



**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES.  
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL.

**APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE MANNING PARA LA ESTIMACIÓN  
DE CAUDALES INSTANTÁNEOS EN EL RÍO MAULE.  
(ESTACIÓN FOREL, VII REGIÓN).**

**JUAN PABLO FLORES VILLANELO.**

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

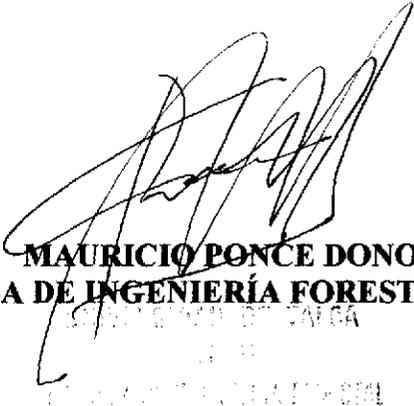
**Profesor Guía: ROBERTO PIZARRO TAPIA.**  
**Profesor Patrocinante: MEDARDO AGUIRRE GONZALEZ.**

**TALCA - CHILE**  
**1999**

**UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL**

El alumno Sr. JUAN PABLO FLORES VILLANELO, ha realizado la Memoria: APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE MANNING PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES INSTANTANEOS EN EL RÍO MAULE (ESTACIÓN FOREL, VII REGIÓN), como uno de los requisitos para optar al título de Ingeniero Forestal. El Profesor Guía es el Sr. Roberto Pizarro Tapia y el Profesor Patrocinante es el Sr. Medardo Aguirre González.

La Comisión de Calificación, constituida por los profesores Sres.: Roberto Pizarro Tapia y Juan Franco de la Jara evaluó la memoria con nota 6,8 (en letras) seis coma ocho.



**MAURICIO PONCE DONOSO.  
DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL.**

## **DEDICATORIA.**

A mis Padres Juan Fco. Flores L. y Georgina Villanelo C.  
A mis Hermanos Ricardo y William.  
A la familia que me rodea.

## AGRADECIMIENTOS

Los más sinceros agradecimientos van dirigidos a todas aquellas personas e instituciones que prestaron su ayuda desinteresado en la realización de esta memoria académica. Agradezco a:

- El profesor guía Dr. Ingeniero Forestal Roberto Pizarro Tapia, quien fue un verdadero orientador y amigo durante toda esta investigación académica.
- El profesor patrocinante Sr. Medardo Aguirre González, quien aportó su conocimiento acabado en materias de estadística.
- Al personal técnico de la Dirección General de Aguas (D.G.A, VII Región), en especial, a los Sres. Juan Bastías, Claudio Ramírez T. y Claudio Ramírez B. por su participación activa y por la facilitación de la información requerida.
- A la Universidad de Talca que se hizo partícipe de esta memoria, por medio del financiamiento otorgado con la beca “Eduardo Zapater”.

Finalmente, agradecer a mis padres, quienes me dieron la oportunidad de estudiar una carrera universitaria y su apoyo en todo momento.

## RESUMEN

En la actualidad, se ve con extraordinaria claridad el desafío crucial que significa para el país, la gestión de los recursos hídricos. Por consiguiente, es prioritario tener una senda continua de investigaciones que permitan conocer el comportamiento de las variables hídricas que afectan a los cursos de aguas. En este contexto, esta memoria aborda la temática de la estimación del caudal en cauces naturales, a partir de la modelación de las variables de la ecuación de Manning, a saber el Factor hidráulico (FH) y el Factor geométrico (FG). Este estudio se llevó a cabo en la estación Forel, establecida en el río Maule, VII Región. Se determinaron los factores hidráulicos y geométricos de esta ecuación y se determinó su relación matemática con la altura del nivel de las aguas, con el objetivo de establecer funciones de regresión para estos factores. De este modo, se propusieron 2 modelos de regresión que presentaron los siguientes resultados:

Los ajustes de los modelos para FH y FG como función de la altura del agua, presentan una relación matemática potencial y lineal recíproca respectivamente. Sin embargo, la validación de estos modelos revela grandes diferencias porcentuales entre lo esperado y obtenido (48 y 40% respectivamente). Esto se debe a los cambios ocurridos en las condiciones naturales del lecho, provocados por la sedimentación y/o erosión de materiales, cambiando así la configuración hidráulica del lecho y la medición de los niveles de agua en la regla limnimétrica. El caudal (Q) modelado difiere del caudal obtenido por aforo con molinete. Esta diferencia alcanza al 30 % en promedio, siendo considerado un mal aforo con respecto a otros métodos de medición utilizados actualmente. Los modelos no-parámétricos utilizados, no explican de buena forma la relación entre los factores mencionados y la altura limnimétrica ( $R^2 = 43.8\%$ ).

Finalmente, en función de los resultados obtenidos, no se puede recomendar la aplicación de la ecuación de Manning. Esta debe considerar necesariamente variables adicionales de sedimentación y/o erosión de material.

## SUMMARY

At the present time we can see with extraordinary clarity the crucial challenge that means for the country the management of hydraulic resources. Therefore is a priority to have a continuous way of investigations that permit to know the behavior of hydraulic variable that affect water courses. In this context this memory treats the subject of the estimation of the volume in the water courses, starting with the modelation of the hydraulic variables contained in Manning's equation, that is the hydraulic factor (HF) and the geometric factor (GF). This study was carried out at Forel Station settled in Maule River, VII Region of Chile. Hydraulic and geometric factors were determined and also its mathematical relation with the height of the level of waters with the objective of to establish the regression functions for these factors. By this way it was proposed two regression models that gave the following results:

The Adjustments of the models HF and GF, as function of the height of water, present a mathematical relation potencial and lineal reciprocal respectively. However, the validation of these models reveals great differences between the expected and the obtained (48 and 40 % respectively). This is due to the changes that occur in the natural conditions of the bed provocated by the sedimentation and/or materials erosion, changing so, the hydraulic configuration of the river bed and the measuring of the water levels in the limnimetric rule. The modelated volume ( $Q$ ) difers from the volume obtained by a hydrometric current meters. This difference goes to 30 % average, considered prudent and a bad obtaining respects to other meditation methods actually used. The non-parametric models used do not explain in a good form the relation between the mentioned factors and the limnimetric height ( $R^2 = 43.8\%$ ).

Finally since the results obtained, it cannot be recommended the aplication of Manning's equation. This must consider addittional sedimentation and erosion's variables.

## INDICE

<b>1.- INTRODUCCIÓN.</b> .....	1
<b>2.- OBJETIVOS.</b> .....	3
2.1.- Objetivo General. ....	3
2.2.- Objetivos Específicos. ....	3
<b>3.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.</b> .....	4
3.1.- Medición de caudal. ....	4
3.2.- Ecuación de Manning y su aplicación. ....	4
3.3.- Relación matemática entre los factores hidráulicos – geométricos y la altura limnimétrica. ....	6
3.4.- Estimación del caudal de un río. ....	7
<b>4.- METODOLOGÍA.</b> .....	9
4.1.- Método. ....	9
4.1.1.- Revisión bibliográfica. ....	9
4.1.2.- Selección de la estación fluviométrica. ....	9
4.1.3.- Obtención de la información requerida. ....	10
4.1.4.- Cálculo de parámetros hidráulicos. ....	10
a.- Perímetro mojado. ....	11
b.- Radio hidráulico. ....	12
4.1.5.- Determinación del factor geométrico y el factor hidráulico. ....	13
4.1.6.- Determinación de la relación matemática entre los factores. geométricos e hidráulicos y la altura limnimétrica. ....	13
4.1.7.- Análisis estadístico. ....	14
4.1.7.1.- Determinación de la bondad del ajuste obtenido. ....	14
4.1.7.2.- Análisis de Regresión. ....	14

a.- Supuesto de normalidad. ....	14
i) Test de Kolmogorov – Smirnov. ....	14
ii) Histograma de frecuencias. ....	15
b.- Supuesto de homocedasticidad. ....	16
i) Prueba de Goldfeld – Quandt. ....	16
ii) Diagrama de dispersión de los residuos. ....	17
c.- Supuesto de no autocorrelación. ....	17
i) Prueba de Durbin – Watson. ....	18
ii) Gráfica de los residuos y el tiempo. ....	18
4.1.7.3.- Corrección de modelos. ....	19
a.- Transformación logarítmica. ....	19
b.- Método $\rho$ . ....	20
4.1.7.4.- Modelos no paramétricos. ....	21
4.1.8.- Discusiones, conclusiones y recomendaciones. ....	21
4.2.- Materiales. ....	22
<b>5.- RESULTADOS.</b> ....	23
5.1.- Cálculo de los parámetros hidráulicos. ....	23
5.2.- Determinación de los factores hidráulicos y geométricos. ....	25
5.3.- Gráficos de tendencias y ajustes de modelos. ....	26
5.4.- Resultados y análisis estadísticos. ....	27
5.4.1.- Modelo factor hidráulico v/s altura limnimétrica. ....	27
5.4.1.1.- Supuestos de regresión para el modelo FH v/s. H. ....	31
a.- Supuesto de Normalidad. ....	31
b.- Supuesto de Homocedasticidad. ....	31
c.- Supuesto de No-autocorrelación. ....	32
5.4.2.- Modelo factor geométrico v/s altura limnimétrica. ....	34
5.4.1.1.- Supuestos de regresión para el modelo FG v/s. H. ....	37
a.- Supuesto de Normalidad. ....	37

b.- Supuesto de Homocedasticidad. ....	37
c.- Supuesto de No-autocorrelación. ....	38
5.4.3.- Validación de los modelos. ....	40
5.4.3.1.- Validación del modelo FH v/s. H. ....	40
5.4.3.2.- Validación del modelo FG v/s. H. ....	41
5.4.3.3.- Validación del Caudal modelado v/s Caudal por molinete. ....	42
5.4.3.4.- Análisis de Factores. ....	43
5.4.4.- Resultados estadísticos de los modelos no paramétricos. ....	45
<b>6.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.</b> ....	<b>46</b>
6.1.- Parámetros hidráulicos. ....	46
6.2.- Factores hidráulicos y geométricos. ....	47
6.3.- Ajustes de modelos FH v/s H y FG v/s H. ....	48
6.3.1.- Modelo FH v/s H. ....	48
6.3.2.- Modelo FG v/s H. ....	49
6.4.- Comparación de caudal por aforo con molinete y caudal modelado. ....	52
6.5.- Análisis de los modelos no paramétricos. ....	54
<b>7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b> ....	<b>55</b>
7.1.- Conclusiones. ....	55
7.2.- Recomendaciones. ....	57
<b>8.- BIBLIOGRAFÍA.</b> ....	<b>60</b>

## APÉNDICES.

- I.- Mapa de estaciones fluviométricas. VII Región.
- II.- Análisis de regresión modelo lineal FH v/s H (117 datos).
- III.- Análisis y supuestos de regresión modelo lineal FH v/s H (114 datos).
- IV.- Análisis y supuestos de regresión modelo logarítmico Ln FH v/s Ln H.
- V.- Análisis de regresión modelo transformado Ln FH\* v/s Ln H\*.
- VI.- Análisis de regresión modelo transformado Ln FH\*\* v/s Ln H\*\*.
- VII.- Análisis de regresión modelo lineal FG v/s H (117 datos).
- VIII.- Análisis de regresión modelo lineal FH v/s H (114 datos).
- IX.- Análisis y supuestos de regresión modelo lineal recíproco (1/FG) v/s H.
- X.- Análisis de regresión modelo transformado (1/FG)\* v/s H\*.
- XI.- Análisis de regresión modelo transformado (1/FG)\*\* v/s H\*\*.
- XII.- Pruebas de bondad de ajuste (test Kolmogorov – Smirnov).
- XIII.- Pruebas ji – cuadrado.
- XIV.- Modelos no paramétricos.

## ANEXOS.

- I.- Aforo de caudal líquido.
- II.- Planilla electrónica para el cálculo del perímetro mojado.
- III.- Datos hidráulicos y geométricos de la estación Forel, Río Maule.
- IV.- Prueba de Goldfeld – Quandt.
- V.- Método p.
- VI.- Distribuciones de probabilidad para el ajuste de información hidrológica.
- VII.- Datos de los aforos en la estación Forel , Río Maule. (Período 1985 – 1998).

## 1.- INTRODUCCION.

El recurso hídrico ha sido un elemento indispensable para el desarrollo de las actividades que se llevan a cabo dentro de una cuenca, como por ejemplo, las actividades agrícolas, forestales, mineras, industriales y la vida de animales y seres humanos, entre otros.

En la actualidad, en Chile la Dirección General de Aguas ( D.G.A ) ha logrado un gran avance en el campo de la fluvimetria, estableciendo en todo el país una red de estaciones de medición que permite obtener una base de información de cada curso de agua de importancia. Esta es utilizada para diferentes fines en meteorología, climatología y otras ciencias.

Si bien, la variable más importante en todo estudio fluviométrico es el caudal, también es interesante conocer las características geométricas e hidráulicas de un río. De este modo, es posible realizar proyectos de construcción de obras hidráulicas para aprovechamiento hídrico o corrección de torrentes.

En este Marco, existen diversos métodos de estimación de caudales de un río. La *Ecuación de Manning* (1891), es un método que relaciona variables geométricas e hidráulicas, permitiendo así, obtener un caudal medio para una sección determinada. Sin embargo, su aplicación ha sido enfocada preferentemente a la ingeniería de riego, mediante canales abiertos, en donde sus características pueden ser manejadas.

El *Factor Hidráulico*, también llamado *Coficiente de Manning* o *Coficiente de Capacidad de Desagüe*, engloba la pendiente de la línea de energía del agua y la rugosidad del lecho. La dificultad en la estimación de este factor ha influido en la poca aplicación del método en cauces naturales. El *Factor Geométrico*, engloba el área de la sección transversal y el radio hidráulico del río. Estos factores son posibles de determinar a partir de

las observaciones de caudales realizadas con el aforo por molinete, durante una serie de años en una estación fluviométrica.

En función de lo expuesto, este estudio se basa en la determinación del factor hidráulico y el factor geométrico de la ecuación de Manning y la relación matemática con otras características hidráulicas de la estación Forel, río Maule, VII Región de Chile.

Por otra parte, la aplicación de esta ecuación puede aportar una nueva metodología para la estimación de caudales a partir de variables geométricas e hidráulicas en cauces naturales, de modo que, faciliten la medición y el posterior análisis de los elementos que interesen al hidrólogo y al ingeniero.

## **2.- OBJETIVOS.**

### **Objetivo General.**

- Contribuir al estudio y la aplicación de la Ecuación de Manning en cauces naturales de la Región del Maule.

### **Objetivos específicos.**

- Determinar el factor geométrico y el factor hidráulico de la Ecuación de Manning en la estación Forel del río Maule.
- Determinar la relación matemática entre los factores geométricos e hidráulicos y la altura limnimétrica del agua, para la estimación de caudales en la estación Forel del río Maule, VII Región.

### **3.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

#### **3.1.- Medición de Caudal.**

La medición del caudal de un río ha sido de interés de antiguas civilizaciones. Sin embargo, en los últimos 50 años, la creación de instituciones encargadas de los recursos hídricos de una cuenca y los avances tecnológicos logrados en este campo, pueden asegurar registros fluviométricos periódicos, precisos y confiables.

Kazmann (1974), señala que a partir de la ecuación de continuidad, se han elaborado numerosos métodos para la medición del gasto, pero la mayoría se basan en dos pasos principales. El primer paso, es la medición de la velocidad media de la corriente. El segundo paso, es determinar el área mediante la medición del perfil de la sección transversal del río. Así, se define lo siguiente:

$$Q = A \times V \quad (1)$$

Donde:

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ );  $A$  = Área de la sección transversal del río ( $m^2$ );  $V$  = Velocidad de la corriente ( $m/s$ ).

#### **3.2.- Ecuación de Manning y su aplicación.**

La Ecuación de Manning es un método que se basa en la relación matemática de las características geométricas e hidráulicas del río (Linsley *et al*, 1988). La expresión matemática esta dada por:

$$Q = (1 / n) \times S^{1/2} \times R^{2/3} \times A \quad (2)$$

Donde:

**Q** = Caudal ( $m^3/s$ ); **S** = Pendiente de la línea de energía del agua; **n** = Coeficiente de rugosidad del lecho del río (extraída de tabla); **R** = Radio hidráulico (m); **A** = Area de la sección transversal del río ( $m^2$ ).

Hoy en día, su uso esta referido principalmente a la ingeniería hidráulica de acueductos y canales, debido a la dificultad que posee la medición en terreno de las variables mencionadas en esta ecuación (Linsley *et al*, 1992). En canales, se han diseñado bastantes programas computacionales (HEC-RAS, VLSYSTEMS, WRCS, Manning's Calculator, HIDRAtools, OPUS, etc.)<sup>1</sup>, que facilitan la medición del gasto.

Según Linsley *et al* (1988), la principal fuente de error al aplicar la ecuación (2), se produce al estimar el coeficiente de rugosidad  $n$ , dado que  $Q$  es inversamente proporcional a  $n$ . Puesto que el valor promedio de  $n$  para corrientes naturales es de alrededor de 0.035, un error de 0.001 en el valor de  $n$ , representa aproximadamente el 3 % en caudal. Además, señala que pueden existir dudas acerca de la variabilidad de la sección transversal, debido a que a menudo los ríos forman cauces durante caudales altos y redepositan material en los caudales bajos. En las condiciones más favorables, se puede esperar un error del 10 % utilizando esta ecuación.

Kazmann (1974), afirma que es imposible estimar el error probable en las mediciones realizadas con la ecuación de Manning (2), pero dicho error es ciertamente más alto que el error estándar para aforos "buenos" publicados por el U.S Geological Survey (U.S.G.S). El U.S.G.S considera buenos los aforos cuando tienen un valor dentro del 5 % de los valores exactos. Se ha estimado que al aplicar la ecuación de Manning las predicciones pueden variar desde el 15 % hasta el 20 %. Sin embargo, este método es

---

<sup>1</sup>Internet, 1998:

**HEC-RAS**; <http://www.haestad.com/hecras.htm>

**WRCS**; <http://www.waterengr.com/>

**MANNING'S CALCULATOR**; <http://www.cyberus.ca/>

**VL SYSTEMS**; [http://www.vlsystems.com/v\\_manningeq.htm](http://www.vlsystems.com/v_manningeq.htm)

**HIDRATOOLS**; <http://www.ramss.com/hydtools.html>

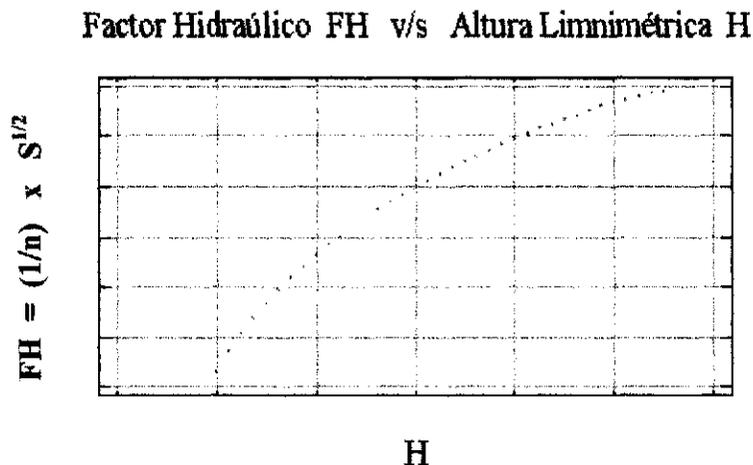
**OPUS**; <http://www.gsf.de/UFIS/modell59/glc359.html>

recorrido cuando otros métodos fallan o en condiciones extraordinarias. Bajo estas circunstancias, un más o un menos del 20%, pueden ser aceptables si se utiliza la información con esta limitación en mente.

### 3.3.- Relación matemática entre los factores Hidráulicos - Geométricos y la Altura limnimétrica del río.

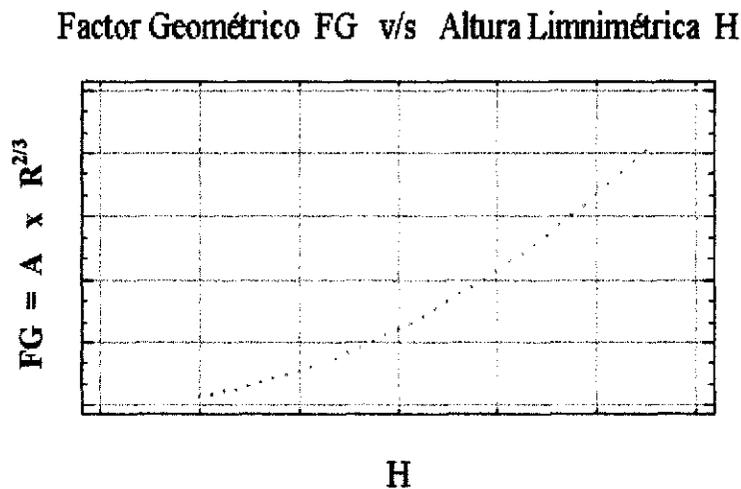
Según Domínguez (1945), la expresión  $(1/n) \times S^{1/2}$  de la ecuación (2), se conoce como Factor Hidráulico (FH), o bien, Coeficiente de Manning. Este factor mide la capacidad de desagüe de un río. La aplicación de esta ecuación en canales revela que el valor de éste fluctúa entre 0.4 y 2.5. Para caudales altos, este término tiende a un valor constante dado que no se ve influenciado por las condiciones del lecho.

Para Díaz (1991), se puede construir una gráfica del Factor Hidráulico y la Altura Limnimétrica (F.H. v/s H), llevando las alturas de aguas en la abscisa y el término  $(1/n) \times S^{1/2}$  en la ordenada (Figura 1). La relación entre estas dos variables revela un comportamiento logarítmico.



**FIGURA 1:** Gráfico Factor Hidráulico v/s Altura Limnimétrica.

El segundo término de la ecuación de Manning es  $A \times R^{2/3}$ , lo que se conoce como factor geométrico (FG). Para Díaz (1991), este factor solo depende de las características geométricas de la sección y mediante el correspondiente perfil de la misma, puede conocerse para cualquier nivel de agua. Luego, se construye una gráfica del Factor Geométrico y la Altura Limnimétrica (F.G. v/s H), llevando las alturas de aguas en la abscisa y el término  $A \times R^{2/3}$  en la ordenada (Figura 2). La relación entre estas dos variables revela un comportamiento potencial.



**FIGURA 2:** Gráfico Factor Geométrico v/s Altura Limnimétrica

### **3.4.- Estimación del Caudal de un río.**

A partir del análisis anterior, se puede estimar el caudal instantáneo de un río, mediante la estimación de los factores geométricos e hidráulicos. De modo que:

La ecuación de manning (2) esta dada por  $Q = (1/n) \times S^{1/2} \times R^{2/3} \times A$

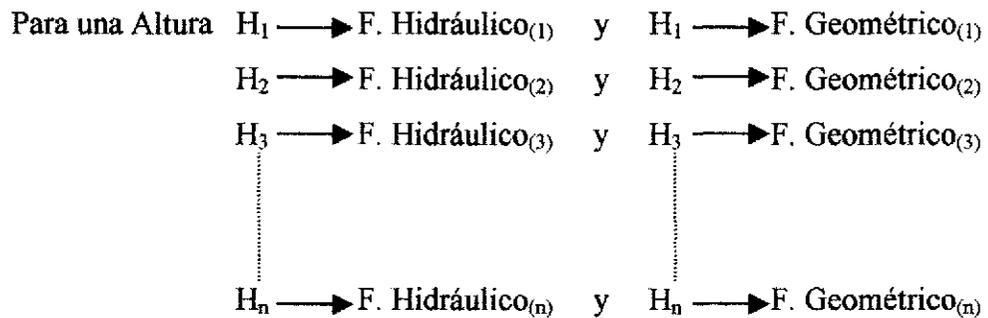
El factor hidráulico FH es igual a  $(1/n) \times S^{1/2}$  y

El factor geométrico FG es igual a  $R^{2/3} \times A$

Por ende, el caudal instantáneo queda expresado por medio de estos 2 factores, de la siguiente forma:

$$Q \text{ (caudal)} = FH \times FG \quad (3)$$

Ahora bien; el comportamiento de los factores hidráulico y geométrico con relación a la altura limnimétrica del río, indica que es posible determinar estos factores por medio del ajuste de estas curvas a una función matemática conocida. Por lo tanto, se conocerán los valores de cada factor para una altura determinada del nivel de las aguas (Díaz, 1991).



Luego, mediante la ecuación de Manning se puede estimar el caudal instantáneo de un río a la altura  $i$ , por medio de la siguiente expresión:

$$Q \text{ (caudal)} H_i = FH_i \times FG_i \quad (4)$$

Posteriormente, esto permite deducir una curva de gastos  $Q = Q(H)$ , mediante la aplicación de esta ecuación y del ajuste matemático de los valores en función de la altura limnimétrica “H” (Cirugeda, s.a), obteniéndose así, una estimación adecuada del caudal (Q) del río.

## **4.- METODOLOGÍA.**

La metodología se dividió en 2 partes. Primero, el método que se utilizó para llevar a cabo este estudio se dividió en 8 fases de trabajos distintas, de tal modo de permitir una mejor comprensión. Y en la segunda parte, se mencionan los materiales, equipos y programas computacionales que se ocuparon en el estudio.

### **4.1.- Método.**

#### **4.1.1.- Revisión Bibliográfica.**

La revisión bibliográfica contempló la recopilación de información respecto al tema y su posterior análisis. La recopilación se hizo sobre la base de la información encontrada en textos especializados e INTERNET.

En este sentido, la información recopilada respecto de este tema específico corresponde a la teoría presentada en el Capítulo 3 (Revisión Bibliográfica) e información necesaria para complementar el Capítulo 4 (Metodología). Además, se debe añadir la información extraída de los textos de Estadística y Econometría que serán utilizados en el Capítulo 5 de este estudio.

#### **4.1.2.- Selección de la estación fluviométrica.**

Según el Mapa de estaciones fluviométricas de la Dirección de Aguas, existen 32 estaciones en la VII Región (Ver Apéndice 1).

Los criterios de selección de la estación a estudiar se hicieron considerando que tenga toda la información fluviométrica requerida para el estudio. Esto se refiere al tipo,

cantidad y periodicidad de los datos. Cabe señalar, que la D.G.A VII Región recomendó realizar el estudio en la estación Forel del río Maule.

De acuerdo a lo anterior, se seleccionó la estación Forel del río Maule, ubicada en las coordenadas 35° 25' de Latitud Sur y 72° 13' de Longitud Norte, con una altitud de 6 msnm.

#### **4.1.3.- Obtención de la Información requerida.**

Los datos hidráulicos y la información necesaria para desarrollar esta investigación fueron aportados por la Dirección General de Aguas VII Región. Los antecedentes fluviométricos entregados por ésta, fueron los aforos de caudal líquido realizados en esta estación para el período comprendido entre Enero de 1985 y Julio de 1998. Además, facilitó el Manual básico para la Instrucción de Hidromensores.

#### **4.1.4.- Cálculo de parámetros hidráulicos.**

Un aforo de caudal líquido (ver Anexo I) entrega información de:

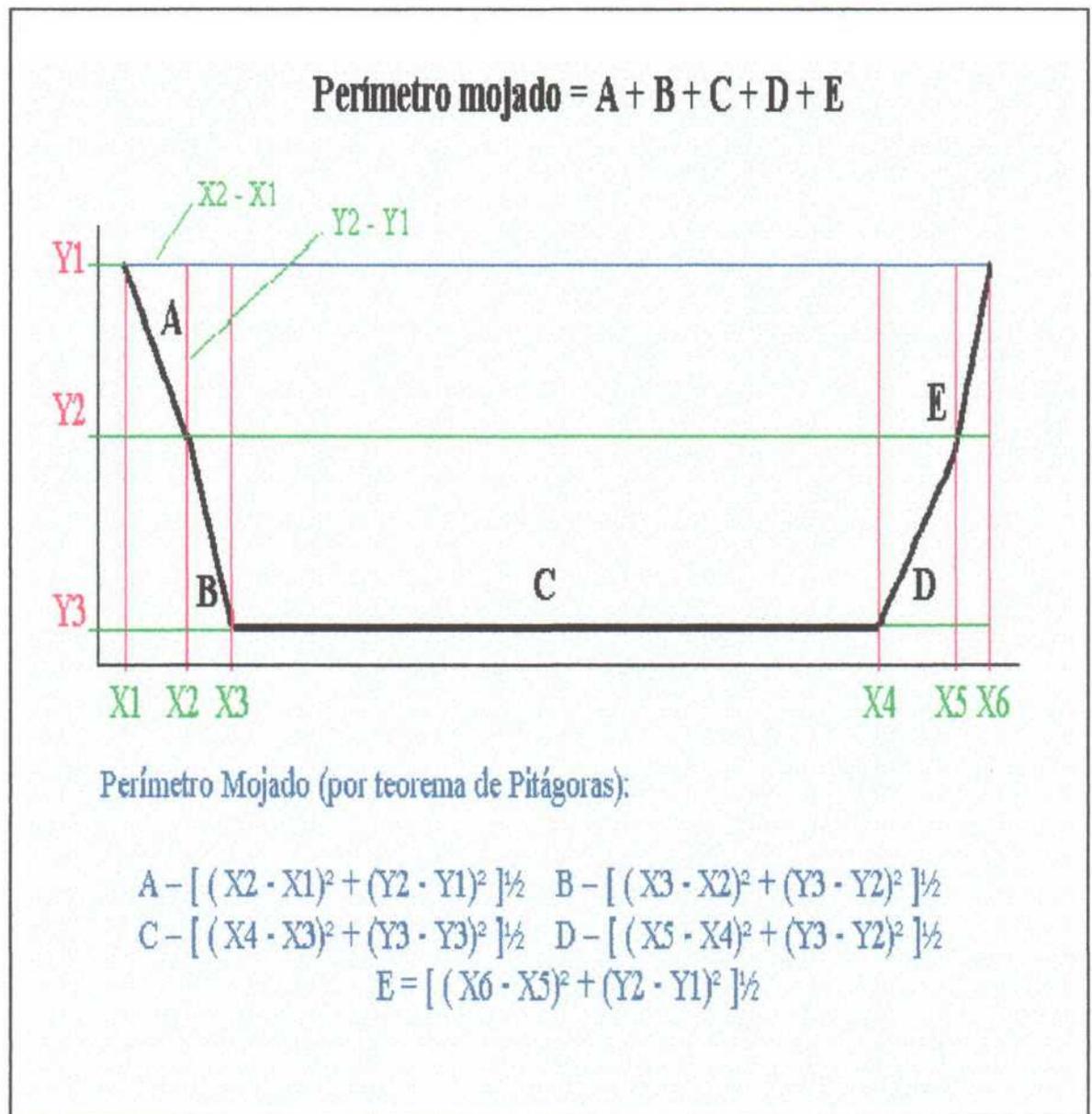
**Medición Preliminar:** Se realiza en terreno. Para esto se mide, la velocidad en (m/s), medida a distintas alturas con el molinete; Coordenadas x (abscisa) e y (ordenada o profundidad) de los puntos de medición (m); Ancho del lecho (m); Altura limnimétrica del nivel de las aguas; Mediciones y antecedentes referidas al instrumental.

**Resultados:** Se realiza en gabinete. Este informe entrega los resultados de caudal ( $m^3/s$ ), área de la sección transversal ( $m^2$ ) y de la velocidad media (m/s) del río.

A partir de esta información se realizó el cálculo de los siguientes parámetros:

### a.- Perímetro Mojado.

El perímetro mojado es un parámetro hidráulico que corresponde a la longitud del fondo del lecho. En la figura 3, el perímetro mojado está dado por la suma de los segmentos A, B, C, D y E.



**FIGURA 3:** Cálculo del Perímetro mojado de un río.

Según la Figura 3, el cálculo del perímetro mojado se hizo de la siguiente forma:

- 1.- Unir los puntos dados por las coordenadas x e y que entrega el aforo de caudal líquido.
- 2.- Aplicar el teorema de Pitágoras.
- 3.- Sumar los segmentos que abarcan el ancho del lecho.

Este procedimiento resulta ser tedioso cuando se realiza en forma manual. Sin embargo, en este estudio fue necesario utilizar una planilla electrónica (Microsoft EXCEL) (ver Anexo II).

**b.- Radio hidráulico.**

El Radio hidráulico corresponde a la relación matemática entre el perímetro mojado y el área de la sección transversal del río.

$$RH = \frac{A}{Pm}$$

Donde:

A : Área de la sección transversal del río (m).

Pm : Perímetro mojado (m).

Para determinar los parámetros (Perímetro mojado y Radio hidráulico), se trabajaron con 117<sup>2</sup> datos mensuales (Enero 85 – Diciembre 94) entregados por el aforo de caudal líquido de la estación Forel.

---

(2) 10 años x 12 meses = 120 datos mensuales, faltan 3 meses: Mayo 91, Julio 92, Junio 93.

#### **4.1.5.- Determinación del factor geométrico y el factor hidráulico.**

La determinación de los factores hidráulicos y geométricos (Anexo III) se realizó a partir de los 117 datos mensuales (Enero 85 – Diciembre 94).

El factor geométrico (F.G) se determinó para cada aforo mediante la expresión matemática  $A \times R^{2/3}$ . Luego se construyó una gráfica (F.G v/s H) entre la altura limnimétrica (H) y este factor.

$$FG = A \times R^{2/3}$$

El factor hidráulico (F.H) se determinó para cada aforo mediante la ecuación (2). Luego se construyó una gráfica (F.H v/s H) entre la altura limnimétrica (H) y este factor.

$$FH = Q_{\text{molinete}} / ( A \times R^{2/3} ) = ( 1 / n ) \times S^{1/2}$$

Luego, se calibraron con 117 datos mensuales del aforo los ajustes matemáticos entre los factores (FH y FG) y la altura limnimétrica del río. Finalmente, se validaron los modelos (FH v/s H y FG v/s H) con 37 mediciones mensuales que corresponden al período (Enero 95 – Julio 98).

#### **4.1.6.- Determinación de la relación matemática entre los factores geométricos e hidráulicos y la altura limnimétrica.**

Esta relación se determinó de acuerdo a las gráficas hechas mediante el programa computacional STATGRAPHICS Plus. Esto reveló, si era posible ajustar una función matemática a estas variables y la altura limnimétrica del nivel de las aguas. De este modo, se puede generar una función  $F.H = f(H)$  y  $F.G = g(H)$ .

#### **4.1.7.- Análisis Estadístico.**

Para conocer el comportamiento de las variables involucradas en este estudio fue necesario probar funciones de regresión.

##### **4.1.7.1.- Determinación de la Bondad del Ajuste Obtenido.**

Mediante el Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) se determinó la bondad del ajuste a cada función modelada. Este coeficiente representa el porcentaje de variación de los datos reales que es explicado por el modelo seleccionado. De este modo, se escogió el modelo con mayor  $R^2$ .

##### **4.1.7.2.- Análisis de Regresión.**

Se analizaron los supuestos de regresión para la función modelada  $FH = FH(H)$  y  $FG = FG(H)$ . Este análisis consta de probar los supuestos de Normalidad, Homocedasticidad y no autocorrelación. En esta actividad, se utilizaron métodos gráficos y matemáticos

###### **a.- Supuesto de Normalidad.-**

Las pruebas para determinar si se cumple o no el supuesto de normalidad, o sea, que las perturbaciones poblacionales tienen una distribución normal, son el Test de Kolmogorov – Smirnov y el gráfico de Histogramas de frecuencias.

###### **(i) Test de Kolmogorov – Smirnov.**

El test de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov (K-S) está basado en un estadístico que mide la desviación de la frecuencia observada acumulada con relación a la frecuencia teórica acumulada. Este test es válido para distribuciones continuas. Sin

embargo, sirve tanto para muestras grandes como para muestras chicas. (Cid *et al*, 1990; Pizarro *et al*, 1986; Shao, 1990).

Además, el test K-S viene incorporado en numerosos programas estadísticos actuales, como por ejemplo, el programa STATGRAPHICS Plus. Una vez ingresados los datos correspondientes, el programa entrega los siguientes resultados:

**Test Kolmogorov – Smirnov (95% de confianza)**

Estadístico Kolmogorov DPLUS = 0.0527112

Estadístico Kolmogorov DMINUS = 0.095529

Estadístico DN = 0.095529

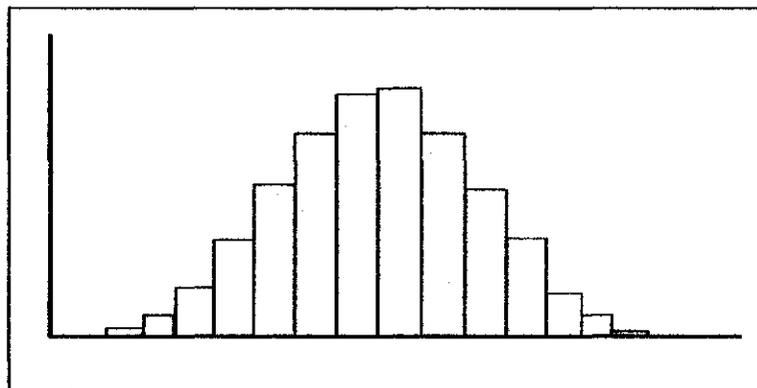
Valor-p Aproximado = 0.249933

✓ Si el valor-p > 0.05 ⇒ Se acepta Ho (Ho: El ajuste cumple la condición de normalidad).

✓ Si el valor-p < 0.05 ⇒ Se rechaza Ha (Ha: El Ajuste no cumple con la condición de normalidad).

**(ii) Histograma de frecuencias.**

Una de las pruebas más simples para verificar la normalidad de los residuos, se basa en utilizar un análisis gráfico, como por ejemplo, el histograma de frecuencias. Este se basa en la simetría de las frecuencias observadas y dos colas livianas en sus extremos, de modo que, se asemeje a la figura 4. (Cid *et al*, 1990).



**FIGURA 4:** Histograma de frecuencias.

**b.- Supuesto de Homocedasticidad.-**

Un supuesto importante del modelo clásico de regresión lineal, es que las perturbaciones de la función de regresión poblacional son homocedásticas, es decir, que todas tienen la misma varianza. El test que se utilizó para detectar la heterocedasticidad, es la prueba de Goldfeld – Quandt. El método gráfico utilizado fue el Diagrama de dispersión, en donde, se graficaron los residuos estimados al cuadrado y el valor estimado de la variable dependiente.

**(i) Prueba Goldfeld – Quandt.**

Este test detecta la presencia de la heterocedasticidad de las varianzas, por medio de una prueba de hipótesis que considera una hipótesis nula de homocedasticidad, contra la hipótesis alternativa de heterocedasticidad. Este método es muy popular y de aplicación sencilla. La prueba consiste en 7 pasos: (ver Anexo IV).

