



**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL**

**Modelación Matemática de Caudales  
Recesivos para la Cuenca del Rio  
Achibueno, Estación La Recova**

**JUAN FRANCISCO GUZMAN VALLEJOS**

Tesis para optar al grado de:

**LICENCIADO EN CIENCIAS FORESTALES**

**PROFESOR GUIA: ROBERTO PIZARRO TAPIA**

TALCA - CHILE

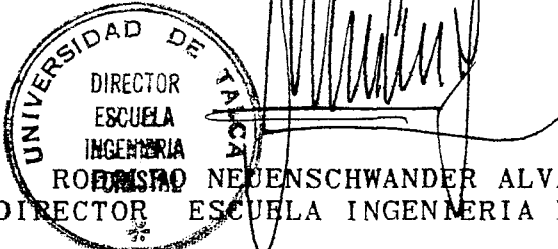
1994

UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

El alumno Sr. JUAN FRANCISCO GUZMAN VALLEJOS ha realizado la Tesis: "MODELACION MATEMATICA DE CAUDALES RECESIVOS PARA LA CUENCA DEL RIO ACHIBUENO, ESTACION LA RECOVA", como uno de los requisitos para optar al Grado de Licenciado en Ciencias Forestales, con el Profesor Sr. Roberto Pizarro Tapia como Profesor Guia, el Sr. Norman Smith Vivallo como Profesor Guia Alterno y la Sra. Guadalupe Ponce Gutierrez como Profesora Colaboradora.

La Comisión de Calificación constituida por los Profesores Sres: Roberto Pizarro Tapia, Norman Smith Vivallo y Claudio del Pino Ormachea la evaluó con un 6,0 (en letras) Seis Coma Cero. como nota promedio.

TALCA, CHILE  
1994

  
ROBERTO NEUENSCHWANDER ALVARADO  
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA FORESTAL

A MIS PADRES

A ISABEL Y  
MAXIMILIANO

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a todas aquellas personas e instituciones que de una u otra forma colaboraron en la realización de esta tesis.

De manera muy especial reconoce y agradece el apoyo prestado por el profesor guía Ingeniero Forestal señor Roberto Pizarro Tapia. Apoyo y conocimientos hidrológicos que fueron otorgados durante todo el desarrollo de esta tesis. También agradece al profesor guía subrogante en el examen de grado de la presente, señor Norman Smith Vivallo por su dedicación prestada a la presentación de este trabajo. Asimismo, expresa gratitud a la profesora colaboradora señora Guadalupe Ponce por los fundamentos estadísticos sobre los cuales fue desarrollado el método de la tesis que se expone, esta gratitud se hace extensible a los profesores señores Oscar Vallejos y Esteban Flores, dada la buena disposición y conocimientos estadísticos aportados.

Por otra parte, y del mismo modo, agradece a las instituciones; Dirección General de Aguas por la información facilitada y a la Dirección de Investigación y Asistencia Técnica de la Universidad de Talca por el financiamiento otorgado.

## INDICE

	Página.
CAPITULO PRIMERO : INTRODUCCION.....	1
CAPITULO SEGUNDO : OBJETIVOS.....	3
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
CAPITULO TERCERO : REVISION BIBLIOGRAFICA.....	4
3.1. COMPONENTES DE LA ESCORRENTIA.....	4
3.2. HIDROGRAMA DE CRECIDAS.....	5
3.3. AGUAS SUBTERRANEAS.....	5
CAPITULO CUARTO : METODO.....	10
4.1. RECOLECCION DE LA INFORMACION LIMNIGRAFICA REGISTRADA DEL RIO ACHIBUENO, ESTACION LA RECOVA.....	10
4.2. MODELACION MATEMATICA DE CADA UNA DE LAS CRECIDAS.....	11
4.3. INFERENCIAS ESTADISCO MATEMATI- CAS DE LA INFORMACION GENERADA....	14
4.4. CUANTIFICACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LA CUENCA PARA CADA CRECIDA EN ANALISIS.....	15

CAPITULO QUINTO	:	PRESENTACION ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS.....	16
5.1.		PRESENTACION DE LOS RESULTADOS....	16
5.1.1		MODELACION MATEMATICA DE CADA UNA DE LAS CRECIDAS.....	16
5.1.2		INFERENCIAS ESTADISTICO MATEMATICAS DE LA INFORMACION GENERADA....	20
5.1.3		CUANTIFICACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LA CUENCA PARA CADA CRECIDA EN ANALISIS.....	24
5.2.		ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS.....	26
5.2.1		MODELACION MATEMATICA DE CADA UNA DE LAS CRECIDAS.....	26
5.2.2		INFERENCIAS ESTADISTICO MATEMATICAS DE LA INFORMACION GENERADA....	28
5.2.3		CUANTIFICACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LA CUENCA PARA CADA CRECIDA EN ANALISIS.....	29
CAPITULO SEXTO	:	CONCLUSIONES.....	30
CAPITULO SEPTIMO	:	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	32
ANEXO Nº 1	:	FASES O ETAPAS DE DESARROLLO DE LA TESIS.....	34
ANEXO Nº 2	:	DEDUCCION DEL MODELO, SEGUN PIZARRO EN 1991 Y SEGUN CIRUGEDA EN 1985.....	39
ANEXO Nº 3	:	CURVAS DE GASTOS DEL RIO ACHIEBUENO.....	42

APENDICE N <sup>o</sup> 1	:	VARIABLES DE ESTADO DE CADA CRECIDA.....	45
		VARIABLES AUXILIARES DE CADA CRECIDA.....	47
APENDICE N <sup>o</sup> 2	:	VALORES DE CAUDAL OBSERVADOS Y MODELADOS DE CADA CRECIDA.....	50

## RESUMEN

En el análisis de hidrogramas de escorrentía, que permite definir el comportamiento de caudales en función del tiempo, es posible diferenciar sus tramos correspondientes a curva de crecida, curva de bajada y curva de agotamiento. A partir de esta última y bajo ciertos conceptos teóricos como la variación del caudal respecto al tiempo, se logra modelar la curva recesiva como

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

En esta tesis, se valida dicho modelo matemático, para los caudales recesivos del río Achibueno, cuenca del Maule, en el punto de control la Recova, analizando su confiabilidad estadística para un número de 50 crecidas.

El modelo es verificado, para cada crecida en estudio, y en cada una de ellas se obtienen las variables hidrológicas de estado, las que son usadas, con el objeto de relacionarlas con las constantes paramétricas de la ecuación modelada. Mediante la integración del modelo, se procede a calcular el volumen de agua que puede almacenar la cuenca en períodos sin precipitaciones.

Finalmente se entregan conclusiones y recomendaciones, de acuerdo al análisis de los resultados obtenidos en el desarrollo de la presente tesis.



## SUMMARY

In the analysis of flood hydrographs, that permits to define the conduct of caudals in function of time, it is possible to differentiate their corresponding sections to the swelling curve, the descent curve and the recessive curve. From the last one, and under certain theoretical concepts, like the variation of caudals respect of time, it is possible to modelate the recession curve as

$$Q = Q_0 e^{-a(t - t_0)}$$

This thesis validates such mathematical model, for the recessive caudals of Achibueno river, watershed of Maule river, at the control point La Recova, analyzing its statistic confiability for a number of 50 increases in flow (swellings).

This model is verified for each one of the 50 swellings in study, and for each one of them, it is obtained the hidrologycal state variables, wich are used in order to relate them with parametrical constants of the modelated ecuation. Through the integration of the model the water volume is calculated that can be accumulated in the watershed in periods without precipitations.

Finally conclusions and recommendations are given according to the analysis of the results obtained in this thesis.

## CAPITULO PRIMERO INTRODUCCION

En nuestro país, el recurso hídrico es ocupado por distintos sectores para el bienestar del hombre. Los usos que se hacen del agua en riego, industrias, municipios, viviendas urbanas y rurales, etc., tienen una tendencia creciente en el tiempo, que lleva a requerir de su utilización en forma óptima para un adecuado desarrollo regional. Es entonces necesario, conocer el comportamiento de todas las formas de caudal, entre las cuales se puede citar la escorrentía subterránea o caudal recesivo.

Esta problemática es de especial importancia, en zonas áridas y semiáridas y por encontrarse la cuenca del río Maule y otras cuencas adyacentes, en una zona semiárida, resulta fundamental la predicción de caudales futuros para el desarrollo regional. Así, si se lograra modelar el caudal recesivo en una cuenca, el procedimiento metodológico podría ser ampliado a otras cuencas en la Región, con las ventajas científicas y tecnológicas que ello determinaría.

Por otra parte, una adecuada distribución y generación de la información hidrológica da lugar a una mayor confianza para invertir, por parte de los sectores productivos de la Región, con el fin de obtener en estas condiciones beneficios financieros, a través de un mayor dominio de las condiciones de riesgo e incertidumbre.

En este marco, los hidrogramas de escorrentía son una herramienta fundamental para definir el comportamiento de los caudales en función del tiempo en alguna sección de control; a partir de éstos, se pueden inferir características hidrológicas, geológicas, edafológicas, morfológicas y vegetacionales de la cuenca, en términos generales. Con los hidrogramas se pueden determinar los caudales recesivos en base a la extensión de la curva de bajada, también conocida como curva recesiva, la que permite calcular la disponibilidad de almacenamiento y utilización del agua en una cuenca, especialmente en períodos de estiaje en donde el uso está limitado por la sequía. Por esta razón, la investigación sobre el comportamiento de los caudales recesivos es vital, en el objetivo de cuantificar la oferta hídrica en una cuenca determinada, siendo necesario para ello, la modelación

matemática de los caudales provenientes de fuentes subterráneas. Así, es posible determinar a través de dicha modelación, los volúmenes de agua que pueden ser embalsados y los caudales que pueden liberarse, asegurando el abastecimiento de agua y evitando peligros de inundación; es decir, se podría regular con mayor seguridad, el déficit y el exceso del recurso hídrico.

Para contribuir con lo expuesto, es que se presenta esta tesis de investigación, tomando como hipótesis que el modelo matemático  $Q = Q_0 e^{-\alpha (t - t_0)}$  es un buen ajuste del caudal recesivo del río Achibueno, en el punto de control La Recova, y en donde:

- Q = Caudal
- $\alpha$  = Coeficiente de proporcionalidad
- t = Tiempo
- $Q_0$  = Caudal inicial de alimentación subterránea
- t =  $t_0$ , cuando Q =  $Q_0$

## CAPITULO SEGUNDO OBJETIVOS

### 2.1.- OBJETIVO GENERAL

Aportar cuantitativa y cualitativamente al conocimiento de los caudales recesivos en zonas semiáridas en general, y a la cuenca del río Achibueno, estación La Recova, en particular.

### 2.2.-OBJETIVOS ESPECIFICOS

2.2.1.- Validar el modelo matemático  $Q = Q_0 e^{-\alpha(t-t_0)}$ , para caudales recesivos, en la cuenca del río Achibueno, estación La Recova.

2.2.2.- Establecer relaciones matemáticas entre variables de estado a través de variables auxiliares.

2.2.3.- Obtener la capacidad de almacenamiento de agua en la cuenca a partir del modelo propuesto y para una crecida cualquiera.

### CAPITULO TERCERO REVISION BIBLIOGRAFICA

#### 3.1.- COMPONENTES DE LA ESCORRENTIA.

Los caminos seguidos por el agua desde que ocurre la precipitación hasta que llega al cauce, son inciertos. Sin embargo, éstos se pueden descomponer de acuerdo a la forma de llegar a la estación de control, en dos tipos; Aguas superficiales y aguas subterráneas:

"a) Aguas superficiales: Constituidas por escorrentía de superficie o aguas que alimentan al río circulando directamente por el terreno, sin infiltrarse; lluvia caída directamente sobre la superficie libre del agua; aguas hipodérmicas o infiltradas a poca profundidad, llegando al río en plazo relativamente corto, pudiendo aflorar a la superficie al encontrarse en su circulación, con taludes fuertes en el terreno.

b) Aguas subterráneas: De infiltración más profunda y circulación lenta, que alimentan al río a largo plazo." (Cirugeda, 1985)

Otros autores, (Linsley, Kohler & Paulus, 1977), a diferencia del anterior, dividen estas aguas en tres categorías, que son: a) aguas superficiales, b) aguas subsuperficiales y c) aguas subterráneas. Las dos primeras categorías (a y b), Cirugeda las considera como de un solo tipo, a saber, aguas superficiales. Este misma división es usada por Pizarro & Novoa en 1986, y en esta tesis, se utiliza dicho concepto.

