://140.148.3.250/u\\_dl\\_a/servlet/mx.udlap.ict.tales.html.Block?Thesis=424&Type=O](http://140.148.3.250/u_dl_a/servlet/mx.udlap.ict.tales.html.Block?Thesis=424&Type=O)

Strupczewski W. and Kundzewicz Z. 1979. Muskingum method revisited Journal of Hydrology, 48, (3-4): 327-342

## **Anexo I**

### **Curvas de descarga para la estación de San Manuel**

Texto obtenido literalmente de curvas de descarga proporcionadas por la Dirección General de Aguas (DGA)

DIRECCION GENERAL DE AGUAS

## CURVA DE DESCARGA

FECHA 24/03/2006

Estación : RIO PERQUILAUQUEN EN SAN MANUEL

Código BNA : 07330001 - 0

Latitud S : 036° 25' 00

UTM Norte : 5.966.866 mts

Altitud : 280

Longitud W : 071° 30' 00

UTM Este : 275.841 mts

Cuenca : RIO MAULE

SubCuenca : Rio Perquilauquen Alto (bajo run Area de Drenaje 326.00 km

PERIODO 01/01/1997 31/12/2001

CURVA DE DESCARGA	VERSION	COTA CERRO LIMNIM (cm)	PERIODO DE VALIDEZ		EXTRAPOLADA		CÓDIGO TÉCNICA	FECHA TRAZADO
			DESDE	DESDE	SOBRE	BAJO		
380	1	0.00	12/01/1996	13/04/1997	1.20	0.24	...	24/03/1996

H (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
0.10	0.80	0.83	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	1.01	1.04	1.07
0.20	1.10	1.16	1.22	1.28	1.34	1.40	1.46	1.52	1.58	1.64
0.30	1.70	1.80	1.90	2.00	2.10	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60
0.40	2.70	2.84	2.98	3.12	3.26	3.40	3.58	3.76	3.94	4.12
0.50	4.30	4.51	4.72	4.93	5.14	5.35	5.56	5.77	5.98	6.19
0.60	6.40	6.70	7.00	7.30	7.60	7.90	8.20	8.50	8.80	9.10
0.70	9.40	9.80	10.20	10.60	11.00	11.40	11.82	12.24	12.66	13.08
0.80	13.50	14.06	14.62	15.18	15.74	16.30	16.88	17.46	18.04	18.62
0.90	19.20	19.92	20.64	21.36	22.08	22.80	23.54	24.28	25.02	25.76
1.00	26.50	27.36	28.22	29.08	29.94	30.80	31.68	32.56	33.44	34.32
1.10	35.20	36.14	37.08	38.02	38.96	39.90	40.84	41.78	42.72	43.66
1.20	44.60	45.64	46.68	47.72	48.76	49.80	50.84	51.88	52.92	53.96
1.30	55.00	55.92	56.84	57.76	58.68	59.60	60.52	61.44	62.36	63.28
1.40	64.20	65.44	66.68	67.92	69.16	70.40	71.66	72.92	74.18	75.44
1.50	76.70	77.76	78.82	79.88	80.94	82.00	83.06	84.12	85.18	86.24
1.60	87.30	88.82	90.34	91.86	93.38	94.90	96.52	98.14	99.76	101.38
1.70	103.00	104.60	106.20	107.80	109.40	111.00	112.60	114.20	115.80	117.40
1.80	119.00	120.80	122.60	124.40	126.20	128.00	130.00	132.00	134.00	136.00
1.90	138.00	140.00	142.00	144.00	146.00	148.00	150.20	152.40	154.60	156.80
2.00	159.00	161.20	163.40	165.60	167.80	170.00	172.20	174.40	176.60	178.80
2.10	181.00	183.40	185.80	188.20	190.60	193.00	195.40	197.80	200.20	202.60
2.20	205.00	207.60	210.20	212.80	215.40	218.00	220.60	223.20	225.80	228.40
2.30	231.00	233.60	236.20	238.80	241.40	244.00	246.80	249.60	252.40	255.20
2.40	258.00	260.80	263.60	266.40	269.20	272.00	275.00	278.00	281.00	284.00
2.50	287.00	290.00	293.00	296.00	299.00	302.00	305.00	308.00	311.00	314.00

DIRECCION GENERAL DE AGUAS

## CURVA DE DESCARGA

FECHA 24/03/2006

Estación : RIO PERQUILAUQUEN EN SAN MANUEL

Código BNA: 07330001 - 0

Latitud S : 036° 25' 00

UTM Norte : 5.966.866 mts

Altitud : 280

Longitud W : 071° 30' 00

UTM Este : 275.841 mts

Cuenca : RIO MAULE

SubCuenca : Rio Perquilauquen Alto (bajo km Area de Drenaje 326.00 km

PERIODO 01/01/1997 31/12/2001

CURVA DE DESCARGA	VERSION	COTA CERO LIMNIM (cm)	PERIODO DE VALIDEZ		EXTRAPOLADA		CÓDIGO TÉCNICA	FECHA TRAZADO
			DESDE	DESDE	SOBRE	BAJO		
380	1	0.00	12/01/1996	13/04/1997	1.20	0.24	--	24/03/1996

H (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
2.60	317.00	320.00	323.00	326.00	329.00	332.00	335.20	338.40	341.60	344.80
2.70	348.00	351.20	354.40	357.60	360.80	364.00	367.40	370.80	374.20	377.60
2.80	381.00	384.20	387.40	390.60	393.80	397.00	400.40	403.80	407.20	410.60
2.90	414.00	417.40	420.80	424.20	427.60	431.00	434.40	437.80	441.20	444.60
3.00	448.00	451.60	455.20	458.80	462.40	466.00	469.60	473.20	476.80	480.40
3.10	484.00	487.60	491.20	494.80	498.40	502.00	505.80	509.60	513.40	517.20
3.20	521.00	524.60	528.20	531.80	535.40	539.00	542.80	546.60	550.40	554.20
3.30	558.00	562.00	566.00	570.00	574.00	578.00	582.00	586.00	590.00	594.00
3.40	598.00	602.00	606.00	610.00	614.00	618.00	622.00	626.00	630.00	634.00
3.50	638.00	642.20	646.40	650.60	654.80	659.00	663.20	667.40	671.60	675.80
3.60	680.00	684.20	688.40	692.60	696.80	701.00	705.20	709.40	713.60	717.80
3.70	722.00	726.20	730.40	734.60	738.80	743.00	747.20	751.40	755.60	759.80
3.80	764.00									

## **Anexo II**

### **Curvas de descarga para la estación de Ñiquén**

Texto obtenido literalmente de curvas de descarga proporcionadas por la Dirección General de Aguas (DGA)

## DIRECCION GENERAL DE AGUAS

## CURVA DE DESCARGA

VALMA 24/12/2000

Estación : RIO PERQUILAUQUEN EN GNIQUEN

Código BNA: 07332001 - I

Latitud S : 036° 14' 00"

UTM Norte : 5.985.931 ms

Altitud : 140

Longitud W : 072° 00' 00"

UTM Este : 769.633 ms

Cuenca : RIO MAULE

SubCuenca : Río Perquilauquen Alto (bajo un Arca de Drenaje 1.033,00 km

PERIODO 01/01/1997 31/12/2001

CURVA DE DESCARGA	VERSION	COTA CERO LIMNIM (cm)	PERIODO DE VALIDEZ		EXTRAPOLADA		CÓDIGO TÉCNICA	FECHA TRAZADO
			DESDE	DESDE	BOBRE	BAJO		
130	1	0.00	12/07/1995	13/01/2004	1.53	0.66	Crítica con Apoyo de Afaro	04/01/2006

H (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
0.50	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27
0.60	0.30	0.38	0.46	0.54	0.62	0.70	0.92	1.14	1.36	1.58
0.70	1.80	2.06	2.32	2.58	2.84	3.10	3.46	3.82	4.18	4.54
0.80	4.90	5.34	5.78	6.22	6.66	7.10	7.74	8.38	9.02	9.66
0.90	10.30	11.04	11.78	12.52	13.26	14.00	14.80	15.60	16.40	17.20
1.00	18.00	18.86	19.72	20.58	21.44	22.30	23.24	24.18	25.12	26.06
1.10	27.00	27.90	28.80	29.70	30.60	31.50	32.42	33.34	34.26	35.18
1.20	36.10	37.04	37.98	38.92	39.86	40.80	41.78	42.76	43.74	44.72
1.30	45.70	46.64	47.58	48.52	49.46	50.40	51.40	52.40	53.40	54.40
1.40	55.40	56.40	57.40	58.40	59.40	60.40	61.40	62.40	63.40	64.40
1.50	65.40	66.42	67.44	68.46	69.48	70.50	71.56	72.62	73.68	74.74
1.60	75.80	76.90	78.00	79.10	80.20	81.30	82.54	83.78	85.02	86.26
1.70	87.50	88.80	90.10	91.40	92.70	94.00	95.40	96.80	98.20	99.60
1.80	101.00	102.40	103.80	105.20	106.60	108.00	109.60	111.20	112.80	114.40
1.90	116.00	117.40	118.80	120.20	121.60	123.00	124.60	126.20	127.80	129.40
2.00	131.00	132.80	134.60	136.40	138.20	140.00	141.80	143.60	145.40	147.20
2.10	149.00	151.00	153.00	155.00	157.00	159.00	161.00	163.00	165.00	167.00
2.20	169.00	171.04	173.08	175.12	177.16	179.20	181.26	183.32	185.38	187.44
2.30	189.50	191.55	193.60	195.65	197.70	199.75	201.80	203.85	205.90	207.95
2.40	210.00	212.00	214.00	216.00	218.00	220.00	222.00	224.00	226.00	228.00
2.50	230.00	232.10	234.20	236.30	238.40	240.50	242.60	244.70	246.80	248.90
2.60	251.00	253.50	256.00	258.50	261.00	263.50	266.00	268.50	271.00	273.50
2.70	276.00	278.50	281.00	283.50	286.00	288.50	291.00	293.50	296.00	298.50
2.80	301.00	304.00	307.00	310.00	313.00	316.00	319.00	322.00	325.00	328.00
2.90	331.00	334.00	337.00	340.00	343.00	346.00	349.00	352.00	355.00	358.00

DIRECCION GENERAL DE AGUAS

## CURVA DE DESCARGA

FECHA 24/03/2006

Estación : RIO PERQUILAUQUEN EN GNIQUEN

Código BNA : U7332001 - 1

Latitud S : 036° 14' 00

UTM Norte : 5.985.931 mts

Altitud : 140

Longitud W : 072° 00' 00

UTM Este : 769.633 mts

Cuenca : RIO MAULE

SubCuenca : Rio Perquilauquen Alto (bajo su Area de Drenaje 1.033.00 km

PERIODO 01/01/1997 31/12/2001

CURVA DE DESCARGA	VERSION	COTA CERO LIMNIM (cm)	PERIODO DE VALIDEZ		EXTRAPOLADA		CÓDIGO TÉCNICA	FECHA TRAZADO
			DESDE	DESDE	SOBRE	BAJO		
150	1	0.00	12/07/1995	13/01/2004	1.53	0.66	Gráfica con Apoyo de Alforo	04/01/2006

H (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)
3.00	361.00	364.00	367.00	370.00	373.00	376.00	379.00	382.00	385.00	388.00
3.10	391.00	394.00	397.00	400.00	403.00	406.00	409.00	412.00	415.00	418.00
3.20	421.00	424.54	428.08	431.62	435.16	438.70	442.26	445.82	449.38	452.94
3.30	456.50	460.04	463.58	467.12	470.66	474.20	477.76	481.32	484.88	488.44
3.40	492.00	495.80	499.60	503.40	507.20	511.00	514.80	518.60	522.40	526.20
3.50	530.00	533.80	537.60	541.40	545.20	549.00	552.80	556.60	560.40	564.20
3.60	568.00	571.90	575.80	579.70	583.60	587.50	591.40	595.30	599.20	603.10
3.70	607.00	610.90	614.80	618.70	622.60	626.50	630.40	634.30	638.20	642.10
3.80	646.00	649.90	653.80	657.70	661.60	665.50	669.40	673.30	677.20	681.10
3.90	685.00	688.90	692.80	696.70	700.60	704.50	708.40	712.36	716.20	720.10
4.00	724.00	728.00	732.00	736.00	740.00	744.00	748.00	752.00	756.00	760.00
4.10	764.00	768.20	772.40	776.60	780.80	785.00	789.00	793.00	797.00	801.00
4.20	805.00	809.20	813.40	817.60	821.80	826.00	830.40	834.80	839.20	843.60
4.30	848.00	852.20	856.40	860.60	864.80	869.00	873.40	877.80	882.20	886.60
4.40	891.00	895.40	899.80	904.20	908.60	913.00	917.40	921.80	926.20	930.60
4.50	935.00	939.60	944.20	948.80	953.40	958.00	962.60	967.20	971.80	976.40
4.60	981.00	985.60	990.20	994.80	999.40	1,004.00	1,008.60	1,013.20	1,017.80	1,022.40
4.70	1,027.00	1,031.80	1,036.60	1,041.40	1,046.20	1,051.00	1,055.80	1,060.60	1,065.40	1,070.20
4.80	1,075.00	1,080.00	1,085.00	1,090.00	1,095.00	1,100.00	1,104.80	1,109.60	1,114.40	1,119.20
4.90	1,124.00	1,128.60	1,133.20	1,137.80	1,142.40	1,147.00	1,151.60	1,156.20	1,160.80	1,165.40
5.00	1,170.00	1,174.60	1,179.20	1,183.80	1,188.40	1,193.00	1,197.60	1,202.20	1,206.80	1,211.40
5.10	1,216.00	1,220.60	1,225.20	1,229.80	1,234.40	1,239.00	1,243.60	1,248.20	1,252.80	1,257.40
5.20	1,262.00	1,266.80	1,271.60	1,276.40	1,281.20	1,286.00	1,290.80	1,295.60	1,300.40	1,305.20
5.30	1,310.00	1,314.80	1,319.60	1,324.40	1,329.20	1,334.00	1,338.80	1,343.60	1,348.40	1,353.20
5.40	1,358.00	1,362.80	1,367.60	1,372.40	1,377.20	1,382.00	1,386.80	1,391.60	1,396.40	1,401.20

DIRECCION GENERAL DE AGUAS

CURVA DE DESCARGA

VERSIÓN 2004/2006

Estación : RÍO PERQUILAUQUEN EN GNIQUEN

Código BNA : 07332001 - 1

Latitud S : 036° 14' 00"

UTM Norte : 5.985.931 mts

Altitud : 140

Longitud W : 072° 00' 00"

UTM Este : 769.633 mts

Cuenca : RÍO MAULE

SubCuenca : Río Perquilauquen Alto (bajo un Área de Drenaje 1.033.00 km

PERIODO 01/01/1997 31/12/2001

CURVA DE DESCARGA	VERSION	COTA CERVO LIMITE (cm)	PERIODO DE VALIDEZ		EXTRAPOLADA		CÓDIGO TÉCNICA	FECHA TRAZADO
			DESDE	DESDE	SOBRE	BAJO		
150	1	0.00	12/07/1993	13/01/2004	1.53	0.66	Orificio con Apoyo de Aforo	04/01/2006

H (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
3.50	1,406.00									



## **Anexo III**

# **Curvas de descarga para la estación de Quella**

Texto obtenido literalmente de curvas de descarga proporcionadas por la Dirección General de Aguas (DGA)

DIRECCION GENERAL DE AGUAS

CURVA DE DESCARGA

FECHA 24/03/2006

Estación : RIO PEROUTLAUQUEN EN QUELLA

Código BNA : 07335001 - 8

Latitud S : 036° 03' 00

UTM Norte : 5.006.503 mts

Altitud : 120

Longitud W : 072° 05' 00

UTM Este : 762.752 mts

Cuenca : RIO MAULE

SubCuenca : Rio Perquilanquen Alto (bajo jun Area de Drenaje 1.995.00 km

PERIODO 01/01/1997 31/12/2001

CURVA DE DESCARGA	VERSION	COTA CERRO LIMITE (cm)	PERIODO DE VALIDEZ		EXTRAPOLADA		CÓDIGO TÉCNICA	FECHA TRAZADO
			DESDE	DESDE	SOBRE	BAJO		
140	1	0.00	23/03/1994	30/06/2000	2.40	0.22	...	22/08/1996

H (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
0.40	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05	0.08	0.10
0.50	0.12	0.14	0.15	0.17	0.18	0.20	0.32	0.44	0.56	0.68
0.60	0.80	0.92	1.04	1.16	1.28	1.40	1.54	1.68	1.82	1.96
0.70	2.10	2.48	2.86	3.24	3.62	4.00	4.30	4.60	4.90	5.20
0.80	5.50	5.80	6.10	6.40	6.70	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00
0.90	9.50	9.94	10.38	10.82	11.26	11.70	12.26	12.82	13.38	13.94
1.00	14.50	15.00	15.50	16.00	16.50	17.00	17.90	18.80	19.70	20.60
1.10	21.50	22.36	23.22	24.08	24.94	25.80	26.70	27.60	28.50	29.40
1.20	30.30	31.24	32.18	33.12	34.06	35.00	36.00	37.00	38.00	39.00
1.30	40.00	41.10	42.20	43.30	44.40	45.50	46.60	47.70	48.80	49.90
1.40	51.00	52.14	53.28	54.42	55.56	56.70	57.86	59.02	60.18	61.34
1.50	62.50	63.80	65.10	66.40	67.70	69.00	70.40	71.80	73.20	74.60
1.60	76.00	77.50	79.00	80.50	82.00	83.50	85.00	86.50	88.00	89.50
1.70	91.00	92.60	94.20	95.80	97.40	99.00	100.60	102.20	103.80	105.40
1.80	107.00	108.60	110.20	111.80	113.40	115.00	116.60	118.20	119.80	121.40
1.90	123.00	124.60	126.20	127.80	129.40	131.00	132.60	134.20	135.80	137.40
2.00	139.00	140.60	142.20	143.80	145.40	147.00	148.60	150.20	151.80	153.40
2.10	155.00	156.80	158.60	160.40	162.20	164.00	165.60	167.20	168.80	170.40
2.20	172.00	173.80	175.60	177.40	179.20	181.00	182.80	184.60	186.40	188.20
2.30	190.00	191.80	193.60	195.40	197.20	199.00	200.60	202.20	203.80	205.40
2.40	207.00	208.80	210.60	212.40	214.20	216.00	217.80	219.60	221.40	223.20
2.50	225.00	226.80	228.60	230.40	232.20	234.00	235.80	237.60	239.40	241.20
2.60	243.00	244.80	246.60	248.40	250.20	252.00	253.80	255.60	257.40	259.20
2.70	261.00	262.80	264.60	266.40	268.20	270.00	271.80	273.60	275.40	277.20
2.80	279.00	280.80	282.60	284.40	286.20	288.00	290.00	292.00	294.00	296.00

