



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

**ANÁLISIS DE ALGUNAS VARIABLES HIDROLÓGICAS Y SU AJUSTE A
FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, EN TRES CUENCAS DE
LA REGIÓN DEL MAULE**

MANUEL FERNANDO MUÑOZ VEAS

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

PROFESOR GUÍA: Dr. Ing. ROBERTO PIZARRO TAPIA

TALCA – CHILE

2004

***Memoria apoyada por el Programa de Financiamiento de Memorias
Gobierno Regional del Maule – Universidad de Talca***



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

El Sr. Manuel Fernando Muñoz Veas, ha realizado la Memoria "ANÁLISIS DE ALGUNAS VARIABLES HIDROLÓGICAS Y SU AJUSTE A FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, EN TRES CUENCAS DE LA REGIÓN DEL MAULE", 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 Sr. Roberto Pizarro Tapia y el Sr. Juan Franco de la Jara, han evaluado con nota 7.0 (siete).


**CRISTIAN LÓPEZ MONTECINOS
DIRECTOR
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL**

Talca, Junio de 2004.

A mis padres Lucí y Fernando, mis grandes amigos, el inmenso amor que fluye de ustedes, sin duda que se ve reflejado en la felicidad y logros de sus hijos.

A mi hermana Carolina, por su preocupación y valiosos consejos.

A mi hermano Pablo.

AGRADECIMIENTOS

- A mi chiquitita Jacksen, por su incondicional cariño, amistad, compañía y apoyo, durante todos estos años de universidad.
- Al Sr. Manuel Acuña y la Sra. Filomena Aravena, por otorgarme ambos su cariño y el tan necesario calor de hogar.
- A mis Tíos regalones Ernesto Muñoz y Nancy Torres, por su constante preocupación y disposición en ayudarme cuando lo requería.
- A la Sra. Bernardita por su siempre desinteresada preocupación.
- Al Ingeniero Dr. Roberto Pizarro, profesor guía de esta memoria, por su buena disposición, sus valiosos consejos, su confianza y amistad.
- Al Ingeniero Forestal Cristian Jordán, por su desinteresada asistencia profesional en el desarrollo de esta memoria.
- A la Dirección General de Aguas, VII Región, en especial al Ingeniero Forestal Claudio Ramírez B., por su tiempo en la facilitación de la información necesaria para el desarrollo de esta memoria.
- A todos mis amigos, simplemente por los momentos de confianza, compañía y las largas noches de tertulias que gozamos juntos.

RESUMEN

Este estudio aborda la aplicabilidad hidrológica de cinco modelos probabilísticos, correspondientes a las funciones de Gumbel, Normal, Log-Normal, Goodrich y Pearson Tipo III, a series anuales y de eventos extremos mensuales, de precipitación y caudal.

El estudio se centró en tres cuencas de la Región del Maule; la primera es la cuenca del río Purapel, ubicada en la cordillera de la costa y de origen exclusivamente pluvial. Las restantes dos cuencas, de los ríos Achibueno y Ancoa, son de origen cordillerano andino y ambas poseen un régimen pluvio-nival.

Mediante el coeficiente de determinación R^2 y el test de bondad de Kolmogorov Smirnov (K-S), fue posible determinar las funciones que mejor representan a las series de caudal y precipitación, para cada una de las cuencas.

Las series anuales se ven reflejadas en la función de Goodrich, independiente si la serie pertenece a una cuenca pluvial o pluvio-nival. Las series de precipitaciones mensuales en la cuenca pluvial, se representan por la función de Gumbel, y en la cuenca pluvio-nival, con la función Normal. Las series de caudales máximos y mínimos del río Purapel, se ven representadas en la función Log-Normal; en cambio, en el río Achibueno las series de caudales máximos y mínimos se reflejan en las funciones de Pearson Tipo III y Gumbel respectivamente.

Finalmente, no hay una función de distribución de probabilidad (FDP) única que represente a las series de caudales extremos y de precipitaciones mensuales en la región del Maule, a diferencia las series anuales, que se ven representadas por la función de distribución de Goodrich.

SUMMARY

This study examines the hydrologic applicability of five models to annual series and of monthly extreme events of precipitation and flow. Such models are: 1) Gumbel; 2) Normal; 3) Log-Normal; 4) Goodrich, and; 5) Pearson Type III.

The study was centred in three basins of the Region of Maule; the first, located in the basin of the river Purapel is located in the mountain range of the coast and consists exclusively of rain precipitation. The remaining two basins, of the rivers Achibueno and Ancoa, are of Andean mountain range and both consist of rainfall and snow precipitation.

By means of the coefficient of R^2 determination and the Kolmogorov Smirnov (K-S) test, it is possible to determine the functions that better represent the series of volume and precipitation, for each one of the river basins.

The annual series are reflected in the function of Goodrich regardless if the series belongs solely to a rainfall basin or basin of rainfall and snow precipitation. The series of monthly precipitations in the pluvial river basin is demonstrated by the function of Gumbel, and in the pluvio-nival river basin, with the Normal function. The series of maximum and minimum volumes of the Purapel River are represented in the Log-Normal function. In the Achibueno River, the series of maximum and minimum volumes are respectively reflected in the functions of Pearson Type III and Gumbel.

Finally, there are several functions of probability distribution (FDP) that represent the series of extreme volumes and monthly precipitations in the region of the Maule, with the exception of annual series which are represented by the function of distribution of Goodrich.

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- OBJETIVOS	2
3.- ANTECEDENTES GENERALES	3
4.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
4.1.- Variables Hidrológicas	6
4.1.1.- Precipitación	6
4.1.2.- Caudal	7
4.2.- Tratamiento probabilístico de la información hidrológica	7
4.2.1.- Análisis de frecuencia	8
4.3.- Ajuste a una función de distribución de probabilidad	10
4.4.- Funciones de Probabilidad	12
4.4.1.- Distribución Normal	12
4.4.2.- Distribución Logarítmico – Normal	13

4.4.3.- Distribución Pearson Tipo III	15
4.4.4.- Distribución Gumbel	16
4.4.5.- Distribución Goodrich	17
5.- METODOLOGÍA Y MATERIALES	18
5.1.- Marco general	18
5.2.- Fases metodológicas	20
5.2.1.- Revisión bibliográfica	20
5.2.2.- Recopilación de la información estadística	20
5.2.3.- Generación de la información fluviométrica y pluviométrica	21
5.2.4.- Corrección y completación de la información fluviométrica y pluviométrica	22
5.2.5.- Presentación de datos	22
5.2.6.- Ajuste a una función de distribución	23
5.2.7.- Parámetros estadísticos	23
5.2.8.- Determinación de parámetros de las funciones	28
5.2.9.- Determinación del mejor ajuste	32
5.3.0.- Análisis y discusión de los resultados	33
5.3.1.- Conclusiones y recomendaciones	34
5.3.2.- Materiales y Equipos	34
6.- PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	35
6.1.- Selección de las estaciones	35

6.2.- Tamaños de las muestras	36
6.3.- Parámetros o estadígrafos de posición y dispersión de las series	37
6.4.- Bondad del ajuste	42
6.4.1.- Función de Gumbel	42
6.4.2. - Función Normal	45
6.4.3. - Función Log- Normal	49
6.4.4.- Función Goodrich	52
6.4.5.- Función Pearson Tipo III	56
7.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
7.1.- Determinación y generación de las series y sus tamaños	60
7.2.-Características paramétricas de las series de precipitación y caudal	61
7.2.1.- Situación espacial y temporal de la variable precipitación	61
7.2.2.- Situación espacial y temporal de la variable caudal	65
7.2.3.- Datos anómalos	72
7.2.4.- Coeficiente de Asimetría	74
7.3.- Prueba de bondad de ajuste	76
7.3.1.- Series anuales	76
7.3.2.- Series de precipitación mensual	77
7.3.3.- Series de caudales mínimos	79
7.3.4.- Series de caudales máximos	81

8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 83

8.1.- Conclusiones 83

8.2.- Recomendaciones 85

9.- BIBLIOGRAFÍA 86

APENDICES

ANEXOS

1.- INTRODUCCIÓN

La hidrología es considerada como una de las ramas de la geofísica; estudia un recurso indispensable para la vida como es el agua, sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como también su distribución, circulación y relación con el medio ambiente (Varas y Bois, 1998).

La hidrología aplicada se presenta como una herramienta para la solución de diversos tipos de problemas relacionados con el agua, como es el diseño de obras, operaciones de control de erosión y sedimentación, control de avenidas e inundaciones, o la generación de hidroelectricidad.

