



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

**CONSTRUCCIÓN GRÁFICA Y MATEMÁTICA DE LAS CURVAS INTENSIDAD-  
DURACIÓN-FRECUENCIA (CURVAIDF) EN CINCO ESTACIONES  
PLUVIOGRÁFICAS DE LA REGIÓN DEL BIO- BIO Y CUATRO ESTACIONES  
PLUVIOGRÁFICAS DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA**

**MAURICIO ANDRÉS LABRA LORCA**

**Tesis para optar al grado de:  
INGENIERO FORESTAL**

**PROFESOR GUÍA: ROBERTO PIZARRO TAPIA**

**TALCA – CHILE**

**2005**



# UNIVERSIDAD DE TALCA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES.

ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

El Sr. Mauricio Andrés Labra Lorca, ha realizado la Memoria: **"Construcción Gráfica y Matemática de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (Curvas IDF) en 5 estaciones pluviográficas de la Región del Biobío y 4 estaciones pluviográficas de la Región de la Araucanía"**, como uno de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal. El Profesor Guía es el Sr. Roberto Pizarro Tapia.

La comisión de Calificación constituida por los profesores Sra. Úrsula Doll y el Sr. Roberto Pizarro Tapia, han evaluado con nota 7,0 (siete coma cero).

**MARCÍA VASQUEZ SANDOVAL**  
**DIRECTORA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

Talca, diciembre de 2005

**Esta memoria está dedicada a toda mi familia,  
y al recuerdo de los que ya no están con nosotros.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera agradecer en primer lugar a Dios y a mi Madre, porque sin su apoyo no sería quién soy.

A mis Tíos Luz María y Jaime, por acogerme en su hogar durante todos mis años de estudio.

A mi profesor guía Don Roberto Pizarro por su paciencia, ayuda y comprensión.

A la Dirección General de Aguas, especialmente a Don Patricio Herrera y Don Carlos Valdés, por facilitarme toda la información requerida para esta memoria.

Y por último, doy las gracias a María Eliana Reyes, por su cooperación y excelente voluntad en todo momento.

# ÍNDICE

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
<b>3. ANTECEDENTES GENERALES</b> .....	4
3.1. Región del Biobío.....	4
3.1.1. Relieve.....	4
3.1.2. Hidrografía.....	6
3.1.3. Climatología.....	7
3.2. Región de la Araucanía.....	9
3.2.1. Relieve.....	9
3.2.2. Hidrografía.....	10
3.2.3. Climatología.....	11
<b>4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	12
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	21
5.1. Etapas del estudio.....	21
5.1.1. Revisión Bibliográfica.....	21
5.1.2. Selección de las Estaciones pluviográficas.....	21
5.1.3. Recolección de la Información Requerida.....	22

5.1.4. Selección de intensidades máximas.....	23
5.1.5. Ajuste de los datos con una función de Distribución de Probabilidad.....	24
5.1.5.1. Medidas de Bondad de Ajuste.....	25
a) Coeficiente de Determinación $R^2$ .....	25
b) Test de Kolmogorov-Smirnov.....	26
5.1.6. Determinación de las Curvas IDF para distintos períodos de retorno.....	27
5.1.7. Construcción de Tablas de uso Práctico.....	28
5.1.8. Análisis estadístico.....	29
5.1.8.1. Análisis de Regresión.....	30
5.1.8.1.1. Supuestos de regresión.....	30
a) Supuesto de Normalidad.....	30
i) Test de Kolmogorov-Smirnov.....	31
ii) Histograma de frecuencia.....	31
b) Supuesto de Homocedasticidad.....	32
i) Test de Goldfeld-Quandt.....	32
ii) Gráfico de residuos.....	32
c) Supuesto de No-autocorrelación.....	33
i) Estadístico de Durbin-Watson.....	34
ii) Gráfico de residuos v/s tiempo.....	34
5.1.8.1.2. Medidas de bondad de ajuste del modelo.....	35
a) Coeficiente de Determinación $R^2$ .....	35
b) Prueba U de Mann-Whitney.....	35
5.1.9. Análisis de Intensidades Máximas.....	37
5.1.10. Presentación de resultados.....	37
5.1.11. Análisis de Resultados.....	38
5.1.12. Conclusiones y Recomendaciones.....	38
5.2.- Materiales y Equipos.....	39

<b>6.</b>	<b>PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>40</b>
6.1.	Alturas Máximas de Precipitación	40
6.2.	Intensidades Máximas de Precipitación	50
6.3.	Ajuste de los datos a la función de distribución de probabilidad de Gumbel	60
6.4.	Determinación de las pruebas de bondad de ajuste	61
6.5.	Diseño gráfico de las Curvas IDF para cada una de las estaciones seleccionadas	64
6.5.1.	Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia generadas para las estaciones en estudio	66
6.6.	Determinación de tablas de uso práctico	71
6.6.1.	Tablas de uso práctico	72
6.6.2.	Tablas de parámetro k	76
6.7.	Determinación de las expresiones matemáticas para las Curvas IDF y Análisis estadístico	81
6.7.1.	Supuestos de Regresión	82
6.7.2.	Análisis de Correlación	83
6.7.3.	Medidas de bondad de ajuste	86
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>87</b>
7.1.	Selección y recolección de la información pluviográfica	87
7.2.	Selección de intensidades máximas	88
7.3.	Diseño de las Curvas IDF	89
7.4.	Modelos de regresión lineal múltiple y pruebas de bondad de ajuste	91
7.5.	Análisis de intensidades máximas	92
7.5.1.	Patrón de comportamiento y efecto producido por la presencia de cuerpos de agua, sobre las intensidades máximas	93

<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	95
8.1.	Conclusiones.....	95
8.2.	Recomendaciones.....	96
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	100

## **APÉNDICES.**

- I. Análisis de regresión Estación Cerro El Padre.
- II. Análisis de regresión Estación Chillán Viejo.
- III. Análisis de regresión Estación Embalse Coihueco.
- IV. Análisis de regresión Estación Embalse Diguillín.
- V. Análisis de regresión Estación Quilaco.
- VI. Análisis de regresión Estación Curacautín.
- VII. Análisis de regresión Estación Pucón.
- VIII. Análisis de regresión Estación Pueblo Nuevo (Temuco).
- IX. Análisis de regresión Estación Traiguén.
- X. Coeficientes de regresión originales para cada estación.
- XI. Valores de la Prueba U de Mann-Whitney para cada estación.
- XII. Orden latitudinal de estaciones para 100 años de periodo de retorno.

## **ANEXOS.**

- I. Mapas de distribución geográfica de las estaciones pluviográficas seleccionadas.
- II. Coordenadas geográficas, UTM y altitud de las estaciones seleccionadas.
- III. Test de Goldfeld-Quandt.
- IV. Test de Durbin-Watson (Regla de decisión).
- V. Test U de Mann-Whitney para muestras grandes ( $n > 10$ ).
- VI. Método iterativo o método  $\rho$ .

## RESUMEN

Este estudio presenta la construcción de las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF), en cinco estaciones pluviográficas de la Región del Biobío, que son Cerro El Padre, Chillán Viejo, Embalse Coihueco, Embalse Diguillín y Quilaco; y cuatro estaciones pluviográficas pertenecientes a la Región de la Araucanía, que son Curacautín, Pucón, Pueblo Nuevo (Temuco) y Traiguén.

Con la metodología empleada se determinó las alturas máximas de precipitación anual, a partir de información pluviográfica facilitada por la Dirección General de Agua, con el propósito de calcular las intensidades máximas de lluvia, ocurridas en duraciones de 1, 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas. Luego, los datos de intensidades máximas se ajustaron a la función de probabilidad de Gumbel, para posteriormente obtener la gráfica de las curvas IDF asociadas a los periodos de retorno de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75 y 100 años. Además de la gráfica de las curvas IDF, se obtuvo las tablas de uso práctico y las tablas del parámetro  $k$ , las cuales ayudan a la lectura de las gráficas y a la extrapolación de la información pluviográfica a zonas cercanas y con características climáticas parecidas y que sólo cuentan con información pluviométrica. Después se determinaron las expresiones matemáticas generales para cada estación, de acuerdo con el modelo analítico de Bernard y Yarnell, el que responde a la fórmula  $I = (k \cdot T^m) / d^n$ ; y entrega una estimación de la intensidad de precipitación máxima en mm/h asociada a una duración y periodo de retorno determinados; y donde  $k$ ,  $m$  y  $n$  son constantes de regresión.

Finalmente, y a la luz de los resultados obtenidos, se determinó que los datos se ajustan a la distribución de probabilidad de Gumbel, y que los modelos de regresión asociados a cada estación presentan un nivel de ajuste satisfactorio. Por otra parte, el análisis de intensidades máximas, muestra que éstas aumentan a medida que se avanza latitudinalmente de norte a sur; y que dicho aumento, es menos drástico producto de la presencia de cuerpos de agua, que al igual que otros autores, se determinó que provocan un aumento en la intensidad de precipitación.

## SUMMARY

In this study Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves are constructed for five rain gauge stations in the Biobío Region, which are Cerro El Padre, Chillán Viejo, Embalse Coihueco, Embalse Diguillín and Quilaco; and four rain gauge stations in the Araucanía Region, which are Curacautín, Pucón, Pueblo Nuevo and Traiguén.

With the methodology used, the maximum heights of annual precipitation was determined, taken from pluviograph information contributed by the Dirección General de Aguas (D.G.A.), with the purpose of calculating the maximum intensities of rain that occurred over periods of 1, 2, 4, 6, 8, 12 and 24 hours. Then, the data of maximum intensities was adjusted to the Gumbel probability function, in order to obtain the graph of the curves IDF associated to the periods of return of 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75 and 100 years. Besides the graph of the curves IDF, charts of practical use and the charts of the parameter  $k$  were obtained, which help in the reading of graphs and the extrapolation of pluviograph information in nearby areas with similar climatic characteristics and that have only pluviometric information. The general mathematical expressions were determined for each station, in accordance with Bernard and Yarnell's analytic pattern that responds to the formula  $I=(k*T^m)/d^n$ ; and gives an estimate of the intensity of maximum precipitation in mm/h associated with a determined duration and period of return; and where  $k$ ,  $m$  and  $n$  are constants of regression.

Finally, and in light of the results obtained, it was determined that the data fit the Gumbel probability distribution and that the regression models associated with each station present a level of satisfactory fit. On the other hand, the analysis of maximum intensities, shows that these increase as you advance north to south; and that the said increase is a less drastic product of the presence of bodies of water as had been determined by other authors, that is, the bodies of water cause an increase in the precipitation intensity.

# 1. Introducción

El agua, al mismo tiempo que constituye el líquido más abundante en la Tierra, representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida. Sin embargo, paradójicamente, el agua es también un elemento que causa muchos desastres y muertes en todo el mundo. Estos desastres se desatan debido a que el agua es el factor determinante en el proceso de erosión, agravado por causas de tipo antrópico como por ejemplo el mal uso de los recursos forestales, los cuales dan estabilidad a los suelos y por ende evitan los deslizamientos de tierra en laderas cercanas a centros poblados, caminos, obras de drenaje, etcétera. Debido a esto, el estudio de las precipitaciones tiene una importancia capital.

Uno de los tipos de precipitación más común en Chile es la de tipo frontal, por lo que afectan a áreas muy extensas, pero también se dan con mucha frecuencia las de tipo orográfico. Estas últimas se forman, según Llamas (1993), cuando los vientos cargados de humedad, que ordinariamente soplan desde el océano hacia la tierra, llegan a una zona montañosa; las masas de aire húmedo tienen tendencia a elevarse y la expansión que de ello resulta produce un enfriamiento adiabático.

Según Vélez (2002), el conocimiento de los comportamientos y patrones de lluvia en el tiempo y el espacio es esencial para entender procesos como la variación de la humedad del suelo, la recarga de acuíferos y el caudal en los ríos. Los factores que caracterizan a la lluvia o la precipitación son cuatro: duración, frecuencia, intensidad y patrón, y para eso se necesitan registros pluviográficos extensos.

En el análisis probabilístico y estadístico en hidrología, se asume que la información histórica disponible de una variable hidrológica, representa una muestra tomada de una población cuyas características se desconoce. El hecho es que muchos fenómenos hidrológicos son erráticos, complejos y de naturaleza aleatoria, y sólo pueden ser interpretados en un sentido probabilística (Vélez, 2002).

Mediante las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), es posible obtener la variación areal de la intensidad de una tormenta de duración dada, y, más usualmente, obtener la intensidad correspondiente a una duración para la que no se tienen datos, con el fin de establecer relaciones entre estaciones o zonas territoriales (Fernández, 1995).

A través de esta memoria se pretende construir, analizar y comparar las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para 5 estaciones de la octava región y para 4 estaciones de la novena región de Chile, y con esto aportar patrones de comportamiento de la variable hidrológica precipitación, tal que permitan el diseño de obras de ingeniería a partir de la información generada.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

- Contribuir al diseño de proyectos de ingeniería hidrológica a través de la generación y caracterización de algunas Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, válidas para las Regiones del Biobío y Araucanía.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Obtener las Curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (curvas IDF), para cinco estaciones pluviográficas de la Región del Biobío y para cuatro de la Región de la Araucanía.
- Determinar las expresiones matemáticas generales para las curvas IDF de cada una de las nueve estaciones pluviográficas seleccionadas para ambas regiones.

### **3. Antecedentes Generales**

#### **3.1 Región del Biobío.**

La Región del Biobío se localiza en el límite sur de la zona central, específicamente entre los 36°00' y los 38°30' de latitud sur; limita al norte con la Región del Maule, al sur con la Región de la Araucanía, al oeste con el océano Pacífico y al este con la República Argentina. Cuenta con una superficie de 37.046,9 km<sup>2</sup> representando el 4,2% del territorio nacional, excluida la Antártica Chilena. Según proyecciones al 30 de junio de 2004, a partir del censo de 2002 del Instituto Nacional de Estadísticas, la Región en cuestión cuenta con un total de 2.014.868 habitantes.

El Biobío es una de las regiones más importantes en el país. Luego de Santiago, la conurbación Concepción-Talcahuano es el segundo conglomerado urbano del país, superando incluso a Valparaíso-Viña del Mar. Además de ello, la Región es una de las principales concentradoras de importantes actividades económicas. En su interior acoge rubros tan diversos como la siderurgia (Huachipato), la agricultura tradicional, la industria de la celulosa, la actividad forestal, la generación de electricidad, etc.

##### **3.1.1 Relieve.**

Desde el punto de vista morfológico se distinguen las unidades tradicionales del relieve chileno, como son la Cordillera de Los Andes, la Depresión Intermedia, la Cordillera de la Costa y las Planicies Litorales.

La Cordillera de Los Andes se presenta más baja con características de cordones montañosos, con una altura promedio de 2.000 m.s.n.m. Destacan algunas cimas que

corresponden a volcanes, tales como Chillán (3.212 m), Antuco (2.985 m), Copahue (2.965 m) y Callaqué (3.164 m).

La unión entre la Cordillera de Los Andes y los Valles Longitudinales se hace a través de la llamada Precordillera o “La Montaña” cuya altura fluctúa entre los 400 y 600 m.s.n.m., angostándose hacia el sur.

Los Valles Longitudinales se caracterizan por tener una topografía uniforme y se desarrollan desde el pie occidental de la Precordillera, hasta hacer contacto con la Cordillera de la Costa. Se presentan como una llanura que se torna más ondulada al sur del Biobío, alcanzando su mayor anchura en el eje del río Laja.

La Cordillera de la Costa presenta grandes diferencias al norte y al sur del río Biobío presentando dos sectores cordilleranos; mientras al norte se presenta baja y ondulada, con una altura promedio inferior a los 400 m y con cuencas interiores como la de Quirihue, al sur el cambio se da en la Cordillera de Nahuelbuta, que se levanta como un macizo imponente de más de 1.500 m.s.n.m., que se extiende desde el río Biobío por el norte hasta el río Imperial por el sur.

Las Planicies Costeras se presentan homogéneas, caracterizadas por planos costeros o terrazas. Desde el límite regional norte hasta la desembocadura del río Andalién presenta un escaso desarrollo, en la desembocadura del río Biobío se presenta como una llanura inundable, y al sur de este último río ha influido notoriamente en la morfología litoral. En la zona del golfo de Arauco, el ancho de las terrazas marinas alcanza los 35 km. En esta zona hay que destacar la existencia de lagos de contacto entre el faldeo occidental de la Cordillera de Nahuelbuta y la llanura arenosa, estos son el Lanalhue y el Lleulleu (Dirección Meteorológica de Chile, 2005).

### 3.1.2 Hidrografía

La Región del Biobío presenta dos grandes hoyas hidrográficas; la del río Itata y la del río Biobío, ambos nacidos en la Cordillera de los Andes.

La hoya hidrográfica del río Itata alcanza una superficie de 11.100 km<sup>2</sup> y está formada por dos cursos principales de agua; los ríos Ñuble e Itata. Posee una longitud de 180 km incluyendo dos ríos formativos, el Cholguán y el Huépil. Su régimen es mixto, ya que los principales afluentes nacen en la Cordillera y Precordillera de Los Andes, adquiriendo su aporte de los deshielos primaverales, además del aporte hecho por las precipitaciones invernales.

En su parte inferior su principal afluente es el río Lonquén, que drena el sector cordillerano costero norte. En total el río riega una superficie de más de 100.000 ha. de suelos agrícolas y su caudal medio en la desembocadura es de 140 m<sup>3</sup>/s.

La gran característica del río Biobío es que posee una de las cuencas más extensas del país con 24.029 km<sup>2</sup>; es de régimen mixto con crecidas en invierno-primavera y su longitud alcanza a los 380 km. Nace en la Cordillera de los Andes en la región de la Araucanía, siendo el desaguadero de dos lagos cordilleranos: Icalma y Galletué. En su curso medio recibe el aporte de Duqueco y Bureo. En el paso por el Valle Longitudinal, el río Biobío cambia de curso al encontrarse con la Cordillera de la Costa y en la confluencia con el río Vergara vuelve a su curso normal. En la costa recibe al río Laja, su mayor afluente con un caudal medio de 173 m<sup>3</sup>/s. En el curso inferior, desde la ciudad de Concepción, el río cambia de dirección para desembocar en el mar, al sur de los cerros de Hualpén.

Además existen hoyas hidrográficas menores como la del río Andalién, que posee una superficie de 780 km<sup>2</sup> con un caudal de 10m<sup>3</sup>/s.

### 3.1.3 Climatología

Las características climáticas mediterráneas templadas son las que predominan en esta región, observándose algunas diferencias dentro de este género, producidas por las diferencias en los montos pluviométricos causados por la latitud y la cercanía al mar. Se distinguen así tres subclimas de acuerdo a la duración de la estación seca y la influencia oceánica.

**Clima templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses:** Es el mismo clima de la Región del Maule, con las diferencias que corresponden al aumento en latitud. Las temperaturas medias son inferiores a 13°C con 12°C de amplitud térmica anual y 13°C para la oscilación diaria. Estos valores son más bajos en la zona costera, al norte de Concepción, entre Curanipe y Tomé; en cambio, se incrementan hacia la Precordillera. Las precipitaciones anuales superan los 1.000 mm, pero en la alta cordillera la pluviosidad es mucho más alta y de carácter nival, superando los 3.000 mm.

**Clima templado cálido con una estación seca corta (menos de 4 meses):** La principal característica es una estación seca más corta, que alcanza 4 meses en Concepción, 3 meses en Coihueco y sólo un mes en Diguillín. Las precipitaciones son más abundantes que más al norte y varían desde unos 1.000 mm anuales al oriente de la Cordillera de la Costa, hasta más de 3.000 mm en la Cordillera de Los Andes, mayormente de carácter nival, pasando por 1.100 mm en Concepción, 1.140 mm en Talcahuano y 1.300 mm en Los Angeles y Mulchén. Las temperaturas medias son ligeramente menores que en el clima del sector norte: Diguillín presenta 1°C menos que Chillán, diferencia que también se asume para la costa, partiendo de valores que son 1°C ó 2°C inferiores a los del interior. La variación de la amplitud térmica anual es en Concepción de 7.5°C, en Diguillín de 10.3°C y en Coihueco de 11.4°C. A su vez, la amplitud diaria en Concepción es de 10°C, estimándose en unos 14°C en el interior y más aún en zonas Precordilleranas.

**Clima templado lluvioso con influencia mediterránea:** Este clima se encuentra en el sector costero sur de la Región, específicamente en la Provincia de Arauco. Está muy determinado por la presencia de la parte más alta de la Cordillera de Nahuelbuta hacia el oriente, que le da características de mayor nubosidad y grandes diferencias térmicas y pluviométricas con la zona contigua a la ladera oriental de dicha cordillera, perteneciente a la IX Región. Las precipitaciones continúan aumentando según la latitud, registrándose en Contulmo más de 140 mm más que en Concepción. La amplitud térmica anual, es del orden de 8°C según los registros de Contulmo, mientras que la amplitud térmica diaria se estima que es similar a la de Concepción, también en el orden de unos 10°C (Dirección Meteorológica de Chile, 2005).

### **3.2. Región de la Araucanía**

Esta Región se extiende entre los 37°35' y los 39°37' de latitud sur, desde el límite con Argentina hasta el océano Pacífico. Posee las mismas características del relieve de la región del Biobío. La capital regional es Temuco, una de las ciudades de mayor desarrollo durante la década de los noventa. La población estimada al 30 de junio de 2004 es de 909.403 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas, 2004).

Las principales actividades económicas se vinculan a la agricultura de cultivos tradicionales. Sin embargo, también han comenzado a aumentar su participación e importancia la actividad forestal y el turismo, este último con particular importancia en balnearios como Pucón y Villarrica, entre otros.

#### **3.2.1 Relieve**

La Cordillera de Los Andes presenta alturas superiores a los 2000 m.s.n.m., dominada por los volcanes que la constituyen y le dan las características de cordillera volcánica activa, Tolhuaca (2.780 m), Lonquimay (2822 m), Llaima (3.050 m) y Villarrica (2.840 m).

La Precordillera está formada por una cadena de cerros bajos cuya altitud se estima entre los 600 y 1.000 m; hacia el sector sur de la región se encuentran lagos precordilleranos tales como el Colico, Caburgua y Villarrica.

La Depresión Intermedia representa el 54% de la superficie regional. La topografía de esta formación se caracteriza por una fosa tectónica entre ambas cordilleras, fuertemente ondulada e interrumpida por cursos de agua profundos. También presenta cuencas que son separadas por cordones de cerros que las cruzan en distintas direcciones. Otra de las

características topográficas de esta región es la presencia de cerros islas que emergen del llano, tales como el Pidenco y el Pangal (Dirección Meteorológica de Chile, 2005).

### **3.2.2 Hidrografía**

Esta Región se caracteriza por la presencia de dos hoyas hidrográficas, la del río Imperial al norte y la del río Toltén al sur; su comportamiento se define como ríos tranquilos y regulados por los ríos precordilleranos.

El río Imperial cuenta con una extensión de 12.054 km<sup>2</sup> en su hoya hidrográfica. En su cuenca superior se encuentran las cumbres nevadas de los volcanes Tolhuaca y Llaima; este río se forma próximo a la localidad de Nueva Imperial con la unión de dos ríos, el Cautín que proviene del oriente y el Cholchón que proviene del norte. Su régimen es mixto pero sus mayores aportes de agua se producen en invierno; el caudal medio del río Imperial es de 240 m<sup>3</sup>/s.

Por otra parte, el río Toltén presenta una extensión de 7.886 km<sup>2</sup> en su hoya hidrográfica. Nace en el extremo poniente del lago Villarrica y presenta una longitud de 123 km, desembocando en el mar al norte de la punta Nilhue, con un caudal medio de 52 m<sup>3</sup>/s, permitiendo el riego de 25.000 ha. Su principal tributario es el Allipén que tiene una longitud de 108 km y nace en la Cordillera de Los Andes, recibiendo las aguas del río Colico. Su régimen de alimentación es mixto, pero sus mayores caudales se presentan en invierno.

Entre la desembocadura de los ríos antes descritos, se encuentra el río Budi, que desagua hacia el mar por un pequeño lago de igual nombre.

### 3.2.3 Climatología

**Clima templado cálido con estación seca corta (menos de 4 meses):** Este clima se presenta en la zona intermedia de la región, ubicada en la parte norte, hasta las proximidades de los 39°. Las características pluviométricas denotan registros casi continuos durante todo el año, alcanzando valores promedio anuales superiores a los 2000 mm y en donde se presenta una distribución mensual significativa entre los meses de marzo a noviembre. Las temperaturas bajo este clima presentan amplitudes moderadas entre el día y la noche, alcanzando valores de hasta los 5°C y registros medios anuales de casi 12°C, una temperatura media de 8°C en el mes más frío y una temperatura de 15°C en el mes más cálido.

**Clima templado lluvioso con influencia mediterránea:** Éste se presenta poco más allá de los 38°S hasta las cercanías de Castro aproximadamente los 42°S. Se presenta en la Región con características que se hacen sentir a través de la influencia oceánica, con registros moderados de la amplitud térmica en las zonas ubicadas en el sector costero, en tanto, en los valles longitudinales y las zonas precordilleranas, las amplitudes térmicas anuales registran valores significativos debido a su lejanía de la costa y su mayor característica de continentalidad. Las precipitaciones registran una distribución a través de todo el año, observándose una leve disminución en sus registros mensuales en época de verano, alcanzando registros superiores a los 1.000 mm anuales.

## 4. Revisión Bibliográfica

Se ha comprobado que los fenómenos climáticos, debido a su complejidad y al gran número de variables involucradas, no pueden ser pronosticados con una alta confiabilidad en el caso de situaciones tan singulares, como precipitaciones violentas e intensas. Sólo queda como alternativa prepararse para enfrentar dichas situaciones de la mejor manera posible y a un bajo costo económico y social (Pinilla, 2002).

Los eventos de lluvia se miden diariamente mediante pluviómetros y/o se registran mediante pluviógrafos en puntos denominados estaciones pluviométricas, operadas por los servicios hidrometeorológicos nacionales de cada país. Estos datos puntuales sirven de base para el análisis de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (Guevara, 1997).

La determinación de una tormenta de diseño, es uno de los primeros pasos a seguir en el diseño hidrológico. Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico, y ésta puede basarse en información histórica de precipitación en un sitio o pueden construirse utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes (Chow *et al.* 1994). Su aplicación va desde el uso de valores puntuales de precipitación en el método racional, para determinar los caudales picos en alcantarillados de aguas lluvias y alcantarillas de carreteras, hasta el uso de hietogramas de tormenta como las entradas para el análisis de lluvia-escorrentía en embalses, detención de aguas urbanas o en el diseño de vertederos en proyectos que involucren grandes embalses.

Según Silva (2003), dentro de los factores que influyen en la formación de los caudales se encuentran los factores de la lluvia, los cuales son Frecuencia o Período de Retorno, Duración, Intensidad y Patrón.

Para Espíldora (1971), la Frecuencia o Período de Retorno es el intervalo promedio de tiempo dentro del cual cierta magnitud de intensidad o magnitud de la lluvia se iguala o excede una sola vez.

En este sentido, Stappung (1999) realizó una revisión bibliográfica donde presenta los periodos de retorno de diseño mínimos recomendados por el Ministerio de Obras Públicas (Chile), para las obras de drenaje en una carretera, dependiendo del tipo de obra y calidad de la carretera.

Por otra parte, la Intensidad se define como la tasa temporal de precipitación, o sea, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h ó pulg/h) (Chow *et al.* 1994).

$$I = \frac{P}{T_d}$$

Donde,

P = profundidad de lluvia (mm ó pulg)

T<sub>d</sub> = duración, dada usualmente en horas

En cuanto a las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), son aquellas curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno. Su obtención directa sólo es posible en las estaciones dotadas de pluviógrafo (Témez,1978.)

Según, Chow *et al* (1994) y en referencia a las curvas IDF, los datos se presentan en forma gráfica, con la duración en el eje horizontal y la intensidad en el eje vertical, mostrando una serie de curvas, para cada uno de los periodos de retorno de diseño.

Maidment (1993), define las curvas IDF como una representación gráfica de la probabilidad que una cierta intensidad promedio ocurra, dada una duración

Por otro lado, se definen las curvas IDF como el resultado de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, para un mismo periodo de retorno. Evidentemente son curvas que decrecen con la longitud del intervalo de tiempo considerado, puesto que se trata de intensidades medias (Ferrer, 1993).

Uno de los puntos a considerar dentro del estudio de las variables meteorológicas, en este caso la precipitación, es la distribución de frecuencias que más se ajusta a esta. Debido a que para la construcción de las curvas IDF se trabaja con series de datos pluviográficos máximos para distintas duraciones, Mintegui y Robredo (1993) afirman que la distribución de valor extremo tipo I o Gumbel ha logrado ajustes muy precisos. Dicha distribución responde a la expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}}$$

Siendo  $F(x)$  la probabilidad de no excedencia de la variable  $x$ ,  $e$  es la base de los logaritmos neperianos,  $\alpha$  y  $\mu$  son parámetros a determinar a partir de la media y la desviación estándar de la serie de datos extremos disponible, y a través de las siguientes fórmulas:

$$\mu = \bar{x} - 0.450047 * s$$

$$\alpha = \frac{1}{0.779696 * s}$$

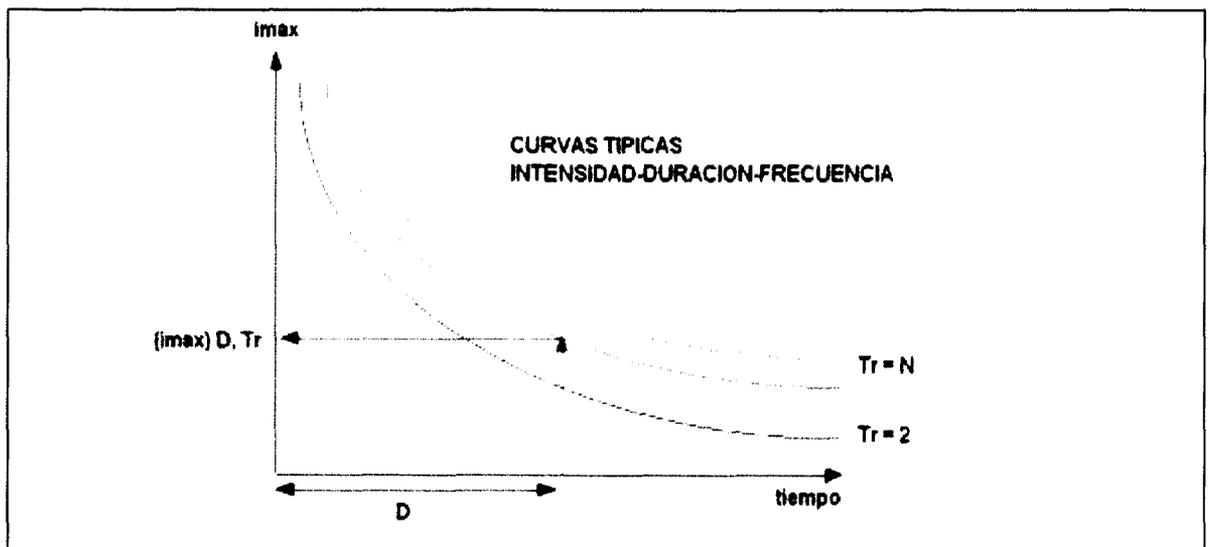
Donde;

$\bar{X}$  = media de la muestra.

$S$  = desviación estándar de la muestra.

Las relaciones entre Intensidad, Frecuencia y Duración se representan por las llamadas curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, curvas que presentan la siguiente forma:

Figura 1. Diseño esperado de curvas IDF.



Fuente: Silva, 2003

Otra forma de obtener las curvas IDF, es a través de ecuaciones matemáticas. Con respecto a esto, Puentes (2000) plantea que las más utilizadas son las que ajustan la intensidad de la lluvia,  $I$ , considerada como variable dependiente, en función de las variables independientes,  $t_r$ , duración de la lluvia, y  $T$ , periodo de retorno.

Remenieras (1971), afirma que los estudios más notables efectuados por Meyer en 1917, Bernard en 1932 y Yarnell en 1935, conducen a curvas Intensidad-Duración-Frecuencia que se pueden representar, por una expresión de la forma:

$$I_m = \frac{K * T^a}{t^b}$$

Donde;

$I_m$  = Intensidad media máxima para un intervalo de referencia  $t$  (5 minutos a 1 año).

$T$  = Periodo de retorno de 1 a 100 años.

$K, a$  y  $b$  = Coeficientes de ajuste.

Por otro lado, Meinzer (1949), presenta las expresiones matemáticas obtenidas por Bernard y Yarnell, a partir de la fórmula anterior, en la ciudad de Kansas City para intervalos de duración de 5 a 60 minutos;

$$I = \frac{10 * T^{0,183}}{t^{0,444}}$$

Y para intervalos de 60 a 1440 minutos;

$$I = \frac{44 * T^{0,183}}{t^{0,79}}$$

Dentro de las diversas expresiones matemáticas que permiten obtener las curvas IDF, se encuentra la propuesta por Bell en 1969, citado entre otros por Chen (1983), Llamas (1993), Varas y Sánchez (1988) y Román (2003), la que responde a la siguiente forma:

$$P_t^T = (0,21 * \ln T + 0,52) * (0,54t^{0,25} - 0,50) * P_{60}^{10}$$

Donde;

$P_t^T$  = Lluvia en mm, de duración t minutos y T periodo de retorno.

T = Periodo de retorno

t = duración de la lluvia en minutos

ln = logaritmo de base e

En Chile, Varas y Sánchez, 1988, obtuvieron una fórmula para generar las curvas IDF a partir de coeficientes de duración y de frecuencia calculados para algunas estaciones de la zona central y sur de Chile, y son aplicables a zonas que sólo cuentan con información pluviométrica. Dicha fórmula se expresa como sigue:

$$P_t^T = k * P_d^{10} * Cd_t * Cf_T$$

Donde;

$P_t^T$  = lluvia con periodo de retorno T años y duración t horas.

$Cd_t$  = coeficiente de duración para t horas.

$Cf_T$  = coeficiente de frecuencia para T años de periodo de retorno.

k = coeficiente para obtener la lluvia máxima absoluta en 24 horas en función del valor máximo diario (se sugiere usar el valor 1,1).

$P_d^{10}$  = lluvia máxima diaria con 10 años de periodo de retorno.