DIRECCION GENERAL DE AGUAS

## CURVA DE DESCARGA

FECHA 24/03/2006

Estación : RIO PERQUILAUQUEN EN QUELLA

Código BNA: 07335001 - 8

Latitud S : 036° 03' 00

UTM Norte : 5.006.503 mts

Altitud : 120

Longitud W : 072° 05' 00

UTM Este : 762.752 mts

Cuenca : RIO MAULE

SubCuenca : Rio Perquilauquen Alto (bajo un Arca de Drenaje 1.995.00 km

PERIODO 01/01/1997 31/12/2001

CURVA DE DESCARGA	VERSION	COTA CERRO LIMNIM (cm)	PERIODO DE VALIDEZ		EXTRAPOLADA		CÓDIGO TÉCNICA	FECHA TRAZADO
			DESDE	DESDE	SOBRE	BAJO		
140	1	0.00	23/03/1994	30/06/2000	2.40	0.22	...	22/08/1996

H (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
2.90	298.00	299.80	301.60	303.40	305.20	307.00	309.00	311.00	313.00	315.00
3.00	317.00	319.00	321.00	323.00	325.00	327.00	329.00	331.00	333.00	335.00
3.10	337.00	339.00	341.00	343.00	345.00	347.00	349.20	351.40	353.60	355.80
3.20	358.00	360.00	362.00	364.00	366.00	368.00	370.20	372.40	374.60	376.80
3.30	379.00	381.00	383.00	385.00	387.00	389.00	391.20	393.40	395.60	397.80
3.40	400.00	402.20	404.40	406.60	408.80	411.00	413.20	415.40	417.60	419.80
3.50	422.00	424.20	426.40	428.60	430.80	433.00	435.20	437.40	439.60	441.80
3.60	444.00	446.20	448.40	450.60	452.80	455.00	457.40	459.80	462.20	464.60
3.70	467.00	469.20	471.40	473.60	475.80	478.00	480.60	483.20	485.80	488.40
3.80	491.00	493.60	496.20	498.80	501.40	504.00	506.80	509.60	512.40	515.20
3.90	518.00	521.00	524.00	527.00	530.00	533.00	536.00	539.00	542.00	545.00
4.00	548.00	551.20	554.40	557.60	560.80	564.00	567.20	570.40	573.60	576.80
4.10	580.00	583.20	586.40	589.60	592.80	596.00	599.20	602.40	605.60	608.80
4.20	612.00	615.40	618.80	622.20	625.60	629.00	632.20	635.40	638.60	641.80
4.30	645.00	648.20	651.40	654.60	657.80	661.00	664.20	667.40	670.60	673.80
4.40	677.00	680.40	683.80	687.20	690.60	694.00	697.40	700.80	704.20	707.60
4.50	711.00	714.40	717.80	721.20	724.60	728.00	731.40	734.80	738.20	741.60
4.60	745.00	748.40	751.80	755.20	758.60	762.00	765.40	768.80	772.20	775.60
4.70	779.00	782.40	785.80	789.20	792.60	796.00	799.40	802.80	806.20	809.60
4.80	813.00	816.40	819.80	823.20	826.60	830.00	833.60	837.20	840.80	844.40
4.90	848.00	851.60	855.20	858.80	862.40	866.00	869.60	873.20	876.80	880.40
5.00	884.00	887.60	891.20	894.80	898.40	902.00	905.60	909.20	912.80	916.40
5.10	920.00	923.60	927.20	930.80	934.40	938.00	941.60	945.20	948.80	952.40
5.20	956.00	959.60	963.20	966.80	970.40	974.00	977.60	981.20	984.80	988.40
5.30	992.00	995.60	999.20	1,002.80	1,006.40	1,010.00	1,013.60	1,017.20	1,020.80	1,024.40

## **Apéndices I**

**Datos de altura y caudal por crecida en las  
estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella**

Tabla N° 24: Datos de altura y caudal para la crecida N° 1 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)
0	1,16	40,84	1,36	51,4	1,56	70,4
1	1,16	40,84	1,36	51,4	1,56	70,4
2	1,18	42,72	1,38	51,4	1,58	73,2
3	1,18	42,72	1,4	55,4	1,58	73,2
4	1,2	44,6	1,44	59,4	1,6	76
5	1,22	46,68	1,56	71,56	1,6	76
6	1,28	52,92	1,62	78	1,62	79
7	1,42	66,68	1,66	82,54	1,62	79
8	1,5	76,7	1,68	85,02	1,62	79
9	1,54	80,94	1,68	85,02	1,64	82
10	1,56	83,06	1,68	85,02	1,64	82
11	1,58	85,18	1,66	82,54	1,64	82
12	1,56	83,06	1,64	80,2	1,66	85
13	1,54	80,94	1,64	80,2	1,68	88
14	1,52	78,82	1,62	78	1,72	94,2
15	1,52	78,82	1,62	78	1,74	97,4
16	1,5	76,7	1,6	75,8	1,78	103,8
17	1,48	74,18	1,58	73,68	1,82	110,2
18	1,46	71,66	1,58	73,68	1,82	110,2
19	1,44	69,16	1,56	71,56	1,84	113,4
20	1,42	66,68	1,56	71,56	1,84	113,4
21	1,4	64,2	1,54	69,48	1,84	113,4
22	1,38	62,36	1,54	68,48	1,82	110,2
23	1,38	62,36	1,52	67,44	1,82	110,2
24	1,36	60,52	1,52	67,44	1,82	110,2
25	1,36	60,52	1,52	67,44	1,82	110,2
26	1,34	58,68	1,52	67,44	1,8	107
27	1,34	58,68	1,52	67,44	1,8	107
28	1,34	58,68	1,52	67,44	1,8	107
29	1,32	56,84	1,52	67,44	1,8	107
30	1,32	56,84	1,52	67,44	1,8	107
31	1,32	56,84	1,52	67,44	1,8	107
32	1,3	55	1,52	67,44	1,8	107
33	1,3	55	1,52	67,44	1,8	107
34	1,3	55	1,52	67,44	1,8	107
35	1,3	55	1,52	67,44	1,8	107
36	1,3	55	1,52	67,44	1,8	107

Tabla N° 25: Datos de altura y caudal para la crecida N° 2 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )
0	1,56	83,06	1,96	124,6	2,16	158,6
1	1,56	83,06	1,98	127,8	2,16	158,6
2	1,56	83,06	2	131	2,18	168,8
3	1,58	85,18	2,04	138,2	2,2	172
4	1,6	87,3	2,08	145,4	2,24	179,2
5	1,64	93,38	2,12	153	2,28	186,4
6	1,7	103	2,16	161	2,3	190
7	1,76	112,6	2,24	177,16	2,32	193,6
8	1,88	134	2,34	197,7	2,36	200,6
9	2,06	172,2	2,46	222	2,38	203,8
10	2,2	205	2,54	238,4	2,4	207
11	2,28	225,8	2,64	261	2,42	210,6
12	2,38	252,4	2,78	296	2,48	221,4
13	2,5	287	2,9	331	2,56	235,8
14	2,56	305	3	361	2,68	257,4
15	2,56	305	3,04	373	2,7	261
16	2,5	287	3,04	373	2,72	264,6
17	2,42	263,6	3	361	2,88	294
18	2,36	246,8	2,9	331	2,94	305,2
19	2,26	220,6	2,88	325	3,06	329
20	2,2	205	2,74	286	3,1	337
21	2,18	200,2	2,68	271	3,14	345
22	2,12	185,8	2,62	256	3,16	349,2
23	2,1	181	2,56	242,6	3,16	349,2
24	2,06	172,2	2,52	234,2	3,16	349,2
25	2,04	167,8	2,5	230	3,12	341
26	2	159	2,46	222	3,04	325
27	1,98	154,6	2,42	214	2,98	313
28	1,96	150,2	2,4	210	2,92	301,6
29	1,96	150,2	2,38	205,9	2,86	290
30	1,94	146	2,36	201,8	2,8	279
31	1,92	140	2,34	197,7	2,74	268,2
32	1,9	138	2,32	193,6	2,72	264,6
33	1,88	134	2,3	198,5	2,7	261
34	1,88	134	2,28	185,38	2,68	257,4
35	1,86	130	2,26	181,26	2,68	257,4
36	1,86	130	2,24	177,16	2,66	253,8
37	1,84	126,4	2,22	173,08	2,66	253,8
38	1,84	126,4	2,22	173,08	2,62	246,6
39	1,82	122,6	2,2	169	2,62	246,6

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)
40	1,8	119	2,18	165	2,6	243
41	1,8	119	2,18	165	2,6	243
42	1,8	119	2,16	161	2,58	239,4
46	1,8	119	2,14	157	2,56	235,8
47	1,8	119	2,14	157	2,56	235,8
48	1,8	119	2,14	157	2,54	232,2
49	1,8	119	2,14	157	2,54	232,2
50	1,8	119	2,14	157	2,52	228,6
51	1,8	119	2,14	157	2,52	228,6
52	1,8	119	2,14	157	2,52	228,6
53	1,8	119	2,14	157	2,52	228,6

Tabla N° 26: Datos de altura y caudal para la crecida N° 3 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )
0	0,64	7,6	0,98	16,4	1	14,5
1	0,64	7,6	0,98	16,4	1	14,5
2	0,66	8,2	1	18	1,04	16,5
3	0,66	8,2	1,08	25,12	1,1	21,5
4	0,68	8,8	1,16	32,42	1,2	23,22
5	0,68	8,8	1,22	37,98	1,26	36
6	0,7	9,4	1,26	41,78	1,3	40
7	0,74	11	1,28	43,74	1,32	42,2
8	0,9	19,2	1,28	43,74	1,32	42,2
9	1,2	44,6	1,28	43,74	1,32	42,2
10	1,26	50,84	1,28	43,74	1,32	42,2
11	1,32	56,84	1,26	41,78	1,32	42,2
12	1,32	56,84	1,26	41,78	1,32	42,2
13	1,34	58,68	1,24	39,86	1,32	42,2
14	1,32	56,84	1,24	39,86	1,32	42,2
15	1,28	52,92	1,22	37,98	1,32	42,2
16	1,26	50,84	1,22	37,98	1,32	42,2
17	1,28	52,92	1,2	36,1	1,32	42,2
18	1,22	46,68	1,2	36,1	1,3	40
19	1,2	44,6	1,18	34,26	1,3	40
20	1,18	42,72	1,18	34,26	1,3	40
21	1,16	40,84	1,18	34,26	1,3	40
22	1,14	38,96	1,16	32,42	1,3	40
23	1,12	37,08	1,16	32,42	1,28	38
24	1,1	35,2	1,14	30,6	1,28	38
25	1,1	35,2	1,14	30,6	1,28	38
26	1,08	33,44	1,14	30,6	1,28	38
27	1,06	31,68	1,12	28,8	1,28	38
28	1,06	31,68	1,12	28,8	1,26	36
29	1,06	31,68	1,12	28,8	1,26	36
30	1,04	29,94	1,12	28,8	1,26	36
31	1,04	29,94	1,1	27	1,26	36
32	1,02	28,22	1,1	27	1,24	34,06
33	1,02	28,22	1,1	27	1,24	34,06
34	1,02	28,22	1,1	27	1,24	34,06
35	1	26,5	1,1	27	1,24	34,06
36	1	26,5	1,1	27	1,24	34,06
37	0,98	25,02	1,08	25,12	1,22	32,18
38	0,98	25,02	1,08	25,12	1,22	32,18
39	0,98	25,02	1,08	25,12	1,22	32,18



<b>Tiempo (h)</b>	<b>San Manuel</b>		<b>Ñiquén</b>		<b>Quella</b>	
	<b>Altura (m)</b>	<b>Caudal (m3)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Caudal (m3)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Caudal (m3)</b>
40	0,96	23,54	1,06	23,24	1,2	30,3
41	0,96	23,54	1,06	23,24	1,2	30,3
42	0,96	23,54	1,06	23,24	1,2	30,3

Tabla N° 27: Datos de altura y caudal para la crecida N° 4 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )
0	0,68	8,8	1,18	34,26	0,98	13,38
1	0,68	8,8	1,18	34,26	0,98	13,38
2	0,68	8,8	1,18	34,26	1,02	15,5
3	0,68	8,8	1,18	34,26	1,16	26,7
4	0,7	9,4	1,18	34,26	1,3	40
5	0,8	13,5	1,2	36,1	1,36	46,6
6	1,4	64,2	1,4	55,4	1,4	51
7	1,58	85,18	1,5	65,4	1,42	53,28
8	1,56	83,06	1,56	71,56	1,42	53,28
9	1,5	76,7	1,56	71,56	1,4	51
10	1,42	66,68	1,54	69,48	1,38	48,8
11	1,38	62,36	1,52	67,44	1,38	48,8
12	1,32	56,84	1,5	65,4	1,38	48,8
13	1,28	52,92	1,48	63,4	1,38	48,8
14	1,24	48,76	1,44	59,4	1,36	46,6
15	1,2	44,6	1,44	59,4	1,36	46,6
16	1,18	42,72	1,42	57,4	1,34	44,4
17	1,16	40,84	1,4	55,4	1,34	44,4
18	1,14	38,96	1,38	53,4	1,34	44,4
19	1,12	37,08	1,38	53,4	1,34	44,4
20	1,1	35,2	1,36	51,4	1,34	44,4
21	1,08	33,44	1,34	49,46	1,32	42,2
22	1,06	31,68	1,34	49,46	1,32	42,2
23	1,06	31,68	1,32	47,58	1,32	42,2
24	1,04	29,94	1,32	47,58	1,3	40
25	1,04	29,94	1,3	45,7	1,3	40
26	1,02	28,22	1,3	45,7	1,3	40
27	1	26,5	1,3	45,7	1,3	40
28	1	26,5	1,28	43,74	1,28	38
29	1	26,5	1,28	43,74	1,28	38
30	0,98	25,02	1,28	43,74	1,28	38
31	0,98	25,02	1,28	43,74	1,28	38
32	0,96	23,54	1,28	43,74	1,28	38
33	0,96	23,54	1,28	43,74	1,28	38
34	0,96	23,54	1,28	43,74	1,28	38
35	0,94	22,08	1,28	43,74	1,28	38
36	0,94	22,08	1,28	43,74	1,28	38
37	0,94	22,08	1,28	43,74	1,28	38
38	0,94	22,08	1,28	43,74	1,28	38

Tabla N° 28: Datos de altura y caudal para la crecida N° 5 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )
0	0,94	22,08	1,18	34,26	1,28	38
1	0,94	22,08	1,18	34,26	1,28	38
2	0,94	22,08	1,18	34,26	1,28	38
3	0,94	22,08	1,18	34,26	1,3	40
4	0,96	23,54	1,3	45,7	1,32	42,2
5	0,98	25,02	1,6	75,8	1,4	51
6	1	26,5	1,8	75,8	1,52	53,28
7	1,02	28,22	1,94	121,6	1,64	82
8	1,9	138	2	131	1,72	94,2
9	1,98	154,6	2,02	134,6	1,78	103,8
10	2,16	195,4	2,02	134,6	1,8	107
11	2,1	181	2	131	1,82	110,2
12	1,96	150,2	1,96	124,6	1,82	110,2
13	1,98	154,6	1,92	118,8	1,82	110,2
14	1,98	154,6	1,88	112,8	1,8	107
15	1,9	138	1,84	106,6	1,78	103,8
16	1,84	126,2	1,84	106,6	1,76	100,6
17	1,76	112,6	1,82	103,8	1,74	97,4
18	1,7	103	1,78	98,2	1,72	94,2
19	1,66	96,52	1,76	95,4	1,72	94,2
20	1,62	90,34	1,76	95,4	1,7	91
21	1,58	85,18	1,74	92,7	1,7	91
22	1,58	85,18	1,72	90,1	1,7	91
23	1,56	83,06	1,7	87,5	1,68	88
24	1,54	80,94	1,68	85,02	1,68	88
25	1,52	78,82	1,68	85,02	1,66	85
26	1,5	76,7	1,66	82,54	1,66	85
27	1,46	71,66	1,66	82,54	1,64	82
28	1,44	69,16	1,64	80,2	1,64	82
29	1,42	66,68	1,62	78	1,64	82
30	1,4	64,2	1,6	75,8	1,62	79
31	1,38	62,36	1,58	73,68	1,62	79
32	1,36	60,52	1,58	73,68	1,6	76
33	1,34	58,68	1,66	82,54	1,6	76
34	1,32	56,84	1,64	80,2	1,58	73,2
35	1,32	56,84	1,62	78	1,58	73,2
36	1,3	55	1,6	75,8	1,58	73,2
37	1,28	52,92	1,6	75,8	1,56	70,4
38	1,26	50,84	1,58	73,68	1,56	70,4
39	1,26	50,84	1,56	71,56	1,56	70,4

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)
40	1,2	44,6	1,52	67,44	1,54	67,7
41	1,18	42,72	1,52	67,44	1,52	65,1
42	1,18	42,72	1,5	65,4	1,52	65,1
43	1,16	40,84	1,48	63,4	1,52	65,1
44	1,16	40,84	1,48	63,4	1,52	65,1
45	1,16	40,84	1,46	61,4	1,52	65,1
46	1,16	40,84	1,46	61,4	1,52	65,1
47	1,16	40,84	1,44	59,4	1,52	65,1
48	1,16	40,84	1,44	59,4	1,52	65,1

Tabla N° 29: Datos de altura y caudal para la crecida N° 6 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)
0	0,9	19,2	1,26	41,78	1,1	21,5
1	0,9	19,2	1,26	41,78	1,1	21,5
2	0,9	19,2	1,28	43,74	1,12	23,22
3	0,94	22,08	1,28	43,74	1,12	23,22
4	1	26,5	1,28	43,74	1,12	23,22
5	1,7	103	1,28	43,74	1,12	23,22
6	2,1	181	1,28	43,74	1,14	24,94
7	2,22	210,2	1,36	51,4	1,38	48,8
8	2,3	231	1,58	73,68	1,8	107
9	2,28	225,8	1,78	98,2	2,08	151,8
10	2,2	205	1,92	118,8	2,18	168,8
11	2,14	190,6	1,98	127,8	2,22	175,6
12	2,08	176,6	2,04	138,2	2,2	172
13	2,08	176,6	2,06	141,8	2,2	172
14	2,1	181	2,08	145,4	2,2	172
15	2,14	190,6	2,1	149	2,22	175,6
16	2,14	190,6	2,1	149	2,26	182,8
17	2,08	176,6	2,1	149	2,26	182,8
18	2,02	163,4	2,08	145,4	2,24	179,2
19	1,98	154,6	2,08	145,4	2,2	172
20	1,94	146	2,06	141,8	2,18	168,8
21	1,9	138	2,04	138,2	2,12	158,6
22	1,84	126,2	2,02	135,6	2,08	151,8
23	1,8	119	2	131	2,06	148,6
24	1,78	115,8	1,98	127,8	2,02	142,2
25	1,74	109,4	1,96	124,6	1,98	135,8
26	1,72	106,2	1,94	121,6	1,96	132,6
27	1,72	106,2	1,92	118,8	1,94	129,4
28	1,7	103	1,92	118,8	1,92	126,2
29	1,68	99,76	1,9	116	1,92	126,2
30	1,66	96,52	1,9	116	1,9	123
31	1,64	93,38	1,88	112,8	1,88	119,8
32	1,62	90,34	1,88	112,8	1,86	116,6
33	1,6	97,3	1,86	109,6	1,84	113,4
34	1,58	85,18	1,84	106,6	1,82	110,2
35	1,56	83,06	1,84	106,6	1,8	107
36	1,54	80,94	1,84	106,6	1,8	107
37	1,52	78,82	1,82	103,8	1,78	103,8
38	1,5	76,7	1,82	103,8	1,76	100,6
39	1,5	76,7	1,8	101	1,74	97,4