**Paso 1:** Construir una tabla con los datos de origen X e Y (Planilla electrónica).

**Paso 2:** Ordenar los datos de menor a mayor según la magnitud de la variable X.

**Paso 3:** Omitir las  $c$  observaciones centrales. Donde:  $c = n/3$ ,  $n$ : número de datos.

**Paso 4:** Ajustar 2 Rectas de regresión independientes ( $R_1$  y  $R_2$ ), que corresponden a 2 grupos de datos generados por la omisión de los datos centrales.

**Paso 5:** Calcular la suma de cuadrados de los residuos de cada una de las rectas ( $SCE_1$  y  $SCE_2$ ).

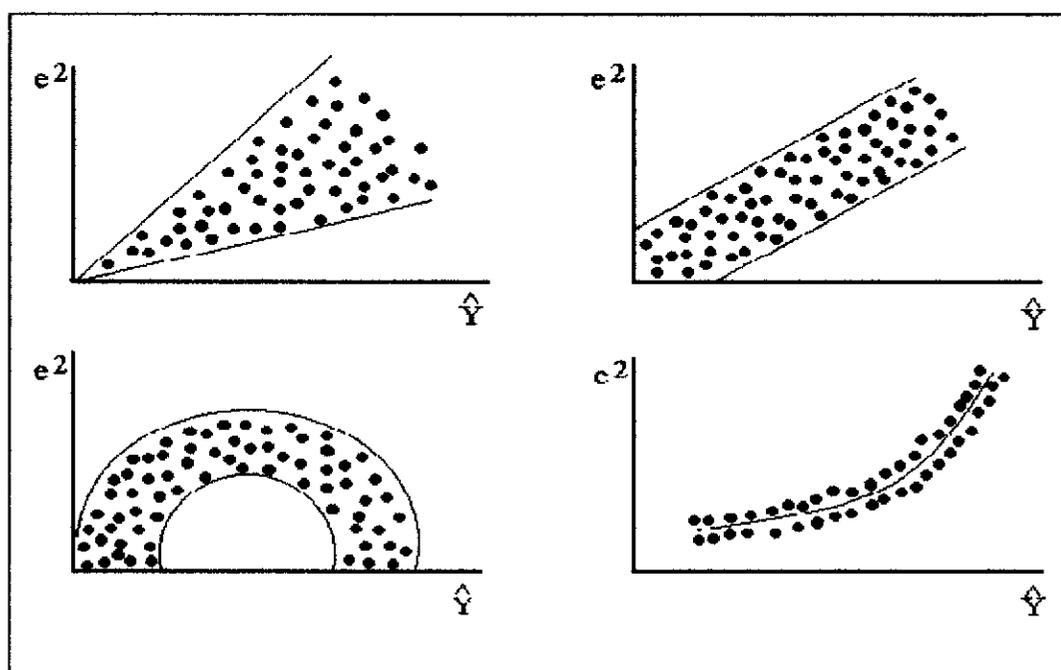
**Paso 6:** Calcular  $k = (SCE_1/g.l) / (SCE_2/g.l)$ . Este se distribuye como un estadístico F con  $[ (n - c)/2 - 2 ]$  grados de libertad (g.l.).

**Paso 7:** Comparar el valor k de tabla con el k calculado anteriormente. Si  $k(\text{tabla})$  es mayor a  $k(\text{calculado})$ , entonces para un nivel de confianza (95%), se acepta la hipótesis nula de homocedasticidad.

Si no se elimina ninguna observación central, la prueba sigue siendo correcta, pero pone de manifiesto que la eliminación de aquellas observaciones asociadas con errores de varianzas casi iguales, aumenta la potencia de la prueba. (Pindyck *et al*, 1980).

**(ii) Diagrama de dispersión de los residuos.**

Este método gráfico detecta la heterocedasticidad a través de la presencia de patrones de comportamiento sistemático de los residuos. Para esto, se construye un gráfico de los residuos estimados al cuadrado (ordenada) y los valores estimados de la variable dependiente (abscisa). Con este gráfico se puede inferir si existe o no un comportamiento sistemático de acuerdo a algunos patrones, como se muestra en la figura 5. (Gujarati, 1992).



**FIGURA 5:** Gráfico de dispersión de los residuos con presencia de heterocedasticidad.

**c.- Supuesto de no-autocorrelación.**

Un supuesto también importante del modelo de regresión lineal es que no existe autocorrelación o relación serial entre las perturbaciones que entran en la función de

regresión poblacional, es decir, no debe existir una correlación entre las perturbaciones de una serie de observaciones ordenadas en el tiempo. La prueba que se utilizó para detectar autocorrelación es la prueba  $d$  de Durbin – Watson. El método gráfico utilizado es una gráfica entre los residuos del modelo y el tiempo.

**(i) Prueba de Durbin – Watson.**

Una de las pruebas más utilizadas para detectar la presencia de autocorrelación de los residuos de un modelo, es la prueba  $d$  de Durbin – Watson. Este valor viene dado por la siguiente expresión:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n [ e_{t-1} - e_t ]}{\sum_{t=1}^n [ e_t^2 ]}$$

El programa STATGRAPHICS Plus entrega de forma inmediata este valor. Las reglas de decisión de esta prueba se muestran en la tabla 1. El nivel de confianza utilizado en esta prueba fue de 95%.

**TABLA 1:** Reglas de decisión de la prueba Durbin – Watson.

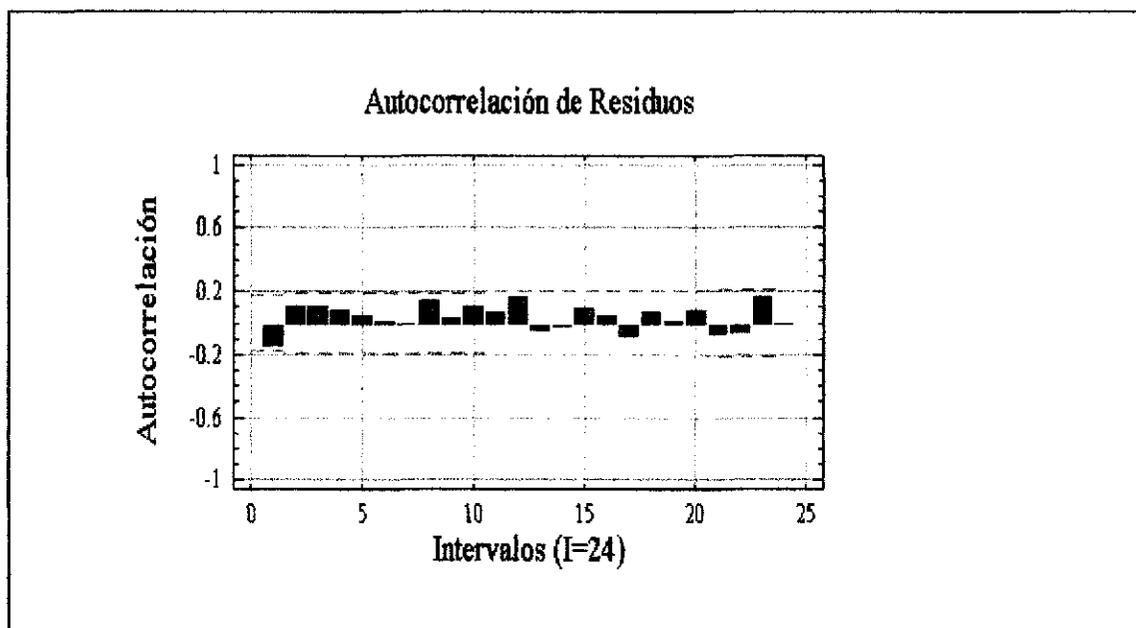
Hipótesis Nula	Decisión	Si
No existe autocorrelación positiva	Rechazar	$0 < d < d_L$
No existe autocorrelación positiva	No hay decisión	$d_L \leq d \leq d_U$
No existe autocorrelación negativa	Rechazar	$4 - d_U < d < 4$
No existe correlación negativa	No hay decisión	$4 - d_U \leq d \leq 4 - d_L$
No existe autocorrelación positiva o negativa	No rechazar	$d_U < d < 4 - d_U$

$d$ : valor de Durbin–Watson;  $d_L$ : valor crítico inferior;  $d_U$ : valor crítico superior. (Gujarati, 1992).

**(ii) Gráfica de los residuos v/s tiempo.**

Esta prueba se basa en el análisis de una serie de tiempo por medio de una gráfica entre los residuos obtenidos del ajuste de un modelo y el tiempo. La figura 6, indica que

existe un intervalo de confianza representado por una línea punteada, donde el número de frecuencias de los residuos está dado por "I" intervalos ( $I = 24$ ). La existencia de una o más frecuencias fuera del intervalo, revela la presencia de autocorrelación, de lo contrario, no existe correlación serial en el modelo.



**FIGURA 6:** Gráfico de autocorrelación de residuos. (No existe autocorrelación).

#### 4.1.7.3.- Corrección de modelos.

Los modelos con problemas de heterocedasticidad se corrigieron con una transformación logarítmica en las variables incluidas en el ajuste, mientras que, los modelos con presencia de autocorrelación se corrigieron con el método  $\rho$ .

##### (a) Transformación Logarítmica.

Cuando se está en presencia de modelos con problemas de heterocedasticidad, una solución más recurrente y usual, es la aplicación de logaritmos a las variables incluidas en él. Estas relaciones comprimen las escalas en las que se miden las variables, reduciendo así,

una diferencia de 10 veces a una de 2 veces. Luego, el nuevo modelo queda  $\ln Y = a + b \ln X$ .

**(b) Método  $\rho$ .**

Cuando se detecta la presencia de autocorrelación, se debe aplicar una medida correctiva. En este estudio se aplicó el método  $\rho$  que está basado en el estadístico de Durbin – Watson. Este procedimiento consta de 5 pasos (Gujarati,1992; Cid *et al*, 1990):

**Paso 1:** Determinar  $\rho$ , donde  $\rho = (1 - d/2)$ ,  $d$ : estadístico de Durbin – Watson.

**Paso 2:** Transformación de Variables.

Se tiene el modelo original (1)  $Y_t = a + b X_t$ .

Si la expresión (1) se cumple para  $t$ , también se cumple para  $t - 1$ .

Luego, se tiene (2)  $Y_{t-1} = a + b X_{t-1}$ .

Ahora, multiplicando la expresión (2) por  $\rho$ , queda:

(3)  $\rho Y_{t-1} = \rho a + \rho b X_{t-1}$ .

Restando (1) con (3), se obtiene lo siguiente:

$Y_t^* = a^* + b^* X_t^*$

Donde:  $a^* = a(1 - \rho)$ ,  $Y_t^* = (Y_t - \rho Y_{t-1})$ ,  $X_t^* = (X_t - \rho X_{t-1})$ .

**Paso 3:** Correr la regresión  $Y_t^*$  v/s  $X_t^*$ .

**Paso 4:** Determinar los coeficientes de regresión originales  $a$  y  $b$ . Donde:

$a = a^*/(1 - \rho)$  y  $b = b^*$

**Paso 5:** Verificar la no-autocorrelación de los modelos (Test de Durbin – Watson).

Si persiste este problema, se debe iterar el procedimiento nuevamente, ya que existen modelos con autocorrelación mayor a primer orden.

#### **4.1.7.4.- Modelos No Paramétricos.**

Se probaron modelos no-paramétricos para encontrar una relación matemática más satisfactoria entre las variables en estudio. Los modelos utilizados en esta investigación fueron los siguientes (Pizarro, 1996):

**Modelo (1)**  $FH = H * e^{(-k/H)}$

**Modelo (2)**  $FH = H * ( 1 - e^{(-H/k)} )$

**Modelo (3)**  $FG = H * e^{(-k/H)}$

**Modelo (4)**  $FG = H * ( 1 - e^{(-H/k)} )$

Por otro lado, se validaron estadísticamente los ajustes por medio de una prueba de bondad de ajuste. La prueba utilizada fue Kolmogorov – Smirnov con un 95% de confianza. Además, se determinó un porcentaje de diferencia entre lo esperado y lo obtenido, de modo que se obtuviese una mayor comprensión de los resultados y su análisis.

Se analizaron estadísticamente los resultados de los caudales entregados por el modelo y los caudales obtenidos con el aforo por molinete. Además, se estableció un análisis de factores para determinar el factor de mayor incidencia dentro de las diferencias encontradas entre los resultados de la aplicación de los modelos y los datos reales.

#### **4.1.8.- Discusión, Conclusiones y Recomendaciones.**

A partir del procesamiento de los datos y la obtención de gráficas, se puede discutir, concluir y/o recomendar respecto de: (1) La determinación de los factores hidráulicos y geométricos y su relación matemática con la altura limnimétrica del río. (2) La validez de los ajustes para estimar el caudal mediante la ecuación de Manning. (3) Los valores entregados por cada uno de los métodos mencionados. (4) Recomendar o no el uso de la ecuación de Manning, para la estimación de caudales en cauces abiertos.

#### **4.2.- Materiales y Equipos**

Para la realización de este estudio se utilizaron, básicamente, los siguientes materiales y equipos:

- Datos fluviométricos de los aforos de caudal realizados en la estación Forel, ubicada en el río Maule, durante el período Enero de 1985 a Julio de 1998.
  
- Manual básico para la Instrucción de Hidromensores.
  
- Equipos computacionales (P.C. e impresora)
  
- Programas computacionales para el procesamiento de datos, análisis estadístico, desarrollo escrito del estudio y presentación final.
  - Planilla Electrónica: Excel versión 7.0.
  - Procesador de Texto: Word versión 7.0.
  - Programa Estadístico: Statgraphics Plus versión 1.4 para windows.
  - Programa Estadístico: Statgraphics versión 4.0 para D.O.S.
  - Programa de Dibujo: Paint para windows.

## 5.- RESULTADOS.

## 5.1.- Cálculo de los parámetros hidráulicos.

TABLA 2: Cálculo de los Parámetros Hidráulicos.

Año / Mes	Pm (m)	Rh (m)	Año / Mes	Pm (m)	Rh (m)	Año / Mes	Pm (m)	Rh (m)
85 Enero	142.25	5.89	Mayo	140.90	6.27	Septiembre	159.33	6.60
Febrero	120.98	5.77	Junio	167.76	7.59	Octubre	151.06	6.16
Marzo	125.50	5.79	Julio	151.50	6.87	Noviembre	150.25	6.11
Abril	129.94	5.98	Agosto	154.15	7.07	Diciembre	156.77	6.03
Mayo	163.73	6.29	Septiembre	148.92	6.59	92 Enero	143.52	6.03
Junio	131.16	6.33	Octubre	146.79	6.24	Febrero	142.87	5.97
Julio	148.91	7.20	Noviembre	146.79	6.34	Marzo	144.20	6.07
Agosto	131.08	6.35	Diciembre	140.70	6.17	Abril	143.99	5.92
Septiembre	130.86	6.14	89 Enero	137.11	5.90	Mayo	161.63	7.51
Octubre	137.92	6.11	Febrero	137.10	5.65	Junio	189.03	10.79
Noviembre	130.89	5.77	Marzo	139.31	5.88	Julio	-	-
Diciembre	124.88	5.99	Abril	141.86	6.09	Agosto	154.03	6.19
86 Enero	122.60	5.65	Mayo	138.81	5.81	Septiembre	156.52	6.48
Febrero	123.10	5.78	Junio	139.55	5.97	Octubre	148.04	6.04
Marzo	125.40	5.86	Julio	143.15	6.20	Noviembre	159.52	6.82
Abril	145.46	6.53	Agosto	142.44	6.40	Diciembre	154.45	6.20
Mayo	132.82	5.85	Septiembre	147.97	6.41	93 Enero	144.71	5.76
Junio	167.82	9.16	Octubre	140.95	6.37	Febrero	134.54	5.31
Julio	180.37	5.91	Noviembre	139.14	6.08	Marzo	142.91	5.62
Agosto	180.72	9.61	Diciembre	139.34	6.11	Abril	147.38	5.87
Septiembre	157.80	7.95	90 Enero	144.44	6.40	Mayo	154.50	6.10
Octubre	153.07	7.57	Febrero	136.65	5.77	Junio	-	-
Noviembre	149.77	7.48	Marzo	135.70	5.86	Julio	161.16	6.37
Diciembre	153.55	8.28	Abril	142.87	6.30	Agosto	155.41	6.07
87 Enero	145.05	7.88	Mayo	147.58	6.32	Septiembre	146.47	6.28
Febrero	144.79	7.71	Junio	142.52	6.18	Octubre	164.50	5.29
Marzo	145.34	7.75	Julio	139.31	6.02	Noviembre	148.51	5.68
Abril	144.67	7.85	Agosto	140.69	6.06	Diciembre	142.12	5.04
Mayo	146.02	7.83	Septiembre	153.91	6.85	94 Enero	136.77	5.15
Junio	148.23	7.48	Octubre	142.10	6.15	Febrero	135.98	5.04
Julio	158.24	8.10	Noviembre	141.47	6.13	Marzo	146.37	5.59
Agosto	169.31	7.62	Diciembre	137.05	5.65	Abril	140.84	5.33
Septiembre	151.96	6.95	91 Enero	134.01	5.36	Mayo	141.46	5.29
Octubre	152.58	6.71	Febrero	133.37	5.15	Junio	154.42	5.98
Noviembre	155.49	7.06	Marzo	136.59	5.79	Julio	205.80	8.95
Diciembre	146.13	6.95	Abril	138.20	5.58	Agosto	151.21	5.63
88 Enero	138.48	6.20	Mayo	-	-	Septiembre	150.65	5.54
Febrero	139.38	6.16	Junio	181.00	6.89	Octubre	148.90	5.30
Marzo	141.66	6.29	Julio	161.70	7.52	Noviembre	144.37	5.08
Abril	143.29	6.46	Agosto	160.47	6.35	Diciembre	140.69	5.14

Los resultados de la tabla 2, muestran los valores mensuales del Perímetro Mojado (Pm) y del Radio hidráulico (RH) para el período comprendido entre Enero de 1985 y Diciembre de 1994 (117 valores). El rango de valores del perímetro mojado varía entre los 92.2 y 316.4 metros y, su mayor frecuencia de ocurrencia, está dentro del intervalo de [133.3 – 146.6] metros. Obviamente, estos valores aumentan cuando existen crecidas de los ríos en períodos invernales. Por otra parte, el radio hidráulico varía entre los 5.04 y 10.79 metros con una media y una desviación estándar iguales a 5.97 y 1.07 metros respectivamente.

La tabla 3, presenta los resultados del factor hidráulico (FH) y del factor geométrico (FG), para cada medición mensual realizada en esa estación, en el período comprendido entre Enero 1985 y Diciembre 1994 (117 valores). El rango de valores en que varía el factor hidráulico fluctúa entre 0.03 y 0.53, mientras que, para el factor geométrico fluctúan entre 2014.7 y 9955.1. Sin embargo, existen 3 datos mensuales que se alejan notoriamente del resto, estos son datos de los siguientes meses:

- Agosto (1986):	FH → 0.36	FG → 7849.9
- Junio (1992):	FH → 0.45	FG → 9955.1
- Julio (1994):	FH → 0.53	FG → 7939.9

Estos datos anómalos corresponden a 3 crecidas invernales ocurridas durante este período de 10 años (1985 – 1994).

Luego, estos factores fueron ajustados, en función de la altura limnimétrica del río, a un modelo de regresión, de modo que esta expresión matemática pueda explicar de buena forma el comportamiento de los factores hidráulico y geométrico para esa estación fluviométrica, a partir del registro de los niveles de agua en el lecho (ver tabla 4).

## 5.2.- Determinación de los factores hidráulicos y geométricos.

TABLA 3: Determinación de los Factores Hidráulicos y Geométricos.

Mes / Año	FH	FG	Mes / Año	FH	FG	Mes / Año	FH	FG
85 Enero	0.16	2733.1	Mayo	0.06	3004.9	Septiembre	0.13	3703.0
Febrero	0.06	2245.5	Junio	0.25	4914.6	Octubre	0.12	3128.7
Marzo	0.07	2343.2	Julio	0.14	3764.9	Noviembre	0.11	3065.6
Abril	0.10	2557.1	Agosto	0.17	4011.5	Diciembre	0.13	3132.7
Mayo	0.17	2933.9	Septiembre	0.15	3453.1	92 Enero	0.05	2863.0
Junio	0.12	2840.8	Octubre	0.11	3107.9	Febrero	0.06	2808.5
Julio	0.27	3997.6	Noviembre	0.12	3188.6	Marzo	0.08	2912.7
Agosto	0.12	2855.2	Diciembre	0.08	2919.6	Abril	0.07	2791.2
Septiembre	0.11	2694.0	89 Enero	0.06	2639.9	Mayo	0.18	4655.9
Octubre	0.14	2818.1	Febrero	0.05	2458.9	Junio	0.45	9955.1
Noviembre	0.09	2426.9	Marzo	0.07	2664.6	Julio	-	-
Diciembre	0.08	2465.7	Abril	0.08	2878.6	Agosto	0.15	3216.3
86 Enero	0.05	2196.8	Mayo	0.06	2605.6	Septiembre	0.18	3524.1
Febrero	0.07	2291.6	Junio	0.07	2739.5	Octubre	0.13	2967.0
Marzo	0.08	2385.0	Julio	0.10	2997.1	Noviembre	0.18	3913.2
Abril	0.23	3315.2	Agosto	0.09	3145.4	Diciembre	0.16	3233.6
Mayo	0.13	2519.1	Septiembre	0.11	3272.8	93 Enero	0.11	2677.7
Junio	0.12	6733.5	Octubre	0.07	3084.8	Febrero	0.05	2177.0
Julio	0.17	3486.3	Noviembre	0.06	2819.5	Marzo	0.09	2538.5
Agosto	0.36	7849.9	Diciembre	0.07	2845.5	Abril	0.12	2815.1
Septiembre	0.12	5001.4	90 Enero	0.03	3185.8	Mayo	0.19	3144.8
Octubre	0.10	4467.5	Febrero	0.04	2537.3	Junio	-	-
Noviembre	0.08	4282.8	Marzo	0.06	2583.9	Julio	0.22	3530.2
Diciembre	0.08	5199.6	Abril	0.09	3067.1	Agosto	0.19	3142.4
87 Enero	0.04	4521.1	Mayo	0.14	3189.2	Septiembre	0.20	3340.0
Febrero	0.04	4357.4	Junio	0.09	2967.0	Octubre	0.16	2643.7
Marzo	0.05	4407.4	Julio	0.07	2777.6	Noviembre	0.15	2683.7
Abril	0.04	4482.8	Agosto	0.09	2834.5	Diciembre	0.10	2105.9
Mayo	0.06	4505.6	Septiembre	0.19	3804.5	94 Enero	0.08	2102.0
Junio	0.05	4244.4	Octubre	0.10	2934.8	Febrero	0.07	2014.7
Julio	0.15	5173.1	Noviembre	0.10	2901.7	Marzo	0.12	2580.2
Agosto	0.22	4994.8	Diciembre	0.06	2459.4	Abril	0.09	2288.3
Septiembre	0.14	3846.2	91 Enero	0.04	2201.5	Mayo	0.09	2268.9
Octubre	0.16	3638.0	Febrero	0.04	2046.9	Junio	0.17	3042.1
Noviembre	0.19	4035.1	Marzo	0.07	2551.4	Julio	0.53	7939.9
Diciembre	0.09	3698.7	Abril	0.09	2426.1	Agosto	0.20	2691.2
88 Enero	0.04	2900.9	Mayo	-	-	Septiembre	0.20	2612.4
Febrero	0.04	2885.1	Junio	0.20	4517.9	Octubre	0.18	2397.4
Marzo	0.06	3033.7	Julio	0.17	4665.1	Noviembre	0.14	2165.7
Abril	0.08	3214.3	Agosto	0.17	3497.8	Diciembre	0.14	2152.4

## 5.3.- Gráfico de Tendencia y Ajuste de Modelos.

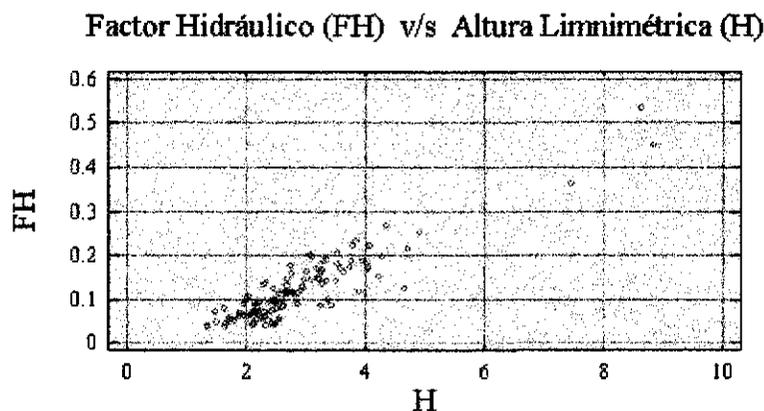


FIGURA 7: Gráfico de tendencia Factor Hidráulico v/s Altura Limnimétrica.

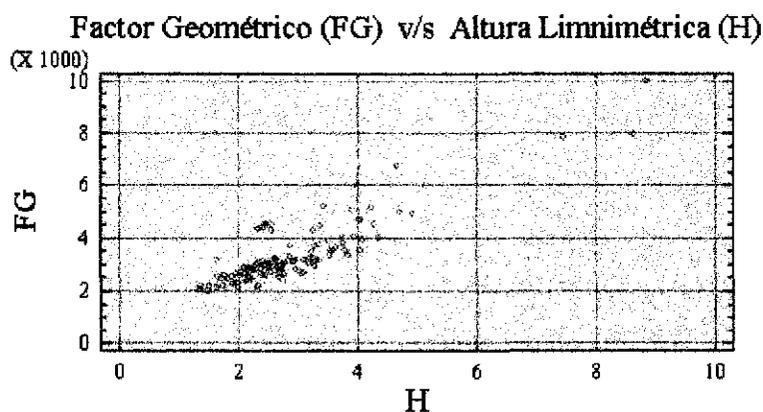


FIGURA 8: Gráfico de tendencia Factor Geométrico v/s Altura Limnimétrica.

TABLA 4: Ajustes de Modelos Matemáticos para FH v/s H y FG v/s H.

Modelos	R <sup>2</sup> (Modelo FH)	R <sup>2</sup> (Modelo FG)
Lineal (Y = a + bX)	83.21%	78.31% ✓
Raíz de X (Y = a + bSQRX)	81.45%	73.83%
Log probit (Y = Normal(a + bLogX))	76.75%	no ajustado
Raíz de Y (Y = (a + bX) <sup>2</sup> )	76.35%	75.64%
Logarítmico X (Y = a + bLogX)	75.41%	66.43%
Multiplicativo (Y = aX <sup>b</sup> )	73.26%	70.17%
Logístico (Y = (e <sup>(a + bX)</sup> )/(1 + e <sup>(a + bX)</sup> ))	69.77%	no ajustado
Curva-S (Y = e <sup>(a + bX)</sup> )	69.39%	59.29%
Exponencial (Y = e <sup>(a + bX)</sup> )	64.45%	71.26%
Doble Recíproco (Y = 1/(a + b/X))	62.58%	64.18%
Recíproco X (Y = (a + b/X))	58.68%	49.17%
Recíproco Y (Y = 1/(a + bX))	no ajustado	60.50%

## 5.4.- Resultados y Análisis Estadísticos.

### 5.4.1.- Modelo: Factor Hidráulico v/s Altura Limnimétrica

Con la información obtenida de la Tabla 4, quedó claro que el modelo de mejor ajuste resulta ser el modelo clásico lineal. El modelo seleccionado corresponde al siguiente:

$$FH = 0.0593733 H - 0.0506398 \quad R^2 = 83.96 \% \quad 117 \text{ Datos}$$

**TABLA 5:** Análisis de Regresión.

Variable Dependiente: FH			Variable Independiente: H	
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	-0.0506398	0.00753796	-6.71797	0.0000
Pendiente	0.0593733	0.00241978	24.5367	0.0000

Las dójimas de hipótesis para los coeficientes de la regresión (Pendiente e Intercepto) se indican a continuación:

\* Dójima de hipótesis para la Pendiente

Ho: Pendiente = 0

Ha: Pendiente  $\neq$  0

\* Dójima de hipótesis para el Intercepto

Ho: Intercepto = 0

Ha: Intercepto > 0

Al observar el "Valor-p" para la pendiente de la recta (Tabla 5), cuyo valor es cero, se puede concluir que la hipótesis nula se rechaza (el valor-p es inferior a  $\alpha/2$ ). Por lo tanto, las variables presentan una relación lineal entre ellas. De igual forma, se puede observar que el valor-p del intercepto es inferior a 0.05 ( $\alpha/2$ ), rechazándose la hipótesis nula.

**TABLA 6:** Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C. Medios	F	Valor-p
Modelo	0.564751	1	0.564751	602.05	0.0000
Error	0.107876	115	0.000938		
Total	0.672627	116			

Coefficiente de Correlación (r) = 0.916308      Estadístico Durbin-Watson = 0.477916  
Coeficiente de Determinación (R<sup>2</sup>) = 83.962 %      R<sup>2</sup> ajustado = 83.8226 %  
Error Estándar de la Estimación = 0.0306276      Error absoluto = 0.022648

Del análisis de varianza se verifica la tendencia lineal entre las variables. Adicionalmente se entrega el análisis de correlación del modelo, proporcionando el coeficiente de determinación, el coeficiente de determinación ajustado y el estadígrafo de Durbin – Watson. (ver Apéndice II).

Para mejorar la estimación del modelo, algunos autores sugieren eliminar los residuos inusuales cuando no excedan el 5% de la muestra total, otros en cambio aconsejan dejarlos, ya que si no hubo error en el registro de la información, dichos datos son representativos de la población (Vallejos, 1999). De acuerdo a lo expuesto, se decidió no eliminar datos inusuales. Sin embargo, otra opción de análisis de uso frecuente es la determinación de los puntos influyentes. Como se muestra en la figura 7 y la tabla 7, existen 3 datos que están alejados de la nube de puntos y que corresponden a:

- Mediciones en períodos de crecida que hidrológicamente se consideran anómalos.
- Existe una mayor probabilidad de error en los registros, dado la dificultad que presenta el río en condiciones de crecida y por ende, éstos pueden influir en la construcción del modelo.

**TABLA 7:** Puntos influyentes.

Fila	X	Y	Y estimado	Residuo Stnd.	Leverage
20	7.46	0.3599	0.392285	-1.14	0.139081
89	8.855	0.4471	0.47511	-1.04	0.230868
112	8.65	0.5336	0.462939	2.67	0.215857

Una vez detectados estos datos influyentes, se eligió la opción de eliminarlos del modelo. Luego, la nueva función estimadora del factor hidráulico (con N=114 datos), quedó expresado de la siguiente forma:

$$FH = 0.058002 H - 0.0469672 \quad R^2 = 69.43 \% \quad 114 \text{ Datos}$$

TABLA 8: Análisis de Regresión.

Variable Dependiente: FH			Variable Independiente: H	
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	-0.0469672	0.0103675	-4.53022	0.0000
Pendiente	0.058002	0.00363668	15.9492	0.0000

TABLA 9: Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.L	C. Medios	F	Valor-p
Modelo	0.229212	1	0.229212	254.38	0.0000
Error	0.10092	112	0.0009011		
Total	0.330133	113			

Coeficiente de Correlación ( $r$ ) = 0.833249      Estadístico Durbin-Watson = 0.511574  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 69.4303 %       $R^2$  ajustado = 69.4303 %  
 Error Estándar de la Estimación = 0.0300179      Error absoluto = 0.022105

Ahora bien, es necesario probar los supuestos básicos de un modelo de regresión lineal, porque no es solamente especificar la forma funcional del modelo, sino también se deben establecer inferencias acerca de los verdaderos valores de los parámetros poblacionales.

*Supuestos de Regresión Modelo Lineal  $FH = a + bH$ . (ver Apéndice III).*

Normalidad : Sí Cumple  
 Homocedasticidad : No Cumple  
 No Autocorrelación : No Cumple

Dado la presencia de heterocedasticidad de las varianzas, el estimador no pierde la propiedad de insesgamiento (mínima varianza), pero ya no posee la propiedad de eficiencia, por lo que resulta no ser el mejor estimador. La consecuencia de esto es que, al establecer intervalos de confianza y pruebas de hipótesis utilizando las pruebas t y F, estos intervalos serán innecesariamente mayores. Como resultado, estas pruebas entregarán resultados inexactos. Una forma práctica de reducir el problema de la heterocedasticidad es realizar

una transformación logarítmica ( $\ln FH = a + \ln H$ ). Una vez realizada la regresión, el modelo queda de la siguiente forma:

$$\ln FH = 1.467 \ln H - 3.73068 \quad R^2 = 67.43 \% \quad 114 \text{ Datos}$$

El resumen estadístico de la regresión y el análisis de varianza se muestran en las Tablas 10 y 11 respectivamente. (ver Apéndice IV).

**TABLA 10: Análisis de Regresión.**

Variable Dependiente: Ln FH			Variable Independiente: Ln H	
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	-3.73068	0.097278	-38.3508	0.0000
Pendiente	1.467	0.0963229	15.23	0.0000

**TABLA 11: Análisis de Varianza.**

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C. Medios	F	Valor-p
Modelo	19.1345	1	19.1345	231.95	0.0000
Error	9.23918	112	0.0824927		
Total	28.3736	113			

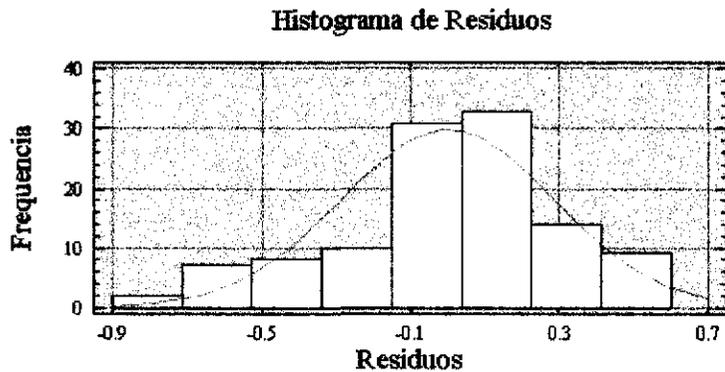
Estadístico Durbin-Watson = 0.342104  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 67.4374 %  
 Error Estándar de la Estimación = 0.287215

Error absoluto = 0.21609  
 $R^2$  ajustado = 67.1467 %

De igual forma, en el nuevo modelo se revisaron los supuestos de la regresión. Este análisis contempló pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y No-autocorrelación.

5.4.1.1.- Supuestos de Regresión para el modelo FH v/s H.

a.- Supuesto de Normalidad



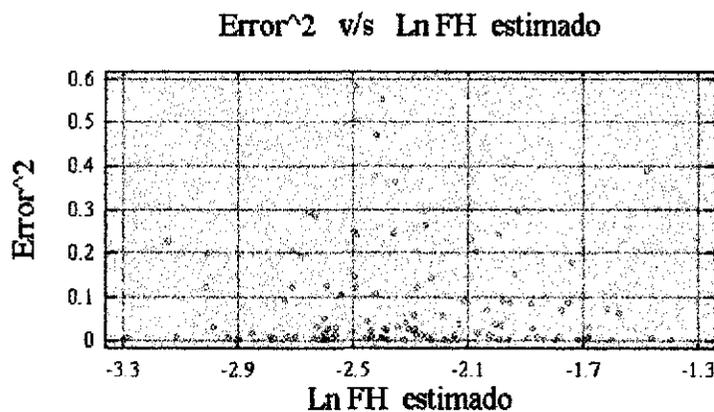
Gráficamente, en el histograma de frecuencias se observa una forma más o menos simétrica de los residuos y con una cola liviana a un extremo y en la otra presenta una pequeña desviación, sin que ello signifique falta de Normalidad.

FIGURA 9: Gráfico Histograma de Residuos.

**Test Kolmogorov – Smirnov (95% de confianza).**  
 Estadístico Kolmogorov DPLUS = 0.0527112  
 Estadístico Kolmogorov DMINUS = 0.095529  
 Estadístico DN = 0.095529  
 Valor-p Aproximado = 0.249933

Este Test revela que existe normalidad en los residuos, por cuanto el valor-p (0.431269) es mayor a  $\alpha$  (0.05), o sea, la función que generan los residuos se ajusta bien a una distribución normal.

b.- Supuesto de Homocedasticidad.



Este método detecta la presencia de la heterocedasticidad a través de la existencia de patrones de comportamiento en los residuos. La gráfica muestra que no existe ningún patrón sistemático en los residuos al cuadrado, por lo que no habría evidencia de heterocedasticidad.

FIGURA 10: Gráfico Error<sup>2</sup> v/s Ln FH estimado.

Test Goldfeld – Quandt ( $c = n/3 = 38$ ) (95 % de Confianza).

**TABLA 12:** Análisis de Varianza. Recta 1 (38 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M	F	Valor-p
Modelo	1.15052	1	1.1505	16.19	0.0003
Error	2.55832	36	0.0710		
Total	3.70884	37			

**TABLA 13:** Análisis de Varianza. Recta 2 (38 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M	F	Valor-p
Modelo	0.345292	1	0.3452	5.66	0.0228
Error	2.19535	36	0.0609		
Total	2.54065	37			

Este método se basa en realizar una prueba F a dos grupos de observaciones. Si el valor de tabla ( $K_{\text{tabla}}$ ) es mayor que el valor calculado ( $K_{\text{calculado}}$ ), entonces, existe una gran probabilidad de que exista homocedasticidad en el modelo. (Ver Anexo IV).

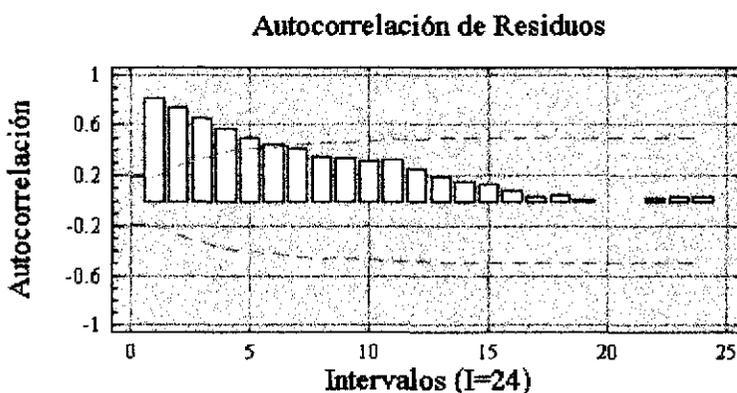
$$K_{\text{calculado}} = (SCR_2 / g.l) / (SCR_1 / g.l)$$

$$K_{\text{calculado}} = (2.19535 / 36) / (2.55832 / 36)$$

$$K_{\text{calculado}} = 0.86$$

$$K_{\text{tabla}} = 1.81$$

**c.- Supuesto de No – Autocorrelación.**



La gráfica muestra un intervalo de confianza (línea punteada), para las frecuencias de residuos representados por 24 intervalos. Cuando existan frecuencias fuera de ese intervalo, se puede decir que, se está presencia de autocorrelación de los residuos.