Para solucionar los problemas que implica el diseño o la planificación hidrológica, se debe recurrir al estudio de la probabilidad, dado que dichos problemas se refieren a eventos que se podrían producir en el futuro, sin base en una estimación real, (Linsley *et al*, 1988). Sin embargo, el ingeniero no solamente debe estimar las magnitudes del diseño, si no además debe de indicar la probabilidad de excedencia, con el fin de dar un cierto grado de seguridad a la obra, o bien el riesgo de falla.

Así, para lograr lo anterior se debe construir un modelo probabilístico, y para ello contar con una función de distribución de probabilidad (FDP) representativa de la variable hidrológica de interés. Por ello el propósito de esta memoria, es realizar un aporte al conocimiento de las funciones de distribución de probabilidad y su aplicación a las variables hidrológicas de caudal y precipitación dentro de la Región del Maule, Chile.

2.- OBJETIVOS

2.1.- OBJETIVO GENERAL

- Aportar al conocimiento del comportamiento de las funciones de distribución de probabilidad de Gumbel, Goodrich, Pearson tipo III, Normal y Log normal, para valores de precipitación y caudal en tres cuencas de la Región del Maule, Chile.

2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar cuál de las funciones de distribución de probabilidad, enunciadas en el objetivo general, ajusta en mejor medida a las variables de precipitación y caudal en tres cuencas de la Región del Maule.
- Establecer recomendaciones de uso para las distintas funciones de distribución de probabilidad, para las variables precipitación y caudal.

3.- ANTECEDENTES GENERALES

La Región del Maule se extiende entre los 34° 41' y 36° 33' de latitud Sur. Limita al Norte con la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, al Sur con la región del Bío-Bío, al Oeste con el Océano Pacífico y al Este con el límite internacional de la República Argentina. La superficie regional es de 30.296,1 Km², que representa el 4.0% de la superficie Nacional, excluyendo el territorio Chileno Antártico. Según el Censo de 2000, la población asciende a 908.097 habitantes (B.C.N, 2004).

En cuanto al clima, se considera templado de tipo mediterráneo, con diferencias en sentido Norte-Sur. Presenta una estación seca de 6 meses en el Norte, a 4 meses en el Sur. La temperatura media es de 19 °C y con extremas de 30 °C, durante el período de verano; en cambio en invierno las temperaturas mínimas medias son de 7 °C.

Según CEDEC (1977), son diversos los factores climáticos que influyen en la región, entre los cuales se encuentran:

- **Circulación general de la atmósfera:** Se presentan dos regímenes circulatorios muy diferentes en las estaciones extremas. En verano el desplazamiento hacia el sur, del anticiclón del pacífico subtropical, trae consigo condiciones de tiempo estable, sólo interrumpidas por incursiones frontales muy ocasionales. Durante el invierno el desplazamiento hacia el norte del anticiclón, permite que los sistemas depresionarios que se desplazan hacia el este, inmersos en el cinturón de vientos oestes, traigan consigo condiciones climáticas variables, y frecuentes precipitaciones debidas a los sistemas frontales asociados, presentándose en el mes de abril un rápido aumento de las precipitaciones en los sectores costeros, valle central y cordillera, en tanto que la declinación de las lluvias primaverales es más gradual.

- **Influencia oceánica:** La expansión de la influencia moderadora del océano esta limitada por la cordillera de la Costa. Durante el día se generan brisas de mar que permiten que esta influencia se extienda hacia el interior siguiendo los valles transversales, además de la acción moderadora del régimen térmico asociada al comportamiento de una gran masa de agua.
- **Orografía:** Su efecto se manifiesta en el clima en todas las escalas, desde la planetaria hasta las regionales y locales. Así, el cordón Andino modifica significativamente la circulación atmosférica del hemisferio. Éste se manifiesta en la virtual carencia de desplazamiento del anticiclón subtropical y derivación y acumulación en la vertiente occidental andina de los sistemas nubosos de origen frontal.

La vegetación dominante registra variaciones, especialmente en sentido Oeste-Este, es decir de mar a cordillera. Hacia la Cordillera de la Costa, en el margen oriental, domina la estepa de "Acacia Caven" o espino y matorral esclerófilo (Quillay, Litre, Boldo y Peumo) en los sectores más húmedos. En los sectores de la precordillera de los Andes se desarrolla el Bosque Esclerófilo (Maitén, Quila, Quillay, Peumo y Boldo) que se ubica entre los 400 y 600 m de altura. Sobre los 600 msnm se encuentran los bosques de Nothofagus, en sectores de mayor humedad, denominado Bosque Maulino, con especies como Roble Maulino, Canelo, Lingue, Olivillo, Coigüe; entre los 800 y 1000 m se desarrolla el bosque de Nothofagus asociado con Canelo, Olivillo y Mañío; sobre los 1.200 m en la Cordillera de Los Andes se ubica el bosque de Roble (*Nothofagus obliqua*). Por sobre los 2.000 m, se localiza el Ciprés de la Cordillera y, por sobre esta especie, aparece la estepa andina de arbustos bajos y gramíneas (Chile a Color, 1981).

Según el Balance Hídrico de Chile, desarrollado en 1987 por la Dirección General de Aguas, en la VII Región se presenta al año un promedio de 1.377 mm de precipitaciones, 784 mm de esorrentía, y una evaporación real, en superficie natural, de 548 mm.

Como principal cuenca de la Región se presenta la del Maule, la cual nace en la Laguna del mismo nombre a 2.200 metros sobre el nivel del mar; así, con una capacidad máxima de 1.550 millones de metros cúbicos, la Laguna da origen al principal río de la Cuenca, el Maule, cuyo caudal oscila entre los 150 m³/s, durante Enero y Febrero, y los 800 m³/s durante el deshielo en los últimos tres meses del año. En la parte baja, principalmente en la cordillera de la costa, el régimen del escurrimiento es de tipo pluvial siguiendo la variación estacional de las precipitaciones. La desembocadura es en Constitución, donde el río alcanza los 200 metros de ancho (CEDEC, 1977).

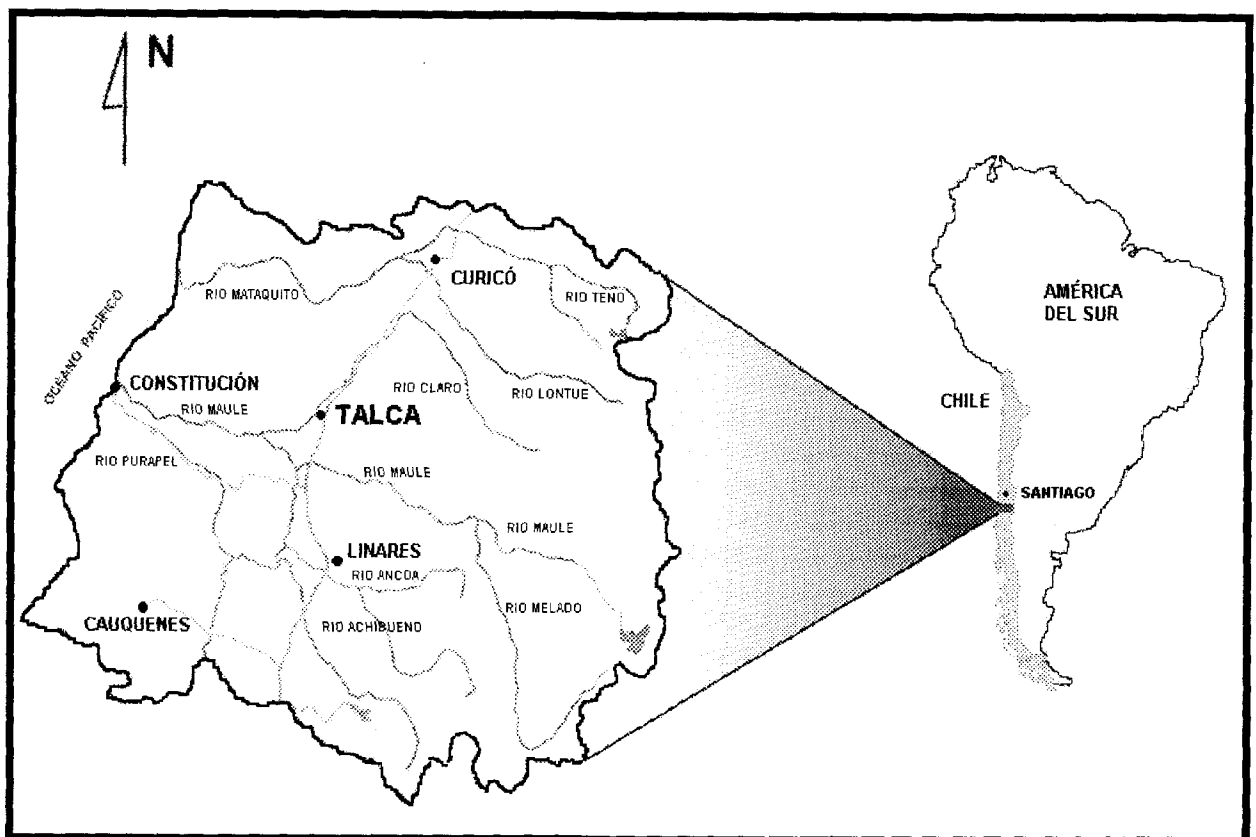


Figura N° 1: Mapa de la Región del Maule.