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)
40	1,46	71,66	1,78	98,2	1,68	88
41	1,44	69,16	1,76	95,4	1,68	88
42	1,44	69,16	1,76	95,4	1,66	85
43	1,44	69,16	1,76	95,4	1,66	85
44	1,44	69,16	1,76	95,4	1,66	85

Tabla N° 30: Datos de altura y caudal para la crecida N° 7 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )
0	1,02	28,22	1,26	41,78	1,4	51
1	1,04	29,94	1,26	41,78	1,4	51
2	1,04	29,94	1,26	41,78	1,4	51
3	1,06	31,68	1,26	41,78	1,42	53,28
4	1,08	33,44	1,28	43,74	1,42	53,28
5	1,1	35,2	1,28	43,74	1,42	53,28
6	1,12	37,08	1,28	43,74	1,44	55,56
7	1,14	38,96	1,3	45,7	1,46	57,86
8	1,16	40,84	1,3	45,7	1,48	60,18
9	1,18	42,72	1,32	47,58	1,48	60,18
10	1,3	55	1,34	49,46	1,5	62,5
11	1,44	69,16	1,36	51,4	1,52	65,1
12	1,52	78,82	1,4	55,4	1,54	67,7
13	1,56	83,06	1,42	57,4	1,56	70,4
14	1,58	85,18	1,46	61,4	1,56	70,4
15	1,58	85,18	1,54	69,48	1,58	73,2
16	1,6	87,3	1,62	78	1,6	76
17	1,62	90,34	1,68	85,02	1,64	82
18	1,66	96,52	1,72	90,1	1,66	85
19	1,74	109,4	1,74	92,7	1,7	91
20	1,8	119	1,76	95,4	1,74	97,4
21	1,86	130	1,8	101	1,78	103,8
22	1,9	138	1,84	106,6	1,8	107
23	1,92	142	1,88	112,8	1,84	113,4
24	1,94	146	1,94	121,6	1,86	116,6
25	1,98	154,6	1,98	127,8	1,88	119,8
26	2,08	176,6	2,02	134,6	1,92	126,2
27	2,1	181	2,06	141,8	1,96	132,6
28	2,1	181	2,1	149	1,98	135,8
29	2,1	181	2,16	161	2,02	142,2
30	2,1	181	2,2	169	2,04	145,4
31	2,1	181	2,22	173,08	2,08	151,8
32	2,08	176,6	2,24	177,16	2,12	158,6
33	2,06	172,2	2,24	177,16	2,16	165,6
34	2,04	167,8	2,24	177,16	2,18	168,8
35	2,04	167,8	2,24	177,16	2,2	172
36	2,04	167,8	2,26	181,26	2,22	175,6
37	2,04	167,8	2,26	181,26	2,22	175,6
38	2	159	2,26	181,26	2,24	179,2
39	1,94	146	2,26	181,26	2,24	179,2

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)
40	1,84	126,2	2,16	161	2,24	179,2
41	1,82	122,6	2,14	157	2,24	179,2
42	1,8	119	2,1	149	2,22	175,6
43	1,78	115,8	2,08	145,4	2,2	172
44	1,76	112,6	2,06	141,8	2,18	168,8
45	1,74	109,4	2,04	138,2	2,18	168,8
46	1,72	106,2	2,02	134,6	2,16	165,6
47	1,7	103	2	131	2,16	165,6
48	1,7	103	1,98	127,8	2,12	158,6
49	1,68	99,76	1,96	124,6	2,1	155
50	1,66	96,52	1,94	121,6	2,1	155
51	1,66	96,52	1,92	118,8	2,08	151,8
52	1,64	93,38	1,92	118,8	2,06	148,6
53	1,62	90,34	1,9	116	2,06	148,6
54	1,62	90,34	1,9	116	2,04	145,4
55	1,62	90,34	1,88	112,8	2,04	145,4
56	1,6	87,3	1,86	109,6	2,04	145,4
57	1,6	87,3	1,86	109,6	2,02	142,2
58	1,6	87,3	1,86	109,6	2,02	142,2
59	1,6	87,3	1,84	106,6	2	139
60	1,58	85,18	1,84	106,6	2	139
61	1,58	85,18	1,84	106,6	2	139
62	1,58	85,18	1,84	106,6	2	139



Tabla N° 31: Datos de altura y caudal para la crecida N° 8 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Caudal (m <sup>3</sup> )
0	1,58	85,18	1,84	106,6	2	139
1	1,58	85,18	1,84	106,6	2	139
2	1,58	85,18	1,84	106,6	2,02	142,2
3	1,58	85,18	1,84	106,6	2,02	142,2
4	1,58	85,18	1,84	106,6	2,02	142,2
5	1,6	87,3	1,84	106,6	2,04	145,4
6	1,6	87,3	1,86	109,6	2,06	148,6
7	1,6	87,3	1,86	109,6	2,06	148,6
8	1,6	87,3	1,86	109,6	2,06	148,6
9	1,6	87,3	1,88	112,8	2,08	151,8
10	1,62	90,34	1,88	112,8	2,08	151,8
11	1,62	90,34	1,88	112,8	2,1	155
12	1,6	87,3	1,88	112,8	2,12	158,6
13	1,6	87,3	1,9	116	2,12	158,6
14	1,6	87,3	1,9	116	2,12	158,6
15	1,6	87,3	1,9	116	2,14	162,2
16	1,62	90,34	1,9	116	2,14	162,2
17	1,66	96,52	1,9	116	2,16	165,6
18	1,74	109,4	1,92	118,8	2,16	165,6
19	1,86	130	1,96	124,6	2,16	165,6
20	1,92	142	2,04	138,2	2,16	165,6
21	2	159	2,12	153	2,16	165,6
22	2,08	176,6	2,2	169	2,16	165,6
23	2,14	190,6	2,26	181,26	2,18	168,8
24	2,14	190,6	2,3	189,5	2,2	172
25	2,1	181	2,32	193,6	2,22	175,6
26	2,06	172,2	2,32	193,6	2,28	186,4
27	1,98	154,6	2,3	189,5	2,32	193,6
28	1,94	146	2,28	185,38	2,38	203,8
29	1,9	138	2,24	177,16	2,4	207
30	1,88	134	2,2	169	2,4	207
31	1,84	126,2	2,16	161	2,42	210,6
32	1,82	122,6	2,14	157	2,42	210,6
33	1,8	119	2,12	153	2,4	207
34	1,78	115,8	2,08	145,4	2,38	203,8
35	1,78	115,8	2,06	141,8	2,36	200,6
36	1,76	112,6	2,06	141,8	2,34	197,2
37	1,74	109,4	2,04	138,2	2,32	193,6
38	1,72	106,2	2,02	134,6	2,3	190
39	1,72	106,2	2	131	2,28	186,4

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)
40	1,7	103	1,96	124,6	2,24	179,2
41	1,7	103	1,96	124,6	2,22	175,6
42	1,7	103	1,96	124,6	2,22	175,6
43	1,7	103	1,96	124,6	2,22	175,6
44	1,7	103	1,96	124,6	2,2	172
45	1,7	103	1,96	124,6	2,2	172
46	1,7	103	1,96	124,6	2,2	172

Tabla N° 32: Datos de altura y caudal para la crecida N° 9 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)
0	1,34	58,68	1,66	82,54	1,96	132,6
1	1,34	58,68	1,66	82,54	1,96	132,6
2	1,36	60,52	1,66	82,54	1,98	135,8
3	1,38	62,36	1,66	82,54	1,98	135,8
4	1,4	64,2	1,68	85,02	1,98	135,8
5	1,44	69,16	1,7	87,5	2	139
6	1,48	74,18	1,72	90,1	2	139
7	1,56	83,06	1,74	92,7	2	139
8	1,64	93,38	1,8	101	2	139
9	1,76	112,6	1,88	112,8	2,02	142,2
10	1,86	130	1,96	124,6	2,02	142,2
11	1,92	142	2,04	138,2	2,04	145,4
12	1,96	150,2	2,12	153	2,04	145,4
13	2,02	163,4	2,18	165	2,06	148,6
14	2,12	185,8	2,24	177,16	2,08	151,8
15	2,28	225,8	2,32	193,6	2,12	158,6
16	2,32	236,2	2,42	214	2,14	162,2
17	2,3	231	2,46	222	2,2	172
18	2,22	210,2	2,46	222	2,24	179,2
19	2,16	195,4	2,44	218	2,28	186,4
20	2,1	181	2,4	210	2,34	197,2
21	2,06	172,2	2,36	201,8	2,4	207
22	2,02	163,4	2,3	189,5	2,46	217,8
23	1,98	154,6	2,28	185,38	2,5	225
24	1,96	150,2	2,24	177,16	2,54	232,2
25	1,92	142	2,2	169	2,54	232,2
26	1,9	138	2,18	165	2,52	228,6
27	1,88	134	2,14	157	2,5	225
28	1,84	126,2	2,12	153	2,48	221,4
29	1,84	126,2	2,1	149	2,46	217,8
30	1,82	122,6	2,08	145,4	2,42	210,6
31	1,8	119	2,06	141,8	2,38	203,8
32	1,78	115,8	2,04	138,2	2,36	200,6
33	1,78	115,8	2,04	138,2	2,34	197,2
34	1,76	112,6	2,02	134,6	2,321	193,6
35	1,74	109,4	2	131	2,3	190
36	1,72	106,2	1,98	127,8	2,3	190
37	1,72	106,2	1,96	124,6	2,28	186,4
38	1,7	103	1,94	121,6	2,26	182,8
39	1,68	99,76	1,94	121,6	2,26	182,8

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)
40	1,62	90,34	1,88	112,8	2,22	175,6
41	1,6	87,3	1,86	109,6	2,2	172
42	1,6	97,3	1,86	109,6	2,2	172
43	1,58	85,18	1,84	106,6	2,2	172
44	1,58	85,18	1,82	103,8	2,18	168,8
45	1,56	83,06	1,82	103,8	2,18	168,8
46	1,54	80,94	1,8	101	2,16	165,6
47	1,54	80,94	1,78	98,2	2,16	165,6
48	1,54	80,94	1,78	98,2	2,16	165,6
49	1,54	80,94	1,78	98,2	2,14	162,2
50	1,54	80,94	1,78	98,2	2,14	162,2
51	1,54	80,94	1,78	98,2	2,14	162,2
52	1,54	80,94	1,78	98,2	2,12	158,6
53	1,54	80,94	1,78	98,2	2,1	155
54	1,54	80,94	1,78	98,2	2,1	155

Tabla N° 33: Datos de altura y caudal para la crecida N° 10 en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella.

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)
0	0,64	7,6	0,96	14,8	1,16	26,7
1	0,66	8,2	0,96	14,8	1,16	26,7
2	0,66	8,2	0,98	16,4	1,16	26,7
3	0,68	8,8	1,04	21,44	1,18	28,5
4	0,74	11	1,16	32,42	1,26	36
5	0,82	14,62	1,3	45,7	1,4	51
6	0,96	23,54	1,38	53,4	1,5	62,5
7	1,28	52,92	1,42	57,4	1,54	67,7
8	1,42	66,68	1,42	57,4	1,58	73,2
9	1,5	82	1,4	55,4	1,58	73,2
10	1,5	82	1,38	53,4	1,58	73,2
11	1,46	71,66	1,36	51,4	1,58	73,2
12	1,4	64,2	1,34	49,46	1,58	73,2
13	1,34	58,68	1,34	49,46	1,56	70,4
14	1,3	55	1,32	47,58	1,56	70,4
15	1,26	50,84	1,3	45,7	1,56	70,4
16	1,22	46,68	1,28	43,74	1,56	70,4
17	1,18	42,72	1,28	43,74	1,56	70,4
18	1,16	40,84	1,26	41,78	1,56	70,4
19	1,14	38,96	1,24	39,86	1,54	67,7
20	1,12	37,08	1,24	39,86	1,54	67,7
21	1,1	35,2	1,22	37,98	1,54	67,7
22	1,08	33,44	1,22	37,98	1,54	67,7
23	1,08	33,44	1,22	37,98	1,54	67,7
24	1,06	31,68	1,2	36,1	1,54	67,7
25	1,06	31,68	1,2	36,1	1,54	67,7
26	1,04	29,94	1,2	36,1	1,54	67,7
27	1,04	29,94	1,2	36,1	1,54	67,7
28	1,04	29,94	1,18	32,26	1,54	67,7
29	1,04	29,94	1,18	32,26	1,54	67,7
30	1,02	28,22	1,18	32,26	1,54	67,7
31	1,02	28,22	1,16	32,26	1,52	65,1
32	1	26,5	1,16	32,26	1,52	65,1
33	1	26,5	1,16	32,26	1,52	65,1
34	1	26,5	1,16	32,26	1,52	65,1
35	1	26,5	1,16	32,26	1,52	65,1
36	0,98	25,02	1,14	30,6	1,52	65,1
37	0,98	25,02	1,14	30,6	1,52	65,1
38	0,98	25,02	1,14	30,6	1,52	65,1

Tiempo (h)	San Manuel		Ñiquén		Quella	
	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)	Altura (m)	Caudal (m3)
39	0,96	23,54	1,12	28,8	1,48	60,18
40	0,96	23,54	1,12	28,8	1,48	60,18
41	0,94	22,08	1,12	28,8	1,48	60,18
42	0,94	22,08	1,12	28,8	1,48	60,18
43	0,94	22,08	1,12	28,8	1,46	60,18
44	0,94	22,08	1,12	28,8	1,46	60,18

**Apéndices II**  
**Limnograma por crecida en las estaciones de San**  
**Manuel, Ñiquén y Quella**

Figura N° 24: Limnigrama de la Crecida N°1, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella

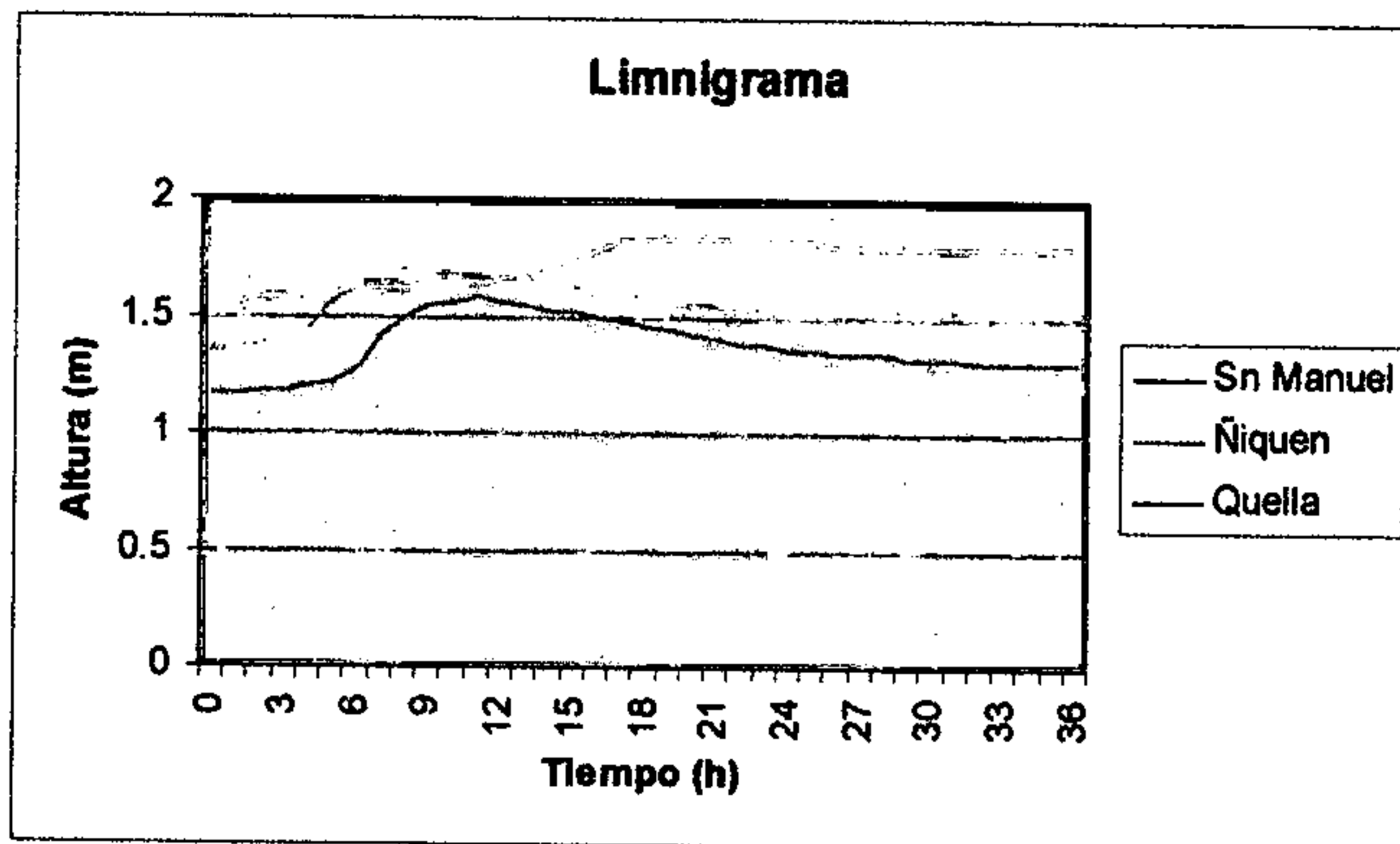


Figura N° 25: Limnigrama de la Crecida N°2, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella

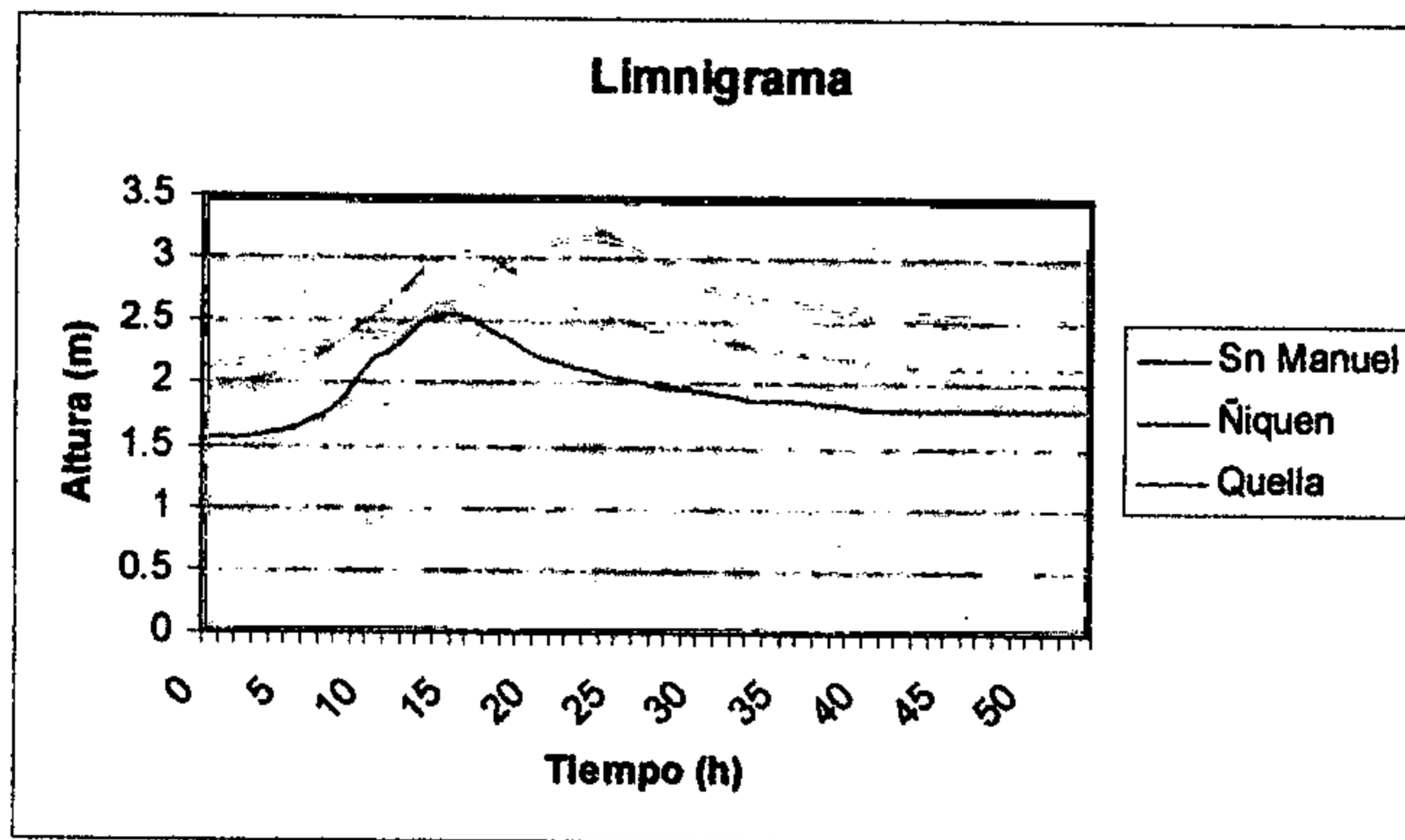




Figura N° 26: Limnigrama de la Crecida N°3, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella

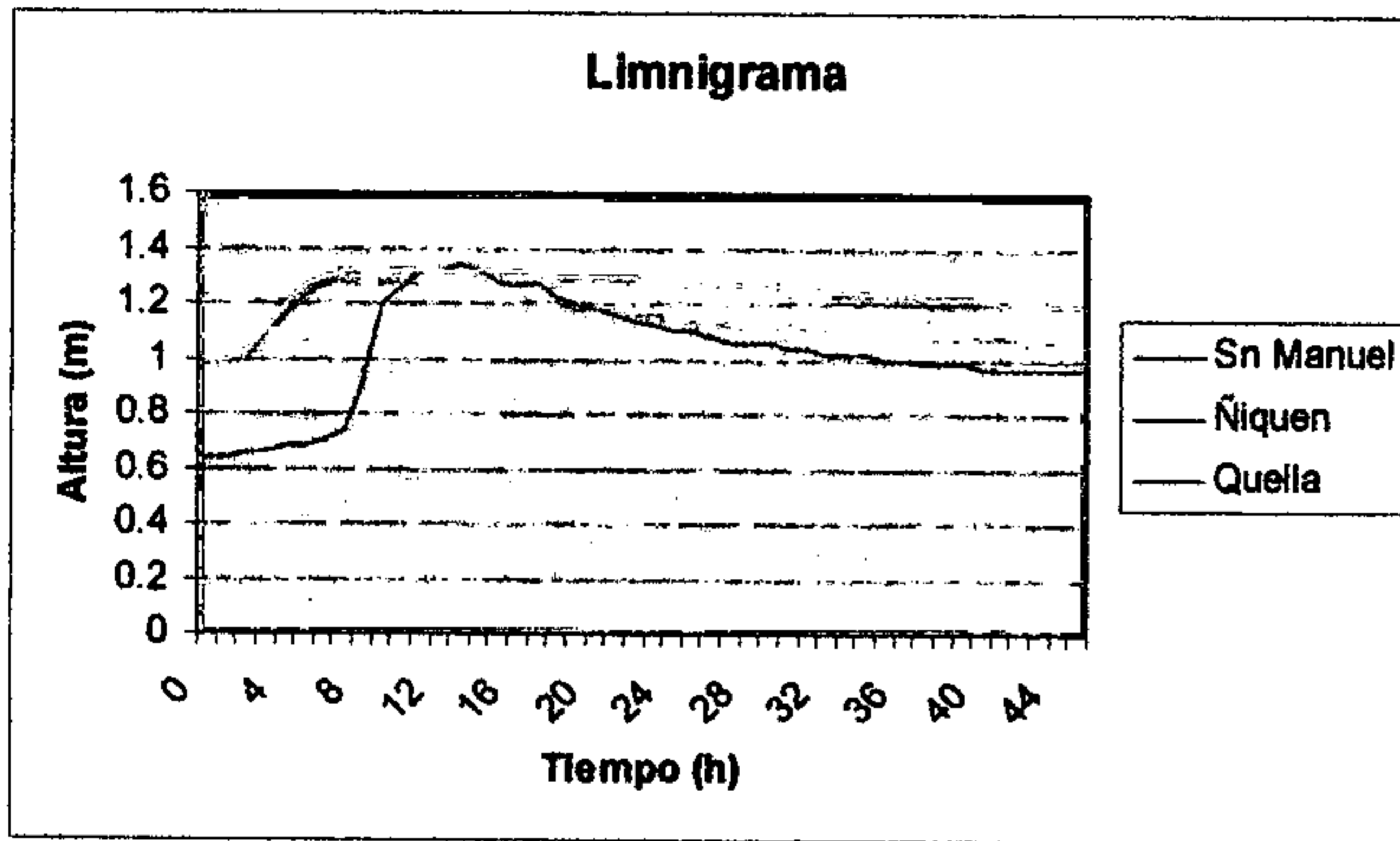


Figura N° 27: Limnigrama de la Crecida N°4, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella

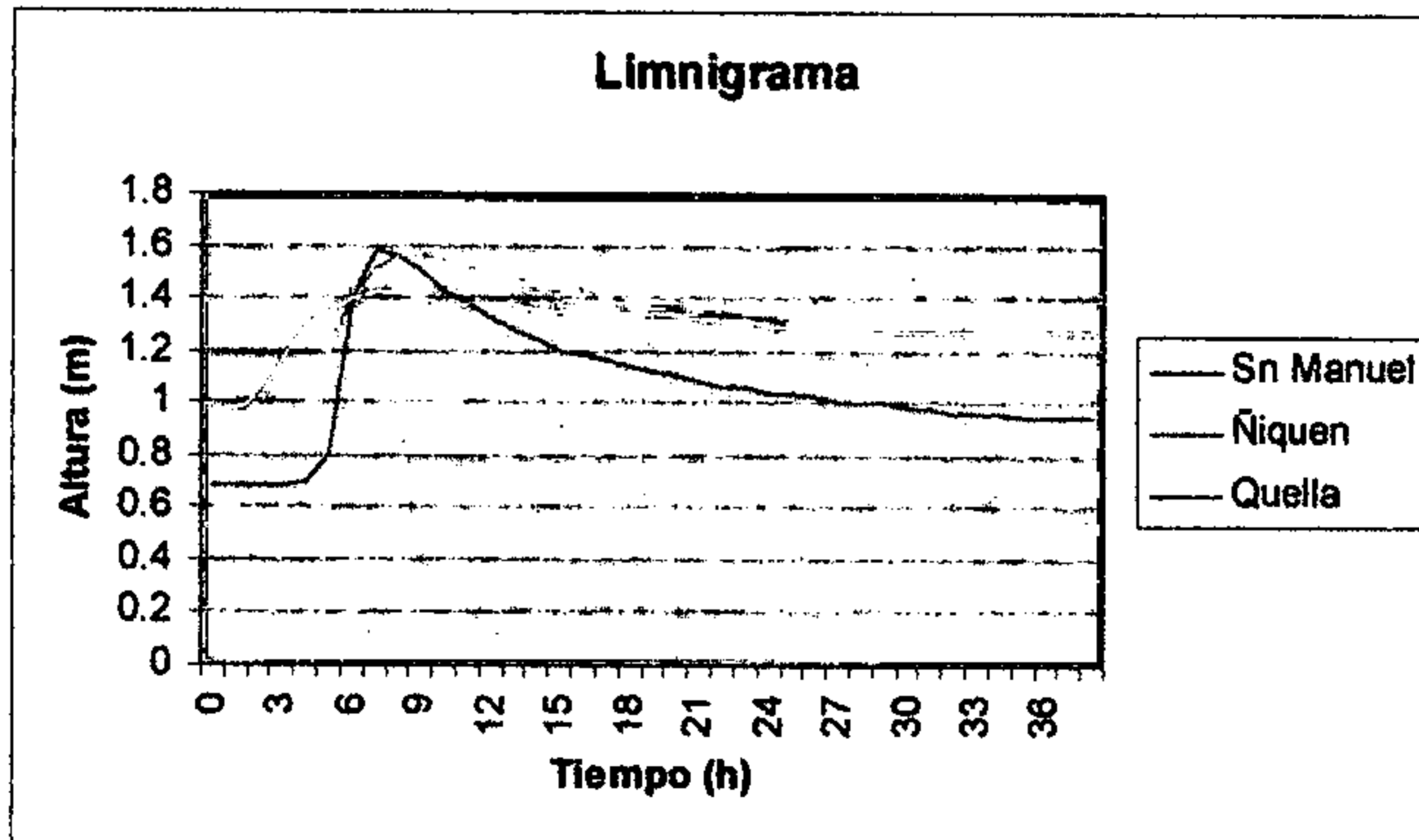


Figura N° 28: Limnigrama de la Crecida N°5, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella

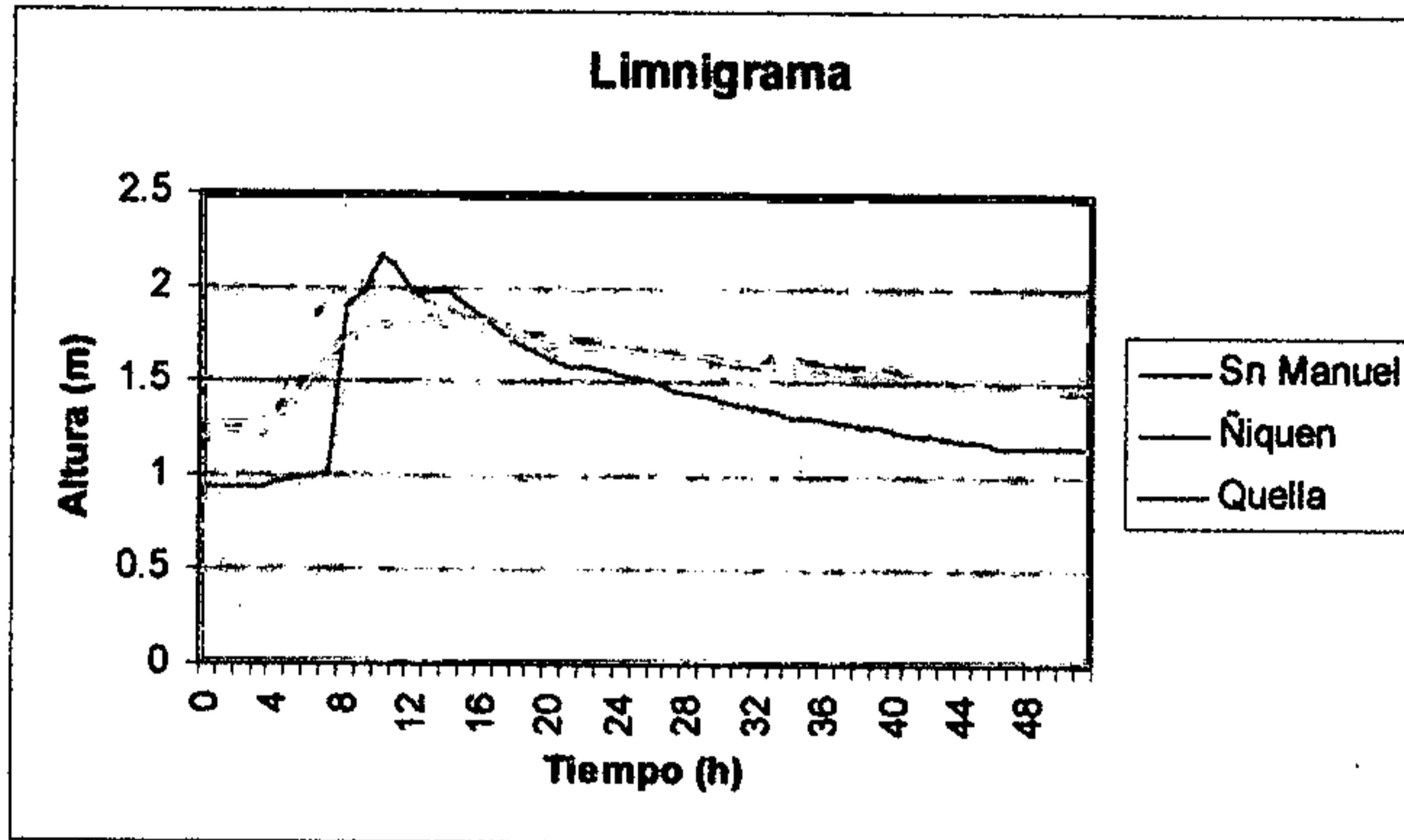


Figura N° 29: Limnigrama de la Crecida N°6, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella

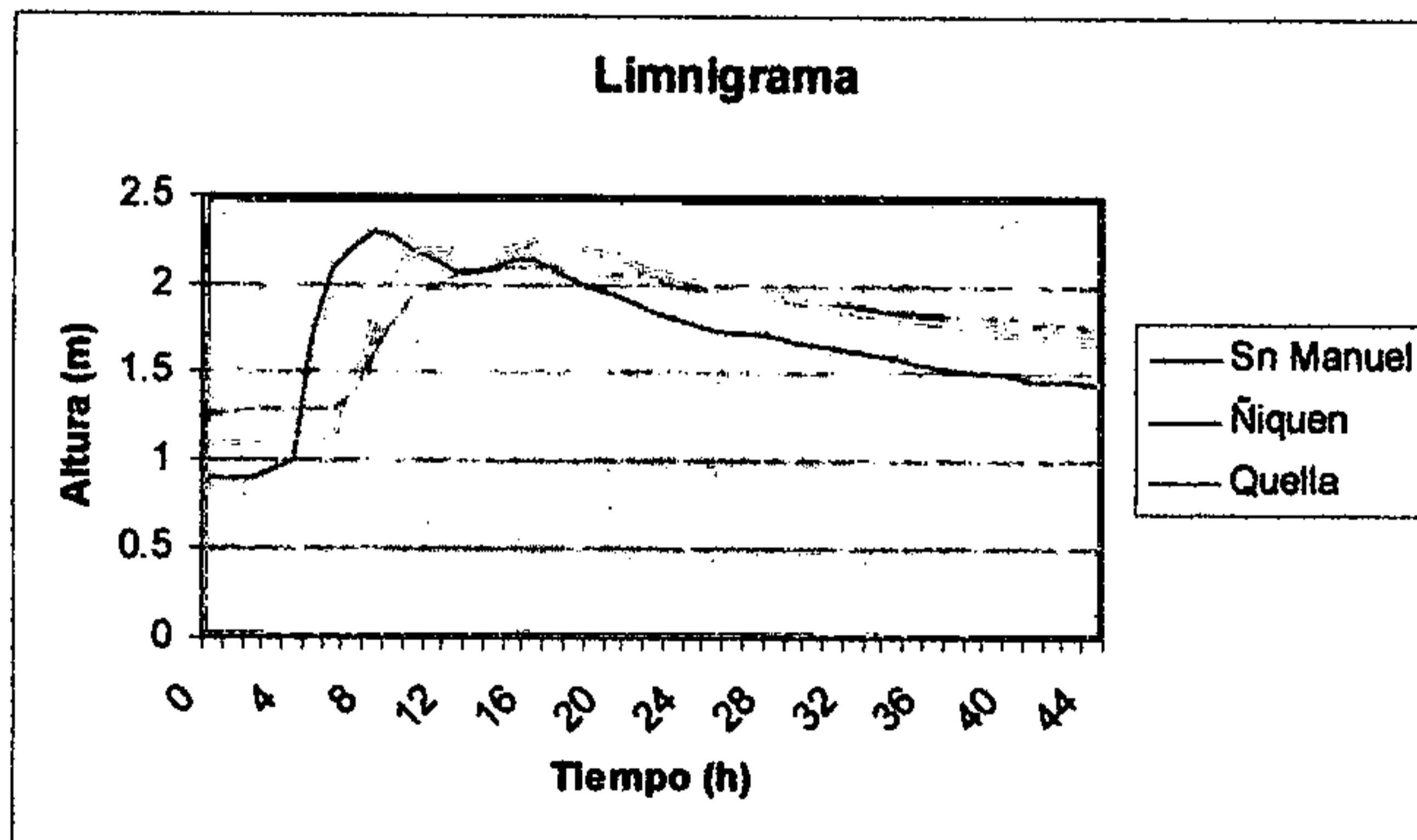


Figura N° 30: Limnigrama de la Crecida N°7, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella

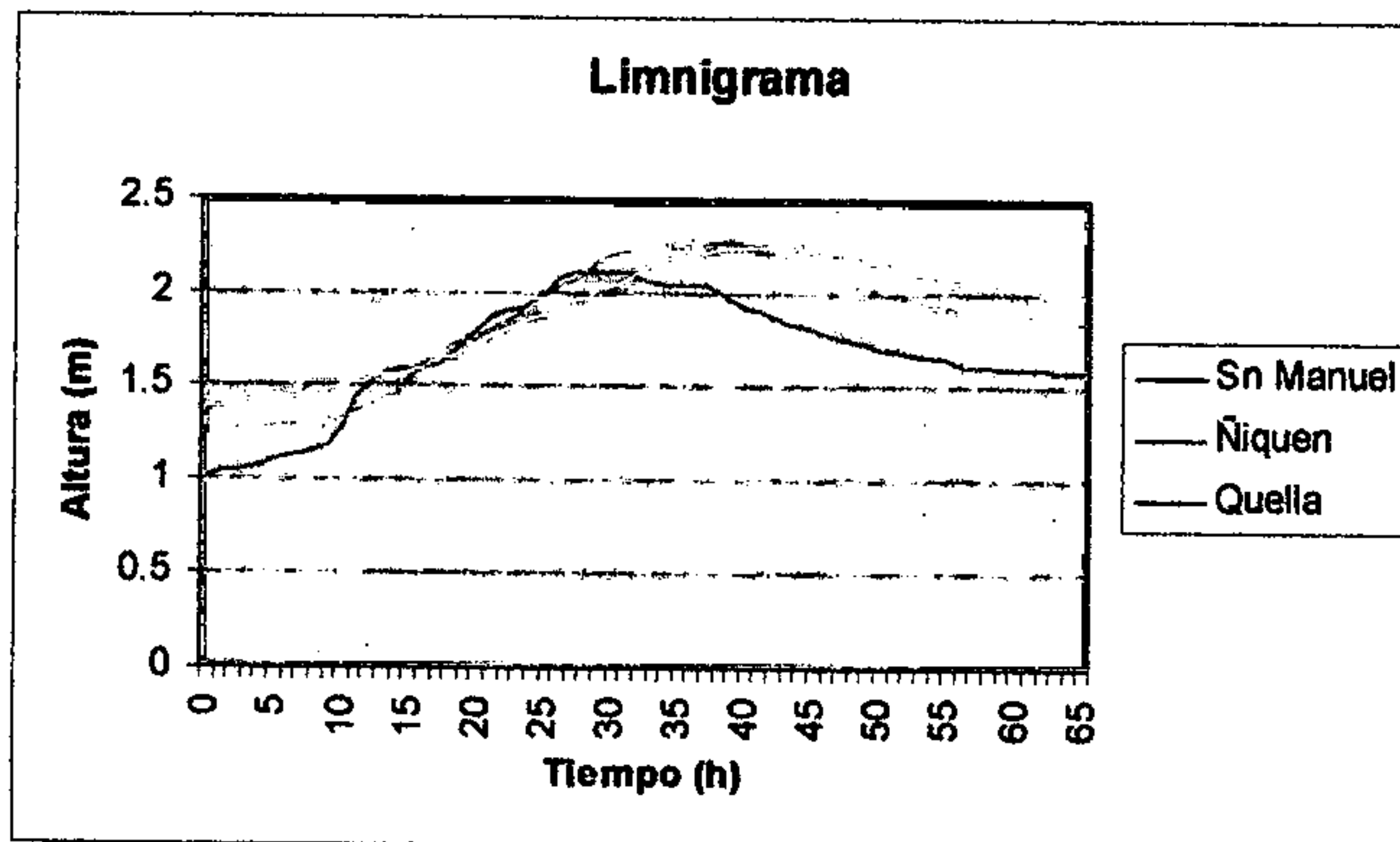


Figura N° 31: Limnigrama de la Crecida N°8, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella

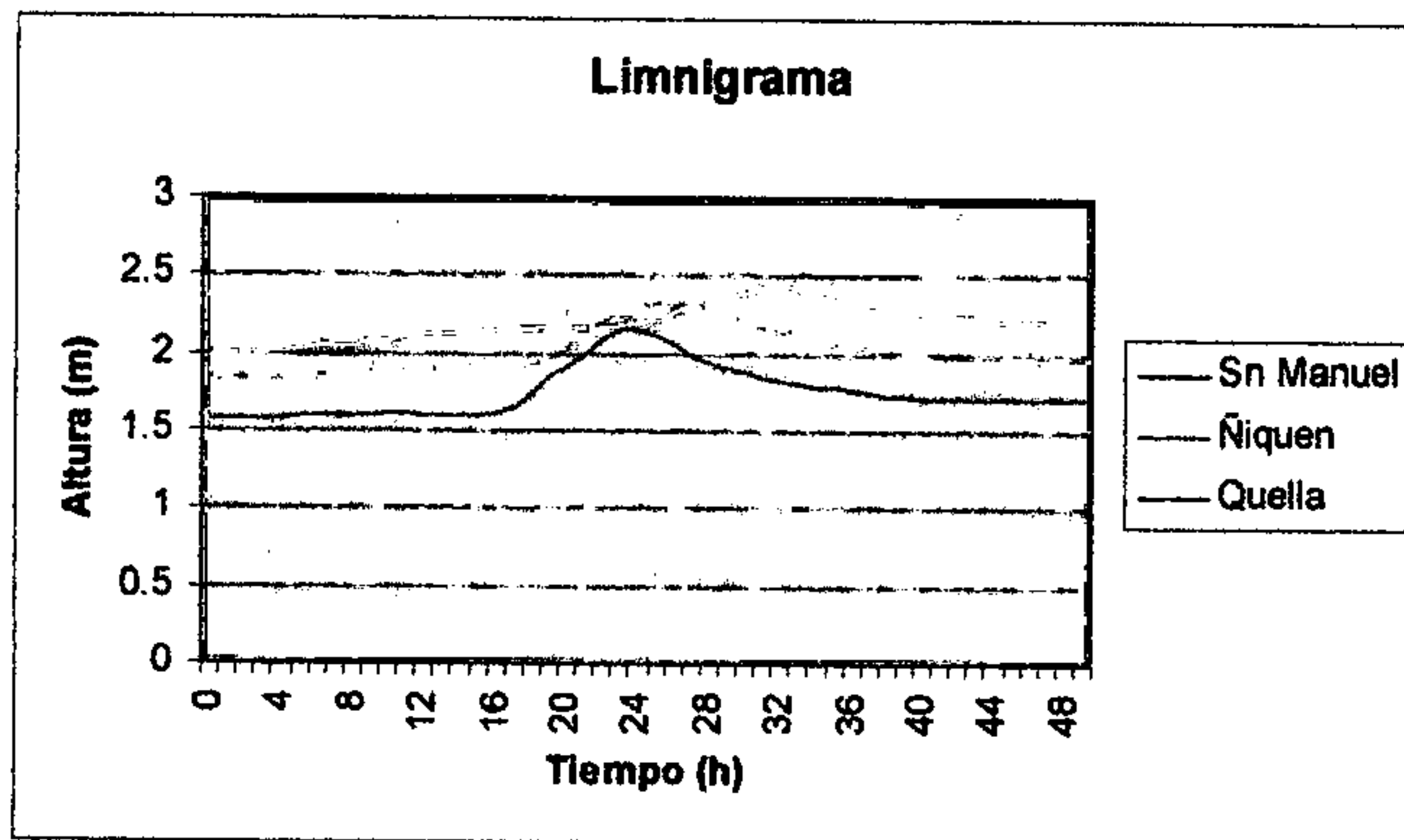


Figura N° 32: Limnigrama de la Crecida N°9, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella

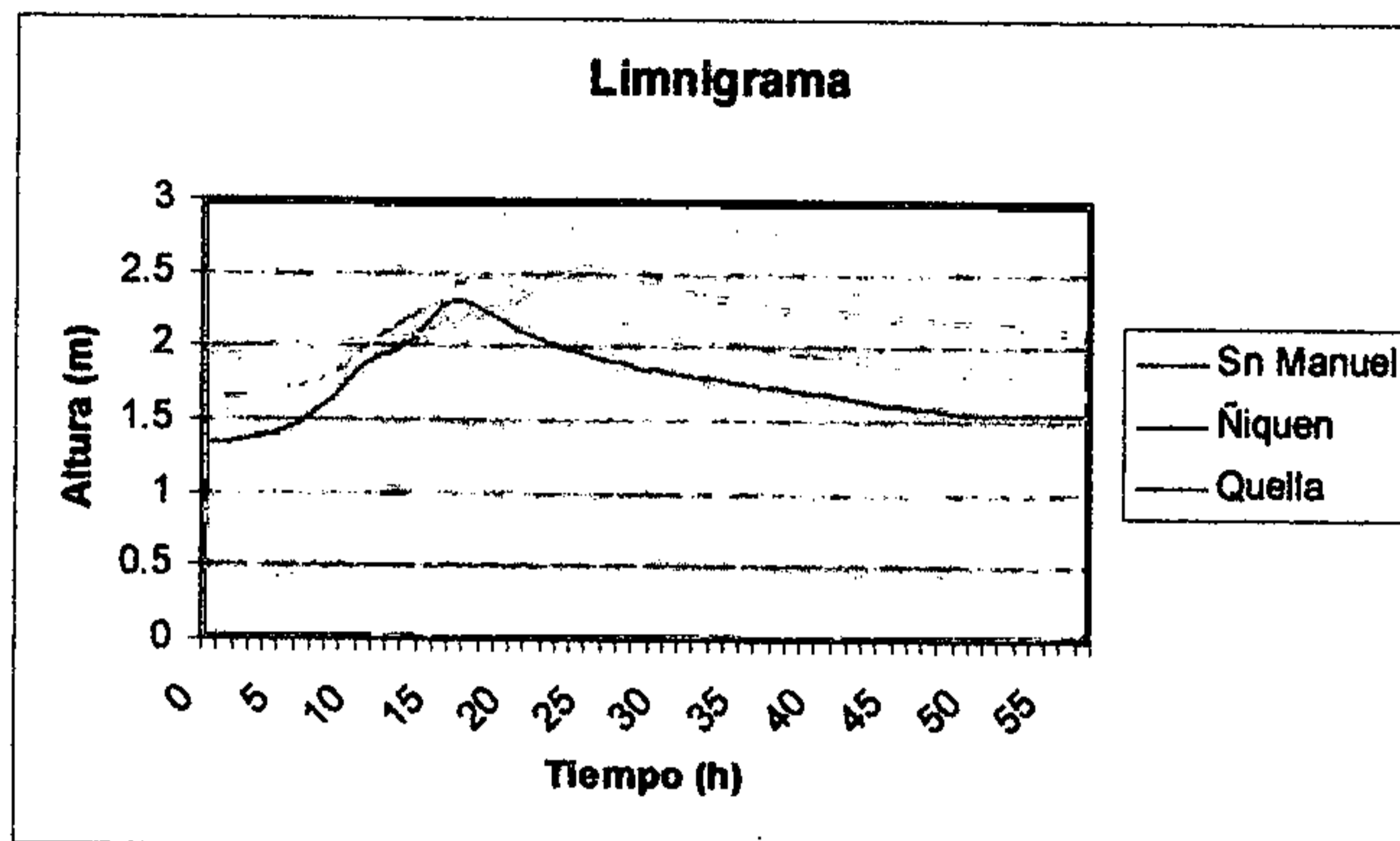
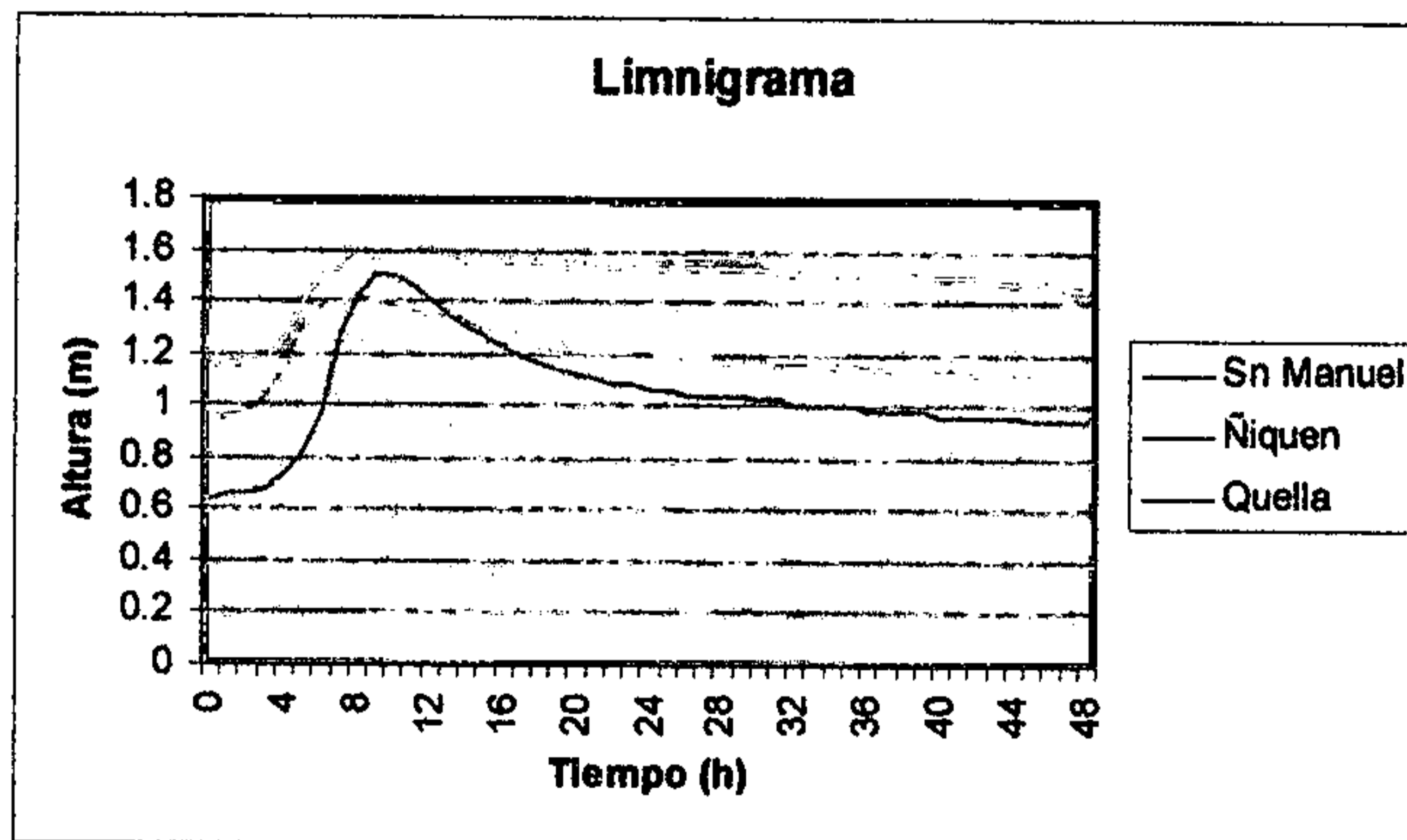


Figura N° 33: Limnigrama de la Crecida N°10, en las estaciones de San Manuel, Ñiquén y Quella



### **Apéndices III**

**Resumen de análisis estadístico realizado a las  
crecidas con las cuales se validó el método de  
Muskingum.**

Tabla N° 34: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 4 entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.

	Diferencia de Volumen (%)	R2	EEE	U de Mann Whitney	B y A
<b>Crecida 1</b>	> 300	0,03	10,88	Se Rechaza Ho	$-5 \cdot 10^{-8}$
<b>Crecida 2</b>	32,70	0,65	6,51	Se Rechaza Ho	-9.35
<b>Crecida 3</b>	1334,97	0,09	10,56	Se Rechaza Ho	-386
<b>Crecida 4</b>	32,09	0,50	7,81	Se Rechaza Ho	-9.2
<b>Crecida 5</b>	30,37	0,88	3,75	Se Rechaza Ho	-8.28
<b>Crecida 6</b>	39,65	0,26	9,51	Se Rechaza Ho	-12.98
<b>Crecida 7</b>	35,52	0,09	10,56	Se Rechaza Ho	-10.95
<b>Crecida 8</b>	> 300	0,04	10,82	Se Rechaza Ho	$-2 \cdot 10^{-6}$
<b>Crecida 9</b>	31,72	0,58	7,17	Se Rechaza Ho	-9
<b>Crecida 10</b>	29,83	0,94	2,63	Se Rechaza Ho	-7.98

Tabla N° 35: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 6 entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.

	R2	EEE	Diferencia de Volumen (%)	U de Mann Whitney	B y A
<b>Crecida 1</b>	0,50	10,87	139.9	Se Rechaza Ho	-135
<b>Crecida 2</b>	0,65	9,12	30.9	Se Rechaza Ho	-29,83
<b>Crecida 3</b>	0,36	12,33	29.2	Se Rechaza Ho	-28,21
<b>Crecida 4</b>	0,04	15,10	> 300	Se Rechaza Ho	$-4E+11$
<b>Crecida 5</b>	0,13	14,36	28.2	Se Rechaza Ho	-27,21
<b>Crecida 6</b>	0,03	15,17	> 300	Se Rechaza Ho	$-2E+15$
<b>Crecida 7</b>	0,90	4,96	34.9	Se Rechaza Ho	-33,63
<b>Crecida 8</b>	0,49	10,97	-127.7	Se Rechaza Ho	123,22
<b>Crecida 9</b>	0,62	9,46	30.7	Se Rechaza Ho	-29,63
<b>Crecida 10</b>	0,27	13,12	28.9	Se Rechaza Ho	-27,83

Tabla N° 36: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 7 entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.

	Diferencia de Volumen (%)	R2	EEE	U de Mann Whitney	B y A
<b>Crecida 1</b>	> 300	0,11	43,86	Se Acepta Ho	-4E+08
<b>Crecida 2</b>	8,86	0,99	5,26	Se Acepta Ho	-10,12
<b>Crecida 3</b>	70,35	0,10	44,09	Se Acepta Ho	-80,41
<b>Crecida 4</b>	8,55	0,97	8,19	Se Acepta Ho	-9,77
<b>Crecida 5</b>	6,68	0,87	16,90	Se Acepta Ho	-7,64
<b>Crecida 6</b>	13,09	0,93	12,28	Se Acepta Ho	-14,97
<b>Crecida 7</b>	11,94	0,97	8,19	Se Acepta Ho	-13,64
<b>Crecida 8</b>	> 300	0,14	43,05	Se Acepta Ho	-1E+06
<b>Crecida 9</b>	8,15	0,95	9,86	Se Acepta Ho	-9,32
<b>Crecida 10</b>	6,09	0,82	19,91	Se Acepta Ho	-6,96

Tabla N° 37: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 9 entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.

	Diferencia de Volumen (%)	R2	EEE	U de Mann Whitney	B y A
<b>Crecida 1</b>	> 300	0,00	41,05	Se Rechaza Ho	-2*10^-8
<b>Crecida 2</b>	13,90	0,89	13,72	Se Rechaza Ho	-1.73
<b>Crecida 3</b>	446,79	0,05	39,99	Se Rechaza Ho	-307
<b>Crecida 4</b>	13,47	0,88	14,08	Se Rechaza Ho	-1.56
<b>Crecida 5</b>	12,61	0,99	4,98	Se Rechaza Ho	-0.4
<b>Crecida 6</b>	19,24	0,60	26,02	Se Rechaza Ho	-5.04
<b>Crecida 7</b>	15,59	0,51	28,86	Se Rechaza Ho	-3.25
<b>Crecida 8</b>	> 300	0,00	41,05	Se Rechaza Ho	-9*10^-5
<b>Crecida 9</b>	13,28	0,92	11,73	Se Rechaza Ho	-1.15
<b>Crecida 10</b>	12,37	0,96	7,82	Se Rechaza Ho	-0.11

Tabla N° 38: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 10 entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén.

	R2	EEE	Diferencia de Volumen (%)	U de Mann Whitney	B y A
<b>Crecida 1</b>	0,25	44,89	149.7	Se Rechaza Ho	-376
<b>Crecida 2</b>	0,91	15,22	20.5	Se Rechaza Ho	-51,54
<b>Crecida 3</b>	0,83	21,33	18.6	Se Rechaza Ho	-46,87
<b>Crecida 4</b>	0,00	51,72	> 300	Se Rechaza Ho	-1E+12
<b>Crecida 5</b>	0,57	34,11	17.9	Se Rechaza Ho	-45,03
<b>Crecida 6</b>	0,00	51,72	> 300	Se Rechaza Ho	-1E+16
<b>Crecida 7</b>	0,87	18,63	27.2	Se Rechaza Ho	-68,29
<b>Crecida 8</b>	0,23	45,51	-82.4	Se Rechaza Ho	207,24
<b>Crecida 9</b>	0,92	14,87	20.2	Se Rechaza Ho	50,90
<b>Crecida 10</b>	0,76	25,38	18.3	Se Rechaza Ho	-45,97

Tabla N° 39: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 1 entre las estaciones de Ñiquén y Quella.