**FIGURA 11:** Gráfico de autocorrelación de Residuos.

**Prueba de Durbin – Watson (95% de confianza)**

$$d = 0.342104 ; d_L = 1.67 ; d_U = 1.71$$

$$0 < d < d_L$$

$$0 < 0.342104 < 1.67$$

Para un nivel de Confianza del 95%, la prueba de Durbin & Watson revela que el valor de ( $d$ ) está dentro de la región de “Rechazar” la hipótesis nula, es decir, que existe una autocorrelación positiva en los residuos.

Dado que el modelo original tiene una correlación serial de los residuos ( $d = 0.342104$ ), fue necesario aplicar el procedimiento de transformación de variables para eliminar la autocorrelación de los errores a través del Método  $\rho$  (ver Anexo V), basado en el estadístico Durbin – Watson. Luego, el modelo transformado es:

$$\text{Ln FH}^*t = 1.59124 \text{ Ln H}^*t - 0.653452 \quad R^2 = 84.84 \% \quad d = 2.43 \quad (\text{Apéndice V})$$

El valor  $d$  de Durbin – Watson, hace pensar que la autocorrelación presente en el modelo no es de primer grado, sino mayor, por lo que se efectuó nuevamente el procedimiento. El nuevo modelo quedó como sigue:

$$\text{Ln FH}^{**}t = 1.59737 \text{ Ln H}^{**}t - 0.796749 \quad R^2 = 85.25 \% \quad d = 1.96 \quad (\text{Apéndice VI})$$

A partir de la regresión transformada se deben obtener los nuevos coeficientes de regresión del modelo original, es decir, el Intercepto ( $B_0$ ) y la Pendiente ( $B_1$ ). Ver tabla 14.

**TABLA 14:** Coeficientes de Regresión del Modelo Original.

Parámetro	Fórmula	Valor
<b>Paso 1</b> $B_0^{**} = -0.796749$	$B_0^* = B_0^{**}/(1 - \rho)$	$B_0^* = -0.65307295$
$B_1^{**} = 1.59737$	$B_1^* = B_1^{**}$	$B_1^* = 1.59737$
<b>Paso 2</b> $B_0^* = -0.65307295$	$B_0 = B_0^*/(1 - \rho)$	$B_0 = -3.841605588$
$B_1^* = 1.59737$	$B_1 = B_1^*$	$B_1 = 1.59737$

Finalmente, el modelo lineal original cumple con todos los supuestos de regresión y los estimadores (Mínimos Cuadrados Ordinarios) son eficientes. Este modelo queda establecido por:

$$\text{Ln FH} = 1.59737 \text{ Ln H} - 3.841605588 \quad 114 \text{ Datos}$$

Así, se tiene un modelo con estimadores eficientes, el cual queda expresado como:

$\text{FH} = \text{H}^{1.59737} \times e^{-3.841605588}$
----------------------------------------------------------

## 5.4.2.- Modelo: Factor Geométrico v/s Altura Limnimétrica.

$$FG = 905.959 H + 693.625 \quad R^2 = 78.31 \% \quad 117 \text{ Datos}$$

De acuerdo a la tabla 4, el modelo de mejor ajuste resulta ser el modelo clásico lineal. El resumen estadístico de la regresión se muestra a continuación:

TABLA 15: Análisis de regresión

Variable Dependiente: FG			Variable Independiente: H	
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	693.625	138.512	5.00769	0.0000
Pendiente	905.959	44.464	20.3751	0.0000

Al observar el “Valor-p” para la pendiente de la recta, (ver tabla 15), cuyo valor es cero, se puede concluir que la hipótesis nula se rechaza (el valor-p es inferior a  $\alpha/2$ ). Por lo tanto, las variables presentan una relación lineal entre ellas. De igual forma, se puede observar que el valor-p para el intercepto es inferior a 0.05 ( $\alpha/2$ ), rechazándose la hipótesis nula. (Ver Apéndice VII).

TABLA 16: Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C. Medios	F	Valor-p
Modelo	1.3149E8	1	1.3149E8	415.14	0.0000
Error	3.64243E7	115	316733.0		
Total	1.67914E8	116			

Coeficiente de Correlación ( $r$ ) = 0.884917      Estadístico Durbin-Watson = 0.727516  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 78.3078 %       $R^2$  ajustado = 78.1192 %  
 Error Estándar de la Estimación = 562.79      Error absoluto = 394.259

Al igual que en el modelo FH v/s H el análisis de varianza (Ver tabla 16) verifica la tendencia lineal entre las variables (además entrega valores de  $r$ ,  $r^2$  normal y ajustado y  $d$  de D-W). Además se decidió no eliminar los residuos inusuales. Sin embargo, existen 3 datos influyentes en el modelo (datos número 20, 89 y 112), ver tabla 17. Estos puntos influyentes fueron sacados de la serie de datos.

TABLA 17: Puntos Influyentes.

Fila	X	Y	Y estimado	Residuo Stnd.	Leverage
20	7.46	7849.9	7452.08	0.76	0.139081
89	8.85	9955.1	8715.9	2.57	0.230868
112	8.65	7939.9	8530.17	-1.19	0.215857

El nuevo modelo (N=114), queda como sigue:

$$FG = 818.442 H + 924.59 \quad R^2 = 57.42 \% \quad 114 \text{ Datos} \quad (\text{Apéndice 8})$$

En este caso, al eliminar estos puntos del modelo hubo un cambio de estructura (tabla 20). La nueva estructura corresponde a un modelo recíproco ( $1/Y = a + bX$ ).

TABLA 18: Comparación de Modelos Alternativos.

Modelo	R <sup>2</sup>
Lineal	57.41% ✓
Exponencial	60.47%
Raíz de Y	59.30%
Doble Recíproco	58.80%
Multiplicativo	58.77%
Lineal	57.41%
Raíz de X	55.79%
Curva-S	53.93%
Logarítmico X	53.49%
Recíproco X	47.04%
Logístico	no ajustado
Log probit	no ajustado

Luego, se transformó la variable FG y se realizó la siguiente regresión  $(1/FG) = a + bH$ . Los resultados fueron los siguientes:

$$1/FG = 0.000075833 H + 0.000542404 \quad R^2 = 60.72 \% \quad 117 \text{ Datos} \quad (\text{Apéndice 9})$$

TABLA 19: Análisis de Regresión

Variable Dependiente: 1/FG		Variable Independiente: H		
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	0.000542404	0.00001643	33.013	0.0000
Pendiente	-0.000075833	0.00000576326	-13.1582	0.0000

TABLA 20: Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	3.91812E-7	1	3.91812E-7	173.1	0.0000
Error	2.53458E-7	112	2.26301E-9		
Total	6.4527E-7	113			

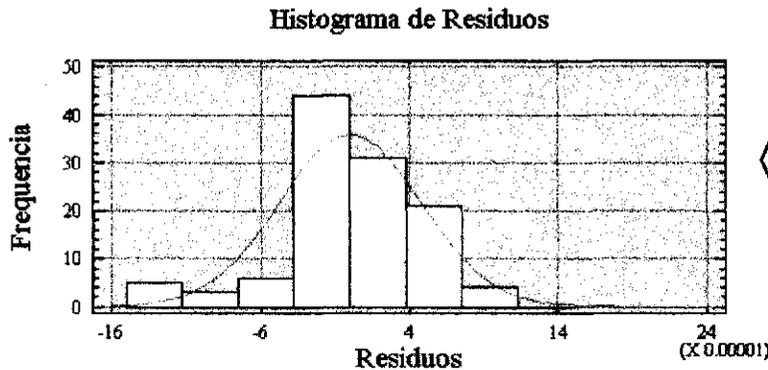
Estadístico Durbin-Watson = 0.386574  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 60.7207 %  
 Error Estándar de la Estimación = 0.00004757

Error absoluto = 0.000035  
 $R^2$  ajustado = 60.37 %

Establecido el modelo, se debe hacer una revisión a los supuestos de esta regresión. Este análisis contempló la Normalidad, Homocedasticidad y No-autocorrelación de los residuos.

5.4.2.1.- Supuestos de Regresión para el modelo FG v/s H.

a.- Supuesto de Normalidad.



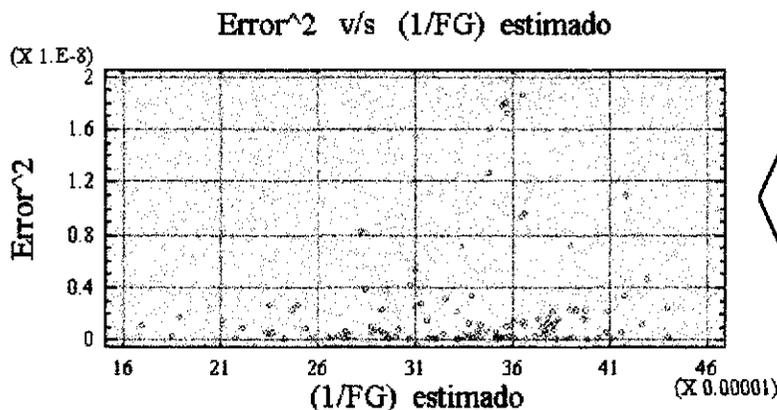
En el Gráfico, el histograma de frecuencias tiene una forma algo simétrica y 2 colas livianas con una pequeña desviación en sus extremos, pero responde a una distribución aproximada de una normal.

FIGURA 12: Gráfico Histograma de Residuos.

**Test de Kolmogorov – Smirnov (95% de confianza)**  
 Estadístico Kolmogorov DPLUS = 0.0548663  
 Estadístico Kolmogorov DMINUS = 0.108266  
 Estadístico DN = 0.108266  
 Valor-p aproximado = 0.138182

Este Test de bondad de ajuste (K-S) ratifica esa tendencia hacia la normalidad de los residuos, pero en menor grado que en el otro modelo (Ln FH v/s LnH) analizado anteriormente. El valor-p (0.138182) es mayor a  $\alpha$  (0.05), o sea, cumple el supuesto de normalidad.

b.- Supuesto de Homocedasticidad.



Este método detecta la heterocedasticidad a través de la presencia de patrones de comportamiento en los residuos. La gráfica muestra que no existe ningún patrón sistemático en los residuos al cuadrado, por lo que no habría evidencia de heterocedasticidad.

FIGURA 13: Gráfico Error<sup>2</sup> v/s (1/FG) estimado.

**Test Goldfeld – Quandt (c = n/3 = 38) (95% de confianza)**

**TABLA 21: Análisis de Varianza. Recta 1 (38 valores)**

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M	F	Valor-p
Modelo	2.27751E-8	1	2.27E-8	13.55	0.0008
Error	6.04944E-8	36	1.68E-9		
Total	8.32695E-8	37			

**TABLA 22: Análisis de Varianza. Recta 2 (38 valores)**

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M	F	Valor-p
Modelo	6.5665E-8	1	6.56E-8	47.66	0.0000
Error	4.95961E-8	36	1.37E-9		
Total	1.15261E-7	37			

Al realizar la prueba F a los 2 grupos de observaciones, se aprecia que el valor de tabla (K<sub>tabla</sub>), es mayor que el valor calculado (K<sub>calculado</sub>), entonces, sí se cumple el supuesto de las varianzas homocedásticas. Ver Anexo IV.

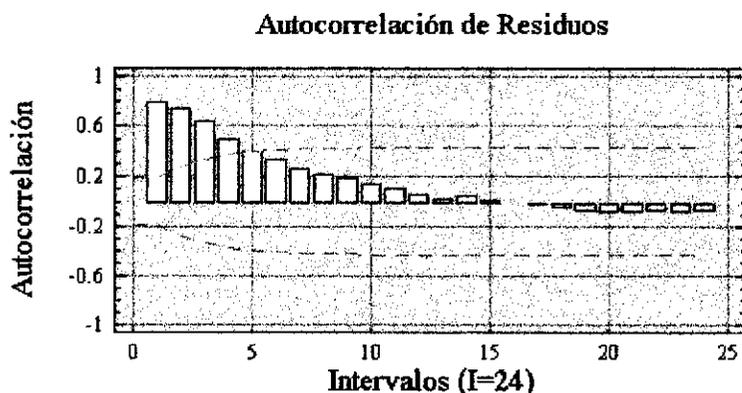
$$K \text{ calculado} = (SCR_2 / g.l) / (SCR_1 / g.l)$$

$$K \text{ calculado} = (4.95961E-8 / 36) / (6.04944E-8 / 36)$$

$$K \text{ calculado} = 0.82$$

$$K \text{ tabla} = 1.81$$

**c.- Supuesto de No – Autocorrelación.**



**FIGURA 14: Gráfico de Autocorrelación de los residuos.**

En el gráfico se observa un intervalo de confianza definido por una línea punteada, donde las frecuencias de los residuos están representadas por 24 intervalos. Cuando existan frecuencias fuera del intervalo, entonces, se está en presencia de la correlación serial de los residuos.

**Prueba de Durbin – Watson (95% de confianza)**

$$d = 0.386574 ; d_L = 1.67 ; d_U = 1.71$$

$$0 < d < d_L$$

$$0 < 0.386574 < 1.67$$

Se realizó una prueba de Durbin & Watson para un nivel de confianza del 95%. Esta revela que el valor dado por (d= 0.386574), está dentro de la región de “Rechazar” la hipótesis nula. Por lo tanto, existe una autocorrelación positiva de los residuos.

Dado que el modelo original tiene una correlación serial de los residuos ( $d = 0.386574$ ), fue necesario realizar una transformación de variables y corregir este problema a través del Método  $\rho$ . (ver Anexo V). Luego, el modelo transformado es:

$$(1/FG)^*t = -0.0000702706 H^*t + 0.000100428 \quad R^2 = 75.02\% \quad d = 2.62 \quad (\text{Apéndice 10})$$

El valor  $d$  de Durbin – Watson, hace pensar que la autocorrelación presente en el modelo no es de primer grado, sino mayor, por lo que debemos se efectuó nuevamente el procedimiento del método  $\rho$ . El nuevo modelo queda:

$$(1/FG)**t = -0.0000686702 H**t + 0.000130314 \quad R^2 = 74.77\% \quad d = 1.91 \quad (\text{Apéndice 11})$$

A partir de la regresión transformada, se deben obtener los nuevos coeficientes de regresión del modelo original, el Intercerpto ( $B_0$ ) y la Pendiente ( $B_1$ ) (ver tabla 23).

**TABLA 23: Coeficientes de Regresión del Modelo Original.**

Parámetro	Fórmula	Valor
<b>Paso 1</b> $B_0^{**} = 0.000130314$	$B_0^* = B_0^{**}/(1 - \rho)$	$B_0^* = 0.000099476$
$B_1^{**} = -0.0000686702$	$B_1^* = B_1^{**}$	$B_1^* = -0.0000686702$
<b>Paso 2</b> $B_0^* = 0.000099476$	$B_0 = B_0^*/(1 - \rho)$	$B_0 = 0.000523559$
$B_1^* = -0.0000686702$	$B_1 = B_1^*$	$B_1 = -0.0000686702$

Finalmente, el modelo lineal original cumple con todos los supuestos de regresión y los estimadores (MCO) son eficientes. Este modelo queda establecido por:

$$1/FG = -0.0000686702 H + 0.000523559 \quad 117 \text{ Datos}$$

Así, se tiene un modelo con estimadores eficientes, el que queda expresado como:

$$FG = 1 / ( -0.0000686702 H + 0.000523559 )$$

### 5.4.3.- Validación de los modelos.

Generalmente, muchos autores dejan formulados los modelos matemáticos preocupándose solamente de cumplir con los supuestos básicos de modelación. Sin embargo, es necesario conocer la verdadera capacidad de éstos. En función de lo anterior, los modelos se validaron con datos nuevos obtenidos en el período (Enero 95' – Julio 98').

#### 5.4.3.1.- Validación del modelo FH v/s. H.

El modelo ( $FH = H^{1.59737} \times e^{-3.841605588}$ ) subestima el valor real del factor hidráulico. Además, se observa que el porcentaje de diferencia existente entre los valores esperados y observados es alto (48% aproximadamente).

**TABLA 24:** Validación Modelo FH v/s H.

Mes / Año	FH real	FH modelado	Error	% DIF	Mes / Año	FH real	FH modelado	Error	% DIF
Enero 95	0.0536	0.0351	0.0185	34.57	Diciembre	-	-	-	-
Febrero	0.0773	0.0406	0.0367	47.48	Enero 97	-	-	-	-
Marzo	0.1090	0.0463	0.0627	57.52	Febrero	-	-	-	-
Abril	0.0898	0.0546	0.0352	39.16	Marzo	0.1471	0.0428	0.1043	70.92
Mayo	0.1449	0.0770	0.0679	46.87	Abril	0.1293	0.0446	0.0847	65.53
Junio	0.2231	0.1398	0.0832	37.31	Mayo	0.1375	0.0598	0.0776	56.48
Julio	0.2467	0.1693	0.0774	31.38	Junio	-	-	-	-
Agosto	0.2253	0.1463	0.0791	35.09	Julio	0.2498	0.1501	0.0996	39.89
Septiembre	0.2283	0.1390	0.0893	39.10	Agosto	-	-	-	-
Octubre	0.2027	0.1124	0.0903	44.54	Septiembre	0.3133	0.1957	0.1176	37.53
Noviembre	0.2279	0.1407	0.0872	38.27	Septiembre	0.2650	0.1566	0.1084	40.91
Diciembre	0.1737	0.0944	0.0793	45.65	Octubre	0.2920	0.1735	0.1186	40.60
Enero 96	0.0879	0.0378	0.0501	57.00	Noviembre	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	Diciembre	0.2632	0.1480	0.1152	43.76
Marzo	0.0984	0.0467	0.0516	52.48	Enero 98	0.2187	0.1137	0.1050	48.01
Abril	0.1289	0.0641	0.0648	50.25	Enero	0.1745	0.0829	0.0917	52.52
Mayo	0.1550	0.0826	0.0723	46.68	Febrero	-	-	-	-
Junio	0.2243	0.1334	0.0909	40.52	Marzo	0.1302	0.0624	0.0678	52.09
Julio	0.1505	0.0773	0.0732	48.65	Abril	0.1676	0.0767	0.0909	54.22
Agosto	-	-	-	-	Abril	0.1621	0.0759	0.0862	53.19
Septiembre	0.1995	0.1143	0.0851	42.68	Mayo	-	-	-	-
Octubre	0.1075	0.0539	0.0536	49.86	Junio	0.1366	0.0601	0.0765	56.02
Octubre	0.1768	0.0568	0.1200	67.86	Julio	0.2021	0.1000	0.1021	50.54
Noviembre	-	-	-	-	Julio	0.1886	0.0644	0.1241	65.84

Además, la prueba Kolmogorov – Smirnov revela que existen diferencias significativas (valor-p < 0.05), rechazándose la hipótesis nula (tabla 27).

#### 5.4.3.2.- Validación del modelo FG v/s. H.

El modelo (  $FG = 1 / (-0.0000686702H + 0.000523559)$  ) sobrestima el valor real del factor geométrico. Además, se observa que el porcentaje de diferencia existente entre los valores esperados y observados es alto (40% aproximadamente). Además, la prueba Kolmogorov – Smirnov revela que existen diferencias significativas (valor-p < 0.05) rechazándose la hipótesis nula (tabla 27).

**TABLA 25:** Validación Modelo FG v/s H.

Mes / Año	FG real	FG modelado	Error	% DIF	Mes / Año	FG real	FG modelado	Error	% DIF
Enero 95	1667.0	2324.7	-657.7	39.46	Diciembre	-	-	-	-
Febrero	1692.2	2373.9	-681.7	40.28	Enero 97	-	-	-	-
Marzo	1401.0	2424.5	-1023.5	73.06	Febrero	-	-	-	-
Abril	1841.2	2498.2	-656.9	35.68	Marzo	1087.9	2393.5	-1305	120.0
Mayo	2042.3	2697.1	-654.8	32.06	Abril	1315.0	2409.3	-1094	83.21
Junio	2722.0	3316.2	-594.2	21.83	Mayo	1607.9	2544.0	-936.1	58.22
Julio	3112.7	3658.7	-546.0	17.54	Junio	-	-	-	-
Agosto	2843.7	3387.2	-543.5	19.11	Julio	2658.3	3431.1	-772.8	29.07
Septiembre	2720.5	3307.2	-586.7	21.57	Agosto	-	-	-	-
Octubre	2439.7	3031.1	-591.4	24.24	Septiembre	3114.1	4007.0	-892.8	28.67
Noviembre	2716.4	3325.3	-608.9	22.42	Septiembre	2696.9	3505.4	-808.5	29.98
Diciembre	2199.8	2857.5	-657.7	29.90	Octubre	2849.9	3710.9	-861.0	30.21
Enero 96	1646.6	2349.1	-702.4	42.66	Noviembre	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	Diciembre	2686.5	3407.0	-720.5	26.82
Marzo	1694.3	2428.6	-734.3	43.34	Enero 98	2323.2	3043.8	-720.6	31.02
Abril	1908.7	2581.9	-673.2	35.27	Enero	2005.2	2750.6	-745.4	37.18
Mayo	2114.1	2748.5	-634.5	30.01	Febrero	-	-	-	-
Junio	2651.9	3246.7	-594.8	22.43	Marzo	1817.1	2566.4	-749.3	41.24
Julio	2091.9	2699.6	-607.7	29.05	Abril	1953.6	2694.6	-741.0	37.93
Agosto	-	-	-	-	Abril	1960.3	2687.2	-726.9	37.08
Septiembre	2513.4	3050.2	-536.8	21.36	Mayo	-	-	-	-
Octubre	1823.1	2491.7	-668.6	36.68	Junio	1768.1	2546.2	-778.1	44.01
Octubre	1238.5	2517.6	-1279.1	103.3	Julio	2274.5	2910.0	-635.5	27.94
Noviembre	-	-	-	-	Julio	1367.9	2584.6	-1216	88.95

Una vez realizado este análisis, se vieron las influencias que estos factores ejercen en la estimación del caudal (Q), a partir de los modelos entregados anteriormente.

#### 5.4.3.3.- Validación del Caudal modelado v/s. Caudal por molinete.

El caudal modelado, obtenido de los factores hidráulicos y geométricos ( $Q = FH \times FG$ ), subestima el valor real del caudal obtenido por el método con molinete. El porcentaje de diferencia entre éstos, se considera alto (30% aproximadamente). Ver tabla 26.

**TABLA 26:** Validación Caudal modelado v/s Caudal molinete.

Mes / Año	Q Modelado	Q molinete	Error	% DIF	Mes / Año	Q modelado	Q Molinete	Error	% DIF
Enero 95	81.52	89.40	-7.9	8.82	Diciembre	-	-	-	-
Febrero	96.32	130.73	-34.4	26.32	Enero 97	-	-	-	-
Marzo	112.21	152.64	-40.4	26.48	Febrero	-	-	-	-
Abril	136.47	165.34	-28.9	17.46	Marzo	102.37	160.00	-57.6	36.02
Mayo	207.64	295.95	-88.3	29.84	Abril	107.35	170.00	-62.6	36.85
Junio	463.75	607.20	-143.5	23.63	Mayo	152.19	221.00	-68.8	31.13
Julio	619.41	767.93	-148.5	19.34	Junio	-	-	-	-
Agosto	495.38	640.75	-145.4	22.69	Julio	515.13	664.00	-148.9	22.42
Septiembre	459.74	621.00	-161.3	25.97	Agosto	-	-	-	-
Octubre	340.74	494.49	-153.7	31.09	Septiembre	784.16	975.60	-191.4	19.62
Noviembre	467.78	619.02	-151.2	24.43	Septiembre	548.85	714.56	-165.7	23.19
Diciembre	269.75	382.11	-112.4	29.40	Octubre	643.74	832.27	-188.5	22.65
Enero 96	88.75	144.69	-55.9	38.66	Noviembre	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	Diciembre	504.28	707.00	-202.7	28.67
Marzo	113.51	166.66	-53.1	31.89	Enero 98	346.05	508.00	-161.9	31.88
Abril	165.51	245.95	-80.4	32.71	Enero	227.95	350.00	-122.0	34.87
Mayo	227.15	327.66	-100.5	30.67	Febrero	-	-	-	-
Junio	433.12	594.78	-161.7	27.18	Marzo	160.04	236.50	-76.5	32.33
Julio	208.58	314.78	-106.2	33.74	Abril	206.71	327.39	-120.7	36.86
Agosto	-	-	-	-	Abril	203.91	317.76	-113.8	35.83
Septiembre	348.73	501.33	-152.6	30.44	Mayo	-	-	-	-
Octubre	134.31	196.00	-61.7	31.47	Junio	152.96	241.50	-88.5	36.66
Octubre	143.09	219.00	-75.9	34.66	Julio	290.86	459.63	-168.8	36.72
Noviembre	-	-	-	-	Julio	166.48	257.92	-91.4	35.45

Sin embargo, el test K-S no encontró diferencias significativas entre los caudales. Pero, al realizar una Prueba Ji-Cuadrado, se detectó una diferencia significativa, confirmando que ambos métodos proporcionan distintos resultados (ver tabla 27 y 28).

TABLA 27: Bondad de Ajuste Kolmogorov – Smirnov (95% de confianza)

Modelo	N	Estadístico DN	Estadístico KS	Valor-p	Dif. significativa
FH	37	0.513514	2.20871	0.000115804	SI
FG	37	0.648649	2.78994	3.64834E-7	SI
Qmol v/s Qmod	37	0.27027	1.16248	0.134068	NO

Qmol: Caudal molinete Qmod: Caudal modelado Estadístico DN y KS: Valores críticos del Test (K-S).

TABLA 28: Bondad de Ajuste Ji – Cuadrado (95% de Confianza).

Dato Mes Año	Caudal molinete (E)	Caudal modelado (O)	E - O	(E - O) <sup>2</sup>	(E - O) <sup>2</sup> /E	Dato Mes Año	Caudal molinete (E)	Caudal modelado (O)	E - O	(E - O) <sup>2</sup>	(E - O) <sup>2</sup> /E
95 Ene	89.407	81.524	-7.883	62.142	0.695	Dic	-	-	-	-	-
Feb	130.730	96.322	-34.40	1183.91	9.056	97 Ene	-	-	-	-	-
Mar	152.640	112.216	-40.42	1634.10	10.706	Feb	-	-	-	-	-
Abr	165.343	136.479	-28.86	833.130	5.039	Mar	160.000	102.371	-57.62	3321.10	20.757
May	295.951	207.646	-88.30	7797.77	26.348	Abr	170.000	107.357	-62.64	3924.14	23.083
Jun	607.206	463.750	-143.46	20579.6	33.892	May	221.000	152.194	-68.80	4734.26	21.422
Jul	767.930	619.414	-148.51	22057.0	28.723	Jun	-	-	-	-	-
Ago	640.750	495.387	-145.36	21130.4	32.978	Jul	664.000	515.131	-148.8	22161.9	33.376
Sep	621.000	459.747	-161.25	26002.5	41.872	Ago	-	-	-	-	-
Oct	494.493	340.747	-153.74	23637.8	47.802	Sep	975.601	784.160	-191.4	36649.6	37.566
Nov	619.021	467.781	-151.24	22873.5	36.951	Sep	714.562	548.854	-165.7	27459.1	38.428
Dic	382.110	269.759	-112.35	12622.7	33.034	Oct	832.272	643.747	-188.5	35541.6	42.704
96 Ene	144.697	88.757	-55.940	3129.28	21.626	Nov	-	-	-	-	-
Feb	-	-	-	-	-	Dic	707.000	504.283	-202.7	41094.1	58.125
Mar	166.661	113.515	-53.146	2824.49	16.948	98 Ene	508.000	346.056	-161.9	26225.8	51.626
Abr	245.950	165.512	-80.438	6470.27	26.307	Ene	350.000	227.951	-122.0	14895.9	42.560
May	327.663	227.155	-100.50	10101.8	30.830	Feb	-	-	-	-	-
Jun	594.788	433.128	-161.66	26133.9	43.938	Mar	236.505	160.040	-76.46	5846.89	24.722
Jul	314.787	208.585	-106.20	11278.8	35.830	Abr	327.397	206.710	-120.6	14565.3	44.488
Ago	-	-	-	-	-	Abr	317.766	203.918	-113.8	12961.3	40.789
Sep	501.337	348.733	-152.60	23287.9	46.452	May	-	-	-	-	-
Oct	196.000	134.316	-61.684	3804.91	19.413	Jun	241.501	152.968	-88.53	7838.09	32.456
Oct	219.000	143.090	-75.910	5762.32	26.312	Jul	459.639	290.861	-168.7	28486.0	61.975
Nov	-	-	-	-	-	Jul	257.924	166.489	-91.43	8360.35	32.414

$X^2$  calculado = 1181244 >  $X^2$  tabla = 52.163 (diferencia significativa) (Montgomery *et al*, 1994).

#### 5.4.3.4.- Análisis de Factores.

Finalmente, el análisis de factores reveló que los 2 factores son significativos para la diferencia entre los caudales modelados y por molinete. Pero el factor que ejerce mayor influencia en la estimación del caudal es el factor hidráulico (FH). Ver tabla 29.

TABLA 29: Análisis de Factores FH y FG.

Mes / Año	Caudal molinete	FH (1) modelo	FG (2) real	Caudal (1 x 2)	Error	% DIF	FH (3) real	FG (4) modelo	Caudal (3 x 4)	Error	% DIF
Enero 95	89.41	0.0351	1667.0	58.51	-30.90	34.56	0.0536	2324.7	124.6	35.20	39.37
Febrero	130.7	0.0406	1692.2	68.7	-62.03	47.45	0.0773	2373.9	183.5	52.77	40.37
Marzo	152.6	0.0463	1401.0	64.87	-87.77	57.50	0.1090	2424.5	264.27	111.63	73.13
Abril	165.3	0.0546	1841.2	100.5	-64.81	39.20	0.0898	2498.2	224.34	59.00	35.68
Mayo	296	0.0770	2042.3	157.3	-138.69	46.86	0.1449	2697.1	390.81	94.86	32.05
Junio	607.2	0.1398	2722.0	380.5	-226.67	37.33	0.2231	3316.2	739.84	132.64	21.84
Julio	767.9	0.1693	3112.7	527	-240.95	31.38	0.2467	3658.7	902.6	134.67	17.54
Agosto	640.8	0.1463	2843.7	416	-224.72	35.07	0.2253	3387.2	763.14	122.39	19.10
Septiembre	621	0.1390	2720.5	378.1	-242.85	39.11	0.2283	3307.2	755.03	134.03	21.58
Octubre	494.5	0.1124	2439.7	274.2	-220.27	44.54	0.2027	3031.1	614.4	119.91	24.25
Noviembre	619	0.1407	2716.4	382.2	-236.82	38.26	0.2279	3325.3	757.84	138.81	22.42
Diciembre	382.1	0.0944	2199.8	207.7	-174.45	45.65	0.1737	2857.5	496.35	114.24	29.90
Enero 96	144.7	0.0378	1646.6	62.24	-82.46	56.98	0.0879	2349.1	206.49	61.79	42.70
Febrero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marzo	166.7	0.0467	1694.3	79.12	-87.54	52.52	0.0984	2428.6	238.97	72.31	43.39
Abril	246	0.0641	1908.7	122.3	-123.60	50.26	0.1289	2581.9	332.81	86.86	35.31
Mayo	327.7	0.0826	2114.1	174.6	-153.04	46.71	0.1550	2748.5	426.02	98.35	30.02
Junio	594.8	0.1334	2651.9	353.8	-241.02	40.52	0.2243	3246.7	728.23	133.45	22.44
Julio	314.8	0.0773	2091.9	161.7	-153.08	48.63	0.1505	2699.6	406.29	91.50	29.07
Agosto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Septiembre	501.3	0.1143	2513.4	287.3	-214.06	42.70	0.1995	3050.2	608.51	107.18	21.38
Octubre	196	0.0539	1823.1	98.27	-97.73	49.86	0.1075	2491.7	267.86	71.86	36.66
Octubre	219	0.0568	1238.5	70.35	-148.65	67.88	0.1768	2517.6	445.11	226.11	103.3
Noviembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diciembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Enero 97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marzo	160	0.0428	1087.9	46.56	-113.44	70.90	0.1471	2393.5	352.08	192.08	120.1
Abril	170	0.0446	1315.0	58.65	-111.35	65.50	0.1293	2409.3	311.52	141.52	83.25
Mayo	221	0.0598	1607.9	96.15	-124.85	56.49	0.1375	2544.0	349.8	128.80	58.28
Junio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Julio	664	0.1501	2658.3	399	-264.99	39.91	0.2498	3431.1	857.09	193.09	29.08
Agosto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Septiembre	975.6	0.1957	3114.1	609.4	-366.17	37.53	0.3133	4007.0	1255.4	279.79	28.68
Septiembre	714.6	0.1566	2696.9	422.3	-292.23	40.90	0.2650	3505.4	928.93	214.37	30.00
Octubre	832.3	0.1735	2849.9	494.5	-337.81	40.59	0.2920	3710.9	1083.6	251.31	30.20
Noviembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diciembre	707	0.1480	2686.5	397.6	-309.40	43.76	0.2632	3407.0	896.72	189.72	26.83
Enero 98	508	0.1137	2323.2	264.1	-243.85	48.00	0.2187	3043.8	665.68	157.68	31.04
Enero	350	0.0829	2005.2	166.2	-183.77	52.51	0.1745	2750.6	479.98	129.98	37.14
Febrero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marzo	236.5	0.0624	1817.1	113.4	-123.12	52.06	0.1302	2566.4	334.15	97.64	41.28
Abril	327.4	0.0767	1953.6	149.8	-177.56	54.23	0.1676	2694.6	451.61	124.22	37.94
Abril	317.8	0.0759	1960.3	148.8	-168.98	53.18	0.1621	2687.2	435.6	117.83	37.08
Mayo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Junio	241.5	0.0601	1768.1	106.3	-135.24	56.00	0.1366	2546.2	347.81	106.31	44.02
Julio	459.6	0.1000	2274.5	227.5	-232.19	50.52	0.2021	2910.0	588.11	128.47	27.95
Julio	257.9	0.0644	1367.9	88.09	-169.83	65.85	0.1886	2584.6	487.46	229.53	88.99
				<b>Caudal (1x2) (FH modelado)</b>				<b>Caudal (3x4) (FG modelado)</b>			
<b>Porcentaje de Diferencia (%) :</b>				<b>48%</b>				<b>40%</b>			
<b>Suma de Cuadrados del error (<math>\Sigma e^2</math>) :</b>				<b>1411961.23</b>				<b>759841.02</b>			

#### 5.4.4.- Resultados estadísticos de los modelos no-paramétricos.

Hasta ahora se ha visto que los modelos de regresión no han sido lo bueno que se desea. En este sentido, el investigador normalmente trabaja con datos obtenidos de muestras independientes, sin sesgo, desde una cierta población, la que posee cierta distribución de probabilidades, por ejemplo,  $N(\mu, \sigma^2)$ . Sin embargo, existen circunstancias en las cuales los supuestos relativos tanto a la distribución como a los parámetros deben relajarse y dar paso a métodos que sean sensibles a desviaciones respecto de tales supuestos. Estos métodos son llamados no-paramétricos. De acuerdo a lo expuesto, se probaron algunos modelos no-paramétricos que responden satisfactoriamente en el área de la hidrología (Pizarro, 1998). Estos modelos arrojaron los siguientes resultados:

**TABLA 30: Modelos No-Paramétricos.**

<b>Modelos</b>	<b>Coefficiente ( k )</b>	<b>Coefficiente de Determinación</b>	<b>Nº de datos</b>
<b>(1) FH = H * e<sup>(-k/H)</sup></b>	23.4227751	R <sup>2</sup> = 0	117
<b>(2) FH = H * e<sup>(-k/H)</sup></b>	2167.341112	R <sup>2</sup> = 0.437972	117
<b>(3) FG = H * e<sup>(-k/H)</sup></b>	-11.2368726	R <sup>2</sup> = 0	117
<b>(4) FG = H * ( 1 - e<sup>(-H/k)</sup> )</b>	1.24697449	R <sup>2</sup> = 0	117

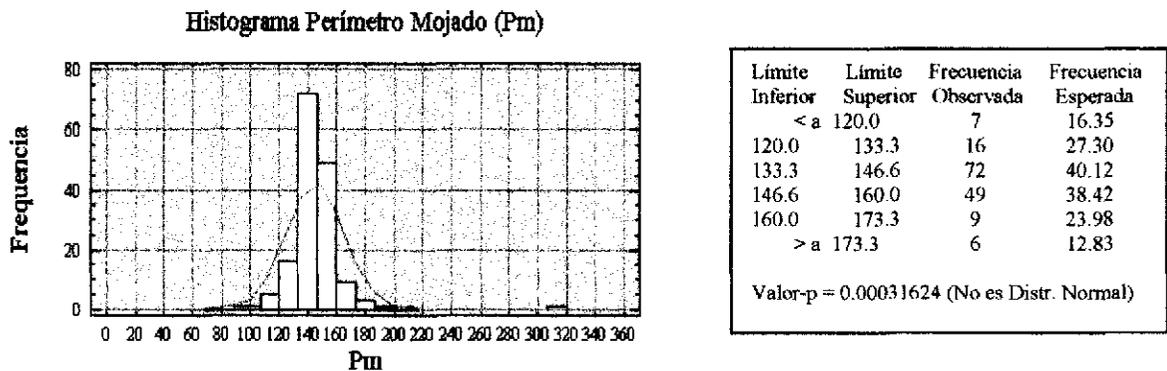
(Procesado en STATGRAPHICS Plus, versión 4.0) .

Como se muestra en la tabla 30, los resultados indican que el mejor ajuste es el modelo 2, con un R<sup>2</sup>= 43.8%. Sin embargo, este valor es demasiado bajo para hacer buenas estimaciones de caudal posteriormente. Por lo tanto, la altura limnimétrica sigue siendo un mal estimador para los factores hidráulicos y geométricos.

## 6.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

### 6.1.- Parámetros Hidráulicos.

El comportamiento de los valores de perímetro mojado (Pm) obtenidos por medio del aforo en la sección transversal del río no tiene una distribución de probabilidad (f.d.p.) definida (no es Normal, Lognormal, Weibull, Exponencial, ni la distribución de valores extremos), por lo que no es tan válido hacer inferencias de sus parámetros. Pero, se puede decir que sus valores están entre los 92.2 y 316.4 metros y, su mayor frecuencia de ocurrencia, está dentro del intervalo de [133.3 – 146.6] metros.