### 3.2.- HIDROGRAMA DE CRECIDAS

Un hidrograma de crecidas, es un gráfico en el cual se representa el caudal respecto al tiempo; en una crecida cualquiera, éste tiene las siguientes componentes:

"a) Curva de crecida: Corresponde a la parte del hidrograma ubicada entre el inicio de la crecida, hasta alcanzar el caudal punta.

b) Curva de bajada: Tramo comprendido entre el caudal punta y el caudal a partir del cual se inicia la curva recesiva. Aquí el caudal, está representado por la suma de aguas superficiales y subterráneas.

c) Curva recesiva o de agotamiento: Parte del hidrograma, en el cual se verifica exclusivamente alimentación subterránea." (Pizarro, 1991)

### 3.3.-AGUAS SUBTERRANEAS.

Linsley , Kohler & Paulus (1977), refiriéndose al origen del agua subterránea, dicen que casi toda es agua meteórica que proviene de las precipitaciones. Esta misma afirmación, es expuesta por Kazmann, (1965). Linsley, Kohler & Paulus (1977), agregan más adelante que existen algunos sitios en los que se encuentra; "agua de formación", generalmente con alto contenido de sales, y en menores cantidades "agua juvenil", formada químicamente dentro del subsuelo y traída a la superficie por rocas intrusivas. Con respecto a estas pequeñas cantidades de aguas, establecen que tanto el "agua de formación" como el "agua juvenil", con frecuencia son la fuente de minerales indeseables en el agua subterránea. Posteriormente mencionan que, la precipitación llega a formar parte del agua subterránea por infiltración y percolación de corrientes y lagos, siendo la percolación directa el proceso más efectivo en la recarga del agua subterránea, donde los suelos son muy permeables o donde la capa freática se encuentra cercana a la superficie del terreno.

Sin la interferencia del hombre, una cuenca de aguas subterráneas se aprovisiona y descarga sus excedentes por varias rutas hasta alcanzar un estado de equilibrio. Los diferentes canales de descarga del agua subterránea se pueden interpretar como aliviaderos del embalse de aguas subterráneas. Cuando el agua subterránea está alta, la descarga a través de tales aliviaderos tiende a mantener un equilibrio entre las entradas y salidas. Durante los períodos secos la descarga natural se reduce a medida que las cabezas de presión disminuyen, y la descarga incluso puede cesar completamente. (Linsley, Kohler & Paulus, 1977)

Todd (1973), dice que:

"Una recesión en la curva del agua subterránea nos muestra la variación del flujo base en períodos de tiempo en los cuales la caída de lluvia en la cuenca del río es muy pequeña; ésto nos da una medida de relación del desagüe del agua subterránea en la cuenca. Si los acuíferos son grandes y de permeabilidad alta y además están dentro de una zona de desagüe, el flujo base se mantiene aún en períodos de sequías prolongadas, pero si el acuífero es pequeño y de permeabilidad baja, el flujo base disminuye rápidamente y aún puede cesar".

Posteriormente, Todd, (1973) cita a Mirriam, C. y a Clark, W., quienes establecen que " si se conoce la forma de una curva de recesión, se puede calcular el flujo de corrientes durante períodos de sequía." Además, los investigadores Barnes, Grundy, Riggs, Troxell, citados por Todd (1964), establecen que:

-  $a(t)$

"La ecuación empírica  $Q = Q_0 e^{-a(t)}$  da una buena aproximación de la curva de recesión. La descarga al cabo de un tiempo  $t$  viene medida por  $Q$  y  $Q_0$  es la descarga inicial;  $a$  es una constante que depende de las características de la cuenca y se puede estimar a partir de la pendiente de la línea recta ajustada a una serie de descargas que están dibujadas en el papel semilogarítmico".

Cirugeda (1985), refiriéndose a las redes de aguas superficiales y subterráneas, establece que:

" Cuando se trata de estudiar los recursos de agua, resultan imprescindibles los datos de

aguas subterráneas. En la mayoría de los países las redes de aguas superficiales están desarrolladas para el conjunto de las cuencas; no pasa así con la red de aguas subterráneas que, o no existe como tal, o no se extiende más que a zonas parciales".

Refiriéndose posteriormente, a lo que es la "curva de agotamiento", la define como:

"La que representa la parte del hidrograma, en que los caudales proceden exclusivamente de aguas subterráneas, habiendo cesado las escorrentías superficiales e hipodérmicas".

Para modelar la curva de agotamiento, existen varias fórmulas matemáticas, entre las cuales, éste autor, cita a Serra, con la siguiente expresión matemática

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

donde:  $\alpha$  = constante de la cuenca o coeficiente de agotamiento

$Q$  = caudal

$t$  = tiempo

Los tiempos "t" coinciden con los del hidrograma total, correspondiendo  $Q_0$  al instante  $t_0$ . Cirugeda (1985), dice de este modelo, que es la fórmula de una curva exponencial;

"Que en papel semilogarítico queda representada por una recta. Con ésto, la determinación de los parámetros se hace con facilidad apoyándose en los caudales medios diarios, siempre que se pueda asimilar la curva de agotamiento a la teórica."

Este autor, exponiendo acerca del cálculo del volumen anual de aguas de procedencia subterránea, dice que:

"En el hidrograma se separan los períodos secos de los más lluviosos. En los primeros la curva de agotamiento coincide con el hidrograma; por consiguiente, su volumen es de aguas de procedencia subterránea y se puede obtener planimetrando o integrando la fórmula matemática que se ajuste mejor."

Pizarro (1991), expone un procedimiento matemático, para



obtener el modelo de la curva recesiva, al que llama "Método matemático", mediante el cual asumiendo que la variación del caudal respecto del tiempo es proporcional al mismo caudal en forma negativa, logra obtener la ecuación

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

, que es la que se estudia en la presente tesis y donde  $\alpha$  es una constante de la curva, que se define como coeficiente de proporcionalidad.

Por otra parte, Cirugeda (1985), citando a Serra, establece que:

"Se puede estudiar el vaciado del acuífero asimilándolo, como L. Serra, a un amplio recipiente lleno de material poroso, que vierte por un orificio un caudal  $Q$  con una carga hidráulica variable  $h$ , donde  $h$  representa la altura de una columna de agua para cada instante inicial  $t_0$ , con un caudal  $Q_0$ ".

Es así, que a través de un método hidráulico, se llega al mismo modelo, siendo  $\alpha = C/S$  una constante de la cuenca, que la llama "coeficiente de agotamiento", y donde  $C$  es una constante y  $S$  la superficie del recipiente considerado.

Para determinar el caudal  $Q_0$ , a partir del cual se inicia la curva recesiva, se utiliza un gráfico log del caudal v/s tiempo, y al someter la información de la curva de bajada a un gráfico de este tipo, los datos adquieren una distribución lineal, con lo cual es posible obtener el segundo quiebre y sus coordenadas; a partir de este punto, el hidrograma es generado sólo por alimentación subterránea. (Pizarro, 1991)

Una vez determinada la expresión de la curva de agotamiento, es posible definir la capacidad de almacenamiento de la cuenca receptora, por lo tanto,

$$\text{Volumen} = V = \int_{t_0}^{\infty} f(t) dt, \text{ lo que se consigue}$$

integrando la curva de agotamiento a partir del instante  $t_0$ , hasta  $t = \infty = \text{infinito}$ , estimación que es por defecto, al no considerar pérdidas por evaporación. (Pizarro, 1991)

Pizarro, & Saavedra (1991), realizaron un ejemplo

práctico del modelo matemático que se propone en este proyecto de tesis en el río Lircay, estación Las Rastras y concluyen que:

"El modelo planteado para la estimación de caudales recesivos, a la luz de los resultados obtenidos en el ejemplo práctico, demuestra poseer buena capacidad de modelación. No obstante lo anterior, es fundamental realizar estudios de mayor continuidad y profundidad, dado que lo ideal es poseer valores paramétricos, asociados a variables de estado de un río, como pueden ser el caudal punta o el tiempo base de los hidrogramas. Si ésto se lograra, las posibilidades de predecir con mayor seguridad aumentarían notablemente."

Benítez (1993), en una entrevista personal con el tesista, realizada en la Dirección General de Aguas en Santiago de Chile, dice que la modelación de la curva de recesión de un río, mediante la ecuación propuesta en el proyecto de tesis, se hace usando un papel semi logarítmico, donde se representa el logaritmo del caudal respecto del tiempo, y el ajuste por éste método, resulta bastante bueno. Sin embargo, ante la consulta de la existencia de trabajos similares hechos en Chile, respondió que a su saber, trabajos de tesis u otros semejantes, no los hay, lo que se confirma al efectuar la revisión bibliográfica, a excepción del ejemplo práctico efectuado por Pizarro, R. y Saavedra, J. en 1991.

## CAPITULO CUARTO METODO

La estación elegida, para desarrollar esta tesis, entre las que no tienen aportes de otras cuencas aguas arriba del punto de control, fue la estación Río Achibueno en la Recova, perteneciente a la hoya hidrográfica del Río Maule y ubicada a 28 Kilómetros al Sur Este de Linares, VII Región.

La información necesaria, para el desarrollo de esta investigación, fue dada por la Dirección General de Aguas en Santiago de Chile. Los antecedentes fluviométricos entregados por ésta, son los siguientes; limnigramas desde el año 1987 hasta 1992, y las curvas de gastos números 10 y 20, válidas desde el 1 de noviembre de 1986 hasta el 28 de Mayo de 1991 y desde el 29 de Mayo de 1991 hasta el 25 de Mayo de 1992, respectivamente.

El método que se usa para la realización de esta tesis, se describe a continuación, en las secciones 4.1 a la 4.5, y corresponden a las fases o etapas que se presentan en anexo Nº 1.

### 4.1.- RECOLECCION DE LA INFORMACION LIMNIGRAFICA REGISTRADA DEL RIO ACHIBUENO, ESTACION LA RECOVA

Con el propósito de disponer de las crecidas del río achibueno registradas en la Dirección General de Aguas, se hizo una recolección de la información limnigráfica en Santiago de Chile, en donde se obtuvieron los limnigramas, en los cuales se representan las crecidas del río Achibueno, es decir se tiene aquí, la altura del agua respecto del tiempo.

#### 4.2.- MODELACION MATEMATICA DE CADA UNA DE LAS CRECIDAS

Para lograr la modelación matemática de cada una de las crecidas, se realiza en primer lugar un procesamiento de la información limnigráfica, utilizando las curvas de gastos del río Achibueno (Anexo N° 3, tabla N° 9 y N° 10), y los limnigramas de las crecidas. Como la curva de gastos entrega el caudal en m<sup>3</sup>/s a una determinada altura, y el limnigrama señala la altura alcanzada por el agua en el tiempo, se obtiene con estos dos gráficos un tercero, que es un hidrograma de crecidas. En éste se ubica la curva de bajada, la cual interesa para analizar el caudal Q<sub>0</sub> que da inicio a la curva recesiva.

Luego, se elaboró gráficos en los cuales se representa el logaritmo del caudal de la curva de bajada del hidrograma de crecida, respecto del tiempo, datos que resultan del procesamiento de la información limnigráfica. El caudal correspondiente al segundo punto de inflexión de esta curva, es el caudal Q<sub>0</sub>, que fue calculado para cada crecida.

Desde Q<sub>0</sub> en adelante, se sitúan los datos observados a partir de los cuales se efectuó la modelación matemática de cada una de las 50 crecidas de que se dispuso del río Achibueno, en La Recova. Dicha modelación fue hecha a partir de un ajuste gráfico del logaritmo del caudal respecto del tiempo. De la recta obtenida se calculó el coeficiente de proporcionalidad (α), lo que se logró tomando dos valores distintos de caudal en la curva mencionada y despejando el valor α de la ecuación modelada.

Con el fin de validar el modelo matemático se determinó en primer lugar el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), en cada una de las crecidas modeladas, con la siguiente fórmula,

$$R^2 = 1 - ( \sum ( y_i - \hat{y}_i )^2 / \sum ( y_i - \bar{y} )^2 ),$$

donde; y<sub>i</sub> : Caudales reales observados,

$\hat{y}_i$  : Caudales modelados,

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

El coeficiente de determinación, se calcula para cada curva recesiva, el cual define que proporción de la variación total es explicada por el modelo.

Posteriormente, se verificó la dependencia del caudal respecto del tiempo, a través de la dócima acerca de la pendiente, suponiendo la hipótesis nula

$$H_0: b = 0$$

contra la hipótesis alternativa

$$H_a: b < 0 \\ b > 0$$

Para docimar la hipótesis nula, se usa la distribución t (student) con el siguiente estadístico de prueba:

$t = (b - b_0) / S_b$ , con  $(n-2)$  grados de libertad, donde;

$b$  : pendiente calculada

$b_0$  : valor supuesto para  $b$  en la hipótesis nula. En este caso  $b_0 = 0$

$S_b : S_e \sqrt{1 / \sum (x_i - \bar{x})^2}$

$S_e : \sqrt{1/n-2 (\sum (y_i - \hat{y}_i)^2)} = \sqrt{SCE/n-2}$

SCE: suma de cuadrados del error

Si la probabilidad, que  $t$  sea mayor a  $t_c = (b - b_0) / S_b$ , es muy pequeña, entonces se rechaza la hipótesis nula.

Para la aplicación de este test, se utilizó el logaritmo del modelo original:

$$Q = Q_0 e^{-a(t-t_0)}$$

Sabiendo que los datos presentan autocorrelación entre los residuos en todas las crecidas, fue necesario aplicar una medida de corrección de la variable dependiente e independiente, de la siguiente forma,

$$Y' = Y(t) - \delta * Y(t-1), \quad X' = X(t) - X(t-1),$$

Asimismo, un estimador de  $\delta$  es  $r = \frac{\sum_{t=2}^n e(t-1) * e(t)}{\sum_{t=1}^n e(t)^2}$

donde;  $Y'$ : valor modificado de los logaritmos de los caudales observados  
 $X'$ : tiempo modificado  
 $r$ : representa la relación que tiene un error respecto del anterior

Una vez corregida la autocorrelación entre errores se puede aplicar el test  $t$ , que usa la distribución  $t$ -student.