Por otro lado, Wenzel (1982) citado por Chow *et al* (1994), dedujo para algunas ciudades de los Estados Unidos, coeficientes para utilizarse en la siguiente forma:

$$I = \frac{c}{T_d^e + f}$$

También es posible extender dicha ecuación, para incluir el periodo de retorno T utilizando la ecuación:

$$I = \frac{c * T^m}{T_d + f} \quad \text{ó} \quad I = \frac{c * T^m}{T_d^e + f}$$

Donde;

- I = Intensidad de lluvia en mm/h ó pulg/h
- T<sub>d</sub> = Duración de lluvia en horas
- T = Periodo de retorno en años
- m, c, e, f = Coeficientes que varían con el lugar y el periodo de retorno.

Una alternativa dentro de la literatura, es la que entrega el Instructivo 5.2-IC de Drenaje Superficial de Carreteras (MOPU, 1990), citado por Ferrer (1993) y su expresión analítica es la siguiente:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left( \frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1-t^{0,1}}}{28^{0,1}-1}}$$

Donde;

- $I_t$  = Intensidad media correspondiente al intervalo de duración  $t$  deseado (mm/h)
- $I_d$  = Intensidad media diaria de precipitación, correspondiente al periodo de retorno considerado.
- $I_t/I_d$  = Coeficiente entre la intensidad horaria y la diaria, independiente del periodo de retorno.
- $T_{(h)}$  = Duración del intervalo al que se refiere  $I_t$ .

Otra de las fórmulas propuestas en la literatura es la presentada por Aparicio (1997), y que corresponde a una expresión general de intensidad de precipitación; dicha fórmula tiene la siguiente expresión:

$$I = \frac{k * T^m}{(d + c)^n}$$

Donde;

- $I$  = Intensidad de precipitación en mm.
- $d$  = Duración de la precipitación en horas.
- $T$  = Periodo de retorno en años.
- $k, m, n, c$  = Constantes que se calculan mediante un análisis de correlación.

Si en esta última fórmula se asume un valor cero para la constante  $c$ , se obtiene la expresión de Bernard y Yarnell.

La ecuación de Bernard y Yarnell fue usada en Chile por diversos autores, entre ellos Abarza (2001), Román (2003), Macaya (2004), Pavez (2004) y Cornejo (2004) para generar las curvas IDF en estaciones pertenecientes a las regiones de Coquimbo, de Valparaíso, Metropolitana, de O'Higgins y del Maule, obteniendo en todas muy buenos ajustes que valida dicha fórmula.

Cornejo (2004), además de generar las curvas IDF, denota que las intensidades de precipitación aumentan de norte a sur, dentro de la región estudiada. Así también, concluye que las estaciones cercanas a cuerpos de agua se ven influenciadas por la presencia de tales cuerpos, lo que podría modificar la variable hidrológica precipitación generando resultados inciertos para el medio ambiente local.

Pavez (2004), al generar las curvas IDF para estaciones de la Séptima Región de Chile, plantea que un incremento en el número de años utilizados en la construcción de curvas IDF, no parece presentar mayor relevancia en la información que éstas entregan; producto de lo anterior afirma que con 15 años de registro como mínimo, es posible construir curvas IDF de buena calidad

Por otra parte, Macaya (2004) analizó diecinueve estaciones desde la Región de Valparaíso hasta la Región del Maule; en dicho análisis no apreció ningún patrón característico relevante por aumento de latitud o de longitud. Además plantea que las mayores intensidades de precipitación se registraron en estaciones cercanas a cuerpos de agua, lo que puede deberse a una mayor evaporación, por lo que no se recomienda extrapolar los modelos obtenidos para dichas estaciones. También demuestra que en la zona norte (Región de Valparaíso y Metropolitana) existe una mayor probabilidad de encontrar eventos de alta intensidad.

## **5. Metodología.**

### **5.1. Etapas del estudio.**

Este estudio se basa en el método gráfico propuesto por Témez (1978), el cual extrae las precipitaciones máximas horarias desde los pluviogramas, según las duraciones que cada estudio en particular determine. Dichas precipitaciones se ajustan a una función de probabilidad y luego se grafica de acuerdo a periodos de retorno y duraciones ya fijadas.

#### **5.1.1. Revisión Bibliográfica.**

La revisión bibliográfica consistió en la búsqueda de toda la información referente al tema en estudio, que se encontrara disponible tanto en textos de hidrología, hidráulica, estadística, internet, etc.

Cabe mencionar que la cantidad de información con la que se dispuso en esta etapa, fue muy escasa, encontrándose sólo en textos especializados en la materia.

#### **5.1.2. Selección de las Estaciones Pluviográficas.**

La zona en estudio, que comprende las regiones VIII y IX, presenta un sinnúmero de estaciones pluviométricas las cuales se encuentran bajo la administración de la Dirección General de Aguas regional respectiva. De estas estaciones sólo cinco cuentan con pluviografo en el caso de la Región del Biobío, y seis en el caso de la Región de la Araucanía.

El criterio de selección de dichas estaciones, fue definido básicamente por los registros históricos con que contara cada una de ellas. En cuanto a este punto, la situación es muy disímil en ambas regiones. Por un lado las estaciones pertenecientes a la VIII Región (del Biobío) cuentan con registros históricos bastante extensos, los que van de un mínimo de 20 años para la estación Embalse Coihueco, a un máximo de 39 años para las estación Quilaco. En el caso de las estaciones que se encuentran en la IX región (de la Araucanía), éstas presentan registros más pobres, los que van de un mínimo de 13 años para la estación Curacautín, a un máximo de 20 años para la estación Pucón.

La ubicación geográfica y las coordenadas, tanto geográficas como UTM, junto con la altitud de cada una de las estaciones pluviográficas se encuentran en los Anexos I y II respectivamente. Las estaciones seleccionadas y sus años de registro son las siguientes para la VIII región: Estación Cerro El Padre con 28 años (1976 – 2003); Estación Chillán Viejo con 29 años (1974 – 2003, excepto el año 1983); Estación Embalse Coihueco con 20 años (1984 – 2003); Estación Embalse Diguillín con 38 años (1965 – 2003, excepto año 1995); y Estación Quilaco con 39 años (1965 – 2003). Por otra parte, las estaciones seleccionadas para la IX región son las siguientes: Estación Curacautín con 13 años (1991 – 2003); Estación Pucón con 20 años (1984 – 2003); Estación Pueblo Nuevo (Temuco) con 15 años (1989 – 2003); y Estación Traiguén con 16 años (1988 – 2003).

### **5.1.3. Recolección de la Información Requerida.**

La Dirección General de Aguas (D.G.A.), entidad dependiente del Ministerio de Obras Públicas a través del Subdepartamento de Meteorología y Nieves, fue quien entregó la información pluviográfica necesaria para la realización de este trabajo.

Los datos utilizados fueron los registros de precipitaciones diarias y horarias para todas las estaciones. Cabe mencionar en este punto, que parte de la información (hasta el año 1992) de las estaciones pertenecientes a la región del Biobío, fue obtenido de los

registros pluviográficos digitales que posee el subdepartamento antes mencionado. Sin embargo, el resto de la información (desde el año 1993 a 2003) tuvo que ser sometida a muestreo manual con la ayuda de una cuña para cada duración determinada. En el caso de los registros de las estaciones ubicadas en la región de la Araucanía, el muestreo fue sólo manual con cuñas.

Tabla 1. Años de registro para ambos formatos de las cinco estaciones.

<b>Estación</b>	<b>Formato digital</b>	<b>Formato Analógico</b>
<b>Cerro El Padre</b>	1976 – 1992	1993 – 2003
<b>Chillán Viejo</b>	1974 – 1992 (excepto 1983)	1993 – 2003
<b>Embalse Coihueco</b>	1984 – 1992	1993 – 2003
<b>Embalse Diguillín</b>	1965 – 1992	1993 – 2003 (excepto 1995)
<b>Quilaco</b>	1965 – 1992	1993 – 2003

Fuente: Elaboración Propia.

También es necesario hacer notar que la calidad de las bandas pluviográficas, en la IX Región en general y en particular en la estación Curacautín, es bastante defectuosa. Además es necesario resaltar que las fallas más comunes en estos aparatos son falla del sifón, congelamiento, falla de la aguja del reloj y falta de tinta en la aguja, lo que demuestra una mantención deficiente.

#### **5.1.4. Selección de intensidades máximas.**

En esta etapa se analizaron las bandas de los pluviógrafos, tomando como punto de referencia para la medición las 08:00 horas de la mañana de un día hasta las 08:00 horas del día siguiente. Se seleccionaron para cada año los valores extremos de precipitación para duraciones de 1, 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas.

Una vez seleccionados los valores extremos de precipitación para cada año y distintas duraciones, se calculó la intensidad horaria, la cual se logra dividiendo los valores de cada una de las series por su duración, obteniendo intensidades en mm/h.

#### 5.1.5. Ajuste de los datos con una Función de Distribución de Probabilidad.

Luego de calcular las intensidades horarias de precipitación a cada duración de lluvia (1, 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas), se realizó el ajuste de los datos a la función de distribución de probabilidad de valor extremo tipo I, más conocida como Función Gumbel. Esto, debido a que la literatura consultada muestra que sus ajustes son de muy buena calidad. Dicha función responde a la siguiente expresión:

$$F(X) = P[\varepsilon \leq X] = e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}}$$

Con,

$$-\infty \leq X \leq \infty$$

$X$  = Valor a asumir por la variable aleatoria.

$\alpha, \mu$  = Parámetros a estimar en función de los valores de la muestra.

Para la determinación de los parámetros  $\alpha$  y  $\mu$  se utilizan las siguientes expresiones:

$$\mu = \bar{x} - 0.450047 * s$$

$$\alpha = \frac{1}{0.779696 * s}$$

Donde,

$S$  = Desviación estándar de la muestra.

$\bar{x}$  = Media de la muestra.

### 5.1.5.1. Medidas de Bondad de Ajuste.

Como medida de bondad de ajuste, para la función de distribución de probabilidad se utilizó el coeficiente de determinación  $R^2$  y el test de Kolmogorov – Smirnov.

#### a) Coeficiente de Determinación $R^2$ .

El coeficiente de determinación señala qué proporción de la variación total de las frecuencias observadas es explicada por las frecuencias teóricas acumuladas (Pizarro, 1986).

Según Gujarati (1992), el coeficiente de determinación  $R^2$  mide la proporción o porcentaje de variación total de la variable dependiente, explicada por el modelo de regresión, siendo la medida de bondad de ajuste más utilizada.

Este coeficiente se encuentra definido por la expresión:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (F_n(X)_i - F(X)_i)^2}{\sum (F_n(X)_i - \bar{F}_n(X))^2}$$

Donde:

$$F_n(X)_i = \text{Frecuencia observada acumulada.}$$

$$F(X)_i = \text{Frecuencia teórica acumulada.}$$

$$\overline{F}_n(X)_i = \text{Media de las frecuencias observadas.}$$

**b) Test de Kolmogorov – Smirnov.**

El test de Kolmogorov - Smirnov es una prueba no paramétrica que se basa en el valor absoluto de la máxima diferencia entre la distribución acumulada observada y la esperada, y se utiliza para verificar la hipótesis de que una muestra procede de una distribución particular.

Para poder aplicar este test, es necesario determinar la frecuencia observada acumulada de la serie, mediante la ley de frecuencias. La distribución acumulada observada, trabaja con la probabilidad de excedencia asignada a cada valor de la muestra. La expresión acumulada de probabilidad es la siguiente:

$$F_n(X) = \frac{n}{N + 1}$$

Donde:

$$F_n(X) = \text{Frecuencia observada acumulada.}$$

$$n = \text{Número de orden.}$$

$$N = \text{Número total de datos.}$$

La frecuencia teórica acumulada se determina a través de la función de Gumbel.

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}}$$

Una vez determinadas ambas frecuencias, se obtiene el supremo de las diferencias entre ambas, en la  $i$ -ésima posición de orden, que se denomina  $D$ .

$$D_c = \text{Sup} |F_n(X)_i - F(X)_i|$$

Luego, con un valor de significancia del 95 % de confianza se utiliza la tabla de valores críticos de  $D$  en la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y considerando un tamaño  $n$  de la muestra, se establece si el valor  $D_c$  es menor que el valor  $D_t$ ( $D$  tabla). Si ello es afirmativo, se considera que el ajuste es adecuado con el nivel de confiabilidad asumido.

#### **5.1.6. Determinación de las Curvas IDF para distintos períodos de retorno.**

En esta etapa se procedió a graficar las curvas IDF para cada duración y periodo de retorno seleccionados. Estos periodos fueron 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75 y 100 años. Así se obtuvo nueve curvas para cada una de las estaciones.

Para obtener las curvas definitivas es necesario realizar diversos muestreos, de acuerdo a las gráficas que se obtengan. Estas gráficas deben acercarse lo más posible a la forma teórica. En este caso y de acuerdo a los resultados del primer muestreo, se decidió repasar las estaciones Chillán Viejo, Embalse Coihueco, Quilaco, Pueblo Nuevo, Curacautín y Traiguén, para corregir defectos en la gráfica.

### 5.1.7. Construcción de Tablas de Uso Práctico.

Una vez generadas las Curvas IDF, se procedió a la construcción de tablas que entregan las intensidades máximas de precipitación en mm/h para las distintas duraciones asociadas a cada uno de los períodos de retorno de las estaciones en estudio.

También se construyeron tablas de uso práctico que permiten la extrapolación de valores, para las distintas duraciones, a estaciones pluviométricas cercanas a alguna de las nueve estaciones pluviográficas y que, por su carácter pluviométrico, sólo cuentan con datos para duraciones de 24 horas. Esta extrapolación de datos es posible empleando el parámetro  $k$ , el cual se entrega en una serie de tablas contenidas en el capítulo 6.

El parámetro  $k$  es definido por Pizarro *et al.* (2003), como la relación de las intensidades horarias con respecto a las intensidades de 24 horas. Dicho parámetro fue determinado para cada duración y período de retorno de cada una de las estaciones, y dicho parámetro responde a la forma:

$$k = \frac{I_d}{I_{24}}$$

Donde:

$I_d$  = Intensidad de precipitación para una duración en horas.

$I_{24}$  = Intensidad de precipitación para una duración de 24 horas.

### 5.1.8. Análisis Estadístico.

Una vez diseñadas las curvas IDF y las tablas de uso práctico, para cada una de las nueve estaciones, se procedió a analizar el comportamiento de la interacción entre las tres variables en estudio. El objetivo de esto, fue obtener en forma analítica una función matemática que representara la relación entre la intensidad, la duración y la frecuencia en cada una de las estaciones estudiadas.

Para representar matemáticamente la relación entre la intensidad, la duración y la frecuencia de las precipitaciones, se utilizó la ecuación de Bernard y Yarnell, y utilizada por diversos autores en Chile, para representar las curvas IDF de las regiones pertenecientes a la zona central. Dicha ecuación se expresa de la siguiente forma:

$$I = \frac{k * T^m}{d^n}$$

Donde:

- I = Intensidad, expresada en mm/h.
- T = Período de retorno, expresado en años.
- d = Duración de la precipitación, expresada en horas.
- k, m, n = Constantes obtenidas mediante análisis de regresión lineal múltiple.

Posteriormente se aplicaron logaritmos a la ecuación de Bernard y Yarnell, con la finalidad de obtener una expresión con la forma de un modelo de regresión lineal múltiple;

$$\log I = \log k + m \log T - n \log d$$

Donde:

$$y = \log k \qquad a_0 = \log k$$

$$x_1 = \log T \qquad a_1 = m$$

$$x_2 = \log d \qquad a_2 = -n$$

#### **5.1.8.1. Análisis de Regresión.**

Con el objetivo de determinar la calidad de la regresión lineal, se analizaron los supuestos de regresión de las funciones generadas, es decir, supuestos de normalidad, homocedasticidad y no autocorrelación. Como medidas de bondad de ajuste se utilizó el Coeficiente de determinación  $R^2$  y la prueba U de Mann-Whitney.

##### **5.1.8.1.1. Supuestos de regresión.**

###### **a) Supuesto de Normalidad.**

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

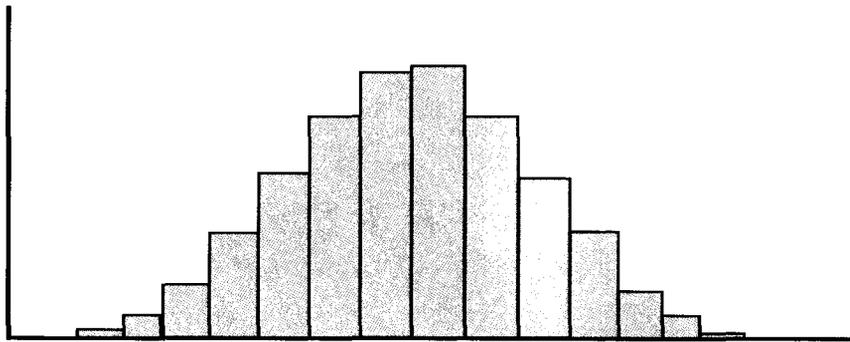
**(i) Test de Kolmogorov-Smirnov**

El test de Kolmogorov - Smirnov es una prueba no paramétrica que se utiliza para diferencias entre distribuciones acumuladas. Esta prueba se refiere a la concordancia entre una distribución acumulada observada de valores muestrales y una función de distribución continua determinada, Miller *et al* (1992).

**(ii).- Histograma de frecuencias.**

El histograma de frecuencias permite realizar un análisis gráfico para verificar la normalidad de los residuos. Según Cid *et al* (1990), dicho análisis se basa en la simetría de las frecuencias observadas y dos colas livianas en sus extremos, obteniéndose un esquema similar al de la figura 2.

Figura 2. Histograma de Frecuencias.



Fuente: Cid *et al.* (1990).

## **b) Supuesto de Homocedasticidad.**

Gujarati (1992), señala que uno de los supuestos importantes 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. Para probar si este supuesto se cumple se hace necesario utilizar un método estadístico que detecte la heterocedasticidad, es decir, que detecte si las perturbaciones de la función de regresión lineal presentan distinta varianza. El test utilizado en este estudio para detectar dicha heterocedasticidad es el test de Goldfeld–Quandt. Por otra parte, a manera de análisis gráfico se utiliza el gráfico de residuos.

### **(i) Test de Goldfeld – Quandt.**

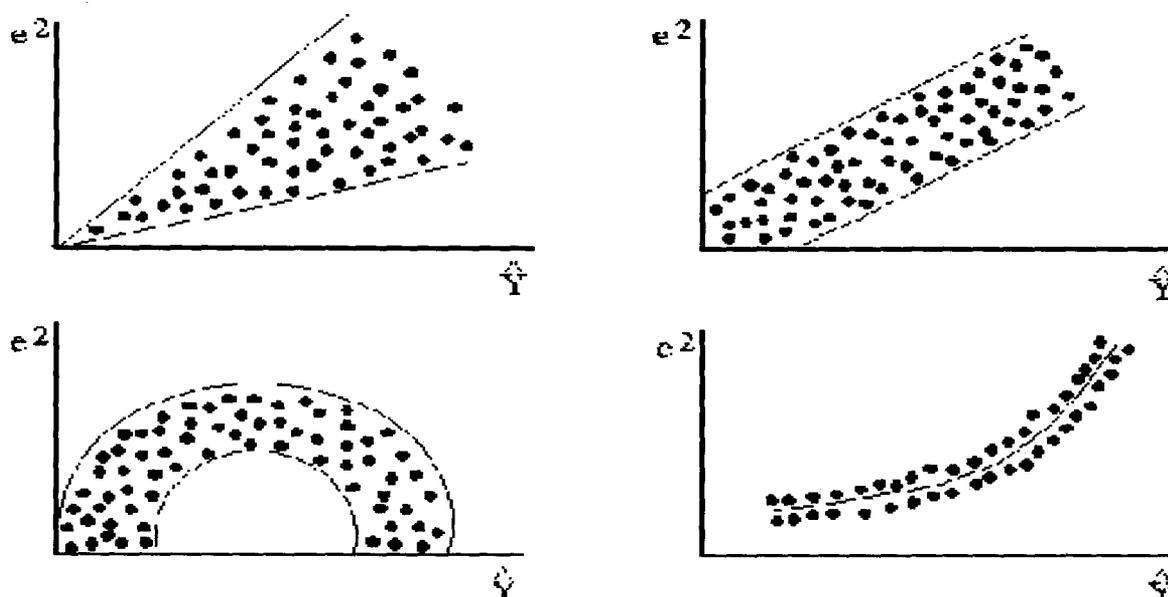
Este test estadístico fue propuesto por Goldfeld y Quandt en 1965 (Novales, 1993 citado por Román, 2003) y se utiliza para detectar la heterocedasticidad de las varianzas partiendo de la premisa que la varianza heterocedástica  $\sigma_i^2$  está positivamente relacionada con una de las variables explicativas en el modelo de regresión. El test de Goldfeld – Quandt consiste en 7 pasos detallados en el Anexo III.

### **(ii) Gráfico de residuos.**

Otra de las maneras de detectar la presencia de heterocedasticidad, es realizando un análisis gráfico de los residuos a través de la presencia de patrones sistemáticos en dichos residuos. Gujarati (1992) señala que para realizar este análisis gráfico es necesario graficar los valores estimados de la variable dependiente en abscisas versus los residuos estimados al cuadrado en la ordenada. De acuerdo a los patrones entregados en la figura 3 se puede

inferir si existe o no un comportamiento sistemático; de existir dicho comportamiento sistemático, se estaría en presencia de heterocedasticidad.

Figura 3. Gráfico de dispersión de residuos con presencia de heterocedasticidad.



Fuente. Gujarati. (1992).

### c) Supuesto de No-Autocorrelación.

La autocorrelación es definida por Gujarati (1992), como la correlación existente entre los miembros de una serie de observaciones ordenadas en el tiempo o en el espacio. Un supuesto importante del modelo lineal clásico es que no existe autocorrelación o relación serial entre las perturbaciones que entran en la función de regresión poblacional. Dicho de otra forma, el supuesto de no autocorrelación busca probar que las muestras son independientes y no están relacionadas en función de alguna variable.

Para detectar la presencia o ausencia de autocorrelación en este estudio, se utilizó el estadístico de Durbin-Watson. A manera de análisis gráfico se utilizó el gráfico de autocorrelación estimada para residuos, es decir, la gráfica de residuos v/s tiempo.

**(i) Estadístico de Durbin – Watson**

La prueba más conocida para detectar correlación serial es la desarrollada por los estadísticos Durbin y Watson, el cual se basa en la razón entre las sumas de las diferencias al cuadrado de residuos sucesivos. Dicho estadístico determina el valor de las correlaciones seriales entre las observaciones.

En las reglas de decisión del método de Durbin-Watson, se generan tres zonas: una zona de rechazo de la hipótesis nula, una zona de aceptación de la hipótesis nula y una zona de indiferencia en donde el método no puede concluir si existe autocorrelación. Para este estudio, el valor  $d$  fue estimado automáticamente utilizando el programa Statgraphics Plus 1.4. Las reglas de decisión de este estadístico se entregan en el anexo IV.

**(ii) Gráfico de residuos v/s tiempo.**

Jordán (2002), citado por Román (2003), señala que esta prueba gráfica 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. En dicha gráfica existe un intervalo de confianza representado por una línea punteada, donde el número de frecuencias de los residuos, está dado por “ $T$ ” intervalos. La existencia de una o más frecuencias fuera del intervalo, indica la presencia de autocorrelación; por otra parte, si ninguna de las frecuencias está fuera del intervalo, significa que no existe autocorrelación serial en el modelo.

### 5.1.8.1.2.- Medidas de bondad de ajuste del modelo.

#### a) Coeficiente de Determinación $R^2$ .

Como ya se mencionó en el punto 5.1.5.1, el Coeficiente de Determinación  $R^2$  es un estadístico que indica la proporción de la variación de los datos reales que es explicada por el modelo de regresión seleccionado.

#### b) Prueba U de Mann-Whitney.

La prueba U se basa en una combinación de las  $n_1$  y  $n_2$  observaciones para formar un solo conjunto de  $n_1 + n_2$  observaciones arregladas en orden creciente de magnitud. Luego, se le asigna un rango a cada observación en la secuencia ordenada que comienza con 1 y termina con  $n_1 + n_2$ . Si las muestras aleatorias provienen de poblaciones con la misma distribución, se espera que los rangos se encuentren lo suficientemente dispersos; es decir, determina si un agregado de rangos observados posee características suficientes para concluir que las dos muestras aleatorias provienen de una misma población, o no (Canavos, 1990 citado por Cornejo 2004)

Mendenhall y Sincich (1997), definen la prueba U de Mann-Whitney como:

$$U(A) = \left[ n_1 * n_2 + \left( n_1 * \frac{n_1 + 1}{2} \right) - W(A) \right]$$

$$U(B) = \left[ n_1 * n_2 + \left( n_1 * \frac{n_1 + 1}{2} \right) - W(B) \right]$$

En donde:

- $n_1$  = Número de observaciones en la muestra A.
- $n_2$  = Número de observaciones en la muestra B.
- $UA+UB$  =  $n_1 \times n_2$
- $W(A)$  = La suma de los rangos para la muestra A.
- $W(B)$  = La suma de los rangos para la muestra B.

Para muestras  $> 10$ , la prueba U se distribuye en forma normal con:

$$E(U) = \frac{n_1 * n_2}{2} \qquad \text{Var}(U) = \sqrt{\frac{n_1 * n_2 * (n_1 + n_2 + 1)}{12}}$$

Por lo tanto, la variable aleatoria está dada por:

$$Z_c = \frac{U - E(U)}{\text{Var}(U)}$$

Y la región de rechazo por:

$$Z_c > Z_t \quad \text{con, } \alpha = 0,05$$

La hipótesis nula y alternativa para este caso son las siguientes:

Hipótesis nula  $H_0$ : Las distribuciones de frecuencias relativas de las poblaciones A y B son idénticas.

Hipótesis alternativa  $H_a$ : Las distribuciones de frecuencias relativas de las poblaciones, están desfasadas con respecto a sus ubicaciones relativas.

Así, se busca probar como hipótesis nula si ambos grupos de datos, provienen de muestras independientes extraídas de la misma población.

### **5.1.9 Análisis de Intensidades máximas**

En esta etapa se realiza un análisis gráfico comparativo de las intensidades máximas de precipitación, en presencia y ausencia de estaciones cercanas a cuerpos de agua, para determinar el comportamiento latitudinal de dichas intensidades y la influencia que los cuerpos de agua tienen sobre éstas.

Este análisis se realiza a partir de curvas IDF construidas para algunas estaciones pluviogáficas, dentro de un área que comprende desde los 29°57' (estación Rivadavia en la IV Región) hasta los 39°16' (estación Pucón en la IX Región), con los valores de intensidad máxima para duraciones de 1 y 24 horas y periodo de retorno de 100 años (Apéndice XI), tomando como parámetro comparativo la latitud. Si bien este punto se debería desarrollar con los valores pertenecientes a las regiones en estudio (del Biobío y la Araucanía), se decidió extender el área geográfica, a la mencionada anteriormente, con el fin de establecer claramente el comportamiento de las intensidades y el efecto de los cuerpos de agua.

### **5.1.10. Presentación de Resultados.**

En esta etapa se presentan las tablas de duraciones horarias, intensidades horarias, gráfica de las curvas para todas las estaciones, tablas de uso práctico y las tablas con los valores del parámetro k.

También se entregan los resultados obtenidos para el ajuste de la función de distribución de probabilidad (Gumbel), los parámetros  $\mu$  y  $\alpha$ , y los resultados de las pruebas de bondad de ajuste (Kolmogorov-Smirnov y Coeficiente de Determinación  $R^2$ ). Asimismo,

se muestran las funciones matemáticas que representan a cada estación pluviográfica, con los resultados finales entregados por el análisis de regresión lineal múltiple. También se entrega el análisis gráfico obtenido en el ítem anterior.

#### **5.1.11. Análisis de resultados.**

Una vez obtenidos los resultados, fue posible analizar el comportamiento de las precipitaciones dentro de la zona en estudio.

Además, fue posible analizar la metodología utilizada en este estudio y dejar de manifiesto la utilidad, en la zona centro sur del país, del método gráfico propuesto por Témez y el método analítico de Bernard y Yarnell, para el estudio de la relación entre la intensidad, la duración y la frecuencia de las precipitaciones.

Por otra parte, se entrega un el análisis con respecto a la distribución latitudinal de las intensidades de precipitación y el efecto que provocan las estaciones cercanas a cuerpos de agua.

#### **5.1.12. Conclusiones y Recomendaciones.**

En la última etapa de este estudio se entregan las conclusiones y recomendaciones para el uso de la información contenida en esta memoria.

## **5.2. - Materiales y Equipos.**

Para la realización de esta memoria, se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Bandas pluviográficas y archivos digitales de las estaciones en estudio, proporcionados por la Dirección General de Aguas (Nivel Central).
- Lupa.
- Equipo computacional (PC e impresoras).
- Programas computacionales tales como Office 1997 y Statgraphics Plus V. 1.4 para la elaboración de planillas de cálculo, análisis estadísticos y redacción del estudio.

## **6. Presentación de Resultados.**

### **6.1 Alturas Máximas de Precipitación.**

La información pluviográfica procesada en este estudio, se extrajo de los pluviogramas y bases de datos que posee la Dirección General de Aguas (D.G.A.) en su oficina central, Santiago.

En el caso de la octava Región, para todas las estaciones seleccionadas se dispuso de registros históricos bastante amplios, divididos en dos formatos: uno analógico y otro en base de datos digital. En el caso de la información digital, ésta se presentó en planillas de cálculo que contenían las precipitaciones máximas horarias, las cuales provenían de la digitalización de los pluviogramas pertenecientes a dichas estaciones. En el caso de la región de la Araucanía, se dispuso sólo de registros analógicos.

Las alturas máximas de precipitación para cada duración seleccionada y cada año de registro, en el caso de la Región del Biobío, se presentan en las tablas 1, 2, 3, 4 y 5; y en el caso de las estaciones de la Región de la Araucanía, se presentan en las tablas 6, 7, 8 y 9.

Tabla 1. Alturas Máximas de Precipitación. Estación Cerro El Padre.

AÑOS	DURACIONES (h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1976	15.5	28.0	42.5	52.0	70.0	92.5	114.9
1977	17.7	34.3	64.7	84.3	99.1	116.6	164.0
1978	12.7	20.8	33.7	44.2	52.8	75.5	135.4
1979	13.0	19.3	33.1	44.6	51.4	62.2	73.1
1980	28.8	30.3	43.8	58.2	77.0	90.8	116.9
1981	19.0	29.8	44.3	60.9	85.6	103.7	142.5
1982	16.4	23.5	35.6	36.8	38.5	51.9	99.4
1983	11.3	15.0	28.1	41.2	54.0	76.2	129.2
1984	16.2	27.6	45.0	60.4	70.9	91.7	122.0
1985	9.7	14.3	24.9	31.5	35.8	36.7	38.9
1986	17.3	26.4	41.2	61.0	75.3	104.5	172.6
1987	14.5	21.0	37.6	46.9	57.0	68.4	83.2
1988	15.0	23.8	33.3	43.4	48.6	52.0	81.4
1989	12.7	24.6	44.0	58.1	65.9	72.3	99.4
1990	16.0	24.0	37.8	49.9	60.7	83.1	121.5
1991	15.3	27.3	35.7	46.4	46.6	56.2	102.4
1992	15.5	20.3	30.4	44.6	60.8	87.6	155.8
1993	19.8	22.9	31.6	43.5	51.4	68.7	101.4
1994	11.6	22.2	36.1	41.7	47.5	63.0	97.6
1995	21.5	37.5	50.4	55.1	60.7	61.6	78.1
1996	27.3	36.2	40.7	40.7	47.7	64.5	101.3
1997	18.4	35.2	54.8	62.6	71.9	119.0	199.6
1998	12.0	17.7	23.9	26.6	30.3	48.0	61.5
1999	12.9	19.7	37.4	45.9	56.4	92.4	106.9
2000	21.2	29.6	43.9	60.2	62.9	67.2	115.2
2001	20.1	30.3	40.8	48.4	54.8	71.4	114.0
2002	18.2	23.5	42.3	59.8	79.7	104.1	135.4
2003	17.0	27.9	49.6	61.3	66.7	99.4	155.0

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los registros pluviográficos facilitados por la Dirección General de Aguas (DGA)

Tabla 2. Alturas Máximas de Precipitación. Estación Chillán Viejo.

AÑOS	DURACIONES (h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1974	10,2	15,2	22,5	30,5	32,5	40,5	41,5
1975	6,9	11,1	17,4	22,8	23,6	23,9	29,3
1976	14,0	20,2	35,1	41,6	42,9	45,7	54,1
1977	12,8	22,8	29,8	33,0	38,6	59,1	68,4
1978	15,3	20,7	25,9	28,6	32,1	34,3	44,3
1979	20,0	23,7	41,3	51,9	66,1	76,8	98,9
1980	18,0	24,8	28,8	39,4	45,7	62,8	75,1
1981	21,0	24,8	35,0	40,3	48,2	50,1	51,0
1982	20,0	29,8	35,3	41,7	48,6	63,4	89,5
1984	17,4	21,9	31,1	32,8	45,5	63,8	73,7
1985	9,2	16,8	28,4	31,7	31,7	31,8	36,1
1986	19,7	24,9	30,5	33,6	45,4	53,5	82,5
1987	17,2	30,4	44,4	46,8	47,0	47,1	54,5
1988	9,8	16,9	28,7	36,3	42,0	51,7	68,3
1989	13,3	18,7	26,1	31,8	32,6	36,7	47,4
1990	11,8	18,5	29,2	39,7	44,2	47,7	60,0
1991	18,0	30,5	38,9	46,0	51,5	62,5	77,3
1992	15,0	29,4	38,8	52,2	61,4	85,5	154,4
1993	10,5	13,6	21,2	30,7	40,9	43,3	43,3
1994	9,4	16,0	31,1	40,8	47,4	59,3	65,6
1995	19,9	24,7	28,4	36,7	40,9	52,0	66,4
1996	19,1	31,5	39,0	45,4	45,4	45,4	52,4
1997	22,0	29,0	45,0	59,2	72,2	80,3	139,4
1998	19,3	21,6	26,7	29,4	32,1	40,3	40,5
1999	14,3	19,3	33,2	47,0	53,5	57,2	59,0
2000	10,0	15,9	22,6	24,9	28,1	40,4	51,3
2001	12,4	21,0	33,4	45,0	54,8	70,8	77,4
2002	22,1	25,0	31,7	36,4	43,7	51,1	74,2
2003	11,3	17,9	25,5	30,4	37,5	49,3	59,7

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los registros pluviográficos facilitados por la Dirección General de Aguas (DGA)

Tabla 3. Alturas de Precipitación Máxima. Estación Embalse Coihueco.