**FIGURA 15:** Histograma de Frecuencias para el Perímetro Mojado.

Con respecto al Radio Hidráulico (RH), éste tiene un comportamiento aproximado a una distribución Lognormal (media = 5.97 m. y desviación estándar = 1.07 m.). Cuando se está en presencia de cauces naturales anchos, el valor del RH se aproxima mucho al valor de la profundidad media del lecho (ver tabla 31). Un test Ji-Cuadrado nos revela que no existen diferencias significativas ( $X^2_{\text{tabla}} 0.93 > 52.16 X^2_{\text{calculado}}$ ) entre el radio hidráulico y la profundidad media en esa estación del río Maule (Apéndice XIII).

**TABLA 31:** Profundidad Media del Río Maule (Período Julio 96 – Junio 98).

Mes	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
<b>Prof</b>	5.51	-	6.04	5.24	4.34	4.46	4.63	4.97	4.40	4.85	5.16	-
Mes	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
<b>Prof</b>	6.03	-	6.11	6.20	-	6.07	5.71	-	5.15	5.36	-	5.05

## 6.2.- Factores Hidráulicos y Geométricos.

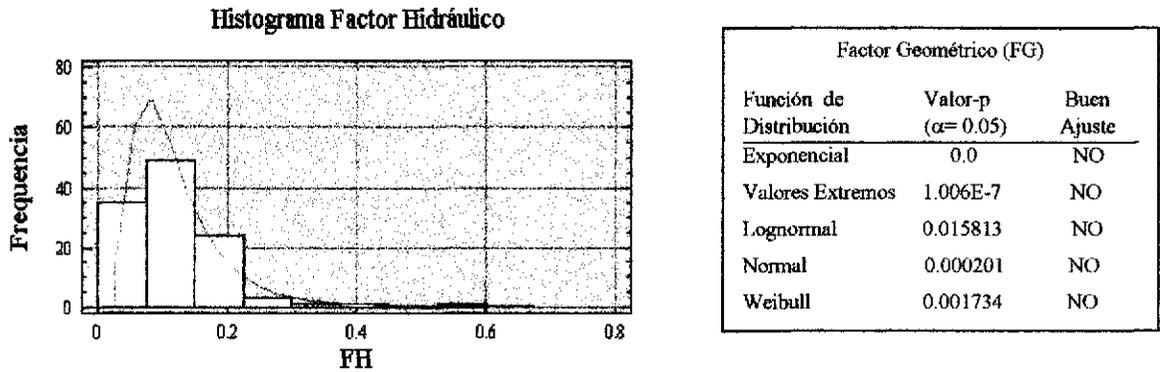
El factor hidráulico ( $FH = RAIZ(S) / n$ ) mide, en cierto modo la capacidad del río en esa sección. Este crece con la pendiente y en razón inversa de la rugosidad del lecho. El valor de este factor en esta estación fluviométrica varía entre 0.0348 y 0.2663 (no considera 3 crecidas ocurridas durante este período), con una distribución de probabilidad (f.d.p) Lognormal (ver Figura 16). Estos valores difieren mucho de los de canales (0.4 a 2,5), presentados en el capítulo 3.

Por otro lado, el factor geométrico ( $FG = A * R^{2/3}$ ) que representa las características geométricas del lecho no tiene un comportamiento definido por una f.d.p. conocida. Pero este factor varía entre 2014.7 y 6733.5 (no considera crecidas). Ver Figura 16.

La importancia de la determinación de estos factores es que se tiene los componentes necesarios para aplicar la ecuación de Manning ( $Q = FH \times FG$ ), y así, estimar los caudales instantáneos del río.

La altura del nivel de las aguas, medida por una regla limnimétrica, tiene un comportamiento Lognormal, con una media y desviación estándar de 2.87 y 0.98 metros respectivamente. Las alturas limnimétricas mínimas y máximas en esa estación de medición fueron de 1.348 y 4.915 metros respectivamente (no considera crecidas).

Además, en este estudio se determinó la relación matemática entre estos factores y la altura limnimétrica. El ajuste resultó ser en ambos casos una función creciente.



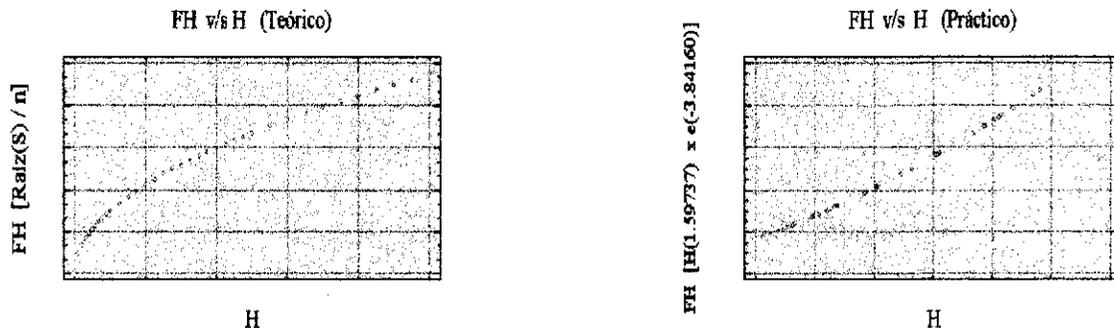
**FIGURA 16:** Ajuste de los Factores Hidráulico y Geométrico.

**6.3.- Ajuste de Modelos FH v/s H y FG v/s H.**

**6.3.1.- Modelo FH v/s H.**

El ajuste resultó ser un modelo potencial ( $FH = H^{1.59737} \times e^{-3.841605588}$ ). Este ajuste difiere a lo expuesto en el Capítulo 3, en el sentido de que se esperaba una relación con tendencia logarítmica entre las dos variables (ver Figura 17). Sin embargo, el modelo FH v/s H. fue el resultante de 2 correcciones, a saber:

- Reducir la heterocedasticidad de las varianzas a través de la transformación logarítmica de las variables del modelo.
- Corregir la autocorrelación de los residuos por medio del método  $\rho$  basado en el estadístico de Durbin & Watson.



**FIGURA 17:** Gráficos de Tendencia FH v/s H (Teórico – Práctico).

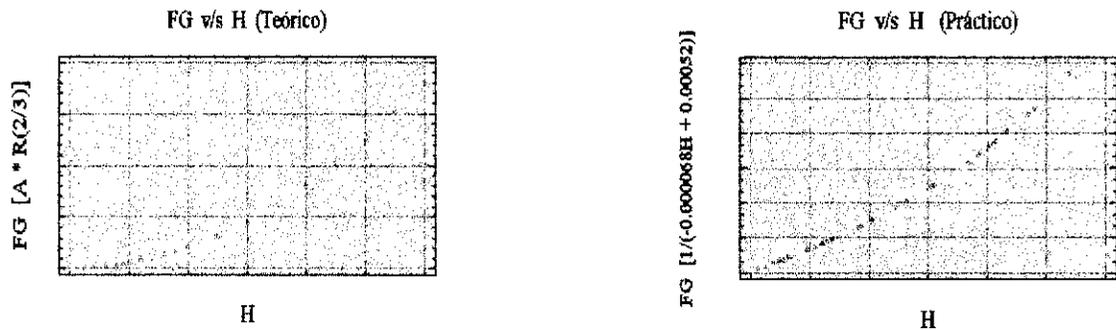
De este modo, se llegó a un modelo ajustado por medio del método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y se obtuvieron estimadores eficientes, lo que significa que tiene varianza mínima y está dentro de la clase de los estimadores lineales insesgados.

**6.3.2.- Modelo FG v/s H.**

El ajuste resultó ser un modelo lineal recíproco ( $FG = 1/(-0.0000686702H + 0.000523559)$ ). Este ajuste es algo similar a lo expuesto en el Capítulo 3, en el sentido, de que existe una relación creciente entre las variables factor geométrico (FG) y la altura (H), o sea, que al aumentar el nivel de agua en el río, el factor geométrico aumenta potencialmente, (ver Figura 18). Sin embargo, el modelo FG v/s H sufrió un cambio de estructura cuando fueron eliminados los puntos influyentes. Estos datos corresponden a 3 crecidas que afectan notoriamente la relación matemática entre las variables dado que su coeficiente de determinación varió de 78.31 % a 60.72 %, por lo que, genera un comportamiento impreciso e irreal entre ellas.

También, en este modelo se corrigió la autocorrelación de los residuos por medio del método  $\rho$ , basado en el estadístico de Durbin & Watson.

Finalmente, se obtuvo un modelo ajustado por medio del método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), obteniendo así, estimadores eficientes.



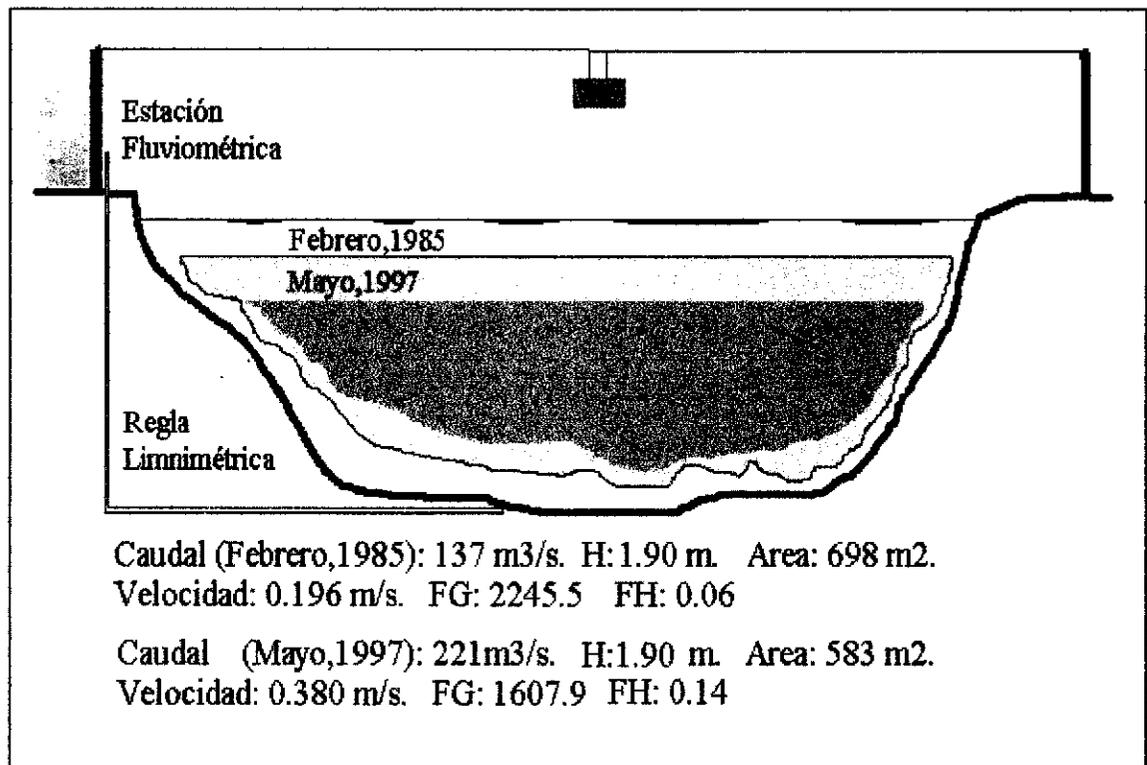
**FIGURA 18:** Gráficos de Tendencia FG v/s H (Teórico – Práctico).

La validación de estos 2 modelos (FH y FG), revela que existen grandes diferencias porcentuales entre lo esperado y lo observado (en promedio 48 y 40 % respectivamente). Por un lado, el primer modelo subestima el valor real del factor hidráulico. Por otro lado, el segundo modelo sobrestima el valor real del factor geométrico. Las razones de estas diferencias radican en que la altura limnimétrica que se registra en el río no es un buen estimador de estos factores, porque la condiciones naturales del lecho cambian al pasar el tiempo. Cuando se habla de cambios en las condiciones naturales, se refiere al efecto que provoca la erosión o la sedimentación de materiales en:

- *La configuración geométrica del río.*

A pesar de que las estaciones fluviométricas se establecen en los lugares más estables del río, en términos de configuración hidráulica, éstos redepositan material durante los caudales bajos. Pero, también en los caudales altos los ríos forman cauces (ver Figura 19).

Esto provoca una inestabilidad en los registros de información en el tiempo, es decir, estos cambios de configuración no se perciben inmediatamente, sino con la construcción de perfiles transversales de esa sección del río, o bien, con la determinación de factores areales o geométricos durante varios años. Por tales razones, se hace necesario su chequeo continuo para así poder determinar en forma segura otras variables a partir de los niveles registrados.



**FIGURA 19:** Perfil transversal de un río, mostrando la erosión y deposición de materiales a través del tiempo.

- *La regla limnimétrica.*

Una consecuencia del cambio de configuración geométrica del río, está en la medición de la altura limnimétrica del nivel de agua. Esto provoca una cierta diferencia entre los niveles de un año y otro, afectando directamente a la modelación de los factores hidráulicos y geométricos, por cuanto, la predicción de estos factores por medio de la

regresión lineal es errada. Por ejemplo, si se comparan alturas similares (Febrero 85' y Mayo 97'), los niveles de agua son 1.91 y 1.90 metros respectivamente y los factores geométricos variaron considerablemente de 2245.5 a 1607.9. Por lo tanto, estos factores se ven afectados por los cambios de los niveles del río.

En el modelo FG v/s H, la sobrestimación del factor geométrico modelado, por sobre el real, se debe a la existencia de la deposición de material en el lecho. La localización de la estación Forel (cercano a Constitución), hace pensar que existe mayor sedimentación de materiales que la erosionabilidad de éste. Esto provoca que las alturas ingresadas al modelo generen valores más altos de FG, de lo normal (tabla 25). Por otra parte, la subestimación del factor hidráulico modelado versus el real, viene dado por una disminución de la relación hidráulica entre la pendiente del río y el coeficiente de rugosidad del lecho, que afectan directamente a la estimación por medio de la ecuación de Manning (ver tabla 24).

#### **6.4.- Comparación del Caudal Modelado y Caudal por Aforo con Molinete.**

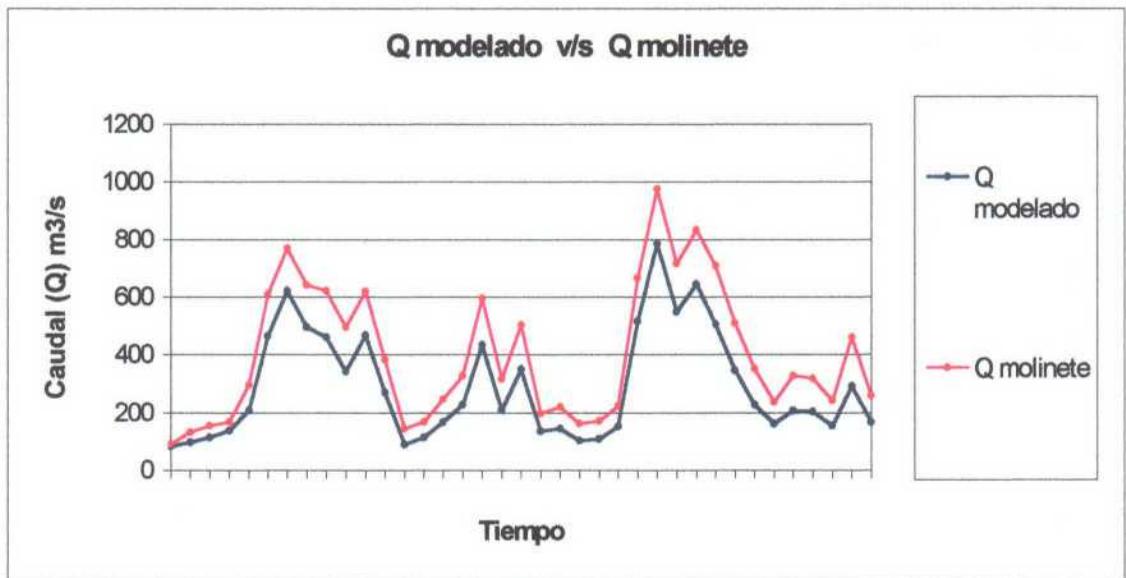
De la Tabla 26 (pág. 42), se extrae que existe una subestimación del caudal modelado con respecto al obtenido por el aforo con molinete, como consecuencia de los ajustes realizados anteriormente entre los factores hidráulicos y geométricos y la altura limnimétrica.

El porcentaje de diferencia entre los caudales alcanza el 30% aproximadamente. El U.S. Geological Survey, en cambio, considera buenos los aforos cuando tienen un valor dentro del 5% del valor exacto. Además, el análisis Ji – Cuadrado (Apéndice XIII), revela que existe una diferencia significativa ( $X^2_{\text{tabla}} < X^2_{\text{calculado}}$ ) entre el caudal modelado y el obtenido por aforo con molinete. Con todos estos antecedentes, se puede decir que el ajuste de caudal realizado por medio de funciones de regresión, no es una buena estimación de los caudales instantáneos en los cauces naturales (ver Figura 20).

En un intento de descubrir qué modelo hidráulico o geométrico, influye más en la estimación del caudal, se realizó un análisis de factores. Este consistió en establecer 2 caudales (tabla 29), a partir de la multiplicación de:

$$\text{Caudal}_{(1)} \text{ FH modelado} * \text{FG real} \quad \text{y} \quad \text{Caudal}_{(2)} \text{ FH real} * \text{FG modelado}$$

En estas condiciones se pudo determinar que, el modelo de Caudal<sub>(1)</sub> tiene mayor porcentaje de diferencia (48%), y a su vez, se estableció que el factor que más influye para la estimación de caudal, es el factor hidráulico (FH).



**FIGURA 20:** Gráfico Caudal modelado v/s Caudal molinete.

En resumen, se tienen 2 modelos, (FH y FG), que poseen una relación matemática potencial y lineal recíproco, respectivamente. Pero, la validación de estos modelos se hace imposible ya que las condiciones naturales del lecho han cambiado, de tal forma, que los modelos sobrestiman o subestiman los verdaderos valores de estos factores. Esto conlleva a que la estimación de caudal no sea óptima. Frente a este análisis, solo queda proponer un nuevo modelo, dado por:

$$FH = a_1 + b_1 H \pm c_1 \text{ SED-ERO} \quad \text{y} \quad FG = a_2 + b_2 H \pm c_2 \text{ SED-ERO}$$

Donde: SED-ERO es un factor de sedimentación o erosión del material en el lecho del río. El signo + o – que va antes del coeficiente  $c_1$  o  $c_2$ , determinará si este factor es provocado por una deposición o por erosión.

De esta manera, el caudal podrá integrar una nueva variable, sedimentación y/o erosión, que reducirá el alto porcentaje de diferencia entre lo esperado y lo obtenido. De otra forma, se tendría que pavimentar el lecho para eliminar el cambio de configuración geométrica, y además de eso, realizar continuos sondeos al lecho para verificar la no deposición de material en el fondo del río.

En otro contexto, la ingeniería hidráulica de canales tiene la posibilidad de manejar esas variables hidráulicas y obtener mejores resultados. Sin embargo, la utilización de la ecuación de Manning en cauces naturales (Río Maule), deberá considerar los elementos mencionados anteriormente.

#### **6.5.- Análisis de Modelos No-Paramétricos.**

Los modelos de regresión no-paramétrica que se utilizaron en esta investigación no han sido lo bueno que se desea. Los resultados muestran que el mejor ajuste resulta ser el modelo 2 ( $FH = H * [ 1 - e^{(-FH/k)} ]$ ) con un  $R^2 = 43.8\%$  (ver tabla 31). Sin embargo, este valor es demasiado bajo para hacer buenas estimaciones de caudal. Por un lado, la estructura de los modelos no lineales presentados en la tabla 31 tienen una componente exponencial, por lo que, el ajuste (MCO) provoca una suma de cuadrados del error ( $\sum e_i^2$ ) bastante grande, incidiendo negativamente en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Por otro lado, presenta los mismos problemas de subestimación o sobrestimación de los modelos, debido al factor de sedimentación o erosión. En estas condiciones, la altura limnimétrica no es un buen estimador para los factores hidráulicos y geométricos.

## **7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **7.1.- Conclusiones.**

De acuerdo a la investigación realizada en la estación fluviométrica Forel, ubicada en el río Maule, es posible concluir lo siguiente:

- 1- El método utilizado para determinar los parámetros hidráulicos (perímetro mojado y radio hidráulico) a partir del sondeo del lecho (coordenadas - posición - distancia x e y) presenta varias ventajas en relación con construir perfiles transversales para medir esas variables. Cuando esta información es procesada en una planilla electrónica (Anexo II), esta metodología es más rápida, menos tediosa y fácil de trabajar.
- 2- El radio hidráulico presente en el río Maule durante este período (1985 –1998), tiene un comportamiento Lognormal, con un valor promedio de 6 metros aproximadamente. Cuando se está en presencia de cauces naturales anchos como lo es el río Maule, el valor del radio hidráulico se aproxima mucho a la profundidad media del lecho. Por consiguiente, se pueden inferir otras relaciones matemáticas e hidráulicas para esta estación de medición hidrométrica. Asimismo, el comportamiento del perímetro mojado (Pm) varía de forma ascendente, según el nivel de agua en el río. Estos valores varían de 92,2 a 316,4 metros de longitud siguiendo el nivel del lecho del río Maule.
- 3- Las alturas limnimétricas registradas durante este período tiene un comportamiento Lognormal con un valor promedio de 2.87 metros, mientras que las alturas mínimas y máximas registradas son 1.348 y 4.915 (sin considerar crecidas). En presencia de crecidas la regla limnimétrica registró valores sobre los 7 metros de altura (Agosto-86: 7.46 m; Junio-92: 8.855 m; Julio-94: 8.65m). Estos valores son muy importantes para el control de crecidas.

- 4- En función de los parámetros hidráulicos de la estación Forel y a través de la ecuación de Manning, se pueden determinar el factor hidráulico y geométrico. Así, el factor hidráulico crece con la pendiente y en razón inversa de la rugosidad del lecho. Este factor varía entre 0.0348 y 0.2663 (no considera crecidas), con una distribución Lognormal. El factor geométrico, en cambio, varía entre 2014.7 y 6733.5, sin un comportamiento conocido. Estos factores serán los componentes necesarios para determinar el caudal instantáneo del río en la estación Forel.
- 5- El ajuste del modelo FH v/s H resultó tener una relación matemática potencial entre sus variables, mientras que el modelo FG v/s H posee una relación lineal recíproca. Esto indica que se pueden establecer funciones de regresión entre estos factores y la altura limnimétrica del río.
- 6- Las correcciones hechas a los modelos con problemas de heterocedasticidad se logró superar con una transformación logarítmica de sus variables. Cuando el modelo tiene problemas de correlación serial de sus residuos, éste se superó con la aplicación del método p basado en el estadístico de Durbin & Watson.
- 7- La validación de estos 2 modelos (FH y FG) revela grandes diferencias porcentuales entre lo esperado y lo obtenido (48 y 40 % de diferencia respectivamente). Esto se debe a los cambios ocurridos en las condiciones naturales del lecho, provocados por la sedimentación o erosión de materiales en la configuración geométrica del río, y por consiguiente, en la medición de los niveles de agua en la regla limnimétrica. Esta es la causa de que exista una sub o sobre estimación en los modelos FH y FG planteados.
- 8- Fue posible estimar el caudal instantáneo del río con la relación  $Q = FH \times FG$ . Sin embargo, este caudal modelado difiere del caudal obtenido por aforo con molinete. Esta diferencia alcanza al 30 %, siendo considerado, un mal aforo con respecto a otros métodos de medición utilizados actualmente por las instituciones encargadas de la hidrometría (Dirección General de Aguas). Además, el análisis de factores determinó

que el factor hidráulico (FH) presenta una mayor diferencia porcentual respecto de los verdaderos valores en las estimaciones del caudal.

- 9- Los modelos no-parámétricos utilizados para explicar la relación entre los factores mencionados y la altura limnimétrica, no tienen un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) alto o satisfactorio para hacer buenas estimaciones de caudal. El modelo no-paramétrico ( $FH = H [ 1 - e^{-(H/k)} ]$ ), es el que presenta un coeficiente de determinación más alto ( $R^2 = 43.8 \%$ ).
- 10- Finalmente, se puede plantear que la aplicación de la ecuación de Manning debe considerar variables de sedimentación o erosión de material para obtener mejores resultados, porque estos son procesos propios e inevitables que ocurren en los cauces naturales. De otra manera, el uso de la regresión de funciones matemáticas estimadoras de caudal o de otras variables de interés, adolece de validez, por cuanto, estos modelos subestimarán o sobrestimarán los verdaderos valores de la variable en estudio.

## **7.2.- Recomendaciones.**

☛ **Ajuste y corrección de modelos.** En el área de la hidrología, generalmente se encuentran modelos con problemas de heterocedasticidad y en mayor número de veces la autocorrelación de los residuos. Basado en los buenos resultados de esta memoria para superar estos problemas, se propone:

✓ En presencia de *heterocedastidad*, se debe aplicar una transformación logarítmica de las variables del modelo.

✓ En Presencia de *autocorrelación*, se debe aplicar el método  $\rho$  basado en el estadístico de Durbin & Watson.

- ☛ **Validación de los modelos.** Generalmente, muchos autores dejan formulados los modelos matemáticos preocupándose de cumplir algunos supuestos básicos de la modelación. Se recomienda validar con datos nuevos y suficientes cada ajuste que se realice, para así conocer la verdadera capacidad de estimación del modelo planteado. Además, se debe dejar claramente establecidos las condiciones internas y externas de la medición, así como, los alcances y restricciones de la utilización posterior del modelo planteado. De esta forma, se tendrá una representación matemática más fidedigna de la realidad.
  
- ☛ **Regla limnimétrica.** Para la determinación de caudales a partir de los registros de nivel (regla limnimétrica), se hace necesario chequear continuamente las condiciones geométricas del lecho, debido a que, con el tiempo estas condiciones cambian por factores tales como sedimentación y/o erosión.
  
- ☛ **Modelo que incluye variable SED-ERO.** La utilización de la ecuación de Manning en cauces naturales, como el río Maule, debe incluir variables de sedimentación y/o erosión (SED-ERO). De esta manera, sería posible pensar en que se corregirá la sobrestimación y estimación de las variables incluidas en los modelos. De lo contrario, la ecuación de Manning solo es recomendable para canales en donde sus variables hidráulicas pueden ser manejadas.

De acuerdo a lo expuesto, se propone integrar una variable que represente la erosión y/o sedimentación del lecho, de modo que, la relación matemática entre los factores hidráulico y geométrico quede expresado, de la siguiente forma:

$$\text{FACTOR (FH o FG)} = a + b H \pm c \text{ SED-ERO.}$$

Finalmente, se recomienda continuar estas investigaciones sobre las variables hidráulicas de los cauces naturales, para comprender de mejor forma el comportamiento de estos cauces. Ello supone, considerar que los modelos como los aquí planteados, son sólo una representación a gran escala de la realidad, por ende, es necesario asumir las limitaciones de éstos e involucrar nuevas variables en los posteriores estudios que expliquen mejor el comportamiento de la naturaleza. Asimismo, el manejo de la información adecuada y oportuna de los cauces naturales, servirá de base para crear obras fluviales y llevar un control de crecidas. Además, permitirá conocer las disponibilidades de agua, para la gestión de este recurso, el otorgamiento de derechos de aprovechamiento y su distribución a los distintos entes de nuestra sociedad.

## **8.- BIBLIOGRAFÍA.**

- CHOW, V., MAIDMENT, D. Y MAYS, L. 1994. Hidrología Aplicada. Editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana. Bogotá. Colombia.
- CID, L., MORA, A. Y VALENZUELA, M. 1990. Inferencia Estadística. Departamento de Matemáticas. Facultad de Ciencias. Universidad de Concepción. Chile.
- CIRUGEDA, J. 1985. Curso Internacional de Hidrología General y Aplicada: Métodos directos de evaluación de avenidas. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. España.
- DÍAZ, L. 1991. Manual básico para instrucción de Hidromensores. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas. Departamento de Hidrología. Santiago. Chile.
- DOMÍNGUEZ, J. 1945. Curso de Hidráulica. 2ª Edición. Talleres del imparcial. Santiago. Chile.
- GARCIA, J. y PIZARRO, R. 1998. Apuntes del curso: Hidrotécnicas para la Conservación de Aguas y Suelos. Seminario Restauración Hidrológico – Forestal. Universidad de Talca. Chile.
- GUJARATI, D. 1992. Econometría. 2ª Edición. Editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana. D.F. México.
- JEGAT, H. 1987. Apuntes del curso: Hidrología, Erosión y Sedimentación; Manejo de Cuencas Hidrográficas. Puerto Montt. Chile.
- JOHNSTON, J. 1992. Métodos de Econometría. Traducido en español. Editorial Vicens Vives. España.

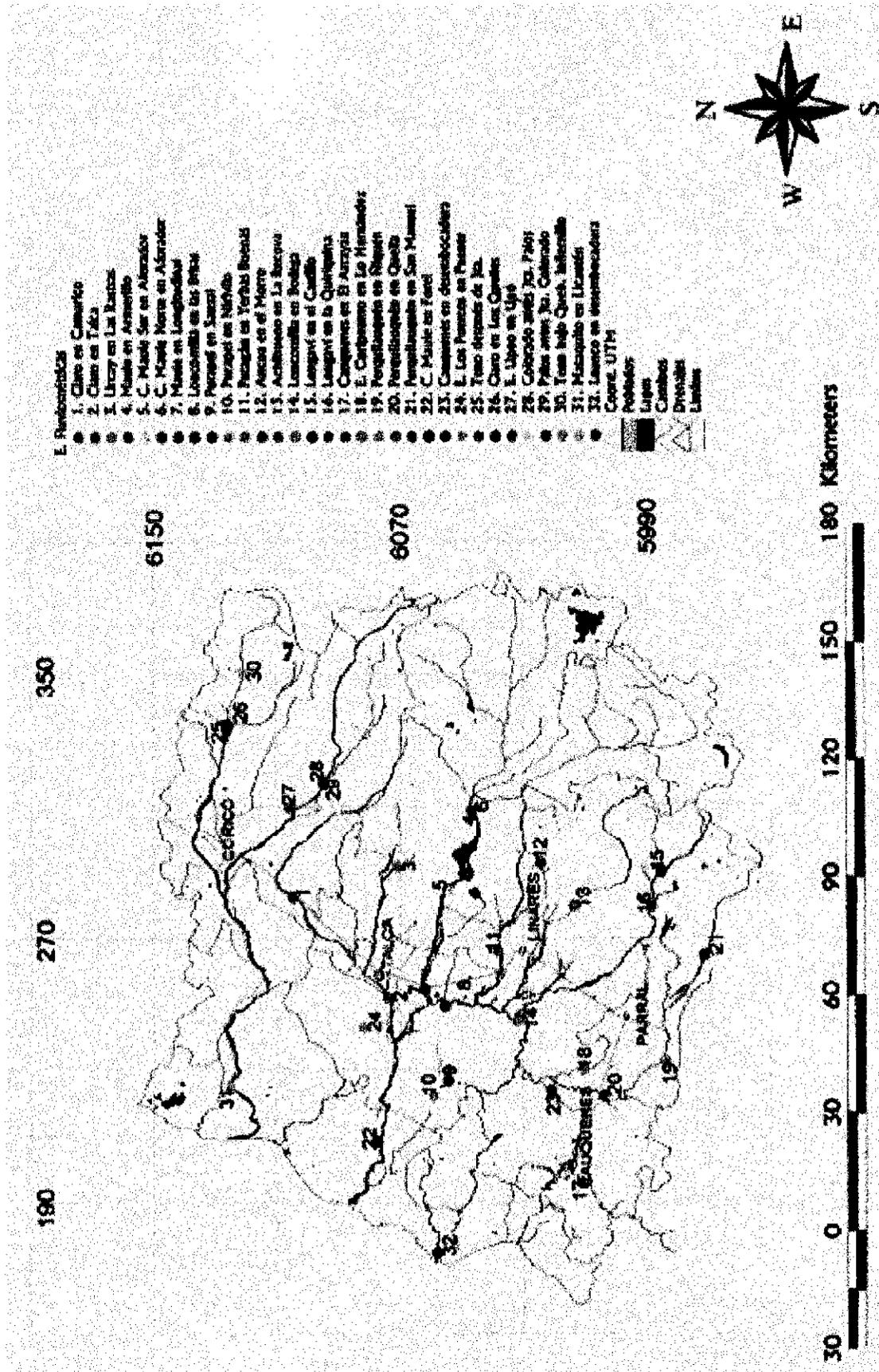
- KAZMANN, R. 1974. Hidrología Moderna. 2ª Edición. Compañía Editorial Continental S.A. México.
- LLAMAS, J. 1993. Hidrología General; Principios y Aplicaciones. Edición Española. Editorial Universidad del País Vasco. España.
- LINSLEY, R., FRANZINI, J., FREYBERG, D. Y TCHOBANOGLIOUS, G. 1992. Water-Resources Engineering. 4ª Edición. McGraw-Hill Latinoamericana. Singapur.
- LINSLEY, R., KOHLER, M. Y PAULUS, J. 1988. Hidrología Para Ingenieros. 2ª Edición. McGraw-Hill Latinoamericana. D.F. México.
- MONTGOMERY, D. y RUNGER, G. 1994. Probabilidad y Estadística Aplicado a la Ingeniería. Editorial McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. México
- PIZARRO, R. y NOVOA, P. 1986. Instructivo N°5; Determinación de Valores Probabilísticos para Variables Hidrológicas. Elementos Técnicos de Hidrología I. Corporación Nacional Forestal (CONAF). Chile.
- PIZARRO, R. 1996. Análisis Comparativo de Modelos Matemáticos Precipitación – Escorrentía en Cuencas de la España Peninsular. Departamento de Ingeniería de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. España.
- PIZARRO, R. 1998. Propuesta de un Modelo Matemático para la Caracterización Global del Proceso Precipitación – Escorrentía en Zonas semiáridas. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO. Valdivia. Chile.
- REMENIERAS, G. 1971. Tratado de Hidrología Aplicada. Primera edición española. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona. España.

- SALASSIER, B. 1982. Manual de Irrigação. Primera edición. Editorial imprensa universitaria. Universidad Federal de Viçosa. Minas Gerais. Brasil.
- SHAO, S. 1970. Estadística para Economistas y Administradores de Empresas. Editorial Herrero Hermano, SUCS S.A. México.
- SPIEGEL, W. 1978. Estadística General. Primera Edición. Editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana. México.
- VALLEJOS, O. 1999. Apuntes de Dasometría I. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Talca. Chile.

# *APÉNDICES*

- I.- Mapa de estaciones fluviométricas. VII Región.
- II.- Análisis de regresión modelo lineal FH v/s H (117 datos).
- III.- Análisis y supuestos de regresión modelo lineal FH v/s H (114 datos).
- IV.- Análisis y supuestos de regresión modelo logarítmico Ln FH v/s Ln H.
- V.- Análisis de regresión modelo transformado Ln FH\* v/s Ln H\*.
- VI.- Análisis de regresión modelo transformado Ln FH\*\* v/s Ln H\*\*.
- VII.- Análisis de regresión modelo lineal FG v/s H (117 datos).
- VIII.- Análisis de regresión modelo lineal FH v/s H (114 datos).
- IX.- Análisis y supuestos de regresión modelo lineal recíproco (1/FG) v/s H.
- X.- Análisis de regresión modelo transformado (1/FG)\* v/s H\*.
- XI.- Análisis de regresión modelo transformado (1/FG)\*\* v/s H\*\*.
- XII.- Pruebas de bondad de ajuste (test Kolmogorov – Smirnov).
- XIII.- Pruebas ji – cuadrado.
- XIV.- Modelos no paramétricos.

APÉNDICE I  
 MAPA DE ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS, VII REGIÓN.



## APÉNDICE II

### ANÁLISIS DE REGRESIÓN: MODELO FH v/s H (117 Datos)

(Tabla 1) Modelo Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Variable Dependiente: FH		Variable Independiente: H		
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	-0.0506398	0.00753796	-6.71797	0.0000
Pendiente	0.0593733	0.00241978	24.5367	0.0000

(Tabla 2) Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.L	C.M	F	Valor-p
Modelo	0.564751	1	0.564751	602.05	0.0000
Error	0.107876	115	0.000938		
Total	0.672627	116			

Coeficiente de Correlación ( $r$ ) = 0.916308  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 83.962 %  
 $R^2$  ajustado = 83.8226 %  
 Error Estándar de la Estimación = 0.0306276  
 Error absoluto = 0.022648  
 Estadístico Durbin-Watson = 0.477916

(Tabla 3) Análisis de Varianza con Bondad de Ajuste.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.L	C.M	F	Valor-p
Modelo	0.564751	1	0.564751	602.05	0.0000
Error	0.107876	115	0.000938		
B. de Ajuste	0.104138	109	0.000955	1.53	0.3117
Error Puro	0.0037381	6	0.000623		
Total	0.672627	116			

(Tabla 4) Comparación de Modelos Alternativos.

Modelo	Coef. Correlación	$R^2$
Lineal	0.9163	83.96%
Raíz de X	0.9025	81.45%
Log probit	0.8761	76.75%
Raíz de Y	0.8738	76.35%
Logarítmico X	0.8684	75.41%
Multiplicativo	0.8559	73.26%
Logístico	0.8353	69.77%
Curva-S	-0.8330	69.39%
Exponencial	0.8028	64.45%
Doble Recíproco	0.7911	62.58%
Recíproco X	-0.7660	58.68%
Recíproco Y	no ajustado	---

(Tabla 5) Residuos Inusuales.

Fila	X	Y	Yestimado	Error	Residuo Stnd.
18	4.66	0.1232	0.22604	-0.10284	-3.58
21	3.895	0.116	0.180619	-0.064619	-2.16
24	3.425	0.0847	0.152714	-0.0680136	-2.27
112	8.65	0.5336	0.462939	0.0706611	2.67
113	3.1	0.1974	0.133417	0.0639827	2.13
114	3.065	0.1999	0.131339	0.0685608	2.29
115	2.755	0.1773	0.112934	0.0643665	2.14

(Tabla 6) Puntos Influyentes.