Finalmente, se aplica una prueba estadística no paramétrica, para ver si las distribuciones de frecuencias, relativas a los conjuntos de datos de caudales observados y modelados son idénticas; esto es, verificar que no existe diferencias entre los caudales observados y los modelados, en cada una de las curvas recesivas que se estudian. Para ello, se efectuó la prueba  $U$  de Mann-Whitney, en la que se plantea;

Hipótesis nula  $H_0$  :

Las distribuciones de frecuencias relativas entre los conjuntos de datos de los caudales observados y los caudales modelados son idénticas.

Hipótesis alternativa  $H_a$  :

Las distribuciones de frecuencias relativas entre los conjuntos de datos de los caudales observados y los caudales modelados no son idénticas.

La estadística de prueba  $U$ , es la menor entre  $U_a$  y  $U_b$ , donde;

$$U_a = n_1 * n_2 + (n_1 (n_1 + 1) / 2) - T_a$$

$$U_b = n_1 * n_2 + (n_2 (n_2 + 1) / 2) - T_b, \text{ donde:}$$

$n_1$  : número de observaciones de caudales observados,

$n_2$  : número de observaciones de caudales modelados,

$T_a$  : suma de rangos de los caudales observados,

Tb : suma de rangos de los caudales modelados.

En esta prueba, se rechaza  $H_0$  si  $U \leq U_0$ , donde  $P(U \leq U_0) = \beta/2$ ;  $U_0$  es el valor de  $U$  tal que  $P(U \leq U_0)$  es igual a la mitad de  $\beta$ , siendo  $\beta$  el nivel de significación,  $U$  el menor entre  $U_a$  y  $U_b$ . Para valores de  $\beta$ ,  $n_1$  y  $n_2$  dados se obtiene de tabla el valor  $U_0$  que corresponde a los anteriores.

En el caso de muestras grandes, cuando las distribuciones poblacionales son idénticas, la estadística  $U$  tiene valor esperado y varianza de

$$E(U) = n_1 * n_2 / 2 \quad \text{y} \quad \sigma^2 u = n_1 * n_2 (n_1 + n_2 + 1) / 12$$

La distribución de

$$z = U - E(U) / \sigma u$$

tiende a la normalidad, con media cero y varianza uno, a medida que  $n_1$  y  $n_2$  crecen. Esta aproximación es adecuada, cuando  $n_1$  y  $n_2$  son mayores que 10. En este caso, en una prueba de dos colas se rechaza  $H_0$  si  $z \geq z(\beta/2)$  o si  $z \leq -z(\beta/2)$ . Para un valor de  $\beta = 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula si  $|z| \geq 1.96$ .

#### 4.3.- INFERENCIAS ESTADISTICO MATEMATICAS DE LA INFORMACION GENERADA.

Con el objeto de determinar los parámetros del modelo matemático en función de variables hidrológicas de estado y/o variables auxiliares, se obtuvo dichas variables para cada una de las crecidas estudiadas; éstas son las siguientes.

Variables hidrológicas de estado:

$Q_i$  = Caudal al inicio de la crecida,  
 $UCP$  = Ultimo caudal punta, o caudal pico de la crecida,  
 $PCP$  = Promedios de los caudales punta en la crecida,  
 $N_1$  = Número de picos en la crecida,  
 $PCP = UCP$ , en algunos casos.

Variabes auxiliares:

T B = Tiempo base de la crecida (tiempo entre el inicio de la crecida y el valor  $Q_0$ ),  
 TUCP- $Q_0$  = Tiempo entre el último caudal punta y  $Q_0$ ,  
 LN( $Q_i$ ) = Logaritmo natural de  $Q_i$ ,  
 LN(UCP) = Logaritmo natural del último caudal punta,  
 LN(PCP) = Logaritmo natural del promedio de los caudales punta,  
 LN( $Q_0$ ) = Logaritmo natural de  $Q_0$ .

Con los datos que resultan de la actividad anterior, se obtienen relaciones matemáticas, para estimar los valores de los parámetros del modelo a saber,  $Q_0$  y  $\alpha$ . Para determinar cada uno de estos modelos, se utilizó el procedimiento paso a paso (stepwise), en el que la selección de las variables independientes, se hace con la estadística  $F = \text{CMR}/\text{CME}$ , donde CMR representa los cuadrados medios de la regresión y CME los cuadrados medios del error. La variable que proporcione el mayor valor de F, será la candidata a ingresar al modelo, al que se le aplica una regresión.

#### 4.4.- CUANTIFICACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LA CUENCA PARA CADA CRECIDA EN ANALISIS.

La capacidad de almacenamiento de la cuenca en estudio, se estima por medio de la integración de la ecuación modelada, que ya fue descrita, dando como resultado que el volumen almacenable es  $Q_0/\alpha$ ; al conocer estos parámetros, se procede a calcular dicho volumen. Este cociente se aplica en cada una de las crecidas analizadas, multiplicando en todos los casos por 3600 segundos, ya que los valores de los caudales fueron obtenidos en intervalos de tiempo de una hora y el coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ) es obtenido en las unidades de tiempo mencionadas. De esta forma el volumen almacenado queda expresado en metros cúbicos.



CAPITULO QUINTO  
PRESENTACION, ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

5.1.- PRESENTACION DE LOS RESULTADOS.

5.1.1.- MODELACION MATEMATICA DE CADA UNA DE LAS CRECIDAS.

A partir del desarrollo de la tesis, fue posible en primer lugar, obtener los valores  $Q_0$  y  $\alpha$ , para cada crecida y el  $R^2$  correspondiente a los valores de caudales observados y modelados, los cuales se entregan en la tabla N°1 de resultados.

CRECIDA (FECHA)	Nº de Crec.	$Q_0$ (M3/S)	$\alpha$	$R^2$
08-07-87	1	109.00	0.00928	0.959
21-07-87	2	146.50	0.00955	0.985
31-07-87	3	61.80	0.00582	0.983
05-09-87	4	110.60	0.00901	0.996
08-10-87	5	103.10	0.00693	0.876
09-03-88	6	7.64	0.00600	0.730
14-04-88	7	12.37	0.00975	0.975
24-04-88	8	10.00	0.01001	0.871
13-05-88	9	19.54	0.01321	0.805
17-05-88	10	27.85	0.01802	0.983
07-06-88	11	11.60	0.01237	0.997
22-06-88	12	70.90	0.01363	0.983
27-06-88	13	101.30	0.01470	0.988
16-07-88	14	47.60	0.00525	0.981
27-07-88	15	100.30	0.01256	0.995
17-08-88	16	99.60	0.00836	0.976
22-08-88	17	120.63	0.00981	0.993
29-08-88	18	80.44	0.00443	0.991
23-10-88	19	45.20	0.01248	0.956
13-05-89	20	6.00	0.00565	0.989
29-06-89	21	62.65	0.02159	0.961
22-07-89	22	19.35	0.00458	0.990
24-07-89	23	65.00	0.01135	0.989

Tabla N° 1 : Valores  $Q_0$ ,  $\alpha$  y  $R^2$  obtenidos.

Continuación.

CRECIDA (FECHA)	Nº de Crec.	Q <sub>0</sub> (M <sup>3</sup> /S)	$\alpha$	R <sup>2</sup>
17-08-89	24	53.00	0.00768	0.997
21-08-89	25	98.80	0.00915	0.999
28-03-90	26	19.60	0.01268	0.973
14-04-90	27	25.10	0.01070	0.910
05-05-90	28	65.30	0.02352	0.975
08-05-90	29	56.30	0.01317	0.972
01-06-90	30	28.50	0.01035	0.944
13-06-90	31	19.10	0.00510	0.962
21-06-90	32	24.30	0.00926	0.947
15-07-90	33	22.66	0.00666	0.967
01-08-90	34	36.19	0.00687	0.986
06-08-90	35	45.86	0.00497	0.850
12-08-90	36	40.90	0.00660	0.966
25-08-90	37	29.50	0.01403	0.993
29-08-90	38	45.00	0.01209	0.984
04-09-90	39	84.20	0.00815	0.988
07-09-90	40	104.90	0.00939	0.961
20-09-90	41	81.00	0.00659	0.966
09-10-90	42	36.90	0.00137	0.938
12-04-91	43	21.90	0.01477	0.964
15-05-91	44	86.20	0.01432	0.974
23-05-91	45	182.00	0.01339	0.987
01-06-91	46	121.10	0.00773	0.986
06-07-91	47	132.00	0.01131	0.988
17-07-91	48	105.30	0.01013	0.999
31-08-91	49	46.10	0.00611	0.926
19-09-91	50	91.30	0.00659	0.979

Tabla N<sup>o</sup>1. : Valores Q<sub>0</sub>,  $\alpha$  y R<sup>2</sup> obtenidos.

Donde, Q<sub>0</sub> es el valor inicial de caudal recesivo,  $\alpha$  es el coeficiente de proporcionalidad y N<sup>o</sup> de Crec. es un número asignado a cada crecida, según orden cronológico de ocurrencia. Dicho número se sigue usando en los resultados.

Los datos observados y modelados, de cada crecida se pueden ver en el apéndice N<sup>o</sup> 2.

Los resultados obtenidos en la aplicación del test t ya señalado, con el objeto de determinar si existe

proceso recesivo en las curvas estudiadas, definieron valores de probabilidad de cero en todos los casos, lo que llevó a rechazar la hipótesis nula en términos de que el coeficiente de proporcionalidad  $\alpha$  es cero, por lo tanto, se aceptó la hipótesis alternativa, es decir, el coeficiente  $\alpha$  es distinto de cero en todas las crecidas modeladas, y con ello se demostró la existencia de recesión en todas las curvas.

Por otra parte, con respecto a la prueba U de Mann-Whitney, realizada para determinar si los caudales observados y los caudales modelados son similares o no, dio los siguientes resultados, considerando que  $|Z| < 1.96$ , para no caer en la región de rechazo.

Nº de Crec.	MEDIA DE RANGOS DEL CAUDAL OBS.	MEDIA DE RANGOS DEL CAUDAL MOD.	Z	P
1	31.828	27.172	-1.044	0.297
2	33.235	35.765	0.521	0.602
3	13.000	14.000	0.308	0.758
4	24.167	24.833	0.155	0.877
5	28.846	24.154	-1.107	0.268
6	29.000	30.000	0.218	0.828
7	17.118	17.882	0.207	0.836
8	14.875	18.125	0.961	0.337
9	8.222	10.778	0.971	0.331
10	22.522	24.478	0.483	0.629
11	17.000	18.000	0.276	0.783
12	34.686	36.314	0.329	0.742
13	21.000	22.000	0.252	0.801
14	36.583	36.417	-0.028	0.978
15	24.042	24.958	0.217	0.829
16	26.481	28.519	0.467	0.640
17	24.920	26.080	0.272	0.786
18	25.200	25.800	0.136	0.892
19	11.000	12.000	0.328	0.743
20	17.889	19.111	0.332	0.740
21	27.966	31.035	0.684	0.494
22	11.000	12.000	0.328	0.743
23	27.786	29.214	0.320	0.749
24	20.550	20.450	-0.014	0.989
25	19.500	19.500	0.000	1.000

Tabla Nº 2 : Resultados prueba U de Mann-Whitney.

Continuación.

Nº de Crec.	MEDIA DE RANGOS DEL CAUDAL OBS.	MEDIA DE RANGOS DEL CAUDAL MOD.	Z	P
26	19.237	19.763	0.131	0.895
27	29.300	25.704	-0.831	0.406
28	26.333	28.667	0.536	0.592
29	20.524	22.476	0.503	0.615
30	23.800	27.200	0.815	0.415
31	23.250	25.750	0.608	0.543
32	24.885	28.115	0.760	0.448
33	17.444	19.556	0.585	0.558
34	18.059	16.941	-0.310	0.757
35	31.828	27.172	-1.044	0.297
36	17.313	15.688	-0.471	0.638
37	15.267	15.733	0.124	0.901
38	21.841	23.160	0.329	0.742
39	24.813	24.188	-0.144	0.885
40	28.815	26.185	-0.606	0.545
41	20.474	18.526	-0.526	0.599
42	13.730	11.250	-0.837	0.403
43	19.450	21.450	0.555	0.579
44	27.154	25.846	-0.302	0.763
45	25.654	27.346	0.393	0.694
46	40.293	42.707	0.454	0.650
47	38.526	40.474	0.375	0.708
48	27.037	27.963	0.208	0.836
49	20.500	20.500	0.000	1.000
50	34.914	36.086	0.235	0.814

Tabla Nº 2 : Resultados prueba U de Mann-Whitney.

Donde;

Z : valor del estadístico usado,

P : probabilidad en una prueba de dos colas de igualar o exceder el valor Z.

### 5.1.2.- INFERENCIAS ESTADISTICO MATEMATICAS DE LA INFORMACION GENERADA.

Los datos de variables hidrológicas de estado y variables auxiliares, obtenidos para ser aplicados en la obtención de los parámetros del modelo, se exponen en apéndice N° 1, tablas N° 11 y N° 12. A partir de éstos se intentó relacionar los parámetros del modelo y algunas variables hidrológicas, con el fin de predecir con mayor antelación las variables  $Q_0$  y  $\alpha$ , para las cuales se realizaron los análisis. En esta actividad, se hizo una serie de regresiones individuales entre las variables dependientes e independientes, a partir de las cuales se seleccionaron la variables independientes a ser aplicadas para calcular los parámetros en función de éstas. Las relaciones que se entregan a continuación fueron las mejores que se obtuvieron en este proceso.