4.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1.- Variables hidrológicas

Según Varas y Bois (1998), gracias a las mediciones efectuadas en las estaciones climatológicas e hidrométricas, se cuenta con observaciones de variables hidrológicas, tales como precipitación, caudal u otras. Éstas son consideradas como variables aleatorias, las cuales se definen mediante una función que asigna un valor a las variables, asociado a cada punto del espacio muestral, o resultado de un experimento.

4.1.1.- Precipitación

Según Llamas, (1993), la precipitación es definida como el fenómeno físico que describe la transferencia de agua, en base líquida o sólida, entre la atmósfera y el suelo. Asimismo, la formación de precipitación requiere de la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense, (Chow, V. *et al* 1994).

Para Aparicio (1997), desde el punto de vista hidrológico, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y la medición de ésta, forma el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso del agua.

Según Fernández (1995), la precipitación, junto con la temperatura, es el elemento climático más influyente en el medio natural, ya que influyen en la distribución de las especies vegetales y animales, además de la actividad del hombre, como son las agrícolas y las económicas entre otras.

4.1.2.- Caudal

Se denomina caudal o gasto, a la cantidad de fluido que pasa a través de una superficie S durante un cierto tiempo t . Así, la unidad de medida para valores de caudal se determina por la razón unidad de volumen versus unidad de tiempo, y lo más comúnmente empleado es m^3/s (Pizarro, R. *et al*, 1993).

Según Flores (1999), las mediciones del caudal de un río han sido de interés de antiguas civilizaciones. Sin embargo, en los últimos 50 años, la creación de instituciones encargadas de los recursos hídricos de una cuenca y los avances tecnológicos logrados en este campo, pueden asegurar registros fluviométricos periódicos, precisos y confiables.

4.2.- Tratamiento probabilístico de la información hidrológica

Según Chow, V. *et al* (1994), un conjunto de observaciones de x_1, x_2, \dots, x_n , de la variable aleatoria se denomina una *muestra*. Una muestra es sacada de una población hipotéticamente infinita, que posee propiedades estadísticas constantes. Las propiedades de una muestra pueden cambiar de una muestra a otra y el conjunto de todas las muestras posibles que pueden extraerse de una población, se conoce como *espacio muestral*, y un evento es un subconjunto muestral. Si las observaciones de una muestra están idénticamente distribuidas, éstas pueden ordenarse para formar un *histograma de frecuencia*. Ahora bien, si el número de observaciones n_i en el intervalo i que cubre un cierto rango, se divide por el número total de observaciones n , el resultado se conoce como *frecuencia relativa*. Asimismo, la suma de los valores de la frecuencia relativa hasta un punto dado es la *función de frecuencia acumulada*, y en su límite, cuando $n \rightarrow \infty$ y $\Delta x \rightarrow 0$, se denomina *función de distribución de probabilidad*.

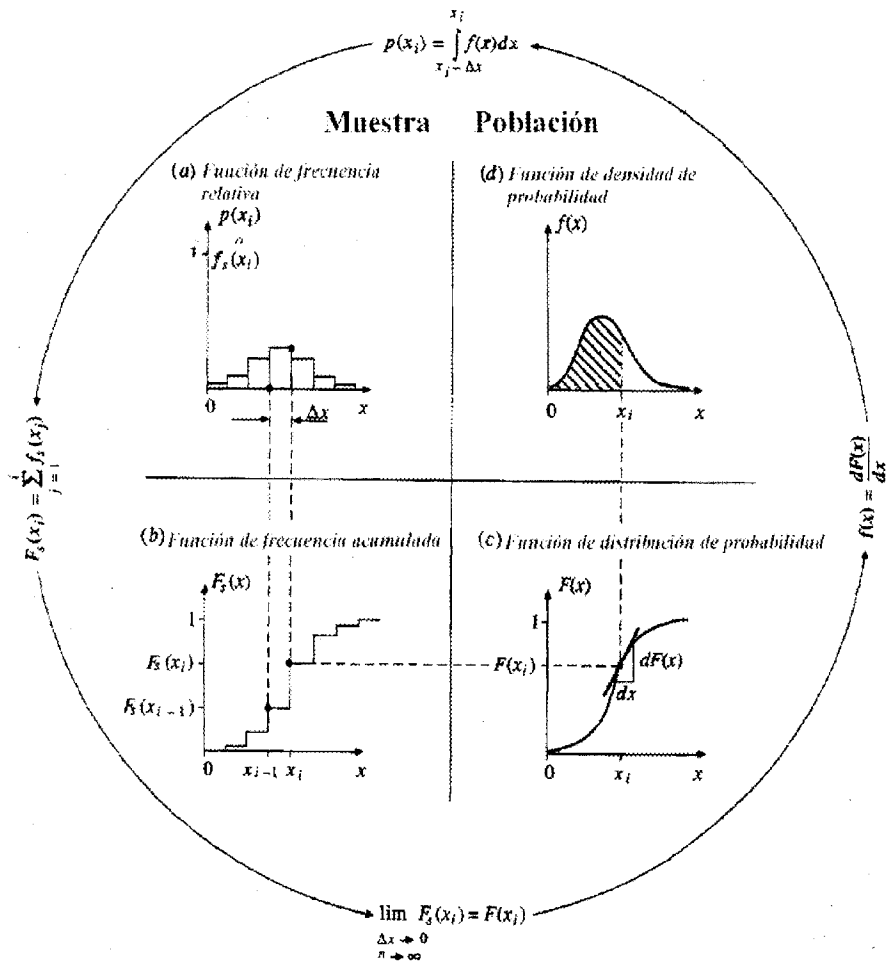


Figura 2: Funciones de frecuencia de la muestra y funciones de probabilidad de la población (Fuente: Chow *et al.* 1994).

4.2.1.- Análisis de frecuencia

El objetivo del análisis de frecuencia es relacionar la magnitud de eventos extremos (tormentas, avenidas y sequías), con su frecuencia de ocurrencia, usando distribuciones de probabilidad. Asimismo se plantea que la información hidrológica requerida para el análisis debe de ser independiente y que el sistema hidrológico sea estocástico, independiente del

espacio y del tiempo (Nania, L. 2003). Igualmente, Ashkar *et al.*, (1993), hacen mención a que el análisis de frecuencia es un método basado en procedimientos estadísticos que permiten calcular la magnitud del caudal asociado a un período de retorno. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica.

Ahora, con respecto a las variables hidrológicas en estudio, se sabe que las series de caudales y precipitaciones máximas no se ajustan a distribuciones normales, por lo tanto se torna necesario utilizar distribuciones extremas, como la Logarítmica-Normal, la función Gamma, la función Pearson y la función de Gumbel (Mintegui y López, 1990). Asimismo Linsley *et al.*, (1988), señalan que los valores de las precipitaciones máximas horarias o diarias, generalmente se ajustan a distribuciones tales como la función de Gumbel. Sin embargo, no es la única que puede utilizarse para determinar las intensidades de precipitación o caudales extremos, aunque, es la más conocida y la que ha tenido mayor aplicación en todo el mundo (CEOTMA, 1981).

La OMM (1994) señala que numerosos fenómenos hidrológicos extremos no pueden ser pronosticados con suficiente destreza y tiempo de antelación. Por ello, como los eventos representados en una serie cronológica de valores máximos absolutos pueden ser físicamente independientes, se admite la introducción del análisis probabilístico con funciones de distribución aplicables a series no estacionarias. Los cambios en las condiciones de escorrentía de una cuenca, los cambios en las instalaciones hidrológicas o hidrométricas, los errores sistemáticos, o los cambios en las condiciones de exposición de algunos instrumentos, entre otro, harán que las series no sean estacionarias.