AÑOS	DURACIONES (h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1984	13,6	21,8	29,9	31,7	39,7	52,1	54,5
1985	23,5	40,0	50,0	58,6	60,0	62,4	66,7
1986	16,2	30,7	49,4	61,7	69,5	96,7	183,7
1987	14,0	25,0	47,3	64,3	79,8	89,4	94,8
1988	9,8	15,2	24,3	36,1	38,5	51,9	57,9
1989	8,0	12,4	19,0	19,9	19,9	19,9	22,2
1990	8,5	14,7	25,7	34,6	41,4	47,9	54,8
1991	9,6	14,1	23,8	29,4	37,8	44,2	44,2
1992	13,5	20,5	36,6	51,6	65,4	89,3	124,4
1993	16,4	22,5	33,1	42,7	49,9	56,7	74,5
1994	19,0	23,6	39,1	48,2	53,8	59,9	69,1
1995	12,4	19,5	29,1	40,3	51,9	69,1	70,4
1996	13,6	23,2	39,2	49,4	52,2	52,5	52,8
1997	33,2	50,3	69,1	75,7	77,8	90,9	151,3
1998	11,6	18,8	24,1	33,8	41,8	53,3	66,7
1999	16,2	24,3	42,3	58,4	72,6	91,1	111,3
2000	36,5	46,2	68,8	78,8	85,0	103,7	124,0
2001	15,9	22,5	35,7	52,5	63,0	72,5	92,0
2002	18,3	35,5	61,8	86,8	111,7	151,6	233,4
2003	19,3	31,7	35,5	28,0	44,7	59,3	86,6

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los registros pluviográficos facilitados por la Dirección General de Aguas (DGA)

Tabla 4. Alturas Máximas de Precipitación. Estación Embalse Diguillín.

AÑOS	DURACIONES (h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1965	23,0	42,8	58,2	64,4	65,4	84,1	101,3
1966	15,5	25,5	35,3	45,4	59,0	78,9	108,6
1967	12,8	20,0	34,0	42,0	50,2	63,8	75,8
1968	13,0	20,9	30,9	39,3	40,0	42,9	50,5
1969	15,0	21,0	32,2	42,2	49,2	57,0	84,8
1970	9,1	16,9	29,2	40,4	51,2	70,3	93,9
1971	17,6	22,8	35,6	54,4	63,0	69,2	93,5
1972	24,6	43,2	54,8	62,8	80,2	106,0	171,0
1973	18,8	21,8	31,8	43,9	54,4	74,2	99,4
1974	30,2	54,8	56,6	56,6	60,8	70,4	90,5
1975	15,0	22,0	33,1	43,3	47,2	65,5	109,2
1976	11,5	17,0	24,0	31,4	35,9	42,8	60,8
1977	9,9	15,0	25,4	35,2	39,1	39,4	58,6
1978	15,1	24,9	40,7	53,6	64,5	80,8	102,6
1979	9,7	15,7	28,5	41,7	52,2	75,0	111,5
1980	18,7	35,1	56,5	65,8	77,7	99,0	119,5
1981	12,0	16,4	27,1	38,7	51,0	71,2	85,9
1982	14,5	27,3	40,5	50,7	57,9	72,2	111,9
1983	9,6	18,7	31,0	43,1	54,3	74,0	94,6
1984	15,1	26,6	47,4	55,0	55,4	56,3	70,2
1985	20,0	33,2	53,2	65,0	77,4	88,6	100,7
1986	13,8	25,2	32,8	44,0	54,4	73,1	100,7
1987	16,0	29,7	39,6	49,4	58,8	68,6	113,4
1988	12,5	21,8	34,3	44,8	54,4	63,7	78,8
1989	11,2	20,4	34,6	44,3	51,8	63,2	88,4
1990	16,8	26,3	40,8	49,8	57,0	73,4	112,0
1991	23,0	46,0	54,1	63,4	73,6	92,0	132,2
1992	16,0	26,0	41,0	51,4	65,5	99,6	131,8
1993	18,1	24,0	38,4	53,0	65,6	91,0	146,2
1994	14,0	24,0	41,7	58,8	73,3	97,1	139,7
1996	19,0	27,6	38,8	47,3	52,8	61,2	67,9
1997	17,4	31,3	43,8	65,2	70,0	81,0	131,2
1998	24,2	27,6	36,0	40,2	41,8	63,4	71,2
1999	10,5	17,3	32,3	40,5	48,7	62,7	100,2
2000	22,7	35,7	62,1	76,3	84,6	98,4	103,2
2001	18,1	26,1	44,5	62,8	79,8	103,4	111,4
2002	23,9	41,2	69,9	98,4	120,0	158,1	242,9
2003	17,6	29,6	43,4	49,2	51,9	77,8	114,1

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los registros pluviográficos facilitados por la Dirección General de Aguas (DGA)

Tabla 5. Alturas Máximas de Precipitación. Estación Quilaco.

AÑOS	DURACIONES (h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1965	11,0	20,6	33,5	39,6	43,7	54,7	80,0
1966	14,1	25,0	39,0	43,0	50,6	54,2	81,9
1967	14,0	21,7	24,0	27,6	34,8	47,4	54,4
1968	11,8	19,6	34,0	46,8	55,6	62,8	70,7
1969	13,0	25,5	35,4	41,3	48,7	53,9	56,7
1970	26,0	27,1	30,6	42,8	53,6	60,6	71,9
1971	10,9	19,2	31,3	43,4	49,2	51,7	63,3
1972	18,0	26,6	41,8	52,9	59,9	71,8	89,2
1973	6,5	12,8	16,0	19,4	25,4	30,0	33,6
1974	10,5	18,5	25,7	32,7	36,3	38,9	59,2
1975	12,0	19,5	35,8	47,3	55,1	70,4	80,4
1976	16,1	22,3	30,6	36,6	39,6	40,7	51,7
1977	15,2	26,2	45,3	58,7	67,2	80,7	128,2
1978	14,5	27,7	35,2	50,7	56,9	60,1	84,3
1979	19,5	26,5	40,5	45,5	49,5	57,6	88,4
1980	20,0	27,3	37,9	49,4	52,7	60,4	75,3
1981	16,0	23,8	37,3	48,0	49,6	56,6	98,3
1982	14,4	23,2	37,5	40,7	40,7	40,8	58,2
1983	10,9	13,1	14,6	18,5	20,1	20,1	20,1
1984	18,5	27,8	40,2	49,8	59,5	71,8	80,0
1985	12,8	22,6	33,3	36,1	38,4	46,3	69,2
1986	15,7	24,6	33,8	47,5	61,6	80,9	140,3
1987	9,9	18,8	32,5	38,2	41,2	49,1	66,2
1988	11,4	20,8	35,6	40,5	42,2	47,5	56,3
1989	11,7	16,0	23,8	32,4	38,4	47,5	56,8
1990	13,9	24,1	40,3	50,4	59,5	60,4	60,5
1991	14,6	21,7	26,9	27,1	27,9	28,2	28,2
1992	25,0	36,7	42,5	43,3	48,0	51,4	54,7
1993	14,7	22,7	25,4	29,5	30,2	30,4	38,4
1994	17,7	23,5	30,1	38,7	49,1	66,1	74,5
1995	9,8	12,3	21,3	28,3	39,2	55,9	79,9
1996	15,1	19,6	28,6	33,1	33,1	33,2	36,5
1997	16,0	27,0	31,2	35,9	39,5	50,0	56,4
1998	9,2	14,5	21,3	23,8	31,9	33,0	33,1
1999	15,4	25,0	38,5	56,5	70,0	93,3	95,7
2000	16,7	26,3	34,8	48,2	48,3	48,3	57,4
2001	21,8	35,3	45,2	46,1	52,4	53,2	53,3
2002	17,3	30,3	50,5	65,4	80,8	94,7	94,7
2003	9,9	15,8	24,3	30,2	35,7	43,2	46,9

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los registros pluviográficos facilitados por la Dirección General de Aguas (DGA)

Tabla 6. Alturas Máximas de Precipitación. Estación Curacautín.

AÑOS	DURACIONES (h)						
	1	2	4	6	8	12	24
<b>1991</b>	13,9	20,7	32,8	41,9	44,9	46,8	46,8
<b>1992</b>	14,3	18,5	35,8	48,8	56,8	71,3	76,3
<b>1993</b>	13,8	18,1	31,6	44,6	52,4	62,4	79,8
<b>1994</b>	15,3	18,8	29,6	31,8	34,5	45,1	51,9
<b>1995</b>	12,7	16,3	25,0	29,0	30,1	40,1	48,3
<b>1996</b>	15,2	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9
<b>1997</b>	11,2	19,7	21,8	34,3	35,0	37,7	39,4
<b>1998</b>	8,8	12,3	14,5	18,9	18,9	18,9	18,9
<b>1999</b>	11,5	15,1	16,0	20,0	23,2	23,2	23,3
<b>2000</b>	8,8	11,7	14,6	18,7	20,6	20,6	20,7
<b>2001</b>	14,0	23,4	38,5	48,4	57,8	61,6	61,6
<b>2002</b>	10,0	16,4	17,9	18,5	18,7	19,1	19,1
<b>2003</b>	7,3	11,0	14,4	15,7	17,6	20,0	20,0

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los registros pluviográficos facilitados por la Dirección General de Aguas (DGA)

Tabla 7. Alturas Máximas de Precipitación. Estación Pucón.

AÑOS	DURACIONES (h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1984	10,5	14,2	19,9	26,4	29,2	36,0	49,7
1985	11,6	22,2	32,8	46,6	49,0	52,9	55,5
1986	10,7	15,6	22,7	30,5	36,9	49,7	94,0
1987	13,7	22,6	39,8	47,2	52,6	61,0	76,9
1988	13,3	23,3	35,8	38,3	39,1	44,5	75,2
1989	9,2	15,5	19,5	27,5	31,6	40,8	70,0
1990	18,9	23,0	29,9	38,9	53,1	71,2	89,4
1991	18,7	27,2	36,9	44,4	55,3	73,1	99,4
1992	11,8	17,1	28,7	38,8	47,2	55,9	80,2
1993	13,0	18,1	25,6	36,1	43,6	58,3	92,9
1994	11,1	16,6	24,4	28,1	31,6	48,0	71,3
1995	11,7	18,1	28,6	32,6	38,1	51,6	75,9
1996	11,6	16,8	23,7	37,0	40,5	52,3	59,6
1997	8,1	12,4	19,8	22,4	26,3	29,7	38,3
1998	16,2	20,6	29,8	40,9	50,9	64,2	75,7
1999	8,2	13,8	21,6	27,1	31,3	32,7	33,0
2000	11,3	14,7	23,1	29,0	34,8	44,5	48,1
2001	10,2	17,8	26,7	30,7	30,7	30,7	34,5
2002	12,1	14,0	17,7	18,3	18,4	18,7	18,8
2003	8,9	16,7	22,1	25,0	26,1	26,9	33,7

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los registros pluviográficos facilitados por la Dirección General de Aguas (DGA)

Tabla 8. Alturas Máximas de Precipitación. Estación Pueblo Nuevo.

AÑOS	DURACIONES (h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1989	11,7	30,0	41,2	49,2	60,6	73,6	83,6
1990	13,1	18,5	21,8	27,1	31,3	42,2	58,1
1991	12,0	13,6	20,6	24,8	31,8	36,2	46,6
1992	14,3	18,1	33,0	47,0	57,5	72,9	78,0
1993	10,1	17,3	21,0	26,2	31,1	42,1	69,4
1994	14,0	19,5	24,2	25,0	25,0	25,0	40,0
1995	12,1	16,9	25,2	32,5	42,0	53,5	88,5
1996	14,1	20,4	25,2	30,6	34,4	41,6	49,7
1997	12,9	18,1	30,5	41,0	43,7	50,7	78,2
1998	6,5	10,4	12,9	14,9	17,5	18,0	19,0
1999	11,0	13,1	22,5	29,7	35,6	44,9	56,3
2000	7,1	9,5	9,5	13,2	15,1	15,2	15,2
2001	10,6	19,8	28,6	28,6	32,0	32,0	32,4
2002	11,4	13,8	23,2	25,0	29,8	30,6	30,7
2003	10,7	18,4	29,7	38,5	47,9	58,1	84,1

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los registros pluviográficos facilitados por la Dirección General de Aguas (DGA)

Tabla 9. Alturas Máximas de Precipitación. Estación Traiguén.

AÑOS	DURACIONES (h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1988	8,3	11,1	18,4	26,9	34,1	45,1	55,3
1989	12,5	16,3	27,7	30,3	32,3	32,3	45,3
1990	9,5	16,2	21,7	28,7	36,5	48,2	60,2
1991	9,8	16,1	17,6	24,0	28,8	35,9	39,4
1992	9,7	16,3	31,2	46,0	59,2	69,9	70,2
1993	17,8	27,1	31,4	36,5	37,7	38,0	63,3
1994	8,5	13,6	18,8	21,0	22,3	22,6	23,4
1995	14,8	18,1	18,8	19,0	19,6	19,8	27,8
1996	10,3	12,0	21,4	24,7	24,7	24,7	35,8
1997	10,0	16,8	23,9	23,9	23,9	28,8	44,3
1998	9,5	16,0	23,0	23,0	25,5	25,6	25,7
1999	10,8	20,4	28,6	33,3	34,7	35,1	38,5
2000	9,9	17,3	28,3	34,6	45,9	66,2	94,4
2001	11,2	19,3	32,2	37,4	41,2	48,3	61,4
2002	10,2	13,1	20,0	26,9	30,9	38,1	52,4
2003	20,4	25,4	34,3	43,9	47,3	62,8	67,6

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los registros pluviográficos facilitados por la Dirección General de Aguas (DGA)

## **6.2. Intensidades Máximas de Precipitación**

Las intensidades máximas de precipitación se obtuvieron aplicando la metodología desarrollada por Témez (1978), para cada estación y año de registro. Esto resulta de dividir cada altura de precipitación por su duración respectiva. Los resultados se presentan en las tablas 10, 11, 12, 13 y 14, para las estaciones ubicadas en la octava Región, y en las tablas 15, 16, 17 y 18 para las estaciones ubicadas dentro de la novena Región.

Tabla 10. Intensidades Máximas de Precipitación. Estación Cerro El Padre.

AÑOS	INTENSIDADES (mm/h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1976	15.5	14.0	10.6	8.7	8.8	7.7	4.8
1977	17.7	17.2	16.2	14.1	12.4	9.7	6.8
1978	12.7	10.4	8.4	7.4	6.6	6.3	5.6
1979	13.0	9.7	8.3	7.4	6.4	5.2	3.0
1980	28.8	15.2	11.0	9.7	9.6	7.6	4.9
1981	19.0	14.9	11.1	10.2	10.7	8.6	5.9
1982	16.4	11.8	8.9	6.1	4.8	4.3	4.1
1983	11.3	7.5	7.0	6.9	6.8	6.4	5.4
1984	16.2	13.8	11.3	10.1	8.9	7.6	5.1
1985	9.7	7.2	6.2	5.3	4.5	3.1	1.6
1986	17.3	13.2	10.3	10.2	9.4	8.7	7.2
1987	14.5	10.5	9.4	7.8	7.1	5.7	3.5
1988	15.0	11.9	8.3	7.2	6.1	4.3	3.4
1989	12.7	12.3	11.0	9.7	8.2	6.0	4.1
1990	16.0	12.0	9.5	8.3	7.6	6.9	5.1
1991	15.3	13.7	8.9	7.7	5.8	4.7	4.3
1992	15.5	10.2	7.6	7.4	7.6	7.3	6.5
1993	19.8	11.5	7.9	7.3	6.4	5.7	4.2
1994	11.6	11.1	9.0	7.0	5.9	5.3	4.1
1995	21.5	18.8	12.6	9.2	7.6	5.1	3.3
1996	27.3	18.1	10.2	6.8	6.0	5.4	4.2
1997	18.4	17.6	13.7	10.4	9.0	9.9	8.3
1998	12.0	8.9	6.0	4.4	3.8	4.0	2.6
1999	12.9	9.9	9.4	7.7	7.1	7.7	4.5
2000	21.2	14.8	11.0	10.0	7.9	5.6	4.8
2001	20.1	15.2	10.2	8.1	6.9	6.0	4.8
2002	18.2	11.8	10.6	10.0	10.0	8.7	5.6
2003	17.0	14.0	12.4	10.2	8.3	8.3	6.5
$\bar{x}$	<b>16.7</b>	<b>12.7</b>	<b>9.9</b>	<b>8.4</b>	<b>7.5</b>	<b>6.5</b>	<b>4.8</b>
S	<b>4.5</b>	<b>3.0</b>	<b>2.2</b>	<b>1.9</b>	<b>1.9</b>	<b>1.8</b>	<b>1.5</b>

Fuente: Elaboración Propia. (X: Promedio Aritmético; S: Desviación Estándar)

Tabla 11. Intensidades Máximas de Precipitación. Estación Chillán Viejo.

AÑOS	INTENSIDADES (mm/h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1974	10,2	7,6	5,6	5,1	4,1	3,4	1,7
1975	6,9	5,6	4,4	3,8	3,0	2,0	1,2
1976	14,0	10,1	8,8	6,9	5,4	3,8	2,3
1977	12,8	11,4	7,5	5,5	4,8	4,9	2,9
1978	15,3	10,4	6,5	4,8	4,0	2,9	1,8
1979	20,0	11,9	10,3	8,7	8,3	6,4	4,1
1980	18,0	12,4	7,2	6,6	5,7	5,2	3,1
1981	21,0	12,4	8,8	6,7	6,0	4,2	2,1
1982	20,0	14,9	8,8	7,0	6,1	5,3	3,7
1984	17,4	11,0	7,8	5,5	5,7	5,3	3,1
1985	9,2	8,4	7,1	5,3	4,0	2,7	1,5
1986	19,7	12,5	7,6	5,6	5,7	4,5	3,4
1987	17,2	15,2	11,1	7,8	5,9	3,9	2,3
1988	9,8	8,5	7,2	6,1	5,3	4,3	2,8
1989	13,3	9,4	6,5	5,3	4,1	3,1	2,0
1990	11,8	9,3	7,3	6,6	5,5	4,0	2,5
1991	18,0	15,3	9,7	7,7	6,4	5,2	3,2
1992	15,0	14,7	9,7	8,7	7,7	7,1	6,4
1993	10,5	6,8	5,3	5,1	5,1	3,6	1,8
1994	9,4	8,0	7,8	6,8	5,9	4,9	2,7
1995	19,9	12,4	7,1	6,1	5,1	4,3	2,8
1996	19,1	15,8	9,8	7,6	5,7	3,8	2,2
1997	22,0	14,5	11,3	9,9	9,0	6,7	5,8
1998	19,3	10,8	6,7	4,9	4,0	3,4	1,7
1999	14,3	9,7	8,3	7,8	6,7	4,8	2,5
2000	10,0	8,0	5,7	4,2	3,5	3,4	2,1
2001	12,4	10,5	8,4	7,5	6,9	5,9	3,2
2002	22,1	12,5	7,9	6,1	5,5	4,3	3,1
2003	11,3	9,0	6,4	5,1	4,7	4,1	2,5
$\bar{x}$	15,2	11,0	7,8	6,4	5,5	4,4	2,8
S	4,5	2,8	1,7	1,4	1,4	1,2	1,2

Fuente: Elaboración Propia. (X: Promedio Aritmético; S: Desviación Estándar)

Tabla 12. Intensidades de Precipitación Máxima. Estación Embalse Coihueco.

AÑOS	INTENSIDADES (mm/h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1984	13,6	10,9	7,5	5,3	5,0	4,3	2,3
1985	23,5	20,0	12,5	9,8	7,5	5,2	2,8
1986	16,2	15,4	12,4	10,3	8,7	8,1	7,7
1987	14,0	12,5	11,8	10,7	10,0	7,5	4,0
1988	9,8	7,6	6,1	6,0	4,8	4,3	2,4
1989	8,0	6,2	4,8	3,3	2,5	1,7	0,9
1990	8,5	7,4	6,4	5,8	5,2	4,0	2,3
1991	9,6	7,1	6,0	4,9	4,7	3,7	1,8
1992	13,5	10,3	9,2	8,6	8,2	7,4	5,2
1993	16,4	11,3	8,3	7,1	6,2	4,7	3,1
1994	19,0	11,8	9,8	8,0	6,7	5,0	2,9
1995	12,4	9,8	7,3	6,7	6,5	5,8	2,9
1996	13,6	11,6	9,8	8,2	6,5	4,4	2,2
1997	33,2	25,2	17,3	12,6	9,7	7,6	6,3
1998	11,6	9,4	6,0	5,6	5,2	4,4	2,8
1999	16,2	12,2	10,6	9,7	9,1	7,6	4,6
2000	36,5	23,1	17,2	13,1	10,6	8,6	5,2
2001	15,9	11,3	8,9	8,8	7,9	6,0	3,8
2002	18,3	17,8	15,5	14,5	14,0	12,6	9,3
2003	19,3	15,9	8,9	6,3	5,6	4,9	3,6
$\bar{x}$	<b>16,5</b>	<b>12,8</b>	<b>9,8</b>	<b>8,3</b>	<b>7,2</b>	<b>5,9</b>	<b>3,8</b>
S	<b>7,4</b>	<b>5,2</b>	<b>3,7</b>	<b>3,0</b>	<b>2,6</b>	<b>2,4</b>	<b>2,1</b>

Fuente: Elaboración Propia. (X: Promedio Aritmético; S: Desviación Estándar)

Tabla 13. Intensidades Máximas de Precipitación. Estación Embalse Diguillín.

AÑOS	INTENSIDADES (mm/h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1965	23.0	21.4	14.6	10.7	8.2	7.0	5.7
1966	15.5	12.8	8.8	7.6	7.1	6.6	5.0
1967	12.8	10.0	8.5	7.0	6.3	5.4	4.0
1968	13.0	10.5	7.7	6.9	6.8	6.2	3.5
1969	15.0	10.5	8.1	8.0	7.9	7.0	4.8
1970	9.1	8.5	7.3	6.7	6.4	5.9	4.0
1971	17.6	11.4	8.9	9.1	7.9	6.3	4.7
1972	24.6	21.6	16.5	15.0	13.2	11.7	8.7
1973	18.8	10.9	8.0	7.3	5.8	6.2	5.6
1974	30.2	27.4	14.2	9.4	7.6	5.9	4.7
1975	15.0	11.0	8.3	7.2	7.2	5.7	4.7
1976	11.5	8.5	6.0	5.2	4.8	3.6	3.2
1977	9.9	7.5	6.4	5.9	4.9	4.7	3.3
1978	15.1	12.5	10.2	8.9	9.0	6.7	4.5
1979	9.7	7.9	7.1	7.0	6.5	6.3	4.7
1980	18.7	17.6	14.1	11.0	9.7	8.3	5.9
1981	23.1	12.0	6.8	6.5	6.4	5.9	3.7
1982	14.5	13.7	10.1	8.5	7.2	7.0	5.7
1983	9.6	9.4	7.8	7.2	6.8	6.2	4.0
1984	15.1	13.3	11.9	9.2	6.9	4.7	3.1
1985	20.0	16.6	14.5	13.0	12.0	10.2	6.9
1986	13.8	12.6	8.2	7.3	6.8	6.4	4.7
1987	16.0	14.9	9.9	8.2	6.1	6.0	4.7
1988	12.5	10.9	8.6	7.5	6.1	5.5	4.7
1989	11.2	10.2	8.7	7.4	7.3	5.7	4.1
1990	16.8	13.2	10.2	8.3	7.1	6.1	4.8
1991	23.0	23.0	15.5	11.7	10.2	8.3	6.3
1992	16.0	13.0	10.3	8.6	8.2	8.3	5.6
1993	18.1	12.0	9.6	8.8	8.2	7.6	6.1
1994	14.0	12.0	10.4	9.8	9.2	8.2	6.4
1996	19.0	13.8	9.7	7.9	6.6	5.1	2.8
1997	17.4	15.7	11.0	10.9	10.0	9.6	7.2
1998	24.2	13.8	9.0	6.7	5.7	5.3	3.0
1999	10.5	8.7	8.1	6.9	6.3	5.2	5.1
2000	22.7	17.9	15.5	12.7	12.1	9.9	6.3
2001	18.1	13.1	11.1	10.5	10.0	9.3	7.8
2002	23.9	20.6	17.5	16.4	15.0	13.2	10.7
2003	17.6	14.8	10.9	8.2	6.5	6.5	4.8
$\bar{x}$	<b>16.8</b>	<b>13.5</b>	<b>10.2</b>	<b>8.8</b>	<b>7.9</b>	<b>6.9</b>	<b>5.1</b>
S	<b>5.0</b>	<b>4.5</b>	<b>3.0</b>	<b>2.4</b>	<b>2.3</b>	<b>2.0</b>	<b>1.6</b>

Fuente: Elaboración Propia. (X: Promedio Aritmético; S: Desviación Estándar)

Tabla 14. Intensidades Máximas de Precipitación. Estación Quilaco.

AÑOS	INTENSIDADES (mm/h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1965	11,0	10,3	8,4	6,6	5,5	4,6	3,3
1966	14,1	12,5	9,8	7,2	6,3	4,5	3,4
1967	14,0	10,9	6,0	4,6	4,4	4,0	2,3
1968	11,8	9,8	8,5	7,8	7,0	5,2	2,9
1969	13,0	12,8	8,9	6,9	6,1	4,5	2,4
1970	26,0	13,6	7,7	7,1	6,7	5,1	3,0
1971	10,9	9,6	7,8	7,2	6,2	4,3	2,6
1972	18,0	13,3	10,5	8,8	7,5	6,0	3,7
1973	6,5	6,4	4,0	3,2	3,2	2,5	1,4
1974	10,5	9,3	6,4	5,5	4,5	3,2	2,5
1975	12,0	9,8	9,0	7,9	6,9	5,9	3,4
1976	16,1	11,2	7,7	6,1	5,0	3,4	2,2
1977	15,2	13,1	11,3	9,8	8,4	6,7	5,3
1978	14,5	13,9	8,8	8,5	7,1	5,0	3,5
1979	19,5	13,3	10,1	7,6	6,2	4,8	3,7
1980	20,0	13,7	9,5	8,2	6,6	5,0	3,1
1981	16,0	11,9	9,3	8,0	6,2	4,7	4,1
1982	14,4	11,6	9,4	6,8	5,1	3,4	2,4
1983	10,9	6,6	3,7	3,1	2,5	1,7	0,8
1984	18,5	13,9	10,1	8,3	7,4	6,0	3,3
1985	12,8	11,3	8,3	6,0	4,8	3,9	2,9
1986	15,7	12,3	8,5	7,9	7,7	6,7	5,8
1987	9,9	9,4	8,1	6,4	5,2	4,1	2,8
1988	11,4	10,4	8,9	6,8	5,3	4,0	2,3
1989	11,7	8,0	6,0	5,4	4,8	4,0	2,4
1990	13,9	12,1	10,1	8,4	7,4	5,0	2,5
1991	14,6	10,9	6,7	4,5	3,5	2,4	1,2
1992	25,0	18,4	10,6	7,2	6,0	4,3	2,3
1993	14,7	11,4	6,4	4,9	3,8	2,5	1,6
1994	17,7	11,8	7,5	6,5	6,1	5,5	3,1
1995	9,8	6,2	5,3	4,7	4,9	4,7	3,3
1996	15,1	9,8	7,2	5,5	4,1	2,8	1,5
1997	16,0	13,5	7,8	6,0	4,9	4,2	2,4
1998	9,2	7,3	5,3	4,0	4,0	2,8	1,4
1999	15,4	12,5	9,6	9,4	8,8	7,8	4,0
2000	16,7	13,2	8,7	8,0	6,0	4,0	2,4
2001	21,8	17,7	11,3	7,7	6,6	4,4	2,2
2002	17,3	15,2	12,6	10,9	10,1	7,9	3,9
2003	9,9	7,9	6,1	5,0	4,5	3,6	2,0
$\bar{x}$	14,7	11,4	8,2	6,8	5,8	4,5	2,8
S	4,2	2,7	2,0	1,8	1,6	1,4	1,0

Fuente: Elaboración Propia. (X: Promedio Aritmético; S: Desviación Estándar)

Tabla 15. Intensidades Máximas de Precipitación. Estación Curacautín.

AÑOS	INTENSIDADES (mm/h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1991	13,9	10,4	8,2	7,0	5,6	3,9	2,0
1992	14,3	9,3	9,0	8,1	7,1	5,9	3,2
1993	13,8	9,1	7,9	7,4	6,6	5,2	3,3
1994	15,3	9,4	7,4	5,3	4,3	3,8	2,2
1995	12,7	8,2	6,3	4,8	3,8	3,3	2,0
1996	15,2	9,5	4,7	3,2	2,4	1,6	0,8
1997	11,2	9,9	5,5	5,7	4,4	3,1	1,6
1998	8,8	6,2	3,6	3,2	2,4	1,6	0,8
1999	11,5	7,6	4,0	3,3	2,9	1,9	1,0
2000	8,8	5,9	3,7	3,1	2,6	1,7	0,9
2001	14,0	11,7	9,6	8,1	7,2	5,1	2,6
2002	10,0	8,2	4,5	3,1	2,3	1,6	0,8
2003	7,3	5,5	3,6	2,6	2,2	1,7	0,8
$\bar{x}$	12,1	8,5	6,0	5,0	4,1	3,1	1,7
S	2,7	1,8	2,2	2,1	1,9	1,6	0,9

Fuente: Elaboración Propia. (X: Promedio Aritmético; S: Desviación Estándar)

Tabla 16. Intensidades Máximas de Precipitación. Estación Pucón.

AÑOS	INTENSIDADES (mm/h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1984	10,5	7,1	5,0	4,4	3,3	3,0	2,1
1985	11,6	11,1	8,2	7,8	5,8	4,4	2,3
1986	10,7	7,8	5,7	5,1	3,8	4,1	3,9
1987	13,7	11,3	10,0	7,9	5,9	5,1	3,2
1988	13,3	11,7	9,0	6,4	4,8	3,7	3,1
1989	9,2	7,8	4,9	4,6	3,4	3,4	2,9
1990	18,9	11,5	7,5	6,5	4,9	5,9	3,7
1991	18,7	13,6	9,2	7,4	5,6	6,1	4,1
1992	11,8	8,6	7,2	6,5	4,9	4,7	3,3
1993	13,0	9,1	6,4	6,0	4,5	4,9	3,9
1994	11,1	8,3	6,1	4,7	3,5	4,0	3,0
1995	11,7	9,1	7,2	5,4	4,1	4,3	3,2
1996	11,6	8,4	5,9	6,2	4,6	4,4	2,5
1997	8,1	6,2	5,0	3,7	2,8	2,5	1,6
1998	16,2	10,3	7,5	6,8	5,1	5,4	3,2
1999	8,2	6,9	5,4	4,5	3,4	2,7	1,4
2000	11,3	7,4	5,8	4,8	3,6	3,7	2,0
2001	10,2	8,9	6,7	5,1	3,8	2,6	1,4
2002	12,1	7,0	4,4	3,1	2,3	1,6	0,8
2003	8,9	8,4	5,5	4,2	3,1	2,2	1,4
$\bar{x}$	12,0	9,0	6,6	5,5	4,2	3,9	2,7
S	3,0	2,0	1,6	1,4	1,0	1,2	1,0

Fuente: Elaboración Propia. (X: Promedio Aritmético; S: Desviación Estándar)

Tabla 17. Intensidades Máximas de Precipitación. Estación Pueblo Nuevo.

AÑOS	INTENSIDADES (mm/h)						
	1	2	4	6	8	12	24
1989	11,7	15,0	10,3	8,2	7,6	6,1	3,5
1990	13,1	9,3	5,5	4,5	3,9	3,5	2,4
1991	12,0	6,8	5,2	4,1	4,0	3,0	1,9
1992	14,3	9,1	8,3	7,8	7,2	6,1	3,3
1993	10,1	8,7	5,3	4,4	3,9	3,5	2,9
1994	14,0	9,8	6,1	4,2	3,1	2,1	1,7
1995	12,1	8,5	6,3	5,4	5,3	4,5	3,7
1996	14,1	10,2	6,3	5,1	4,3	3,5	2,1
1997	12,9	9,1	7,6	6,8	5,5	4,2	3,3
1998	6,5	5,2	3,2	2,5	2,2	1,5	0,8
1999	11,0	6,6	5,6	5,0	4,5	3,7	2,3
2000	7,1	4,8	2,4	2,2	1,9	1,3	0,6
2001	10,6	9,9	7,2	4,8	4,0	2,7	1,4
2002	11,4	6,9	5,8	4,2	3,7	2,6	1,3
2003	10,7	9,2	7,4	6,4	6,0	4,8	3,5
$\bar{x}$	11,4	8,6	6,2	5,0	4,5	3,5	2,3
S	2,3	2,5	1,9	1,7	1,6	1,5	1,0

Fuente: Elaboración Propia. (X: Promedio Aritmético; S: Desviación Estándar)

### 6.3. Ajuste de los datos a la Función de Distribución de Probabilidad.

Con los datos de intensidades máximas de precipitación, se procedió a ajustar dichos datos a la función de distribución de probabilidad de Gumbel. Con los valores de promedio aritmético y desviación estándar de las series de datos para cada duración, se obtuvieron los parámetros  $\mu$  y  $\alpha$ . Los valores de los parámetros antes mencionados se entregan en las tablas 19 y 20 para las Regiones octava y novena respectivamente.

**Tabla 19.** Parámetros  $\mu$  y  $\alpha$  para cada duración de las estaciones de la octava Región.

Estación	Cerro El Padre		Chillán Viejo		Embalse Coihueco		Embalse Diguillín		Quilaco	
	$\mu$	$\alpha$	$\mu$	$\alpha$	$\mu$	$\alpha$	$\mu$	$\alpha$	$\mu$	$\alpha$
1	14,66	0,29	13,16	0,29	13,11	0,17	14,51	0,26	12,78	0,31
2	11,39	0,42	9,74	0,46	10,45	0,24	11,51	0,28	10,20	0,47
4	8,89	0,58	7,04	0,76	8,14	0,35	8,90	0,43	7,34	0,64
6	7,52	0,66	5,71	0,89	6,94	0,43	7,71	0,52	5,99	0,73
8	6,64	0,67	4,88	0,93	6,05	0,49	6,87	0,56	5,10	0,80
12	5,69	0,72	3,84	1,06	4,82	0,54	6,04	0,64	3,85	0,92
24	4,13	0,88	2,26	1,11	2,87	0,62	4,41	0,79	2,34	1,24

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 20.** Parámetros  $\mu$  y  $\sigma$  para cada duración de las estaciones de la novena Región.