La estimación de  $Q_0$  y  $\alpha$  se hizo según los resultados que entregaron las siguientes ecuaciones, y sus respectivos resultados estadísticos.

$$\text{Ecuación a) : } Q_0 = 6.8792 + 0.9047*Q_i + 5.3536*N_1 + 0.0847*PCP$$

VARIABLE DEPENDIENTE : $Q_0$						
VAR. IND.	COEF. DE REG.	ERROR ST.	F(1, 45)	PROB.	R <sup>2</sup>	PAR.
$Q_i$	0.9047	0.0893	102.576	0.000	0.695	
$N_1$	5.3536	1.3403	15.954	0.000	0.262	
PCP	0.0847	0.0089	91.539	0.000	0.670	
CONST.	6.8792					
ERROR EST. DE EST.: 15.7373						
R <sup>2</sup> AJUSTADO : 0.8595						
R <sup>2</sup> : 0.8683						
R MULTIPLE : 0.9319						
DW : 2.2302						

Tabla N° 3 : Resultados estadísticos ecuación a).

El valor Durbin-Watson (DW), indica la dependencia entre los residuos.

Los valores de caudal  $Q_0$  que se estiman al aplicar la ecuación anteriormente expuesta ( $Q_0Ea$ ), se entregan en la tabla N° 4 que está a continuación. En ésta, se presenta también el valor real de  $Q_0$ , con el fin de facilitar el análisis.

Nº de Crec.	$Q_0$ real (M3/S)	$Q_0Ea$ (M3/S)	Nº de Crec.	$Q_0$ Real (M3/S)	$Q_0Ea$ (M3/S)
1	109.00	111.12	26	19.60	26.14
2	146.50	106.24	27	25.10	34.40
3	61.80	74.34	28	65.30	46.71
4	110.60	90.77	29	56.30	62.32
5	103.10	95.37	30	28.50	26.94
6	7.64	29.52	31	19.10	27.42
7	12.37	25.90	32	24.30	27.32
8	10.00	18.91	33	22.66	41.14
9	19.54	25.82	34	36.19	37.74
10	27.85	30.84	35	45.86	43.83
11	11.60	18.44	36	40.90	47.02
12	70.90	61.73	37	29.50	32.87
13	101.30	77.36	38	45.00	38.89
14	47.60	53.26	39	84.20	76.00
15	100.30	68.56	40	104.90	107.90
16	99.60	105.06	41	81.00	89.05
17	120.63	114.91	43	21.90	38.09
18	80.44	85.77	44	86.20	52.95
19	45.20	46.20	45	182.00	207.26
20	6.00	15.81	46	121.10	161.24
21	62.65	60.98	47	132.00	111.66
22	19.35	28.64	48	105.30	79.34
23	65.00	61.05	49	46.10	41.81
24	53.00	46.63	50	91.30	84.65
25	98.80	109.13			

$$R^2 = 0.8683$$

Tabla N° 4 :  $Q_0Ea = Q_0$  estimado por la ecuación a).

En esta tabla, no se incluyó la crecida del 09-10-90, debido a que se consideró el valor  $\alpha$  como un punto atípico, que puede influir en la estimación de la ecuación c).

El tiempo que ocurre entre el ultimo caudal punta y  $Q_0$  (TUCP- $Q_0$ ), es una variable auxiliar que de conocerse, podría ser usada para estimar  $Q_0$ . La mejor ecuación obtenida, es la siguiente.

$$\text{Ecuación b) : TUCP-}Q_0 = -22.9321 + 3.7070*N_1 + 10.1302*LN(\text{UCP})$$

VARIABLE DEPENDIENTE : TUCP- $Q_0$						
VAR. IND.	COEF. DE REG.	ERROR ST.	F(1, 45)	PROB.	R <sup>2</sup>	PAR.
N1	3.7070	1.0023	13.678	0.001	0.229	
LN(UCP)	10.1302	1.6245	38.887	0.000	0.458	
CONST.	-22.9321					
ERROR EST. DE EST.: 11.6205						
R <sup>2</sup> AJUSTADO : 0.5923						
R <sup>2</sup> : 0.6093						
R MULTIPLE : 0.7806						
DW : 2.3692						

Tabla Nº 5 : Resultados estadísticos ecuación b).

$Q_0$  estimado esperando que ocurra el tiempo  $TUCP-Q_0$ , determinado según la ecuación b), una vez que pasa este tiempo el valor que se obtiene, según el limnógrafo y la curva de gastos, es el  $Q_0$  estimado ( $Q_0Eb$ ).

Nº de Crec.	$Q_0$ real (M3/S)	$Q_0Eb$ (M3/S)	Nº de Crec.	$Q_0$ real (M3/S)	$Q_0Eb$ (M3/S)
1	109.00	118.50	26	19.60	18.08
2	146.50	161.00	27	25.10	25.00
3	61.80	57.99	28	65.30	38.76
4	110.60	96.18	29	56.30	52.08
5	103.10	175.30	30	28.50	28.00
6	7.64	7.47	31	19.10	20.25
7	12.37	17.96	32	24.30	23.20
8	10.00	12.86	33	22.66	22.20
9	19.54	20.71	34	36.19	35.70
10	27.85	22.90	35	45.86	47.73
11	11.60	12.47	36	40.90	42.08
12	70.90	77.88	37	29.50	26.72
13	101.30	114.80	38	45.00	43.46
14	47.60	43.60	39	84.20	83.84
15	100.30	93.84	40	104.90	122.00
16	99.60	122.35	41	81.00	79.92
17	120.63	119.00	43	21.90	19.62
18	80.44	77.53	44	86.20	71.12
19	45.20	40.93	45	182.00	186.63
20	6.00	10.77	46	121.10	116.52
21	62.65	43.90	47	132.00	139.00
22	19.35	19.94	48	105.30	99.40
23	65.00	56.75	49	46.10	44.00
24	53.00	54.24	50	91.30	88.10
25	98.80	97.47			

$$R^2 = 0.900$$

Tabla Nº 6 :  $Q_0 Eb = Q_0$  estimado por la ecuación b).



La última relación obtenida, es la presentada en la Tabla Nº 7, donde la variable a predecir es el parámetro  $\alpha$ , según la ecuación c).

$$\text{Ecuación c)} : \alpha = - 0.0045 + 0.00270 \cdot \text{LN}(\text{PCP}) - 0.00004 \cdot \text{QoEb} + 0.08470 \cdot \text{LUC-LQ/T}$$

VARIABLE DEPENDIENTE : $\alpha$					
VAR. IND.	COEF. DE REG.	ERROR ST.	F(1, 45)	PROB. R <sup>2</sup>	PAR.
LN(PCP)	0.00270	0.00083	10.550	0.002	0.190
QoEb	-0.00004	0.00002	4.219	0.046	0.086
LUC-LQ/T	0.08470	0.03870	21.189	0.000	0.320
CONST.	-0.0045				
ERROR EST. DE EST.:		0.0028			
R <sup>2</sup> AJUSTADO		: 0.5598			
R <sup>2</sup>		: 0.5873			
R MULTIPLE		: 0.7664			
DW : 2.2073					

Tabla Nº 7 : Resultados estadísticos ecuación c).

En general la ecuación a) es la que podría presentar mayor utilidad, toda vez que las restantes poseen baja capacidad práctica.

### 5.1.3.- CUANTIFICACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LA CUENCA PARA CADA CRECIDA EN ANALISIS.

La capacidad de almacenamiento de la cuenca en estudio se obtiene del cociente entre  $Q_0$  y  $\alpha$ , resultado que es producto de la integración de la ecuación modelada. Como los datos de caudales observados fueron tomados en intervalos de tiempo de

una hora, y el coeficiente de agotamiento fue calculado con tiempos horarios, entonces es necesario multiplicar dicho cociente por 3600 segundos, para obtener la capacidad de almacenamiento de la cuenca en unidades de volumen (M3). Estos valores se entregan a continuación.

Nº de Crec.	$Q_0 * 3600 / \alpha$ (M3)	Nº de Crec.	$Q_0 * 3600 / \alpha$ (M3)
1	42284484	26	5564664
2	55036656	27	8444844
3	38226816	28	9994896
4	44190900	29	15389532
5	53558460	30	9913032
6	4583988	31	13482360
7	4567392	32	9447084
8	3596400	33	12248640
9	5325048	34	18964188
10	5563836	35	33218496
11	3375900	36	22309092
12	18726336	37	7569504
13	24808176	38	13399488
14	32640012	39	37192644
15	28834380	40	40217256
16	42889968	41	44248860
17	44267868	43	5337864
18	65368836	44	21670380
19	13038480	45	48932028
20	3823020	46	56398464
21	10446516	47	42015924
22	15209604	48	37421532
23	20616732	49	27162036
24	24843744	50	49875588
25	38872116		

Tabla Nº 8 : Almacenamiento de la cuenca.

## 5.2.- ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

### 5.2.1.- MODELACION MATEMATICA DE CADA UNA DE LAS CRECIDAS.

Según los resultados que se exponen en la tabla Nº 1, los valores iniciales de caudales de procedencia exclusivamente subterránea, no sobrepasan los 200 m<sup>3</sup>/s, siendo el mayor valor de Q<sub>0</sub> igual a 182 m<sup>3</sup>/s, y corresponde a la crecida del 23 de mayo de 1991. En oposición al anterior, el menor valor de caudal Q<sub>0</sub> es de 6 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a la crecida del 13 de mayo de 1989. El caudal Q<sub>0</sub> se sitúa entonces, en el rango ubicado entre estos dos valores extremos, localizándose lógicamente, mayores valores de Q<sub>0</sub> en invierno y menores valores en períodos de sequía.

El coeficiente de agotamiento, que resulta de la modelación gráfica de las curvas recesivas en cada crecida, no presenta una dependencia apreciable con Q<sub>0</sub>. Los valores de  $\alpha$  se encuentran entre 0.02352 y 0.00137, sin embargo, estos coeficientes se alejan de la tendencia promedio (0.00994), lo que hace pensar en la presencia de puntos atípicos de valores de  $\alpha$ , especialmente el valor de 0.00137, que podría estar influenciado por la mantención de moderadas precipitaciones, que hacen que el caudal tienda a mantenerse en el tiempo y no a disminuir como en una recesión normal. Por esta razón es que dicho valor de  $\alpha$ , no fue considerado como dato de variable dependiente, para su predicción.

Importante es mencionar que el caudal inicial de aguas subterráneas Q<sub>0</sub>, es un valor observado que marca el inicio de la modelación, y el ajuste gráfico se hace desde Q<sub>0</sub> en adelante, siendo Q<sub>0</sub> el caudal inicial, que está también en la curva ajustada,

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

La validación del modelo exponencial que se plantea, se basa principalmente en que éste represente bien a los datos observados; para ello, se vio en primer lugar qué proporción de la variación total del hidrograma observado es explicada por el hidrograma modelado, a través del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), y resultó ser que en todas las crecidas modeladas, este valor fue muy cercano a 1, dando el menor coeficiente de determinación en la crecida del 09 de Marzo de

1988, en donde es igual a 0.730, que hidrológicamente es bueno, ya que la mayor diferencia presentada entre los caudales observados y los modelados es de 0.30 m<sup>3</sup>/s. El resto de los valores del coeficiente de determinación son superiores a éste, siendo en muchos casos igual a 0.99.

Para determinar la existencia de recesión en las curvas estudiadas, mediante el uso del test t, se hace necesario corregir la dependencia entre los residuos, que resultan al linealizar el modelo original; ésto se logra con las medidas de corrección que ya fueron explicadas en la metodología de la presente tesis. El resultado de esta corrección arroja pequeñas variaciones de el coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ) y  $Q_0$ , cambiando  $\alpha$  en muchos casos, a un valor menor. El test t aplicado ahora en datos normalizados y sin autocorrelación entre los errores, entrega en todos los casos que la probabilidad de que cualquier valor de t sea mayor al t calculado, es cero en cada una de las crecidas modeladas. Así, es muy improbable que ocurra por azar que el coeficiente de agotamiento sea cero, dado los valores que se tienen en cada curva de recesión. Es decir, se rechaza la hipótesis nula en la totalidad de las pruebas, indicando que la variable independiente (tiempo), tiene incidencia en la disminución del caudal, esto es que el caudal no es constante en el tiempo, existiendo por ende una recesión.

La medida de corrección aplicada, es sólo con el propósito de poder probar la existencia de recesión y no pretende con ello modificar el valor de los parámetros  $Q_0$  y  $\alpha$ , ya que estos fueron calculados por el método explicado y no por regresión lineal.

Por otra parte, se realizó un test estadístico no paramétrico, puesto que el interés principal en esta actividad es probar la validez del modelo en cuanto a la precisión de los datos modelados con respecto a los datos reales. En este contexto y como ya se mencionó, se efectuó una medida de corrección a través de una transformación de la variable dependiente e independiente, sólo con el objeto de superar un inconveniente específico que se presentó al querer probar la existencia de recesión en la cuenca y no para cambiar el modelo original,

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

puesto que  $Q_0$  es un valor observado, que al aplicarle logaritmo, éste pasa a ser una constante y la ecuación lineal que resulta pasa por el origen. Además, los caudales recesivos no tienen una distribución normal en el tiempo, lo que hace

necesario aplicar un test no paramétrico, evitando así la dependencia de un conjunto de suposiciones de las que no se tiene ninguna certeza.