Una serie cronológica es una secuencia de valores numéricos organizados en el orden de su ocurrencia en el tiempo. En el caso particular de las series hidrometeorológicas de valores máximos, éstas se componen siguiendo tres criterios básicos (Planos, 2003):

a) Series de máximos anuales: Formadas con el valor máximo absoluto anual observado en una estación durante el período seleccionado para el estudio.

b) Series de duración parcial: Organizadas sobre la base de un valor seleccionado como umbral y cuidando que en la serie queden incluidos todos los registros observados que cumplan dicha condición durante el período que se estudia. En este caso no existe un intervalo de tiempo predeterminado (anual, semestral o mensual) para la selección de la magnitud hidrológica, ni importa que los registros u observaciones procedan de un mismo fenómeno.

c) Series de duración temporal: Referidas a los valores máximos de un período limitado de tiempo, como puede ser la temporada lluviosa o seca. En este caso, la forma de integrar la serie se hace siguiendo cualquiera de los dos procedimientos anteriores.

4.3.- Ajuste a una función de distribución de probabilidad

Según Varas y Bois (1998), el hidrólogo al trabajar con registros observados, requiere elegir el modelo más adecuado para representar la muestra y además estimar los parámetros del modelo. Conjuntamente Nania, L. (2003), hace referencia a que mediante el ajuste a una distribución de un conjunto de datos hidrológicos, una gran cantidad de información probabilística en la muestra puede resumirse en forma compacta en la función y en sus parámetros asociados.

El modelado probabilístico de los eventos máximos, consiste en un conjunto de análisis y cálculos encaminados a aplicar una ley de probabilidades a una serie cronológica de magnitudes organizadas según el año hidrológico, que sea capaz de caracterizar adecuadamente los parámetros estadísticos y los valores para diferentes probabilidades de las variables en estudio (González P. y Carrasco A., 1996).

El ajuste a una función de distribución puede llevarse a cabo por el método de los momentos.

Este método fue desarrollado por primera vez por Karl Pearson (1902). Pearson consideró que unos buenos estimativos de los parámetros de una función de probabilidad, son aquellos para los cuales los momentos de la función de densidad de probabilidad alrededor del origen son iguales a los correspondientes de la información de la muestra. (Nania, L. 2003).

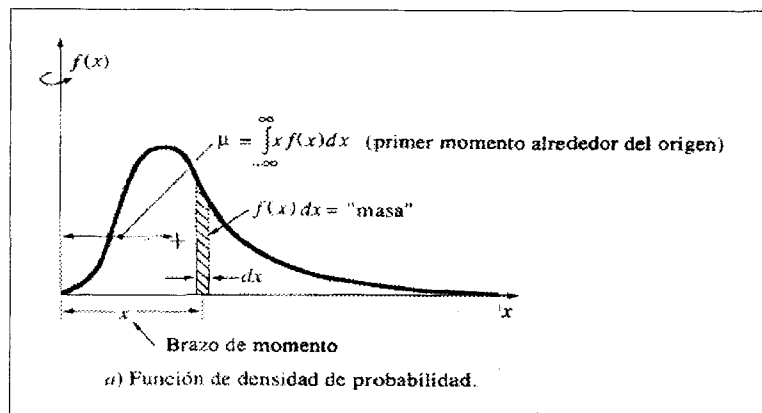


Figura 3: Primer momento alrededor del origen en una función de densidad de probabilidad.

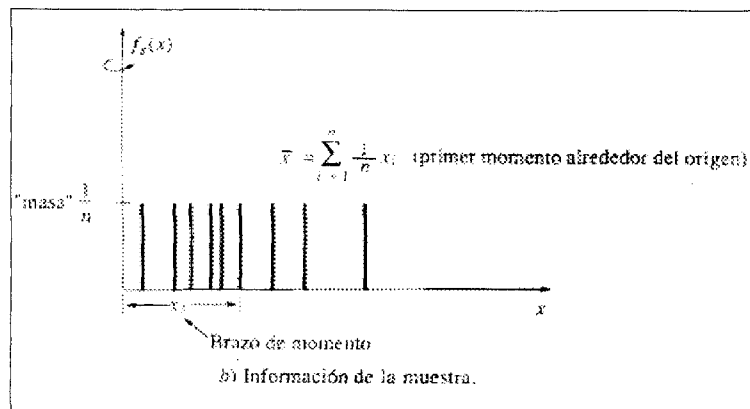


Figura 4: Primer momento alrededor del origen en la información de la muestra.

4.4.- Funciones de Probabilidad

4.4.1.- Distribución Normal

Según Varas y Bois (1998), la función Normal es el modelo más utilizado y con mayor importancia en el campo de la estadística. Según Box, G. *et al*, (1994), una variable tiene distribución normal si su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{e^{-0.5\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad ; \quad \text{para } -\infty \leq x \leq \infty$$

La función de distribución de probabilidad normal es por definición:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx$$

La función Normal presenta la siguiente tendencia:

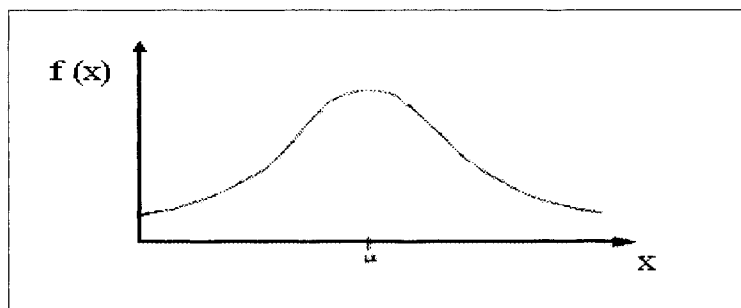


Figura N° 5: Distribución Normal.

Donde:

σ : Desviación estándar de x.

μ : Media aritmética de x.

e : Constante de Neper.

En cuanto a la utilización de esta función en hidrología, Linsley *et al*, (1988), hacen referencia a que en áreas húmedas, donde el valor medio es alto, la precipitación mensual por estaciones o la precipitación total anual, se aproximará a una distribución Normal.

Así, también Mintegui y López (1990) determinan que no es recomendable la utilización de la función Normal en las series de valores extremos de caudales y precipitación.

4.4.2.- Distribución Logarítmico – Normal

Las variables físicas de interés en hidrología (precipitación, caudal, evaporación y otras) son generalmente positivas, por lo cual es usual que presenten distribuciones asimétricas. Así, se ha propuesto aplicar una transformación logarítmica (Varas y Bois, 1998; Chow, V. *et al*, 1994), donde $Y = \log X$, está normalmente distribuida; luego X está distribuida en forma normal, y su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{e^{-0.5\left(\frac{y-\bar{y}}{\sigma_y}\right)^2}}{\sigma_y \sqrt{2\Pi}}$$

La función Logarítmica normal presenta la siguiente forma:

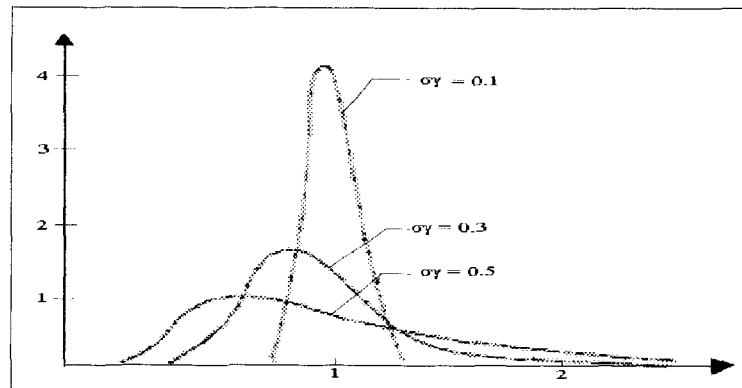


Figura N° 6: Distribución Log- Normal.

Siendo:

\bar{y} : Promedio de $\ln x$.

σ_y : Desviación estándar de los $\ln x$.

e : Constante de Neper.

Estudios realizados por Poblete y Aguiar (2002), y Carletto *et al*, (1986), identifican a la función Log-normal como la que presenta mejor bondad en su ajuste a series de caudales anuales, en dos ríos andinos de la provincia de San Juan, Argentina. Esta función es superior que la función Gamma y Normal, con ajustes sobre un 90% por los test de bondad de ajuste de Kolmogorov Smirnov y Ji cuadrado.

Asimismo, Vogel y Kroll (1989), experimentan con varias funciones de distribución en su ajuste a series de caudales mínimos en 23 estaciones de Massachussets, Estados Unidos. En base a este estudio se determina que la función que mejor representa a las series de caudales mínimos es la Log-Normal.