Estación	Curacautín		Pucón		Pueblo Nuevo		Traiguén	
	$\mu$	$\alpha$	$\mu$	$\alpha$	$\mu$	$\alpha$	$\mu$	$\alpha$
1	10,86	0,48	10,69	0,43	10,41	0,56	9,92	0,38
2	7,67	0,70	8,13	0,65	7,47	0,62	7,62	0,59
4	5,00	0,59	5,91	0,82	5,28	0,67	5,57	0,91
6	4,05	0,61	4,94	0,95	4,27	0,75	4,40	0,97
8	3,27	0,67	4,20	0,98	3,74	0,80	3,66	0,97
12	2,40	0,81	3,37	1,03	2,86	0,88	2,76	0,99
24	1,26	1,38	2,21	1,31	1,85	1,26	1,74	1,62

Fuente: Elaboración Propia.

#### **6.4. Determinación de las Pruebas de Bondad de Ajuste.**

Con los parámetros de la función de distribución de probabilidad ya calculados, se debe validar el ajuste. Esta validación se realiza a través de la prueba de Kolmogorov – Smirnov y el Coeficiente de Determinación  $R^2$ . Los valores que alcanzan la prueba y el coeficiente se presentan en las tablas 21, 22, 23 y 24 para las estaciones de ambas regiones en estudio.

Tabla 21. Nivel de ajuste a través de la prueba Kolmogorov – Smirnov para las estaciones de la octava Región.

Estación	Cerro El Padre		Chillán Viejo		Embalse Coihueco		Embalse Diguillín		Quilaco	
	$D_t = 0,252$		$D_t = 0,246$		$D_t = 0,290$		$D_t = 0,218$		$D_t = 0,214$	
Duración	$D_c$	Ajuste	$D_c$	Ajuste	$D_c$	Ajuste	$D_c$	Ajuste	$D_c$	Ajuste
1	0,08	A	0,17	A	0,10	A	0,09	A	0,09	A
2	0,10	A	0,11	A	0,12	A	0,10	A	0,10	A
4	0,15	A	0,08	A	0,08	A	0,10	A	0,14	A
6	0,13	A	0,09	A	0,08	A	0,08	A	0,12	A
8	0,07	A	0,11	A	0,06	A	0,11	A	0,14	A
12	0,07	A	0,06	A	0,12	A	0,10	A	0,10	A
24	0,05	A	0,09	A	0,10	A	0,07	A	0,09	A

Fuente: Elaboración Propia.

Donde:

$D_t$  : Estadístico Kolmogorov – Smirnov para n datos y 95% de confianza.

$D_c$  : Estadístico Kolmogorov – Smirnov calculado a partir de la función Gumbel.

A : Se acepta el ajuste.

Tabla 22. Coeficientes de Determinación  $R^2$  para cada duración determinada de las estaciones pertenecientes a la octava Región.

Estación	Cerro El Padre	Chillán Viejo	Embalse Coihueco	Embalse Diguillín	Quilaco
Duración	$R^2$	$R^2$	$R^2$	$R^2$	$R^2$
1	0,988	0,913	0,966	0,981	0,985
2	0,977	0,968	0,966	0,983	0,949
4	0,977	0,981	0,981	0,975	0,934
6	0,963	0,973	0,978	0,977	0,943
8	0,985	0,957	0,983	0,965	0,971
12	0,968	0,987	0,962	0,968	0,976
24	0,976	0,983	0,968	0,981	0,976

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 23. Nivel de ajuste a través de la prueba Kolmogorov – Smirnov para las estaciones de la novena Región.

Estación	Curacautín		Pucón		Pueblo Nuevo		Traiguén	
	$D_t = 0,361$		$D_t = 0,290$		$D_t = 0,340$		$D_t = 0,330$	
Duración	$D_c$	Ajuste	$D_c$	Ajuste	$D_c$	Ajuste	$D_c$	Ajuste
1	0,212	A	0,09	A	0,76	A	0,17	A
2	0,183	A	0,10	A	0,17	A	0,16	A
4	0,142	A	0,08	A	0,15	A	0,16	A
6	0,216	A	0,13	A	0,14	A	0,09	A
8	0,154	A	0,11	A	0,11	A	0,09	A
12	0,196	A	0,12	A	0,11	A	0,09	A
24	0,155	A	0,20	A	0,16	A	0,10	A

Fuente: Elaboración Propia.

Donde:

$D_t$  : Estadístico Kolmogorov – Smirnov para n datos y 95% de confianza.

$D_c$  : Estadístico Kolmogorov – Smirnov calculado a partir de la función Gumbel.

A : Se acepta el ajuste.

Tabla 24. Coeficientes de Determinación  $R^2$  para cada duración determinada de las estaciones pertenecientes a la novena Región.

Estación	Curacautín	Pucón	Pueblo Nuevo	Traiguén
Duración	$R^2$	$R^2$	$R^2$	$R^2$
1	0,840	0,970	0,870	0,866
2	0,855	0,969	0,903	0,946
4	0,893	0,977	0,928	0,905
6	0,859	0,955	0,948	0,969
8	0,895	0,959	0,952	0,982
12	0,864	0,933	0,963	0,971
24	0,853	0,880	0,911	0,959

Fuente: Elaboración Propia.

### **6.5. Diseño Gráfico de las Curvas IDF para cada una de las estaciones seleccionadas.**

Una vez validado el ajuste para cada una de las estaciones y las duraciones respectivas, se realizó el diseño gráfico de las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia a través del método propuesto por Témez (1978). Éste consiste en crear una representación gráfica para cada uno de los períodos de retorno a partir de la función de distribución de probabilidad de Gumbel anteriormente ajustada.

Cabe destacar que, de acuerdo con los resultados gráficos que se obtengan, es necesario realizar nuevos muestreos para poder generar curvas que se asemejen, lo mejor posible, a la forma exponencial negativa esperada.

En el caso de este estudio fue necesario hacer un muestreo nuevamente en las estaciones Chillán Viejo, Embalse Coihueco, Quilaco, Pueblo Nuevo, Traiguén y Curacautín, en estas tres últimas se debió por un lado a sus cortos períodos de registro, y a otros factores como mal estado de las bandas pluviográficas o a fallas del pluviómetro, el cual muchas veces se ve afectado por las condiciones climáticas y a otras de mantención, lo que incide en la calidad y cantidad de los datos disponibles.

Los resultados obtenidos para las curvas IDF se muestran en los gráficos 1, 2, 3, 4 y 5 en el caso de las estaciones de la octava Región y en los gráficos 6, 7, 8 y 9 en el caso de las estaciones de la novena Región.

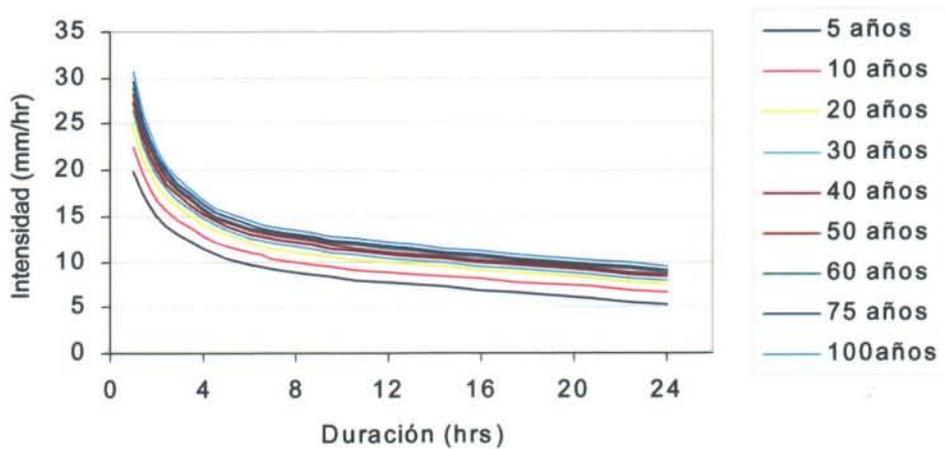
Un caso especial lo constituye la estación Curacautín, la única estación que no se ajustó a lo esperado gráficamente. Esto se debe principalmente a dos razones, a saber: los pocos años de registro con los que cuenta y las fallas sistemáticas que presenta el instrumento de medición (pluviógrafo); de esto da cuenta la nota textual extraída del pluviograma correspondiente a la semana del 6 al 13 de octubre de 1997, *“Este instrumento ha sido imposible de hacer funcionar en buenas condiciones, se ha cambiado sellos sifón,*

*se ha sellado con silicona, etc. y continúa fallando. La idea del suscrito es cambiarlo de lugar más cercano a Temuco, y controlarlo en forma más continua, ya que también está influenciado por las bajas temperaturas, cercano a la cordillera.”*

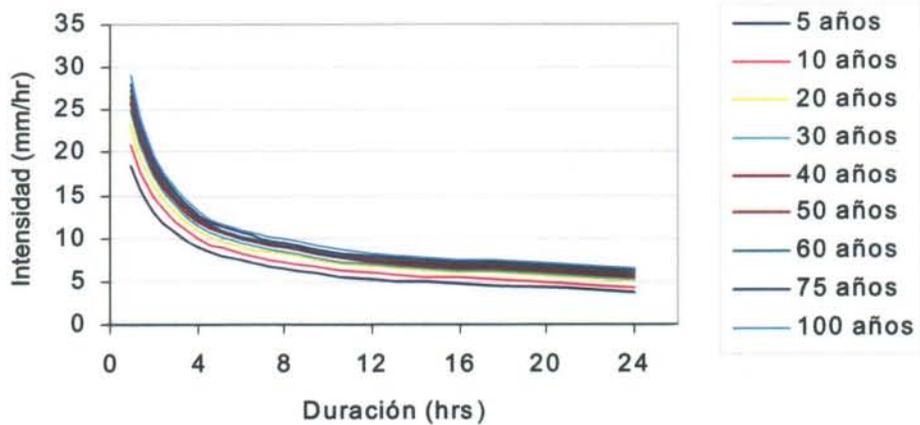
Debido a lo anterior, los resultados expuestos para esa estación, ya sea el modelo gráfico de Témez como el modelo analítico de Aparicio, pueden inducir a error en las futuras estimaciones de intensidad máxima; sin embargo, éstos se incluyeron en esta memoria para dejar constancia del efecto negativo que produce un instrumento defectuoso en los resultados finales.

### 6.5.1. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia generadas para las estaciones en estudio.

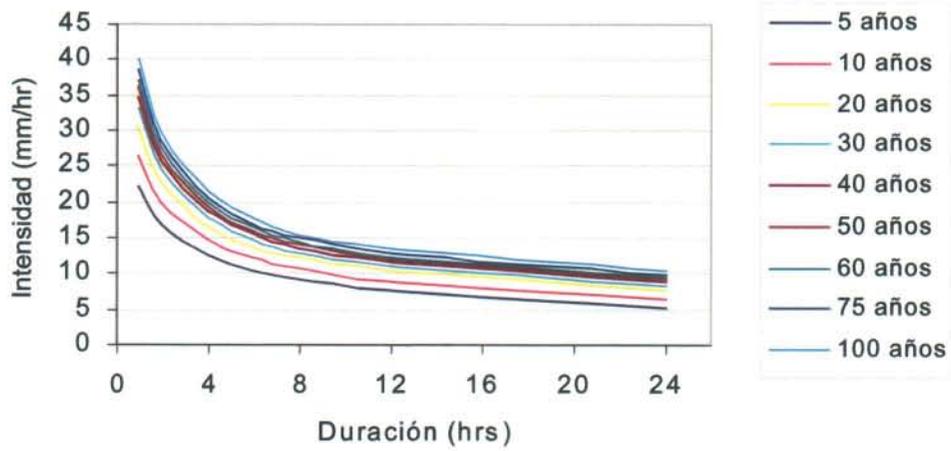
Curvas IDF estación Cerro El Padre.



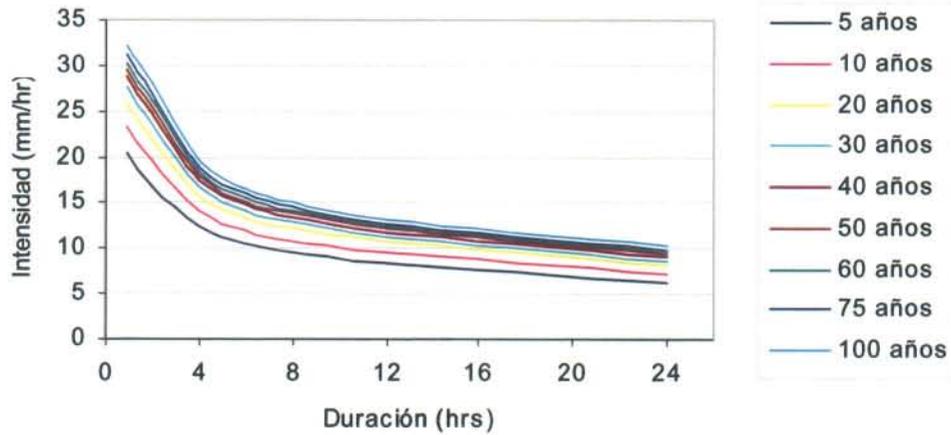
Curvas IDF estación Chillán Viejo.



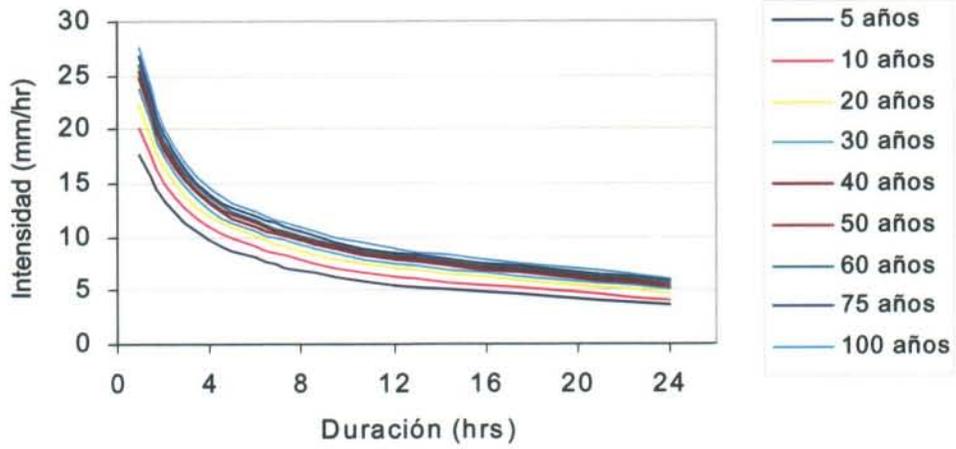
### Curvas IDF estación Embalse Coihueco



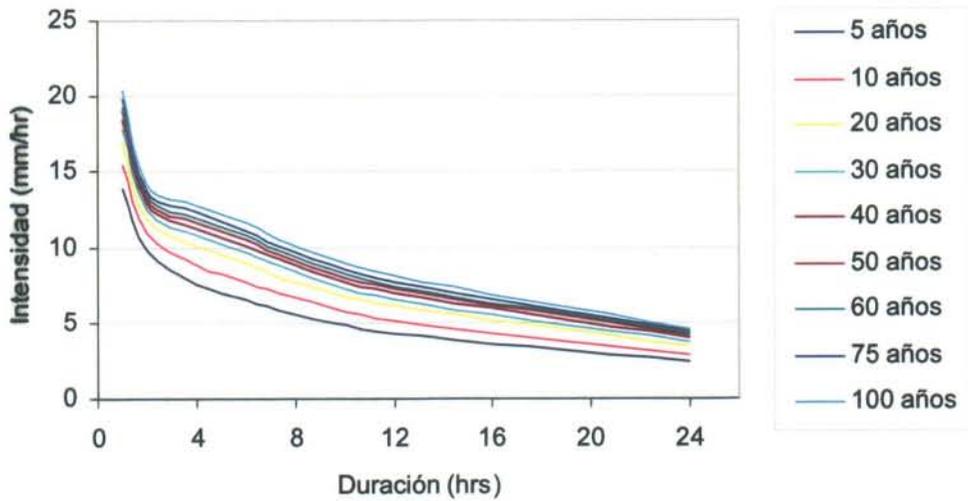
### Curvas IDF estación Embalse Diguillín



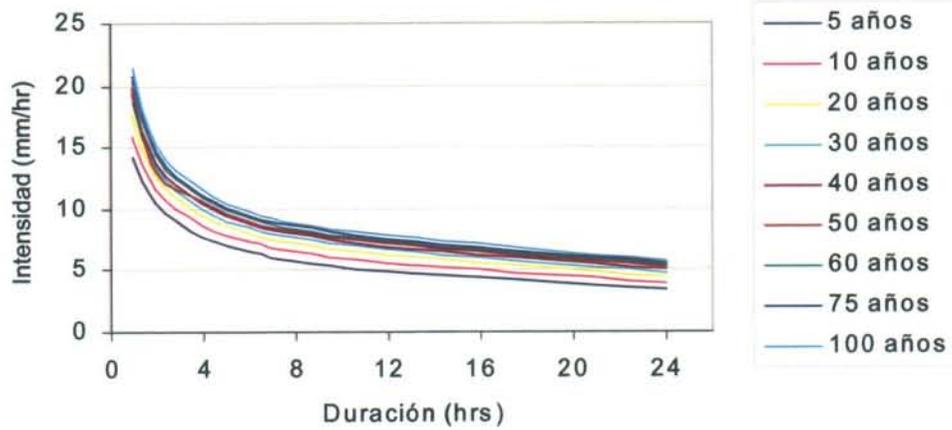
### Curvas IDF estación Quilaco



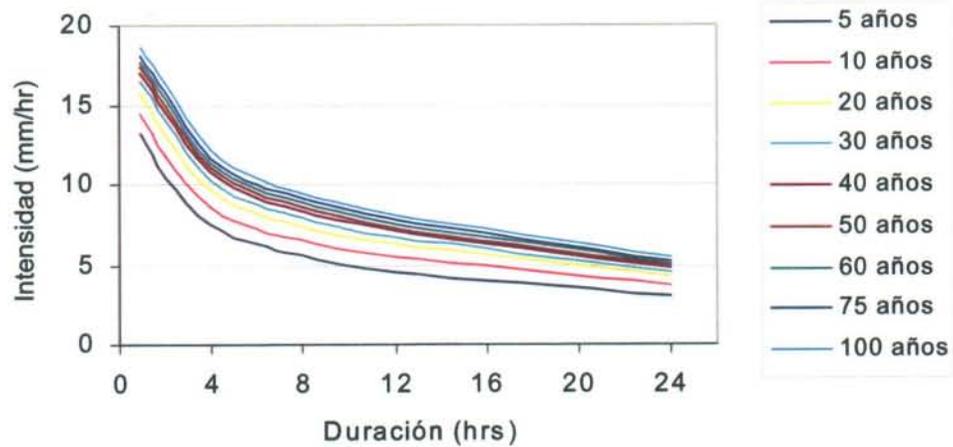
### Curvas IDF estación Curacautín



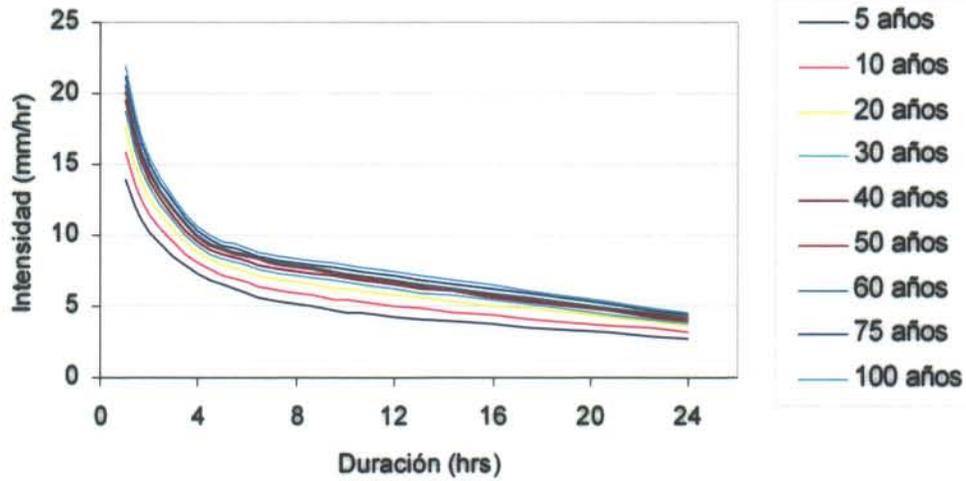
### Curvas IDF estación Pucón



### Curvas IDF estación Pueblo Nuevo



### Curvas IDF estación Traiguén



## **6.6. Determinación de Tablas de Uso Práctico.**

La determinación de las tablas de uso práctico, tiene como objetivo transferir el comportamiento de las intensidades desde estaciones pluviográficas, a estaciones pluviométricas. Estas tablas entregan la intensidad máxima esperada para cada duración y periodo de retorno establecidos. Las intensidades se entregan en las tablas 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 y 33.

Por otra parte, se entregan los valores del parámetro  $k$ . Este es un parámetro que relaciona la intensidad máxima horaria con la intensidad máxima en 24 horas, lo que permite extrapolar los valores de intensidad máxima a otras zonas cercanas que cuenten con estaciones pluviométricas. El valor  $k$  correspondiente a una duración y periodo de retorno determinado, al ser multiplicado por la intensidad máxima en 24 horas de una estación pluviométrica cercana, entregará el valor de la intensidad máxima esperada asociada a esa duración y ese periodo de retorno. Dicho parámetro se entrega en las tablas 34, 35, 36, 37 y 38; y en las tablas 39, 40, 41 y 42 para las Regiones octava y novena respectivamente.

### 6.6.1. Tablas de Uso Práctico

Tabla 25. Intensidades Máximas asociadas a distintos periodos de retorno. Estación Cerro El Padre.

Duración (horas)	Periodo de Retorno ( T )								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
	Intensidades de Precipitación (mm/h)								
1	19,83	22,42	24,90	26,33	27,34	28,11	28,75	29,52	30,52
2	14,93	16,72	18,43	19,42	20,11	20,65	21,09	21,62	22,31
4	11,48	12,77	14,01	14,72	15,23	15,62	15,93	16,32	16,82
6	9,79	10,93	12,02	12,65	13,09	13,43	13,71	14,05	14,49
8	8,88	10,00	11,07	11,69	12,13	12,46	12,74	13,07	13,51
12	7,77	8,82	9,82	10,39	10,80	11,11	11,36	11,68	12,08
24	5,23	6,69	7,51	7,98	8,31	8,56	8,77	9,03	9,36

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 26. Intensidades Máximas asociadas a distintos periodos de retorno. Estación Chillán Viejo.

Duración (horas)	Periodo de Retorno ( T )								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
	Intensidades de Precipitación (mm/h)								
1	18,33	20,92	23,40	24,83	25,84	26,61	27,25	28,02	29,02
2	12,99	14,62	16,19	17,09	17,72	18,21	18,61	19,10	19,73
4	9,01	10,00	10,95	11,49	11,88	12,17	12,42	12,71	13,09
6	7,40	8,24	9,05	9,51	9,84	10,09	10,30	10,55	10,88
8	6,49	7,30	8,07	8,52	8,83	9,08	9,27	9,52	9,83
12	5,26	5,96	6,64	7,03	7,31	7,52	7,69	7,91	8,18
24	3,61	4,29	4,94	5,31	5,57	5,78	5,94	6,14	6,40

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 27. Intensidades Máximas asociadas a distintos periodos de retorno. Estación Embalse Coihueco.

Duración (horas)	Periodo de Retorno ( T )								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
	Intensidades de Precipitación (mm/h)								
1	21,93	26,35	30,58	33,02	34,73	36,06	37,15	38,47	40,17
2	16,70	19,83	22,83	24,55	25,77	26,71	27,47	28,41	29,62
4	12,43	14,57	16,63	17,81	18,64	19,29	19,81	20,46	21,28
6	10,43	12,17	13,85	14,81	15,49	16,01	16,44	16,97	17,64
8	9,11	10,64	12,11	12,96	13,55	14,01	14,39	14,85	15,44
12	7,60	8,99	10,32	11,09	11,63	12,05	12,39	12,80	13,34
24	5,29	6,50	7,66	8,33	8,80	9,16	9,46	9,82	10,29

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 28. Intensidades Máximas asociadas a distintos periodos de retorno. Estación Embalse Diguillín.

Duración (horas)	Periodo de Retorno ( T )								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
	Intensidades de Precipitación (mm/h)								
1	20,28	23,17	25,93	27,53	28,65	29,52	30,23	31,09	32,20
2	16,87	19,55	22,12	23,60	24,64	25,45	26,10	26,91	27,94
4	12,39	14,13	15,81	16,77	17,45	17,97	18,40	18,93	19,60
6	10,59	12,04	13,42	14,22	14,78	15,21	15,57	16,00	16,56
8	9,55	10,89	12,17	12,91	13,43	13,84	14,17	14,57	15,08
12	8,38	9,56	10,68	11,33	11,78	12,14	12,42	12,78	13,23
24	6,31	7,26	8,17	8,69	9,06	9,35	9,58	9,87	10,23

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 29. Intensidades Máximas asociadas a distintos periodos de retorno. Estación Quilaco.

Duración (horas)	Periodo de Retorno ( T )								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
	Intensidades de Precipitación (mm/h)								
1	17,62	20,04	22,36	23,70	24,64	25,37	25,96	26,69	27,62
2	13,39	14,99	16,52	17,40	18,02	18,50	18,89	19,37	19,99
4	9,68	10,86	11,98	12,63	13,08	13,44	13,72	14,08	14,53
6	8,04	9,07	10,06	10,63	11,03	11,34	11,59	11,90	12,29
8	6,97	7,91	8,81	9,33	9,70	9,98	10,21	10,49	10,85
12	5,48	6,30	7,08	7,53	7,85	8,09	8,29	8,54	8,85
24	3,55	4,15	4,74	5,07	5,30	5,49	5,64	5,82	6,05

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 30. Intensidades Máximas asociadas a distintos periodos de retorno. Estación Curacautín.

Duración (horas)	Periodo de Retorno ( T )								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
	Intensidades de Precipitación (mm/h)								
1	13,98	15,55	17,05	17,91	18,52	18,99	19,37	19,84	20,44
2	9,81	10,88	11,91	12,50	12,92	13,24	13,51	13,83	14,24
4	7,54	8,81	10,03	10,74	11,23	11,61	11,93	12,31	12,80
6	6,51	7,74	8,92	9,60	10,08	10,45	10,75	11,12	11,59
8	5,51	6,63	7,70	8,32	8,76	9,09	9,37	9,70	10,14
12	4,25	5,18	6,07	6,58	6,94	7,22	7,44	7,72	8,08
24	2,35	2,89	3,41	3,71	3,92	4,09	4,22	4,38	4,59

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 31. Intensidades Máximas asociadas a distintos periodos de retorno. Estación Pucón.

Duración (horas)	Periodo de Retorno ( T )								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
	Intensidades de Precipitación (mm/h)								
1	14,18	15,92	17,60	18,56	19,24	19,76	20,19	20,72	21,39
2	10,44	11,59	12,70	13,34	13,79	14,13	14,42	14,76	15,21
4	7,74	8,65	9,53	10,04	10,39	10,67	10,89	11,17	11,52
6	6,52	7,31	8,07	8,50	8,81	9,05	9,24	9,48	9,78
8	5,73	6,50	7,23	7,65	7,95	8,18	8,37	8,60	8,89
12	4,83	5,55	6,25	6,66	6,94	7,16	7,34	7,56	7,84
24	3,35	3,93	4,48	4,79	5,02	5,19	5,33	5,50	5,72

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 32. Intensidades Máximas asociadas a distintos periodos de retorno. Estación Pueblo Nuevo.

Duración (horas)	Periodo de Retorno ( T )								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
	Intensidades de Precipitación (mm/h)								
1	13,09	14,43	15,71	16,45	16,97	17,38	17,71	18,11	18,62
2	10,35	11,80	13,18	13,98	14,54	14,97	15,33	15,76	16,32
4	7,20	8,40	9,71	10,33	10,77	11,10	11,38	11,71	12,15
6	6,27	7,70	8,23	8,78	9,17	9,47	9,72	10,02	10,40
8	5,61	6,55	7,45	7,97	8,34	8,62	8,85	9,13	9,49
12	4,58	5,44	6,26	6,73	7,06	7,31	7,52	7,78	8,11
24	3,04	3,64	4,21	4,54	4,77	4,95	5,09	5,27	5,50

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 33. Intensidades Máximas asociadas a distintos periodos de retorno. Estación Traiguén.

Duración (horas)	Periodo de Retorno ( T )								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
	Intensidades de Precipitación (mm/h)								
1	13,87	15,84	17,74	18,83	19,59	20,19	20,67	21,26	22,03
2	10,16	11,43	12,65	13,36	13,85	14,23	14,55	14,93	15,42
4	7,22	8,04	8,83	9,29	9,61	9,86	10,06	10,31	10,63
6	5,95	6,72	7,46	7,89	8,19	8,42	8,61	8,84	9,14
8	5,21	5,98	6,72	7,15	7,45	7,68	7,87	8,10	8,40
12	4,28	5,03	5,76	6,18	6,47	6,70	6,89	7,11	7,41
24	2,67	3,13	3,57	3,83	4,01	4,15	4,26	4,40	4,58

Fuente: Elaboración Propia.

### 6.6.2. Tablas de Parámetro k

Tabla 34. Parámetro k asociado a cada duración y periodo de retorno. Estación Cerro El Padre.

Duración (horas)	Parámetro k para cada periodo de retorno ( T )								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
1	3,40	3,35	3,32	3,30	3,29	3,28	3,28	3,27	3,26
2	2,56	2,50	2,46	2,43	2,42	2,41	2,40	2,40	2,38
4	1,97	1,91	1,87	1,85	1,83	1,82	1,82	1,81	1,80
6	1,68	1,63	1,60	1,59	1,58	1,57	1,56	1,56	1,55
8	1,52	1,50	1,48	1,47	1,46	1,46	1,45	1,45	1,44
12	1,33	1,32	1,31	1,30	1,30	1,30	1,30	1,29	1,29
24	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 35. Parámetro k asociado a cada duración y periodo de retorno. Estación Chillán Viejo.

<b>Duración (horas)</b>	<b>Parámetro k para cada periodo de retorno ( T )</b>								
	<b>T5</b>	<b>T10</b>	<b>T20</b>	<b>T30</b>	<b>T40</b>	<b>T50</b>	<b>T60</b>	<b>T75</b>	<b>T100</b>
<b>1</b>	5,08	4,88	4,74	4,68	4,64	4,60	4,59	4,56	4,53
<b>2</b>	3,60	3,41	3,28	3,22	3,18	3,15	3,13	3,11	3,08
<b>4</b>	2,50	2,33	2,22	2,16	2,13	2,11	2,09	2,07	2,05
<b>6</b>	2,05	1,92	1,83	1,79	1,77	1,75	1,73	1,72	1,70
<b>8</b>	1,80	1,70	1,63	1,60	1,59	1,57	1,56	1,55	1,54
<b>12</b>	1,46	1,39	1,34	1,32	1,31	1,30	1,29	1,29	1,28
<b>24</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 36. Parámetro k asociado a cada duración y periodo de retorno. Estación Embalse Coihueco.

<b>Duración (horas)</b>	<b>Parámetro k para cada periodo de retorno ( T )</b>								
	<b>T5</b>	<b>T10</b>	<b>T20</b>	<b>T30</b>	<b>T40</b>	<b>T50</b>	<b>T60</b>	<b>T75</b>	<b>T100</b>
<b>1</b>	4,15	4,05	3,99	3,96	3,95	3,94	3,93	3,92	3,90
<b>2</b>	3,16	3,05	2,98	2,95	2,93	2,92	2,90	2,89	2,88
<b>4</b>	2,35	2,24	2,17	2,14	2,12	2,11	2,09	2,08	2,07
<b>6</b>	1,97	1,87	1,81	1,78	1,76	1,75	1,74	1,73	1,71
<b>8</b>	1,72	1,64	1,58	1,56	1,54	1,53	1,52	1,51	1,50
<b>12</b>	1,44	1,38	1,35	1,33	1,32	1,32	1,31	1,30	1,30
<b>24</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 37. Parámetro k asociado a cada duración y periodo de retorno. Estación Embalse Diguillín.

Duración (horas)	Parámetro k para cada periodo de retorno ( T )								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
1	3,21	3,19	3,17	3,17	3,16	3,16	3,15	3,15	3,15
2	2,67	2,69	2,71	2,71	2,72	2,72	2,72	2,73	2,73
4	1,96	1,95	1,93	1,93	1,93	1,92	1,92	1,92	1,92
6	1,68	1,66	1,64	1,64	1,63	1,63	1,62	1,62	1,62
8	1,51	1,50	1,49	1,49	1,48	1,48	1,48	1,48	1,47
12	1,33	1,32	1,31	1,30	1,30	1,30	1,30	1,29	1,29
24	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 38. Parámetro k asociado a cada duración y periodo de retorno. Estación Quilaco.

Duración (horas)	Parámetro k para cada periodo de retorno ( T )								
	T5	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T75	T100
1	4,96	4,83	4,72	4,67	4,65	4,62	4,60	4,59	4,57
2	3,77	3,61	3,49	3,43	3,40	3,37	3,35	3,33	3,30
4	2,73	2,62	2,53	2,49	2,47	2,45	2,43	2,42	2,40
6	2,26	2,19	2,12	2,10	2,08	2,07	2,05	2,04	2,03
8	1,96	1,91	1,86	1,84	1,83	1,82	1,81	1,80	1,79
12	1,54	1,52	1,49	1,49	1,48	1,47	1,47	1,47	1,46
24	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 39. Parámetro k asociado a cada duración y periodo de retorno. Estación Curacautín.

<b>Duración (horas)</b>	<b>Parámetro k para cada periodo de retorno ( T )</b>								
	<b>T5</b>	<b>T10</b>	<b>T20</b>	<b>T30</b>	<b>T40</b>	<b>T50</b>	<b>T60</b>	<b>T75</b>	<b>T100</b>
<b>1</b>	5,95	5,38	5,00	4,83	4,72	4,64	4,59	4,53	4,45
<b>2</b>	4,17	3,76	3,49	3,37	3,30	3,24	3,20	3,16	3,10
<b>4</b>	3,21	3,05	2,94	2,89	2,86	2,84	2,83	2,81	2,79
<b>6</b>	2,77	2,68	2,62	2,59	2,57	2,56	2,55	2,54	2,53
<b>8</b>	2,34	2,29	2,26	2,24	2,23	2,22	2,22	2,21	2,21
<b>12</b>	1,81	1,79	1,78	1,77	1,77	1,77	1,76	1,76	1,76
<b>24</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 40. Parámetro k asociado a cada duración y periodo de retorno. Estación Pucón.