Así, se aplicó la prueba U de Mann-Whitney, que se presenta en la tabla N<sup>o</sup> 2 de resultados, la que entregó valores medios muy similares entre los grupos de rangos, de los caudales observados y modelados; incluso, en algunas crecidas los rangos medios son exactamente iguales, entregando en todos los casos un valor de Z, cuyo módulo en ninguno de ellos es mayor a 1.96, que es el valor de Z que se debe superar para rechazar la hipótesis nula con un nivel de significación  $\beta = 0.05$ , lo que significa que se acepta la hipótesis nula. Es decir, las distribuciones de frecuencias relativas entre los conjuntos de datos de los caudales observados y los caudales modelados son idénticas, lo cual implica que los caudales observados y los caudales modelados son iguales.

#### 5.2.2.- INFERENCIAS ESTADÍSTICO MATEMÁTICAS DE LA INFORMACIÓN GENERADA.

De la serie de regresiones que se hicieron, para obtener los parámetros del modelo en función de las variables hidrológicas de estado y las variables auxiliares, que están presentadas en apéndice N<sup>o</sup> 1, tabla N<sup>o</sup> 11 y tabla N<sup>o</sup> 12 y cuyos resultados de las regresiones se exponen en las tabla N<sup>o</sup> 3, 4, 5, 6 y 7 de resultados, se tiene en primer lugar que el valor del parámetro  $Q_0$ , posee una dependencia de las variables de estado caudal de inicio de crecida ( $Q_i$ ), número de caudales puntas ( $N_1$ ) y promedio de caudales punta (PCP), teniendo  $Q_i$  y PCP, la mayor contribución a la reducción de la varianza de  $Q_0$  (tabla N<sup>o</sup> 3). El coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) es de 0.8683, es decir, el 80% de la reducción de la varianza de  $Q_0$ , es por la introducción del conjunto de variables  $Q_i$ ,  $N_1$  y PCP. El test de D & W que se hizo, muestra que no hay dependencia entre errores. A pesar de que esta regresión es buena, al hacer la predicción de los valores de  $Q_0$  ( $Q_0Ea$ , en tabla N<sup>o</sup> 4) por medio de la ecuación a) de la tabla N<sup>o</sup> 3, ésta entrega caudales que están alejados de la realidad, especialmente en períodos de estiaje, cuando los caudales de crecida son bajos, dando en algunos casos, una predicción de  $Q_0$ , mayor al último caudal punta. Lo anterior, se soluciona estimando un valor de  $Q_0$  a partir del tiempo transcurrido desde el último caudal punta a  $Q_0$ , esto es, calculando el tiempo mediante una regresión (tabla N<sup>o</sup> 5),

donde da un coeficiente de determinación múltiple de 0.6093, éste, a pesar de ser bajo, permite tener un valor de  $Q_0$  una vez que ha ocurrido el tiempo estimado por la ecuación b). De esta forma el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), entre los datos de  $Q_0$  Eb y  $Q_0$  observado, en la tabla N° 6, es mayor al anterior (tabla N° 3) e igual a 0.9, y dichos caudales están más próximos a la realidad; lamentablemente, con esta última estimación de  $Q_0$  el tiempo que se gana en la predicción, no justifica que la obtención del parámetro se haga de esta manera, ello porque el método implicaría calcular el tiempo entre el último caudal punta y  $Q_0$  e igualmente determinaría una medición sobre el hidrograma.

La regresión hecha, tomando como variable dependiente el coeficiente de agotamiento (tabla N° 7), muestra que éste depende del  $\text{LN}(\text{PCP})$ , de  $Q_0$  estimado según la ecuación b), y de  $\text{LUC}-\text{LQ}/\text{T}$ , donde  $\text{LN}(\text{PCP})$  es logaritmo natural del promedio de caudales punta, y  $\text{LUC}-\text{LQ}/\text{T}$  es el logaritmo natural del último caudal punta menos el logaritmo de  $Q_0$  estimado, dividido en el tiempo que define la ecuación b). La ecuación c) que se presenta, a pesar de ser la que mejor predice el coeficiente de agotamiento, entrega un bajo valor del coeficiente de determinación, y al igual que la relación anterior, no se justifica calcular  $\alpha$ , mediante dicha ecuación. Ello, por los mismos considerandos anteriores.

### 5.2.3.- CUANTIFICACION DE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LA CUENCA.

Los valores de capacidad de almacenamiento de aguas de procedencia subterránea de la cuenca (tabla N° 8 de resultados), se encuentran entre 3375900 y 65368836 m<sup>3</sup>, dependiendo el volumen almacenable, exclusivamente de los valores de los parámetros  $Q_0$  y  $\alpha$ , contribuyendo a aumentar el almacenamiento, un alto valor de  $Q_0$  y un bajo valor del coeficiente de agotamiento.

En general la capacidad de almacenamiento de la cuenca es función principalmente de las características freáticas que ésta presenta. Por ello, varias lluvias o una mayor precipitación bien distribuida en el tiempo y espacio puede contribuir a saturar en mejor forma la capacidad de almacenamiento.

## CAPITULO SEXTO CONCLUSIONES

6.1.- La aplicación de la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney y los resultados obtenidos mediante el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), permiten deducir que los caudales observados y modelados son prácticamente los mismos, y que hay entre ellos una diferencia muy pequeña. Esto lleva a concluir, que el modelo matemático para caudales recesivos,

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

es adecuado para ser aplicado en la predicción de caudales futuros del río Achibueno en la estación la recova.

6.2.- De los resultados obtenidos en la aplicación del test t, se ve que el coeficiente de agotamiento  $\alpha$ , es distinto de cero en cada una de las crecidas analizadas, por lo cual se puede decir que los caudales estudiados experimentan una disminución en el tiempo, lo que indica que existe recesión en los valores de caudal que se observaron.

6.3.- De acuerdo a los niveles de recarga, ocurridos durante el período transcurrido entre los años 1987 y 1991, y observando los caudales iniciales de procedencia subterránea exclusivamente ( $Q_0$ ), en el río Achibueno estación la Recova, se ve que dichos caudales nunca alcanzan un nivel superior a los 182 metros cúbicos por segundo.

6.4.- La predicción de los parámetros, por medio de las ecuaciones estudiadas ( Tablas N° 3, 5 y 7 ), no constituye una ganancia en cuanto a tiempo, para lograr obtener caudales futuros con una antelación que sea significativa. Ello, con respecto a determinar los parámetros del modelo analizado mediante la obtención del caudal inicial de crecida ( $Q_0$ ) y el coeficiente de agotamiento ( $\alpha$ ), a través de la aplicación del logaritmo a la curva de bajada y el posterior ajuste respectivo. Por tanto, la utilización de dichas ecuaciones en la cuantificación de los parámetros, no se justifica.

6.5.- Según los volúmenes de capacidad de almacenamiento de la cuenca del río Achibueno, en el período considerado, éste no sobrepasa los 65368836 m<sup>3</sup>, y nunca es menor a 3375900 metros cúbicos, lo cual significa que éste último valor puede ser considerado como la dotación mínima de la cuenca.

6.6.- Finalmente, el método se valida como un buen estimador y como herramienta de análisis predictivo, para un adecuado uso del agua con miras a la obtención de una apropiada gestión de recursos hídricos.



CAPITULO SEPTIMO  
VI.-BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 7.1.- BENITEZ, A., Entrevista personal con el tesista, realizada en la Dirección General de Aguas, sobre su opinión respecto al tema de tesis. Santiago, Chile. 1993.
- 7.2.- CIRUGEDA, J., Redes Hidrológicas.España, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.Gabinete de Formación y Documentación . 1985 110 p.
- 7.3.- KAZMANN, R., Hidrología Moderna. New York, Harper & Row, Publischers. 1965 420p.
- 7.4.- LINSLEY,R.; KOHLER, M. & PAULUS, J., Hidrología para Ingenieros. Bogotá, Mc. Graw-hill. 1975 382 p.
- 7.5.- PIZARRO, R. & NOVOA, P., Elementos Técnicos de Hidrología. Corporación Nacional Forestal. La Serena, . 1986 57 p.
- 7.6.- PIZARRO, R. & SAAVEDRA, J., Predicción de Caudales Recesivos Mediante Modelos Matemáticos. Revista Universum: 31-36. 1991.
- 7.7.- TODD, D. K., Hidrología ( agua subterránea). Madrid, 1973 363 p.

A N E X O N O 1

## FASES O ETAPAS DE DESARROLLO DE LA TESIS

La metodología presentada en el capítulo cuarto de la presente tesis se expone en las fases o etapas que a continuación se describen.

### FASE I : RECOLECCION DE LA INFORMACION LIMNIGRAFICA REGISTRADA DEL RIO ACHIBUENO, ESTACION LA RECOVA

Objetivo de la fase : Disponer de las crecidas del río Achibueno registradas en la Dirección General de Aguas.

Duración de la fase : 0,25 meses.

Lugar de ejecución : Dirección General de Aguas, Santiago, Chile.

Actividades desarrolladas :

ACTIVIDAD	TIEMPO (meses)	RESULTADO ASOCIADO	UM	META
Recopilación de información limnigráfica.	0,25	Disponibilidad de las crecidas del río Achibueno.	Limnigrama de crecida	50

UM : Unidad de medida.

### FASE II : MODELACION MATEMATICA DE CADA UNA DE LAS CRECIDAS

Objetivo de la fase : Ajustar cada crecida al modelo propuesto.

Duración de la fase : 2 meses.

Lugar de ejecución : Universidad de Talca.

Actividades desarrolladas :

ACTIVIDAD	TIEMPO (meses)	RESULTADO ASOCIADO	UM	META
a) Procesamiento de información limnigráfica.	1,75	Obtención de la curva de bajada del hidrograma de crecida.	Gráfico	50
b) Elaboración de gráficos log.del caudal v/s tiempo.	1,75	Determinación del punto inicial del caudal recesivo	Gráfico	50
c) Modelación matemática de cada crecida.	1,75	Ajuste gráfico de la crecida al modelo planteado.	Parámetros del modelo.	50
d) Test estadístico de validación.	0,5	Definición estadística de la bondad de ajuste	Pruebas	50
i) Aplicación coeficiente determinación ( $R^2$ )		Proporción de la variación total que explica el modelo	Pruebas	50
ii) Test t		Docimar la hipótesis nula del parámetro $\alpha$	Pruebas	50
iii) Prueba U de Mann-Whitney.		Docimar la hipótesis nula de igualdad de caudales observados y modelados.	Pruebas	50

UM. : Unidad de medida.

FASE III : INFERENCIAS ESTADISTICO MATEMATICAS DE LA  
INFORMACION GENERADA.

Objetivo de la fase : Determinar los parámetros del modelo matemático en función de alguna variable hidrológica de estado.

Duración de la fase : 0,5 meses.

Lugar de ejecución : Universidad de Talca.

Actividades desarrolladas :

ACTIVIDAD	TIEMPO (meses)	RESULTADO ASOCIADO	UM	META
a) Obtención de variables hidrológicas de estado, y var. auxiliares.	0,25	Disponibilidad de información de var. h. de estado y var. auxiliares.		Variabes hidrológicas
b) Relación entre variables de estado y parámetros del modelo.	0,25	Obtención de parámetros en función de variables de estado.		Ecuación

UM : Unidad de medida.

FASE IV : CUANTIFICACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO  
DE LA CUENCA PARA CADA CRECIDA EN ANALISIS.

Objetivo de la fase : Determinar el volumen de agua que puede ser almacenado.

Duración de la fase : 0,25 meses.

Lugar de ejecución : Universidad de Talca.

Actividades desarrolladas :

ACTIVIDAD	TIEMPO (meses)	RESULTADO ASOCIADO	UM	META
Integración de la ecuación modelada y aplicación.	0,25	Disponibilidad de información de volumen almacenable.	Crecida	50

UM : Unidad de medida.

FASE V : ANALISIS DE RESULTADOS Y DETERMINACION DE CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Objetivo de la fase : Obtener conclusiones de acuerdo a los resultados.

Duración de la fase : 0,5 meses.

Lugar de ejecución : Universidad de Talca.

Actividades desarrolladas :

ACTIVIDAD	TIEMPO (meses)	RESULTADO ASOCIADO	UM	META
Determinación de conclusiones y recomendaciones.	0,5	Disponibilidad de información, de la modelación matemática de caudales recesivos del río Achibueno.	Informe	1

UM:Unidad de medida.

A N E X O N º 2

DEDUCCION DEL MODELO, SEGUN PIZARRO EN 1991 Y SEGUN CIRUGEDA EN 1985.

Pizarro en 1991, expone un procedimiento matemático, para obtener el modelo de la curva recesiva, al que llama "Método matemático", el autor menciona que, si se sabe que  $dQ/dt < 0$ , donde:  $Q$ = caudal ,  $t$ = tiempo, y si se asume que la variación del caudal en el tiempo, es proporcional al mismo caudal, queda lo siguiente:

$$" \quad dQ/dt = - \alpha Q \quad (1)$$

Donde  $\alpha$  = constante de proporcionalidad.  
Operando queda;

$$dQ/Q = - \alpha dt \quad (2)$$

Se sabe además que cuando  $Q = Q_0$ , se define que  $t = 0 = t_0$ .