	Diferencia de Volumen (%)	R2	EEE	U de Mann Whitney	B y A
<b>Crecida 1</b>	> 300	0,00	33,32	Se Rechaza Ho	-2E+09
<b>Crecida 2</b>	2,46	0,86	12,43	Se Acepta Ho	66,36
<b>Crecida 3</b>	-1744,33	0,04	32,70	Se Rechaza Ho	-1777
<b>Crecida 4</b>	3,66	0,82	14,13	Se Acepta Ho	67,63
<b>Crecida 5</b>	6,37	0,47	24,18	Se Acepta Ho	70,49
<b>Crecida 6</b>	8,60	0,90	10,58	Se Acepta Ho	54,69
<b>Crecida 7</b>	2,00	0,91	10,10	Se Acepta Ho	61,66
<b>Crecida 8</b>	> 300	0,00	33,31	Se Rechaza Ho	-1E+07
<b>Crecida 9</b>	4,25	0,77	16,01	Se Acepta Ho	68,25
<b>Crecida 10</b>	7,19	0,32	27,38	Se Acepta Ho	71,36



Tabla N° 40: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 2 entre las estaciones de Ñiquén y Quella.

	R2	EEE	Diferencia de Volumen (%)	U de Mann Whitney	B y A
<b>Crecida 1</b>	0,02	10,40	> 300	Se Rechaza Ho	-5E+08
<b>Crecida 2</b>	0,30	8,75	12.5	Se acepta Ho	-4,53
<b>Crecida 3</b>	0,02	10,38	1320.6	Se Rechaza Ho	-479
<b>Crecida 4</b>	0,20	9,41	11.7	Se Rechaza Ho	-4,24
<b>Crecida 5</b>	0,49	7,48	9.6	Se Rechaza Ho	-3,47
<b>Crecida 6</b>	0,09	10,03	20.9	Se Rechaza Ho	-7,6
<b>Crecida 7</b>	0,01	10,44	16	Se Acepta Ho	-5,8
<b>Crecida 8</b>	0,02	10,38	> 300	Se Rechaza Ho	-2E+06
<b>Crecida 9</b>	0,24	9,13	11.2	Se Rechaza Ho	-4,08
<b>Crecida 10</b>	0,63	6,40	8.9	Se Rechaza Ho	-3,23

Tabla N° 41: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 3 entre las estaciones de Ñiquén y Quella.

	R2	EEE	Diferencia de Volumen (%)	U de Mann Whitney	B y A
<b>Crecida 1</b>	0,04	7,25	215.6	Se Rechaza Ho	-75,70
<b>Crecida 2</b>	0,42	5,64	16.9	Se Rechaza Ho	-5,93
<b>Crecida 3</b>	0,69	4,15	14.3	Se Rechaza Ho	-5,01
<b>Crecida 4</b>	0,00	7,41	> 300	Se Rechaza Ho	-5E+11
<b>Crecida 5</b>	0,86	2,79	12.9	Se Rechaza Ho	-4,53
<b>Crecida 6</b>	0,00	7,41	> 300	Se Rechaza Ho	-4E+15
<b>Crecida 7</b>	0,43	5,58	24.5	Se Rechaza Ho	-8,6
<b>Crecida 8</b>	0,03	7,31	-75.1	Se Rechaza Ho	26,35
<b>Crecida 9</b>	0,45	5,50	16.6	Se Rechaza Ho	-5,81
<b>Crecida 10</b>	0,75	3,69	13.7	Se Rechaza Ho	-4,82

Tabla N° 42: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 7 entre las estaciones de Ñiquén y Quella.

	R2	EEE	Diferencia de Volumen (%)	U de Mann Whitney	B y A
<b>Crecida 1</b>	0,04	44,41	47.1	Se Acepta Ho	-58,96
<b>Crecida 2</b>	0,91	13,29	14.5	Se Rechaza Ho	-18,10
<b>Crecida 3</b>	0,97	8,10	12.3	Se Acepta Ho	-15,4
<b>Crecida 4</b>	0,05	44,23	> 300	Se Acepta Ho	-2E+10
<b>Crecida 5</b>	0,95	10,43	10.54	Se Acepta Ho	-13,19
<b>Crecida 6</b>	0,04	44,42	> 300	Se Acepta Ho	-1E+14
<b>Crecida 7</b>	0,83	18,45	15.4	Se Rechaza Ho	-19,22
<b>Crecida 8</b>	0,26	39,06	-172.1	Se Rechaza Ho	215,35
<b>Crecida 9</b>	0,92	12,51	14.23	Se Rechaza Ho	-17,81
<b>Crecida 10</b>	0,97	8,17	11.7	Se Rechaza Ho	-14,64

Tabla N° 43: Resumen de métodos estadísticos aplicados a la crecida N° 8 entre las estaciones de Ñiquén y Quella.

	R2	EEE	Diferencia de Volumen (%)	U de Mann Whitney	B y A
<b>Crecida 1</b>	0,42	16,16	68.2	Se Rechaza Ho	-118
<b>Crecida 2</b>	0,85	8,32	25.3	Se Rechaza Ho	-43,69
<b>Crecida 3</b>	0,86	7,81	23.4	Se Rechaza Ho	-40,87
<b>Crecida 4</b>	0,10	20,11	> 300	Se Rechaza Ho	1,3E+10
<b>Crecida 5</b>	0,72	11,23	22.7	Se Rechaza Ho	-39,18
<b>Crecida 6</b>	0,07	20,40	> 300	Se Rechaza Ho	-3E+13
<b>Crecida 7</b>	0,86	7,80	28.5	Se Rechaza Ho	-49,17
<b>Crecida 8</b>	0,56	14,01	-129.3	Se Rechaza Ho	223,15
<b>Crecida 9</b>	0,86	8,05	25.1	Se Rechaza Ho	-43,29
<b>Crecida 10</b>	0,83	8,65	23.1	Se Rechaza Ho	-39,79

**Apéndices IV**  
**Representación gráfica de la validación**

Figura N° 34: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 4 del tramo San Manuel – Niquén.

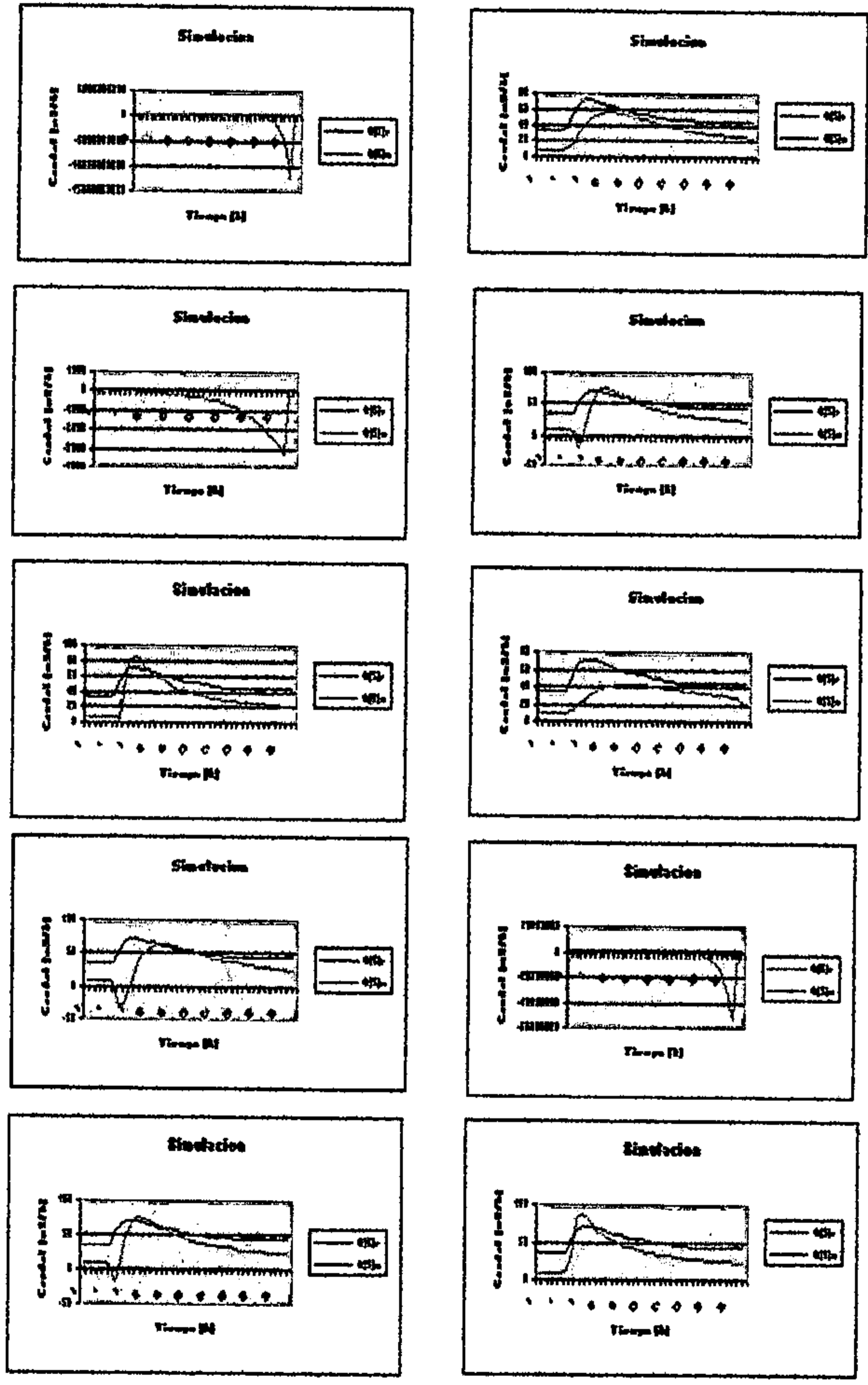


Figura N° 35: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 6 del tramo San Manuel – Niquén.

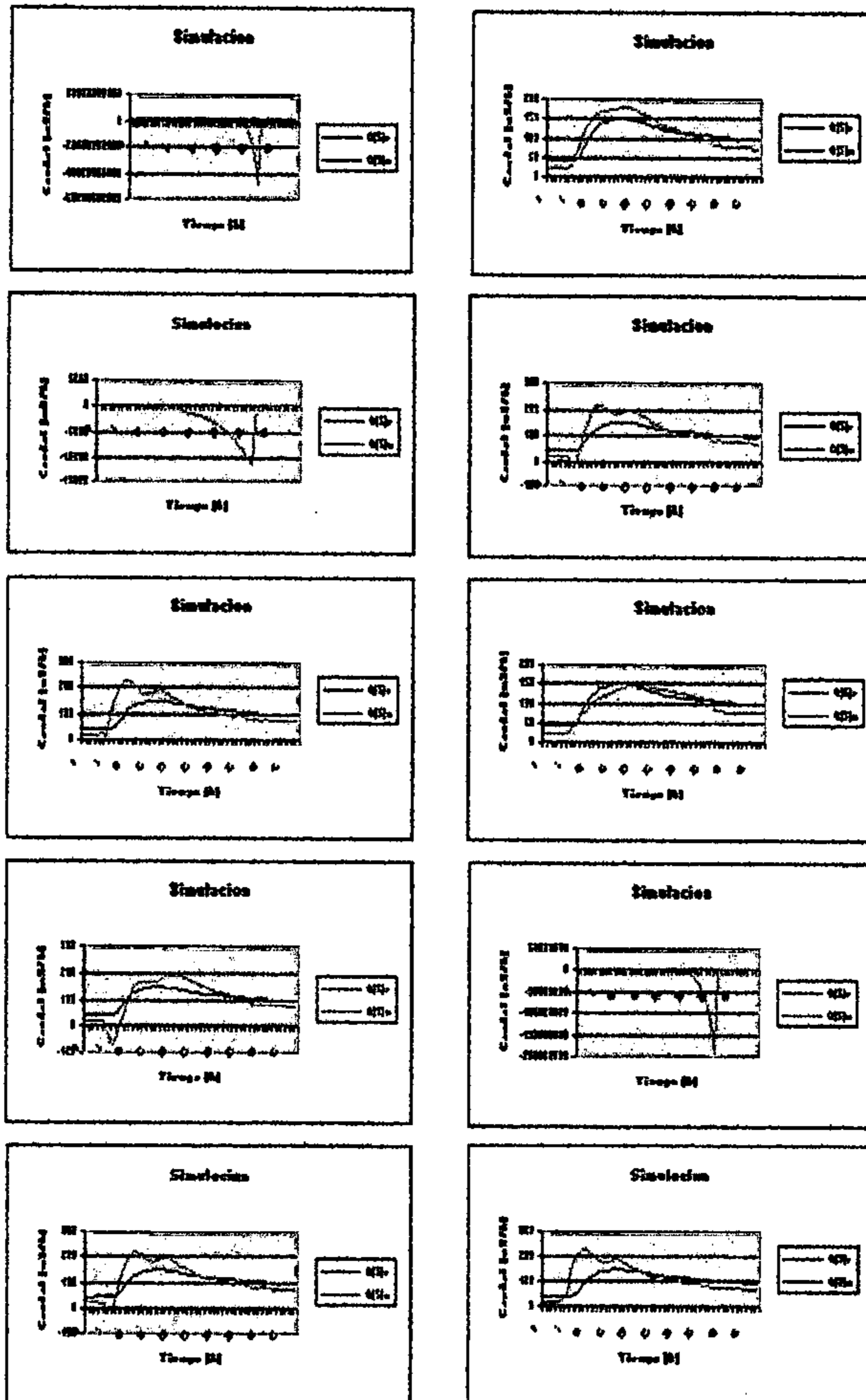


Figura N° 36: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 7 del tramo San Manuel – Ñiquén.

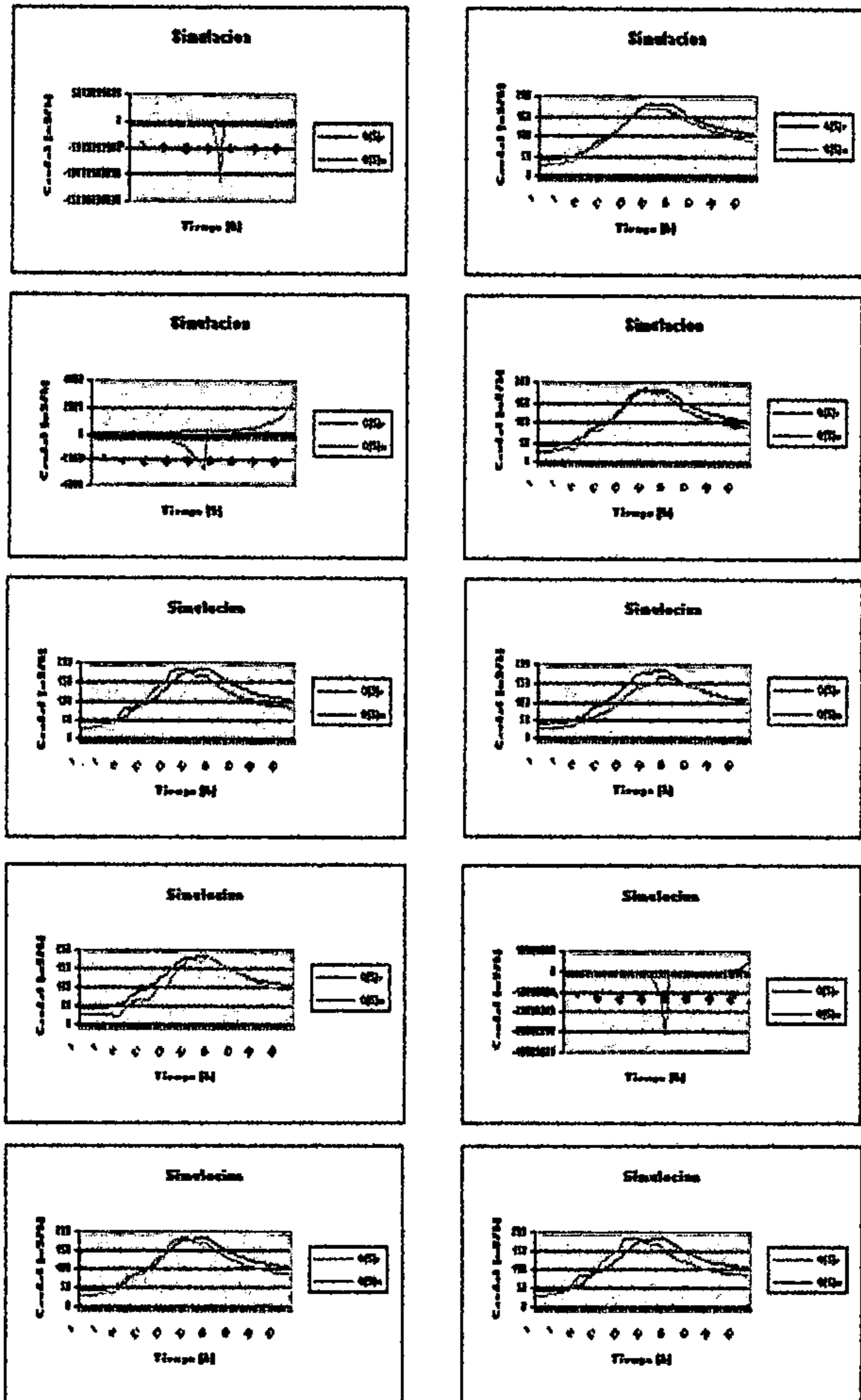


Figura N° 37: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 9 del tramo San Manuel – Ñiquén.

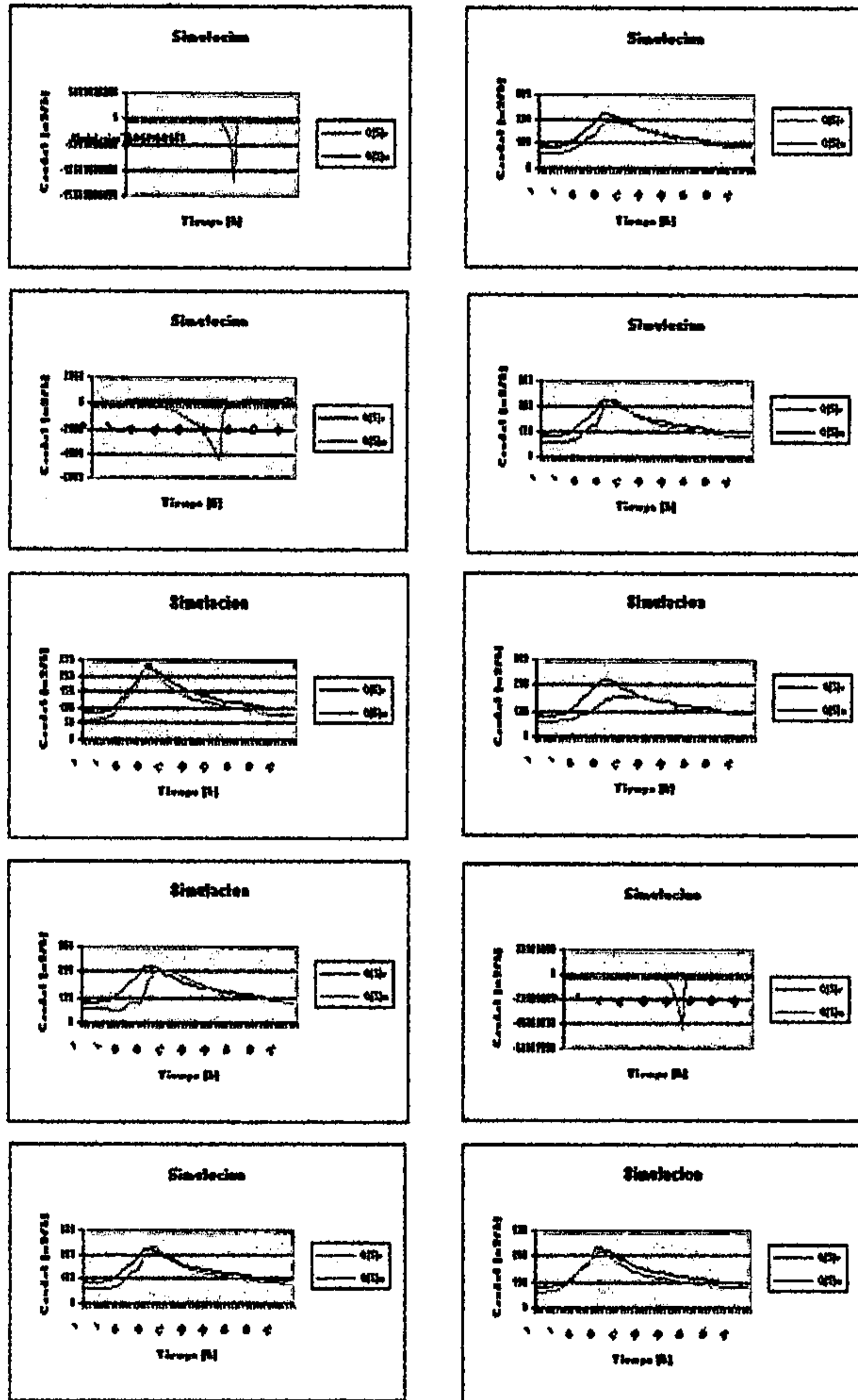


Figura N° 38: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 10 del tramo San Manuel – Ñiquén.