<b>Duración (horas)</b>	<b>Parámetro k para cada periodo de retorno ( T )</b>								
	<b>T5</b>	<b>T10</b>	<b>T20</b>	<b>T30</b>	<b>T40</b>	<b>T50</b>	<b>T60</b>	<b>T75</b>	<b>T100</b>
<b>1</b>	4,23	4,05	3,93	3,87	3,83	3,81	3,79	3,77	3,74
<b>2</b>	3,12	2,95	2,83	2,78	2,75	2,53	2,71	2,68	2,66
<b>4</b>	2,31	2,20	2,13	2,10	2,07	2,06	2,04	2,03	2,01
<b>6</b>	1,95	1,86	1,80	1,77	1,75	1,74	1,73	1,72	1,71
<b>8</b>	1,71	1,65	1,61	1,60	1,58	1,58	1,57	1,56	1,55
<b>12</b>	1,44	1,41	1,40	1,39	1,38	1,38	1,38	1,37	1,37
<b>24</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 41. Parámetro k asociado a cada duración y periodo de retorno. Estación Pueblo Nuevo.

<b>Duración (horas)</b>	<b>Parámetro k para cada periodo de retorno ( T )</b>								
	<b>T5</b>	<b>T10</b>	<b>T20</b>	<b>T30</b>	<b>T40</b>	<b>T50</b>	<b>T60</b>	<b>T75</b>	<b>T100</b>
<b>1</b>	4,31	3,96	3,73	3,62	3,56	3,51	3,48	3,44	3,39
<b>2</b>	3,40	3,24	3,13	3,08	3,05	3,02	3,01	2,99	2,97
<b>4</b>	2,47	2,37	2,31	2,28	2,26	2,24	2,24	2,22	2,21
<b>6</b>	2,06	2,00	1,95	1,93	1,92	1,91	1,91	1,90	1,89
<b>8</b>	1,85	1,80	1,77	1,76	1,75	1,74	1,74	1,73	1,73
<b>12</b>	1,51	1,49	1,49	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,47
<b>24</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 42. Parámetro k asociado a cada duración y periodo de retorno. Estación Traiguén.

<b>Duración (horas)</b>	<b>Parámetro k para cada periodo de retorno ( T )</b>								
	<b>T5</b>	<b>T10</b>	<b>T20</b>	<b>T30</b>	<b>T40</b>	<b>T50</b>	<b>T60</b>	<b>T75</b>	<b>T100</b>
<b>1</b>	5,19	5,06	4,97	4,92	4,89	4,87	4,85	4,83	4,81
<b>2</b>	3,81	3,65	3,54	3,49	3,45	3,43	3,42	3,39	3,37
<b>4</b>	2,70	2,57	2,47	2,43	2,40	2,38	2,36	2,34	2,32
<b>6</b>	2,23	2,15	2,09	2,06	2,04	2,03	2,02	2,01	2,00
<b>8</b>	1,95	1,91	1,88	1,87	1,86	1,85	1,85	1,84	1,83
<b>12</b>	1,60	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,62	1,62	1,62
<b>24</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: Elaboración Propia.

## 6.7. Determinación de las expresiones matemáticas para las curvas IDF y Análisis Estadístico.

Posterior a la generación de las curvas IDF en forma gráfica, a través del método de Témez (1978), se realizó el ajuste de los valores de intensidad máxima a la expresión matemática de Bernard y Yarnell, la cual relaciona la intensidad con una duración y periodo de retorno determinado.

La expresión matemática de Bernard y Yarnell es la siguiente:

$$I = \frac{k * T^m}{d^n}$$

Donde:

I = Intensidad de Precipitación en mm/h.

T = Periodo de retorno en años.

d = Duración en horas.

m y n = Parámetros de regresión.

Transformando dicha expresión por medio de la aplicación de logaritmo, se obtiene un modelo de regresión lineal múltiple, de la forma:

$$\log I = \log k + m \log T - n \log d$$

- Décima de hipótesis para los coeficientes de regresión:

$H_0 : B = 0$  (El coeficiente de regresión poblacional es cero)

$H_a : B \neq 0$  (El coeficiente de regresión poblacional es distinto de cero)

- Décima de hipótesis para la constante de regresión:

$H_0 : A = 0$  (El intercepto poblacional es cero)

$H_a : A \neq 0$  (El intercepto poblacional es distinto de cero)

Remitiéndose a los resultados entregados en los apéndices, se puede verificar que los valores  $-p$  asociados a los coeficientes  $a_1$  y  $a_2$  de cada modelo son cero. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula para todos los casos, e indica que las variables explicativas tienen una relación lineal entre ellas.

Así también, el valor  $-p$  relacionado a la constante, es cero en todos los modelos desarrollados, lo que indica el rechazo de la hipótesis nula.

### 6.7.1 Supuestos de Regresión

Todo modelo de regresión lineal debe cumplir con tres supuestos básicos, para que el ajuste de los datos a dicho modelo tenga validez estadística. Si bien para los modelos estimativos no es necesario que se cumpla con los tres, basta con la normalidad y homocedasticidad de los residuos; en este caso se cumplió con todos ellos en gran parte de las estaciones, lo que sin duda da más seguridad a la hora de utilizar esta información.

Tabla 43. Supuestos de regresión para las estaciones de la VIII Región.

<b>Estación</b>	<b>Cerro El Padre</b>	<b>Chillán Viejo</b>	<b>Embalse Coihueco</b>	<b>Embalse Diguillín</b>	<b>Quilaco</b>
<b>Normalidad</b>	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
<b>Homocedasticidad</b>	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
<b>No Autocorrelación</b>	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple	No cumple	No cumple

Tabla 44. Supuestos de regresión para las estaciones de la IX Región.

<b>Estación</b>	<b>Curacautín</b>	<b>Pucón</b>	<b>Pueblo Nuevo</b>	<b>Traiguén</b>
<b>Normalidad</b>	Sí cumple	Sí cumple	No cumple	Sí cumple
<b>Homocedasticidad</b>	No cumple	Sí cumple	Sí cumple	Sí cumple
<b>No Autocorrelación</b>	No cumple	Sí cumple	No cumple	Sí cumple

### 6.7.2. Análisis de Correlación

Por otra parte, dentro del análisis de correlación se encuentran indicadores de gran importancia en todo modelo; estos son el Error Estándar de Estimación, el Error Medio Absoluto y el Estadístico Durbin & Watson. Con respecto a este último, en los casos donde el valor indica la existencia de autocorrelación se aplicó el método iterativo  $\rho$ , como medida correctiva. Sin embargo en algunos casos se optó por no ejecutarlo, debido a que su aplicación incidía negativamente sobre la normalidad de los residuos. Además, se debe hacer notar que los valores del estadístico Durbin & Watson que aquí se entregan corresponden al valor obtenido después de las transformaciones hechas a los modelos en los casos que corresponda (ver apéndices). Los valores asociados a estos indicadores se entregan en las dos tablas siguientes:

Tabla 45. Análisis de correlación para las estaciones de la VIII Región.

<b>Estación</b>	<b>Cerro El Padre</b>	<b>Chillán Viejo</b>	<b>Embalse Coihueco</b>	<b>Embalse Diguillín</b>	<b>Quilaco</b>
<b>E.M.A.</b>	0,0115	0,0140	0,0085	0,0109	0,0120
<b>E.E.E.</b>	0,0147	0,0180	0,0108	0,0151	0,0149
<b>D – W</b>	1,86	1,79	2,05	2,49	1,09

Tabla 46. Análisis de correlación para las estaciones de la IX Región.

<b>Estación</b>	<b>Curacautín</b>	<b>Pucón</b>	<b>Pueblo Nuevo</b>	<b>Traiguén</b>
<b>E.M.A.</b>	0,0453	0,0091	0,020	0,0156
<b>E.E.E.</b>	0,0527	0,0137	0,025	0,0213
<b>D – W</b>	1,28	1,76	1,5	2,02

Donde:

- E.M.A. = Error Medio Absoluto.
- E.E.E. = Error Estándar de Estimación.
- D – W = Estadístico Durbin & Watson.

Luego de validar los modelos a través de los supuestos y hacer las correcciones a los coeficientes de regresión, en el caso de los modelos transformados por medio del método iterativo, y aplicando antilogaritmo a la constante k, se logra la ecuación matemática que relaciona la intensidad con la duración y la frecuencia en una familia de curvas para todas las estaciones en estudio. Las siguientes tablas muestran dichas ecuaciones:

Tabla 47. Modelos matemáticos para las estaciones de la Región del Biobío.

<b>Estación</b>	<b>Modelo</b>
<b>Cerro El Padre</b>	$(72,98 * T^{0,14501}) / d^{0,378045}$
<b>Chillán Viejo</b>	$(104,93 * T^{0,149356}) / d^{0,48839}$
<b>Embalse Coihueco</b>	$(102,24 * T^{0,187623}) / d^{0,437023}$
<b>Embalse Diguillín</b>	$(77,62 * T^{0,154483}) / d^{0,375219}$
<b>Quilaco</b>	$(102,33 * T^{0,1483}) / d^{0,4788}$

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 48. Modelos matemáticos para las estaciones de la Región de la Araucanía.

<b>Estación</b>	<b>Modelo</b>
<b>Curacautín</b>	$(66,07 * T^{0,1783}) / d^{0,4557}$
<b>Pucón</b>	$(60,26 * T^{0,1436}) / d^{0,4168}$
<b>Pueblo Nuevo</b>	$(52,48 * T^{0,1644}) / d^{0,4056}$
<b>Traiguén</b>	$(79,43 * T^{0,1542}) / d^{0,4819}$

Fuente: Elaboración Propia.

Donde:

I = Intensidad de precipitación en mm/h.

T = Periodo de retorno en años.

d = Duración en minutos.

### 6.7.3. Medidas de Bondad de Ajuste

En esta etapa, los modelos fueron sometidos a dos pruebas de bondad de ajuste. De estas, la primera corresponde al coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado y la segunda corresponde a la prueba no paramétrica U de Mann – Whitney. Los resultados de ambas se entregan a continuación, junto al modelo propuesto.

Tabla 49. Modelos propuestos y pruebas de bondad de ajuste. Región del Biobío.

Estación	Modelo	$R^2$ ajustado	U	Ajuste
Cerro El Padre	$I = (72,98 * T^{0,14501}) / d^{0,378045}$	0,993	-0,0220	Acepta $H_0$
Chillán Viejo	$I = (104,93 * T^{0,149356}) / d^{0,48839}$	0,993	-0,0464	Acepta $H_0$
Embalse Coihueco	$I = (102,24 * T^{0,187623}) / d^{0,437023}$	0,997	-0,0024	Acepta $H_0$
Embalse Diguillín	$I = (77,62 * T^{0,154483}) / d^{0,375219}$	0,993	-0,0171	Acepta $H_0$
Quilaco	$I = (102,33 * T^{0,1483}) / d^{0,4788}$	0,995	-0,1147	Acepta $H_0$

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 50. Modelos propuestos y pruebas de bondad de ajuste. Región de La Araucanía.

Estación	Modelo	$R^2$ ajustado	U	Ajuste
Curacautín	$I = (66,07 * T^{0,1783}) / d^{0,4557}$	0,941	-0,6660	Acepta $H_0$
Pucón	$I = (60,26 * T^{0,1436}) / d^{0,4168}$	0,996	-0,0415	Acepta $H_0$
Pueblo Nuevo	$I = (52,48 * T^{0,1644}) / d^{0,4056}$	0,983	-0,1878	Acepta $H_0$
Traiguén	$I = (79,43 * T^{0,1542}) / d^{0,4819}$	0,991	-0,1099	Acepta $H_0$

Fuente: Elaboración Propia.

Donde:

- I = Intensidad de precipitación en mm/h.
- T = Periodo de Retorno en años.
- d = Duración en minutos.
- $R^2$  = Coeficiente de Determinación ajustado.
- U = Prueba U de Mann – Whitney, con un nivel de confianza del 95%.

## **7. Análisis de Resultados**

### **7.1. Selección y Recolección de la información pluviográfica.**

Para este trabajo se seleccionaron las cinco estaciones pluviográficas existentes en la Región del Biobío, y cuatro de las seis existentes en la Región de la Araucanía, información que fue facilitada por la Dirección General de Aguas, entidad perteneciente al Ministerio de Obras Públicas.

El criterio de selección de las estaciones se basó en la cantidad de años de registro que cada una poseía, considerando como mínimo un registro de 10 años. En el caso de la Región del Biobío, la información se entregó en formato digital (planilla de cálculo) hasta el año 1992; y en pluviogramas a partir del año 1993. Por otra parte, para la Región de la Araucanía esta información se entregó sólo en pluviogramas.

En cuanto a la calidad de la información, en la Región del Biobío ésta se considera de muy buena calidad ya que no hay vacíos de información; asimismo los pluviogramas se encuentran en muy buenas condiciones (lo que hace fácil su medición o lectura) y a través de éstos se puede inferir que los pluviógrafos se encuentran en buen estado y cuentan con una buena mantención.

Al contrario de la situación anterior, los pluviogramas pertenecientes a la Región de la Araucanía se encuentran en condiciones poco favorables para este tipo de trabajos ya que por un lado, su estado de conservación no es óptimo y cuentan con algunos vacíos y por otro, muestran que los pluviógrafos no funcionan de la mejor manera y que la mantención que se les realiza a éstos no es probablemente la más adecuada. Especial es el caso de la estación Curacautín, ya que como se expuso en el punto 6.5, la nota textual hace referencia a que el instrumento de medición nunca ha sido posible de hacer funcionar en buenas

condiciones. Debido a lo anterior, los datos extraídos probablemente no reflejen fielmente la realidad, es esta última estación.

## 7.2. Selección de intensidades máximas.

En las tablas 1 y 2 se entregan los valores para las intensidades máximas, en su rango máximo y mínimo, encontradas para cada una de las estaciones en estudio.

Tabla 1. Rango de intensidades máximas. Estaciones Región del BíoBío.

Estación	Intensidades máximas de precipitación (mm/h)			
	Valor máximo	Año	Valor mínimo	Año
Cerro El Padre	28,80	1980	1,60	1985
Chillán Viejo	22,10	2002	1,20	1975
Embalse Coihueco	36,50	2000	0,90	1989
Embalse Diguillín	30,20	1974	2,80	1996
Quilaco	26,00	1970	0,80	1983

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 2. Rango de intensidades máximas. Estaciones Región de la Araucanía.

Estación	Intensidades máximas de precipitación (mm/h)			
	Valor máximo	Año	Valor mínimo	Año
Curacautín	15,30	1994	0,80	1996
Pucón	18,90	1990	1,40	1999
Pueblo Nuevo	14,30	1992	0,60	2000
Traiguén	20,4	2003	1,00	1994

Fuente: Elaboración Propia.

Los valores entregados en la tabla 1 reflejan lo esperado, ya que todas las intensidades máximas en su rango máximo, se registraron para duraciones de 1 hora. El

valor más alto corresponde a la estación Embalse Coihueco con una magnitud de 36,5 mm/h, y como su nombre lo indica presenta un cuerpo de agua cercano. La estación Chillán Viejo presenta el valor más bajo, el que alcanza una magnitud de 22,1 mm/h. Por otra parte, cabe mencionar que la estación Embalse Diguillín no presenta masa de agua importante cercana a sus instalaciones; se hace mención a esto, debido a que la magnitud de sus intensidades y su nombre pueden inducir al error de pensar que un cuerpo de agua cercano incide en los valores alcanzados. Así, dichas magnitudes de intensidad alcanzadas en ésta última estación pueden deberse a otros factores, como por ejemplo la altitud.

Con respecto a las intensidades máximas en su rango mínimo, se puede observar que todas ellas están asociadas a 24 horas de duración, lo que concuerda con lo planteado por Témez (1978), que a mayores duraciones, menor es la magnitud de la intensidad.

Por otra parte, si bien para el caso de las estaciones de la tabla 2 se cumple con que las intensidades máximas pertenecen a la duración de 1 hora, es notable que sus magnitudes sean menores a las de la región anterior, incluso en el caso de la estación Pucón, la cual presenta una gran masa de agua cercana. Comparando esta última con cualquiera de las pertenecientes a la región del Biobío, se observa que no supera a ninguna en magnitud, lo cual no concuerda con lo encontrado por autores como Macaya (2004), Pavéz (2004) y Cornejo (2004), quienes plantean que las estaciones cercanas a cuerpos de agua presentan una mayor intensidad.

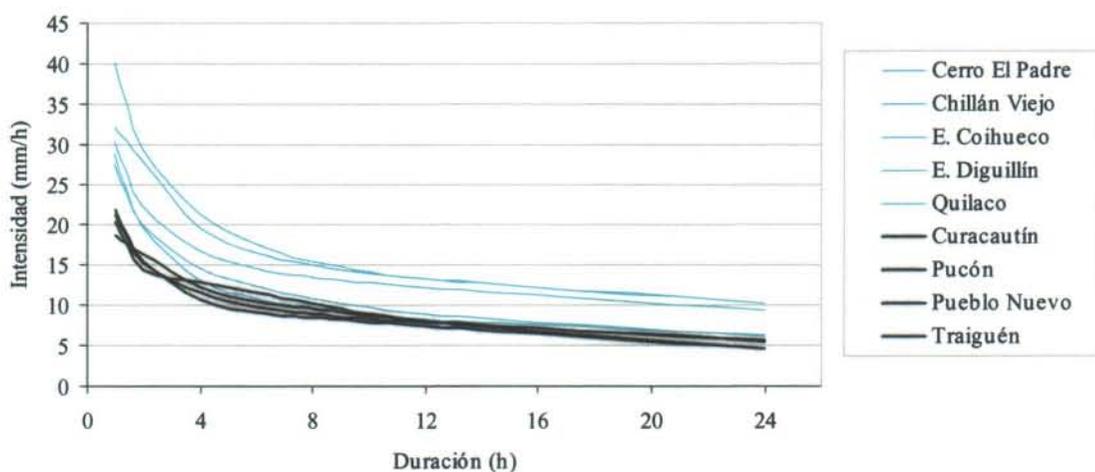
### **7.3. Diseño de las Curvas IDF.**

Siguiendo la metodología propuesta por Témez (1978), se generaron una serie de nueve curvas para el conjunto de las nueve estaciones pluviográficas correspondientes a las regiones del Biobío y la Araucanía. Las curvas obtenidas para las estaciones en general, se ajustaron a la forma exponencial negativa esperada, ajuste que fue validado a través del estadístico de Kolmogorov-Smirnov y el Coeficiente de determinación  $R^2$ . En el caso de la

estación Curacautín, ésta presenta defectos en la gráfica a pesar de que el ajuste es válido estadísticamente.

Para poder entregar un análisis más completo de las curvas IDF y su comportamiento, es necesario comparar los grupos de curvas asociados a ambas regiones, En la siguiente gráfica se aprecian las curvas IDF asociadas a 100 años de periodo de retorno y cada duración definida, para todas las estaciones en conjunto diferenciadas por región.

Gráfico 1. Comparación de curvas IDF pertenecientes a las regiones del Biobío y la Araucanía



En el gráfico 1, se observa que las curvas IDF pertenecientes a la región del Biobío, presentan una mayor magnitud en todas las estaciones y para casi todas las duraciones determinadas. En cuanto a lo antes dicho, si se supone que las intensidades de precipitación aumentan a medida que se avanza de norte a sur, o sea latitudinalmente, en este caso dicho supuesto no se demuestra. Sin embargo, las estaciones ubicadas dentro de la Región de la Araucanía, pueden estar influenciadas por los pobres registros históricos y la calidad deficiente de estos mismos. No obstante, este descenso en las intensidades máximas puede

también ser producto del cambio de clima que en esa zona se produce, el cual tendría un efecto sobre las intensidades de precipitación.

#### **7.4. Modelos de Regresión Lineal Múltiple y pruebas de Bondad de ajuste.**

Los resultados generados por el modelo analítico de Bernard y Yarnel, reflejan la conveniencia de usarlo para relacionar la intensidad, duración y frecuencia en una ecuación matemática única.

El modelo utilizado para ajustar los datos provenientes del método gráfico, presenta una buena calidad de ajuste para todas las estaciones. En cuanto a los supuestos básicos de regresión lineal múltiple, como se aprecia en las tablas 43 y 44 del punto 6.7.1, se cumplen para gran parte de las estaciones.

Las estaciones más débiles en cuanto al cumplimiento de dichos supuestos son Curacautín y Pueblo Nuevo, ambas pertenecientes a la región de la Araucanía, las que no cumplen los supuestos de Homocedasticidad y No autocorrelación, en el caso de la primera, y de Normalidad y No autocorrelación en el caso de la segunda. Sin embargo, debido a la naturaleza estimativa de estos modelos no es imperiosamente necesario que éstos se cumplan (Gujarati, 1992).

Por otra parte, en las tablas 45 y 46 del punto 6.7.1 se presenta el Error Estándar de Estimación, el cual muestra el margen de error que posee el modelo asociado a cada estación; dicho error varía entre 0,0527 para Curacautín y 0,0108 para Embalse Coihueco, lo que implica errores marginales en el cálculo de intensidades máximas y estimaciones muy cercanas a los valores reales.

Con respecto a las medidas de bondad de ajuste, éstas presentan valores significativos para todas las estaciones (Tablas 49 y 50 del punto 6.7.1). Los valores del

Coefficiente de determinación  $R^2$  ajustado van de un mínimo de 0,941 para Curacautín a un máximo de 0,997 para Embalse Coihueco. Por otra parte, la prueba U de Mann-Whitney acepta el ajuste del modelo para todas las estaciones con un nivel de confianza de 95%. Por tanto, ambas pruebas validan el modelo de Bernard y Yarnel para el conjunto de estaciones en estudio.

### **7.5. Análisis de Intensidades Máximas**

La revisión bibliográfica expuesta en el punto 4 de esta memoria, hace mención a los resultados obtenidos por diversos autores que han construido curvas IDF en otras regiones de Chile, entre ellos Macaya (2004) y Cornejo (2004). Estos autores concuerdan en que las estaciones cercanas a cuerpos de agua arrojan valores sobresalientes en comparación con las demás estaciones pertenecientes a la región en estudio, dado un periodo de retorno y una duración. Por otro lado, Macaya (2004) en un análisis de intensidades máximas, realizado para las estaciones pertenecientes a las regiones de Valparaíso, Metropolitana, de O'Higgins y del Maule; no encontró ningún patrón de comportamiento de dichas intensidades, tanto latitudinal como longitudinalmente.

A partir de información obtenida de los trabajos anteriores e incluida en la presente memoria, se pretende obtener un patrón de comportamiento de las intensidades máximas y comprobar el efecto de los cuerpos de agua sobre las intensidades máximas, sobre una zona que va desde la Región de Coquimbo hasta la Región de la Araucanía.

### 7.5.1. Patrón de Comportamiento y efecto producido por la presencia de cuerpos de agua, sobre las intensidades máximas.

Para determinar y comprobar el efecto producido por la presencia de cuerpos de agua, sobre las intensidades máximas de precipitación, se realizó un análisis gráfico sobre las intensidades máximas asociadas a un periodo de retorno de 100 años y duraciones de 1 y 24 horas, comparando ambos gráficos con la presencia y ausencia de las estaciones cercanas a dichos cuerpos. Las estaciones se ordenan de acuerdo a su latitud en forma creciente, o sea, de norte a sur.

Gráfico 2. Intensidades de Precipitación para un periodo de retorno de 100 años, considerando las estaciones cercanas a cuerpos de agua, ya sea lago o embalse.

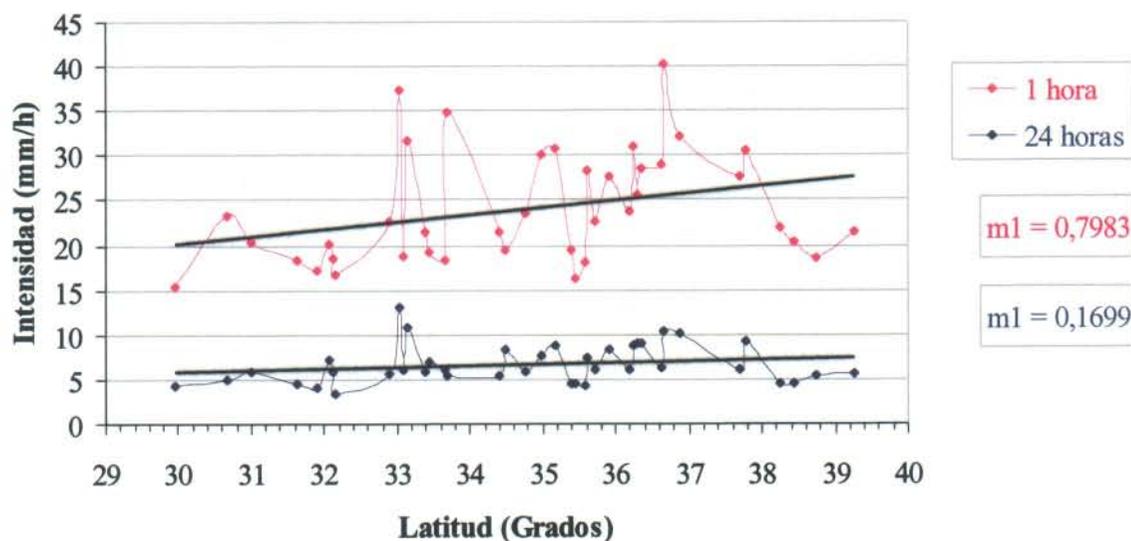
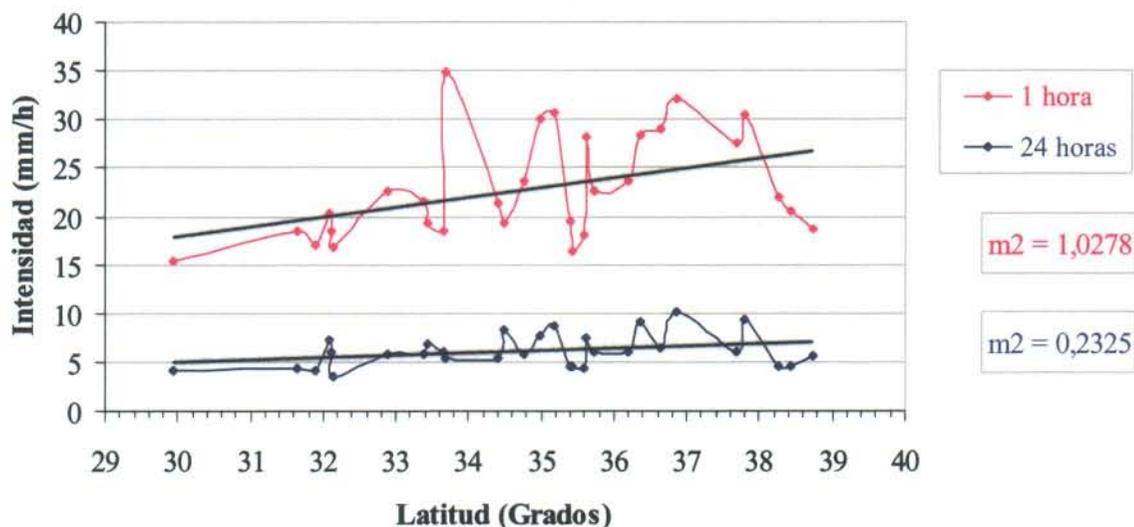


Gráfico 3. Intensidades de Precipitación para periodo de retorno 100 años, sin considerar las estaciones cercanas a cuerpos de agua.



De los gráficos anteriormente expuestos, se desprende que existe un patrón de comportamiento de las intensidades máximas. Estas se distribuyen de forma creciente en cuanto a su magnitud, de acuerdo a su latitud; o sea, a medida que aumenta la latitud aumenta la magnitud de la intensidad, para cualquier duración definida.

Si bien las intensidades aumentan de norte a sur, este aumento es más drástico a menores duraciones. Esto, independiente de la presencia o ausencia de cuerpos de agua.

El efecto que los embalses o lagos, ya sean naturales o artificiales, tienen sobre las intensidades máximas, queda de manifiesto al observar la pendiente de las rectas de tendencia sobre las gráficas. La pendiente de la recta con presencia de embalses es menor a la pendiente de la recta en ausencia de cuerpos de agua, lo que lleva a concluir que dichos cuerpos de agua provocan que el aumento de la intensidad, a medida que se avanza en latitud, sea menos drástico.

## **8. Conclusiones y Recomendaciones**

### **8.1. Conclusiones.**

A partir de los resultados del análisis gráfico propuesto por Témez (1978) y el método analítico de Bernard y Yarnell, para las regiones del Biobío y de la Araucanía, se entregan las siguientes conclusiones:

- El estudio realizado demuestra la factibilidad de generar curvas IDF en las regiones del centro sur del país, a partir de registros pluviográficos de diversa longitud, utilizando la metodología desarrollada por Témez (1978).
- El modelo matemático de Bernard y Yarnell, entrega un nivel de ajuste excelente para las estaciones de la Región del Biobío y significativo para las regiones de la Araucanía. Esto hace posible la estimación de intensidades máximas de precipitación, y para una duración y periodo de retorno determinado, con un alto grado de precisión.
- Se demostró, a través de la construcción de las curvas IDF, que a menores duraciones la magnitud de la intensidad es mayor y, que existe una relación entre la intensidad, la duración y la frecuencia (periodo de retorno), lo cual era esperado.
- En cuanto a las intensidades máximas para las distintas estaciones, es notable que en el caso de la Región del Biobío, la estación que presenta magnitudes mayores son las que se encuentran cercanas a masas de agua; ésta es Embalse Coihueco, independiente de su ubicación geográfica y altitud.
- En el caso de la Región de la Araucanía, las intensidades estimadas son bastante similares entre las estaciones existentes en esta región, y al contrario de lo que sucede en la Región del Biobío, no se observa un aumento significativo de ésta en la estación

Pucón, la cual se encuentra muy cercana a un lago de grandes dimensiones. Por otra parte, las curvas IDF generadas presentan una tendencia similar a lo esperado; sólo la estación Curacautín no se ajustó al modelo original de las curvas IDF (gráficamente), debido a que el instrumento de medición presenta numerosas fallas a lo largo de su operación.

- El análisis de intensidades máximas arroja un comportamiento de éstas que es ascendente en magnitud de norte a sur. Además, este análisis concluye que la presencia de cuerpos de agua, aumenta la magnitud de las intensidades, y con ello provoca que el aumento latitudinal de éstas sea más gradual.

## **8.2. Recomendaciones.**

- Se recomienda el uso de las funciones, para evitar la lectura de intensidades en la gráfica respectiva. Además se recomienda la utilización de las tablas que contienen los valores del parámetro  $k$ , para las distintas duraciones y periodos de retorno. Esto con el fin de estimar precipitaciones máximas en lugares cercanos a las estaciones contenidas en este estudio, y que sólo cuenten con datos pluviométricos.
- Se recomienda además, el uso de los modelos matemáticos ajustados en este estudio, los cuales pueden también ser usados en lugares cercanos a las estaciones de origen. Dichos modelos son los siguientes:

Región del Biobío.

Cerro El Padre

$$I = \frac{72,98 * T^{0,14501}}{d^{0,378045}}$$

Chillán Viejo

$$I = \frac{104,93 * T^{0,149356}}{d^{0,48839}}$$

Embalse Coihueco

$$I = \frac{102,24 * T^{0,187623}}{d^{0,437023}}$$

Embalse Diguillín

$$I = \frac{77,62 * T^{0,154483}}{d^{0,375219}}$$

Quilaco

$$I = \frac{102,33 * T^{0,1483}}{d^{0,4788}}$$

Región de la Araucanía.

Curacautín.

$$I = \frac{66,07 * T^{0,1783}}{d^{0,4557}}$$

Pucón

$$I = \frac{60,26 * T^{0,1436}}{d^{0,4168}}$$

Pueblo Nuevo

$$I = \frac{52,48 * T^{0,1644}}{d^{0,4056}}$$

Traiguén

$$I = \frac{79,43 * T^{0,1542}}{d^{0,4819}}$$

- Se recomienda considerar los modelos generados para las estaciones seleccionadas, en los estudios que realizan los organismos técnicos, privados y estatales ligados a la hidrología, ya que ellos fueron ajustados a partir de información confiable y los resultados fueron óptimos, en cuanto a calidad de ajuste.

- Es recomendable que en cierta cantidad de años más, este trabajo sea actualizado, incorporando las nuevas estaciones pertenecientes a la Región del Bío-bío y la Araucanía, en particular la estación Curacautín, con el fin de mejorar los resultados obtenidos. Así se dispondrá de modelos más confiables en toda la zona de influencia.
- Finalmente, se recomienda realizar un estudio más acabado acerca de la distribución geográfica de las intensidades y los efectos que tienen sobre ellas la presencia de cuerpos de agua, dado que dichos efectos pueden ser relevantes para el diseño de ingeniería local.

## 9. Bibliografía

- ABARZA, A. 2001. Análisis comparativo de las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF), en seis estaciones pluviográficas distribuidas en la zona cordillerana andina y el valle central de la VII Región de Chile. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Talca. Chile. 105 p.
- APARICIO, F. 1997. Fundamentos de hidrología de superficie. Balderas. Limusa. D.F. México. 303 p.
- CHEN, C. L., 1983. Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formulas. Journal Hydraulic Engineering, ASCE, 109(12), 1603-1621 p.
- CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYNS, L. 1994. Hidrología Aplicada. Santa Fé de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. 584 p.
- CID, L.; MORA, C.; VALENZUELA, M. 1990. Estadística Matemática. Probabilidades e inferencia estadística. Universidad de Concepción. Chile 319 p.
- CORNEJO, M. 2004. Determinación gráfica y matemática de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia en siete estaciones pluviográficas de la Región de Coquimbo. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. 82 p.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Disponible en <http://www.dga.cl> . Consultado el 20 de enero de 2005.
- DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. Climas de Chile. Disponible en <http://www.meteochile.cl/climas.htm>. Consultado el 25 de julio de 2005.