Fila	X	Y	Yestimado	Residuo Stnd.	Leverage
20	7.46	0.3599	0.392285	-1.14	0.139081
89	8.855	0.4471	0.47511	-1.04	0.230868
112	8.65	0.5336	0.462939	2.67	0.215857

Gráfico 1: Modelo Ajustado

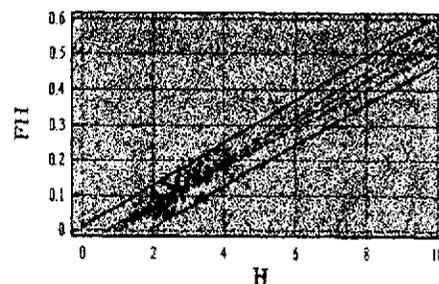


Gráfico 2: Gráfica de FH

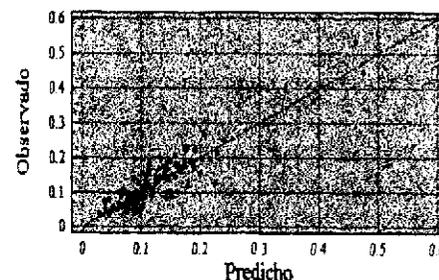


Gráfico 3: Residuos v/s H

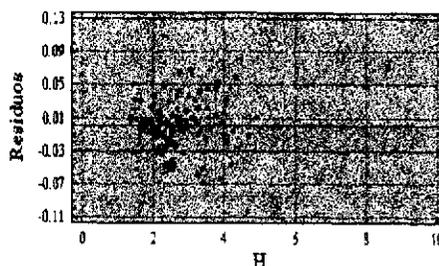
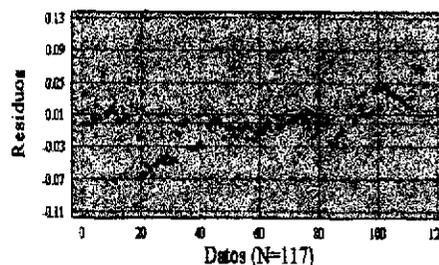


Gráfico 4: Comportamiento de los Residuos en el Tiempo



## APÉNDICE III

### ANÁLISIS Y SUPUESTOS DE REGRESIÓN: MODELO FH v/s H (114 Datos)

(Tabla 1) Modelo Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Variable Dependiente: FH		Variable Independiente: H		
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	-0.0469672	0.0103675	-4.53022	0.0000
Pendiente	0.058002	0.00363668	15.9492	0.0000

(Tabla 2) Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M	F	Valor-p
Modelo	0.229212	1	0.229212	254.38	0.0000
Error	0.10092	112	0.0009011		
Total	0.330133	113			

Coeficiente de Correlación (r) = 0.833249  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 69.4303 %  
 $R^2$  ajustado = 69.4303 %  
 Error Estándar de la Estimación = 0.0300179  
 Error absoluto = 0.022105  
 Estadístico Durbin-Watson = 0.511574

(Tabla 3) Análisis de Varianza con Bondad de Ajuste

Fuente	Suma de Cuadrados	g.L	C.M	F	Valor-p
Modelo	0.229212	1	0.229212	254.38	0.0000
Error	0.10092	112	0.0009011		
B. de Ajuste	0.0971824	106	0.0009168	1.47	0.3336
Error Puro	0.0037381	6	0.0006230		
Total	0.330133	113			

(Tabla 4) Comparación de Modelos Alternativos.

Modelo	Coef. Correlación	$R^2$
Lineal	0.8332	69.43%
Raíz de X	0.8315	69.14%
Raíz de Y	0.8276	68.49%
Log probit	0.8269	68.37%
Logaritmico X	0.8224	67.63%
Multiplicativo	0.8212	67.44%
Logístico	0.8142	66.29%
Exponencial	0.8083	65.34%
Curva-S	-0.8048	64.77%
Reciproco X	-0.7813	61.05%
Doble Reciproco	0.7782	60.56%
Reciproco Y	no ajustado	---

(Tabla 5) Residuos Inusuales.

Fila	X	Y	Yestimado	Error	Residuo Stnd.
7	4.36	0.2663	0.205922	0.0603784	2.09
18	4.66	0.1232	0.223322	-0.100122	-3.63
20	3.895	0.116	0.178951	-0.0629507	-2.16
22	3.265	0.0835	0.142409	-0.0589094	-2.00
23	3.425	0.0847	0.15169	-0.0669897	-2.29
110	3.1	0.1974	0.132839	0.0645609	2.20
111	3.065	0.1999	0.130809	0.069091	2.36
112	2.755	0.1773	0.112828	0.0644716	2.19

(Tabla 6) Puntos Influyentes.

Fila	X	Y	Yestimado	Error Stnd.	Leverage
18	4.66	0.1232	0.223322	-3.63	0.0626534
31	4.71	0.2157	0.226222	-0.36	0.0655023
41	4.915	0.2516	0.238113	0.47	0.07795

Gráfico 1: Modelo Ajustado

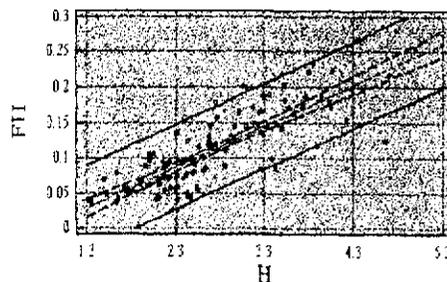


Gráfico 2: Gráfica de FH

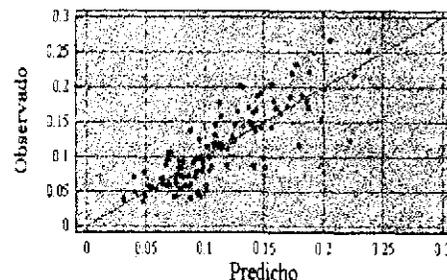


Gráfico 3: Residuos v/s H

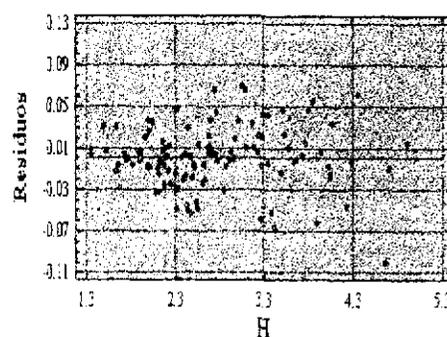
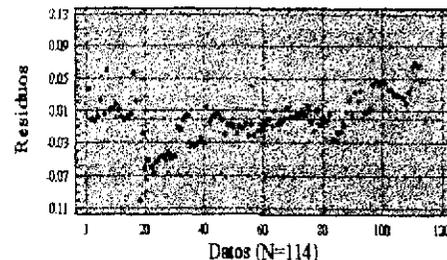


Gráfico 4: Comportamiento de los Residuos en el Tiempo



## APÉNDICE III

### ANÁLISIS Y SUPUESTOS DE REGRESIÓN: MODELO FH v/s H (114 Datos)

(1) Supuesto: **NORMALIDAD**

Variable: Error (114 valores de -0.1001 a 0.0691)

Ajuste Distribución Normal

Media = 0.00000263158

Desviación Estandar = 0.0298884

Test ji-Cuadrado ( $\alpha = 0.05$ )

Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Ji-Cuadrado
< -0.035		12	13.77	0.23
-0.035	-0.01	21	28.29	1.88
-0.01	0.015	53	36.84	7.09
0.015	0.04	16	24.79	3.12
> 0.04		12	10.31	0.28

Ji-Cuadrado = 12.5927 con 2 g.l. Valor-p = 0.00184303

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS = 0.0757493

Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS = 0.0832554

Estimación Completa Estadístico DN = 0.0832554

Valor-p Aproximado = 0.413593

Por lo tanto, no tiene problemas de Normalidad.

(2) Supuesto: **HOMOCEDESTICIDAD**

Prueba Gollfeld - Quandt ( $c = N/3 = 38$ ) ( $\alpha = 0.05$ )

Recta Nº 1 - (38 valores)

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	g.L	C.M	F	Valor-p
Modelo	0.00451035	1	0.00451035	12.43	0.0012
Error	0.0130582	36	0.000362728		
Total	0.0175686	37			

Recta Nº 2 - (38 valores)

Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.L	C.M	F	Valor-p
Modelo	0.011561	1	0.011561	8.14	0.0071
Error	0.0511294	36	0.0014202		
Total	0.0626905	37			

K calculado =  $(SCR_2 / g.l) / (SCR_1 / g.l)$

K calculado =  $(0.0511294 / 36) / (0.0130582 / 36)$

K calculado = 3.91

K tabla = 1.81

Por lo tanto, existe evidencia de heterocedasticidad.

(3) Supuesto: **NO-AUTOCORRELACIÓN**

**Prueba de Durbin - Watson ( $\alpha = 0.05$ )**

$D = 0.511574$  ;  $DL = 1.67$  ;  $Du = 1.71$

$0 < D < DL$

$0 < 0.511574 < 1.67$

Luego, esta dentro de la región de decisión Rechazar.

Por lo tanto, existe Autocorrelación positiva.

Gráfico 1: Histograma de Residuos

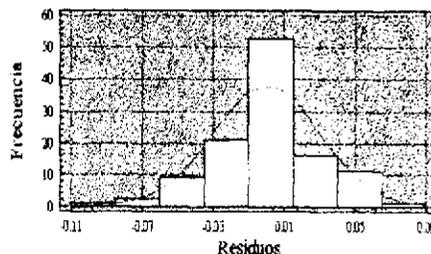


Gráfico 2: Probabilidad Normal de los Residuos

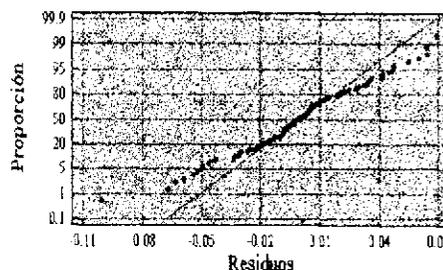


Gráfico 3: Error<sup>2</sup> vs FH estimado

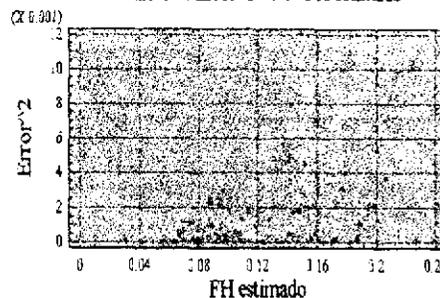
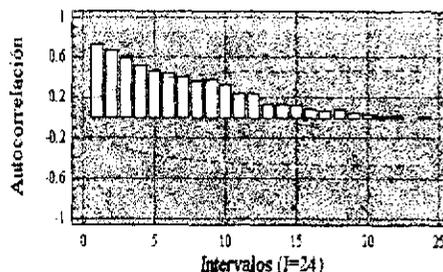


Gráfico 4: Autocorrelación de Residuos



**Observaciones:**

- Cumple el supuesto de Normalidad.
- No Cumple el supuesto de Homocedasticidad.
- No cumple el supuesto de No-Autocorrelación.

### APÉNDICE IV

#### ANÁLISIS Y SUPUESTOS DE REGRESIÓN: MODELO Ln FH v/s Ln H (114 Datos)

(Tabla 1) Modelo Logarítmico:  $\text{Ln } Y = a + b * \text{Ln } X$

Variable Dependiente: Ln FH		Variable Independiente: Ln H		
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	-3.73068	0.097278	-38.3508	0.0000
Pendiente	1.467	0.0963229	15.23	0.0000

(Tabla 2) Analisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	19.1345	1	19.1345	231.95	0.0000
Error	9.23918	112	0.0824927		
Total	28.3736	113			

Coeficiente de Correlación (r) = 0.821203  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 67.4374 %  
 $R^2$  ajustado = 67.1467 %  
 Error Estándar de la Estimación = 0.287215  
 Error absoluto = 0.21609  
 Estadístico Durbin-Watson = 0.342104

(Tabla 3) Analisis de Varianza con Bondad de Ajuste

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	19.1345	1	19.1345	231.95	0.0000
Error	9.23918	112	0.08249		
B. de Ajuste	8.74266	106	0.08247	1.00	0.5728
Error Puro	0.496518	6	0.08275		
Total	28.3736	113			

(Tabla 4) Comparación de Modelos Alternativos.

Modelo	Coef. Correlación	$R^2$
Recíproco Y	-0.8235	67.81%
Lineal	0.8212	67.44%
Raíz de X	0.8139	66.24%
Logarítmico X	0.7937	63.00%
Recíproco X	-0.7087	50.22%
Doble Recíproco	0.6574	43.21%
Exponencial	no ajustado	----
Multiplicativo	no ajustado	----
Raíz de Y	no ajustado	----
Curva-S	no ajustado	----
Logístico	no ajustado	----
Log probit	no ajustado	----

(Tabla 5) Residuos Inusuales.

Fila	X	Y	Yestimado	Error	Residuo Stnd.
18	1.539	-2.0939	-1.47297	-0.620928	-2.25
24	0.9083	-3.1396	-2.39821	-0.741391	-2.66
25	0.8459	-3.2514	-2.48975	-0.76165	-2.74
26	0.8899	-3.0386	-2.4252	-0.613398	-2.18
27	0.894	-3.1049	-2.41919	-0.685713	-2.45
29	0.942	-2.9494	-2.34877	-0.600629	-2.13

(Tabla 6) Puntos Influyentes.

Fila	X	Y	Yestimado	Residuo Stnd.	Leverage
72	0.3038	-3.3467	-3.28501	-0.22	0.0587696
73	0.2986	-3.2391	-3.29264	0.19	0.0595525

Gráfico 1: Modelo Ajustado

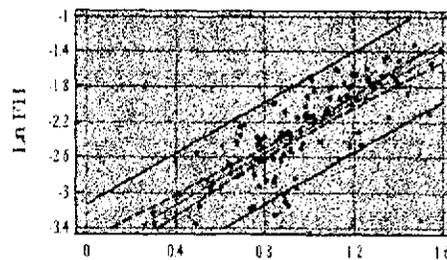


Gráfico 2: Gráfica de Ln FH

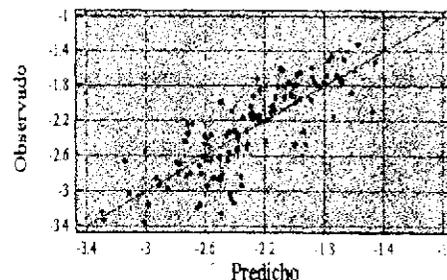


Gráfico 3: Residuos v/s Ln H

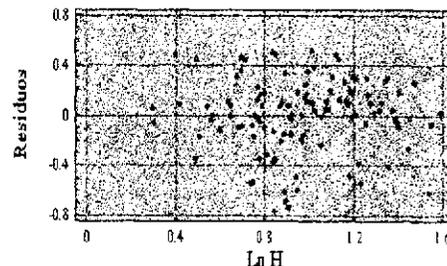
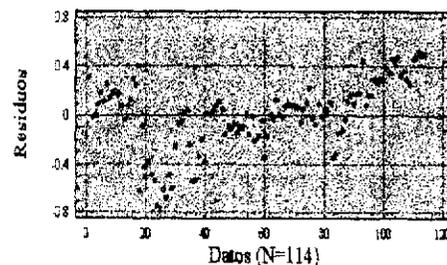


Gráfico 4: Comportamiento de los Residuos en el Tiempo



## APÉNDICE IV

### ANÁLISIS Y SUPUESTOS DE REGRESIÓN: MODELO Ln FH v/s Ln H (114 Datos)

(1) Supuesto: **NORMALIDAD**

Variable: Error (114 valores de -0.7616 a 0.5141)

Ajuste Distribución Normal

Media = 0.0

Desviación Estándar = 0.285938

Test ji-Cuadrado ( $\alpha = 0.05$ )

Limite Inferior	Limite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Ji-Cuadrado
< -0.3375	0.3375	17	13.56	0.87
-0.3375	-0.15	10	20.63	5.48
-0.15	0.0375	31	28.76	0.18
0.0375	0.225	33	26.47	1.61
0.225	0.4125	14	16.09	0.27
> 0.4125		9	8.50	0.03

Ji-Cuadrado = 8.44237 con 3 g.l. Valor-p = 0.0377004

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS = 0.0527112

Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS = 0.095529

Estimación Completa Estadístico DN = 0.095529

Valor-p Aproximado = 0.249933

Por lo tanto, no tiene problemas de Normalidad.

(2) Supuesto: **HOMOCEDASTICIDAD**

Prueba (Golfeld - Quandt) ( $c = N/3 = 38$ ) ( $\alpha = 0.05$ )

Recta N° 1 - (38 valores)

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M	F	Valor-p
Modelo	1.15052	1	1.15052	16.19	0.0003
Error	2.55832	36	0.0710644		
Total	3.70884	37			

Recta N° 2 - (38 valores)

Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M	F	Valor-p
Modelo	0.345292	1	0.345292	5.66	0.0228
Error	2.19535	36	0.0609821		
Total	2.54065	37			

K calculado =  $(SCR_2 / g.l.) / (SCR_1 / g.l.)$

K calculado =  $(2.19535 / 36) / (2.55832 / 36)$

K calculado = 0.86

K tabla = 1.81

Por lo tanto, No existe evidencia de heterocedasticidad.

(3) Supuesto: **NO-AUTOCORRELACIÓN**

Prueba de Durbin - Watson ( $\alpha = 0.05$ )	
D = 0.342104	DL = 1.67 ; Du = 1.71
0 < D	< DL
0 < 0.342104	< 1.67

Luego, esta dentro de la región de decisión Rechazar.

Por lo tanto, existe Autocorrelación positiva.

Gráfico 1: Histograma de Residuos

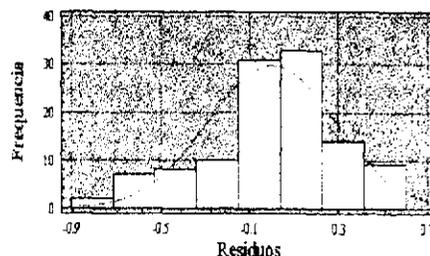


Gráfico 2: Probabilidad Normal de los Residuos

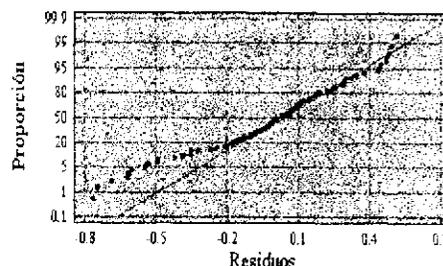


Gráfico 3: Error^2 w/s LnFH estimado

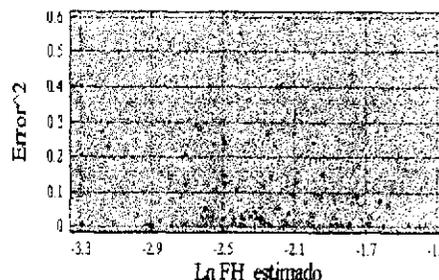
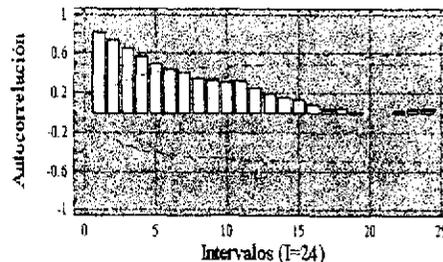


Gráfico 4: Autocorrelacion de Residuos



**Observaciones:**

- Cumple el supuesto de Normalidad.
- Cumple el supuesto de Homocedasticidad.
- No cumple el supuesto de No-Autocorrelación.

## APÉNDICE V

### ANÁLISIS DE REGRESIÓN: MODELO $\ln FH^*$ v/s $\ln H^*$ (113 Datos)

(Tabla 1) Modelo Transformado:  $\ln Y^* = a + b \cdot \ln X^*$

Variable Dependiente: $\ln FH^*$ Variable Independiente: $\ln H^*$				
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	-0.653452	0.0182339	-35.8372	0.0000
Pendiente	1.59124	0.0638557	24.9192	0.0000

(Tabla 2) Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	15.7417	1	15.7417	620.97	0.0000
Error	2.81387	111	0.025350		
Total	18.5556	112			

Coeficiente de Correlación ( $r$ ) = 0.921061  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 84.8354 %  
 $R^2$  ajustado = 84.6988 %  
 Error Estándar de la Estimación = 0.159218  
 Error absoluto = 0.108515  
 Estadístico Durbin-Watson = 2.42941

(Tabla 3) Análisis de Varianza con Bondad de Ajuste.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	15.7417	1	15.7417	620.97	0.0000
Error	2.81387	111	0.025350		
B. de Ajuste	2.81387	111	0.025350		
Error Puro	0.0	0			
Total	18.5556	112			

(Tabla 4) Supuesto de Autocorrelación.

Prueba de Durbin - Watson ( $\alpha = 0.05$ )	
$D = 2.42941$ ; $D_l = 1.67$ ; $D_u = 1.71$	
$4 - D_l < D < 4$	
$2.33 < 2.42941 < 4$	

Luego, esta dentro de la región de decisión Rechazar.  
 Por lo tanto, existe Autocorrelación negativa.

Gráfico 1: Modelo Ajustado

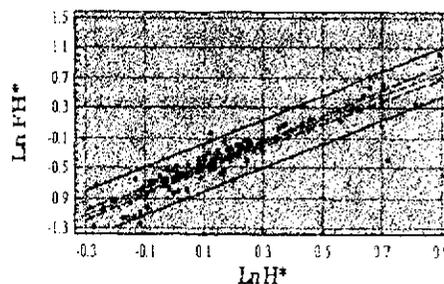


Gráfico 2: Gráfica de  $\ln FH^*$

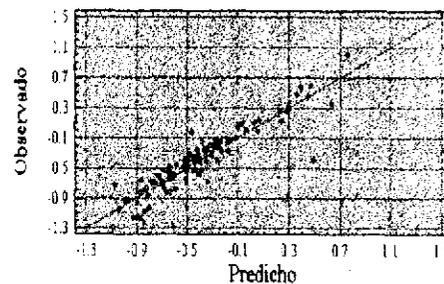
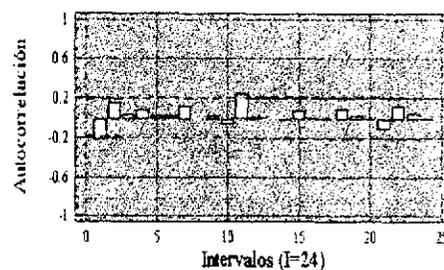


Gráfico 3: Autocorrelación de Residuos



## APÉNDICE VI

### ANÁLISIS DE REGRESIÓN: MODELO $\ln FH^{**}$ v/s $\ln H^{**}$ (112 Datos)

(Tabla 1) Modelo Transformado:  $\ln Y^{**} = a + b \cdot \ln X^{**}$

Var. Dependiente: $\ln FH^{**}$		Var. Independiente: $\ln H^{**}$		
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	-0.796749	0.0194415	-40.982	0.0000
Pendiente	1.59737	0.0633505	25.2148	0.0000

(Tabla 2) Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	15.1853	1	15.1853	635.79	0.0000
Error	2.62727	110	0.0238843		
Total	17.8126	111			

Coeficiente de Correlación (r) = 0.923312  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 85.2505 %  
 $R^2$  ajustado = 85.1164 %  
 Error Estándar de la Estimación = 0.154545  
 Error absoluto = 0.107576  
 Estadístico Durbin - Watson = 1.96398

(Tabla 3) Análisis de Varianza con Bondad de Ajuste.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	15.1853	1	15.1853	635.79	0.0000
Error	2.62727	110	0.02388		
B. de Ajuste	2.62646	109	0.02409	29.67	0.1434
Error Puro	0.000812045	1	0.00081		
Total	17.8126	111			

(Tabla 4) Supuesto de Autocorrelación

Prueba de Durbin - Watson ( $\alpha = 0.05$ )	
$D = 1.96398$ ; $D_L = 1.67$ ; $D_U = 1.71$	
$D_U < D < 4 - D_U$	
$1.71 < 1.96398 < 2.29$	

Luego, esta dentro de la región de decisión Rechazar.  
 Por lo tanto, NO existe Autocorrelación positiva o negativa.

Gráfico 1: Modelo Ajustado

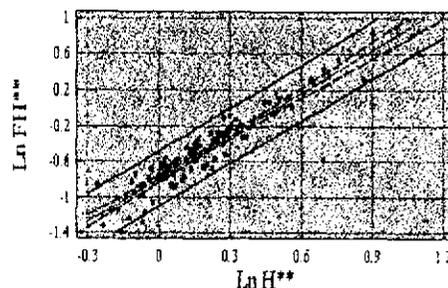


Gráfico 2: Gráfica de  $\ln FH^{**}$

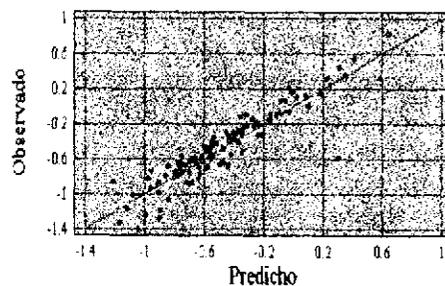
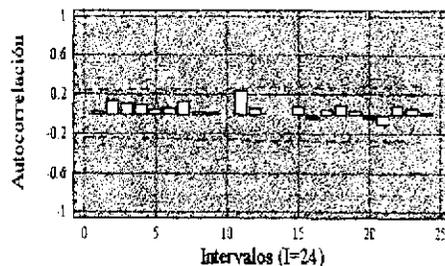


Gráfico 3: Autocorrelación de Residuos



## APÉNDICE VII ANÁLISIS DE REGRESIÓN: MODELO FG v/s H (117 Datos)

(Tabla 1) Modelo Lineal:  $Y = a + b \cdot X$ .

Variable Dependiente: FG		Variable Independiente: H		
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	693.625	138.512	5.00769	0.0000
Pendiente	905.959	44.464	20.3751	0.0000

(Tabla 2) Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.L.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	1.3149E8	1	1.3149E8	415.14	0.0000
Error	3.64243E7	115	316733.0		
Total	1.67914E8	116			

Coeficiente de Correlación ( $r$ ) = 0.884917  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 78.3078 %  
 $R^2$  ajustado = 78.1192 %  
 Error Estándar de la Estimación = 562.79  
 Error absoluto = 394.259  
 Estadístico Durbin-Watson = 0.727516

(Tabla 3) Análisis de Varianza con Bondad de Ajuste.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.L.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	1.3149E8	1	1.3149E8	415.14	0.0000
Error	3.64243E7	115	316733.0		
B. de Ajuste	3.59138E7	109	329484.0	3.87	0.0451
Error Puro	510526.0	6	85087.7		
Total	1.67914E8	116			

(Tabla 4) Comparación de Modelos Alternativos.

Modelo	Coef. Correlación	$R^2$
Lineal	0.8849	78.31%
Raíz de Y	0.8697	75.64%
Raíz de X	0.8593	73.83%
Exponencial	0.8441	71.26%
Multiplicativo	0.8377	70.17%
Logarítmico X	0.8150	66.43%
Doble Recíproco	0.8011	64.18%
Recíproco Y	-0.7778	60.50%
Curva-S	-0.7700	59.29%
Recíproco X	-0.7012	49.17%
Logístico	no ajustado	----
Log probit	no ajustado	----

(Tabla 5) Residuos inusuales.

Fila	X	Y	Yestimado	Error	Residuo Stnd.
18	4.66	6733.5	4915.4	1818.1	3.43
24	3.425	5199.6	3796.54	1403.06	2.57
25	2.48	4521.1	2940.4	1580.7	2.91
26	2.33	4357.4	2804.51	1552.89	2.86
27	2.435	4407.4	2899.64	1507.76	2.77
28	2.445	4482.8	2908.7	1574.1	2.90
29	2.555	4505.6	3008.35	1497.25	2.75
30	2.565	4244.4	3017.41	1226.99	2.23
89	8.855	9955.1	8715.9	1239.2	2.57

(Tabla 6) Puntos Influyentes.

Fila	X	Y	Yestimado	Residuo Stnd.	Leverage
20	7.46	7849.9	7452.08	0.76	0.139081
89	8.85	9955.1	8715.9	2.57	0.230868
112	8.65	7939.9	8530.17	-1.19	0.215857

Gráfico 1: Modelo Ajustado

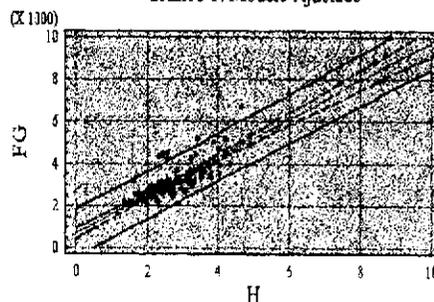


Gráfico 2: Gráfica de FG

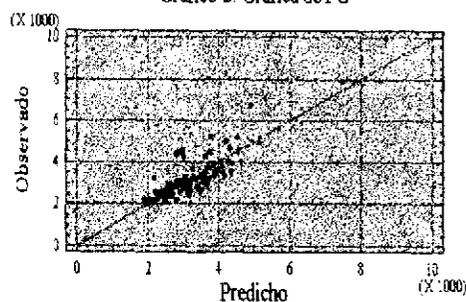


Gráfico 3: Residuos v/s H

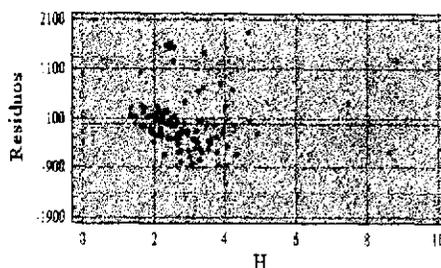
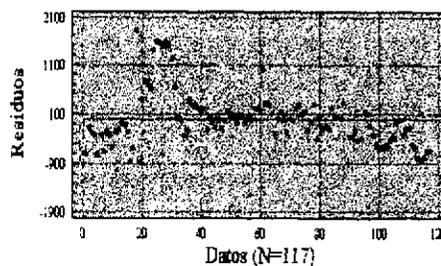


Gráfico 4: Comportamiento de los Residuos en el Tiempo



## APÉNDICE VIII

### ANÁLISIS DE REGRESIÓN: MODELO FG v/s H (114 Datos)

(Tabla 1) Modelo Lineal:  $Y = a + b \cdot X$ .

Variable Dependiente: FG		Variable Independiente: H		
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	924.59	189.875	4.86946	0.0000
Pendiente	818.442	66.6036	12.2882	0.0000

(Tabla 2) Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.L.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	4.56381E7	1	4.56381E7	151.00	0.0000
Error	3.38505E7	112	302237.0		
Total	7.94886E7	113			

Coeficiente de Correlación (r) = 0.757724  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 57.4146 %  
 $R^2$  ajustado = 57.0344 %  
 Error Estándar de la Estimación = 549.761  
 Error absoluto = 373.008  
 Estadístico Durbin-Watson = 0.710674

(Tabla 3) Análisis de Varianza con Bondad de Ajuste.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	4.56381E7	1	4.56381E7	151.0	0.0000
Error	3.38505E7	112	302237.0		
B. de Ajuste	3.334E7	106	314528.0	3.70	0.0504
Error Puro	510526.0	6	85087.7		
Total	7.94886E7	113			

(Tabla 4) Comparación de Modelos Alternativos

Modelo	Coef. Correlación	$R^2$
Recíproco Y	-0.7792	60.72%
Exponencial	0.7776	60.47%
Raíz de Y	0.7701	59.30%
Doble Recíproco	0.7668	58.80%
Multipliativo	0.7666	58.77%
Lineal	0.7577	57.41%
Raíz de X	0.7469	55.79%
Curva-S	-0.7344	53.93%
Logarítmico X	0.7313	53.49%
Recíproco X	-0.6858	47.04%
Logístico	no ajustado	----
Log probit	no ajustado	----

(Tabla 5) Residuos Inusuales.

Fila	X	Y	Y estimado	Error	Residuo Stnd.
18	4.66	6733.5	4738.53	1994.97	3.99
23	3.425	5199.6	3727.75	1471.85	2.78
24	2.48	4521.1	2954.33	1566.77	2.96
25	2.33	4357.4	2831.56	1525.84	2.88
26	2.435	4407.4	2917.5	1489.9	2.81
27	2.445	4482.8	2925.68	1557.12	2.94
28	2.555	4505.6	3015.71	1489.89	2.80
29	2.565	4244.4	3023.89	1220.51	2.27

(Tabla 6) Puntos Influyentes.

Fila	X	Y	Y estimado	Residuo Stnd.	Leverage
18	4.66	6733.5	4738.53	3.99	0.0626534
31	4.71	4994.8	4779.45	0.40	0.0655023
41	4.915	4914.6	4947.23	-0.06	0.07795

Gráfico 1: Modelo Ajustado

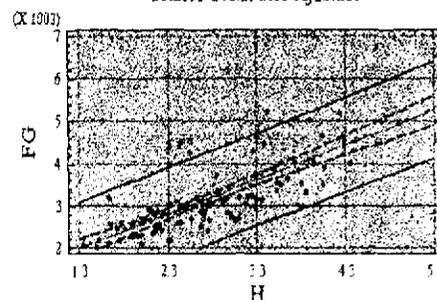


Gráfico 2: Gráfica de FG

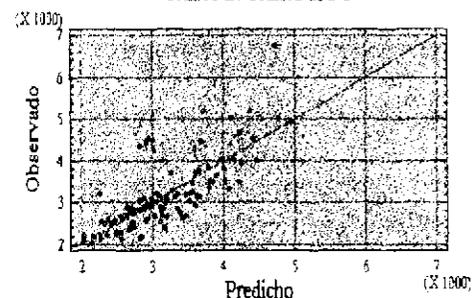


Gráfico 3: Residuos v/s H

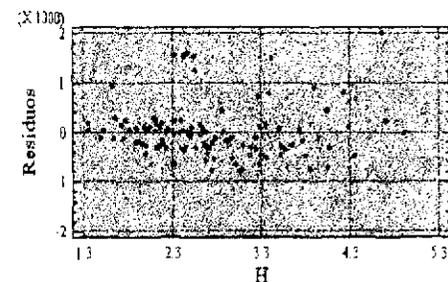
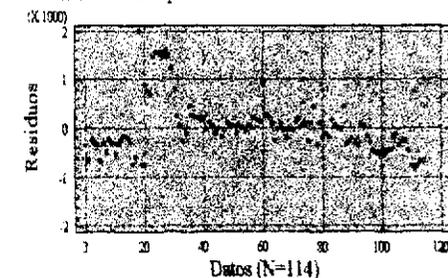


Gráfico 4: Comportamiento de los Residuos en el Tiempo



## APÉNDICE IX

### ANÁLISIS Y SUPUESTOS DE REGRESIÓN: MODELO 1/FG v/s H (114 Datos)

(Tabla 1) Modelo Lineal Recíproco:  $1/Y = a + b \cdot X$ .

Variable Dependiente: 1/FG		Variable Independiente: H		
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	0.000542404	0.00001643	33.013	0.0000
Pendiente	-0.000075833	0.00000576326	-13.1582	0.0000

(Tabla 2) Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.L.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	3.91812E-7	1	3.91812E-7	173.1	0.0000
Error	2.53458E-7	112	2.26301E-9		
Total	6.4527E-7	113			

Coeficiente de Correlación (r) = -0.779235  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 60.7207 %  
 $R^2$  ajustado = 60.37 %  
 Error Estándar de la Estimación = 0.0000475712  
 Error absoluto = 0.000035137  
 Estadístico Durbin-Watson = 0.386574

(Tabla 3) Análisis de Varianza con Bondad de Ajuste.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.L.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	3.91812E-7	1	3.91812E-7	173.14	0.0000
Error	2.53458E-7	112	2.26301E-9		
B. de Ajuste	2.41509E-7	106	2.27838E-9	1.14	0.4834
Error Puro	1.1949E-8	6	1.99151E-9		
Total	6.4527E-7	113			

(Tabla 4) Comparación de Modelos Alternativos.

Modelo	Coef. Correlación	$R^2$
Raíz de X	-0.7842	61.49%
Logarítmico X	-0.7841	61.47%
Raíz de Y	-0.7806	60.93%
Lineal	-0.7792	60.72%
Logístico	-0.7776	60.47%
Exponencial	-0.7776	60.47%
Log probit	-0.7684	59.04%
Recíproco X	0.7668	58.80%
Multiplicativo	-0.7666	58.77%
Recíproco Y	0.7577	57.42%
Curva-S	0.7344	53.93%
Doble Recíproco	-0.6858	47.04%

(Tabla 5) Residuos Inusuales.

Fila	X	Y	Yestimado	Error	Residuo Std.
24	2.48	0.00022	0.00035	-0.000133	-2.90
25	2.33	0.00023	0.00037	-0.000136	-2.98
26	2.435	0.00022	0.00036	-0.000131	-2.85
27	2.445	0.00022	0.00036	-0.000134	-2.92
28	2.555	0.00022	0.00035	-0.000126	-2.75
29	2.565	0.00024	0.00035	-0.000112	-2.42
60	1.635	0.00031	0.00042	-0.000105	-2.27
113	2.34	0.00046	0.00036	0.000097	2.08
114	2.32	0.00046	0.00037	0.000098	2.11

(Tabla 6) Puntos Influyentes

Fila	X	Y	Yestimado	Residuo Std.	Leverage
18	4.66	0.000148	0.000189	-0.88	0.06265
31	4.71	0.000200	0.000185	0.32	0.06550
41	4.915	0.000203	0.000170	0.74	0.07795

Gráfico 1: Modelo Ajustado

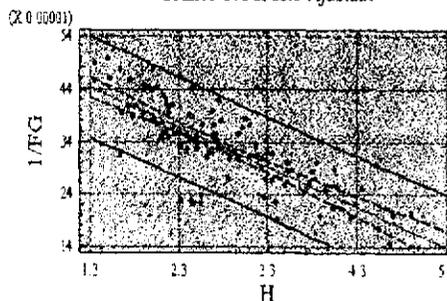


Gráfico 2: Gráfica de 1/FG

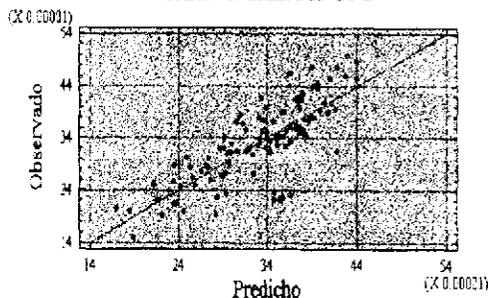


Gráfico 3: Residuos v/s H

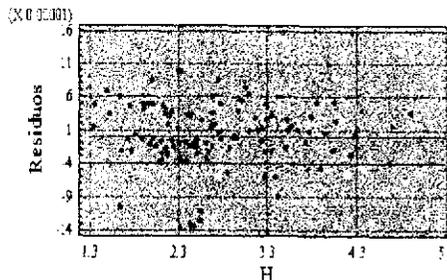
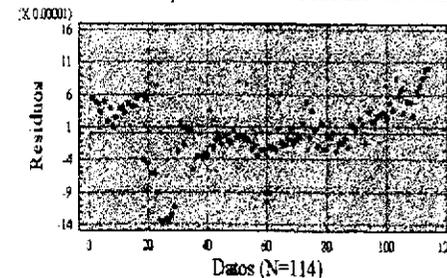


Gráfico 4: Comportamiento de los Residuos en el Tiempo



## APÉNDICE IX

### ANÁLISIS Y SUPUESTOS DE REGRESIÓN: MODELO 1/FG v/s H (114 Datos)

(1) Supuesto: **NORMALIDAD**

Variable: Error (114 valores de -0.00013622 a 0.00009812)  
 Ajuste Distribución Normal  
 Media = -6.14035E-10  
 Desviación Estándar = 0.0000473601

Test Ji-Cuadrado ( $\alpha = 0.05$ )

Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Ji-Cuadrado
< -0.000075		8	6.46	0.37
-0.000075	-0.0000375	6	17.97	7.97
-0.0000375	0.0	44	32.58	4.00
0.0	0.0000375	31	32.58	0.08
0.0000375	0.000075	21	17.97	0.51
< 0.000075		4	6.46	0.93

Ji-Cuadrado = 13.8671 con 3 g.l. Valor-p = 0.00309159  
 Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS = 0.0548663  
 Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS = 0.108266  
 Estimación Completa Estadístico DN = -0.108266  
 Valor-p Aproximado = 0.138182

Por lo tanto, no tiene problemas de Normalidad.