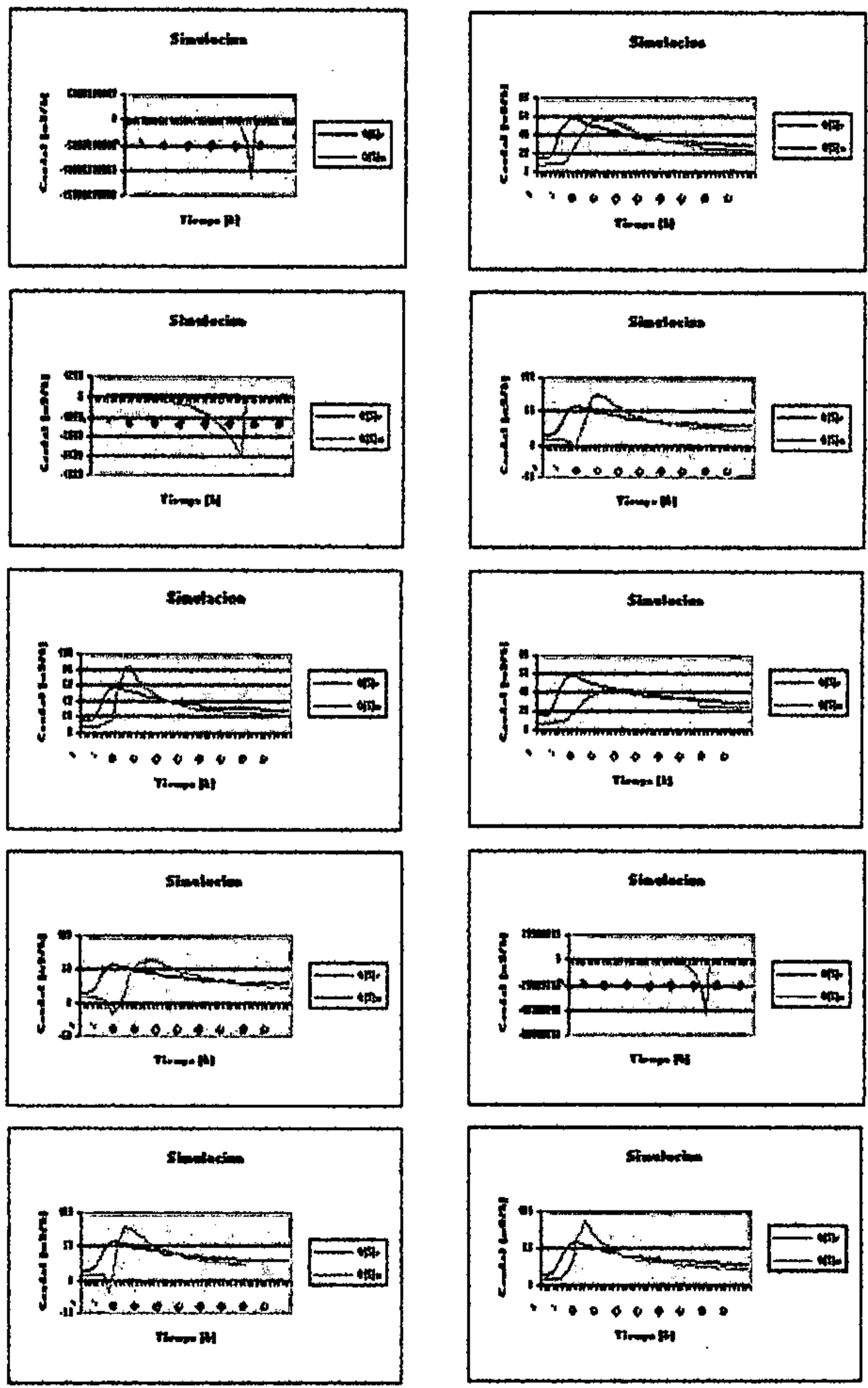




Figura N° 39: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 1 del tramo Niquén - Quella.

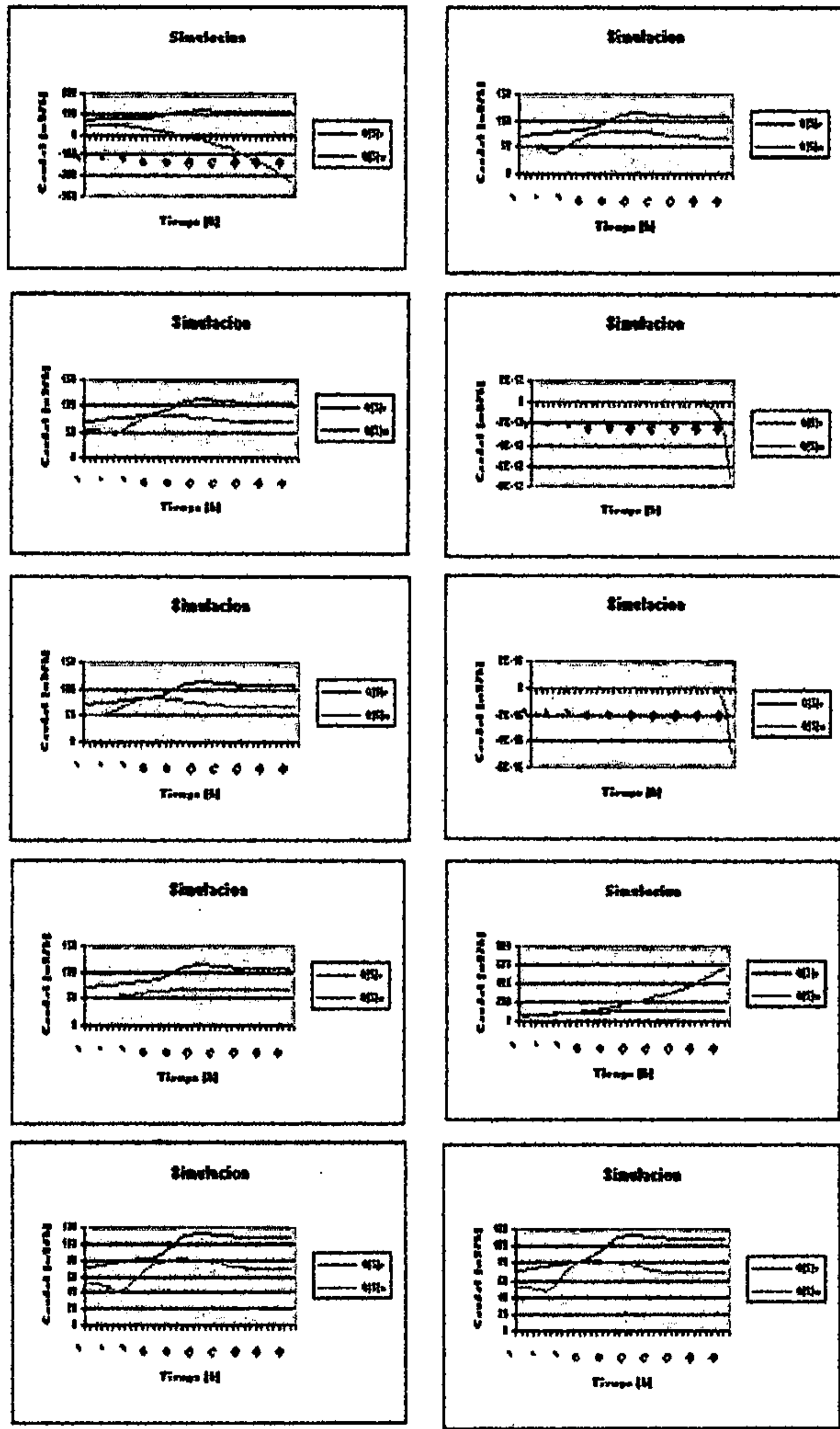


Figura N° 40: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 2 del tramo Ñiquén - Quella.

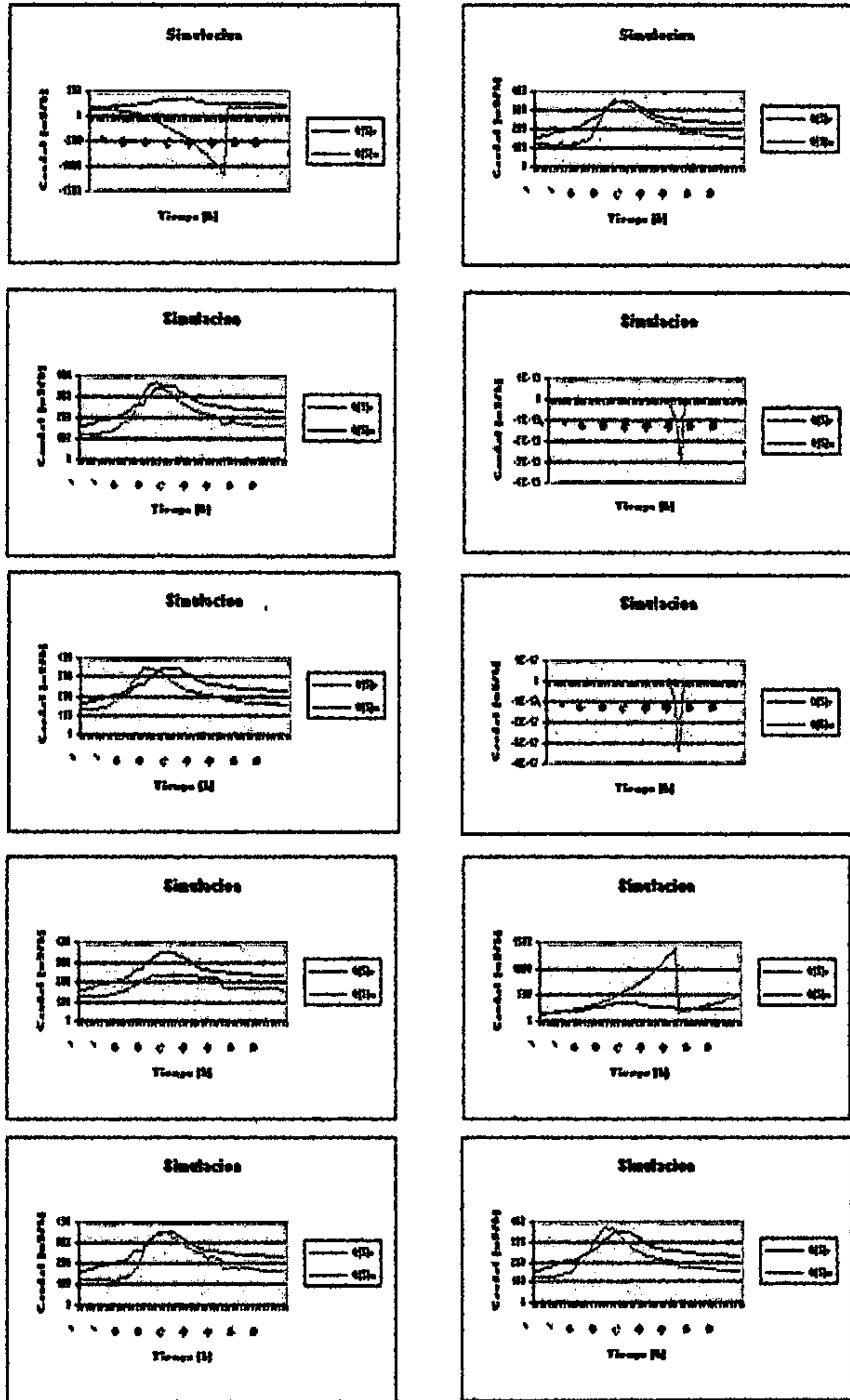


Figura N° 41: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 3 del tramo Ñiquén - Quella.

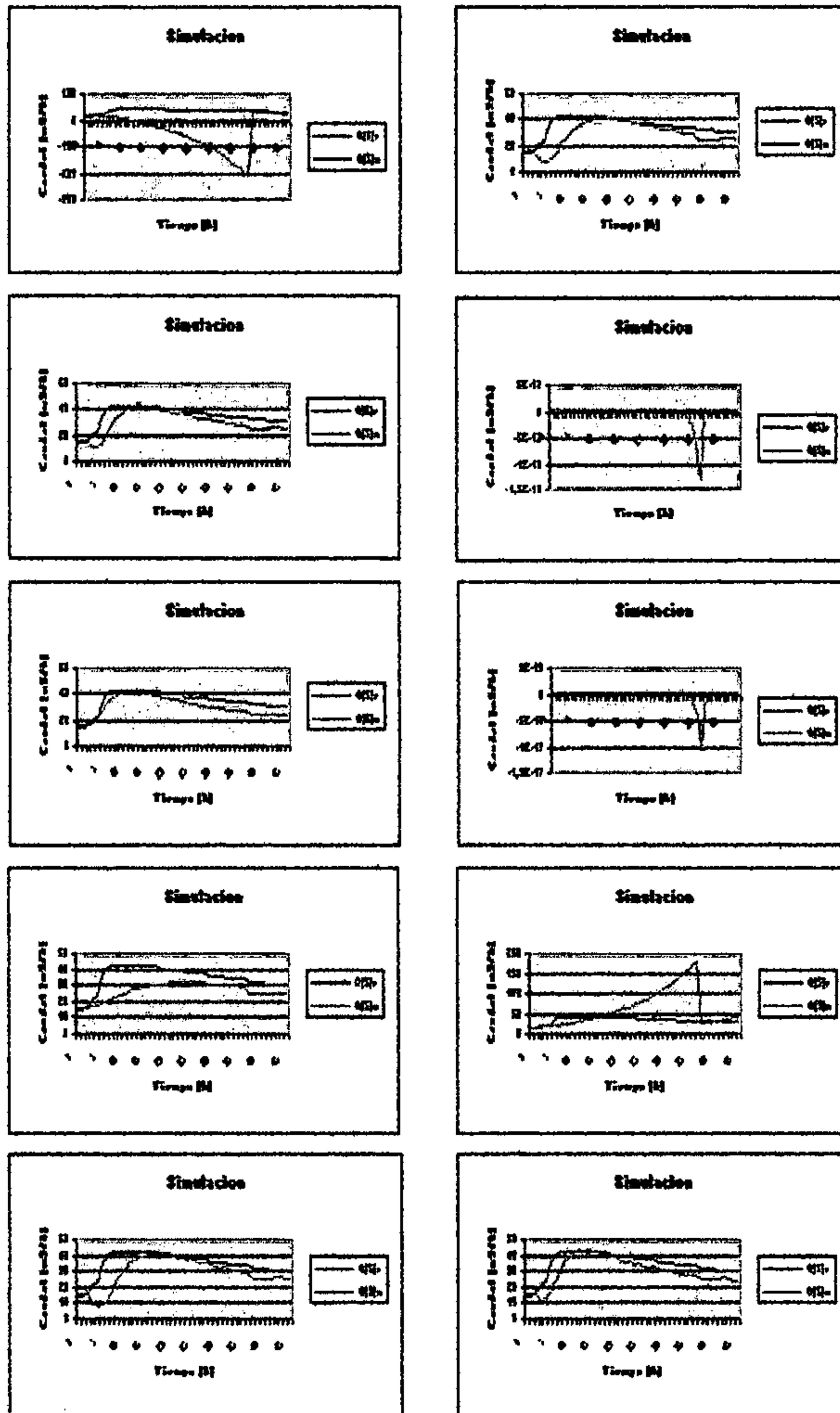


Figura N° 42: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 7 del tramo Ñiquén - Quella.