- ESPÍLDORA, B. 1971. Estimación de curvas intensidad-duración-frecuencia mediante coeficientes generalizados. Memorias I Coloquio Nacional Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Chile. 274 p.
- FERNANDEZ, F. 1995. Manual de Climatología Aplicada. Clima, Medio Ambiente y Planificación. Primera Edición. Madrid. España 285 p.
- FERRER, F. 1993. Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas. Madrid, España. 75 p.
- GUEVARA, E. 1997. Manejo integrado de cuencas. Documento de referencia para los países de América Latina. Santiago. Chile. 542 p.
- GUJARATI, D. 1992. Econometría. Segunda edición. McGraw – Hill Latinoamericana. D.F. México. 597 p.
- I.N.E. Instituto Nacional de Estadística. Disponible en <http://www.ine.cl/21-regiones/C1101.XLS> . Consultado el 05 de enero de 2005.
- LLAMAS, J. 1993. Hidrología general. Principios y aplicaciones. Madrid, España. 635 p.
- MACAYA, K. 2004. Construcción de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para estaciones pluviográficas de las regiones de Valparaíso y de O'Higgins, y análisis comparativo con algunas estaciones de las regiones Metropolitana y del Maule. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Talca. Chile.
- MAIDMENT, D. 1993. Handbook of hydrology. Editorial Mc Graw-Hill. New York, USA. 1.325 p.

- MEINZER, O. 1949. Hydrology. Dover publications, inc. New York. USA. 712 p.
- MENDENHALL, W.; SINCICH, T. 1997. Probabilidad y Estadística para ingeniería y ciencias. Editorial Prentice-Hall. D.F., México. 1182 p.
- MICROSOFT ENCARTA. 2004. Mapa Físico-Político de Chile. USA.
- MILLER, I.; FREUND J.; JOHNSON R. 1992. Probabilidad y Estadística para Ingenieros. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, Mexico. 624 p.
- MINTEGUI, J; ROBREDO, J. 1993. Métodos para la estimación de los efectos torrenciales en una cuenca hidrográfica. Madrid, España. 88 p.
- PAVEZ, M. Determinación Gráfica y Matemática de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en seis estaciones pluviográficas de la Región del Maule. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Talca. Chile.
- PINILLA, G. 2002. Solución de la evacuación de aguas lluvias en la cuenca de la ciudad de Santiago. Disponible en <http://www.geofisica.cl/papers/gaston.htm>. Consultado el 20 de enero de 2005.
- PIZARRO, R. 1986. Elementos técnicos de Hidrología. Corporación Nacional Forestal (CONAF). La Serena, Chile. 78 p.
- PIZARRO, R. FLORES, J. SANGÜESA, C. MARTINEZ, E. 2002. Estándares de ingeniería para agua y suelos. Modulo 2. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia. Disponible en [http://eias.atalca.cl/2publicaciones/3manuales/b\\_modulo\\_IDF.pdf](http://eias.atalca.cl/2publicaciones/3manuales/b_modulo_IDF.pdf) Consultado 15 de octubre de 2005.

- PUENTES, A. 2000. Caracterización hidrológica de cuencas tropicales. La cuenca del río San Diego en la provincia de Pinar del Río. (Cuba). Universidad de Córdoba. España.
- REMENIERAS, G. 1971. Tratado de hidrología aplicada. Editores técnicos asociados. Barcelona. España. 515 p.
- ROMÁN, L. 2003. Análisis comparativo de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF) en cinco estaciones pluviográficas de la Región Metropolitana. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Talca. Chile. 200 p.
- SILVA, G. 2003. Elementos y estructuras de drenaje. Disponible en <http://www.geocities.com/gsilvam/hidrología.htm>. Consultado el 15 de enero de 2005.
- STAPPUNG, C. 1999. Periodo de retorno de diseño de sistemas de aguas lluvias en Chile. Memorias XIV Congreso Chileno de Hidrología. Disponible en Internet en [http://www.ing.puc.cl/iing/ed429/periodo\\_de\\_retorno\\_de\\_diseño\\_de\\_aguas\\_lluvias\\_en\\_chile.htm](http://www.ing.puc.cl/iing/ed429/periodo_de_retorno_de_diseño_de_aguas_lluvias_en_chile.htm) . Consultado el 15 de enero de 2005.
- TÉMEZ, J. 1978. Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. 111p.
- VARAS, E.; SÁNCHEZ, S. 1988. Curvas generalizadas de intensidad - duración-frecuencia de lluvias. Hidrología y drenaje vial. Chile. 332 p.
- VÉLEZ, M. 2002. Precipitación. Documento disponible en Internet <http://hidraulica.unalmed.edu.co/PARH/materias/hidrologia/mariav/Docs/>. Consultado el 10 de enero de 2005.

- VÉLEZ, M. 2002. Estadística. Documento disponible en Internet <http://hidraulica.unalmed.edu.co/PARH/materias/hidrologia/mariav/Docs/>. Consultado el 10 de enero de 2005.

# APÉNDICES

## APÉNDICE I

### Análisis de Regresión Estación Cerro El Padre

**Total de Datos: 63**

**Tabla 1: Análisis de Regresión. Modelo Lineal Múltiple:  $Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$**

<b>Variable Dependiente: Y</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>
<b>Constante</b>	1,85368	0,0128524	144,228	0,0000
<b>a<sub>1</sub></b>	0,142727	0,00461316	30,9391	0,0000
<b>a<sub>2</sub></b>	-0,372873	0,00427984	-87,1231	0,0000

**Tabla 2: Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>g. l.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	1,84542	2	0,922712	4273,83	0,0000
<b>Residuo</b>	0,0129539	60	0,0000215898		
<b>Total</b>	1,85839	62			

Coefficiente de Determinación $R^2$	= 99,3029
Coefficiente de Determinación $R^2$ ajustado	= 99,2797
Error Estándar de Estimación	= 0,0146935
Error Medio Absoluto	= 0,0115411
Estadístico Durbin-Watson	= 1,30928

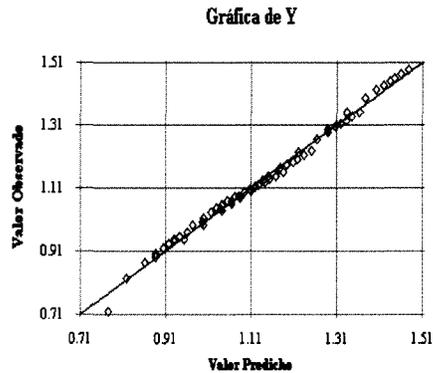
**Tabla 3: Puntos Influyentes**

<b>Fila</b>	<b>Influencia</b>	<b>Distancia</b>	<b>DFITS</b>
7	0,114843	6,93048	-1,75132

**Tabla 4: Residuos Inusuales**

<b>Fila</b>	<b>Y</b>	<b>Y estimado</b>	<b>Residuos</b>	<b>Residuos Estand.</b>
7	0,718502	0,775773	-0,0572713	-4,86

## Gráfico 1



## Ajuste del Modelo

De acuerdo al valor del coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado, el modelo propuesto explica el 99,28% de los datos reales. Esto es ratificado por la gráfica de valores observados v/s valores predichos, ya que los datos se disponen sobre la línea recta excepto el primer valor que es claramente subestimado por el modelo.

## Supuestos de Regresión

### 1. Supuesto de Normalidad

#### (i) Test de Kolmogorov – Smirnov

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS	= 0,0848057
Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS	= 0,105606
Estimación completa Estadístico DN	= 0,105606
Valor-p aproximado	= 0,494245

Los resultados obtenidos a partir de la prueba K – S muestran la existencia de normalidad de los residuos, ya que el valor-p (0,49) es mayor al valor  $\alpha$  (0,05).

#### (ii) Histograma de Frecuencias

Gráfico 2

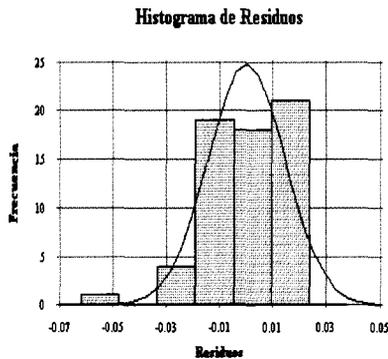
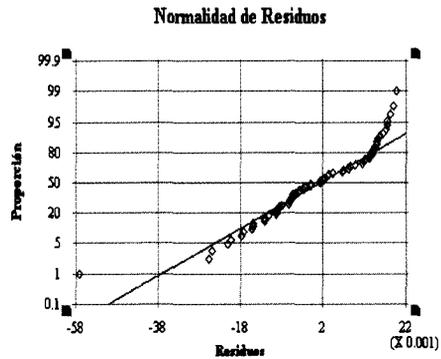


Gráfico 3



Los gráficos 2 y 3, muestran una distribución simétrica de los residuos, existiendo perturbación en ambos extremos, por lo tanto concuerdan con el resultado entregado por el test de Kolmogorov – Smirnov.

## 2. Supuesto de Homocedasticidad

### (i) Test de Goldfeld – Quandt

$$c = n/3; c = 21$$

$$K_{\text{calculado}} = SRC_2 / SRC_1$$

#### Intensidad v/s Duración

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,233629	1	0,233629	71,53	0,0000
Residuos	0,0620539	19	0,00326599		
Total	0,295683	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,132395	1	0,132395	30,23	0,0000
Residuos	0,0832098	19	0,00437946		
Total	0,215605	20			

$$K_{\text{calculado}} = 1,34$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

#### Intensidad v/s Periodo de Retorno

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,0370833	1	0,0370833	1,21	0,2849
Residuos	0,581744	19	0,0306181		
Total	0,618827	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

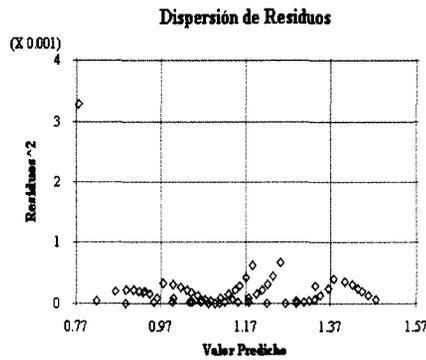
Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,00228406	1	0,00228406	0,08	0,7781
Residuos	0,531142	19	0,0279548		
Total	0,533426	20			

$$K_{\text{calculado}} = 0,91$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

**(ii) Análisis Gráfico**

**Gráfico 4**



El test de Goldfeld – Quandt arroja un valor K calculado que resulta menor al valor K de tabla para las dos variables independientes del modelo, por lo que se acepta la hipótesis nula (las perturbaciones poblacionales son homocedásticas). Mientras que el gráfico 4 muestra una dispersión de residuos que no se asemeja a ninguno de los patrones expuestos por Gujarati (1992), lo que lleva a concluir que dichas perturbaciones poseen la misma varianza.

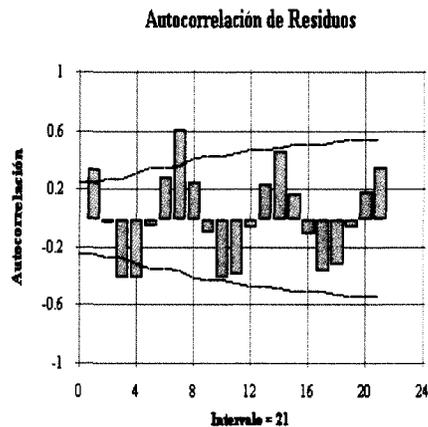
### 3. Supuesto de No – Autocorrelación

#### (i) Prueba $d$ de Durbin & Watson

n	63
k	2
d	1,309
$d_l$	1,528
$d_u$	1,658
$0 < d < d_l$	
$0 < 1.309 < 1,528$	

#### (ii) Análisis Gráfico

Gráfico 5



Según la prueba de Durbin & Watson el valor  $d$  (1,3093) se encuentra en la región de rechazo de la hipótesis nula (no existe autocorrelación positiva o negativa), lo que es corroborado por el análisis gráfico (gráfico 5). Esto lleva a tomar la decisión de aplicar el método iterativo o método  $\rho$ , con el objetivo de cumplir con los tres supuestos básicos de regresión lineal múltiple.

## Análisis de Regresión Primera Transformación a través del Método $\rho$

Total de Datos = 62  
 $\rho$  = 0,34536

**Tabla 1: Análisis de Regresión. Modelo Lineal Múltiple:**

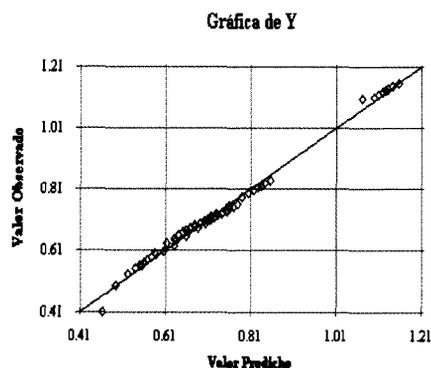
<b>Variable Dependiente: Y</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>
<b>Constante</b>	1,21971	0,010435	116,886	0,0000
<b>a<sub>1</sub></b>	0,14501	0,00685087	21,1667	0,0000
<b>a<sub>2</sub></b>	-0,378045	0,0041408	-91,2976	0,0000

**Tabla 2: Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>g. l.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	1,78075	2	0,890375	4750,68	0,0000
<b>Residuo</b>	0,0110578	59	0,000187421		
<b>Total</b>	1,79181	61			

Coeficiente de Determinación  $R^2$  = 99,3829  
 Coeficiente de Determinación  $R^2$  ajustado = 99,3619  
 Error Estándar de Estimación = 0,0136902  
 Error Medio Absoluto = 0,0105505  
 Estadístico Durbin-Watson = 1,65632

**Gráfico 6**



## Ajuste del Modelo

El modelo transformado a través del método iterativo o método  $\rho$ , presenta una muy buena calidad de ajuste; en este modelo el coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado alcanza un nivel de 99,36%, lo que significa que ese porcentaje de los valores reales es el explicado por éste lo cual es reafirmado por el análisis gráfico (gráfico 6).

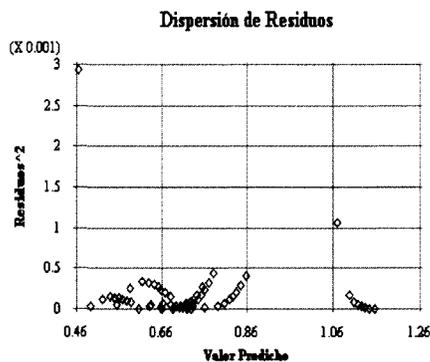
## Supuestos de Regresión

### 1. Supuesto de Normalidad

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS	= 0,0694786
Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS	= 0,0802624
Estimación completa Estadístico DN	= 0,0802624
Valor-p aproximado	= 0,819315

### 2. Supuesto de Homocedasticidad

### Gráfico 7



La prueba de K - S (valor-p > 0,05) y el gráfico de dispersión de residuos (no existe un patrón de comportamiento), confirman que la normalidad y la homocedasticidad del modelo original se mantienen a pesar de la transformación realizada.

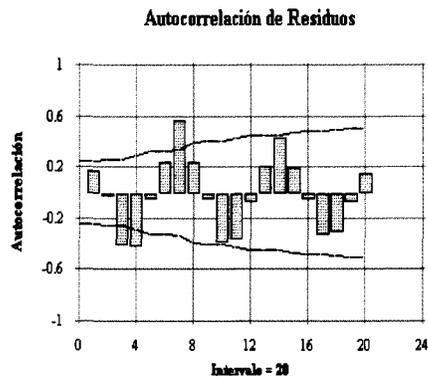
### 3. Supuesto de No - Autocorrelación

#### (i) Prueba de Durbin & Watson

n	62
k	2
d	1.656
$d_l$	1,527
$d_u$	1,656
$d_l < d < d_u$	
$1,527 < 1,656 < 1,656$	

#### (ii) Análisis Gráfico

#### Gráfico 8



La prueba Durbin & Watson entrega un valor  $d$  que coincide con el límite  $d_u$ , por lo tanto se considera no rechazar la hipótesis nula; sin embargo, el análisis gráfico muestra la existencia de ambas autocorrelaciones.

## APÉNDICE II

### Análisis de Regresión Estación Chillán Viejo

**Total de Datos: 63**

**Tabla 1: Análisis de Regresión. Modelo Lineal Múltiple:  $Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$**

<b>Variable Dependiente: Y</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>
<b>Constante</b>	2,0239	0,018374	110,15	0,0000
<b>a<sub>1</sub></b>	0,148036	0,00659504	22,4465	0,0000
<b>a<sub>2</sub></b>	-0,488801	0,00611852	-79,8888	0,0000

**Tabla 2: Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>g. l.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	3,03848	2	1,51924	3443,03	0,0000
<b>Residuo</b>	0,0264751	60	0,000441251		
<b>Total</b>	3,06496	62			

Coefficiente de Determinación $R^2$	= 99,1362
Coefficiente de Determinación $R^2$ ajustado	= 99,1074
Error Estándar de Estimación	= 0,021006
Error Medio Absoluto	= 0,0151181
Estadístico Durbin-Watson	= 1,61465

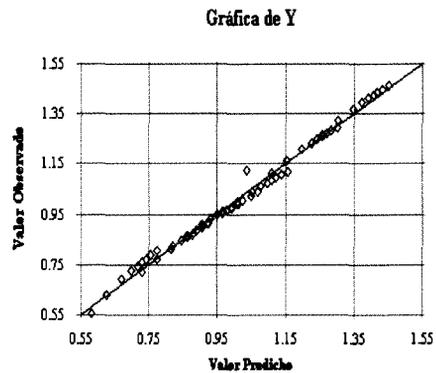
**Tabla 3: Puntos Influyentes**

<b>Fila</b>	<b>Influencia</b>	<b>Distancia</b>	<b>DFITS</b>
7	0,114843	6,93048	-0,477957
46	0,0242049	0,52925	0,769194
63	0,0781941	4,19058	0,437977

**Tabla 4: Residuos Inusuales**

<b>Fila</b>	<b>Y</b>	<b>Y estimado</b>	<b>Residuos</b>	<b>Residuos Estand.</b>
46	1,12385	1,03761	0,0862402	4,88

## Gráfico 1



## Ajuste del Modelo

De acuerdo al valor del coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado, el modelo propuesto explica el 99,1% de los datos reales. Esto es ratificado por la gráfica de valores observados v/s valores predichos, ya que los datos se disponen aproximadamente sobre la línea recta.

## Supuestos de Regresión

### 1. Supuesto de Normalidad

#### (i) Test de Kolmogorov – Smirnov

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS	= 0,103799
Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS	= 0,0666381
Estimación completa Estadístico DN	= 0,103799
Valor-p aproximado	= 0,51896

Los resultados obtenidos a partir de la prueba K – S muestran la existencia de normalidad de los residuos, ya que el valor-p (0,52) es mayor al valor  $\alpha$  (0,05).

#### (ii) Histograma de Frecuencias

Gráfico 2

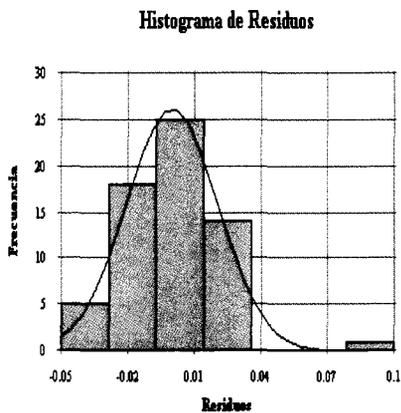
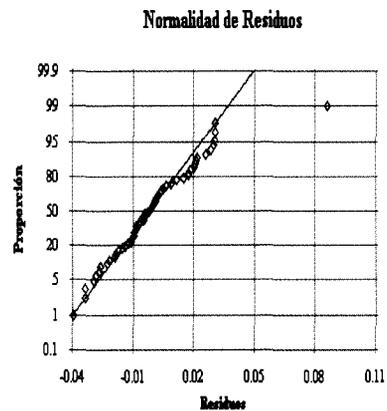


Gráfico 3



Los gráficos 2 y 3, muestran una distribución simétrica de los residuos, existiendo unas pequeñas perturbaciones en ambos extremos, por lo tanto concuerdan con el resultado entregado por el test de Kolmogorov – Smirnov.

## 2. Supuesto de Homocedasticidad

### (i) Test de Goldfeld – Quandt

$$c = n/3; c = 21$$

$$K_{\text{calculado}} = \text{SRC}_2 / \text{SRC}_1$$

#### Intensidad v/s Duración

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,364628	1	0,364628	97,82	0,0000
Residuos	0,0708206	19	0,0037274		
Total	0,435449	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,163074	1	0,163074	34,57	0,0000
Residuos	0,0896193	19	0,00471681		
Total	0,252693	20			

$$K_{\text{calculado}} = 1,265$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

#### Intensidad v/s Periodo de Retorno

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,0355857	1	0,0355857	0,69	0,4170
Residuos	0,982202	19	0,0516948		
Total	1,01779	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

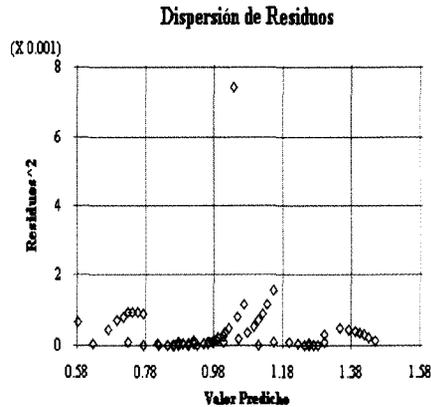
Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,00242795	1	0,00242795	0,05	0,8255
Residuos	0,922639	19	0,0485599		
Total	0,925097	20			

$$K_{\text{calculado}} = 0,939$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

(ii) **Análisis Gráfico**

**Gráfico 4**



El test de Goldfeld – Quandt arroja un valor K calculado que resulta menor al valor K de tabla para las dos variables independientes del modelo, por lo que se acepta la hipótesis nula (las perturbaciones poblacionales son homocedásticas). Mientras que el gráfico 4 muestra una dispersión de residuos que no se asemeja a ninguno de los patrones expuestos por Gujarati (1992), lo que lleva a concluir que dichas perturbaciones poseen la misma varianza.

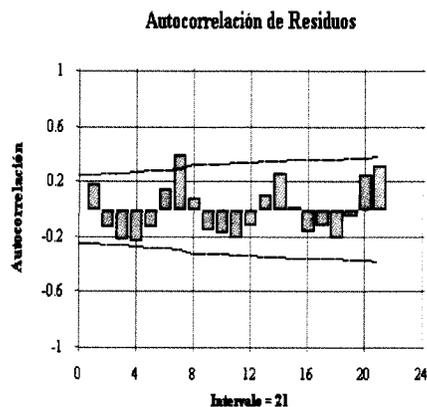
### 3. Supuesto de No – Autocorrelación

#### (i) Prueba $d$ de Durbin & Watson

$n$	63
$k$	2
$d$	1,615
$d_l$	1,528
$d_u$	1,656
$d_l < d < d_u$	
$1,528 < 1,615 < 1,656$	

#### (ii) Análisis Gráfico

#### Gráfico 5



Según la prueba de Durbin & Watson el valor  $d$  (1,615) se encuentra en la región de rechazo de la hipótesis nula (no existe autocorrelación positiva), lo que es corroborado por el análisis gráfico (gráfico 5). Esto lleva a tomar la decisión de aplicar el método iterativo o método  $p$ , con el objetivo de cumplir con los tres supuestos básicos de regresión lineal múltiple.

## Análisis de Regresión Primera Transformación a través del Método $\rho$

**Total de Datos** = 62  
 **$\rho$**  = 0,192675

**Tabla 1: Análisis de Regresión. Modelo Lineal Múltiple:**

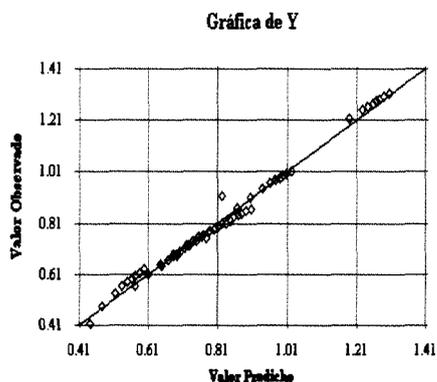
<b>Variable Dependiente: Y</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>
<b>Constante</b>	1,63152	0,0174141	93,6894	0,0000
<b>a<sub>1</sub></b>	0,149356	0,00841421	17,7505	0,0000
<b>a<sub>2</sub></b>	-0,48839	0,00634844	-76,9307	0,0000

**Tabla 2: Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>g. l.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	2,84067	2	1,42034	3273,33	0,0000
<b>Residuo</b>	0,0256008	59	0,000433912		
<b>Total</b>	2,86627	61			

Coeficiente de Determinación  $R^2$  = 99,1068  
 Coeficiente de Determinación  $R^2$  ajustado = 99,0765  
 Error Estándar de Estimación = 0,0208306  
 Error Medio Absoluto = 0,0142432  
 Estadístico Durbin-Watson = 1,91517

**Gráfico 6**



## Ajuste del Modelo

El modelo transformado a través del método iterativo o método  $\rho$ , presenta una muy buena calidad de ajuste; en este modelo el coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado alcanza un nivel de 99,10%, lo que significa que ese porcentaje de los valores reales es el explicado por este.

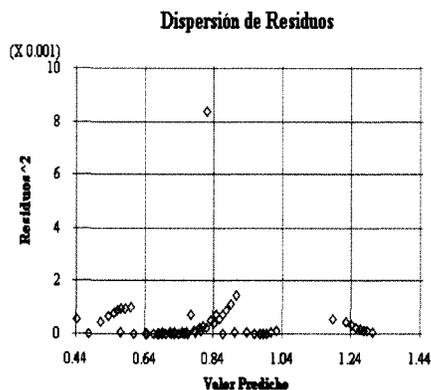
## Supuestos de Regresión

### 1. Supuesto de Normalidad

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS	= 0,132875
Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS	= 0,0817592
Estimación completa Estadístico DN	= 0,132875
Valor-p aproximado	= 0,224148

### 2. Supuesto de Homocedasticidad

### Gráfico 7



La prueba de K – S (valor-p > 0,05) y el gráfico de dispersión de residuos (no existe un patrón de comportamiento), confirman que la normalidad y la homocedasticidad del modelo original se mantienen a pesar de la transformación realizada.

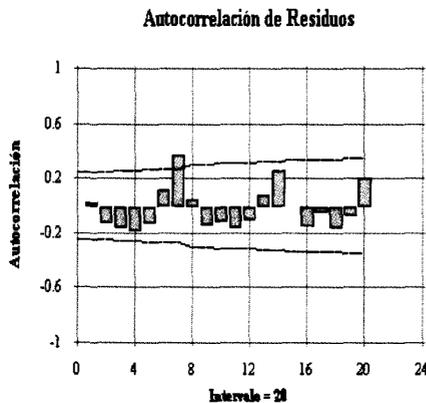
### 3. Supuesto de No - Autocorrelación

#### (i) Prueba de Durbin & Watson

n	62
k	2
d	1,915
d <sub>l</sub>	1,527
d <sub>u</sub>	1,656
$d_u < d < 4 - d_u$	
$1,656 < 1,915 < 2,34$	

#### (ii) Análisis Gráfico

#### Gráfico 8



El modelo transformado sigue generando una buena calidad de ajuste, y los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los residuos se siguen cumpliendo. por otro lado el supuesto de no – autocorrelación se cumple después de una transformación, pero gráficamente se muestra autocorrelación en uno de los intervalos, lo que no es suficiente para rechazar.

## APÉNDICE III

### Análisis de Regresión Estación Embalse Coihueco

**Total de Datos: 63**

**Tabla 1: Análisis de Regresión. Modelo Lineal Múltiple:  $Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$**

<b>Variable Dependiente: Y</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>
<b>Constante</b>	2,00996	0,00952194	211,087	0,0000
<b>a<sub>1</sub></b>	0,188387	0,00341774	55,1204	0,0000
<b>a<sub>2</sub></b>	-0,438014	0,00317079	-138,14	0,0000

**Tabla 2: Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>g. l.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	2,6214	2	1,3107	11060,52	0,0000
<b>Residuo</b>	0,00711016	60	0,000118503		
<b>Total</b>	2,62851	62			

Coeficiente de Determinación  $R^2$  = 99,7295  
 Coeficiente de Determinación  $R^2$  ajustado = 99,7205  
 Error Estándar de Estimación = 0,0108859  
 Error Medio Absoluto = 0,00854631  
 Estadístico Durbin-Watson = 0,865702

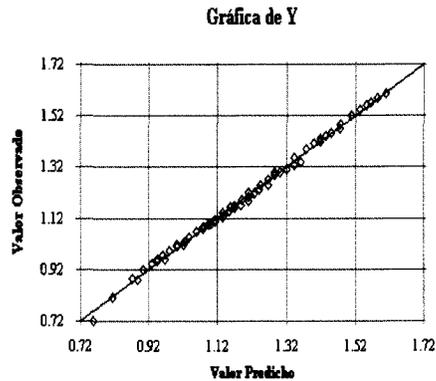
**Tabla 3: Puntos Influyentes**

<b>Fila</b>	<b>Influencia</b>	<b>Distancia</b>	<b>DFITS</b>
1	0,121969	7,48976	-0,819292
7	0,114843	6,93048	-1,3491
61	0,0441007	1,83039	-0,494322

**Tabla 4: Residuos Inusuales**

<b>Fila</b>	<b>Y</b>	<b>Y estimado</b>	<b>Residuos</b>	<b>Residuos Estand.</b>
1	1,34104	1,36278	-0,0217392	-2,20
7	0,723456	0,758226	-0,03477	-3,75
61	1,18865	1,21231	-0,0236617	-2,30

## Gráfico 1



## Ajuste del Modelo

Para el caso de esta estación pluviográfica, el resultado del análisis de regresión lineal múltiple entrega un  $R^2$  ajustado de 99,72%, lo que implica que dicho porcentaje de los valores observados es explicado por el modelo. Además en el análisis gráfico se ratifica lo anterior.

Por otra parte, tres del total de datos analizados presentan una mayor influencia sobre el nivel de ajuste, y sus respectivos residuos son considerados inusuales, o sea, no se distribuyen de forma similar a los demás.

## Supuestos de Regresión

### 1. Supuesto de Normalidad

#### (i) Test de Kolmogorov – Smirnov

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS	= 0,0660473
Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS	= 0,0847325
Estimación completa Estadístico DN	= 0,0847325
Valor-p aproximado	= 0,75632

Los resultados obtenidos a partir de la prueba K – S muestran la existencia de normalidad de los residuos, ya que el valor-p (0,76) es mayor al valor  $\alpha$  (0,05).

#### (ii) Histograma de Frecuencias

Gráfico 2

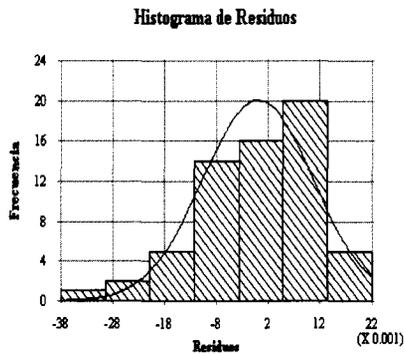
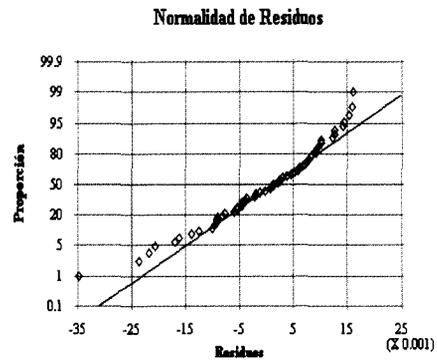


Gráfico 3



Los gráficos 2 y 3, muestran una distribución simétrica de los residuos, existiendo algún grado de perturbación en ambos extremos; sin embargo concuerdan con el resultado entregado por el test de Kolmogorov – Smirnov.

## 2. Supuesto de Homocedasticidad

### (i) Test de Goldfeld – Quandt

$$c = n/3; c = 21$$

$$K_{\text{calculado}} = SRC_2 / SRC_1$$

#### Intensidad v/s Duración

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,279264	1	0,279264	41,03	0,0000
Residuos	0,129333	19	0,006807		
Total	0,408597	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,164801	1	0,164801	24,77	0,0000
Residuos	0,126409	19	0,00665309		
Total	0,29121	20			

$$K_{\text{calculado}} = 0,977$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

#### Intensidad v/s Periodo de Retorno

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,0640633	1	0,0640633	1,59	0,2228
Residuos	0,766237	19	0,0403283		
Total	0,830301	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

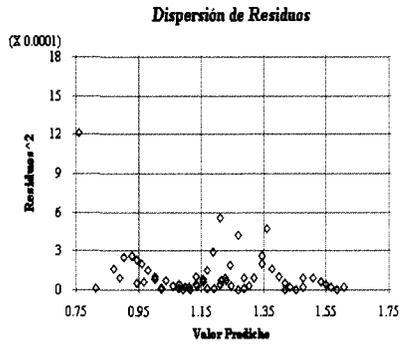
Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,00371277	1	0,00371277	0,09	0,7621
Residuos	0,747957	19	0,0393662		
Total	0,75167	20			

$$K_{\text{calculado}} = 0,976$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

**(ii) Análisis Gráfico**

**Gráfico 4**



La prueba de Goldfeld – Quandt entrega para ambas variables independientes un  $k_c$  menor al  $k_i$ ; este último, extraído de la tabla de valores de la función de distribución F – Snedecor, por lo tanto se asume que las perturbaciones poblacionales son homocedásticas. Así mismo, el análisis gráfico de la dispersión de residuos no muestra un patrón de comportamiento de éstos, que se asemeje a los determinados por Gujarati (1992).

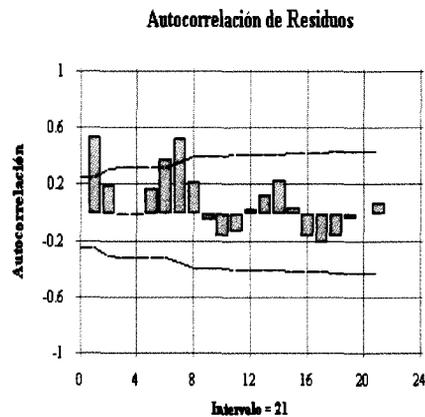
### 3. Supuesto de No – Autocorrelación

#### (i) Prueba $d$ de Durbin & Watson

n	63
k	2
d	0,865702
$d_l$	1,528
$D_u$	1,656
$0 < d < d_l$	
$0 < 0,865702 < 1,528$	

#### (ii) Análisis Gráfico

#### Gráfico 5



De acuerdo con la prueba de Durbin & Watson el valor del estadístico  $d$  (0,8657) calculado está por debajo del límite inferior ( $d_l$ ) de la regla de decisión, y también, de acuerdo al análisis gráfico de autocorrelación de residuos, se establece que la hipótesis nula (no existe autocorrelación positiva o negativa) se rechaza.