4.4.3.- Distribución Pearson Tipo III

La distribución Pearson tipo III o distribución Gamma, posee una gran flexibilidad y diversidad de forma, dependiendo de los valores de sus parámetros. Es una función asimétrica y se define para valores positivos de la variable, lo que concuerda con las propiedades de la mayoría de las variables de interés en hidrología (Varas y Bois, 1998). Del mismo modo, Chow, V. *et al*, (1994), asimilan la utilización de esta distribución para lluvias o caudales máximos anuales. La función de distribución de este modelo es:

$$F(x) = \int_0^x \frac{[x-y]^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-y}{\alpha}\right)}}{\alpha \Gamma(\beta) [\alpha]^{\beta-1}} dx$$

Donde:

α , β , γ : Parámetros de la función.

e : Constante de Neper.

Los resultados del estudio realizado por Kroll y Vogel 2002, en 1.505 estaciones en Estados Unidos, determinan que la función de Pearson Tipo III, es la que mejor representa a las series de caudales mínimos intermitentes, donde se presentan descargas con valores cero. Asimismo, las series de caudales mínimos permanentes se ven reflejadas en la función Log-Normal de tres parámetros

Para ajustar distribuciones de tres parámetros, se requiere estimar el coeficiente de asimetría de la distribución; para ello es necesario disponer de una serie con longitud de registros larga, mayor de 50 años, (Kite, 1988). Las distribuciones de dos parámetros son

usualmente preferidas cuando se dispone de pocos datos, porque reducen la varianza de la muestra, (Ashkar *et al*, 1993).

4.4.4.- Distribución Gumbel

Según Fisher y Tippet (1963), citado por Linsley *et al*, (1975), la distribución del valor máximo o mínimo seleccionado de muestras de tamaño n , se aproxima a una distribución límite cuando el tamaño de las muestras aumenta. Por ello, Varas y Bois (1998), definen la función de distribución acumulada con la siguiente expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-u)}}$$

Donde:

a, u : Parámetros de la función.

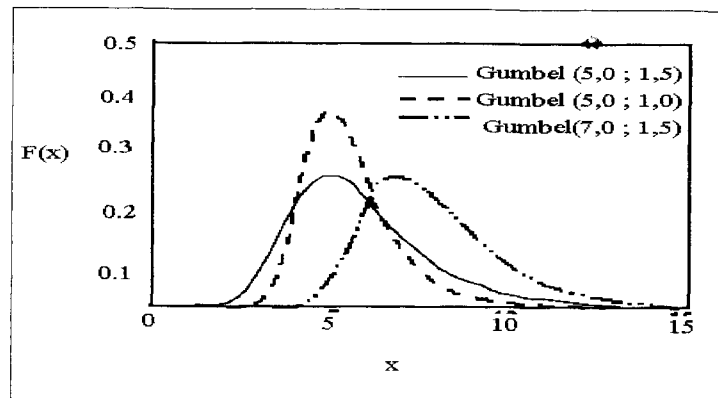


Figura N° 7: Distribución Gumbel

Son diversos los estudios realizados en base a esta función; cabe destacar el de Lazcano (2004), donde determina que la base de datos de precipitación máxima en 24 horas, entre 1961-1996, en la península Ibérica e islas Baleares, se define bien con la función de distribución de Gumbel. Así, también es importante destacar a Garrido (1992), en su estudio de precipitaciones máximas anuales, en la provincia de Murcia, España, deja en cuestionamiento la utilización de la función de Gumbel para dar cuenta del riesgo de lluvias intensas, sugiriendo el estudio de un modelo más realista de las precipitaciones extremas.

Asimismo, Önöz and Bayazit 1999, en su estudio de caudales mínimos en 16 ríos de Europa, determinan en forma general que la función de distribución de Gumbel es la más recomendable en su uso.

4.4.5.- Distribución Goodrich

Según Pizarro, R. *et al*, (1988), la función de Goodrich elimina los valores extremos, en que la probabilidad de ocurrencia es muy pequeña. Por lo mismo, consigue suprimir las distorsiones que puede provocar un solo valor anómalo. Así, la función de distribución de Goodrich queda definida por:

$$F(x) = 1 - e^{-\alpha(x-x_1)^{1/p}}$$

para; $X_1 < X \leq \infty$

Donde:

x, α, p : Parámetros de las Funciones de distribución.

e : Constante de Neper.

5.- METODOLOGÍA Y MATERIALES

5.1.- Marco general

El presente estudio, se basa en un análisis comparativo de cinco modelos probabilísticos correspondientes a funciones de distribución de probabilidad de Gumbel, Goodrich, Normal, Log-Normal y Pearson tipo III; y su aplicación a series de eventos extremos y anuales, para las variables hidrológicas de caudal y precipitación.

La aplicación del estudio se centró en tres cuencas de la región del Maule:

- Cuenca del río Achibueno, estación fluviométrica Los Peñascos, ubicada a una altura de 590 m.s.n.m. entre los 35° 58' Latitud Sur y los 71° 30' Longitud Oeste. Sus registros se remontan desde el año 1947, hasta 1980.
- Cuenca del río Ancoa, estación pluviométrica Embalse Ancoa, ubicada a una altura de 410 m.s.n.m. entre los 35° 53' Latitud Sur y los 71° 19' Longitud Oeste. Se encuentra actualmente en operación y cuenta con información desde el año 1957.
- Cuenca del río Purapel, con su estación fluviométrica y pluviométrica ubicada en el sector de Nirivilo a una altura de 96 m.s.n.m. entre los 35° 33' Latitud Sur y los 72° 06' Longitud Oeste. Esta estación data con información desde el año 1957 a la fecha.

Es importante destacar que las tres cuencas se ubican en la Séptima región administrativa del país, en la zona subhúmeda de Chile.

La comparación de estos cinco modelos probabilísticos, pretende encontrar cuál de estas funciones de distribución de probabilidad se acomoda en mayor medida a las condiciones o características hidrológicas que pueda presentar cada una de las cuencas en estudio, ubicadas en las zonas precordillerana y costera de la región del Maule. Todo lo anterior, con el objetivo de contar con mayores y mejores antecedentes, para seleccionar modelos probabilísticos, que mejor representen a las variables en estudio.

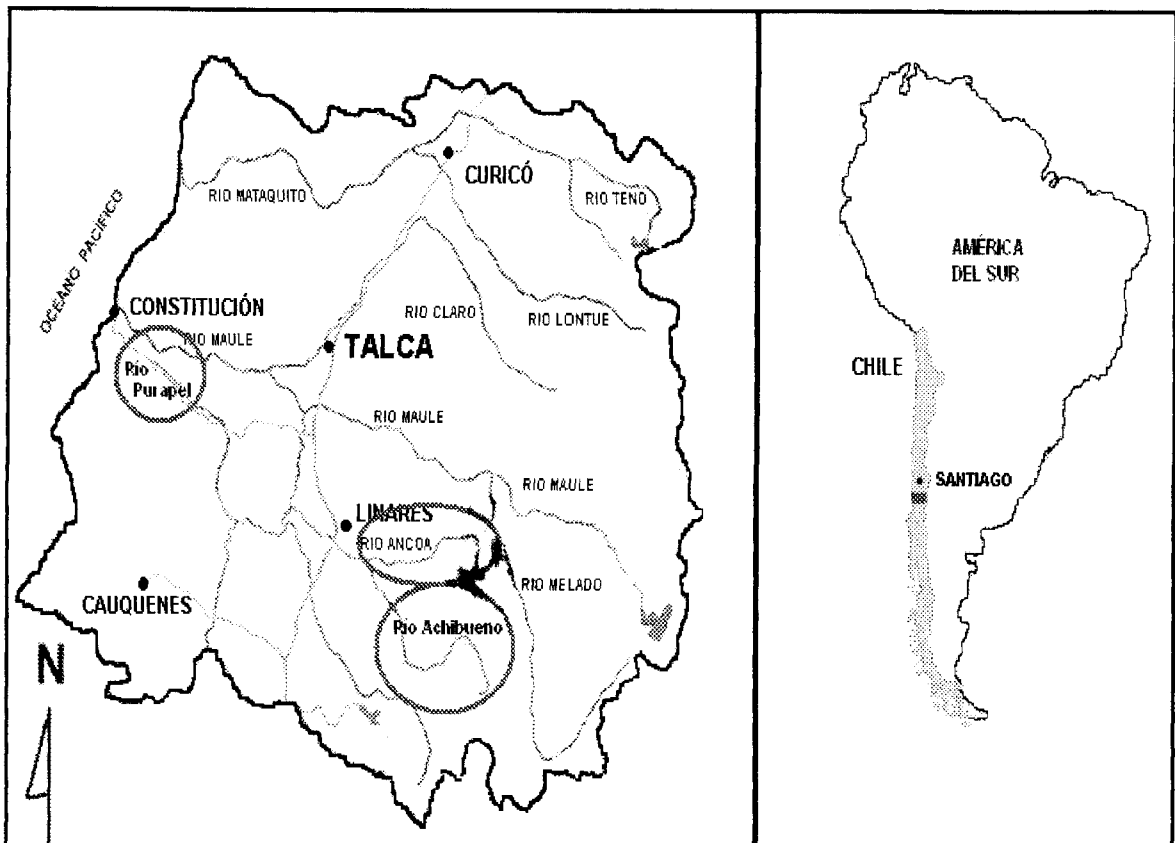


Figura N° 8: Mapa de las zonas de estudios.