Integrando (2) entre los límites  $t$  y  $t_0$ , se define:

$$\ln Q \Big|_{Q_0}^Q = - \alpha t \Big|_{t_0}^t \quad (3)$$

lo cual queda como sigue,

$$\ln Q - \ln Q_0 = - \alpha (t - t_0) \quad (4)$$

Por ende;

$$Q = Q_0 e^{- \alpha (t - t_0)} \quad (5)"$$

Donde  $\alpha$  es una constante de la curva, que se define como "coeficiente de proporcionalidad" (Pizarro, 1991).

Por otra parte, Cirugeda, en 1985, citando a Serra, establece que, "se puede estudiar el vaciado del acuífero asimilándolo, como L. Serra, a un amplio recipiente lleno de material poroso, que vierte por un orificio un caudal  $Q$  con una carga hidráulica variable  $h$ , donde  $h$  representa la altura de una columna de agua para cada instante inicial  $t_0$ , con un



caudal  $Q_0$ ". Continuando, en su procedimiento, dice que:

"En el intervalo de tiempo  $dt$ , se desagua un volumen  $DV = -Q dt$ . La pérdida de carga  $dh$  correspondiente es:

$$- dh = Q dt / S$$

donde  $S$  es la superficie del recipiente considerado. Admitiendo que se cumple la ley de Poiseuille,  $Q = C h$ , se tiene;

$$Q dt = C h dt = - S dh$$

Integrando queda:

$$t = - S/C (\ln h) + K$$

donde  $K$  es la constante de integración,

$$t = - S/C (\ln Q/C) + K \quad (1)$$

$$t_0 = - S/C (\ln Q_0/C) + K \quad (2)$$

restando (1)-(2) queda,

$$t - t_0 = - S/C (\ln Q/Q_0)$$

o también,

$$Q = Q_0 e^{-\alpha (t - t_0)} \quad "$$

siendo  $\alpha = C/S$  una constante de la cuenca, que la llama "coeficiente de agotamiento" (Cirugeda, 1985).

A N E X O    N<sup>o</sup> 3

## CURVAS DE GASTOS DEL RIO ACHIBUENO.

## GASTOS EN M3/S.

h(cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	1.50	1.66	1.82	1.98	2.14	2.30	2.47	2.63	2.80	2.96
50	3.13	3.36	3.60	3.83	4.07	4.30	4.58	4.86	5.14	5.42
60	5.70	6.00	6.30	6.60	6.90	7.20	7.64	8.08	8.52	8.96
70	9.40	9.94	10.5	11.0	11.6	12.1	12.8	13.4	14.1	14.7
80	15.4	16.1	16.9	17.6	18.4	19.1	20.1	21.0	22.0	22.9
90	23.9	25.0	26.1	27.3	28.4	29.5	30.9	32.2	33.6	34.9
100	36.3	37.8	39.4	40.9	42.5	44.0	45.8	47.6	49.5	51.3
110	53.1	55.1	57.1	59.1	61.1	63.1	65.3	67.5	69.8	72.0
120	74.2	76.6	79.0	81.4	83.8	86.2	88.9	91.6	94.2	96.9
130	99.6	103	106	109	113	116	119	122	126	129
140	132	135	139	142	146	149	153	156	160	163
150	167	171	175	178	182	186	190	194	198	202
160	206	210	215	219	224	228	232	237	241	246
170	250	255	260	264	269	274	279	284	289	294
180	299	304	309	315	320	325	330	336	341	347
190	352	358	363	369	374	380	386	392	398	404
200	410	416	422	429	435	441	447	454	460	467
210	473	480	486	493	499	506	513	520	527	534
220	541	548	555	563	570	577	584	592	599	607
230	614	622	629	637	644	652	660	668	676	684
240	692	700	708	717	725	733	741	750	758	767
250	775	784	792	801	809	818	827	836	845	854
260	863	872	881	891	900	909	919	928	938	947
270	957	967	977	986	996	1006	1016	1026	1036	1046
280	1056	1066	1076	1087	1097	1107	1118	1128	1139	1149
290	1160	1171	1182	1193	1204	1215	1226	1237	1248	1259
300	1270	1281	1293	1304	1316	1327	1339	1350	1362	1373
310	1385	1397	1409	1421	1433	1445	1457	1469	1482	1494
320	1506	1518	1531	1543	1556	1568	1581	1594	1606	1619
330	1632	1645	1658	1671	1684	1697	1710	1724	1737	1751
340	1764	1778	1791	1805	1818	1832	1846	1860	1874	1888
350	1902	1916	1930	1945	1959	1973	1987	2002	2016	2031
360	2045	2060	2075	2089	2104	2119	2134	2149	2164	2179
370	2194	2209	2224	2240	2255	2270	2286	2301	2317	2332
380	2348	2364	2380	2396	2412	2428	2444	2460	2477	2493
390	2509	2525	2542	2558	2575	2591	2608	2625	2641	2658
400	2675	2692	2709	2726	2743	2760				

Tabla Nº 9

Curva de gastos Nº 10, del Río Achibueno en La Recova, válida desde el 01-11-86 hasta el 28-05-91.

Fuente : Dirección General de Aguas.

## GASTOS EN M3/S.

h(cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	1.30	1.68	2.06	2.44	2.82	3.20	3.70	4.20	4.70	5.20
70	5.70	6.32	6.94	7.56	8.18	8.80	9.58	10.4	11.1	11.9
80	12.7	13.7	14.6	15.6	16.5	17.5	18.6	19.7	20.8	21.9
90	23.0	24.4	25.8	27.2	28.6	30.0	31.5	32.9	34.4	35.8
100	37.3	39.1	40.8	42.6	44.3	46.1	48.1	50.1	52.0	54.0
110	56.0	58.3	60.6	62.9	65.2	67.5	70.0	72.5	75.1	77.6
120	80.1	82.8	85.6	88.6	91.1	93.8	96.6	99.5	102	105
130	108	111	114	118	121	124	127	130	134	137
140	140	144	148	152	156	160	164	169	173	178
150	182	186	191	195	200	204	209	213	218	222
160	227	232	237	241	246	251	256	261	266	271
170	276	281	286	291	296	301	306	311	316	321
180	326	331	337	342	348	353	359	364	370	375
190	381	387	393	398	404	410	416	422	428	434
200	440	446	452	458	464	470	476	482	488	494
210	500	507	514	521	528	535	542	549	556	563
220	570	577	584	592	599	606	613	620	628	635
230	642	650	658	665	673	681	689	697	704	712
240	720	728	736	744	752	760	768	776	784	792
250	800	808	816	825	833	841	849	857	866	874
260	882	890	898	907	915	923	931	940	948	957
270	965	974	983	992	1001	1010	1020	1029	1039	1048
280	1058	1068	1078	1088	1098	1108	1118	1129	1139	1150
290	1160	1171	1182	1193	1204	1215	1226	1237	1248	1259
300	1270	1281	1293	1304	1316	1327	1339	1350	1362	1373
310	1385	1397	1409	1421	1433	1445	1457	1469	1482	1494
320	1506	1518	1531	1543	1556	1568				

Tabla Nº 10

Curva de gastos Nº 20, del Río Achibueno en La Recova, válida desde el 29-05-86 hasta el 25-05-92.

Fuente : Dirección General de Aguas.

A P E N D I C E      N o 1

## VARIABLES DE ESTADO DE CADA CRECIDA

CRECIDA (FECHA)	Qi (M3/S.)	N1	PCP (M3/S.)	UCP (M3/S.)
08-07-87	8.52	11	444.50	431.00
21-07-87	69.80	4	174.70	380.00
31-07-87	60.80	1	83.80	83.80
05-09-87	42.50	5	220.40	191.00
08-10-87	54.90	3	268.70	299.00
09-03-88	5.70	3	16.80	9.40
14-04-88	4.10	2	54.35	29.70
24-04-88	5.14	1	23.90	23.90
13-05-88	4.07	1	117.00	117.00
17-05-88	13.40	1	76.60	76.60
07-06-88	5.42	1	15.40	15.40
22-06-88	31.40	1	249.00	249.00
27-06-88	29.00	2	396.00	398.00
16-07-88	27.50	3	64.20	56.10
27-07-88	26.10	2	323.00	260.00
17-08-88	67.50	1	375.00	375.00
22-08-88	79.00	3	242.00	199.00
29-08-88	67.30	2	86.15	95.70
23-10-88	30.90	1	71.00	71.00
13-05-89	2.84	1	11.93	11.93
29-06-89	37.4	1	176.00	176.00
22-07-89	15.70	1	26.00	26.00
24-07-89	17.80	5	133.40	127.00
17-08-89	30.90	1	76.00	76.00
21-08-89	38.00	3	611.70	178.00

Tabla N<sup>o</sup> 11 : Variables de estado en cada una de las crecidas modeladas.

Continuación.

CRECIDA (FECHA)	Qi (M /S.)	N1	PCP (M /S.)	UCP (M /S.)
28-03-90	4.15	2	56.70	65.60
14-04-90	5.80	3	73.30	137.00
05-05-90	22.10	1	171.00	171.00
08-05-90	99.20	3	153.00	177.00
01-06-90	9.94	1	67.50	67.50
13-06-90	13.90	1	30.80	38.80
21-06-90	12.00	1	49.90	49.90
15-07-90	11.00	4	34.80	30.20
01-08-90	23.90	1	45.80	45.80
06-08-90	27.30	1	81.40	81.40
12-08-90	33.60	1	51.84	51.84
25-08-90	18.00	1	51.40	51.40
29-08-90	21.00	1	90.40	90.40
04-09-90	53.3	1	183.5	183.50
07-09-90	69.80	2	320.75	270.50
20-09-90	73.20	1	125.00	125.00
09-10-90	29.30	1	54.10	54.10
12-04-91	3.61	4	77.10	57.10
15-05-91	5.14	3	299.70	198.00
23-05-91	42.40	3	1723.30	2675.00
01-06-91	127.00	3	276.20	200.00
06-07-91	38.00	1	768.00	768.00
17-07-91	50.30	2	191.80	188.50
31-08-91	26.80	1	62.90	62.90
19-09-91	67.50	1	134.00	134.00

Tabla Nº 11 : Variables de estado , en cada una de las crecidas modeladas.

## VARIABLES AUXILIARES DE CADA CRECIDA

CRECIDA (FECHA)	TB (HRS.)	TUCP-Qo (HRS.)
08-07-87	241.0	86.0
21-07-87	113.0	72.0
31-07-87	21.0	15.0
05-09-87	88.0	33.5
08-10-87	120.0	86.0
09-03-88	104.0	9.0
14-04-88	48.0	35.5
24-04-88	40.0	21.0
13-05-88	48.0	31.5
17-05-88	20.0	15.0
07-06-88	44.0	16.0
22-06-88	50.0	41.0
27-06-88	107.0	50.0
16-07-88	45.0	12.5
27-07-88	68.0	35.5
17-08-88	81.0	55.0
22-08-88	92.0	41.0
29-08-88	44.0	22.0
23-10-88	35.0	17.0
13-05-89	63.0	39.0
29-06-89	28.0	19.0
22-07-89	28.0	17.0
24-07-89	122.0	34.0
17-08-89	50.0	27.0
21-08-89	150.5	39.5

Tabla Nº 12 : Variables auxiliares en cada una de las  
crecidas.



Continuación.

CRECIDA (FECHA)	TB (HRS.)	TUCP-Qo (HRS.)
28-03-90	57.0	22.0
14-04-90	71.0	33.0
05-05-90	22.0	12.0
08-05-90	60.0	36.0
01-06-90	35.0	22.0
13-06-90	34.0	20.0
21-06-90	30.0	17.0
15-07-90	67.0	24.0
01-08-90	49.0	23.0
06-08-90	47.0	29.0
12-08-90	51.0	23.0
25-08-90	28.0	14.0
29-08-90	32.0	24.0
04-09-90	47.0	33.0
07-09-90	115.0	53.0
20-09-90	32.0	26.5
09-10-90	40.0	23.0
12-04-91	137.0	26.5
15-05-91	106.0	28.0
23-05-91	183.0	74.0
01-06-91	117.0	37.0
06-07-91	106.0	54.0
17-07-91	51.0	32.0
31-08-91	41.0	17.0
19-09-91	32.0	23.0

Tabla N<sup>o</sup> 12 : Variables auxiliares en cada una de las crecidas.