(2) Supuesto: **HOMOCEASTICIDAD**

Prueba Gofeld - Quandt ( $c = N/3 = 38$ ) ( $\alpha = 0.05$ )

Recta N° 1 - (38 valores)  
 Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M	F	Valor-p
Modelo	2.27751E-8	1	2.27751E-8	13.55	0.0008
Error	6.04944E-8	36	1.6804E-9		
Total	8.32695E-8	37			

Recta N° 2 - (38 valores)  
 Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M	F	Valor-p
Modelo	6.5665E-8	1	6.5665E-8	47.66	0.0000
Error	4.95961E-8	36	1.37767E-9		
Total	1.15261E-7	37			

K calculado =  $(SCR_2 / g.l.) / (SCR_1 / g.l.)$   
 K calculado =  $(4.95961E-8 / 36) / (6.04944E-8 / 36)$   
 K calculado = 0.82  
 K tabla = 1.81

Por lo tanto, existe evidencia de heterocedasticidad.

(3) Supuesto: **NO-AUTOCORRELACIÓN**

Prueba de Durbin - Watson ( $\alpha = 0.05$ )	
D = 0.386574 ; D <sub>l</sub> = 1.67 ; D <sub>u</sub> = 1.71	
0 < D < D <sub>l</sub>	
0 < 0.386574 < 1.67	

Luego, esta dentro de la región de decisión Rechazar.  
 Por lo tanto, existe Autocorrelación positiva.

Gráfico 1: Histograma de Residuos

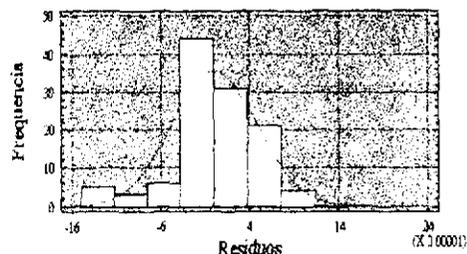


Gráfico 2: Probabilidad Normal de los Residuos

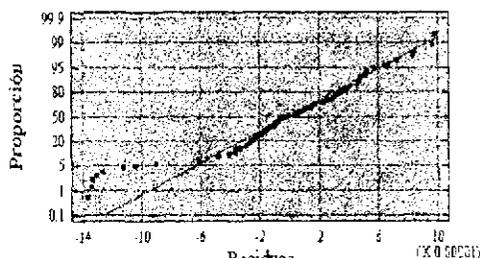


Gráfico 3: Error<sup>2</sup> v/s (1/FG) estimado

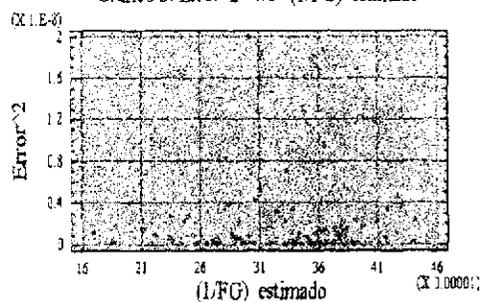
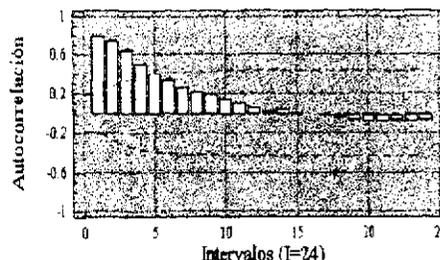


Gráfico 4: Autocorrelación de Residuos



**Observaciones:**

- Cumple el supuesto de Normalidad.
- Cumple el supuesto de Homocedasticidad.
- No cumple el supuesto de No-Autocorrelación.

## APÉNDICE X

### ANÁLISIS DE REGRESIÓN: MODELO $1/FG^*$ v/s $H^*$ (113 Datos)

(Tabla 1) Modelo L. R. Transformado:  $(1/Y)^* = a + b \cdot X^*$

Variable Dependiente: $1/FG^*$		Variable Independiente: $H^*$		
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	0.000100428	0.00000330786	30.3603	0.0000
Pendiente	-0.0000702706	0.00000384833	-18.26	0.0000

(Tabla 2) Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.L.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	2.63761E-7	1	2.63761E-7	333.43	0.0000
Error	8.78075E-8	111	7.91059E-10		
Total	3.51568E-7	112			

Coeficiente de Correlación (r) = -0.866164  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 75.0241 %  
 $R^2$  ajustado = 74.7991 %  
 Error Estándar de la Estimación = 0.0000281258  
 Error absoluto = 0.0000196741  
 Estadístico Durbin - Watson = 2.61513

(Tabla 3) Análisis de Varianza con Bondad de Ajuste.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.L.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	2.63761E-7	1	2.63761E-7	333.43	0.0000
Error	8.78075E-8	111	7.91059E-10		
B de Ajuste	8.78075E-8	111	7.91059E-10		
Error Puro	0.0	0			
Total	3.51568E-7	112			

(4) Supuesto de Autocorrelación.

Prueba de Durbin - Watson ( $\alpha = 0.05$ )	
D = 2.61513 ; DI = 1.67 ; Du = 1.71	
$4 - DI < D < 4$	
2.33 < 2.61513 < 4	

Luego, esta dentro de la región de decisión Rechazar.  
 Por lo tanto, existe Autocorrelación negativa.

Gráfico 1: Modelo Ajustado

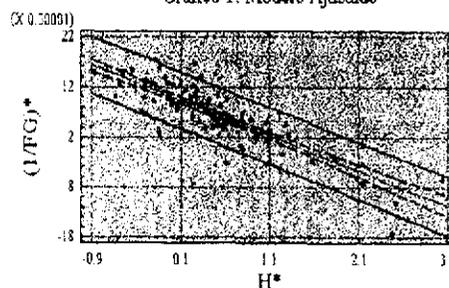


Gráfico 2: Gráfica de  $(1/FG)^*$

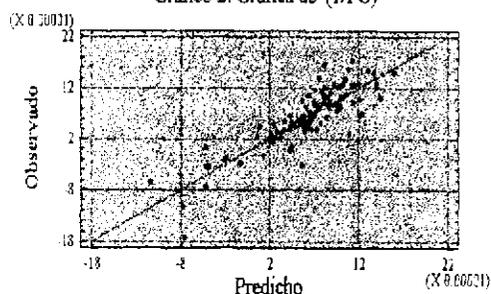
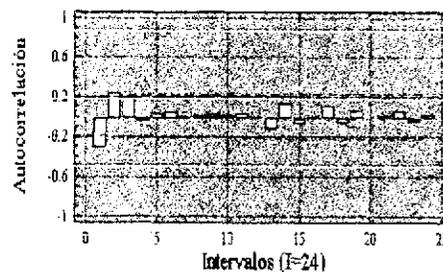


Gráfico 3: Autocorrelación de Residuos



## APÉNDICE XI

### ANÁLISIS DE REGRESIÓN: MODELO 1/FG\*\* v/s H\*\* (112 Datos)

(Tabla 1) Modelo L. R. Transformado:  $(1/Y)** = a + b \cdot X**$

Variable Dependiente: 1/FG**		Variable Independiente: H**		
Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico-t	Valor-p
Intercepto	0.000130314	0.0000036347	35.8527	0.0000
Pendiente	-0.0000686702	0.00000380326	-18.0556	0.0000

(Tabla 2) Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	2.34222E-7	1	2.34222E-7	326.01	0.0000
Error	7.90306E-8	110	7.1846E-10		
Total	3.13252E-7	111			

Coeficiente de Correlación (r) = -0.864702  
 Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 74.7709 %  
 $R^2$  ajustado = 74.5416 %  
 Error Estándar de la Estimación = 0.0000268041  
 Error absoluto = 0.0000192604  
 Estadístico Durbin - Watson = 1.9066

(Tabla 3) Análisis de Varianza con Bondad de Ajuste.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	C.M.	F	Valor-p
Modelo	2.34222E-7	1	2.34222E-7	326.01	0.0000
Error	7.90306E-8	110	7.1846E-10		
B. de Ajuste	7.90306E-8	110	7.1846E-10		
Error Puro	0.0	0			
Total	3.13252E-7	111			

(Tabla 4) Supuesto de Autocorrelación.

Prueba de Durbin - Watson ( $\alpha = 0.05$ )	
D = 1.9066 ; D <sub>L</sub> = 1.67 ; D <sub>U</sub> = 1.71	
D <sub>U</sub> < D < 4 - D <sub>U</sub>	
1.71 < 1.9066 < 2.29	

Luego, esta dentro de la región de decisión Rechazar.  
 Por lo tanto, NO existe Autocorrelación positiva o negativa.

Gráfico 1: Modelo Ajustado

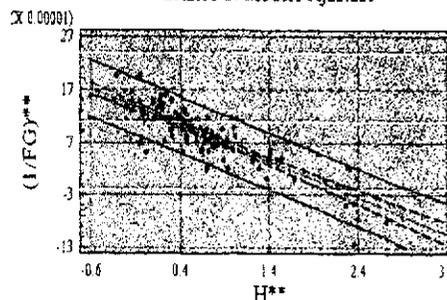


Gráfico 2: Gráfica de (1/FG)\*\*

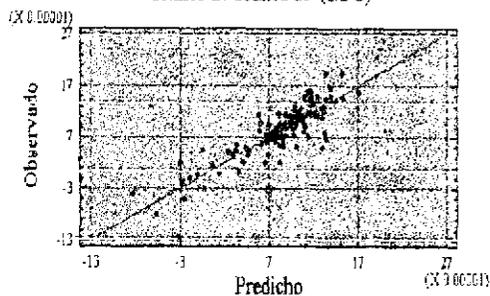
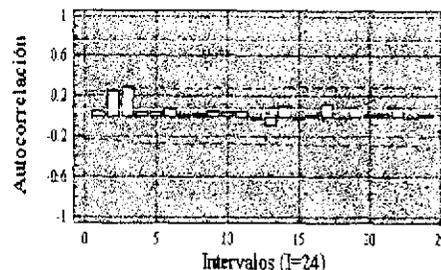


Gráfico 3: Autocorrelación de Residuos



**APÉNDICE XII**  
**PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE. (TEST KOLMOGOROV – SMIRNOV).**

FH real v/s FH modelado.

(N° Datos: 37)

Test Kolmogorov-Smirnov (Nivel de confianza 5%)

FH real: 37 Datos (0.0536 a 0.3133)	
FH modelado: 37 Datos (0.0351 a 0.1957)	
Estadístico DN = 0.513514	
Estadístico K-S = 2.20871	
Valor - p	= 0.000115804

Gráfico 1: Gráfico de Densidad

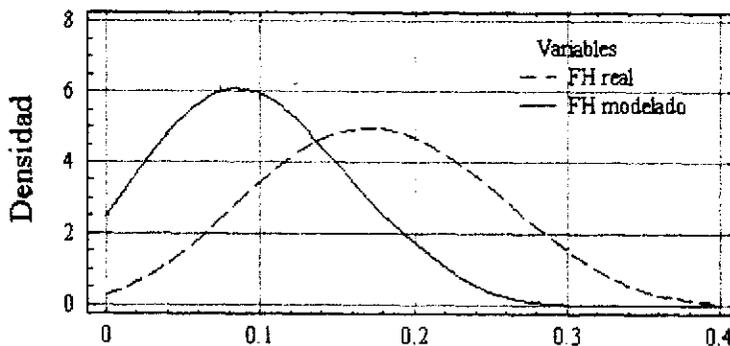
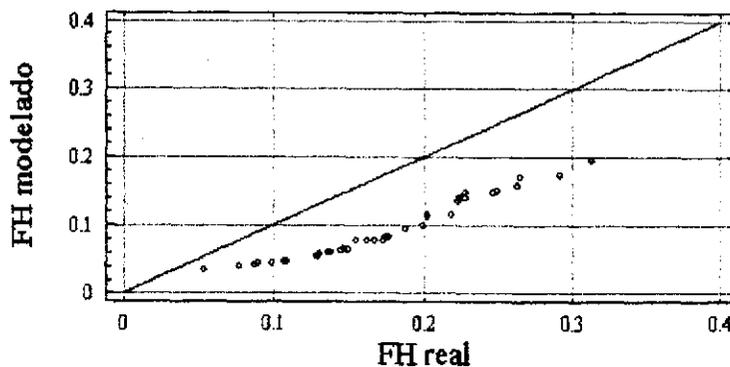


Gráfico 2: Gráfico FH real v/s FH modelado

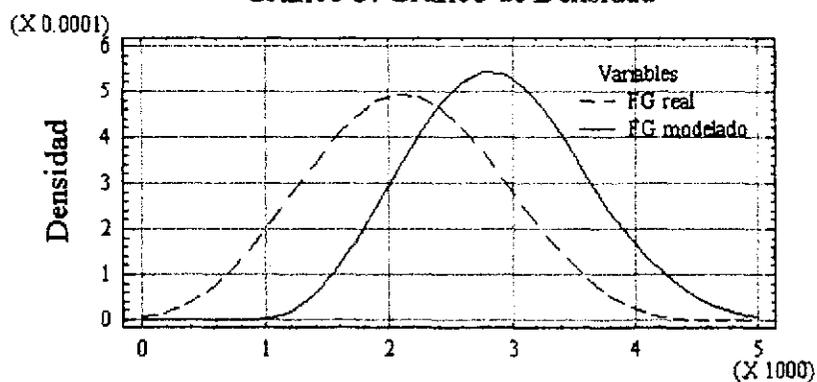


**APÉNDICE XII**  
**PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE (TEST KOLMOGOROV – SMIRNOV).**  
**FG real v/s FG modelado.**  
**(Nº Datos: 37)**

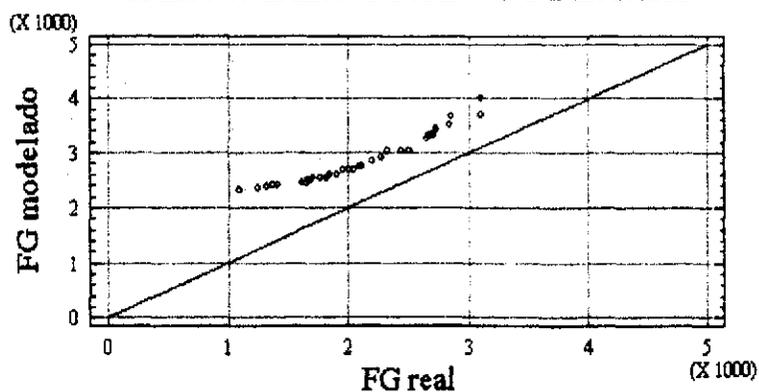
Test Kolmogorov-Smirnov (Nivel de confianza 5%)

FG real: 37 Datos (1087.9 a 3114.1)  
 FG modelado: 37 Datos (2324.7 a 4007.0)  
 Estadístico DN = 0.648649  
 Estadístico K-S = 2.78994  
 Valor - p = 3.46834E-7

**Gráfico 3: Gráfico de Densidad**



**Gráfico 4: Gráfico FG real v/s FG modelado**



**APÉNDICE XII**  
**PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE. (TEST KOLMOGOROV – SMIRNOV).**  
**Q molinete v/s Q modelado.**  
**(Nº Datos: 37)**

Test Kolmogorov-Smirnov (Nivel de confianza 5%)

Q molinete: 37 Datos (89.407 a 975.601)
Q modelado: 37 Datos (81.524 a 784.160)
Estadístico DN = 0.27027
Estadístico K-S = 1.16248
Valor - p = 0.134068

Gráfico 5: Gráfico de Densidad

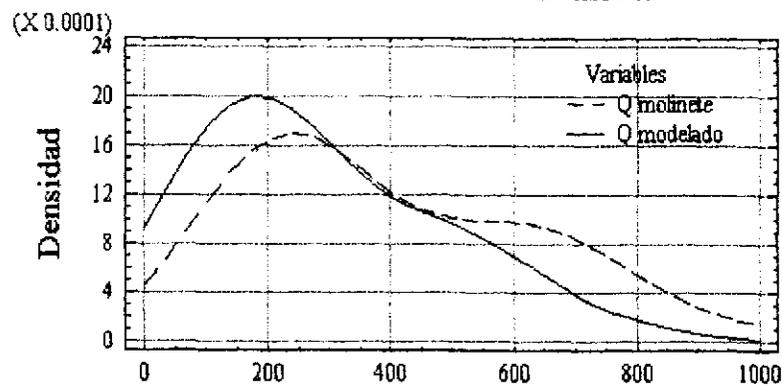
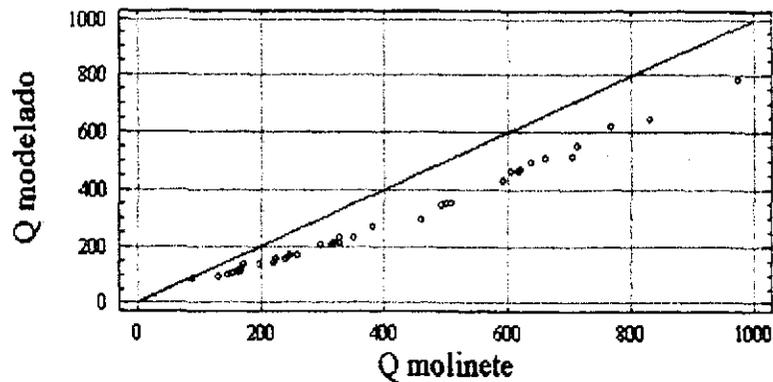


Gráfico 6: Gráfico Q molinete v/s Q modelado



**APÉNDICE XIII**  
**PRUEBAS JI - CUADRADO.**

Q molinete v/s Q modelado. (Nº Datos: 37).

Dato Mes Año	Caudal molinete (E)	Caudal modelado (O)	E - O	(E - O) <sup>2</sup>	(E - O) <sup>2</sup> /E	Dato Mes Año	Caudal molinete (E)	Caudal modelado (O)	E - O	(E - O) <sup>2</sup>	(E - O) <sup>2</sup> /E
95 Ene	89.407	81.524	-7.883	62.142	0.695	Dic	-	-	-	-	-
Feb	130.730	96.322	-34.40	1183.91	9.056	97 Ene	-	-	-	-	-
Mar	152.640	112.216	-40.42	1634.10	10.706	Feb	-	-	-	-	-
Abr	165.343	136.479	-28.86	833.130	5.039	Mar	160.000	102.371	-57.62	3321.10	20.757
May	295.951	207.646	-88.30	7797.77	26.348	Abr	170.000	107.357	-62.64	3924.14	23.083
Jun	607.206	463.750	-143.46	20579.6	33.892	May	221.000	152.194	-68.80	4734.26	21.422
Jul	767.930	619.414	-148.51	22057.0	28.723	Jun	-	-	-	-	-
Ago	640.750	495.387	-145.36	21130.4	32.978	Jul	664.000	515.131	-148.8	22161.9	33.376
Sep	621.000	459.747	-161.25	26002.5	41.872	Ago	-	-	-	-	-
Oct	494.493	340.747	-153.74	23637.8	47.802	Sep	975.601	784.160	-191.4	36649.6	37.566
Nov	619.021	467.781	-151.24	22873.5	36.951	Sep	714.562	548.854	-165.7	27459.1	38.428
Dic	382.110	269.759	-112.35	12622.7	33.034	Oct	832.272	643.747	-188.5	35541.6	42.704
96 Ene	144.697	88.757	-55.940	3129.28	21.626	Nov	-	-	-	-	-
Feb	-	-	-	-	-	Dic	707.000	504.283	-202.7	41094.1	58.125
Mar	166.661	113.515	-53.146	2824.49	16.948	98 Ene	508.000	346.056	-161.9	26225.8	51.626
Abr	245.950	165.512	-80.438	6470.27	26.307	Ene	350.000	227.951	-122.0	14895.9	42.560
May	327.663	227.155	-100.50	10101.8	30.830	Feb	-	-	-	-	-
Jun	594.788	433.128	-161.66	26133.9	43.938	Mar	236.505	160.040	-76.46	5846.89	24.722
Jul	314.787	208.585	-106.20	11278.8	35.830	Abr	327.397	206.710	-120.6	14565.3	44.488
Ago	-	-	-	-	-	Abr	317.766	203.918	-113.8	12961.3	40.789
Sep	501.337	348.733	-152.60	23287.9	46.452	May	-	-	-	-	-
Oct	196.000	134.316	-61.684	3804.91	19.413	Jun	241.501	152.968	-88.53	7838.09	32.456
Oct	219.000	143.090	-75.910	5762.32	26.312	Jul	459.639	290.861	-168.7	28486.0	61.975
Nov	-	-	-	-	-	Jul	257.924	166.489	-91.43	8360.35	32.414

$X^2$  calculado = 1181244 >  $X^2$  tabla = 52.163 (diferencia significativa).

Profundidad media v/s Radio Hidráulico (Julio 96' - Junio 98').

Mes	Prof. Media	R. H.	E - O	(E - O) <sup>2</sup>	(E - O) <sup>2</sup> /E	Mes	Prof. Media	R. H.	E - O	(E - O) <sup>2</sup>	(E - O) <sup>2</sup> /E
96 Jul	5.51	5	-0.510	0.260	0.052	Jul	6.03	5.6	-0.470	0.221	0.040
Ago	-	-	-	-	-	Ago	-	-	-	-	-
Sep	6.04	5.5	-0.560	0.314	0.057	Sep	6.11	6	-0.080	0.006	0.001
Oct	5.24	4.7	-0.510	0.260	0.055	Oct	6.2	5.8	-0.430	0.185	0.032
Nov	4.34	3.9	-0.450	0.203	0.052	Nov	-	-	-	-	-
Dic	4.46	4	-0.440	0.194	0.048	Dic	6.07	5.6	-0.510	0.260	0.047
97 Ene	4.63	4	-0.610	0.372	0.093	98 Ene	5.71	5.2	-0.530	0.281	0.054
Feb	4.97	4.3	-0.650	0.422	0.098	Feb	-	-	-	-	-
Mar	4.4	4	-0.390	0.152	0.038	Mar	5.15	4.7	-0.460	0.212	0.045
Abr	4.85	4.3	-0.520	0.270	0.062	Abr	5.36	4.9	-0.480	0.230	0.047
May	5.16	4.6	-0.580	0.336	0.073	May	-	-	-	-	-
Jun	-	-	-	-	-	Jun	5.05	4.6	-0.450	0.203	0.044

$X^2$  calculado = 0.93884 <  $X^2$  tabla = 52.163 (diferencia no significativa).

**APÉNDICE XIV**  
**MODELOS NO-PARAMÉTRICOS (FH v/s H).**

**(A.1) Modelo  $FH = H * e^{(-k/H)}$**

Tabla N°26. Resultados de la Modelación no-paramétrica FH v/s H.

	<b>Estimación</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Razón-F</b>
Coefficiente (k)	23.4227751	1.12950401	20.7372
Total iteraciones = 4	Total evaluaciones de la función = 9		

Tabla N°27. Análisis de Varianza para la regresión no-paramétrica.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>g.l.</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>Razón-F</b>
Modelo	0.697187	1	0.697187	47.987001
Error	1.68532	116	0.01453	
Total	2.38251	117		
Total (corr.)	0.66890	116		
<b>R<sup>2</sup> = 0</b>				

Tabla N°28. Análisis de los Residuos.

Número de residuos	= 117	Promedio de los residuos	= 0.105071
Desviación estándar de los residuos	= 0.05825	Varianza de la muestra	= 3.3935E-3
Coefficiente de Skewness	= -0.69925	Valor estandarizado	= -3.08782
Coefficiente de Kurtosis	= 4.08926	Valor estandarizado	= 9.02885
Estadístico Durbin-Watson	= 0.355004		

**(A.2) Modelo  $FH = H * (1 - e^{(-H/k)})$**

Tabla N°29. Resultados de la Modelación no-paramétrica FH v/s H.

	<b>Estimación</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Razón-F</b>
Coefficiente (k)	107.431212	4.42618130	24.2718
Total iteraciones = 3	Total evaluaciones de la función = 5		

Tabla N°30. Análisis de Varianza para la regresión no-paramétrica.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>g.l.</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>Razón-F</b>
Modelo	2.00657	1	2.00657	619.15051
Error	0.37594	116	0.00324	
Total	2.38251	117		
Total (corr.)	0.66890	116		
<b>R<sup>2</sup> = 0.437973</b>				

Tabla N°31. Análisis de los Residuos.

Número de residuos	= 117	Promedio de los residuos	= 0.032606
Desviación estándar de los residuos	= 0.04656	Varianza de la muestra	= 2.16853E-3
Coefficiente de Skewness	= -2.7716	Valor estandarizado	= -12.2391
Coefficiente de Kurtosis	= 13.9293	Valor estandarizado	= 30.7551
Estadístico Durbin-Watson	= 1.01352		

**APÉNDICE XIV**  
**MODELOS NO-PARAMÉTRICOS (FG v/s H).**

**(B.1) Modelo  $FG = H * e^{(-k/H)}$**

Tabla N° 32. Resultados de la Modelación no-paramétrica FG v/s H.

	<b>Estimación</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Razón-F</b>
Coefficiente (k)	-11.2368726	0.47660077	-23.5771
Total iteraciones = 3		Total evaluaciones de la función = 7	

Tabla N°33. Análisis de Varianza para la regresión no-paramétrica.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>g.l.</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>Razón-F</b>
Modelo	1.5404E0008	1	1.5404E0008	1.3987E0001
Error	1.2776E0009	116	1.1014E0007	
Total	1.4316E0009	117		
Total (corr.)	1.6668E0008	116		
<b>R<sup>2</sup> = 0</b>				

Tabla N°34. Análisis de los Residuos.

Número de residuos	= 117	Promedio de los residuos	= 2878
Desviación estándar de los residuos	= 1630.77	Varianza de la muestra	= 2.65941E6
Coefficiente de Skewness	= 0.22783	Valor estandarizado	= 1.0061
Coefficiente de Kurtosis	= 6.57469	Valor estandarizado	= 14.5165
Estadístico Durbin-Watson	= 0.249912		

**(B.2) Modelo  $FG = H * (1 - e^{(-H/k)})$**

Tabla N°35. Resultados de la Modelación no-paramétrica FG v/s H.

	<b>Estimación</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Razón-F</b>
Coefficiente (k)	1.24697449	0.04777575	26.1006
Total iteraciones = 10		Total evaluaciones de la función = 29	

Tabla N°36. Análisis de Varianza para la regresión no-paramétrica.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>g.l.</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>Razón-F</b>
Modelo	2.2811E0008	1	2.2811E0008	2.1986E0001
Error	1.2035E0009	116	1.0375E0007	
Total	1.4316E0009	117		
Total (corr.)	1.6668E0008	116		
<b>R<sup>2</sup> = 0</b>				

Tabla N°37. Análisis de los Residuos.

Número de residuos	= 117	Promedio de los residuos	= 3061.97
Desviación estándar de los residuos	= 958.483	Varianza de la muestra	= 918690
Coefficiente de Skewness	= -0.25413	Valor estandarizado	= -1.12221
Coefficiente de Kurtosis	= 4.96124	Valor estandarizado	= 10.9541
Estadístico Durbin-Watson	= 0.115532		

## ***ANEXOS***

- I.- Aforo de caudal líquido.
- II.- Planilla electrónica para el cálculo del perímetro mojado.
- III.- Datos hidráulicos y geométricos de la estación Forel, Río Maule.
- IV.- Prueba de Goldfeld – Quandt.
- V.- Método  $\rho$ .
- VI.- Distribuciones de probabilidad para el ajuste de información hidrológica.
- VII.- Datos de los aforos en la estación Forel , Río Maule. (Período 1985 – 1998).

**ANEXO I**  
**AFORO DE CAUDAL LÍQUIDO.**

FECHA :27-07-98  
ARCHIVO :c140798  
CODIGO BNA : 07116001-7  
ESTACION : ESTERO UPEO EN UPEO  
LOTE SALIDA :14  
HIDROMENSOR : 7721

NUMEROS DE BRAZOS : 1  
BRAZON : 1  
NUMERO MOLINETE : 3788  
CAUDAL DEL BRAZO : 0.704000 M3/S

LATITUD S : 35 11  
LONGITUD W : 71 06  
ALTITUD : 450 MSNM

TIPO MOLINETE : Price AA 1:1  
CONSTANTE MOLINETE C1 : 0.680  
CONSTANTE MOLINETE C2 : 0.000  
CONSTANTE MOLINETE C3 : 0.680  
CONSTANTE MOLINETE C4 : 0.000  
CONSTANTE MOLINETE C5 : 1.000

ALT. LG. INICIAL : 0.610 M  
ALT. LG. FINAL : 0.610 M  
ALT. LM. INICIAL : 0.610 M  
ALT. LM. FINAL : 0.610 M

VELOCIDAD MEDIA : 0.23 M/S  
PROFUNDIDAD MEDIA : 0.21 M  
AREA SECCION : 3.105 M2  
ANCHO TOTAL : 14.500  
PERIMETRO MOJADO : 14.63 M  
RADIO HIDRAULICO : 0.21 M  
ORILLA INICIO : IZQ  
FACTOR MANNING : 0.64 = $Q/(AR^{2/3})$   
TIEMPO MEDICION : 60 Seg  
FACTOR CHEZY : 0.49 = $Q/(AR^{1/2})$   
TOTAL MEDICIONES : 16

FECHA DEL AFORO : 27/07/98  
CAUDAL TOTAL : 0.704000 M3/S  
CAUDAL ESTIMADO : 0.000 M3/S  
AQUACALC N : 322  
ALTURA LM MEDIA : 0.610 M  
HORA MEDIA : 11:52  
DIFERENCIA PORCENTUAL : 0.00 %  
PESO ESCANDALLO : 35 Kg

**Medición de caudal por molinete.**

OBS	ABS	PROF	REVS	T	COS	LOC	COEF	HORA	VEL	AREA	Q	SEÑAL
1	12.00	0.00	0	0	1.00	6	1.00	11:40	0.000	0.000	0.000	-
2	13.00	0.12	8	62	1.00	2	1.00	11:42	0.088	0.120	0.008	4
3	14.00	0.18	13	63	1.00	2	1.00	11:44	0.140	0.180	0.021	4
4	15.00	0.17	15	61	1.00	2	1.00	11:46	0.168	0.170	0.024	4
5	16.00	0.21	17	60	1.00	2	1.00	11:48	0.191	0.210	0.034	4
6	17.00	0.22	16	63	1.00	2	1.00	11:50	0.172	0.220	0.032	4
7	18.00	0.19	12	61	1.00	2	1.00	11:52	0.133	0.190	0.021	4
8	19.00	0.26	17	62	1.00	2	1.00	11:54	0.188	0.260	0.041	4
9	20.00	0.28	31	61	1.00	2	1.00	11:55	0.346	0.280	0.082	1
10	21.00	0.24	32	61	1.00	2	1.00	11:57	0.357	0.240	0.072	1
11	22.00	0.20	35	61	1.00	2	1.00	11:59	0.393	0.200	0.066	-
12	23.00	0.28	26	62	1.00	2	1.00	12:00	0.287	0.280	0.068	-
13	24.00	0.16	37	61	1.00	2	1.00	12:02	0.414	0.160	0.056	-
14	25.00	0.31	39	60	1.00	2	1.00	12:04	0.441	0.310	0.116	1
15	26.00	0.38	24	62	1.00	2	1.00	12:05	0.262	0.285	0.063	-
16	26.50	0.00	0	0	1.00	6	1.00	12:05	0.000	0.000	0.000	-
<b>CAUDAL TOTAL = 0,704 (m3/seg)</b>												

OBSERVACIONES: 1. EL USUARIO EXCEDIO EL 10% DEL Q.  
4. SE USO UN MOLINETE INCORRECTO PARA LA VELOCIDAD DEL CAUCE.

**ANEXO II**  
**PLANILLA ELECTRÓNICA PARA EL CÁLCULO DEL PERÍMETRO MOJADO.**

	A	B	C	D
1			Fecha de Medición: 19/Enero/1995	
2	<b>Abs</b>	<b>Prof</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Pm</b>
3	39.5	95	$(\text{RAIZ}((A3-A4)*(A3-A4)+((B3-B4)*(B3-B4))/10000))$	1.27
4	40	212	$(\text{RAIZ}((A4-A5)*(A4-A5)+((B4-B5)*(B4-B5))/10000))$	4.00
5	44	202	$(\text{RAIZ}((A5-A6)*(A5-A6)+((B5-B6)*(B5-B6))/10000))$	11.80
6	46	1365	$(\text{RAIZ}((A6-A7)*(A6-A7)+((B6-B7)*(B6-B7))/10000))$	4.30
7	50	1207	$(\text{RAIZ}((A7-A8)*(A7-A8)+((B7-B8)*(B7-B8))/10000))$	5.37
8	55	1012	$(\text{RAIZ}((A8-A9)*(A8-A9)+((B8-B9)*(B8-B9))/10000))$	5.01
9	60	978	$(\text{RAIZ}((A9-A10)*(A9-A10)+((B9-B10)*(B9-B10))/10000))$	5.00
10	65	967	$(\text{RAIZ}((A10-A11)*(A10-A11)+((B10-B11)*(B10-B11))/10000))$	5.11
11	70	860	$(\text{RAIZ}((A11-A12)*(A11-A12)+((B11-B12)*(B11-B12))/10000))$	5.13
12	75	746	$(\text{RAIZ}((A12-A13)*(A12-A13)+((B12-B13)*(B12-B13))/10000))$	5.19
13	80	607	$(\text{RAIZ}((A13-A14)*(A13-A14)+((B13-B14)*(B13-B14))/10000))$	5.07
14	85	521	$(\text{RAIZ}((A14-A15)*(A14-A15)+((B14-B15)*(B14-B15))/10000))$	5.07
15	90	440	$(\text{RAIZ}((A15-A16)*(A15-A16)+((B15-B16)*(B15-B16))/10000))$	5.00
16	95	418	$(\text{RAIZ}((A16-A17)*(A16-A17)+((B16-B17)*(B16-B17))/10000))$	5.01
17	100	390	$(\text{RAIZ}((A17-A18)*(A17-A18)+((B17-B18)*(B17-B18))/10000))$	7.00
18	107	385	$(\text{RAIZ}((A18-A19)*(A18-A19)+((B18-B19)*(B18-B19))/10000))$	8.02
19	115	437	$(\text{RAIZ}((A19-A20)*(A19-A20)+((B19-B20)*(B19-B20))/10000))$	7.03
20	122	376	$(\text{RAIZ}((A20-A21)*(A20-A21)+((B20-B21)*(B20-B21))/10000))$	8.03
21	130	303	$(\text{RAIZ}((A21-A22)*(A21-A22)+((B21-B22)*(B21-B22))/10000))$	7.04
22	137	228	$(\text{RAIZ}((A22-A23)*(A22-A23)+((B22-B23)*(B22-B23))/10000))$	8.04
23	145	153	$(\text{RAIZ}((A23-A24)*(A23-A24)+((B23-B24)*(B23-B24))/10000))$	7.04
24	152	78	$(\text{RAIZ}((A24-A25)*(A24-A25)+((B24-B25)*(B24-B25))/10000))$	5.03
25	157	21	$(\text{RAIZ}((A25-A26)*(A25-A26)+((B25-B26)*(B25-B26))/10000))$	1.02
26	158	0		
27				
28	<b>Pm</b>		SUMA(C3:C25) + 0.95	131.53
29	<b>Area</b>		Aforo de Caudal Líquido	604.0
30	<b>Rh</b>		(D29/D28)	4.589

(Basado en el programa Microsoft EXCEL)

Donde: Abs: Abscisa en m. Prof: Profundidad en cm. Pm: Perímetro mojado en m.

**Nota:** Si la Profundidad (Prof > 0) es mayor a cero en los *extremos del lecho*, el cálculo del perímetro mojado deberá agregar la profundidad (en metros) que corresponde. En este anexo se sumó 0.95 m.