5.2.- Fases metodológicas

5.2.1.- Revisión bibliográfica

En esta etapa, se efectuó una revisión bibliográfica con los aspectos más relevantes, de los modelos probabilísticos de interés hidrológico, como son las funciones de Gumbel, Goodrich, Pearson tipo III, Normal y Log-Normal, y sus aplicaciones. Conjuntamente se recopiló información sobre las variables hidrológicas de interés, como son caudal y precipitación, y sus eventuales tratamientos probabilísticos como variables aleatorias.

5.2.2.- Recopilación de la información estadística

La información requerida para realizar la investigación, series de precipitación y caudal, fue suministrada por la Dirección General de Aguas (D.G.A) de Talca. Se debe destacar que esta información corresponde a series de tiempo de aproximadamente 40 años, lo cual es considerado como aceptable para entregar una validez estadística confiable.

De los 32 puntos de control operativos en la región del Maule, se identificaron puntos representativos y que contuvieran información confiable en el tiempo, como son las estaciones pluviométrica y fluviométrica de Nirivilo, ubicada en la cuenca del río Purapel, estación pluviométrica Embalse Ancoa y la estación fluviométrica de Los Peñascos, situada en la cuenca del río Achibueno.

Los conjuntos de series de precipitación y caudal son los siguientes:

- Serie de precipitación anual estación Nirivilo.

- Serie de precipitación anual estación Embalse Ancoa.
- Series de precipitación mensual estación Nirivilo.
- Series de precipitación mensual estación Embalse Ancoa.
- Serie de caudal medio anual río Purapel, estación Nirivilo.
- Serie de caudal medio anual río Achibueno, estación Los Peñascos.
- Series de caudal máximo mensual río Purapel, estación Nirivilo.
- Series de caudal máximo mensual río Achibueno, estación Los Peñascos.
- Series de caudal mínimo mensual río Purapel, estación Nirivilo.
- Series de caudal mínimo mensual río Achibueno, estación Los Peñascos.

Cabe destacar por último, que se trabajó con 76 series, las cuales cuentan con un promedio de cuarenta datos cada una. Es así que se procesaron aproximadamente 15.500 datos en busca de los resultados.

5.2.3.- Generación de la información fluviométrica y pluviométrica

Gran parte de la información base para esta investigación, tuvo que ser procesada en busca de la obtención de la serie final; esto fue para el caso de las series de caudales máximos y mínimos del río Purapel, en las cuales sólo se contaba con las alturas de los limnigrafos. Para sus transformaciones a caudales (m^3/s), se utilizaron dos métodos válidos:

- a) A través de la serie de curvas de descargas obtenidas de las crecidas mínimas del río Purapel, elaboradas dentro del marco del proyecto FONDECYT N° 1010590; “Influencia de los Bosques de Pino Radiata (D.Don) en la producción de agua. Régimen hídrico: río Purapel Séptima Región.”, en donde cada curva cuenta con la característica de ser representativa dentro de un lapso de dos años. Estas curvas fueron diseñadas para abarcar desde el año 1961 al 2000.

5.2.6.- Ajuste a una función de distribución

El ajuste a una función de distribución, se realizó determinando los parámetros de las muestras; esto se llevó a cabo por el método de los momentos, el cual considera que los estadísticos de la muestra son buenos estimadores de los momentos de la población, como queda demostrado en la equivalencia de las siguientes ecuaciones:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \iff u = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

El ajuste se realiza en base a los requerimientos y particularidades que presenta cada función; es así como las funciones de Gumbel, Goodrich, Normal y Log-Normal, sólo requieren del cálculo de dos parámetros, a diferencia de la función de Pearson tipo III, que requiere del cálculo de tres parámetros.

5.2.7.- Parámetros estadísticos

Los estadísticos extraen información de una muestra, indicando las características de la población. Los principales estadísticos son los momentos de primer, segundo y tercer orden correspondiente a la media, varianza y asimetría, respectivamente.

a) Media μ : Es el valor esperado de la variable misma o primer momento respecto al origen. Muestra la tendencia central de la distribución

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

El valor estimado de la media a partir de la muestra es

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

b) Desviación Estándar: La desviación estándar, es una medida de la variabilidad, ya que es la raíz cuadrada de la varianza y su valor estimado se denota por σ .

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

Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor es la dispersión de los datos (ver Figura 9).

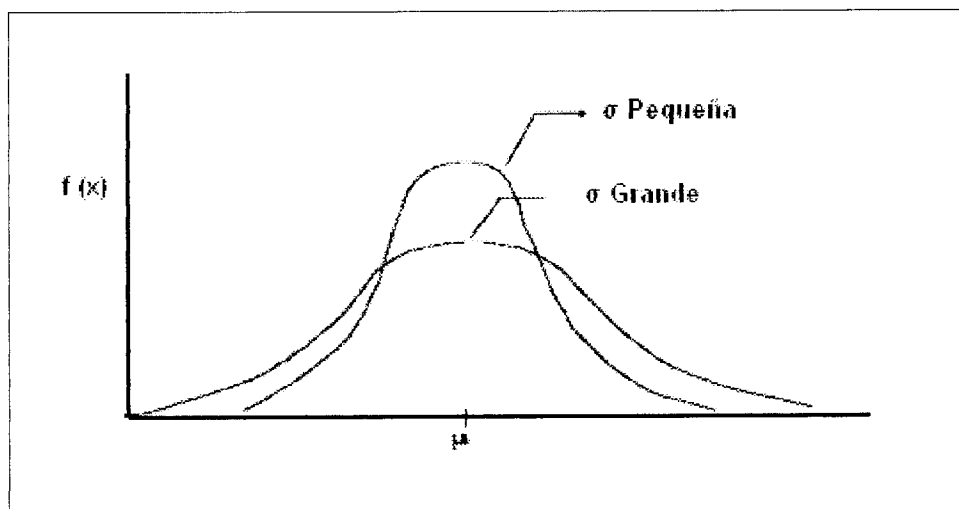


Figura N° 9: Distribución de probabilidades con diferentes desviaciones estándar.

Asimismo Garrido, R. (1992), define la presencia de datos aislados como “*outliers*”, es decir, datos de la muestra que se apartan considerablemente de la ley de distribución de probabilidad que se supone rige a la población y que aparentemente son inconsistentes con el resto de los datos.

Estos puntos aislados pueden deberse a diversos motivos como:

- a) La variedad de causas que originan la lluvia, tales como tormentas aisladas, complejos convectivos, precipitaciones orográficas, etc.
- b) Presencia de errores instrumentales, situación que es manejada al ser trabajados por personal profesional, lo que supone una garantía en la fiabilidad de los datos, disminuyendo al mínimo los errores instrumentales y de transmisión de datos.
- c) Estar justamente en presencia de máximos históricos de las series o en el caso de otras lluvias excepcionalmente grandes.

A su vez, la **varianza** σ^2 , es considerada el segundo momento respecto de la media.