A consecuencia de lo anterior es necesario aplicar el método  $p$  para corregir este defecto y así cumplir con los tres supuestos básicos de regresión lineal múltiple.

## Análisis de Regresión Primera Transformación a través del Método $\rho$

**Total de Datos** = 62  
 **$\rho$**  = 0,56715

**Tabla 1: Análisis de Regresión. Modelo Lineal Múltiple:**

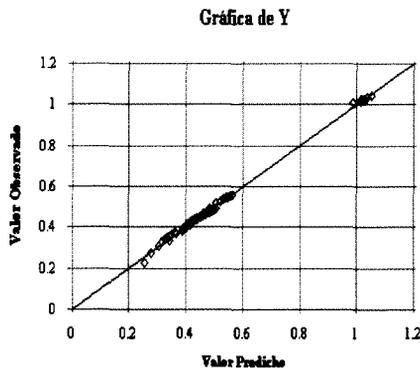
<b>Variable Dependiente: Y</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>
<b>Constante</b>	0,869861	0,00598914	145,225	0,0000
<b>a<sub>1</sub></b>	0,187623	0,0067627	27,7738	0,0000
<b>a<sub>2</sub></b>	-0,437023	0,00258418	-169,115	0,0000

**Tabla 2: Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>g. l.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	2,64853	2	1,32426	16940,84	0,0000
<b>Residuo</b>	0,00461202	59	0,0000781699		
<b>Total</b>	2,65314	61			

Coeficiente de Determinación  $R^2$  = 99,8262  
 Coeficiente de Determinación  $R^2$  ajustado = 99,8203  
 Error Estándar de Estimación = 0,00884137  
 Error Medio Absoluto = 0,00678752  
 Estadístico Durbin-Watson = 1,79554

**Gráfico 6**



## Ajuste del Modelo

El modelo transformado a través del método iterativo o método  $\rho$ , presenta una muy buena calidad de ajuste; en este modelo el coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado alcanza un nivel de 99,82%, lo que significa que ese porcentaje de los valores reales es el explicado por el modelo, lo cual es corroborado por el análisis gráfico (gráfico 6).

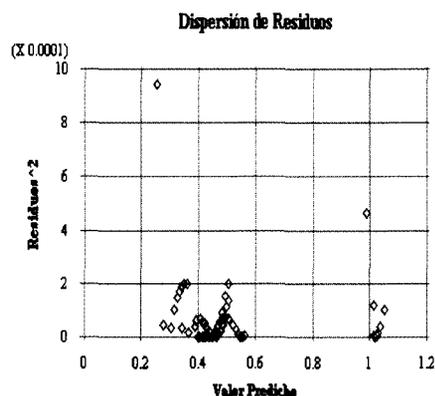
## Supuestos de Regresión

### 1. Supuesto de Normalidad

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS	= 0,0465215
Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS	= 0,0484675
Estimación completa Estadístico DN	= 0,0484675
Valor-p aproximado	= 0,998624

### 2. Supuesto de Homocedasticidad

#### Gráfico 7



La prueba de K - S (valor-p > 0,05) y el gráfico de dispersión de residuos, demuestran que la normalidad y la homocedasticidad del modelo original se mantienen a pesar de la transformación realizada.

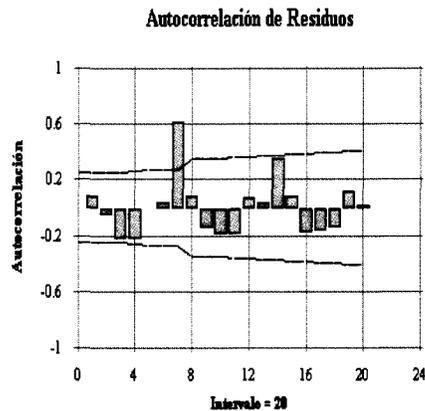
### 3. Supuesto de No - Autocorrelación

#### (i) Prueba de Durbin & Watson

n	62
k	2
d	1,79554
$d_l$	1,527
$d_u$	1,658
$d_l < d < d_u$	
$1,658 < 1,796 < 2,34$	

#### (ii) Análisis Gráfico

#### Gráfico 8



El valor del estadístico  $d$  en el modelo transformado alcanza un valor de 1,796, el cual se encuentra en la región de no rechazo de la hipótesis nula. Sin embargo, gráficamente muestra autocorrelación en uno de los intervalos lo que no es determinante para decir lo contrario.

## APÉNDICE IV

### Análisis de Regresión Estación Embalse Diguillín

**Total de Datos: 63**

**Tabla 1: Análisis de Regresión. Modelo Lineal Múltiple:  $Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$**

<b>Variable Dependiente: Y</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>
<b>Constante</b>	1,88917	0,0132265	142,832	0,0000
<b>a<sub>1</sub></b>	0,154483	0,00474744	32,5402	0,0000
<b>a<sub>2</sub></b>	0,37522	0,00440442	-85,1919	0,0000

**Tabla 2: Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>g. l.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	1,90156	2	0,950782	4158,26	0,0000
<b>Residuo</b>	0,0137189	60	0,000228649		
<b>Total</b>	1,91528	62			

Coefficiente de Determinación $R^2$	= 99,2837
Coefficiente de Determinación $R^2$ ajustado	= 99,2598
Error Estándar de Estimación	= 0,0151211
Error Medio Absoluto	= 0,0109442
Estadístico Durbin-Watson	= 2,48762

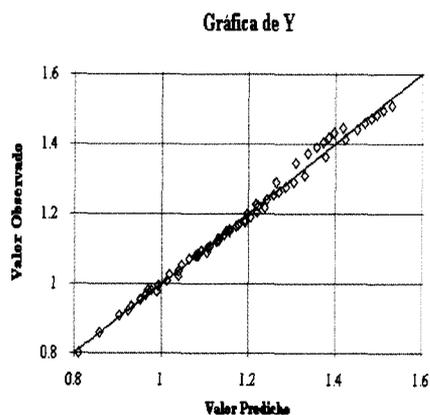
**Tabla 3: Puntos Influyentes**

<b>Fila</b>	<b>Influencia</b>	<b>Distancia</b>	<b>DFITS</b>
1	0,121969	7,48976	-0,610248
9	0,0547003	2,54593	0,462395
16	0,0344124	1,1901	0,459685
23	0,0308265	0,956353	0,446099
30	0,0319894	1,03197	0,446966
37	0,0350107	1,22927	0,455586
44	0,0388537	1,48201	0,462276
51	0,0452392	1,90648	0,474263
57	0,0853199	4,70611	-0,493938
58	0,0562037	2,64872	0,480271

**Tabla 4: Residuos Inusuales**

<b>Fila</b>	<b>Y</b>	<b>Y estimado</b>	<b>Residuos</b>	<b>Residuos Estand.</b>
	1,34479	1,31	0,0347805	2,43
16	1,37291	1,33721	0,0357043	2,50
23	1,39164	1,35651	0,0351321	2,46
30	1,40569	1,37148	0,0342083	2,39
44	1,41664	1,38371	0,0329289	2,3
51	1,42991	1,39868	0,0312312	2,18

**Gráfico 1**



### **Ajuste del Modelo**

Para el caso de esta estación pluviográfica, el resultado del análisis de regresión lineal múltiple entrega un  $R^2$  ajustado de 99,26%, lo que implica que dicho porcentaje de los valores observados es explicado por el modelo. Además en el análisis gráfico se ratifica lo anterior.

## Supuestos de Regresión

### 1. Supuesto de Normalidad

#### (i) Test de Kolmogorov – Smirnov

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS	= 0,14534
Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS	= 0,0954365
Estimación completa Estadístico DN	= 0,14534
Valor-p aproximado	= 0,139699

Los resultados obtenidos a partir de la prueba K – S muestran la existencia de normalidad de los residuos, ya que el valor-p (0,14) es mayor al valor  $\alpha$  (0,05).

#### (ii) Histograma de Frecuencias

Gráfico 2

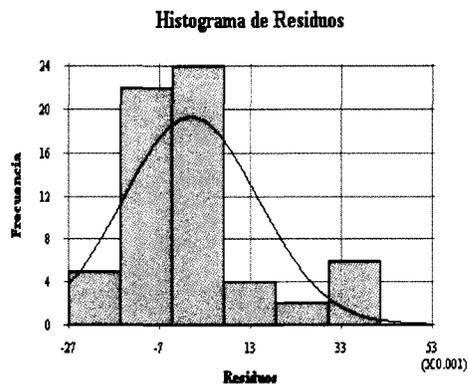
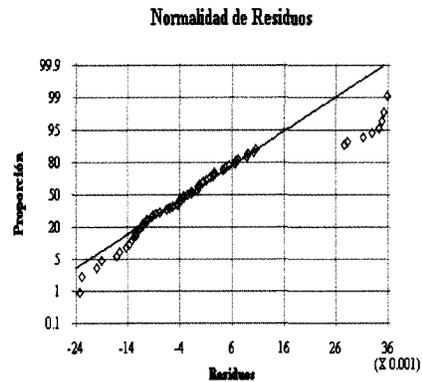


Gráfico 3



Los gráficos 2 y 3, muestran una distribución simétrica de los residuos, existiendo algún grado de perturbación en ambos extremos; sin embargo concuerdan con el resultado entregado por el test de Kolmogorov – Smirnov.

## 2. Supuesto de Homocedasticidad

### (i) Test de Goldfeld – Quandt

$$c = n/3; c = 21$$

$$K_{\text{calculado}} = \text{SRC}_2 / \text{SRC}_1$$

### Intensidad v/s Duración

#### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,162054	1	0,162054	28,71	0,0000
Residuos	0,107243	19	0,00564436		
Total	0,269297	20			

#### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,131519	1	0,131519	33,75	0,0000
Residuos	0,0740411	19	0,0038969		
Total	0,20556	20			

$$K_{\text{calculado}} = 0.690$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

### Intensidad v/s Periodo de Retorno

#### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,0408149	1	0,0408149	1,40	0,2510
Residuos	0,553256	19	0,0291187		
Total	0594071	20			

#### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

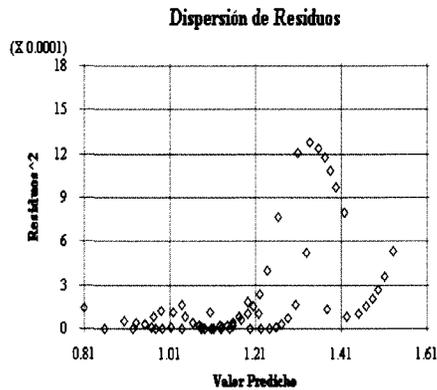
Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,00270307	1	0,00270307	0,09	0,7653
Residuos	0,560029	19	0,0294752		
Total	0,562732	20			

$$K_{\text{calculado}} = 1,012$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

(ii) **Análisis Gráfico**

**Gráfico 4**



La prueba de Goldfeld – Quandt entrega para ambas variables independientes un  $k_c$  menor al  $k_t$ , este último, extraído de la tabla de valores de la función de distribución F – Snedecor, por lo tanto se asume que las perturbaciones poblacionales son homocedásticas. Así mismo, el análisis gráfico de la dispersión de residuos no muestra un patrón de comportamiento de éstos, que se asemeje a los determinados por Gujarati (1992).

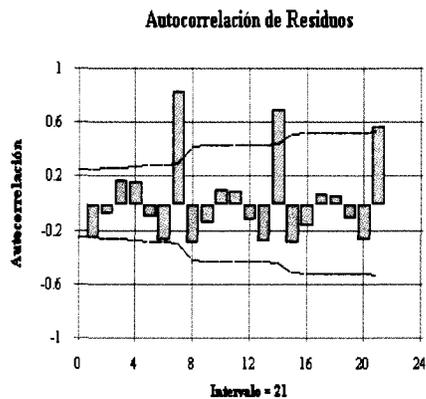
### 3. Supuesto de No – Autocorrelación

#### (i) Prueba $d$ de Durbin & Watson

n	63
k	2
d	2,48762
$d_l$	1,528
$d_u$	1,656
$4 - d_l < d < 4$	
$2,473 < 2,488 < 4$	

#### (ii) Análisis Gráfico

Gráfico 5



De acuerdo con la prueba de Durbin & Watson el valor del estadístico  $d$  (2,48) calculado está por encima del límite  $(4 - d_l)$  de la regla de decisión, y también de acuerdo al análisis gráfico de autocorrelación de residuos, se establece que la hipótesis nula (no existe autocorrelación positiva o negativa) se rechaza. Por otra parte, se puede asegurar que en este modelo de regresión existe una autocorrelación negativa de los residuos.

## APÉNDICE V

### Análisis de Regresión Estación Quilaco

**Total de Datos: 63**

**Tabla 1: Análisis de Regresión. Modelo Lineal Múltiple:  $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2$**

<b>Variable Dependiente: Y</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>
<b>Constante</b>	2,01459	0,0130081	154,872	0,0000
<b>a<sub>1</sub></b>	0,148255	0,00466916	31,7519	0,0000
<b>a<sub>2</sub></b>	-0,478751	0,00433179	-110,52	0,0000

**Tabla 2: Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>g. l.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	2,92453	2	1,46226	6611,48	0,0000
<b>Residuo</b>	0,0132702	60	0,000221171		
<b>Total</b>	2,9378	62			

Coeficiente de Determinación  $R^2$  = 99,5483  
 Coeficiente de Determinación  $R^2$  ajustado = 99,5332  
 Error Estándar de Estimación = 0,0148718  
 Error Medio Absoluto = 0,0119655  
 Estadístico Durbin-Watson = 1,08551

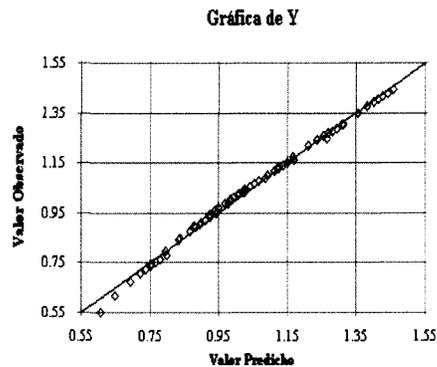
**Tabla 3: Puntos Influyentes**

<b>Fila</b>	<b>Influencia</b>	<b>Distancia</b>	<b>DFITS</b>
1	0,121969	7,48976	-0,565481
7	0,114843	6,93048	-1,66637
14	0,0766906	4,08283	-0,685121

**Tabla 4: Residuos Inusuales**

<b>Fila</b>	<b>Y</b>	<b>Y estimado</b>	<b>Residuos</b>	<b>Residuos Estand.</b>
7	0,550228	0,606144	-0,0559159	-4,63
14	0,618048	0,650773	-0,0327254	-2,38

## Gráfico 1



## Ajuste del Modelo

Para el caso de esta estación pluviográfica, el resultado del análisis de regresión lineal múltiple entrega un  $R^2$  ajustado de 99,53%, lo que implica que dicho porcentaje de los valores observados es explicado por el modelo. Además en el análisis gráfico se ratifica lo anterior.

Por otra parte, tres del total de datos analizados presentan una mayor influencia sobre el nivel de ajuste, y dos de sus residuos son considerados inusuales, o sea, no se distribuyen de forma similar a los demás.

## Supuestos de Regresión

### 1. Supuesto de Normalidad

#### (i) Test de Kolmogorov – Smirnov

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS	= 0,0741254
Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS	= 0,126179
Estimación completa Estadístico DN	= 0,126179
Valor-p aproximado	= 0,269362

Los resultados obtenidos a partir de la prueba K – S muestran la existencia de normalidad de los residuos, ya que el valor-p (0,27) es mayor al valor  $\alpha$  (0,05).

#### (ii) Histograma de Frecuencias

Gráfico 2

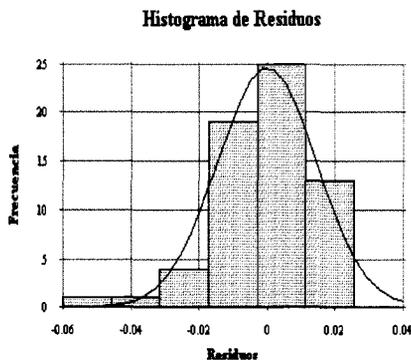
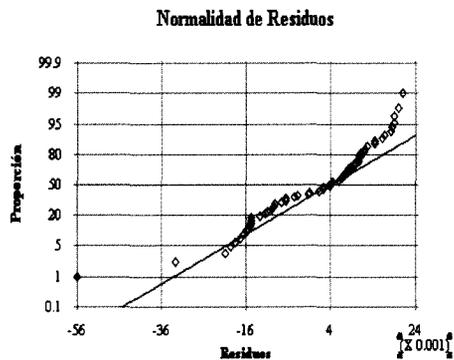


Gráfico 3



El gráfico 2 muestra una distribución relativamente normal de los residuos, sin embargo el gráfico 3 indica que dicha normalidad no es óptima debido a que se aprecian bastantes perturbaciones a lo largo de la recta. De todos modos, esto no es suficiente para cuestionar la normalidad de dichos residuos, ya que la normalidad está avalada por el resultado del test de Kolmogorov – Smirnov.

## 2. Supuesto de Homocedasticidad

### (i) Test de Goldfeld – Quandt

$$c = n/3; c = 21$$

$$K_{\text{calculado}} = SRC_2 / SRC_1$$

### Intensidad v/s Duración

#### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,264773	1	0,264773	74,00	0,0000
Residuos	0,0679851	19	0,00357816		
Total	0,332758	20			

#### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,271815	1	0,271815	60,19	0,0000
Residuos	0,0857963	19	0,0045156		
Total	0,357612	20			

$$K_{\text{calculado}} = 1,262$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

### Intensidad v/s Periodo de Retorno

#### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,0373547	1	0,0373547	0,75	0,3978
Residuos	0,948442	19	0,049918		
Total	0,985796	20			

#### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

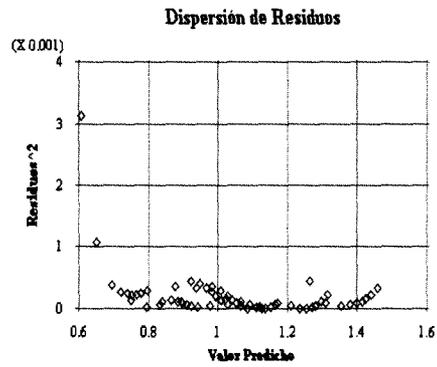
Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,00294736	1	0,00294736	0,06	0,8021
Residuos	0,867091	19	0,0456364		
Total	0,870038	20			

$$K_{\text{calculado}} = 0,9173$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

**(ii) Análisis Gráfico**

**Gráfico 4**



La prueba de Goldfeld – Quandt entrega para ambas variables independientes un  $k_c$  menor al  $k_t$ , este último, extraído de la tabla de valores de la función de distribución F – Snedecor, por lo tanto se asume que las perturbaciones poblacionales son homocedásticas. Así mismo, el análisis gráfico de la dispersión de residuos no muestra un patrón de comportamiento de éstos, que se asemeje a los determinados por Gujarati (1992).

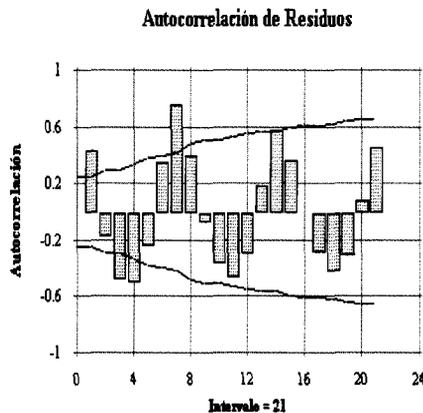
### 3. Supuesto de No – Autocorrelación

#### (i) Prueba $d$ de Durbin & Watson

n	63
k	2
d	1,08551
$d_l$	1,528
$d_u$	1,656
$0 < d < d_l$	
$0 < 1,08551 < 1,528$	

#### (ii) Análisis Gráfico

Gráfico 5



De acuerdo con la prueba de Durbin & Watson el valor del estadístico  $d$  (1,08551) calculado está por debajo del límite inferior ( $d_l$ ) de la regla de decisión, y también de acuerdo al análisis gráfico de autocorrelación de residuos, se establece que la hipótesis nula (no existe autocorrelación positiva o negativa) se rechaza.

En el caso de este análisis de regresión, aún cuando se aplique el método iterativo el supuesto de no – autocorrelación no se cumple y además dicha iteración provoca una falta de normalidad de los residuos.

## APÉNDICE VI

### Análisis de Regresión Estación Curacautín

**Total de Datos: 63**

**Tabla 1: Análisis de Regresión. Modelo Lineal Múltiple:  $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2$**

<b>Variable Dependiente: Y</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>
<b>Constante</b>	1,82157	0,0461116	39,5035	0,0000
<b>a<sub>1</sub></b>	0,17833	0,016551	10,7687	0,0000
<b>a<sub>2</sub></b>	-0,455715	0,0153551	-29,6784	0,0000

**Tabla 2: Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>g. l.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	2,7701	2	1,38505	498,38	0,0000
<b>Residuo</b>	0,166745	60	0,00277908		
<b>Total</b>	2,93684	62			

Coeficiente de Determinación  $R^2$  = 94,3223  
 Coeficiente de Determinación  $R^2$  ajustado = 94,1331  
 Error Estándar de Estimación = 0,0527169  
 Error Medio Absoluto = 0,0452999  
 Estadístico Durbin-Watson = 1,27776

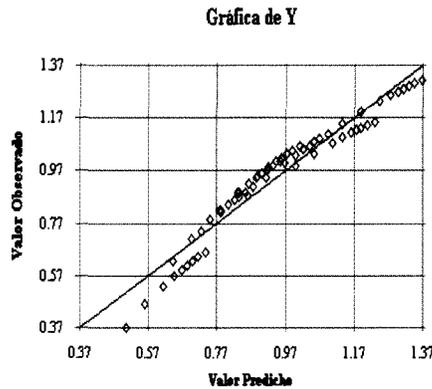
**Tabla 3: Puntos Influyentes**

<b>Fila</b>	<b>Influencia</b>	<b>Distancia</b>	<b>DFITS</b>
7	0,114843	6,93048	-1,4179
37	0,0350107	1,22927	-0,713447
58	0,0562038	2,64873	-0,436699

**Tabla 4: Residuos Inusuales**

<b>Fila</b>	<b>Y</b>	<b>Y estimado</b>	<b>Residuos</b>	<b>Residuos Estand.</b>
7	0,525045	0,567226	-0,042181	-3,94
37	1,11826	1,16059	-0,0423256	-3,75

## Gráfico 1



## Ajuste del Modelo

Para el caso de esta estación pluviográfica, el resultado del análisis de regresión lineal múltiple entrega un  $R^2$  ajustado de 94,13%, lo que implica que dicho porcentaje de los valores observados es explicado por el modelo. Además en el análisis gráfico se ratifica lo anterior.

Por otra parte, tres del total de datos analizados presentan una mayor influencia sobre el nivel de ajuste, y dos de sus residuos son considerados inusuales, o sea, no se distribuyen de forma similar a los demás.

## Supuestos de Regresión

### 1. Supuesto de Normalidad

#### (i) Test de Kolmogorov – Smirnov

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS	= 0,114532
Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS	= 0,161014
Estimación completa Estadístico DN	= 0,161014
Valor-p aproximado	= 0,0762737

Los resultados obtenidos a partir de la prueba K – S muestran la existencia de normalidad de los residuos, ya que el valor-p (0,076) es mayor al valor  $\alpha$  (0,05).

#### (ii) Histograma de Frecuencias

Gráfico 2

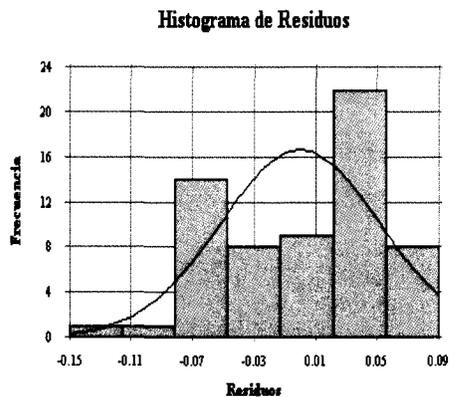
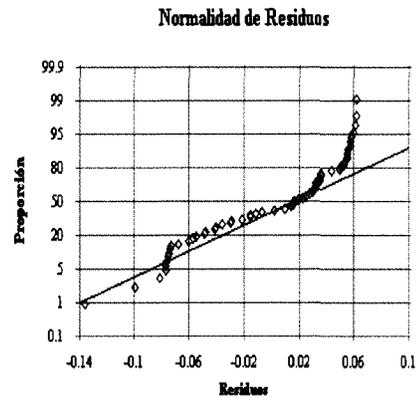


Gráfico 3



El gráfico 2 muestra una distribución normal de los residuos; sin embargo el gráfico 3 indica que dicha normalidad no es óptima debido a que se aprecian perturbaciones a lo largo de la recta, siendo éstas más importantes en los extremos. De todos modos, esto no es suficiente para cuestionar la normalidad de dichos residuos, ya que la distribución normal de éstos está avalada por el resultado del test de Kolmogorov – Smirnov.

## 2. Supuesto de Homocedasticidad

### (i) Test de Goldfeld – Quandt

$$c = n/3; c = 21$$

$$K_{\text{calculado}} = SRC_2/SRC_1$$

#### Intensidad v/s Duración

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,248245	1	0,248245	89,00	0,0000
Residuos	0,0529948	19	0,0027892		
Total	0,30124	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,51029	1	0,51029	69,84	0,0000
Residuos	0,138818	19	0,00730619		
Total	0,649108	20			

$$K_{\text{calculado}} = 2,62$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

#### Intensidad v/s Periodo de Retorno

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,0569592	1	0,0569592	1,07	0,3134
Residuos	1,00902	19	0,0531064		
Total	1,06598	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,00334826	1	0,00334826	0,08	0,7776
Residuos	0,775071	19	0,0407932		
Total	0,77842	20			

$$K_{\text{calculado}} = 0,77$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

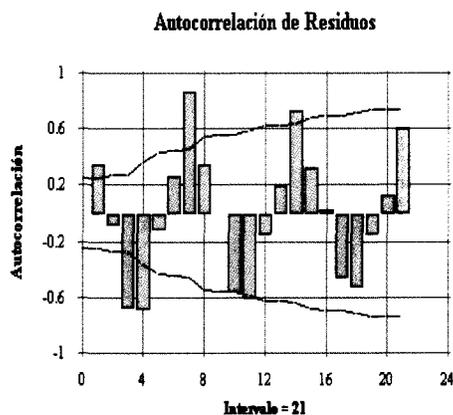
### 3. Supuesto de No – Autocorrelación

#### (i) Prueba $d$ de Durbin & Watson

n	63
k	2
d	1,278
$d_l$	1,528
$d_u$	1,656
$0 < d < d_l$	
$0 < 1,278 < 1,528$	

#### (ii) Análisis Gráfico

Gráfico 5



De acuerdo con la prueba de Durbin & Watson el valor del estadístico  $d$  (1,278) calculado está por debajo del límite inferior  $d_l$  de la regla de decisión, lo que implica la existencia de autocorrelación positiva y negativa. A este modelo no se le aplicó la transformación, ya que ésta provoca falta de normalidad de los residuos.

## APÉNDICE VII

### Análisis de Regresión Estación Pucón

**Total de Datos: 63**

**Tabla 1: Análisis de Regresión. Modelo Lineal Múltiple:  $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2$**

<b>Variable Dependiente: Y</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>
<b>Constante</b>	1,78331	0,0111006	160,649	0,0000
<b>a<sub>1</sub></b>	0,143552	0,00398445	36,0282	0,0000
<b>a<sub>2</sub></b>	-0,416805	0,00369656	-112,755	0,0000

**Tabla 2: Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>g. l.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	2,25672	2	1,12836	7005,85	0,0000
<b>Residuo</b>	0,00966359	60	0,00016106		
<b>Total</b>	2,26638	62			

Coeficiente de Determinación  $R^2$  = 99,5736  
 Coeficiente de Determinación  $R^2$  ajustado = 99,5594  
 Error Estándar de Estimación = 0,0126909  
 Error Medio Absoluto = 0,00905254  
 Estadístico Durbin-Watson = 1,76412

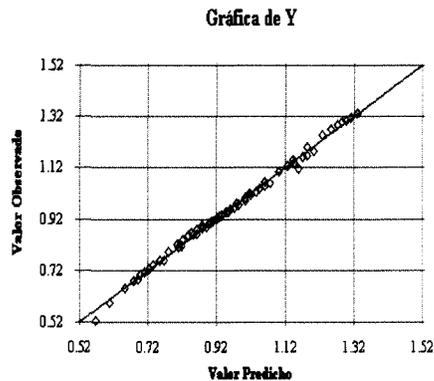
**Tabla 3: Puntos Influyentes**

<b>Fila</b>	<b>Influencia</b>	<b>Distancia</b>	<b>DFITS</b>
7	0,114843	6,93048	-1,4179
37	0,0350107	1,22927	-0,713447
58	0,0562038	2,64873	-0,436699

**Tabla 4: Residuos Inusuales**

<b>Fila</b>	<b>Y</b>	<b>Y estimado</b>	<b>Residuos</b>	<b>Residuos Estand.</b>
7	0,525045	0,567226	-0,042181	-3,94
37	1,11826	1,16059	-0,0423256	-3,75

## Gráfico 1



## Ajuste del Modelo

Para el caso de esta estación pluviográfica, el resultado del análisis de regresión lineal múltiple entrega un  $R^2$  ajustado de 99,56%, lo que implica que dicho porcentaje de los valores observados es explicado por el modelo. Además en el análisis gráfico se ratifica lo anterior.

Por otra parte, tres del total de datos analizados presentan una mayor influencia sobre el nivel de ajuste, y dos de sus residuos son considerados inusuales, o sea, no se distribuyen de forma similar a los demás.

## Supuestos de Regresión

### 1. Supuesto de Normalidad

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

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS	= 0,0729073
Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS	= 0,0899475
Estimación completa Estadístico DN	= 0,0899475
Valor-p aproximado	= 0,687928

Los resultados obtenidos a partir de la prueba K – S muestran la existencia de normalidad de los residuos, ya que el valor-p (0,69) es mayor al valor  $\alpha$  (0,05).

#### (ii). Histograma de Frecuencias

Gráfico 2

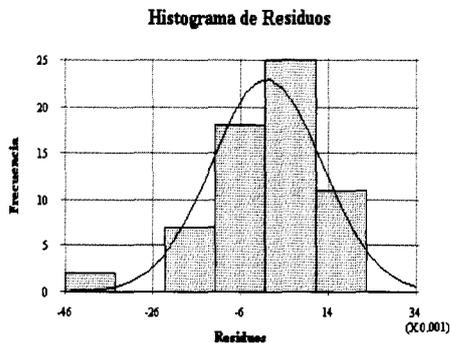
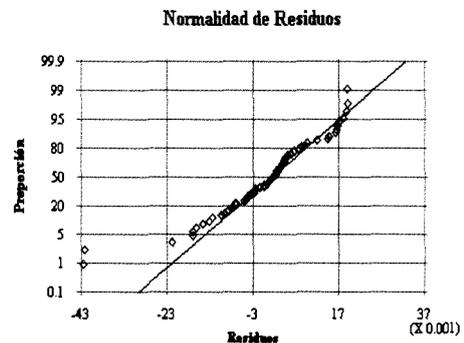


Gráfico 3



El gráfico 2 muestra una distribución normal de los residuos; sin embargo el gráfico 3 indica que dicha normalidad no es óptima debido a que se aprecian perturbaciones a lo largo de la recta, siendo éstas más importantes en los extremos. De todos modos, esto no es suficiente para cuestionar la normalidad de dichos residuos, ya que la distribución normal de éstos está avalada por el resultado del test de Kolmogorov – Smirnov.

## 2. Supuesto de Homocedasticidad

### (i). Test de Goldfeld – Quandt

$$c = n/3; c = 21$$

$$K_{\text{calculado}} = SRC_2/SRC_1$$

#### Intensidad v/s Duración

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,263787	1	0,263787	89,39	0,0000
Residuos	0,0560697	19	0,00295104		
Total	0,319857	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,180853	1	0,180853	40,45	0,0000
Residuos	0,0849429	19	0,00447068		
Total	0,265795	20			

$$K_{\text{calculado}} = 1,515$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

#### Intensidad v/s Periodo de Retorno

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,0351058	1	0,0351058	0,90	0,3545
Residuos	0,740504	19	0,0389739		
Total	0,77561	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

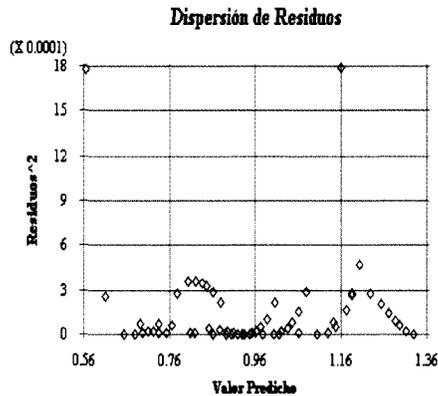
Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,00239489	1	0,00239489	0,07	0,7945
Residuos	0,651831	19	0,0343069		
Total	0,654226	20			

$$K_{\text{calculado}} = 0,88$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

(ii). **Análisis Gráfico**

**Gráfico 4**



La prueba de Goldfeld – Quandt entrega para ambas variables independientes un  $k_c$  menor al  $k_t$ , este último, extraído de la tabla de valores de la función de distribución F – Snedecor, por lo tanto se asume que las perturbaciones poblacionales son homocedásticas. Así mismo, el análisis gráfico de la dispersión de residuos no muestra un patrón de comportamiento que se asemeje a los determinados por Gujarati (1992).

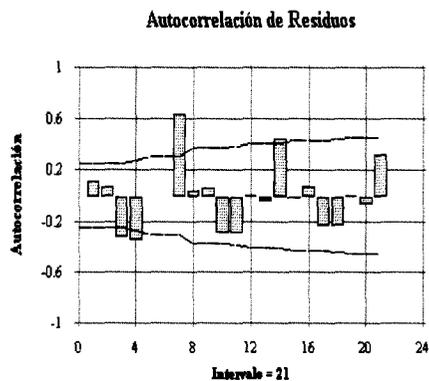
### 3. Supuesto de No – Autocorrelación

#### (i). Prueba $d$ de Durbin & Watson

n	63
k	2
d	1,76412
$d_l$	1,528
$d_u$	1,656
$d_u < d < 4 - d_u$	
$1,656 < 1,764 < 2,342$	

#### (ii). Análisis Gráfico

Gráfico 5



De acuerdo con la prueba de Durbin & Watson el valor del estadístico  $d$  (1,764), se encuentra en la región de no rechazo de la hipótesis nula. Por lo tanto se acepta la hipótesis de no – autocorrelación de residuos.