A P E N D I C E   N O 2

## VALORES DE CAUDAL OBSERVADOS Y MODELADOS DE CADA CRECIDA.

CREC. 08-07-87		CREC. 21-07-87		CREC. 31-07-87		CREC. 05-09-87	
Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.
109.00	109.00	146.50	146.50	61.80	61.80	110.60	110.60
107.50	107.99	144.62	145.11	61.30	61.44	109.50	109.61
106.00	107.00	142.75	143.73	60.90	61.09	108.50	108.63
104.72	106.01	140.87	142.36	60.50	60.73	107.55	107.65
103.44	105.03	139.00	141.01	60.13	60.38	106.60	106.69
102.16	104.06	137.72	139.67	59.77	60.03	105.70	105.73
100.88	103.10	136.44	138.35	59.44	59.68	104.80	104.78
99.60	102.14	135.16	137.03	59.10	59.33	103.90	103.84
98.64	101.20	133.88	135.73	58.78	58.99	103.00	102.91
97.69	100.26	132.60	134.44	58.47	58.65	101.99	101.99
96.73	99.34	131.36	133.16	58.17	58.31	100.98	101.07
95.77	98.42	130.12	131.90	57.87	57.97	99.97	100.17
94.81	97.51	128.88	130.65	57.58	57.63	98.96	99.27
93.86	96.61	127.64	129.40	57.30	57.30	97.94	98.38
93.07	95.72	126.40	128.17			96.90	97.50
92.27	94.83	125.22	126.96			96.00	96.62
91.48	93.96	124.03	125.75			95.10	95.76
90.69	93.09	122.85	124.56			94.20	94.90
89.89	92.23	121.67	123.37			93.33	94.05
89.10	91.38	120.48	122.20			92.47	93.21
88.32	90.53	119.30	121.04			91.60	92.37
87.55	89.70	118.30	119.89			90.98	91.54
86.77	88.87	117.30	118.75			90.35	90.72
86.00	88.05	116.30	117.62			89.72	89.91
85.27	87.23	115.30	116.51			89.10	89.10
84.53	86.43	114.30	115.40				
83.80	85.63	113.30	114.30				
83.20	84.84	112.17	113.22				
82.60	84.05	111.05	112.14				
82.00	83.28	109.93	111.08				
81.40	82.51	108.80	110.02				
80.80	81.75	108.09	108.98				
80.20	80.99	107.37	107.94				
79.60	80.24	106.64	106.92				
79.00	79.50	105.90	105.90				
78.40	78.77						
77.80	78.04						
77.20	77.32						
76.60	76.60						

Tabla Nº 13 : Caudales observados y modelados en m3/s.

Continuación.

CREC. 08-10-87		CREC. 09-03-88		CREC. 14-04-88		CREC. 24-04-88	
Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.
103.10	103.10	7.64	7.64	12.37	12.37	10.00	10.00
102.00	102.39	7.55	7.59	12.17	12.25	9.80	9.90
102.00	101.68	7.46	7.55	11.98	12.13	9.65	9.80
101.60	100.98	7.38	7.50	11.80	12.01	9.50	9.70
101.40	100.28	7.29	7.46	11.73	11.90	9.40	9.61
101.30	99.59	7.20	7.41	11.66	11.78	9.30	9.51
101.30	98.90	7.14	7.37	11.60	11.67	9.20	9.42
101.20	98.22	7.08	7.33	11.53	11.55	9.10	9.32
100.67	97.54	7.02	7.28	11.46	11.44	9.00	9.23
100.13	96.87	6.96	7.24	11.40	11.33	8.95	9.14
99.60	96.20	6.90	7.20	11.27	11.22	8.89	9.05
98.70	95.53	6.90	7.15	11.13	11.11	8.84	8.96
97.80	94.87	6.96	7.11	11.00	11.00	8.78	8.87
96.90	94.22	7.05	7.07	10.90	10.90	8.72	8.78
96.00	93.57	7.15	7.02	10.79	10.79	8.65	8.69
95.10	92.92	7.18	6.98	10.69	10.69	8.58	8.61
94.20	92.28	7.16	6.94	10.58	10.58	8.52	8.52
93.33	91.64	7.09	6.90	10.48	10.48		
92.47	91.01	7.03	6.86				
91.60	90.38	6.96	6.82				
90.70	89.76	6.90	6.78				
89.80	89.14	6.84	6.74				
88.90	88.52	6.78	6.70				
88.20	87.91	6.72	6.66				
87.50	87.30	6.66	6.62				
86.80	86.70	6.60	6.58				
86.10	86.10	6.56	6.54				
		6.51	6.50				
		6.46	6.46				
		6.42	6.42				

Tabla Nº 13 : Caudales observados y modelados en m<sup>3</sup>/s.

Continuación.

CREC. 13-05-88		CREC. 17-05-88		CREC. 07-06-88		CREC. 22-06-88	
Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.
19.54	19.54	27.85	27.85	11.60	11.60	70.90	70.90
19.14	19.28	27.15	27.35	11.45	11.46	69.80	69.94
18.74	19.03	26.60	26.86	11.30	11.32	68.70	68.99
18.40	18.78	26.10	26.38	11.15	11.18	67.60	68.06
18.06	18.53	25.60	25.91	11.00	11.04	67.10	67.14
17.80	18.29	25.11	25.45	10.86	10.90	66.60	66.23
17.60	18.05	24.62	25.00	10.73	10.77	66.00	65.33
17.51	17.81	24.15	24.55	10.59	10.64	65.40	64.45
17.43	17.58	23.70	24.11	10.45	10.51	64.30	63.58
17.35	17.35	23.25	23.68	10.32	10.38	63.30	62.72
		22.82	23.26	10.20	10.25	62.80	61.87
		22.40	22.84	10.08	10.12	62.30	61.03
		22.00	22.43	9.97	10.00	61.90	60.20
		21.57	22.03	9.85	9.87	60.60	59.39
		21.15	21.64	9.73	9.76	59.30	58.58
		20.72	21.25	9.62	9.64	58.00	57.79
		20.30	20.87	9.51	9.52	56.70	57.01
		20.00	20.50	9.40	9.40	55.40	56.24
		19.70	20.14			54.10	55.47
		19.42	19.78			53.10	54.72
		19.15	19.42			52.50	53.98
		18.89	19.08			51.80	53.25
		18.64	18.73			51.00	52.53
		18.40	18.40			50.30	51.82
						49.50	51.12
						48.80	50.43
						48.10	49.74
						47.40	49.07
						46.70	48.41
						46.00	47.75
						45.60	47.10
						45.28	46.47
						44.96	45.84
						44.64	45.22
						44.32	44.61
						44.00	44.00

Tabla Nº 13 : Caudales observados y modelados en m<sup>3</sup>/s.

Continuación.

CREC. 27-06-88		CREC. 16-07-88		CREC. 27-07-88		CREC. 17-08-88	
Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.
101.30	101.30	47.60	47.60	100.30	100.30	99.60	99.60
99.60	99.82	47.28	47.35	98.60	99.05	98.63	98.77
98.00	98.37	46.97	47.10	97.50	97.81	97.66	97.95
96.00	96.93	46.67	46.86	96.40	96.59	96.68	97.13
94.60	95.52	46.37	46.61	95.30	95.39	95.71	96.33
93.00	94.12	46.08	46.37	94.20	94.20	94.74	95.52
92.00	92.75	45.80	46.12	93.00	93.02	93.77	94.73
90.60	91.40	45.53	45.88	91.50	91.86	92.79	93.94
88.90	90.06	45.26	45.64	90.20	90.71	91.82	93.16
87.50	88.75	45.00	45.40	88.90	89.58	90.85	92.38
86.20	87.46	44.74	45.17	87.60	88.46	89.87	91.61
85.00	86.18	44.48	44.93	86.30	87.36	88.90	90.85
83.80	84.92	44.23	44.69	85.20	86.27	88.41	90.10
82.60	83.68	44.00	44.46	84.20	85.19	87.92	89.35
81.40	82.46	43.87	44.23	83.20	84.13	87.43	88.60
80.20	81.26	43.75	43.99	82.20	83.08	86.94	87.87
79.00	80.07	43.63	43.76	81.30	82.04	86.45	87.13
78.20	78.91	43.50	43.54	80.40	81.02	85.96	86.41
77.30	77.75	43.37	43.31	79.50	80.01	85.32	85.69
76.50	76.62	43.25	43.08	78.60	79.01	84.68	84.98
75.40	75.50	43.10	42.85	77.71	78.02	84.04	84.27
74.40	74.40	42.95	42.63	76.83	77.05	83.39	83.57
		42.80	42.41	75.95	76.09	82.74	82.87
		42.65	42.18	75.07	75.14	82.09	82.18
		42.50	41.96	74.20	74.20	81.43	81.50
		42.23	41.74			80.78	80.82
		41.95	41.53			80.13	80.15
		41.70	41.31			79.48	79.48
		41.43	41.09				
		41.17	40.88				
		40.90	40.66				
		40.65	40.45				
		40.40	40.24				
		40.15	40.03				
		39.90	39.82				
		39.65	39.61				
		39.40	39.40				

Tabla Nº 13 : Caudales observados y modelados en m<sup>3</sup>/s.

Continuación.

CREC. 22-08-88		CREC. 29-08-88		CREC. 23-10-88		CREC. 13-05-89	
Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.
120.63	120.63	80.44	80.44	45.20	45.20	6.00	6.00
119.00	119.45	79.96	80.08	44.45	44.64	5.96	5.97
117.80	118.29	79.48	79.73	43.75	44.09	5.93	5.93
116.60	117.13	79.00	79.38	43.10	43.54	5.89	5.90
115.40	115.99	78.60	79.03	42.50	43.00	5.85	5.87
114.20	114.86	78.20	78.68	41.94	42.46	5.81	5.83
113.00	113.74	77.80	78.33	41.43	41.94	5.78	5.80
111.83	112.63	77.70	77.98	40.93	41.42	5.74	5.77
110.67	111.53	77.60	77.64	40.45	40.90	5.70	5.73
109.50	110.44	77.50	77.29	40.00	40.40	5.67	5.70
108.33	109.36	77.30	76.95	39.60	39.90	5.64	5.67
107.17	108.29	76.91	76.61	39.40	39.40	5.62	5.64
106.00	107.24	76.53	76.27			5.59	5.61
105.25	106.19	76.14	75.94			5.56	5.58
104.50	105.15	75.75	75.60			5.53	5.54
103.75	104.13	75.36	75.27			5.50	5.51
103.00	103.11	74.98	74.93			5.48	5.48
101.90	102.11	74.59	74.60			5.45	5.45
100.80	101.11	74.20	74.27			5.42	5.42
99.70	100.12	73.89	73.94				
98.82	99.15	73.57	73.62				
97.93	98.18	73.26	73.29				
97.05	97.22	72.94	72.97				
96.17	96.27	72.63	72.64				
95.28	95.33	72.31	72.32				
94.40	94.40	72.00	72.00				

Tabla Nº 13 : Caudales observados y modelados en m<sup>3</sup>/s.

Continuación.

CREC. 29-06-89		CREC. 22-07-89		CREC. 24-07-89		CREC. 17-08-89	
Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.
62.65	62.65	19.35	19.35	65.00	65.00	53.00	53.00
60.60	61.31	19.25	19.26	65.00	64.27	52.60	52.59
58.90	60.00	19.15	19.17	64.00	63.54	52.10	52.19
57.20	58.72	19.05	19.09	63.00	62.82	51.70	51.79
55.80	57.47	18.96	19.00	62.00	62.11	51.30	51.40
54.40	56.24	18.87	18.91	61.10	61.41	50.93	51.00
53.00	55.04	18.78	18.83	60.20	60.72	50.56	50.61
51.80	53.86	18.70	18.74	59.40	60.03	50.19	50.22
50.50	52.71	18.62	18.65	58.60	59.36	49.82	49.84
49.20	51.59	18.54	18.57	57.80	58.69	49.45	49.46
48.00	50.49	18.47	18.48	57.10	58.02	49.08	49.08
46.90	49.41	18.40	18.40	56.60	57.37	48.71	48.70
46.00	48.35			55.93	56.72	48.34	48.33
45.00	47.32			55.27	56.08	47.97	47.96
44.00	46.31			54.60	55.45	47.60	47.59
43.20	45.32			54.07	54.82	47.26	47.23
42.50	44.35			53.53	54.20	46.96	46.87
41.60	43.41			53.00	53.59	46.66	46.51
40.70	42.48			52.43	52.99	46.36	46.15
39.90	41.57			51.87	52.39	46.08	45.80
39.10	40.68			51.30	51.80	45.80	45.45
38.35	39.82			50.73	51.21		
37.65	38.97			50.17	50.64		
36.95	38.13			49.60	50.06		
36.30	37.32			49.10	49.50		
35.68	36.52			48.64	48.94		
35.09	35.74			48.19	48.39		
34.53	34.98			47.74	47.84		
34.00	34.23			47.30	47.30		
33.50	33.50						

Tabla Nº 13 : Caudales observados y modelados en m<sup>3</sup>/s.



Continuación.