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - u)^2 f(x) dx$$

El valor estimado de la varianza a partir de la muestra es:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

- c) **Coefficiente de asimetría γ** : La distribución de los valores de una distribución alrededor de la media se mide por la asimetría. Se obtiene a partir del tercer momento alrededor de la media, dividiéndolo por el cubo de la desviación estándar, para que sea adimensional.

$$E = [(x - u)^3] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - u)^3 f(x) dx \quad ; \text{ o tercer momento respecto a la media}$$

El valor estimativo de la muestra es:

$$y = \frac{1}{\sigma^3} E[(x - u)^3]$$

Un estimador del coeficiente de asimetría, está dado por

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2) * s^3}$$

Para coeficientes de asimetría negativos se habla de una distribución asimétrica hacia la izquierda y, para coeficientes positivos, una distribución hacia la derecha. La simetría se presenta con el coeficiente cero. Todo lo anterior se puede apreciar en forma gráfica en la figura N° 10

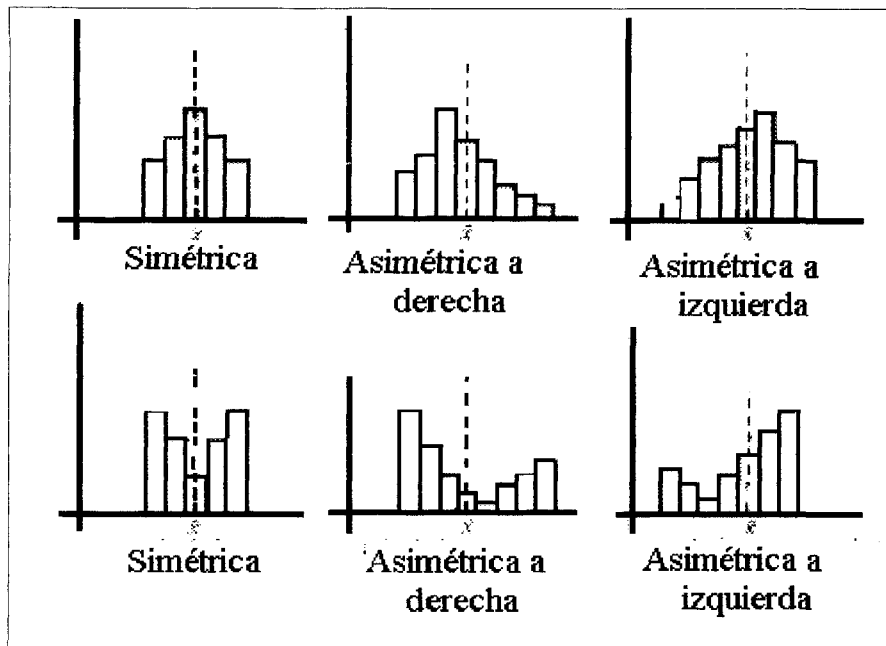


Figura N° 10: Representación grafica de las asimetrías.

5.2.8.- Determinación de parámetros de las funciones

a) Función de distribución Normal:

$$f(x) = \frac{e^{-0.5\left(x-\mu\right)^2/\sigma^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad ; \quad \text{para } -\infty \leq x \leq \infty$$

Donde los parámetros son μ y σ , que son la media aritmética (\bar{x}) y la varianza de la muestra respectivamente (s^2).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad ; \quad s^2 = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

b) Función de distribución Log-Normal:

$$f(x) = \frac{e^{-0.5\left(\ln x - \mu\right)^2/\sigma^2}}{x\sigma\sqrt{2\pi}}$$

Donde los parámetros de la función son μ y σ ; que son la media aritmética y la varianza de la muestra con su respectiva aplicación del logaritmo natural.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) ; \quad s_y = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln(x_i) - \bar{y})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

c) Función de distribución de Pearson Tipo III:

$$F(x) = \int_0^x \frac{[x-y]^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-y}{\alpha}\right)}}{\alpha \Gamma(\beta) [\alpha]^{\beta-1}} dx$$

Donde los parámetros de la distribución pueden estimarse en función del promedio (\bar{x}), la desviación estándar (s) y el coeficiente de asimetría (C_s) de la muestra, por medio de las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{\beta}} ; \quad \beta = \left(\frac{2}{C_s} \right)^2 ; \quad \gamma = \mu - \sigma \sqrt{\beta}$$

d) Función de distribución de Gumbel:

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

Donde los parámetros de la distribución de una muestra de tamaño infinito, tienden a los siguientes valores, en base a la media aritmética y la desviación estándar de la muestra:

$$a = \frac{1,2825}{\sigma_x} ; \quad \mu = \bar{X} - \frac{0,5772}{a}$$

Según Varas y Bois 1998, el ingeniero trabaja con muestras de tamaño finito y es recomendable modificar los valores de los parámetros en base al tamaño de la muestra, los que se pueden apreciar en la posterior tabla N° 1.

TABLA N°1: Valor esperado y desviación estándar de la variable, en función del tamaño de la muestra.

n	Yn	Sn
20	0,52	1,06
30	0,54	1,11
40	0,54	1,14
50	0,55	1,16
60	0,55	1,17
70	0,55	1,19
80	0,56	1,19
90	0,56	1,2
100	0,56	1,21
150	0,56	1,23
200	0,57	1,24
∞	0,57	1,28

Yn: Valor esperado de la variable; Sn: Desviación estándar de la variable

$$m_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n}$$

- **Función auxiliar de Goodrich:** Se denomina a la función que permite determinar el valor de p (Pizarro, 1988), a través de la siguiente expresión:

$$\frac{m_3}{s^3}$$

5.2.9.- Determinación del mejor ajuste

Para determinar la calidad del ajuste, se realizó una contrastación de los datos obtenidos en la frecuencia observada acumulada y la frecuencia teórica acumulada; para ello se utilizaron métodos cuantitativos, para determinar la bondad de ajuste, como son el coeficiente de determinación R^2 y el test de Kolmogorov-Smirnov.

- **Coefficiente de determinación R^2 :** Este coeficiente indica qué proporción de la variación total de la frecuencia observada, es explicada por la frecuencia teórica acumulada. Se encuentra definido por la siguiente expresión (Pizarro, 1988)

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

Donde:

R^2 : Coeficiente de Determinación; $0 \leq R^2 \leq 1$.

$F_n(x)_i$: Media de las frecuencias observadas acumuladas.

$F_n(x)_i$: Frecuencia observada.

- **Test Kolmogorov Smirnov:** Este procedimiento es un test no paramétrico que permite probar si dos muestras provienen del mismo modelo probabilístico (Varas y Bois, 1998). Asimismo Pizarro (1988), hace referencia a que es necesario determinar la frecuencia observada acumulada y la frecuencia teórica acumulada; una vez determinadas ambas frecuencias, se obtiene el supremo de las diferencias entre ambas.

$$Dc = \sup |Fn(x)_i - F(x)_i|$$

Si la diferencia suprema es menor que la diferencia tabulada por tabla, definida en base al tamaño de la muestra, se está en presencia de un buen ajuste con el nivel de confianza asumido.

5.2.10.- Análisis y discusión de los resultados

El análisis se realizó en base a los estadígrafos de dispersión y magnitud de cada series, y también de los resultados arrojados por los test de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov y el coeficiente de determinación R^2 , es así como se pudo determinar los mejores ajustes.

5.2.11.- Conclusiones y recomendaciones

A partir de estos resultados se generaron conclusiones de acuerdo a los objetivos planteados inicialmente. Asimismo, finalmente se indicaron recomendaciones que se estimaron convenientes para el desarrollo de futuros estudios relacionados con el tema.

5.3.2.- Materiales y Equipos

Para efectuar el siguiente estudio, se requirieron los siguientes materiales y equipos:

- Bases de datos de precipitación y caudal, pertenecientes a la Dirección General de Aguas de Talca.
- Cartografía de la zona, Región del Maule, perteneciente al Instituto Geográfico Militar (I.G.M); Escala 1: 50.000.
- Equipos computacionales (PC, impresora, scanner).
- Programas computacionales para la manipulación y elaboración de la información requerida y un posterior desarrollo escrito del estudio, como son los análisis y presentación de resultados: Planillas electrónicas; Microsoft Excel 2003; Procesador de texto; Microsoft Word 2003; Software estadístico, Statgraphics Plus V.1.4

6.- PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6.1.- Selección de las estaciones

La selección de las estaciones se centró principalmente bajo ciertos criterios aplicados por Cepeda, (1982):

- *Representatividad de la cuenca en estudio:* Así se seleccionaron las estaciones que poseen la mejor ubicación, siendo eliminadas aquellas de alta cordillera o zonas bajas que no eran representativas de las características medias de la cuenca.
- *Calidad de la información:* en base a este criterio, se seleccionaron las estaciones que en conjunto, presentaron una mayor densidad, prefiriendo aquellas que registran menor cantidad de vacíos y disponen de mejores instrumentos de medición.
- *Período observado:* las estaciones seleccionadas son aquellas que poseen mayor número de registros y cuentan, al mismo tiempo, con datos confiables.
- *Características de la hoya de drenaje:* éstas no deberían haber sufrido ningún cambio que pudiera alterar sus características hidrológicas, por la eventual construcción de diques, estructuras de toma de agua, presas y urbanización. Si la cuenca sufriera alguna modificación, sería inaceptable su análisis probabilístico.

En este contexto y en base a las características del estudio comparativo, entre un área pluvial y una pluvio-nival, se determinó que las estaciones que presentan mayor validez en su utilización son Nirivilo, Embalse Ancoa y Los Peñascos.