**ANEXO III**  
**DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMÉTRICOS DE LA ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE.**

Mes / Año	H	Area	Velocidad	Gasto	R.H	FH	FG	Mes / Año	H	Area	Velocidad	Gasto	R.H	FH	FG
85 Enero	3.02	838.0	0.533	447.1	5.89	0.16	2733.1	Julio	4.23	1282.3	0.616	790.1	8.10	0.15	5173.1
Febrero	1.91	698.0	0.196	137.0	5.77	0.06	2245.5	Agosto	4.71	1290.0	0.835	1077.4	7.62	0.22	4994.8
Marzo	2.135	726.7	0.234	170.3	5.79	0.07	2343.2	Septiembre	3.51	1056.1	0.518	546.9	6.95	0.14	3846.2
Abril	2.42	776.5	0.317	246.6	5.98	0.10	2557.1	Octubre	3.645	1023.1	0.577	590.6	6.71	0.16	3638.0
Mayo	3.29	860.7	0.563	484.7	6.29	0.17	2933.9	Noviembre	3.95	1097.0	0.687	753.2	7.06	0.19	4035.1
Junio	2.73	830.2	0.398	330.8	6.33	0.12	2840.8	Diciembre	2.86	1015.6	0.320	325.1	6.95	0.09	3698.7
Julio	4.36	1072.1	0.992	1064.5	7.20	0.27	3997.6	88 Enero	2.093	859.2	0.139	119.7	6.20	0.04	2900.9
Agosto	2.67	832.6	0.402	334.6	6.35	0.12	2855.2	Febrero	2.12	858.6	0.143	122.7	6.16	0.04	2885.1
Septiembre	2.575	803.4	0.383	307.8	6.14	0.11	2694.0	Marzo	2.335	890.6	0.200	178.5	6.29	0.06	3033.7
Octubre	2.98	843.0	0.482	406.2	6.11	0.14	2818.1	Abril	2.62	926.3	0.281	260.1	6.46	0.08	3214.3
Noviembre	2.23	754.7	0.298	224.9	5.77	0.09	2426.9	Mayo	2.32	883.6	0.192	169.7	6.27	0.06	3004.9
Diciembre	2.205	747.8	0.270	202.2	5.99	0.08	2465.7	Junio	4.915	1272.8	0.971	1236.5	7.59	0.25	4914.6
86 Ene	1.755	692.6	0.166	115.2	5.65	0.05	2196.8	Julio	3.35	1041.4	0.512	533.2	6.87	0.14	3764.9
Febrero	1.92	711.5	0.216	153.4	5.78	0.07	2291.6	Agosto	3.735	1089.3	0.631	687.0	7.07	0.17	4011.5
Marzo	2.165	734.2	0.273	200.4	5.86	0.08	2385.0	Septiembre	3.24	982.0	0.511	502.3	6.59	0.15	3453.1
Abril	3.855	949.3	0.809	768.2	6.53	0.23	3315.2	Octubre	2.685	916.6	0.387	354.7	6.24	0.11	3107.9
Mayo	2.68	776.3	0.420	326.3	5.85	0.13	2519.1	Noviembre	2.97	930.7	0.424	394.9	6.34	0.12	3188.6
Junio	4.66	1537.7	0.539	829.6	9.16	0.12	6733.5	Diciembre	2.5	868.0	0.263	228.4	6.17	0.08	2919.6
Julio	4.045	1066.3	0.554	590.4	5.91	0.17	3486.3	89 Ene	1.985	808.7	0.194	156.8	5.90	0.06	2639.9
Agosto	7.46	1736.7	1.627	2825.2	9.61	0.36	7849.9	Febrero	1.825	775.0	0.163	126.3	5.65	0.05	2458.9
Septiembre	3.895	1255.2	0.462	580.2	7.95	0.12	5001.4	Marzo	2.11	818.4	0.216	176.6	5.88	0.07	2664.6
Octubre	3.395	1158.8	0.378	437.6	7.57	0.10	4467.5	Abril	2.51	863.5	0.265	228.7	6.09	0.08	2878.6
Noviembre	3.265	1120.0	0.319	357.4	7.48	0.08	4282.8	Mayo	2.018	806.3	0.197	158.8	5.81	0.06	2605.6
Diciembre	3.425	1270.8	0.347	440.6	8.28	0.08	5199.6	Junio	2.23	832.7	0.231	192.1	5.97	0.07	2739.5
87 Ene	2.48	1142.2	0.172	195.9	7.88	0.04	4521.1	Julio	2.618	887.9	0.331	293.9	6.20	0.10	2997.1
Febrero	2.33	1116.4	0.151	168.7	7.71	0.04	4357.4	Agosto	2.64	912.1	0.293	267.5	6.40	0.09	3145.4
Marzo	2.435	1125.8	0.187	211.1	7.75	0.05	4407.4	Septiembre	2.875	948.5	0.384	364.4	6.41	0.11	3272.8
Abril	2.445	1135.2	0.177	201.0	7.85	0.04	4482.8	Octubre	2.4	897.8	0.241	216.7	6.37	0.07	3084.8
Mayo	2.555	1142.9	0.229	261.4	7.83	0.06	4505.6	Noviembre	2.125	846.2	0.203	172.1	6.08	0.06	2819.5
Junio	2.565	1109.3	0.200	222.3	7.48	0.05	4244.4	Diciembre	2.18	851.4	0.239	203.6	6.11	0.07	2845.5

**ANEXO III**  
**DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMÉTRICOS DE LA ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE. (Continuación).**

Mes / Año	H	Area	Velocidad	Gasto	R.H	FH	FG	Mes / Año	H	Area	Velocidad	Gasto	R.H	FH	FG
90 Ene	1.635	924.3	0.120	111.0	6.40	0.03	3185.8	Julio	-	-	-	-	-	-	-
Febrero	1.663	788.6	0.137	107.9	5.77	0.04	2537.3	Agosto	3.2	953.8	0.498	474.7	6.19	0.20	3216.3
Marzo	1.77	795.0	0.179	142.6	5.86	0.06	2583.9	Septiembre	3.54	1014.0	0.628	636.6	6.48	0.25	3524.1
Abril	2.52	899.5	0.305	274.5	6.30	0.09	3067.1	Octubre	2.77	894.4	0.430	384.3	6.04	0.16	2967.0
Mayo	3.11	932.9	0.490	456.8	6.32	0.14	3189.2	Noviembre	4.065	1088.0	0.633	688.9	6.82	0.31	3913.2
Junio	2.52	880.9	0.312	275.2	6.18	0.09	2967.0	Diciembre	3.245	957.9	0.548	524.9	6.20	0.22	3233.6
Julio	2.165	839.1	0.241	202.2	6.02	0.07	2777.6	93 Enero	2.045	833.4	0.340	283.7	5.76	0.14	2677.7
Agosto	2.39	852.7	0.304	259.2	6.06	0.09	2834.5	Febrero	1.525	714.9	0.147	105.2	5.31	0.06	2177.0
Septiembre	3.775	1054.6	0.667	703.8	6.85	0.19	3804.5	Marzo	2.19	803.1	0.282	226.2	5.62	0.12	2538.5
Octubre	2.473	874.1	0.326	284.9	6.15	0.10	2934.8	Abril	2.69	865.1	0.391	338.7	5.87	0.16	2815.1
Noviembre	2.488	866.7	0.328	283.9	6.13	0.10	2901.7	Mayo	3.3	942.2	0.621	584.7	6.10	0.25	3144.8
Diciembre	1.728	774.9	0.181	140.5	5.65	0.06	2459.4	Junio	-	-	-	-	-	-	-
91 Enero	1.355	718.6	0.108	77.4	5.36	0.05	2201.5	Julio	3.805	1027.0	0.757	777.3	6.37	0.30	3530.2
Febrero	1.348	686.6	0.117	80.3	5.15	0.05	2046.9	Agosto	3.36	944.0	0.633	597.4	6.07	0.26	3142.4
Marzo	1.9	791.1	0.219	173.0	5.79	0.09	2551.4	Septiembre	3.53	981.8	0.691	678.4	6.28	0.28	3340.0
Abril	2.165	771.2	0.293	225.9	5.58	0.12	2426.1	Octubre	2.78	870.6	0.476	414.4	5.29	0.21	2643.7
Mayo	-	-	-	-	-	-	-	Noviembre	2.703	843.2	0.463	390.6	5.68	0.19	2683.7
Junio	4.28	1247.5	0.713	889.1	6.89	0.27	4517.9	Diciembre	2.005	716.2	0.307	219.7	5.04	0.14	2105.9
Julio	4.05	1215.6	0.661	803.7	7.52	0.24	4665.1	94 Ene	1.64	704.7	0.230	162.3	5.15	0.10	2102.0
Agosto	3.58	1019.6	0.585	596.4	6.35	0.23	3497.8	Febrero	1.495	685.4	0.204	139.8	5.04	0.09	2014.7
Septiembre	3.28	1052.1	0.475	499.4	6.60	0.18	3703.0	Marzo	2.45	818.8	0.389	318.3	5.59	0.16	2580.2
Octubre	2.923	930.8	0.406	377.7	6.16	0.16	3128.7	Abril	2.008	750.2	0.288	216.0	5.33	0.12	2288.3
Noviembre	2.785	917.6	0.373	341.9	6.11	0.15	3065.6	Mayo	1.97	747.7	0.264	197.7	5.29	0.12	2268.9
Diciembre	2.943	945.5	0.428	404.4	6.03	0.17	3132.7	Junio	3.18	923.4	0.559	516.1	5.98	0.23	3042.1
92 Enero	2.18	864.7	0.176	151.9	6.03	0.07	2863.0	Julio	8.65	1841.9	2.300	4237.1	8.95	0.77	7939.9
Febrero	2.25	853.2	0.189	160.9	5.97	0.08	2808.5	Agosto	3.1	850.8	0.624	531.2	5.63	0.26	2691.2
Marzo	2.425	875.3	0.253	221.1	6.07	0.10	2912.7	Septiembre	3.065	834.5	0.626	522.3	5.54	0.27	2612.4
Abril	2.315	852.7	0.236	201.3	5.92	0.10	2791.2	Octubre	2.755	788.9	0.539	425.1	5.30	0.23	2397.4
Mayo	4.025	1214.0	0.684	830.5	7.51	0.25	4655.9	Noviembre	2.34	733.1	0.402	294.3	5.08	0.18	2165.7
Junio	8.855	2039.0	2.183	4451.0	10.8	0.66	9955.1	Diciembre	2.32	722.9	0.403	291.0	5.14	0.18	2152.4

## ANEXO IV PRUEBA DE GOLDFELD - QUANDT.

**(Paso 1)** Construir una tabla con los datos de origen X e Y. (Ejemplo 117 datos).

Datos	H	FH
1	3.02	0.16355
2	1.91	0.06101
3	2.135	0.07267
4	2.42	0.09645
↓	↓	↓
114	3.065	0.1999
115	2.755	0.1773
116	2.34	0.13592
117	2.32	0.13519

**(Paso 2)** Ordenar los datos de menor a mayor según la magnitud de la variable X

Datos	H	FH
1	1.91	0.06101
2	2.135	0.07267
3	2.32	0.13519
4	2.34	0.13592
5	2.42	0.09645
↓	↓	↓
19	3.02	0.16355
20	3.065	0.09998
21	3.4	0.21047
↓	↓	↓
114	6.85	0.37004
115	7.45	0.46666
116	8.20	0.52130
117	8.8	0.40555

**(Paso 3)** Se debe omitir las c observaciones centrales  $c=n/3$ .

Datos	H	FH
1	1.91	0.06101
2	2.135	0.07267
3	2.32	0.13519
↓	↓	↓
38	3.065	0.09998
39	3.4	0.21047
↓	↓	↓
79	4.10	0.22078
80	4.30	0.27556
81	4.32	0.25431
↓	↓	↓
114	6.85	0.37004
115	7.45	0.46666
116	8.20	0.52130
117	8.8	0.40555

Omitidas las c observaciones

**(Paso 4)** Se ajustan dos rectas de regresión independientes:  $FH_1$  v/s  $H_1$  y  $FH_2$  v/s  $H_2$ .

**(Paso 5)** Se calcula la suma de los cuadrados de los residuos de cada una de las 2 rectas:  $(SCE_1$  y  $SCE_2)$ .

Dato	H1	FH1	H2	FH2
1	1.91	0.061	4.10	0.2202
2	2.13	0.072	4.30	0.2755
3	2.32	0.135	4.32	0.2543
↓	↓	↓	↓	↓
38	3.06	0.099	8.20	0.5213
39	3.4	0.210	8.8	0.4055

Recta Nº1.-  
Análisis de Varianza.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M	F	V-p
Modelo	3.54	1	3.54	118.6	0
Error	1.10	37	0.02		
Total	4.64	38			

Recta Nº2.-  
Análisis de Varianza.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M	F	V-p
Modelo	0.71	1	0.707	21.09	0
Error	1.24	37	0.033		
Total	1.94	38			

$$Kc = (SCE_2/g.l) / (SCE_1/g.l)$$

$$Kc = (1.24 / 37) / (1.10 / 37)$$

$$K \text{ calc} = 1.12$$

$$K \text{ tabla} = 1.63$$

**(Paso 6)** Se debe calcular  $k = (SCE_2/g.l) / (SCE_1/g.l)$ . Este se distribuirá como un estadístico F con  $(N - c - 4)$  grados de libertad.

**(Paso 7)** Se compara el valor  $k$  de tabla con el  $k$  calculado anteriormente. Si  $k$  (tabla) es superior  $k$  (calculado), entonces para un nivel de confianza dado. Podemos concluir que, no existe heterocedasticidad de las varianzas.

**ANEXO V**  
**MÉTODO  $\rho$ .**

El Método  $\rho$  sirve para tratar modelos con problemas de autocorrelación de los residuos. Este transforma las variables a partir del estadístico  $d$  de Durbin – Watson con la estimación de un factor ( $\rho$ ). Donde:  $\rho = (1 - d/2)$ .

Datos	Ln FH <sub>t</sub>	Ln FH <sub>t-1</sub>	$\rho \times$ Ln FH <sub>t-1</sub>	Ln FH*	LnH <sub>t</sub>	Ln H <sub>t-1</sub>	$\rho \times$ Ln H <sub>t-1</sub>	H*
1	-1.8106				1.1053			
2	-2.7967	-1.8106	-1.5028	-1.2939	0.6471	1.1053	0.9174	-0.2703
3	-2.6218	-2.7967	-2.3213	-0.3005	0.7585	0.6471	0.5371	0.2214
4	-2.3387	-2.6218	-2.1761	-0.1626	0.8838	0.7585	0.6296	0.2542
5	-1.8005	-2.3387	-1.9411	0.1406	1.1909	0.8838	0.7336	0.4573
6								
↓								
110	-2.1503	-1.8005	-1.4944	-0.6559	1.0043	1.1909	0.9884	0.0159
111	-1.6225	-1.7739	-1.4723	-0.1502	1.1314	1.1569	0.9602	0.1712
112	-1.6099	-1.6225	-1.3467	-0.2632	1.1200	1.1314	0.9391	0.1809
113	-1.7299	-1.6099	-1.3362	-0.3937	1.0134	1.1200	0.9296	0.0838
114	-1.9957	-1.7299	-1.4358	-0.5599	0.8502	1.0134	0.8411	0.0091
114	-2.0011	-1.9957	-1.6564	-0.3447	0.8416	0.8502	0.7057	0.1359

Modelo Ln FH\* v/s Ln H\*  $\rho = 0.83$  (N=113 datos, se pierde el primer valor)

Datos	(1/FG) <sub>t</sub>	(1/FG) <sub>t-1</sub>	$\rho \times$ (1/FG) <sub>t-1</sub>	(1/FG)*	H <sub>t</sub>	H <sub>t-1</sub>	$\rho \times$ H <sub>t-1</sub>	H*
1	0.00037				3.02			
2	0.00045	0.00037	0.00030	0.00015	1.91	3.02	2.4462	-0.5362
3	0.00043	0.00045	0.00036	0.00007	2.135	1.91	1.5471	0.5879
4	0.00039	0.00043	0.00035	0.00005	2.42	2.135	1.7294	0.6907
5	0.00034	0.00039	0.00032	0.00002	3.29	2.42	1.9602	1.3298
6	0.00035	0.00034	0.00028	0.00008	2.73	3.29	2.6649	0.0651
↓								
110								
110	0.00037	0.00033	0.00027	0.00011	3.1	3.18	2.5758	0.5242
111	0.00038	0.00037	0.00030	0.00008	3.065	3.1	2.5110	0.5540
112	0.00042	0.00038	0.00031	0.00011	2.755	3.065	2.4827	0.2724
113	0.00046	0.00042	0.00034	0.00012	2.34	2.755	2.2316	0.1085
114	0.00046	0.00046	0.00037	0.00009	2.32	2.34	1.8954	0.4246

Modelo (1/FG)\* v/s H\*  $\rho = 0.81$  (N=113 datos, se pierde el primer valor)

Una vez, transformadas las variables involucradas en el modelo, se corre la regresión Ln FH\* v/s Ln H\* y Ln FG\* v/s Ln H\*. Luego, se obtiene:

$$\text{Ln FH}^* = 1.59124 \text{ Ln H}^* - 0.65345 \quad \text{Y} \quad (1/\text{FG})^* = 0.0000702706 \text{ H}^* - 0.000100428$$

Finalmente, se determina los coeficientes de regresión originales, a partir de:  $B1 = B1^*$  y  $B0 = B0^*/(1 - \rho)$ .

**ANEXO VI**  
DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD PARA EL AJUSTE DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.

Distribución	Función de Densidad de Probabilidad	Rango	Ecuaciones de los parámetros en términos de los momentos
Normal	$f(x) = (1/\sigma\sqrt{2\pi}) * \exp [-(x - \mu)^2/2\sigma^2]$	$-\infty \leq x \leq \infty$	$\mu = \text{media}(x), \sigma = S_x$
Lognormal	$f(x) = (1/x\sigma\sqrt{2\pi}) * \exp [-(y - \mu_y)^2/2\sigma_y^2]$ , donde $y = \log x$	$x > 0$	$\mu_y = \text{media}(y), \sigma_y = S_y$
Exponencial	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$	$x \geq 0$	$\lambda = 1/ \text{media}(x)$
Gamma	$f(x) = \lambda^\beta x^{\beta-1} e^{-\lambda x} / \Gamma(\beta)$ , donde $\Gamma =$ función gamma	$x \geq 0$	$\lambda = \text{media}(x) / S_x^2$ $\beta = \text{media}(x)^2 / S_x^2$ ó $\beta = 1/ CV^2$
Pearson tipo III	$f(x) = \lambda^\beta (x - \epsilon)^{\beta-1} e^{-\lambda(x-\epsilon)} / \Gamma(\beta)$	$x \geq \epsilon$	$\lambda = S_x / \text{Raíz}(\beta)$ $\beta = (2 / C_s)^2$ $\epsilon = \text{media}(x) - S_x * \text{Raíz}(\beta)$
Log Pearson tipo III	$f(x) = \lambda^\beta (y - \epsilon)^{\beta-1} e^{-\lambda(y-\epsilon)} / y\Gamma(\beta)$ , donde $y = \log x$	$\log x \geq \epsilon$	$\lambda = S_y / \text{Raíz}(\beta)$ $\beta = [2 / C_s(y)]^2$ $\epsilon = \text{media}(y) - S_y * \text{Raíz}(\beta)$
Valor Extremo	$f(x) = (1/\alpha) \exp [ - (x - u)/\alpha - \exp ( - (x - u)/\alpha ) ]$	$-\infty \leq x \leq \infty$	$\alpha = \text{Raíz}(6S_x) / \pi$ $u = \text{media}(x) - 0.5772\alpha$

Fuente: Chow, V., 1994. Hidrología Aplicada. Editorial McGraw-Hill. Bogotá. Colombia.

**ANEXO VII**  
**DATOS. AFORO DE CAUDAL LÍQUIDO. ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE. AÑO (1985)**

Fecha	17-Jan	Fecha	21-Feb	Fecha	26-Mar	Fecha	11-Apr	Fecha	22-May	Fecha	12-Jun	Fecha	11-Jul	Fecha	21-Aug	Fecha	25-Sep	Fecha	18-Oct	Fecha	27-Nov	Fecha	11-Dec
Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof
36	0	36	0	36	0	36	0	35	100	37	0	38	180	38	0	38	0	38	0	38	0	38	0
37	385	37	240	37	260	36.2	76	36	103	38	150	40	440	39	240	39	160	39	302	39	250	39	200
40	348	38	250	38	230	37	313	38	430	40	330	42	587	41	302	40	327	41	316	40	296	41	260
45	1613	40	220	40	230	38	320	40	446	42	406	45	1135	44	620	42	308	43	320	42.5	576	43	307
50	1335	44	1455	44	1492	40	330	42	1075	44	466	50	1780	45	1526	45	1080	45	504	44	283	45	1468
55	1265	48	1308	48	1330	42	1520	45	1615	46	440	55	1808	50	1582	46	1584	46	1604	45	1470	46	1540
60	1230	52	1162	52	1190	45	1530	50	1342	50	1573	60	1760	55	1428	50	1583	50	1600	46	1530	50	1490
65	1227	56	1113	56	1140	50	1260	55	1250	55	1390	65	1476	60	1291	55	1374	55	1390	50	1483	55	1252
70	1156	60	1083	60	1100	55	1176	60	1219	60	1341	70	1405	65	1220	60	1250	60	1261	55	1251	60	1140
75	1048	64	1067	64	1092	60	1130	65	1155	65	1256	75	1294	70	1181	65	1160	65	1214	60	1147	65	1062
80	928	68	1030	68	1060	65	1115	70	1140	70	1200	80	1123	75	1080	70	948	70	1121	65	1044	70	1024
85	848	72	1009	72	1042	70	1080	75	1076	75	1100	85	1043	80	960	75	1050	75	1099	70	1025	75	1000
90	787	76	900	76	924	75	1000	80	950	80	978	90	960	85	861	80	950	80	986	75	1010	80	925
95	736	80	796	80	822	80	871	85	868	85	840	95	917	90	781	85	850	85	890	80	922	85	820
100	680	84	734	84	764	85	775	90	822	90	804	100	864	95	752	90	771	90	814	85	830	90	732
105	626	88	702	88	730	90	742	95	766	95	744	105	810	100	690	95	725	95	770	90	750	95	700
110	566	92	654	92	691	95	680	100	701	100	690	110	760	105	640	100	676	100	722	95	710	100	640
115	500	96	613	96	633	100	620	105	655	105	622	115	680	110	573	105	630	105	660	100	638	105	581
120	433	100	562	100	591	105	571	110	592	110	577	120	616	115	520	110	575	110	616	105	578	110	523
125	356	104	522	104	545	110	510	115	525	115	514	125	533	120	442	115	504	115	550	110	536	115	460
130	303	108	480	108	503	115	450	120	455	120	441	130	460	125	373	120	435	120	475	115	470	120	387
135	245	112	431	112	450	120	371	125	387	125	370	135	394	130	300	125	358	125	407	120	410	125	306
140	180	116	373	116	403	125	303	130	327	130	310	140	340	135	236	130	290	130	336	125	314	130	227
145	126	120	308	120	340	130	240	135	263	135	256	145	288	140	170	135	222	135	270	130	246	135	170
150	80	124	258	124	292	135	183	140	190	140	187	150	230	145	116	140	164	140	210	135	173	140	110
155	26	128	210	128	240	140	105	145	150	145	118	155	190	150	53	145	100	145	154	140	116	145	56
165	0	132	172	132	190	145	62	150	108	150	67	160	130	154	31	150	50	150	96	145	66	148	23
		136	116	136	146	148	30	155	53	155	40	165	90	155	20	152	30	155	70	148	36	149	19
		140	54	140	74	152	0	158	20	156	21	170	40	156	9	154	70	159	30	149	16	150	0
		142	36	144	47			159	7	157	0	173	24	156.5	0	155.5	0	160	30	151.5	0		
		144	12	146	23			159.5	0			174	12					161.5	0				
		145	0	148	10							175	0										
				149	0																		
H	3.02	H	1.91	H	2.135	H	2.42	H	3.29	H	2.73	H	4.36	H	2.67	H	2.575	H	2.98	H	2.23	H	2.205
Veloc	0.533	Veloc	0.196	Veloc	0.234	Veloc	0.317	Veloc	0.563	Veloc	0.398	Veloc	0.992	Veloc	0.402	Veloc	0.383	Veloc	0.482	Veloc	0.298	Veloc	0.270
Area	838	Area	698	Area	726.715	Area	776.507	Area	860.663	Area	830.165	Area	1072.13	Area	832.558	Area	803.44	Area	843.023	Area	754.743	Area	747.75
Gasto	447.057	Gasto	137	Gasto	170.285	Gasto	246.628	Gasto	484.742	Gasto	330.796	Gasto	1064.45	Gasto	334.595	Gasto	307.778	Gasto	406.199	Gasto	224.936	Gasto	202.223

Abs : Abscisa (coordenada X) en metros    Prof: Profundidad (coordenada Y) en metros    H : Altura limnimétrica en metros.    Veloc : Velocidad en m/s    Area : expresada en m<sup>2</sup>    Gasto : Caudal en m<sup>3</sup>/s.

## ANEXO VII

### DATOS. AFORO DE CAUDAL LÍQUIDO. ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE. AÑO (1986)

Fecha 10-Jan		Fecha 13-Feb		Fecha 25-Mar		Fecha 25-Apr		Fecha 13-May		Fecha 27-Jun		Fecha 22-Jul		Fecha 22-Aug		Fecha 10-Sep		Fecha 15-Oct		Fecha 18-Nov		Fecha 12-Dec	
Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof														
38.5	0	38.7	0	38	0	36	0	38	0	34.8-35	0-40	37	0	33-34	0-98	36	0	37	0	38	82	37	0
39	197	39	160	39	260	38	140	39	240	38	188	38	156	38	320	38	145	38	84	40	370	38	102
41	194	40	231	40	268	40	410	42	310	40	532	40	468	44	735	41	440	40	384	44	424	40	370
44	240	42	228	42	265	44	560	44	350	44	584	44	524	46	1662	44	564	44	445	45	547	44	438
45	1450	44	307	44	400	45	1070	45	810	45	732	45	1120	50	1945	46	1668	45	1583	46	1594	45	1602
46	1463	45	1450	45	1470	46	1727	46	1586	46	1715	46	1586	53	1996	50	1646	46	1613	50	1538	46	1636
50	1415	46	1488	46	1499	50	1656	50	1500	50	1726	50	1590	60	1975	55	1720	50	1567	55	1618	50	1620
55	1190	48	1520	50	1458	55	1420	55	1240	55	1884	55	1641	65	1915	60	1742	55	1635	60	1625	55	1730
60	1067	50	1410	55	1226	60	1323	60	1160	60	1935	60	162	70	1835	65	1680	60	1654	65	1610	60	1835
65	1020	55	1220	60	1118	65	1240	65	1051	65	1953	65	1559	75	1765	70	1645	65	1623	70	1560	65	1800
70	972	60	1085	65	1039	70	1161	70	1000	70	1908	70	1481	80	1670	75	1600	70	1602	75	1542	70	1736
75	960	65	1037	70	1014	75	1132	75	982	75	1821	75	1410	85	1542	80	1536	75	1577	80	1460	75	1690
80	854	70	1000	75	993	80	1080	80	950	80	1706	80	1315	90	1381	85	1446	80	1485	85	1352	80	1590
85	777	75	967	80	896	85	1010	85	863	85	1563	85	1187	95	1280	90	1290	85	1354	90	1206	85	1430
90	700	80	880	85	800	90	920	90	790	90	1380	90	1026	100	1247	95	1140	90	1200	95	1042	90	1284
95	653	85	795	90	740	95	880	95	746	95	1252	95	923	105	1250	100	990	95	1052	100	880	95	1123
100	600	90	708	95	687	100	810	100	695	100	1080	100	792	110	1106	105	885	100	900	105	753	100	1000
105	542	95	665	100	645	105	751	105	641	105	956	105	660	115	1127	110	806	105	790	110	680	105	906
110	486	100	620	105	573	110	705	110	570	110	812	110	561	120	1125	115	706	110	704	115	640	110	830
115	414	105	561	110	510	115	634	115	512	115	833	115	491	125	1100	120	700	115	645	120	570	115	772
120	357	110	510	115	456	120	570	120	443	120	800	120	441	130	1150	125	641	120	610	125	521	120	721
125	280	115	433	120	394	125	486	125	364	125	740	125	405	135	1032	130	587	125	541	130	463	125	699
130	200	120	353	125	311	130	412	130	291	130	685	130	361	140	982	135	520	130	481	135	420	130	612
135	140	125	295	130	233	135	350	135	240	135	641	135	351	145	885	140	466	135	424	140	380	135	557
140	78	130	216	135	170	140	290	140	164	140	590	140	324	150	785	145	420	140	391	145	260	140	493
143	58	135	156	137	146	145	230	145	98	145	540	145	300	155	705	150	400	145	385	150	315	145	446
145	28	140	92	140	111	150	180	150	51	150	480	150	310	160	632	155	347	150	337	155	270	150	360
147	0	145	38	145	57	155	140	155	21	155	392	155	306	165	562	160	280	155	297	160	212	155	285
		147	19	150	0	160	85	157	0	160	330	160	311	170	465	165	212	160	232	165	140	160	220
		148	0			165	31			165	260	165	243	175	410	170	115	165	167	170	46	165	155
						167	20			170	200	170	152	180	367	175	58	170	77	172	20	170	75
						168	0			175	140	175	85	185	342	179	35	173	28	173.5	0	173	20
										180	96	180	35	190	240	180	25	175	8			175	15
										185	50	182	18	195	137	181	0	176	0			176	0
										187-188	24-0	184	0	200-201	34-0								
H	1.755	H	1.92	H	2.165	H	3.855	H	2.68	H	4.66	H	4.045	H	7.46	H	3.895	H	3.395	H	3.265	H	3.425
Veloc	0.166	Veloc	0.216	Veloc	0.273	Veloc	0.809	Veloc	0.420	Veloc	0.539	Veloc	0.554	Veloc	1.627	Veloc	0.462	Veloc	0.378	Veloc	0.319	Veloc	0.347
Area	692.593	Area	711.505	Area	734.195	Area	949.33	Area	776.335	Area	1537.73	Area	1066.3	Area	1736.655	Area	1255.17	Area	1158.775	Area	1119.96	Area	1270.83
Gasto	115.154	Gasto	153.432	Gasto	200.404	Gasto	768.237	Gasto	326.293	Gasto	829.563	Gasto	590.416	Gasto	2825.196	Gasto	580.245	Gasto	437.614	Gasto	357.434	Gasto	440.64

Abs : Abscisa (coordenada X) en metros    Prof: Profundidad (coordenada Y) en metros    H : Altura Linnimétrica en metros.    Veloc : Velocidad en m/s    Area : expresada en m<sup>2</sup>    Gasto : Caudal en m<sup>3</sup>/s.

## ANEXO VII

### DATOS. AFORO DE CAUDAL LÍQUIDO. ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE. AÑO (1987)

Fecha 20-Jan		Fecha 10-Feb		Fecha 17-Mar		Fecha 29-Apr		Fecha 15-May		Fecha 23-Jun		Fecha 21-Jul		Fecha 18-Aug		Fecha 25-Sep		Fecha 22-Oct		Fecha 30-Nov		Fecha 17-Dec	
Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof								
38	15	39	0	39	0	39	88	38.8	0	39	140	38	162	37-38	200-212	38	103	37	0	38	170	38	0
39	270	40	270	40	275	40	320	39	260	40	335	39	473	40	510	39	317	38	110	38.3	172	39	143
40	242	42	286	42	285	44	363	40	315	44	312	44	524	44	522	40	381	39	334	40	460	40	360
42	293	44	300	44	340	45	1500	44	352	45	153	45	960	45	1164	44	450	41	388	44	496	44	355
44	432	45	1490	45	1500	46	1520	45	1516	46	1564	46	1738	46	1780	45	1604	44	570	45	1220	45	1000
45	1295	46	1530	46	1523	50	1533	46	1545	50	1570	50	1740	50	1790	46	1640	45	890	46	1715	46	1582
46	1537	50	1523	50	1461	55	1650	50	1526	55	1653	55	1890	55	1874	50	1680	46	1680	50	1706	50	1625
50	1535	55	1637	55	1450	60	1717	55	1656	60	1645	60	1864	60	1800	55	1707	50	1632	55	1738	55	1630
55	1663	60	1697	60	1712	65	1694	60	1730	65	1580	65	1746	65	1720	60	1578	55	1734	60	1600	60	1450
60	1712	65	1673	65	1676	70	1618	65	1690	70	1561	70	1570	70	1484	65	1376	60	1582	65	1435	65	1304
65	1690	70	1590	70	1610	75	1562	70	1623	75	1517	75	1430	75	1320	70	1256	65	1417	70	1322	70	1186
70	1630	75	1570	75	1570	80	1485	75	1583	80	1400	80	1300	80	1210	75	1160	70	1270	75	1213	75	1084
75	1588	80	1476	80	1480	85	1328	80	1484	85	1310	85	1149	85	1110	80	1038	75	1156	80	1099	80	970
80	1473	85	1308	85	1340	90	1165	85	1350	90	1120	90	1095	90	1054	85	957	80	1060	85	996	85	880
85	1336	90	1146	90	1146	95	1046	90	1192	95	970	95	1046	95	1020	90	870	85	972	90	926	90	800
90	1190	95	1080	95	1050	100	900	95	1051	100	866	100	7010	100	970	95	850	90	906	95	860	95	742
95	1038	100	880	100	895	105	801	100	914	105	763	105	970	105	932	100	760	95	850	100	810	100	700
100	950	105	790	105	795	110	734	105	804	110	710	110	943	110	890	105	720	100	786	105	790	105	676
105	795	110	715	110	728	115	668	110	736	115	670	115	900	115	854	110	686	105	754	110	766	110	623
110	730	115	666	115	674	120	630	115	670	120	634	120	830	120	813	115	660	110	705	115	736	115	594
115	673	120	618	120	620	125	583	120	633	125	577	125	763	125	750	120	632	115	673	120	692	120	586
120	634	125	580	125	584	130	514	125	588	130	527	130	680	130	735	125	600	120	645	125	663	125	550
125	593	130	500	130	520	135	444	130	520	135	465	135	630	135	670	130	570	125	624	130	633	130	521
130	517	135	450	135	460	140	390	135	450	140	392	140	584	140	630	135	550	130	604	135	600	135	500
135	470	140	385	140	394	145	338	140	390	145	352	145	537	145	590	140	523	135	574	140	570	140	452
140	400	145	330	145	337	150	266	145	331	150	270	150	455	150	516	145	473	140	537	145	510	145	410
145	344	150	253	150	270	155	194	150	267	155	194	155	350	155	415	150	386	145	470	150	427	150	313
150	276	155	180	155	200	160	116	155	200	160	124	160	267	160	342	155	284	150	400	155	350	155	232
155	200	160	113	160	140	165	73	160	132	165	60	165	190	165	250	160	200	155	313	160	253	160	132
160	130	165	50	162	80	167	38	165	60	167	25	170	136	170	190	165	116	160	214	165	170	165	62
164	76	168	10	164	57	169	0	168	23	169	0	175	65	175	126	170	57	165	120	170	98	167	36
165	70	169	0	166	48			169.7	0			178	36	180	60	173	27	170	70	175	46	168	24
168	22			168	25							179	17	185	74	174	11	174	20	177	19	170	0
169.5	0			169.3	0							180	0	188	57	175	0	175	9	178.2	0		
														189.7-190	22-0			176	0				
H	2.48	H	2.33	H	2.435	H	2.445	H	2.555	H	2.565	H	4.23	H	4.71	H	3.51	H	3.645	H	3.95	H	2.86
Veloc	0.172	Veloc	0.151	Veloc	0.187	Veloc	0.177	Veloc	0.229	Veloc	0.200	Veloc	0.616	Veloc	0.835	Veloc	0.518	Veloc	0.577	Veloc	0.687	Veloc	0.320
Area	1142.19	Area	1116.41	Area	1125.81	Area	1135.22	Area	1142.931	Area	1109.325	Area	1282.31	Area	1289.99	Area	1056.13	Area	1023.143	Area	1096.946	Area	1015.6
Gasto	195.938	Gasto	168.697	Gasto	211.062	Gasto	200.978	Gasto	261.364	Gasto	222.287	Gasto	790.091	Gasto	1077.393	Gasto	546.934	Gasto	590.582	Gasto	753.249	Gasto	325.093

Abs : Abscisa (coordenada X) en metros    Prof: Profundidad (coordenada Y) en metros    H : Altura Limnimétrica en metros.    Veloc : Velocidad en m/s    Area : expresada en m<sup>2</sup>    Gasto : Caudal en m<sup>3</sup>/s.

**ANEXO VII**  
**DATOS. AFORO DE CAUDAL LÍQUIDO. ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE. AÑO (1988)**

Fecha	14-Jun	Fecha	16-Feb	Fecha	17-Mar	Fecha	28-Apr	Fecha	25-May	Fecha	24-Jun	Fecha	12-Jul	Fecha	29-Aug	Fecha	21-Sep	Fecha	18-Oct	Fecha	10-Nov	Fecha	13-Dec
Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof
38.5	0	39	0	38	0	38.7	0	38.5	0	35	0	38.5	0	38	156	38	70	38	0	38	38	38.8	0
39	70	40	270	39	200	39	104	39	198	38	194	39	208	39	420	39	300	39	258	39	262	39	90
40	266	44	286	40	310	40	303	40	270	40	598	40	394	44	499	41	360	40	334	40	387	40	290
44	404	45	1475	44	363	44	367	44	300	44	733	44	444	46	1690	44	438	44	355	44	362	44	342
45	1458	46	1504	45	1486	45	1517	45	1480	46	1566	46	1644	50	1686	46	1644	46	159	46	1613	46	1548
46	1500	50	1520	46	1540	46	1563	46	1540	50	1897	50	1670	55	1670	50	1643	50	1584	50	1600	50	1545
50	1520	55	1541	50	1550	50	1566	50	1552	55	1826	55	1670	60	1572	55	1600	55	1550	55	1553	55	1505
55	1545	60	1362	55	1562	55	1595	55	1588	60	1713	60	1525	65	1372	60	1424	60	1354	60	1325	60	1270
60	1356	65	1262	60	1386	60	1410	60	1390	65	1618	65	1360	70	1233	65	1220	65	1132	65	1146	65	1073
65	1226	70	1078	65	1255	65	1276	65	1241	70	1476	70	1205	75	1080	70	1100	70	1024	70	1025	70	930
70	1080	75	985	70	1106	70	1143	70	1105	75	1307	75	1102	80	1000	75	1016	75	944	75	965	75	884
75	985	80	876	75	1000	75	1058	75	1000	80	1190	80	1003	85	912	80	950	80	866	80	865	80	833
80	880	85	790	80	896	80	922	80	885	85	1109	85	933	90	852	85	850	85	790	85	810	85	770
85	780	90	720	85	810	85	843	85	807	90	1010	90	852	95	803	90	780	90	743	90	746	90	702
90	708	95	652	90	737	90	760	90	726	95	992	95	817	100	780	95	738	95	702	95	703	95	665
95	651	100	600	95	674	95	701	95	680	100	916	100	766	105	768	100	700	100	658	100	680	100	631
100	614	105	570	100	632	100	666	100	638	105	860	105	740	110	764	105	670	105	630	105	650	105	610
105	570	110	564	105	600	105	636	105	600	110	840	110	710	115	747	110	645	110	622	110	635	110	586
110	561	115	515	110	585	110	606	110	585	115	810	120	654	120	730	120	655	115	607	115	630	115	580
115	510	120	496	115	540	115	568	115	538	120	770	130	613	125	706	130	620	120	596	120	620	120	616
120	492	125	476	120	518	120	546	120	510	130	733	140	524	130	666	140	570	125	593	125	605	125	600
125	470	130	445	125	494	125	518	125	486	140	680	150	370	135	623	150	360	130	370	130	596	130	560
130	434	135	414	130	473	130	493	130	470	150	530	160	195	140	570	160	171	135	530	135	550	135	490
135	415	140	380	135	435	135	470	135	433	160	342	168	74	150	430	168	67	140	473	140	480	140	438
140	372	145	324	140	400	140	430	140	395	170	200	174	24	160	250	171	29	145	405	145	408	145	360
145	323	150	242	145	352	145	380	145	352	180	66	175.5	0	170	86	172	8	130	313	150	314	150	276
150	233	155	162	150	260	150	304	150	250	186	45			175	26	172.6	0	155	230	155	232	155	190
155	147	160	66	155	176	155	203	155	170	188	35			176	8			160	140	160	140	160	98
160	63	163	18	160	88	160	230	160	76	189	20			177	0			165	60	165	62	165	23
162	31	164	0	163	25	165	30	164	20	190	0							168	27	168	32	165.5	0
164	0			166	0	166	23	165	0									169.5	0	170	0		
						167.5	0																
H	2.093	H	2.12	H	2.335	H	2.62	H	2.32	H	4.915	H	3.35	H	3.735	H	3.24	H	2.685	H	2.97	H	2.50
Veloc	0.139	Veloc	0.143	Veloc	0.200	Veloc	0.281	Veloc	0.192	Veloc	0.971	Veloc	0.512	Veloc	0.631	Veloc	0.511	Veloc	0.387	Veloc	0.424	Veloc	0.263
Area	859.18	Area	858.55	Area	890.595	Area	926.304	Area	883.645	Area	1272.83	Area	1041.43	Area	1089.335	Area	981.999	Area	916.568	Area	930.744	Area	867.998
Gasto	119.67	Gasto	122.673	Gasto	178.538	Gasto	260.088	Gasto	169.65	Gasto	1236.456	Gasto	533.18	Gasto	686.989	Gasto	502.288	Gasto	354.669	Gasto	394.886	Gasto	228.388

Abs : Abscisa (coordenada X) en metros    Prof: Profundidad (coordenada Y) en metros    H : Altura Limnimétrica en metros.    Veloc : Velocidad en m/s    Area : expresada en m<sup>2</sup>    Gasto : Caudal en m<sup>3</sup>/s.