CREC. 21-08-89		CREC. 28-03-90		CREC. 14-04-90		CREC. 05-05-90	
Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.
98.80	98.80	19.60	19.60	25.10	25.10	65.30	65.30
97.75	97.90	19.20	19.35	25.00	24.83	63.40	63.78
96.80	97.01	18.90	19.11	24.70	24.57	61.70	62.30
95.85	96.13	18.60	18.87	24.40	24.31	60.09	60.85
95.00	95.25	18.30	18.63	24.70	24.05	58.55	59.44
94.20	94.38	18.05	18.40	25.00	23.79	57.10	58.05
93.40	93.52	17.85	18.16	25.00	23.54	55.30	56.70
92.60	92.67	17.70	17.94	25.00	23.29	53.50	55.39
91.80	91.83	17.60	17.71	24.50	23.04	52.17	54.10
91.00	90.99	17.50	17.49	23.80	22.79	50.83	52.84
90.20	90.16	17.32	17.27	23.30	22.55	49.50	51.61
89.40	89.34	17.15	17.05	22.90	22.31	48.30	50.41
88.60	88.53	17.00	16.83	22.50	22.07	47.10	49.24
87.80	87.72	16.76	16.62	22.20	21.84	45.90	48.10
87.00	86.92	16.53	16.41	22.00	21.61	44.93	46.98
86.20	86.13	16.30	16.20	21.70	21.38	43.97	45.89
85.40	85.35	16.06	16.00	21.42	21.15	43.00	44.82
84.60	84.57	15.83	15.80	21.15	20.92	42.13	43.78
83.80	83.80	15.60	15.60	20.88	20.70	41.26	42.76
				20.61	20.48	40.38	41.76
				20.34	20.26	39.51	40.79
				20.10	20.05	38.68	39.85
				19.87	19.83	37.85	38.92
				19.64	19.62	37.03	38.01
				19.42	19.41	36.30	37.13
				19.21	19.21	35.67	36.26
				19.00	19.00	35.10	35.42
				18.80	18.80	34.60	34.60

Tabla Nº 13 : Caudales observados y modelados en m<sup>3</sup>/s.

Continuación.

CREC. 08-05-90		CREC. 01-06-90		CREC. 13-06-90		CREC. 21-06-90	
Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.
56.30	56.3	28.50	28.50	19.10	19.10	24.30	24.30
55.30	55.56	28.14	28.21	18.97	19.00	23.90	24.08
54.30	54.84	27.79	27.92	18.84	18.91	23.60	23.85
53.30	54.12	27.43	27.63	18.71	18.81	23.30	23.63
52.54	53.41	27.07	27.34	18.58	18.71	23.06	23.42
51.78	52.71	26.71	27.06	18.45	18.62	22.83	23.20
51.02	52.02	26.36	26.78	18.36	18.52	22.60	22.99
50.26	51.34	26.00	26.01	18.27	18.43	22.40	22.77
49.50	50.67	25.70	26.23	18.18	18.34	22.20	22.56
48.99	50.01	25.40	25.96	18.09	18.24	22.00	22.36
48.47	49.35	25.10	25.70	18.00	18.15	21.75	22.15
47.96	48.71	24.80	25.43	17.90	18.06	21.50	21.95
47.44	48.07	24.50	25.17	17.80	17.97	21.25	21.74
46.93	47.44	24.20	24.91	17.70	17.88	21.00	21.54
46.41	46.82	23.90	24.65	17.60	17.78	20.83	21.35
45.90	46.21	23.70	24.40	17.53	17.69	20.66	21.15
45.37	45.61	23.50	24.15	17.46	17.60	20.49	20.95
44.83	45.01	23.30	23.90	17.38	17.51	20.32	20.76
44.30	44.42	23.10	23.65	17.31	17.43	20.15	20.57
43.77	43.84	22.90	23.41	17.24	17.34	20.02	20.38
43.23	43.27	22.75	23.17	17.17	17.25	19.89	20.19
42.70	42.70	22.60	22.93	17.10	17.16	19.76	20.01
		22.45	22.69	17.04	17.07	19.63	19.82
		22.30	22.46	16.97	16.99	19.49	19.64
		22.15	22.23	16.90	16.90	19.36	19.46
		22.00	22.00			19.23	19.28
						19.10	19.10

Tabla Nº 13 : Caudales observados y modelados en m3/s.

Continuación.

CREC. 15-07-90		CREC. 01-08-90		CREC. 06-08-90		CREC. 12-08-90	
Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.
22.66	22.66	36.19	36.19	45.86	45.86	40.90	40.90
22.47	22.51	36.16	35.94	45.82	45.63	40.69	40.63
22.27	22.36	36.02	35.70	45.80	45.41	40.47	40.36
22.09	22.21	35.74	35.45	45.80	45.18	40.26	40.10
21.91	22.06	35.46	35.21	45.80	44.96	40.04	39.83
21.75	21.92	35.18	34.97	45.80	44.73	39.83	39.57
21.59	21.77	34.90	34.73	45.80	44.51	39.61	39.31
21.44	21.63	34.63	34.49	45.80	44.29	39.40	39.05
21.28	21.48	34.36	34.25	45.80	44.07	39.20	38.80
21.14	21.34	34.10	34.02	45.80	43.85	38.90	38.54
21.00	21.20	33.85	33.79	45.32	43.64	38.60	38.29
20.87	21.06	33.60	33.56	44.87	43.42	38.30	38.04
20.75	20.92	33.36	33.33	44.42	43.20	38.00	37.78
20.64	20.78	33.12	33.10	44.00	42.99	37.70	37.54
20.53	20.64	32.89	32.87	43.70	42.78	37.40	37.30
20.41	20.51	32.65	32.65	43.40	42.56	37.10	37.04
20.30	20.37	32.42	32.42	43.10	42.35	36.80	36.80
20.19	20.23	32.20	32.20	42.80	42.14		
20.10	20.10			42.50	41.93		
				42.10	41.73		
				41.70	41.52		
				41.30	41.31		
				40.90	41.11		
				40.60	40.93		
				40.30	40.70		
				40.00	40.50		
				39.70	40.30		
				39.70	40.10		
				39.70	39.90		
				39.70	39.70		

Tabla Nº 13 : Caudales observados y modelados en m<sup>3</sup>/s.

Continuación.

CREC. 25-08-90		CREC. 29-08-90		CREC. 04-09-90		CREC. 07-09-90	
Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.
29.50	29.50	45.00	45.00	84.20	84.20	104.90	104.90
29.10	29.09	44.30	44.46	83.60	83.52	104.10	103.92
28.70	28.68	43.70	43.93	83.10	82.84	103.50	102.95
28.40	28.28	43.10	43.40	82.60	82.17	103.10	101.99
27.90	27.89	42.50	42.88	82.20	81.50	102.70	101.03
27.50	27.50	41.90	42.36	81.80	80.84	102.50	100.09
27.00	27.12	41.40	41.85	81.30	80.18	101.65	99.15
26.60	26.74	40.90	41.35	80.51	79.53	100.83	98.22
26.20	26.37	40.30	40.85	79.72	78.88	100.00	97.31
25.80	26.00	39.80	40.36	78.93	78.24	99.20	96.40
25.40	25.64	39.40	39.88	78.14	77.61	98.05	95.50
25.00	25.28	39.00	39.40	77.36	76.98	96.90	94.60
24.70	24.93	38.60	38.92	76.57	76.35	95.75	93.72
24.40	24.58	38.20	38.46	75.78	75.73	94.60	92.84
24.10	24.24	37.80	37.99	74.99	75.12	93.46	91.97
23.90	23.90	37.40	37.54	74.20	74.51	92.32	91.11
		37.00	37.09	73.60	73.90	91.18	90.26
		36.60	36.64	73.00	73.30	90.04	89.42
		36.20	36.20	72.45	72.71	88.90	88.58
				71.90	72.12	88.00	87.75
				71.35	71.53	87.10	86.93
				70.80	70.95	86.20	86.12
				70.30	70.37	85.40	85.32
				69.80	69.80	84.60	84.52
						83.80	83.73
						83.00	82.95
						82.20	82.17
						81.40	81.40

Tabla Nº 13 : Caudales observados y modelados en m<sup>3</sup>/s.

Continuación.

CREC. 20-09-90		CREC. 09-10-90		CREC. 12-04-91		CREC. 15-05-91	
Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.
81.00	81.00	36.90	36.90	21.90	21.90	86.20	86.20
80.70	80.47	36.90	36.85	21.54	21.58	85.80	84.97
80.38	79.94	36.85	36.80	21.18	21.26	85.00	83.77
80.00	79.42	36.80	36.75	20.82	20.95	84.10	82.58
79.62	78.89	36.75	36.70	20.46	20.64	83.90	81.40
79.24	78.38	36.70	36.65	20.10	20.34	83.60	80.24
78.80	77.86	36.65	36.60	19.76	20.04	82.60	79.10
78.23	77.35	36.60	36.55	19.42	19.75	81.40	77.98
77.65	76.84	36.55	36.50	19.08	19.46	79.10	76.87
77.08	76.34	36.50	36.45	18.74	19.17	77.00	75.78
76.50	75.84	36.45	36.40	18.40	18.89	75.80	74.70
75.93	75.34	36.40	36.35	18.10	18.62	74.20	73.64
75.35	74.84	36.30	36.30	17.83	18.34	73.10	72.59
74.77	74.35			17.58	18.07	72.00	71.56
74.20	73.86			17.35	17.81	70.90	70.54
73.65	73.38			17.12	17.55	69.70	69.54
73.10	72.90			16.90	17.29	68.60	68.55
72.55	72.42			16.73	17.04	67.50	67.57
72.00	71.94			16.57	16.79	66.30	66.61
71.47	71.47			16.40	16.54	65.30	65.67
				16.30	16.30	64.30	64.73
						63.20	63.81
						62.40	62.91
						61.40	62.01
						60.70	61.13
						60.10	60.26
						59.40	59.40

Tabla Nº 13 : Caudales observados y modelados en m<sup>3</sup>/s.

Continuación.

CREC. 23-05-91		CREC. 01-06-91		CREC. 06-07-91		CREC. 17-07-91	
Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.
182.00	182.00	121.10	121.10	132.00	132.00	105.30	105.30
179.00	179.58	120.40	120.17	130.00	130.52	104.10	104.24
176.00	177.19	119.60	119.24	128.38	129.05	103.00	103.19
173.00	174.84	118.40	118.32	126.75	127.60	102.00	102.15
170.50	172.51	117.60	117.41	125.13	126.16	101.00	101.12
168.00	170.22	116.40	116.51	123.50	124.75	100.00	100.10
165.50	167.95	115.20	115.61	121.90	123.34	99.00	99.09
163.27	165.72	114.00	114.72	120.30	121.96	98.00	98.09
161.05	163.52	113.00	113.84	118.75	120.59	97.10	97.10
158.82	161.34	112.00	112.96	117.17	119.23	96.20	96.12
156.60	159.20	111.00	112.09	115.58	117.89	95.10	95.15
154.70	157.08	110.00	111.23	114.00	116.56	94.00	94.20
152.80	154.99	109.00	110.37	112.77	115.25	93.00	93.25
150.09	152.93	108.00	109.52	111.57	113.96	92.05	92.31
149.00	150.90	107.10	108.68	110.37	112.68	91.10	91.38
147.02	148.89	106.30	107.84	109.17	111.41	90.14	90.45
145.05	146.91	105.40	107.01	108.00	110.16	89.21	89.54
143.07	144.96	104.60	106.19	106.83	108.92	88.21	88.64
141.10	143.03	103.70	105.37	105.69	107.70	87.38	87.75
139.45	141.13	102.90	104.56	104.55	106.49	86.48	86.86
137.80	139.25	102.00	103.75	103.41	105.29	85.60	85.99
136.15	137.40	101.30	102.95	102.30	104.10	84.75	85.12
134.50	135.57	100.50	102.16	101.33	102.93	83.90	84.26
133.50	133.77	99.80	101.37	100.35	101.78	83.08	83.41
131.83	131.99	99.00	100.59	99.38	100.63	82.30	82.57
130.16	130.23	98.30	99.82	98.40	99.50	81.55	81.74
128.50	128.50	97.60	99.05	97.43	98.38	80.80	80.92
		96.80	98.26	96.45	97.28	80.10	80.10
		96.10	97.53	95.48	96.18		
		95.30	96.78	94.51	95.10		
		94.60	96.03	93.54	94.03		
		94.02	95.29	92.57	92.98		
		93.43	94.56	91.60	91.93		
		92.85	93.83	90.65	90.90		
		92.27	93.11	89.70	89.88		
		91.68	92.39	88.75	88.87		
		91.10	91.68	87.80	87.87		
		90.52	90.97	86.85	86.88		
		89.94	90.27	85.90	85.90		
		89.36	89.58				
		88.78	88.89				
		88.20	88.20				

Tabla Nº 13 : Caudales observados y modelados en m<sup>3</sup>/s.

Continuación.

CREC. 31-08-91		CREC. 19-09-91	
Q.OBS.	Q.MOD.	Q.OBS.	Q.MOD.
46.10	46.10	91.30	91.30
45.60	45.82	91.00	90.70
45.20	45.54	90.50	90.11
44.70	45.26	90.00	89.51
44.30	44.99	89.50	88.93
44.20	44.71	89.00	88.34
44.00	44.44	88.50	87.76
43.80	44.17	88.10	87.19
43.70	43.90	88.10	86.61
43.70	43.63	87.20	86.04
43.60	43.37	86.30	85.48
43.60	43.11	85.60	84.92
43.50	42.84	84.90	84.36
43.13	42.58	84.20	83.81
42.77	42.32	83.40	83.26
42.40	42.07	82.80	82.71
42.06	41.81	81.90	82.17
41.73	41.55	81.00	81.63
41.41	41.30	80.10	81.09
41.10	41.05	79.60	80.56
40.80	40.80	79.10	80.03
		78.60	79.51
		78.00	78.98
		77.40	78.46
		76.70	77.95
		75.90	77.44
		75.20	76.93
		74.85	76.42
		74.50	75.92
		74.20	75.42
		73.90	74.93
		73.60	74.44
		73.30	73.95
		73.00	73.46
		72.75	72.98
		72.50	72.50

Tabla Nº 13 : Caudales observados y modelados en m<sup>3</sup>/s.