## APÉNDICE VIII

### Análisis de Regresión Estación Pueblo Nuevo (Temuco)

**Total de Datos: 63**

**Tabla 1: Análisis de Regresión. Modelo Lineal Múltiple:  $Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$**

<b>Variable Dependiente: Y</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>
<b>Constante</b>	1,72279	0,0217943	79,0477	0,0000
<b>a<sub>1</sub></b>	0,164389	0,00782266	21,0145	0,0000
<b>a<sub>2</sub></b>	-0,405618	0,00725744	-55,89	0,0000

**Tabla 2: Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>g. l.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	2,21337	2	1,10669	1782,65	0,0000
<b>Residuo</b>	0,0372486	60	0,00062081		
<b>Total</b>	2,25062	62			

Coeficiente de Determinación  $R^2$  = 98,345  
 Coeficiente de Determinación  $R^2$  ajustado = 98,2898  
 Error Estándar de Estimación = 0,0249161  
 Error Medio Absoluto = 0,0199377  
 Estadístico Durbin-Watson = 1,49577

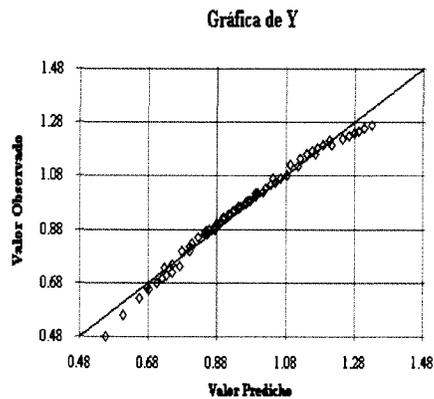
**Tabla 3: Puntos Influyentes**

<b>Fila</b>	<b>Influencia</b>	<b>Distancia</b>	<b>DFITS</b>
7	0,114843	6,93048	-1,22943
14	0,0766906	4,08282	-0,55363
36	0,0641269	3,19591	-0,450088
43	0,0679698	3,46466	-0,52396
50	0,0743554	3,91615	-0,633251
57	0,08532	4,70612	-0,811495

**Tabla 4: Residuos Inusuales**

<b>Fila</b>	<b>Y</b>	<b>Y estimado</b>	<b>Residuos</b>	<b>Residuos Estand.</b>
7	0,482874	0,556609	-0,0737347	-3,41
50	1,25792	1,30978	-0,0518628	-2,23
57	1,26998	1,33032	-0,0603415	-2,66

## Gráfico 1



## Ajuste del Modelo

Para el caso de esta estación Pueblo Nuevo, el resultado del análisis de regresión lineal múltiple entrega un  $R^2$  ajustado de 98,29%, lo que implica que dicho porcentaje de los valores observados es explicado por el modelo. Por otra parte, el análisis gráfico muestra que el modelo subestima los valores en ambos extremos.

Por otra parte, seis de los datos presentan una mayor influencia sobre el nivel de ajuste, y tres de sus residuos son considerados inusuales, o sea, no se distribuyen de forma similar a los demás.

## Supuestos de Regresión

### 1. Supuesto de Normalidad

#### (i) Test de Kolmogorov – Smirnov

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS	= 0,138106
Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS	= 0,191785
Estimación completa Estadístico DN	= 0,191785
Valor-p aproximado	= 0,0194228

Los resultados obtenidos a partir de la prueba K – S muestran la existencia de normalidad de los residuos, ya que el valor-p (0,019) es menor al valor  $\alpha$  (0,05).

#### (ii) Histograma de Frecuencias

Gráfico 2

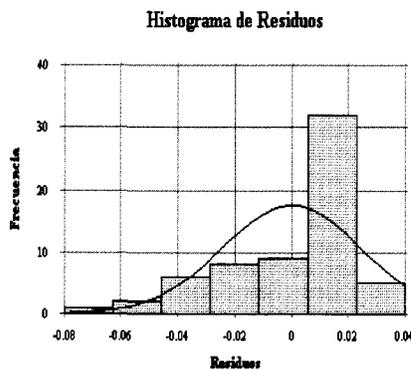
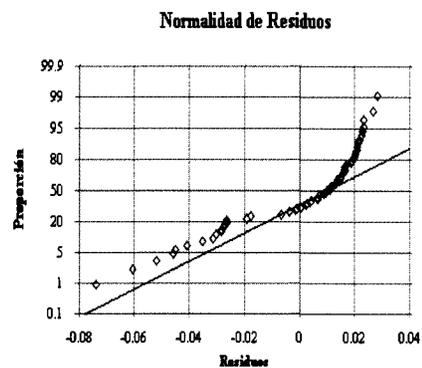


Gráfico 3



El gráfico 2 muestra una distribución sesgada de los residuos, lo que coincide con lo mostrado por el gráfico 3, el cual indica que no existe normalidad producto de las perturbaciones presentes a lo largo de la recta. Estos análisis gráficos apoyan el resultado obtenido a través de la prueba Kolmogorov – Smirnov.

## 2. Supuesto de Homocedasticidad

### (i) Test de Goldfeld – Quandt

$$c = n/3; c = 21$$

$$K_{\text{calculado}} = \text{SRC}_2 / \text{SRC}_1$$

#### Intensidad v/s Duración

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,157191	1	0,157191	37,15	0,0000
Residuos	0,0803962	19	0,00423138		
Total	0,237587	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,258941	1	0,258941	44,57	0,0000
Residuos	0,110373	19	0,00580912		
Total	0,369315	20			

$$K_{\text{calculado}} = 1,373$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

#### Intensidad v/s Periodo de Retorno

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,0472891	1	0,0472891	1,21	0,2854
Residuos	0,74369	19	0,0391416		
Total	0,790979	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

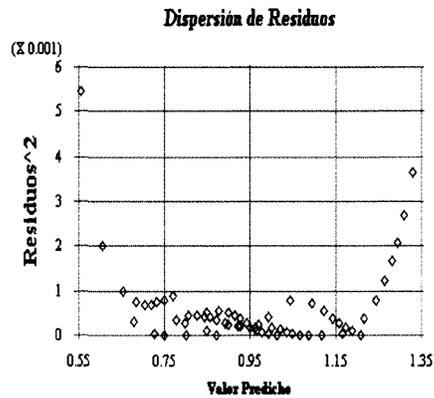
Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,00296973	1	0,00296976	0,09	0,7622
Residuos	0,59863	19	0,0315069		
Total	0,6116	20			

$$K_{\text{calculado}} = 0,80$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

(ii) **Análisis Gráfico**

**Gráfico 4**



La prueba de Goldfeld – Quandt entrega para ambas variables independientes un  $k_c$  menor al  $k_t$ , este último, extraído de la tabla de valores de la función de distribución F – Snedecor, por lo tanto se asume que las perturbaciones poblacionales son homocedásticas. Así mismo, el análisis gráfico de la dispersión de residuos no muestra un patrón de comportamiento que se asemeje a los determinados por Gujarati (1992).

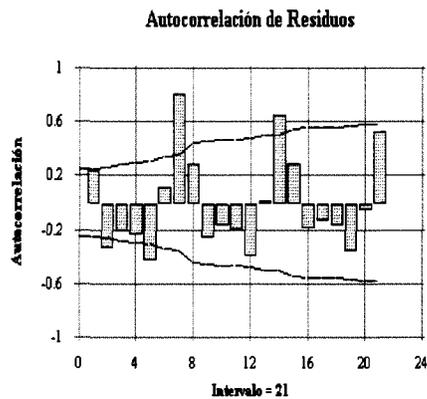
### 3. Supuesto de No – Autocorrelación

#### (i) Prueba $d$ de Durbin & Watson

$n$	63
$k$	2
$d$	1,49577
$d_l$	1,528
$d_u$	1,656
$0 < d < d_l$	
$0 < 1,495 < 1,528$	

#### (ii) Análisis Gráfico

#### Gráfico 5



De acuerdo con la prueba de Durbin & Watson el valor del estadístico  $d$  (1,495) calculado está por debajo del límite inferior ( $d_l$ ) de la regla de decisión, lo que demuestra la existencia de autocorrelación serial.

Este modelo de regresión al ser transformado a través del método iterativo, vuelve a presentar falta de normalidad de sus residuos y autocorrelación serial.

## APÉNDICE IX

### Análisis de Regresión Estación Traiguén

**Total de Datos: 63**

**Tabla 1: Análisis de Regresión. Modelo Lineal Múltiple:  $Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$**

<b>Variable Dependiente: Y</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>
<b>Constante</b>	1,89902	0,0186064	102,063	0,0000
<b>a<sub>1</sub></b>	0,154159	0,00667848	23,0829	0,0000
<b>a<sub>2</sub></b>	-0,481944	0,00619593	-77,7839	0,0000

**Tabla 2: Análisis de Varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>g. l.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	2,97879	2	1,4894	3291,58	0,0000
<b>Residuo</b>	0,0271492	60	0,000452487		
<b>Total</b>	3,00594	62			

Coeficiente de Determinación  $R^2$  = 99,0968  
 Coeficiente de Determinación  $R^2$  ajustado = 99,0667  
 Error Estándar de Estimación = 0,0212717  
 Error Medio Absoluto = 0,015565  
 Estadístico Durbin-Watson = 2,0225

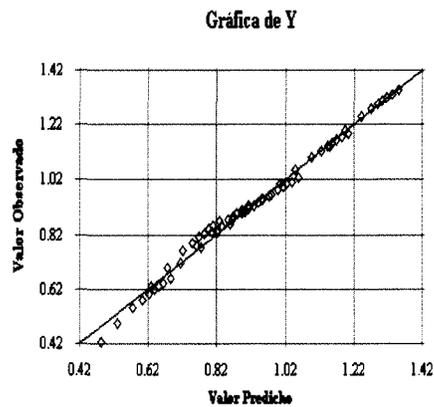
**Tabla 3: Puntos Influyentes**

<b>Fila</b>	<b>Influencia</b>	<b>Distancia</b>	<b>DFITS</b>
7	0,114843	6,93048	-1,11876
14	0,0766906	4,08282	-0,509124
62	0,0521863	2,37477	0,458524

**Tabla 4: Residuos Inusuales**

<b>Fila</b>	<b>Y</b>	<b>Y estimado</b>	<b>Residuos</b>	<b>Residuos Estand.</b>
7	0,426511	0,484624	-0,0581129	-3,11
27	0,790988	0,749662	0,041326	2,02
34	0,810904	0,768923	0,0419814	2,05
41	0,826075	0,783862	0,0422129	2,07
48	0,838219	0,796068	0,0421506	2,07
55	0,85187	0,811008	0,0408621	2,01

## Gráfico 1



### Ajuste del Modelo

Para el caso de esta estación pluviográfica, el resultado del análisis de regresión lineal múltiple entrega un  $R^2$  ajustado de 99,07%, lo que implica que dicho porcentaje de los valores observados es explicado por el modelo. Además en el análisis gráfico se ratifica lo anterior.

Por otra parte, tres de los datos presentan una mayor influencia sobre el nivel de ajuste, y seis de sus residuos son considerados inusuales, o sea, no se distribuyen de forma similar a los demás.

## Supuestos de Regresión

### 1. Supuesto de Normalidad

#### (i) Test de Kolmogorov – Smirnov

Estimación Estadístico Kolmogorov DPLUS	= 0,11661
Estimación Estadístico Kolmogorov DMINUS	= 0,0760789
Estimación completa Estadístico DN	= 0,11661
Valor-p aproximado	= 0,361586

Los resultados obtenidos a partir de la prueba K – S muestran la existencia de normalidad de los residuos, ya que el valor-p (0,36) es mayor al valor  $\alpha$  (0,05).

#### (ii) Histograma de Frecuencias

Gráfico 2

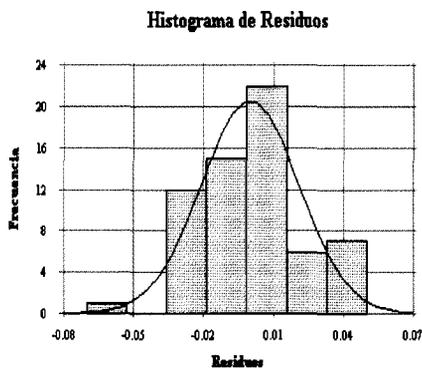
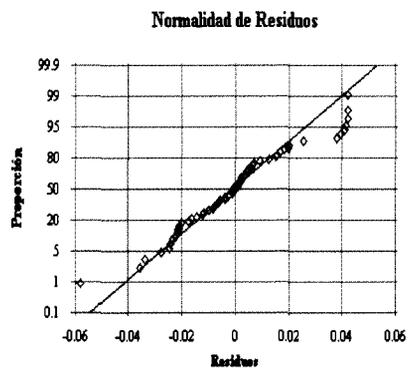


Gráfico 3



El gráfico 2 muestra una distribución normal de los residuos, y el gráfico 3 por su parte muestra también normalidad, pero con perturbaciones en sus extremos. De todos modos, esto no es suficiente para cuestionar la normalidad de dichos residuos, ya que la distribución normal de éstos está avalada por el resultado del test de Kolmogorov – Smirnov.

## 2. Supuesto de Homocedasticidad

### (i) Test de Goldfeld – Quandt

$$c = n/3; c = 21$$

$$K_{\text{calculado}} = \text{SRC}_2 / \text{SRC}_1$$

#### Intensidad v/s Duración

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,316544	1	0,316544	83,99	0,0000
Residuos	0,0716114	19	0,00376902		
Total	0,388155	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,325954	1	0,325954	65,3	0,0000
Residuos	0,0948453	19	0,00499186		
Total	0,420799	20			

$$K_{\text{calculado}} = 1,32$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

#### Intensidad v/s Periodo de Retorno

##### Análisis de Varianza Recta 1 (21 valores)

Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,0405417	1	0,0405417	0,79	0,3844
Residuos	0,971584	19	0,051136		
Total	1,01213	20			

##### Análisis de Varianza Recta 2 (21 valores)

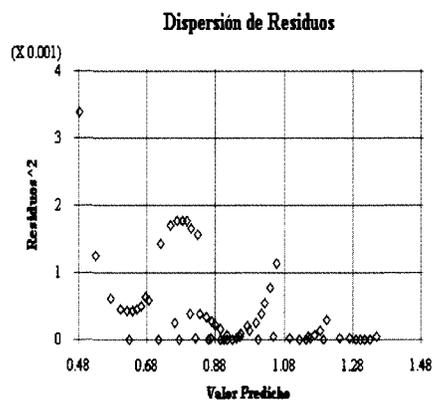
Fuente	Suma de Cuadrados	g. l.	Cuadrados Medios	F	Valor-p
Modelo	0,00270378	1	0,00270378	0,06	0,8123
Residuos	0,885907	19	0,0466267		
Total	0,888611	20			

$$K_{\text{calculado}} = 0,912$$

$$K_{\text{tabla}} = 2,17$$

(ii) Análisis Gráfico

Gráfico 4



La prueba de Goldfeld – Quandt entrega para ambas variables independientes un  $k_c$  menor al  $k_t$ , este último, extraído de la tabla de valores de la función de distribución F – Snedecor, por lo tanto se asume que las perturbaciones poblacionales son homocedásticas. Así mismo, el análisis gráfico de la dispersión de residuos no muestra un patrón de comportamiento que se asemeje a los determinados por Gujarati (1992).

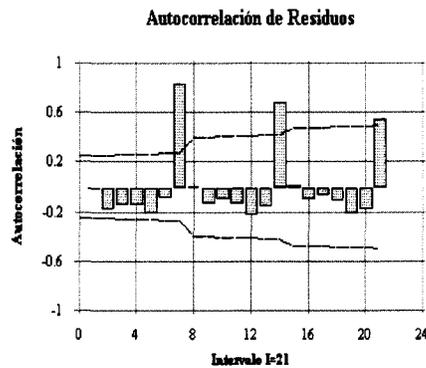
### 3. Supuesto de No – Autocorrelación

#### (i) Prueba $d$ de Durbin & Watson

$n$	63
$k$	2
$d$	2,0225
$d_l$	1,528
$d_u$	1,656
$d_u < d < 4 - d_u$	
$1,656 < 2,0225 < 2,342$	

#### (ii) Análisis Gráfico

#### Gráfico 5



De acuerdo con la prueba de Durbin & Watson el valor del estadístico  $d$  (2,023) calculado está en la región de no rechazo de la regla de decisión, lo que induce a pensar que no existe autocorrelación. Sin embargo, el análisis gráfico muestra la existencia de autocorrelación negativa.

A consecuencia de lo anterior y valorando la prueba Durbin & Watson por sobre el análisis gráfico, se acepta el supuesto de no – autocorrelación residual.

**Apéndice IX**  
**Coefficientes de Regresión Originales**

**1. Estación Cerro El Padre**

	<b>Parámetro</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Valor</b>
<b>1<sup>era</sup> Iteración</b>	$a_0^* = 1,21971$	$a_0 = a_0^* / (1 - p_1)$	$a_0 = 1,8632$
	$a_1^* = 0,14501$	$a_1 = a_1^*$	$a_1 = 0,1450$
	$a_2^* = -0,3780$	$a_2 = a_2^*$	$a_2 = -0,3780$
<b><math>p_1 = 0,34536</math></b>			

**2. Estación Chillán Viejo**

	<b>Parámetro</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Valor</b>
<b>1<sup>era</sup> Iteración</b>	$a_0^* = 1,6315$	$a_0 = a_0^* / (1 - p_1)$	$a_0 = 2,02$
	$a_1^* = 0,1494$	$a_1 = a_1^*$	$a_1 = 0,1494$
	$a_2^* = -0,4884$	$a_2 = a_2^*$	$a_2 = -0,4884$
<b><math>p_1 = 0,192675</math></b>			

**3. Estación Embalse Coihueco**

	<b>Parámetro</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Valor</b>
<b>1<sup>era</sup> Iteración</b>	$a_0^* = 0,8699$	$a_0 = a_0^* / (1 - p_1)$	$a_0 = 2,01$
	$a_1^* = 0,1876$	$a_1 = a_1^*$	$a_1 = 0,1876$
	$a_2^* = -0,4370$	$a_2 = a_2^*$	$a_2 = -0,4370$
<b><math>p_1 = 0,56715</math></b>			

**4. Estación Embalse Diguillín**

<b>Parámetro</b>
$a_0 = 1,89$
$a_1 = 0,1545$
$a_2 = -0,3752$

### 5. Estación Quilaco

---

**Parámetro**

---

$$a_0 = 2,01$$
$$a_1 = 0,1483$$
$$a_2 = -0,4788$$

---

### 6. Estación Curacautín

---

**Parámetro**

---

$$a_0 = 1,82$$
$$a_1 = 0,1783$$
$$a_2 = -0,4788$$

---

### 7. Estación Pucón

---

**Parámetro**

---

$$a_0 = 1,78$$
$$a_1 = 0,1783$$
$$a_2 = -0,4557$$

---

### 8. Estación Pueblo Nuevo

---

$$a_0 = 1,72$$
$$a_1 = 0,1644$$
$$a_2 = -0,4056$$

---

### 9. Estación Traiguén

---

$$a_0 = 1,90$$
$$a_1 = 0,1542$$
$$a_2 = -0,4819$$

---

**Apéndice X**  
**Valores de la Prueba U de Mann – Whitney**

$\alpha = 0.05$

$\alpha/2 = 0.025$

$1 - \alpha/2 = 0,975$

$Z_{\text{tabla}} = 1,96$

<b>Cerro El Padre</b>	<b>Valores Observados</b>	<b>Valores Estimados</b>
<b>R</b>	3996	4005
<b>U</b>	1989	1980
<b>E(U)</b>	1984,5	
<b>V(U)</b>	42005,25	
<b>Z<sub>c</sub></b>	<b>-0,02195638</b>	

<b>Chillán Viejo</b>	<b>Valores Observados</b>	<b>Valores Estimados</b>
<b>R</b>	3991	4010
<b>U</b>	1994	1975
<b>E(U)</b>	1984,5	
<b>V(U)</b>	42005,25	
<b>Z<sub>c</sub></b>	<b>-0,04635236</b>	

<b>Embalse Coihueco</b>	<b>Valores observados</b>	<b>Valores Estimados</b>
<b>R</b>	4000	4001
<b>U</b>	1985	1984
<b>E(U)</b>	1984,5	
<b>V(U)</b>	42005,25	
<b>Z<sub>c</sub></b>	<b>-0,0024396</b>	

<b>Embalse Diguillín</b>	<b>Valores Observados</b>	<b>Valores Estimados</b>
<b>R</b>	3997	4004
<b>U</b>	1988	1981
<b>E(U)</b>	1984,5	
<b>V(U)</b>	42005,25	
<b>Z<sub>c</sub></b>	<b>-0,0170772</b>	

<b>Quilaco</b>	<b>Valores observados</b>	<b>Valores Estimados</b>
<b>R</b>	4024	3977
<b>U</b>	1961	2008
<b>E(U)</b>	1984,5	
<b>V(U)</b>	42005,25	
<b>Z<sub>c</sub></b>	<b>-0,1146611</b>	

<b>Curacauti</b>	<b>Valores Observados</b>	<b>Valores Estimados</b>
<b>n</b>		
<b>R</b>	3864	4137
<b>U</b>	2121	1848
<b>E(U)</b>	1984,5	
<b>V(U)</b>	42005,25	
<b>Z<sub>c</sub></b>	<b>-0,666</b>	

<b>Pucón</b>	<b>Valores observados</b>	<b>Valores Estimados</b>
<b>R</b>	4009	3992
<b>U</b>	1976	
<b>E(U)</b>	1984,5	
<b>V(U)</b>	42005,25	
<b>Z<sub>c</sub></b>	<b>-0,04147316</b>	

<b>Pueblo Nuevo</b>	<b>Valores Observados</b>	<b>Valores Estimados</b>
<b>R</b>	4039	3962
<b>U</b>	1946	2023
<b>E(U)</b>	1984,5	
<b>V(U)</b>	42005,25	
<b>Z<sub>c</sub></b>	<b>-0,187849</b>	

<b>Traiguén</b>	<b>Valores Observados</b>	<b>Valores Estimados</b>
<b>R</b>	4023	3978
<b>U</b>	1962	2007
<b>E(U)</b>	1984,5	
<b>V(U)</b>	42005,25	
<b>Z<sub>c</sub></b>	<b>-0,1097819</b>	

## Apéndice XI

### Orden latitudinal de estaciones para 100 años de periodo de retorno.

Estación	Latitud	Intensidades (mm/hr)							
		48	24	12	8	6	4	2	1
Rivadavia	29°57'	2,53	4,21	6,35		8,09	9,45	12,06	15,38
E. la Paloma	30°41'	3,17	5,02	7,74		10,69	12,37	16,21	23,39
E. Cogotí	31°00'	3,63	5,82	7,86		10,76	12,5	17,24	20,4
Illapel	31°38'	2,57	4,41	7,14		9,96	11,28	14,43	18,36
La Tranquilla	31°54'	2,62	4,09	5,05		7,09	8,67	11,52	17,09
Hacienda Pedernal	32°05'	5,02	7,25	9,33	11,38	13,39	15,43	17,96	20,22
Los Cóndores	32°07'	3,83	5,93	7,7		9,36	10,87	14,46	18,48
Quelón	32°09'	2,25	3,5	4,71		6,93	9,16	13,93	16,79
Quillota	32°54'	3,83	5,71	9,91	13,29	15,79	18,16	21,16	22,57
E. Lliu-Lliu.	33°06'		6,17	8,29	9,16	9,92	11,25	14,11	18,83
L. Peñuelas.	33°09'	7,79	10,86	15,89	19,17	21,29	24,05	28,26	31,77
E. Rungue	33°02'	8,38	13,1	18,97	22,56	25,6	29,33	33,39	37,41
Cerro Calán	33°23'		5,84	8,58	9,78	11,04	13,94	18,78	21,53
Los Panguiles	33°26'		6,91	10,65	12,00	12,82	14,20	17,10	19,20
Pirque	33°40'		6,03	7,96	8,58	9,21	10,16	12,96	18,42
Melipilla	33°42'		5,49	7,38	9,11	10,86	14,21	23,47	34,72
Rengo	34°24'	3,81	5,39	7,45	8,68	9,69	11,29	14,91	21,43
Central las Nieves	34°29'	5,69	8,32	10,58	11,68	12,52	13,72	16,24	19,37
Convento Viejo	34°46'	4,12	5,78	7,68	8,79	9,98	11,75	15,6	23,53
Los Queñes	34°59'	5,56	7,69	11,44		14,19		22,39	30,13
Potrero Grande	35°10'	5,82	8,71	11,82		16,86		24,16	30,66
Pencahue	35°23'		4,48	6,21	7,28	8,28	10,16	13,34	19,56
Talca	35°26'		4,54	6,58	8,37	9,81	12,19	14,85	16,27
San Javier	35°35'	3,20	4,29	5,12		7,06		11,50	18,04
Colorado	35°37'		7,47	10,51	12,08	12,56	13,42	15,91	28,23
Melozal	35°44'		6,08	9,59	11,05	12,17	14,38	19,67	22,68
Embalse Ancoa	35°55'	5,54	8,33	12,17		16,27		21,80	27,49
Parral	36°11'		6,07	9,07	10,01	10,84	13,11	17,12	23,68
Embalse Digua	36°15'	5,72	8,71	12,47		16,91		23,13	30,91
Bullileo	36°17'		8,98	11,44	13,24	14,34	15,92	19,05	25,60
San Manuel	36°21'	5,42	9,11	11,22		13,65		20,97	28,49
Chillán Viejo	36°38'		6,4	8,18	9,83	10,88	13,09	19,73	29,02
Coihueco	36°39'		10,29	13,34	15,44	17,64	21,28	29,62	40,17
Diguillín	36°52'		10,23	13,23	15,08	16,56	19,6	27,94	32,2
Quilaco	37°41'		6,05	8,85	10,85	12,29	14,53	19,99	27,62
Cerro El Padre	37°47'		9,36	12,08	13,51	14,49	16,82	22,31	30,52
Traiguén	38°15'		4,58	7,41	8,4	9,14	10,63	15,42	22,03
Curacautín	38°26'		4,59	8,08	10,14	11,59	12,8	14,24	20,44
Pueblo Nuevo	38°44'		5,5	8,11	9,49	10,4	12,15	16,32	18,62
Pucón	39°16'		5,72	7,84	8,89	9,78	11,52	15,21	21,39

# **ANEXOS**

## ANEXO I

### 1. Región del Biobío con la distribución geográfica de sus estaciones.



Fuente: Enciclopedia Microsoft Encarta 2004.

Simbología:

- 1.- Estación Cerro El Padre.
- 2.- Estación Chillán Viejo.
- 3.- Estación Embalse Coihueco.
- 4.- Estación Embalse Diguillín.
- 5.- Estación Quilaco

## 2. Región de la Araucanía con la distribución geográfica de sus estaciones.



Fuente: Enciclopedia Microsoft Encarta 2004.

Simbología:

- 1.- Estación Curacautín.
- 2.- Estación Pucón.
- 3.- Estación Pueblo Nuevo (Temuco).
- 4.- Estación Traiguén.

## ANEXO II

### Coordenadas geográficas, UTM y altitud de las estaciones seleccionadas para ambas regiones.

Tabla 1. Coordenadas Cartográficas y altitud de las estaciones pluviográficas seleccionadas para la octava región del Biobío:

Estación Meteorológica	Coordenadas Cartográficas		Altitud m.s.n.m
	Latitud	Longitud	
Cerro El Padre	37° 47' 00''	72° 52' 00''	440
Chillan Viejo	36° 38' 00''	72° 06' 00''	140
Embalse Coihueco	36° 39' 00''	71° 49' 00''	330
Embalse Diguillin	36° 52' 00''	71° 38' 00''	710
Quilaco	37° 41' 00''	72° 00' 00''	225

Fuente: <http://www.dga.cl>

Tabla 2. Coordenadas UTM de las estaciones pluviográficas seleccionadas para la octava región del Biobío:

Estación Meteorológica	Coordenadas UTM Norte	Coordenadas UTM Este
Cerro El Padre	5815169	247851
Chillan Viejo	5941709	220689
Embalse Coihueco	5942008	250082
Embalse Diguillin	5916937	264584
Quilaco	5825143	235104

Fuente: <http://www.dga.cl>

Tabla 3. Coordenadas Cartográficas y altitud de las estaciones pluviográficas seleccionadas para la novena Región de la Araucanía.

Estación Meteorológica	Coordenadas Cartográficas		Altitud m.s.n.m
	Latitud	Longitud	
Curacautín	38° 26' 00''	71° 53' 00''	499
Pucón	39° 16' 00''	71° 58' 00''	200
Pueblo Nuevo	38° 44' 00''	72° 34' 00''	115
Traiguén	38° 15' 00''	72° 40' 00''	189

Fuente: <http://www.dga.cl>

Tabla 4. Coordenadas UTM de las estaciones pluviográficas seleccionadas para la novena región de la Araucanía.

Estación Meteorológica	Coordenadas UTM Norte	Coordenadas UTM Este
Curacautín	5741431	772098
Pucón	5647431	247739
Pueblo Nuevo	5711510	711487
Traiguén	5763543	705524

Fuente: <http://www.dga.cl>

### ANEXO III

#### Test de Goldfeld – Quandt.

Para la aplicación de esta prueba se deben seguir los siete pasos siguientes:

- Paso 1:** Se debe construir una tabla con los datos de origen X e Y.
- Paso 2:** Se deben ordenar los datos de menor a mayor según la magnitud de la variable X.
- Paso 3:** Se debe omitir las c observaciones centrales, para esto se divide por 3 el número total de datos;  $c = n/3$ .
- Paso 4:** Posteriormente se ajustan dos rectas de regresión independientes, R1 y R2, en donde R1 y R2 corresponden a los grupos de varianzas pequeñas y grandes respectivamente.
- Paso 5:** Se calcula la suma de los cuadrados de los residuos de cada una de las dos rectas R1 y R2. (SCR1 y SCR2), con  $[(n - c)/(2 - 2k)]$  grados de libertad para cada suma y k número de parámetros a estimar.
- Paso 6:** Se calcula,  $k = \frac{SCE_2 / g.l.}{SCE / g.l.}$ , el cual se distribuye como una prueba F de Snedecor con  $[(n - c - 2k)/2]$  grados de libertad (g.l.), tanto para el numerador como para el denominador.
- Paso 7:** Se compara el valor k de tabla con el valor k calculado. Si el  $k_{\text{tabla}}$  es mayor que  $k_{\text{calculado}}$  se asume que para un nivel de confianza dado no existe heterocedasticidad de las varianzas.

**ANEXO IV**  
**Test de Durbin – Watson.**

La regla de decisión y los valores de los límites para la prueba de Durbin & Watson, se encuentra en la literatura estadística y/o páginas de internet. Los límites se encuentran tabulados de acuerdo a nivel de significancia, número de datos y parámetros de la regresión.

<b>Hipótesis nula</b>	<b>Decisión</b>	<b>Sí</b>
No autocorrelación positiva	Rechazar	$0 < d < d_1$
No autocorrelación positiva	No tomar decisión	$d_1 < d < d_u$
No Autocorrelación negativa	Rechazar	$4 - d_1 < d < 4$
No Autocorrelación negativa	No tomar decisión	$4 - d_u < d < 4 - d_1$
No autocorrelación, positiva o negativa	No rechazar	$d_u < d < 4 - d_u$

Fuente: Gujarati, 1992.

## ANEXO V

### Test U de Mann – Whitney para muestras grandes ( $n > 10$ )

Cuando se desea aplicar la prueba U de Mann-Whitney en muestras grandes ( $n > 10$ ), la distribución de U se asemeja a una distribución normal, y se siguen los siguientes pasos:

**Paso 1** :Se selecciona el menor U, entre  $U_A$  y  $U_B$ .

**Paso 2** :Se obtiene un valor Z aplicando la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{U - E(U)}{\text{Var}(U)}$$

En donde:

$$E(U) = \frac{n_1 * n_2}{2} \quad \text{y} \quad \text{Var}(U) = \sqrt{\frac{n_1 * n_2 * (n_1 + n_2 + 1)}{12}}$$

Donde;

$n_1$  = número de observaciones en la muestra A.

$n_2$  = número de observaciones en la muestra B.

**Paso 3** Finalmente, se busca en una tabla correspondiente a la distribución normal la probabilidad (valor - p) asociada al Z calculado y se compara con el nivel de significancia.

**Nota:** Como regla de decisión se considera una prueba de dos colas y un valor  $\alpha = 0,05$ .

Si  $P \geq \frac{\alpha}{2}$ , entonces se acepta la hipótesis nula.

Si  $P < \frac{\alpha}{2}$ , entonces se rechaza la hipótesis nula.

## ANEXO VI

### Método Iterativo o Método $\rho$ .

Para la aplicación del método iterativo  $\rho$  se deben seguir los siete pasos siguientes:

**Paso 1** Determinar  $\rho$  donde,  $\rho = 1 - \frac{d}{2}$ , siendo  $d$  el indicador matemático de Durbin-Watson.

**Paso 2** Posteriormente se debe realizar una transformación de variables:

Se tiene el modelo original

$$Y(t) = a_0 + a_1 X_1(t) + a_2 X_2(t) \quad (1)$$

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

Luego, se tiene la expresión

$$Y(t - 1) = a_0 + a_1 X_1(t - 1) + a_2 X_2(t - 1) \quad (2)$$

Multiplicando (2) por  $\rho$  queda la siguiente expresión:

$$\rho \cdot Y(t - 1) = \rho \cdot a_0 + \rho \cdot a_1 X_1(t - 1) + \rho \cdot a_2 X_2(t - 1) \quad (3)$$

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

$$Yt^* = a_0^* + a_1^* X_1 t^* + a_2^* X_2 t^*$$

En donde,

$$Yt^* = Yt - [\rho \cdot Y(t - 1)],$$

$$a_0^* = a_0(1 - \rho),$$

$$X_1 t^* = X_1 t - [\rho \cdot X_1(t - 1)],$$

$$X_{2t}^* = X_{2t} - [\rho \cdot X_{2(t-1)}]$$

**Paso 3:** Se debe correr la regresión lineal  $Y_t^*$  v/s  $X_{1t}^*, X_{2t}^*$

**Paso 4:** Posteriormente se debe determinar los coeficientes de regresión originales  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$ , en donde

$$a_0 = \frac{a_0^*}{(1 - \rho)}$$

$$a_1 = a_1^*$$

$$a_2 = a_2^*$$

**Paso 5:** Verificar la no-autocorrelación de los modelos (test de Durbin-Watson). Si el problema persiste se debe iterar el procedimiento nuevamente, ya que existen modelos con autocorrelación mayor a primer orden.