## ANEXO VII

### DATOS. AFORO DE CAUDAL LÍQUIDO. ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE. AÑO (1989)

Fecha 11-Jan		Fecha 8-Feb		Fecha 9-Mar		Fecha 12-Apr		Fecha 12-May		Fecha 13-Jun		Fecha 6-Jul		Fecha 14-Aug		Fecha 21-Sep		Fecha 5-Oct		Fecha 27-Nov		Fecha 12-Dec	
Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof
39	170	38.2	0	38.7	0	38.8	0	38.5	0	38.5	0	38.5	0	38.5	0	39	300	38.7	40	38.7	0	39	0
40	223	40	245	39	182	39	230	39	165	39	75	39	222	39	97	40	35	40	260	39	150	40	296
44	390	44	265	40	270	40	305	40	260	40	251	40	330	40	337	44	483	44	310	40	230	44	320
46	1494	46	1484	44	286	44	311	44	260	44	290	44	328	44	347	46	1600	46	1543	44	270	46	1520
50	1494	50	1470	46	1507	46	1550	46	1500	46	1510	46	1550	46	1550	50	1594	50	1543	46	1526	50	1512
55	1445	55	1420	50	1500	50	1545	50	1490	50	1516	50	1557	50	1563	55	1570	55	1527	50	1520	55	1492
60	1210	60	1200	55	1454	55	1490	55	1440	55	1473	55	1404	55	1551	60	1430	60	1350	55	1485	60	1338
65	1009	65	980	60	1205	60	1270	60	1225	60	1230	60	1203	60	1406	65	1246	65	1190	60	1331	65	1166
70	875	70	865	65	1002	65	1055	65	1020	65	1025	65	1073	65	1246	70	1096	70	1043	65	1160	70	1025
75	826	75	808	70	896	70	926	70	890	70	894	70	990	70	1077	75	987	75	920	70	1020	75	909
80	780	80	741	75	843	75	880	75	832	75	850	75	910	75	972	80	893	80	833	75	902	80	810
85	717	85	690	80	785	80	820	80	780	80	793	80	861	80	867	85	806	85	750	80	805	85	730
90	650	90	620	85	726	85	750	85	711	85	730	85	780	85	775	90	734	90	688	85	720	90	667
95	610	95	580	90	665	90	693	90	650	90	674	90	726	90	710	95	697	95	643	90	656	95	628
100	573	100	541	95	619	95	645	95	602	95	636	95	692	95	670	100	675	100	615	95	680	100	615
105	546	105	510	100	567	100	606	100	576	100	612	100	667	100	657	105	656	105	618	100	590	105	570
110	530	110	493	105	550	105	595	105	556	105	583	105	650	105	646	110	642	110	600	105	576	110	560
115	543	115	520	110	556	110	590	110	545	110	576	110	646	110	628	115	646	115	595	110	580	115	560
120	580	120	551	115	551	115	600	115	550	115	590	115	636	115	620	120	640	120	594	115	580	120	556
125	557	125	528	120	583	120	622	120	570	120	592	120	623	120	613	125	624	125	580	120	564	125	570
130	508	130	497	125	561	125	608	125	550	125	575	125	603	125	590	130	590	130	542	125	556	130	530
135	441	135	429	130	525	130	550	130	500	130	528	130	566	130	546	135	530	135	490	130	530	135	468
140	390	140	370	135	465	135	490	135	450	135	466	135	502	135	498	140	481	140	435	135	463	140	424
145	316	145	296	140	424	140	430	140	395	140	415	140	457	140	446	145	413	145	361	140	409	145	332
150	230	150	210	145	342	145	367	145	324	145	340	145	382	145	370	150	323	150	273	145	333	150	250
155	136	155	123	150	250	150	280	150	230	150	250	150	298	150	286	155	326	155	171	150	250	155	144
160	48	160	32	155	152	155	200	155	140	155	155	155	215	155	204	160	125	160	88	155	148	160	68
163	0	162	0	160	72	160	105	160	47	160	74	160	113	160	110	165	52	164	22	160	78	163	37
				163	20	164	35	162	17	162	39	165	45	165	36	168	20	165.9	0	163	14	164.5	0
				164	0	166	0	163.5	0	164.5	0	166.5	20	167	0	169	0			164	0		
												167.5	0										
H	1.985	H	1.825	H	2.11	H	2.51	H	2.018	H	2.23	H	2.618	H	2.64	H	2.875	H	2.40	H	2.125	H	2.18
Veloc	0.194	Veloc	0.163	Veloc	0.216	Veloc	0.265	Veloc	0.197	Veloc	0.231	Veloc	0.331	Veloc	0.293	Veloc	0.384	Veloc	0.241	Veloc	0.203	Veloc	0.239
Area	808.695	Area	774.945	Area	818.393	Area	863.455	Area	806.331	Area	832.716	Area	887.868	Area	912.108	Area	948.45	Area	897.784	Area	846.205	Area	851.393
Gasto	156.767	Gasto	126.303	Gasto	176.637	Gasto	228.715	Gasto	158.828	Gasto	192.063	Gasto	293.942	Gasto	267.496	Gasto	364.426	Gasto	216.69	Gasto	172.139	Gasto	203.634

Abs : Abscisa (coordenada X) en metros    Prof. Profundidad (coordenada Y) en metros    H : Altura limnimétrica en metros.    Veloc : Velocidad en m/s    Area : expresada en m<sup>2</sup>    Gasto : Caudal en m<sup>3</sup>/s.

## ANEXO VII

### DATOS. AFORO DE CAUDAL LÍQUIDO. ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE. AÑO (1990)

Fecha 11-Jan		Fecha 14-Feb		Fecha 21-Mar		Fecha 12-Apr		Fecha 8-May		Fecha 8-Jun		Fecha 11-Jul		Fecha 21-Aug		Fecha 7-Sep		Fecha 8-Oct		Fecha 8-Nov		Fecha 6-Dec	
Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof
39	0	39	0	39	0	38.8	0	39	352	38.5	0	38.8	0	39	0	37.5	0	38.5	0	38.8	0	39	200
40	243	40	234	40	182	39	218	40	380	39	110	39	93	40	300	38	190	39	218	39	296	40	251
44	244	44	237	44	246	40	324	44	410	40	317	40	293	44	330	40	455	40	306	40	298	44	250
46	1438	46	1484	46	1480	44	316	46	1626	44	340	44	286	46	1550	44	444	44	313	44	342	46	1490
60	1460	50	1454	50	1475	46	1560	50	1610	46	1560	46	1525	50	1542	46	1630	46	1558	46	1562	50	1414
65	1442	55	1440	55	1450	50	1561	55	1590	50	1556	50	1530	55	1482	50	1677	50	1494	50	1492	55	1220
70	1286	60	1275	60	1340	55	1535	60	1440	55	1525	55	1464	60	1250	55	1545	55	1300	55	1308	60	1140
75	1100	65	1103	65	1120	60	1390	65	1234	60	1326	60	1281	65	1070	60	1380	60	1225	60	1223	65	1056
80	975	70	980	70	977	65	1211	70	1096	65	1132	65	1100	70	980	65	1222	65	1149	65	1132	70	950
85	855	75	860	75	860	70	1050	75	1000	70	1000	70	951	75	886	70	1138	70	1052	70	1020	75	852
90	754	80	760	80	770	75	954	80	900	75	916	75	890	80	814	75	1056	75	945	75	928	80	770
95	653	85	680	85	670	80	831	85	831	80	854	80	822	85	740	80	972	80	850	80	840	85	690
100	600	90	618	90	612	85	760	90	747	85	780	85	742	90	686	85	907	85	761	85	764	90	626
105	565	95	590	95	586	90	716	95	710	90	700	90	684	95	640	90	834	90	709	90	702	95	585
110	550	100	544	100	553	95	660	100	687	95	660	95	623	100	614	95	805	95	664	95	653	100	560
115	523	105	536	105	524	100	625	105	652	100	621	100	582	105	576	100	772	100	645	100	641	105	550
120	502	110	514	110	530	105	602	110	642	105	600	105	572	110	580	105	750	105	618	105	620	110	545
125	505	115	520	115	530	110	610	115	663	110	600	110	564	115	583	110	744	110	610	110	614	115	542
130	523	120	536	120	536	115	615	120	682	115	601	115	563	120	586	115	732	115	620	115	615	120	545
135	503	125	514	125	520	120	630	125	661	120	610	120	576	125	583	120	755	120	616	120	612	125	527
140	460	130	471	130	480	125	600	130	616	125	590	125	565	130	544	130	685	125	597	125	590	130	476
145	408	135	410	135	421	130	562	135	544	130	550	130	527	135	480	140	575	130	555	130	546	135	414
150	357	140	360	140	365	135	495	140	495	135	492	135	460	140	430	150	450	135	489	135	493	140	366
155	280	145	290	145	305	140	446	145	442	140	450	140	408	145	352	160	240	140	440	140	440	145	290
160	190	150	187	150	200	145	333	150	332	145	357	145	330	150	256	170	85	145	374	145	363	150	200
165	98	155	109	155	120	150	290	155	240	150	270	150	244	155	165	174	31	150	285	150	280	155	120
170	22	160	25	160	24	155	201	160	156	155	166	155	153	160	76	177	0	155	192	155	190	160	32
		162	0	161.5	0	160	98	165	70	160	96	160	73	165	8			160	110	160	87	162	0
						165	26	170	21	165	23	163	21	165.5	0			164	38	164	22		
						167	0	171	0	167	0	164	0					166	7	166.5	0	165.7	0
H	1.635	H	1.663	H	1.77	H	2.52	H	2.165	H	2.39	H	2.165	H	2.39	H	3.775	H	2.473	H	2.488	H	1.728
Veloc	0.120	Veloc	0.137	Veloc	0.179	Veloc	0.305	Veloc	0.490	Veloc	0.312	Veloc	0.241	Veloc	0.304	Veloc	0.667	Veloc	0.326	Veloc	0.328	Veloc	0.181
Area	924.3	Area	788.635	Area	795.04	Area	899.543	Area	932.87	Area	880.925	Area	839.053	Area	852.66	Area	1054.588	Area	874.123	Area	866.692	Area	774.925
Gasto	111.023	Gasto	107.905	Gasto	142.56	Gasto	274.542	Gasto	456.772	Gasto	275.211	Gasto	202.171	Gasto	259.244	Gasto	703.844	Gasto	284.927	Gasto	283.909	Gasto	140.459

Abs : Abscisa (coordenada X) en metros    Prof: Profundidad (coordenada Y) en metros    H : Altura Limnimétrica en metros.    Veloc : Velocidad en m/s    Area : expresada en m<sup>2</sup>    Gasto : Caudal en m<sup>3</sup>/s.

**ANEXO VII**  
**DATOS. AFORO DE CAUDAL LÍQUIDO. ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE. AÑO (1991)**

Fecha 11-Jan		Fecha 12-Feb		Fecha 21-Mar		Fecha 9-Apr		Fecha 7-May		Fecha 24-Jun		Fecha 23-Jul		Fecha 14-Aug		Fecha 10-Sep		Fecha 23-Oct		Fecha 28-Nov		Fecha 12-Dec	
Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof
39	0	39	0	38.8	0	39	20			38	97	38	154	38.5	0	38	0	38.8	53	39	320	38.7	0
40	185	40	200	40	295	40	260			39	260	39	325	39	135	39	166	40	352	40	300	39	250
44	194	44	222	44	299	44	290			40	500	40	490	40	420	40	390	44	352	44	342	40	352
46	1415	46	1430	46	1490	46	1525			44	658	44	568	44	473	44	393	46	1600	46	1580	44	404
50	1375	50	1460	50	1390	50	1451			50	1664	46	1670	46	1614	46	1644	50	1550	50	1566	46	1616
55	1180	55	1125	55	1236	55	1278			55	1737	50	1764	50	1685	50	1636	55	1335	55	1310	50	1585
60	1050	60	1097	60	1153	60	1180			46	1827	55	1874	55	1606	55	1535	60	1332	60	1204	55	1327
65	1020	65	1011	65	1062	65	1107			60	1785	60	1833	60	1514	60	1453	65	1143	65	1157	60	1224
70	915	70	905	70	960	70	995			65	1703	65	1736	65	1487	65	1432	70	1130	70	1116	65	1160
75	805	75	802	75	868	75	904			70	1630	70	1593	70	1470	70	1395	75	1100	75	1060	70	1126
80	724	80	710	80	782	80	810			75	1422	75	1434	75	1370	75	1317	80	1046	80	1022	75	1094
85	640	85	652	85	700	85	730			80	1284	80	1276	80	1221	80	1193	85	984	85	988	80	1060
90	580	90	583	90	640	90	671			85	1180	85	1160	85	1105	85	1080	90	915	90	918	85	1000
95	540	95	540	95	600	95	630			90	1072	90	1063	90	1016	90	986	95	820	95	835	90	910
100	522	100	506	100	574	100	600			95	990	95	980	95	912	95	905	100	751	100	764	95	850
105	493	105	484	105	552	105	580			100	909	100	907	100	844	100	842	107	677	107	700	100	773
110	493	110	484	110	560	110	570			105	860	107	827	105	780	105	746	115	624	115	610	107	720
115	500	115	486	115	563	115	590			110	824	115	726	110	730	110	684	122	554	122	540	115	626
120	500	120	490	120	563	120	588			117	757	122	660	117	657	117	640	130	457	130	450	122	535
125	473	125	467	125	544	125	566			125	680	130	557	125	565	125	540	137	360	137	344	130	460
130	436	130	430	130	497	130	524			132	613	137	464	132	485	132	468	145	298	145	275	137	360
135	380	135	370	135	440	135	457			140	518	145	396	140	392	140	360	152	257	152	246	145	293
140	330	140	323	140	384	140	404			147	428	152	360	147	340	147	317	160	185	160	156	152	266
145	260	145	244	145	310	145	335			155	382	160	290	155	310	155	267	165	113	167	73	160	190
150	266	150	174	150	220	150	240			162	320	167	192	162	230	162	200	170	54	171	23	167	95
155	70	155	81	155	136	155	150			170	194	175	130	170	110	170	91	174	21	173	12	172	32
160	0	159	0	160	52	160	58			177	166	180	130	177	88	175	52	175	20	174	6	175	22
				162	0	163.5	0			185	74	183	55	180	83	180	70					178	32
										188	47	185	0	184	23	183	0					180	35
										189.8	0			185	0							181	0
H	1.355	H	1.348	H	1.90	H	2.165	H	falta	H	4.28	H	4.05	H	3.58	H	3.28	H	2.923	H	2.785	H	2.943
Veloc	0.108	Veloc	0.117	Veloc	0.219	Veloc	0.293	Veloc	falta	Veloc	0.713	Veloc	0.661	Veloc	0.585	Veloc	0.475	Veloc	0.406	Veloc	0.373	Veloc	0.428
Area	718.62	Area	686.555	Area	791.09	Area	771.16	Area	falta	Area	1247.498	Area	1215.635	Area	1019.553	Area	1052.095	Area	930.845	Area	917.56	Area	945.495
Gasto	77.419	Gasto	80.273	Gasto	172.964	Gasto	225.906	Gasto	falta	Gasto	889.059	Gasto	803.658	Gasto	596.364	Gasto	499.389	Gasto	377.683	Gasto	341.863	Gasto	404.374

Abs : Abscisa (coordenada X) en metros    Prof: Profundidad (coordenada Y) en metros    H : Altura limnométrica en metros.    Veloc : Velocidad en m/s    Area : expresada en m<sup>2</sup>    Gasto : Caudal en m<sup>3</sup>/s.

## ANEXO VII

### DATOS. AFORO DE CAUDAL LÍQUIDO. ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE. AÑO (1992)

Fecha 15-Jan		Fecha 14-Feb		Fecha 24-Mar		Fecha 20-Apr		Fecha 20-May		Fecha 25-Jun		Fecha 7-Jul		Fecha 20-Aug		Fecha 22-Sep		Fecha 28-Oct		Fecha 18-Nov		Fecha 9-Dec	
Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof								
39	0	39	190	38.8	0	38.8	0	38	0	39	0			38	0	38	0	37.8	100	38	0		
40	290	40	290	40	313	40	300	39	267	40	242			39	334	39	391	39	245	38	151	39	263
44	272	44	366	44	303	44	301	40	456	44	940			40	492	44	450	40	352	40	459	40	358
46	1526	46	1540	46	1544	46	1538	44	500	46	2178			44	506	46	1641	44	355	44	500	44	444
50	1428	50	1416	50	1449	50	1418	46	1694	50	2211			46	1612	50	1660	46	1586	46	1700	46	1642
55	1222	55	1226	55	1242	55	1232	50	1727	55	2344			50	1610	55	1553	50	1597	50	1720	50	1609
60	1152	60	1160	60	1175	60	1155	55	1860	60	2285			55	1428	60	1466	55	1395	55	1518	55	1378
65	1137	65	1140	65	1152	65	1115	60	1801	65	2146			60	1378	65	1385	60	1360	60	1474	60	1334
70	1120	70	1123	70	1142	70	1090	65	1662	70	2032			65	1318	70	1270	65	1295	65	1450	65	1290
75	1050	75	1063	75	1065	75	1045	70	1548	75	1907			70	1217	75	1180	70	1183	70	1354	70	1233
80	1000	80	1010	80	1018	80	1000	75	1423	80	1752			75	1110	80	1035	75	1067	75	1225	75	1113
85	936	85	945	85	961	85	940	80	1268	85	1668			80	976	85	896	80	941	80	1096	80	994
90	866	90	870	90	889	90	858	85	1184	90	1588			85	866	90	812	85	827	85	977	85	892
95	780	95	785	95	814	95	780	90	1104	95	1495			90	754	95	756	90	730	90	857	90	782
100	722	100	718	100	747	100	724	95	1011	100	1394			95	712	100	731	95	673	95	810	95	724
107	652	105	666	107	673	107	660	100	910	105	1308			100	687	107	706	100	654	100	786	100	703
115	547	110	604	115	573	115	560	107	821	110	1258			107	655	115	657	107	640	107	773	107	695
122	470	117	530	122	500	122	493	115	733	115	1217			115	614	122	601	115	574	115	718	115	641
130	377	125	445	130	401	130	393	122	660	120	1258			122	560	130	505	122	524	122	648	122	570
137	285	132	350	137	302	137	295	130	562	125	1093			130	473	137	425	130	430	130	563	130	490
145	230	140	252	145	250	145	234	137	485	130	1091			137	398	145	358	137	354	137	480	137	404
152	180	147	210	152	200	152	191	145	412	135	1127			145	326	152	320	145	272	145	412	145	323
160	110	155	170	160	131	160	114	152	381	140	920			152	275	160	211	152	229	152	365	152	280
165	45	162	87	165	61	162	96	160	309	145	899			160	172	167	147	160	128	160	266	160	177
167	26	166	31	168	23	166	35	167	204	150	900			167	115	175	94	167	68	167	200	167	123
168.5	0	167	22	169	0	169	0	175	148	155	838			172	47	179	29	170	22	175	158	175	75
		168.3	0					182	97	160	767			175	59	180	0	172	0	180	46	177	37
								183	74	170	690			177	35					181.5	19	178.5	0
								184	61	180	555			178	0					182.5	0		
								184.5	0	190	382												
								200	183														
								206	86														
								208	30														
								209	0														
H	2.18	H	2.25	H	2.425	H	2.315	H	4.025	H	8.855	H	falta	H	3.20	H	3.54	H	2.77	H	4.065	H	3.245
Veloc	0.176	Veloc	0.189	Veloc	0.253	Veloc	0.236	Veloc	0.684	Veloc	2.183	Veloc	falta	Veloc	0.498	Veloc	0.628	Veloc	0.430	Veloc	0.633	Veloc	0.548
Area	864.675	Area	853.228	Area	875.313	Area	852.725	Area	1213.958	Area	2039.23	Area	falta	Area	953.805	Area	1014.035	Area	894.41	Area	1088.019	Area	957.93
Gasto	151.86	Gasto	160.877	Gasto	221.098	Gasto	201.265	Gasto	830.462	Gasto	4450.988	Gasto	falta	Gasto	474.65	Gasto	636.639	Gasto	348.326	Gasto	868.852	Gasto	524.93

Abs : Abscisa (coordenada X) en metros    Prof: Profundidad (coordenada Y) en metros    H : Altura l iminétrica en metros.    Veloc : Velocidad en m/s    Area : expresada en m<sup>2</sup>    Gasto : Caudal en m<sup>3</sup>/s.

## ANEXO VII

### DATOS. AFORO DE CAUDAL LÍQUIDO. ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE. AÑO (1993)

Fecha	11-Jan	Fecha	11-Feb	Fecha	18-Mar	Fecha	20-Apr	Fecha	17-May	Fecha	7-Jun	Fecha	13-Jul	Fecha	11-Aug	Fecha	8-Sep	Fecha	8-Oct	Fecha	11-Nov	Fecha	10-Dec
Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof
38.2	0	38.8	0	38.8	0	38.7	120	38.8	0			38.2	0	38.8	0	38.5	0	38.8	0	39.3	0	39	0
40	308	40	173	39	200	40	335	40	400			40	526	40	389	39	198	40	342	40	347	40	280
44	302	44	208	40	300	44	375	44	403			44	617	44	425	40	415	44	474	45	472	44	256
46	1562	46	1451	44	291	46	1584	46	1584			46	1658	46	1632	44	475	46	1578	47	1595	46	1517
50	1502	50	1417	46	1537	50	1532	50	1510			50	1688	50	1666	46	1660	50	1597	50	1580	50	1511
55	1284	55	1194	50	1494	55	1317	55	1310			55	1623	55	1466	50	1773	55	432	55	1416	55	1329
60	1240	60	1150	55	1273	60	1270	60	1260			60	1500	60	1403	55	1561	60	1368	60	1313	60	1224
65	1190	65	1074	60	1223	65	1180	65	1228			65	1875	65	1300	60	1477	65	1221	65	1208	65	1105
70	1109	70	1023	65	1151	70	1119	70	1210			70	1204	70	1129	65	1320	70	1074	70	1058	70	990
75	1014	75	932	70	1095	75	1044	75	1123			75	1056	75	991	70	1156	75	936	75	933	75	880
80	908	80	812	75	1004	80	944	80	1010			80	917	80	866	75	1020	80	808	80	813	80	752
85	795	85	701	80	883	85	817	85	887			85	853	85	809	80	901	85	741	85	724	85	653
90	703	90	603	85	775	90	721	90	787			90	835	90	767	85	820	90	742	90	726	90	639
95	640	95	552	90	682	95	656	95	728			95	803	95	754	90	815	95	705	95	695	95	616
100	617	100	524	95	629	100	643	100	706			100	777	100	731	95	772	100	667	100	665	100	597
107	615	107	507	100	587	107	634	107	700			107	708	107	664	100	744	107	613	105	621	107	547
115	560	115	455	107	572	115	580	115	627			115	623	115	580	107	683	115	557	112	538	115	456
122	482	122	406	115	531	122	515	122	580			122	566	122	527	115	594	122	472	120	474	122	400
130	400	130	316	122	465	130	416	130	495			130	534	130	494	122	542	130	437	127	439	130	357
137	320	137	230	130	372	137	340	137	406			137	460	137	425	130	510	137	360	135	377	137	284
145	242	145	150	137	290	145	265	145	335			145	392	145	355	137	430	145	288	142	310	145	222
152	199	152	107	145	216	152	225	152	283			152	337	152	283	145	350	152	226	150	243	152	153
160	95	156	62	152	169	160	119	160	186			160	262	160	196	152	300	160	156	157	180	160	84
167	28	158	36	160	69	167	60	167	130			167	176	167	135	160	220	167	79	165	84	165	26
168	20	160.5	0	164	25	170	28	175	66			175	112	175	70	167	150	171	32	171	22	167	0
169	0			166	8	172	0	177	38			180	30	177	50	175	83	177	0	172	11		
				167.5	0			179	0			181.2	0	179.5	0			180	0				
H	2.045	H	1.525	H	2.19	H	2.69	H	3.30	H	falta	H	3.805	H	3.36	H	3.53	H	2.78	H	2.703	H	2.005
Veloc	0.340	Veloc	0.147	Veloc	0.282	Veloc	0.391	Veloc	0.621	Veloc	falta	Veloc	0.757	Veloc	0.633	Veloc	0.691	Veloc	0.476	Veloc	0.463	Veloc	0.307
Area	833.407	Area	714.878	Area	803.07	Area	865.098	Area	942.18	Area	falta	Area	1027.144	Area	943.954	Area	981.765	Area	870.557	Area	843.213	Area	716.2
Gasto	283.888	Gasto	105.157	Gasto	226.21	Gasto	338.661	Gasto	584.694	Gasto	falta	Gasto	777.326	Gasto	597.425	Gasto	678.425	Gasto	414.44	Gasto	390.57	Gasto	219.738

Abs : Abscisa (coordenada X) en metros    Prof: Profundidad (coordenada Y) en metros    H : Altura Limnimétrica en metros.    Veloc : Velocidad en m/s    Area : expresada en m<sup>2</sup>    Gasto : Caudal en m<sup>3</sup>/s.

**ANEXO VII**  
**DATOS. AFORO DE CAUDAL LÍQUIDO. ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE. AÑO (1994)**

Fecha	14-Jan	Fecha	9-Feb	Fecha	24-Mar	Fecha	13-Apr	Fecha	12-May	Fecha	7-Jun	Fecha	27-Jul	Fecha	18-Aug	Fecha	29-Sep	Fecha	25-Oct	Fecha	28-Nov	Fecha	15-Dec
Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof								
38.3	0	38.2	0	38.5	0	39	0	39.2	0	38.5	0	27	0	38.7	0	38	0	38.5	0	38.2	0	38.5	0
40	215	40	116	39	209	40	265	40	284	39	160	28	95	39	179	39	278	39	244	39	268	39	205
44	252	44	219	40	331	44	261	44	273	40	398	30	405	40	462	40	376	40	363	40	327	44	297
46	1457	46	1443	44	358	46	1513	46	1506	44	440	35	354	44	495	44	449	44	328	44	313	46	1482
50	1434	50	1434	46	1567	50	1485	50	1504	46	1644	40	870	46	1568	46	1565	46	1516	46	1480	50	1296
55	1282	55	1260	50	1540	55	1323	55	1294	50	1627	50	204	50	1432	50	1380	50	1362	50	1322	55	1123
60	1163	60	1145	55	1392	60	1199	60	1125	55	1460	55	2236	55	1275	55	1238	55	1165	55	1130	60	1083
65	1070	65	1051	60	1250	65	1089	65	1055	60	1353	60	1928	60	1238	60	1193	60	1132	60	1086	65	1068
70	953	70	935	65	1164	70	975	70	1005	65	1251	65	1825	65	1152	65	1150	65	1122	65	1075	70	964
75	820	75	804	70	1045	75	858	75	861	70	1130	70	1703	70	1037	70	1030	70	990	70	960	75	857
80	693	80	683	75	897	80	737	80	740	75	985	75	1557	75	920	75	918	75	890	75	845	80	718
85	604	85	590	80	794	85	648	85	642	80	870	80	1441	80	779	80	777	80	756	80	707	85	610
90	583	90	584	85	697	90	628	90	644	85	775	85	1345	85	692	85	682	85	652	85	600	90	536
95	567	95	556	90	670	95	625	95	614	90	748	90	1317	90	630	90	598	90	585	90	539	95	510
100	556	100	537	95	674	100	590	100	593	95	720	95	1288	95	600	95	581	95	556	95	515	100	486
107	500	107	487	100	634	107	540	107	553	100	700	100	1178	100	562	100	556	100	530	100	480	107	480
115	405	115	397	107	570	115	448	115	447	107	646	105	1197	107	557	107	560	107	524	107	479	115	528
122	355	122	343	115	490	122	394	122	392	115	573	110	1217	115	596	115	597	115	570	115	525	122	476
130	330	130	312	122	436	130	363	130	356	122	515	115	1180	122	556	122	548	122	516	122	486	130	398
137	255	137	237	130	412	137	288	137	287	130	480	122	1121	130	489	130	471	130	450	130	406	137	314
145	170	145	169	137	337	145	208	145	212	137	414	130	1029	137	403	137	399	137	364	137	325	145	234
152	118	152	100	145	266	152	142	152	150	145	333	137	1009	145	329	145	329	145	296	145	250	152	165
159	62	156	70	152	193	160	79	160	75	152	270	145	945	152	260	152	252	152	219	152	177	160	85
161	25	158	50	160	123	164	19	165	19	160	205	152	870	160	177	160	168	160	148	160	100	165	45
162.5	0	162	0	167	45	166	0	166.5	0	167	122	160	785	167	120	167	106	167	71	165	53	165.8	0
				170	21					175	46	167	695	174	21	173	45	172	29	167	29		
				171	0					177	42	175	561	176	0	175.3	0	173.2	0	169	0		
										178.5	0	182	483										
												190	335										
												197	188										
												205	73										
												207	30										
												208	0										
H	1.64	H	1.495	H	2.45	H	2.008	H	1.97	H	3.18	H	8.65	H	3.10	H	3.065	H	2.755	H	2.34	H	2.32
Veloc	0.230	Veloc	0.204	Veloc	0.389	Veloc	0.288	Veloc	0.264	Veloc	0.559	Veloc	2.300	Veloc	0.624	Veloc	0.626	Veloc	0.539	Veloc	0.402	Veloc	0.403
Area	704.651	Area	685.349	Area	818.778	Area	750.205	Area	747.714	Area	923.37	Area	1841.925	Area	850.784	Area	834.468	Area	788.849	Area	733.052	Area	722.878
Gasto	162.251	Gasto	139.803	Gasto	318.245	Gasto	215.978	Gasto	197.682	Gasto	516.12	Gasto	4237.097	Gasto	531.24	Gasto	522.307	Gasto	425.142	Gasto	294.332	Gasto	290.976

Abs : Abscisa (coordenada X) en metros    Prof: Profundidad (coordenada Y) en metros    H : Altura Limnimétrica en metros.    Veloc : Velocidad en m/s    Area : expresada en m<sup>2</sup>    Gasto : Caudal en m<sup>3</sup>/s.

**ANEXO VII**  
**DATOS. AFORO DE CAUDAL LÍQUIDO. ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE. AÑO (1995)**

Fecha 19-Jan		Fecha 8-Feb		Fecha 15-Mar		Fecha 12-Apr		Fecha 23-May		Fecha 14-Jun		Fecha 17-Jul		Fecha 10-Aug		Fecha 26-Sep		Fecha 20-Oct		Fecha 16-Nov		Fecha 6-Dec	
Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof	Abs	Prof
39.5	95	39	0	39.5	0	38.8	0	39	0	38.5	0	38.7	128	38.5	0	39	182	39	320	38.5	0	39	0
40	212	40	71	40	231	40	250	40	294	40	480	40	461	40	454	40	378	40	371	40	473	40	346
44	202	44	197	44	218	44	245	44	316	44	500	44	550	44	513	44	433	44	356	44	428	44	328
46	1365	46	1370	46	1388	46	1403	46	1428	46	1518	46	1607	46	1588	46	1578	46	1542	46	1584	46	1500
50	1207	50	1220	50	1228	50	1250	50	1237	50	1347	50	1512	50	1477	50	1413	50	1364	50	1402	50	1300
55	1012	55	1018	55	1038	55	1057	55	1108	55	1219	55	1397	55	1317	55	1260	55	1200	55	1213	55	1124
60	978	60	990	60	1004	60	1032	60	1062	60	1185	60	1323	60	1240	60	1227	60	1150	60	1198	60	1094
65	967	65	970	65	988	65	1021	65	1040	65	1138	65	1218	65	1164	65	1142	65	1110	65	1160	65	1064
70	860	70	866	70	884	70	905	70	932	70	1048	70	1098	70	1026	70	1007	70	972	70	1028	70	934
75	746	75	759	75	772	75	780	75	826	75	937	75	970	75	898	75	895	75	858	75	918	75	806
80	607	80	613	80	624	80	636	80	671	80	795	80	840	80	800	80	777	80	746	80	790	80	694
85	521	85	512	85	597	85	560	85	577	85	697	85	755	85	732	85	728	85	678	85	745	85	647
90	440	90	427	90	463	90	478	90	515	90	630	90	687	90	677	90	684	90	646	90	685	90	618
95	418	100	396	95	437	97	416	97	493	97	610	97	640	97	607	97	593	97	557	97	610	97	521
100	390	107	395	100	410	105	416	105	455	105	565	105	616	105	574	105	574	105	530	105	570	105	490
107	385	115	444	107	408	112	460	112	509	112	605	112	637	112	566	112	562	112	518	112	555	112	485
115	437	122	395	115	452	120	434	120	465	120	586	120	634	120	570	120	555	120	517	120	554	120	475
122	376	130	239	122	400	127	360	127	416	127	525	127	568	127	537	127	522	127	488	127	522	135	449
130	303	137	169	130	328	135	294	135	335	135	440	135	476	135	467	135	460	135	406	135	455	142	365
137	228	145	122	137	246	142	227	142	257	142	372	142	413	142	392	142	379	142	336	142	380	150	303
145	153	152	90	145	176	150	153	150	192	150	298	150	340	150	317	150	310	150	266	150	304	157	224
152	78	162	0	152	95	155	73	157	98	157	280	157	292	157	256	157	235	157	195	157	233	165	67
157	21			160	18	160	47	163	67	165	158	165	196	165	170	165	159	165	111	165	153	168	38
158	0			163	0	163	0	165	33	172	80	172	120	172	79	172	66	170	53	172	76	170	0
								167	0	175	24	178	21	175	35	175	31	172	27	175	31		
										176	0	179.5	0	176.5	0	176.5	0	173.5	0	176.5	0		
H	1.36	H	1.49	H	1.618	H	1.795	H	2.225	H	2.233	H	3.644	H	3.325	H	3.221	H	2.82	H	3.245	H	2.528
Veloc	0.148	Veloc	0.212	Veloc	0.276	Veloc	0.254	Veloc	0.371	Veloc	0.709	Veloc	0.820	Veloc	0.728	Veloc	0.724	Veloc	0.619	Veloc	0.721	Veloc	0.515
Area	603.643	Area	615.21	Area	552.403	Area	631.42	Area	700.895	Area	855.86	Area	936.557	Area	880.388	Area	857.288	Area	798.173	Area	859.146	Area	741.58
Gasto	89.407	Gasto	130.731	Gasto	152.637	Gasto	165.343	Gasto	295.951	Gasto	607.206	Gasto	767.925	Gasto	640.752	Gasto	621	Gasto	494.493	Gasto	619.021	Gasto	382.11

Abs : Abscisa (coordenada X) en metros    Prof: Profundidad (coordenada Y) en metros    H : Altura Limnimétrica en metros.    Veloc : Velocidad en m/s    Area : expresada en m<sup>2</sup>    Gasto : Caudal en m<sup>3</sup>/s.

**ANEXO VII**  
**DATOS. AFORO DE CAUDAL LÍQUIDO. ESTACIÓN FOREL. RÍO MAULE. AÑOS (1996 - 1997 - 1998)**

AÑO 1996								AÑO 1997								AÑO 1998							
Mes	Día / Mes	Gasto	H	Velocidad	Prof.	Area	Ancho	Mes	Gasto	H	Velocidad	Prof.	Area	Ancho	Mes	Gasto	H	Velocidad	Prof.	Area	Ancho		
Enero	23-Jan	144.697	1.425	0.24	-	602.34	121	Enero	20-Jan	36.6	0.93	0.1	4.63	370	80	Enero	5-Jan	508	2.84	0.65	5.71	776	136
Febrero	6-Feb	121.315	1.321	0.206	-	589.06	121	Febrero	22-Feb	57.2	1.06	0.13	4.97	427	86	Enero	30-Jan	350	2.33	0.5	5.34	696	130.4
Marzo	27-Mar	166.661	1.628	0.269	-	616.675	123	Marzo	17-Mar	160	1.54	0.37	4.4	431	96	Febrero	-	-	-	-	-	-	-
Abril	12-Apr	245.95	1.984	0.366	-	671.99	127.2	Abril	18-Apr	170	1.58	0.34	4.85	495	102	Marzo	6-Mar	236.505	1.95	0.37	5.15	648.52	126
Mayo	23-May	327.663	2.326	0.454	-	721.175	130	Mayo	19-May	221	1.9	0.38	5.16	583	113	Abril	3-Apr	327.397	2.22	0.48	5.3	683.72	129.1
Junio	20-Jun	594.788	3.139	0.706	-	841.946	136.7	Junio	-	-	-	-	-	-	Abril	30-Apr	317.766	2.205	0.47	5.36	681.35	127	
Julio	26-Jul	314.787	2.23	0.44	5.51	715.425	129	Julio	21-Jul	664	3.38	0.78	6.03	847	140.4	Mayo	-	-	-	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-	-	-	-	Agosto	-	-	-	-	-	-	-	Junio	2-Jun	241.501	1.905	0.38	5.05	639.248	126.7
Septiembre	4-Sep	501.337	2.85	0.62	6.04	808.608	133.2	Septiembre	3-Sep	975.601	3.99	1.04	6.47	940	145.5	Julio	6-Jul	459.639	2.62	0.61	5.72	749.16	131
Octubre	5-Oct	196	1.78	0.3	5.24	647	123.5	Septiembre	30-Sep	714.562	3.47	0.84	6.11	856.24	140.2	Julio	30-Jul	257.924	1.99	0.49	4.67	522.99	112
Octubre	26-Oct	219	1.84	0.46	4.7	475	101	Octubre	31-Oct	832.272	3.7	0.94	6.2	885.88	142.9								
Noviembre	30-Nov	120	1.32	0.29	4.34	421	97	Noviembre	-	-	-	-	-	-									
Diciembre	28-Dec	76.9	1.15	0.17	4.46	455	102	Diciembre	2-Dec	707	3.35	0.83	6.07	856	141								

Prof: Profundidad en metros    H: Altura Limnimétrica en metros.    Velocidad: expresada en m/s    Area: expresada en m<sup>2</sup>    Gasto: Caudal en m<sup>3</sup>/s    Ancho: expresado en metros.