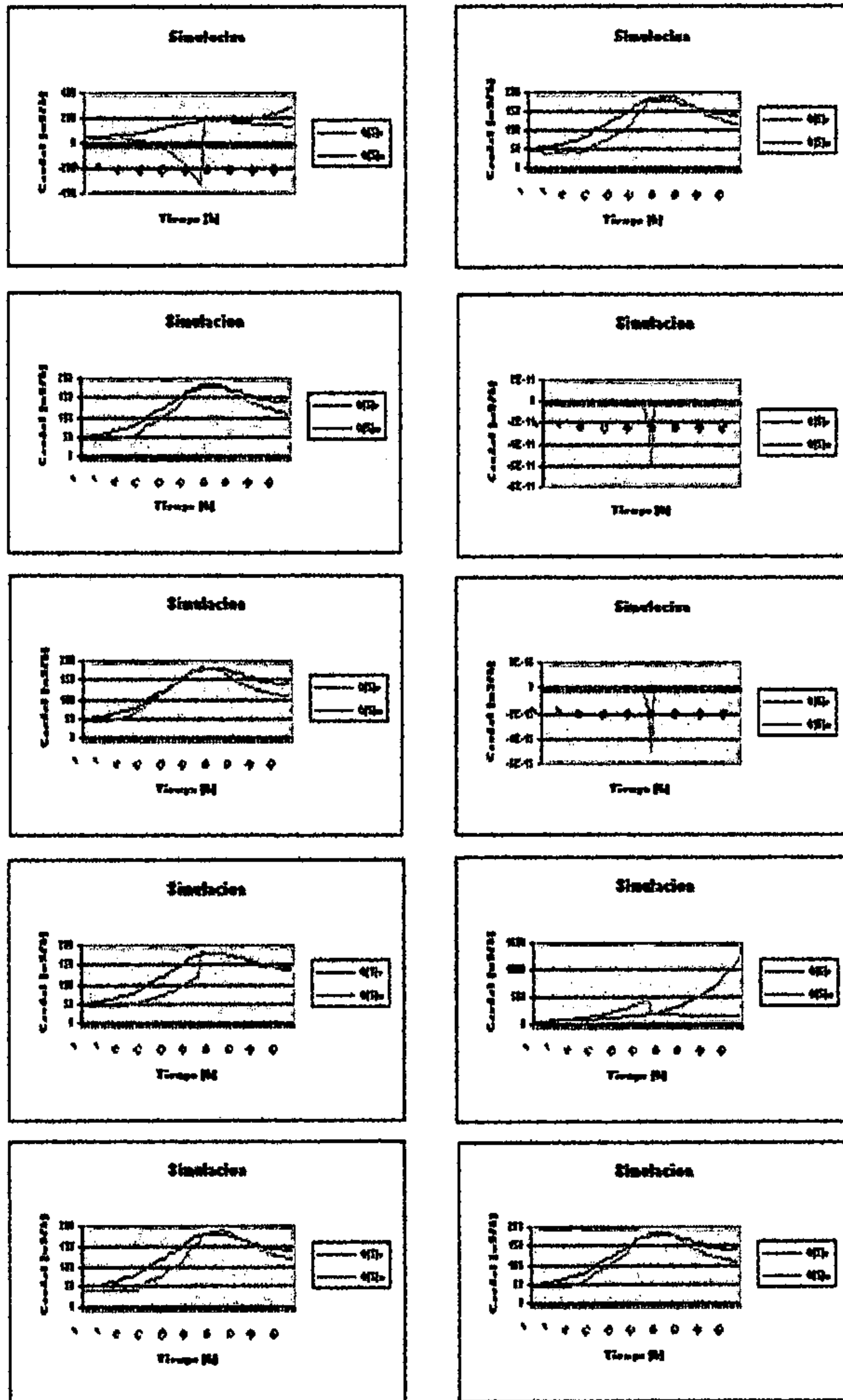
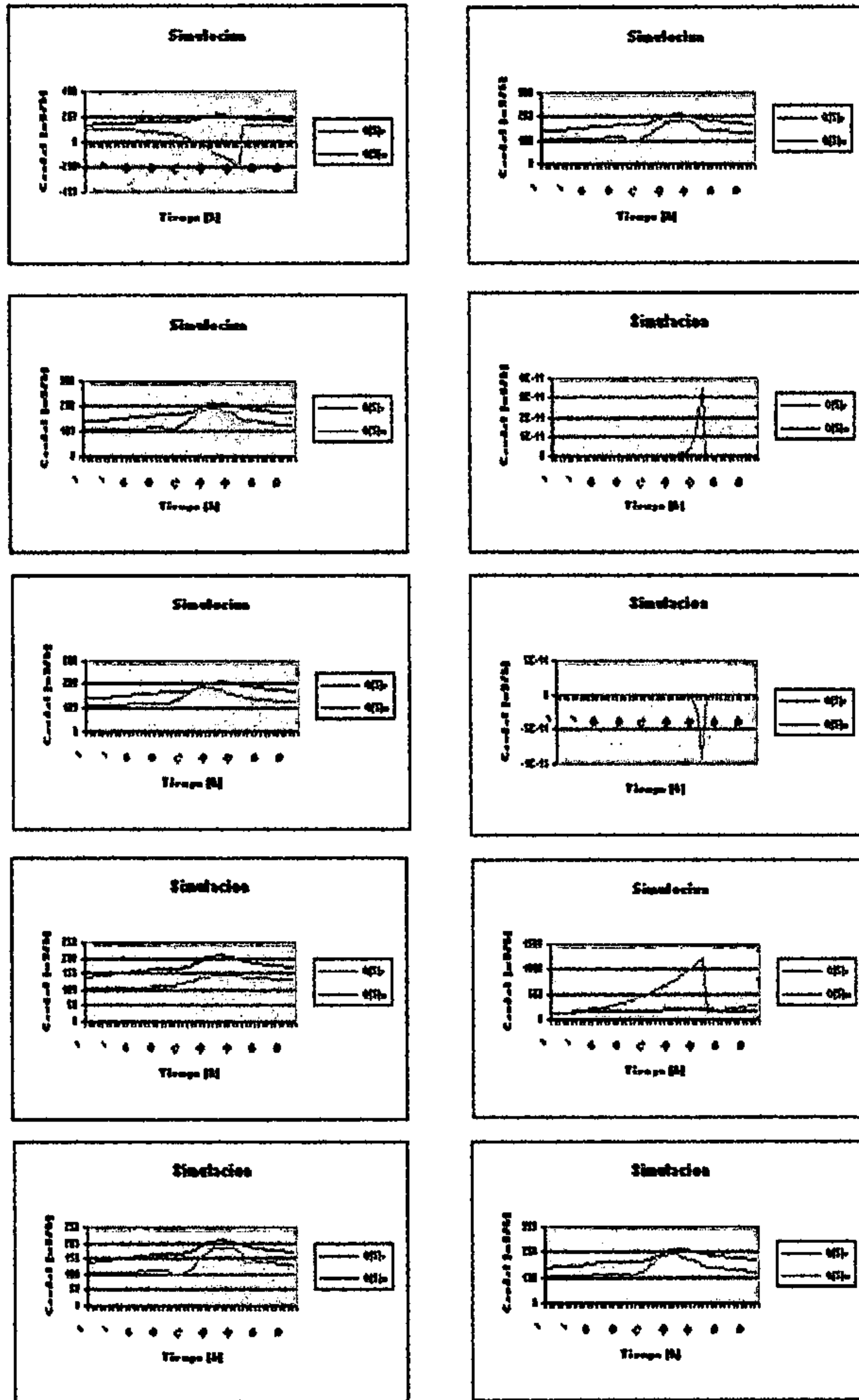


Figura N° 43: Hidrogramas simulados a partir de la crecida N° 8 del tramo Ñiquén - Quella.



**Apéndices V**  
**Resultado de la aplicación de la prueba de**  
**Concordancia de Bland y Altman**

Tabla N° 44: Resultado de la aplicación de la prueba de Bland y Altman en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén

		Bland y Altman San Manuel - Ñiquén									
		Crec 1	Crec 2	Crec 3	Crec 4	Crec 5	Crec 6	Crec 7	Crec 8	Crec 9	Crec 10
Crecida 4	DP	-5,E+08	-9,35	-386	-9,20	-8,28	-12,98	-10,95	-2,E+06	-9,00	-7,98
	SD	1,71E+09	10,68	482,59	13,22	9,31	11,44	17,67	6,E+06	12,51	7,74
	LC-	-4,E+09	-30,29	-1332	-35,11	-26,53	-35,39	-45,59	-1,E+07	-33,53	-23,16
	LC+	2,82E+09	11,58	559,59	16,72	9,96	9,44	23,69	1,E+07	15,52	7,19
Crecida 6	DP	-135	-29,83	-28,21	-4,E+11	-27,21	-2,E+15	-33,63	123,22	-29,63	-27,83
	SD	8,18E+09	49,49	2884	62,06	59,11	40,37	66,85	34385405	61,46	58,10
	LC-	-2,E+10	-30,64	-7430	-54,01	-45,36	-24,42	-69,36	-8,E+07	-52,21	-42,53
	LC+	1,38E+10	163,37	3876	189,27	186,34	133,81	192,69	56356213	188,72	185,24
Crecida 7	DP	-4,E+08	-10,12	-80,41	-9,77	-7,64	-14,97	-13,64	-1,E+06	-9,32	-6,96
	SD	2,E+09	5,23	906,22	8,82	17,21	12,24	10,46	5,E+06	10,35	20,24
	LC-	-4,E+09	-20,38	-1857	-27,07	-41,37	-38,96	-34,14	-1,E+07	-29,61	-46,63
	LC+	-8,E+09	-50,06	-3719	-62,83	-88,71	-91,33	-80,55	-2,E+07	-67,35	-98,36
Crecida 9	DP	-2,E+08	-1,73	-307	-1,36	-0,40	-5,04	-3,25	-9,E+05	-1,15	-0,11
	SD	5,46E+08	14,03	464,89	16,74	14,17	13,74	19,89	3,E+06	16,27	13,15
	LC-	-1,E+09	-29,24	-1219	-34,17	-28,18	-31,97	-42,23	-6,E+06	-33,03	-25,89
	LC+	9,19E+08	25,77	603,83	31,46	27,37	21,89	35,73	4,E+06	30,73	25,67
Crecida 10	DP	-376	-51,54	-46,87	-1,E+12	-45,03	-1,E+16	-68,2856	207,24	-50,90	-45,97
	SD	1,84E+09	12,27	751,91	17,20	13,32	12,85	21,79	8,E+06	16,49	11,75
	LC-	-4,E+09	-28,58	-1953	-37,95	-29,57	-32,78	-48,51	-2,E+07	-36,40	-26,25
	LC+	3,12E+09	19,52	994,88	29,47	22,64	17,59	36,90	1,E+07	28,25	19,80

Tabla N° 45: Resultado de la aplicación de la prueba de Bland y Altman en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella.

		Bland y Altman Ñiquén - Quella									
		Crecida 1	Crecida 2	Crecida 3	Crecida 4	Crecida 5	Crecida 6	Crecida 7	Crecida 8	Crecida 9	Crecida 10
Crecida 1	DP	-2,E+09	66,36	-1777	67,63	70,49	54,69	61,66	-1,E+07	68,25	71,36
	SD	96,96	8,99	12,32	1,E+12	14,56	9,E+15	9,57	143,10	9,33	13,26
	LC-	-325	-47,46	-52,37	-3,E+12	-55,75	-2,E+16	-52,39	-157	-47,92	-53,81
	LC+	55,08	-12,20	-4,06	2,E+12	1,34	2,E+16	-14,87	403,70	-11,35	-1,85
Crecida 2	DP	-5,E+08	-4,53	-479	-4,24	-3,47	-7,60	-5,80	-2,E+06	-4,08	-3,23
	SD	407,30	29,27	32,66	4,56E+12	43,13	4,83E+16	20,73096	301,67	28,76	36,41
	LC-	-1175	-109	-111	-1,E+13	-130	-1,E+17	-108,918	-384	-107	-117
	LC+	422,03	5,82	17,15	7,91E+12	39,50	8,51E+16	-27,6529	798,51	5,46	25,39
Crecida 3	DP	-75,70	-5,93	-5,01	-5,E+11	-4,53	-4,E+15	-8,60	26,35	-5,81	-4,82
	SD	71,27	7,27	4,85	2,09E+12	2,80	2,E+16	5,52	44,35	7,01	4,22
	LC-	-215	-20,18	-14,53	-5,E+12	-10,03	-4,E+16	-19,42	-60,56	-19,56	-13,08
	LC+	63,99	8,33	4,50	3,59E+12	0,96	3,E+16	2,23	113,27	7,94	3,45
Crecida 7	DP	-58,96	-18,10	-15,40	-2,E+10	-13,19	-1,E+14	-19,22	215,35	-17,81	-14,64
	SD	146,82	17,41	10,11	8,E+10	10,89	7,E+14	21,94	269,71	16,34	9,69
	LC-	-347	-52,22	-35,23	-2,E+11	-34,53	-1,E+15	-62,21	-313	-49,84	-33,64
	LC+	-739	-120	-84,44	-4,E+11	-80,88	-3,E+15	-141	-399	-15,85	-12,68
Crecida 8	DP	-118	-43,69	-40,45	1,27E+10	-39,18	-3,E+13	-49,17	223,15	-43,29	-39,79
	SD	107,55	11,59	11,32	5,44E+10	13,63	1,36E+14	8,85	280,78	11,37	12,11
	LC-	-329	-66,41	-62,63	-9,E+10	-65,89	-3,E+14	-66,52	-327	-65,57	-63,53
	LC+	93,02	-20,97	-18,26	1,19E+11	-12,46	2,38E+14	-31,82	773,47	-21,00	-16,04



**Apéndices VI**  
**Resultados de la aplicación de la prueba U de**  
**Mann Whitney**

Tabla N° 46: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén para la crecida N° 4.

	4		
Crecida	p	U	Conclusión
1	0	0	Se Rechaza Ho
2	0,000005	308	Se Rechaza Ho
3	0	0	Se Rechaza Ho
4	0,0001	372	Se Rechaza Ho
5	0,000026	340	Se Rechaza Ho
6	$5,9 \cdot 10^{-11}$	108	Se Rechaza Ho
7	0,00017	385	Se Rechaza Ho
8	0	0	Se Rechaza Ho
9	0,00008	366	Se Rechaza Ho
10	0,00001	327	Se Rechaza Ho

Tabla N° 47: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén para la crecida N° 6.

	1		
Crecida	p	U	Conclusión
1	0	0	Se Rechaza Ho
2	$1,2 \cdot 10^{-11}$	90	Se Rechaza Ho
3	$3,1 \cdot 10^{-10}$	103	Se Rechaza Ho
4	0	0	Se Rechaza Ho
5	$1,6 \cdot 10^{-10}$	93,5	Se Rechaza Ho
6	0	0	Se Rechaza Ho
7	0	0	Se Rechaza Ho
8	0,0006	1000	Se Rechaza Ho
9	$1,7 \cdot 10^{-10}$	95	Se Rechaza Ho
10	$5,4 \cdot 10^{-10}$	111	Se Rechaza Ho

Tabla N° 48: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén para la crecida N° 7.

	7		
Crecida	p	U	Conclusión
1	0,19	1890	Se Acepta Ho
2	0,14	1850	Se Acepta Ho
3	0,17	1877	Se Acepta Ho
4	0,16	1866	Se Acepta Ho
5	0,19	1891	Se Acepta Ho
6	0,06	1782	Se Acepta Ho
7	0,08	1799	Se Acepta Ho
8	0,18	1886	Se Acepta Ho
9	0,16	1870	Se Acepta Ho
10	0,22	1910	Se Acepta Ho

Tabla N° 49: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén para la crecida N° 9.

	9		
Crecida	p	U	Conclusión
1	0	1057	Se Rechaza Ho
2	0,01	1232	Se Rechaza Ho
3	0	858	Se Rechaza Ho
4	1215	0,01	Se Rechaza Ho
5	0,01	1212	Se Rechaza Ho
6	0	1122	Se Rechaza Ho
7	0,01	1185	Se Rechaza Ho
8	0	1019	Se Rechaza Ho
9	0,01	1215	Se Rechaza Ho
10	0,01	1215	Se Rechaza Ho

Tabla N° 50: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén para la crecida N° 10.

	2		
Crecida	p	U	Conclusión
1	0	4	Se Rechaza Ho
2	0,00006	803	Se Rechaza Ho
3	0,00003	783	Se Rechaza Ho
4	0,000003	700	Se Rechaza Ho
5	0,00003	780	Se Rechaza Ho
6	0,000007	724	Se Rechaza Ho
7	$4,9 \cdot 10^{-14}$	380	Se Rechaza Ho
8	0,0005	2018	Se Rechaza Ho
9	0,00006	833	Se Rechaza Ho
10	0,00003	777	Se Rechaza Ho

Tabla N° 51: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella para la crecida N° 1.

	6		
Crecida	p	U	Conclusión
1	$1,7 \cdot 10^{-9}$	329	Se Rechaza Ho
2	6,75	1195	Se Acepta Ho
3	0	128	Se Rechaza Ho
4	0,99	1153	Se Acepta Ho
5	1129	0,86	Se Acepta Ho
6	0,37	1029	Se Acepta Ho
7	0,73	1199	Se Acepta Ho
8	$1,5 \cdot 10^{-10}$	272	Se Rechaza Ho
9	0,91	1136	Se Acepta Ho
10	0,92	1138	Se Acepta Ho

Tabla N° 52: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella para la crecida N° 2.

	10		
Crecida	p	U	Conclusión
1	$1,8 \cdot 10^{-10}$	304	Se Rechaza Ho
2	0,05	929	Se Acepta Ho
3	0	112	Se Rechaza Ho
4	0,0015	859	Se Rechaza Ho
5	0,008	831	Se Rechaza Ho
6	0,009	833	Se Rechaza Ho
7	0,096	966	Se Acepta Ho
8	$1,1 \cdot 10^{-11}$	244	Se Rechaza Ho
9	0,016	862	Se Rechaza Ho
10	0,01	854	Se Rechaza Ho

Tabla N° 53: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella para la crecida N° 3.

	3		
Crecida	p	U	Conclusión
1	0	33	Se Rechaza Ho
2	0,0008	632	Se Rechaza Ho
3	0,002	665	Se Rechaza Ho
4	$2,3 \cdot 10^{-12}$	160	Se Rechaza Ho
5	0,0009	633	Se Rechaza Ho
6	$1,2 \cdot 10^{-9}$	280	Se Rechaza Ho
7	$5,8 \cdot 10^{-12}$	177	Se Rechaza Ho
8	0,04	1315	Se Rechaza Ho
9	0,0009	633	Se Rechaza Ho
10	0,009	692	Se Rechaza Ho

Tabla N° 54: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella para la crecida N° 7.

	7		
Crecida	p	U	Conclusión
1	0,12	1842	Se Acepta Ho
2	0,04	1727	Se Acepta Ho
3	0,05	1780	Se Acepta Ho
4	0,2	1919	Se Acepta Ho
5	0,06	1769,5	Se Acepta Ho
6	0,2	1914	Se Acepta Ho
7	0,03	1700	Se Rechaza Ho
8	$1,9 \cdot 10^{-7}$	3321	Se Rechaza Ho
9	0,04	1751	Se Rechaza Ho
10	0,06	1761	Se Acepta Ho

Tabla N° 55: Resultado de la aplicación de la prueba U de Mann Whitney en el tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella para la crecida N° 8.

Crecida	8		
	p	U	Conclusión
1	0	0	Se Rechaza Ho
2	$5,5 \cdot 10^{-11}$	299	Se Rechaza Ho
3	$3 \cdot 10^{-10}$	351	Se Rechaza Ho
4	0,000002	1943	Se Rechaza Ho
5	$3,6 \cdot 10^{-10}$	340	Se Rechaza Ho
6	0,000001	545	Se Rechaza Ho
7	0	37,5	Se Rechaza Ho
8	0,00001	1940	Se Rechaza Ho
9	$1,1 \cdot 10^{-10}$	313	Se Rechaza Ho
10	$6,2 \cdot 10^{-10}$	353	Se Rechaza Ho

## **Apéndices VII**

**Resumen de la aplicación de las pruebas de bondad  
de ajuste aplicadas a los tramos comprendidos  
entre las estaciones de San Manuel – Ñiquén y  
Ñiquén – Quella**

Tabla N° 56: Resumen de las pruebas de bondad de ajuste aplicadas al tramo comprendido entre las estaciones de San Manuel y Ñiquén, para la validación de las crecidas.

	<b>R2 &gt; 0.6</b>	<b><math>\Delta</math> Vol &gt; 30 %</b>	<b>Aceptación de Ho</b>	<b>B y A &lt; 200</b>
<b>Crecida 4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>
<b>Crecida 6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>8</b>
<b>Crecida 7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>8</b>
<b>Crecida 9</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>7</b>
<b>Crecida 10</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>6</b>

Tabla N° 57: Resumen de las pruebas de bondad de ajuste aplicadas al tramo comprendido entre las estaciones de Ñiquén y Quella, para la validación de las crecidas.

	<b>R2 &gt; 0.6</b>	<b><math>\Delta</math> Vol &gt; 30 %</b>	<b>Aceptación de Ho</b>	<b>B y A &lt; 200</b>
<b>Crecida 1</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
<b>Crecida 2</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>7</b>
<b>Crecida 3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>8</b>
<b>Crecida 7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>7</b>
<b>Crecida 8</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>7</b>