6.2.- Tamaño de las muestras

Los datos que se utilizaron, correspondieron a valores anuales y mensuales, para las variables en estudio.

a) Series anuales

TABLA N° 2: Tamaño de las series anuales.

Series	n (Años)
Pp Anual Embalse Ancoa	41
Pp Anual Nirivilo	40
Caudal medio anual río Achibueno	33
Caudal medio anual río Purapel	46

b) Series mensuales

TABLA N° 3: Tamaño de las series mensuales (Años).

MES	n (años) Q _{ma} Nirivilo	n (años) Q _{mi} Nirivilo	n (años) Q _{ma} Achibueno	n (años) Q _{mi} Achibueno	n (años) P Ancoa	n (años) P Nirivilo
ENERO	40	39	37	37	45	43
FEBRERO	40	37	37	37	44	44
MARZO	40	38	38	38	43	43
ABRIL	40	38	37	37	45	44
MAYO	40	37	36	36	44	43
JUNIO	40	39	36	36	44	44
JULIO	40	40	36	36	45	44
AGOSTO	40	40	38	37	42	43
SEPTIEMBRE	40	39	37	37	44	43
OCTUBRE	40	40	36	37	45	43
NOVIEMBRE	40	41	36	36	45	43
DICIEMBRE	40	41	35	35	45	43

Q_{ma}: Caudal Máximo; Q_{mi}: Caudal Mínimo; P: Precipitación

6.3.- Parámetros o estadígrafos de posición y dispersión de las series

A partir de la información colectada se determinaron los parámetros, con el propósito de resumir la información que puede entregar una serie. Para el caso de los parámetros de posición, se calculó la media aritmética o promedio, para formarse una idea del orden de magnitud de la variable. Es así como además de interesar la posición de los valores, interesa la dispersión o variación de los valores de la muestra, lo cual se puede determinar con estadígrafos como la varianza y la desviación estándar. Así mismo, se calculó el parámetro de asimetría, que queda representado en el coeficiente de asimetría, con el propósito de comprender de una mejor manera la tendencia de la serie y su posible adaptabilidad a una función de distribución de probabilidad.

a) Series Anuales

TABLA N° 4: Parámetros de las series anuales.

Series Anuales	\bar{X}	S	C_s
Pp. Anual Embalse. Ancoa	1554,261	544,844	-0,155
Pp. Anual Nirivilo	836,766	311,972	0,101
Caudal medio anual río Achibueno	36,559	17,575	-0,181
Caudal medio anual río Purapel	2,681	1,521	0,550

b) Series de Precipitaciones Mensuales

TABLA N° 5: Parámetros de las series de precipitación mensual estación Nirivilo

MES	\bar{X}	S	C_s
ENERO	4,453	6,444	1,597
FEBRERO	5,584	12,430	3,112
MARZO	13,058	23,488	2,714
ABRIL	47,261	55,356	2,310
MAYO	147,660	120,832	1,123
JUNIO	186,834	128,580	0,996
JULIO	175,541	134,841	0,817
AGOSTO	111,707	93,598	1,451
SEPTIEMBRE	73,242	58,047	1,182
OCTUBRE	35,640	39,757	1,714
NOVIEMBRE	16,930	26,728	2,643
DICIEMBRE	7,628	17,278	3,303

TABLA N° 6: Parámetros de las series de precipitación mensual estación Ancoa

MES	\bar{X}	s	C_s
ENERO	10,289	22,384	3,641
FEBRERO	16,000	32,402	2,753
MARZO	32,000	45,091	2,145
ABRIL	97,900	103,849	1,780
MAYO	267,600	201,222	1,097
JUNIO	332,000	207,475	0,853
JULIO	313,700	208,526	0,787
AGOSTO	203,900	127,825	1,201
SEPTIEMBRE	142,600	121,005	1,383
OCTUBRE	94,000	83,199	1,229
NOVIEMBRE	46,500	51,699	1,720
DICIEMBRE	30,200	42,432	1,875

c) Series de Caudales Mensuales

TABLA N° 7: Parámetros de las series de caudales mínimos río Purapel

MES	\bar{X}	s	C_s
ENERO	0,188	0,193	1,472
FEBRERO	0,137	0,135	1,414
MARZO	0,145	0,127	1,221
ABRIL	0,211	0,151	0,560
MAYO	0,346	0,277	2,372
JUNIO	1,060	1,175	2,398
JULIO	1,991	1,375	0,539
AGOSTO	2,304	1,517	0,562
SEPTIEMBRE	2,067	1,289	0,927
OCTUBRE	1,266	0,858	1,125
NOVIEMBRE	0,621	0,458	1,115
DICIEMBRE	0,280	0,242	1,156

TABLA N° 8: Parámetros de las series de caudales máximos río Purapel

MES	\bar{X}	s	C_s
ENERO	0,460	0,467	1,490
FEBRERO	0,445	0,570	2,572
MARZO	1,224	3,302	5,225
ABRIL	3,180	5,426	3,030
MAYO	32,424	48,834	2,028
JUNIO	64,326	65,546	1,209
JULIO	71,014	59,213	0,730
AGOSTO	42,635	36,092	1,300
SEPTIEMBRE	29,703	38,767	2,238
OCTUBRE	9,007	13,431	3,309
NOVIEMBRE	3,804	10,791	5,998
DICIEMBRE	1,228	1,353	1,617

TABLA N° 9: Parámetros de las series de caudales mínimos río Achibueno

MES	\bar{X}	s	C_s
ENERO	15,148	9,878	0,551
FEBRERO	8,697	4,925	0,637
MARZO	6,163	4,032	1,452
ABRIL	5,642	6,071	3,337
MAYO	11,147	14,009	2,227
JUNIO	20,983	19,814	2,398
JULIO	33,504	30,702	2,612
AGOSTO	30,194	30,228	4,046
SEPTIEMBRE	30,412	17,017	-0,058
OCTUBRE	34,539	18,339	0,042
NOVIEMBRE	33,853	18,490	-0,451
DICIEMBRE	25,665	15,129	0,396

TABLA N° 10: Parámetros de las series de caudales máximos río Achibueno

MES	\bar{x}	s	C_s
ENERO	34,005	21,395	0,487
FEBRERO	22,746	21,841	1,942
MARZO	20,144	21,269	2,137
ABRIL	42,000	66,432	3,330
MAYO	152,303	126,447	1,288
JUNIO	193,343	160,326	0,812
JULIO	219,128	168,429	1,586
AGOSTO	134,191	107,657	0,991
SEPTIEMBRE	121,976	108,863	1,546
OCTUBRE	95,232	82,078	2,258
NOVIEMBRE	88,052	61,527	1,214
DICIEMBRE	69,836	54,008	1,933

6.4.- Bondad del ajuste

Para las distintas series de datos y funciones utilizadas, se calcularon las medidas de bondad de ajuste por el coeficiente de determinación R^2 y Kolmogorov-Smirnov (K-S).

6.4.1.- Función de Gumbel

a) Series Anuales

TABLA 11: Bondad de ajuste de series anuales

Series Anuales	R^2	K-S
Pp. Anual Embalse Ancoa	0,953	ACEPTA
Pp. Anual Nirivilo	0,979	ACEPTA
Caudal medio anual río Achibueno	0,953	ACEPTA
Caudal medio anual río Purapel	0,990	ACEPTA

b) Series de Precipitaciones Mensuales

TABLA 12: Bondad de ajuste de series de precipitación mensual, estación Nirivilo

MES	R^2	K-S
ENERO	0,834	RECHAZA
FEBRERO	0,664	RECHAZA
MARZO	0,773	RECHAZA
ABRIL	0,954	ACEPTA
MAYO	0,977	ACEPTA
JUNIO	0,989	ACEPTA
JULIO	0,990	ACEPTA
AGOSTO	0,987	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,986	ACEPTA
OCTUBRE	0,939	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,873	RECHAZA
DICIEMBRE	0,594	RECHAZA

TABLA 13: Bondad de ajuste de series de precipitación mensual, estación Ancoa

MES	R ²	K-S
ENERO	0,699	RECHAZA
FEBRERO	0,684	RECHAZA
MARZO	0,895	RECHAZA
ABRIL	0,964	ACEPTA
MAYO	0,981	ACEPTA
JUNIO	0,990	ACEPTA
JULIO	0,991	ACEPTA
AGOSTO	0,987	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,952	ACEPTA
OCTUBRE	0,984	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,963	ACEPTA
DICIEMBRE	0,876	RECHAZA

c) Series de Caudales Mensuales

TABLA 14: Bondad de ajuste de series de caudales mínimos, río Purapel

MES	R ²	K-S
ENERO	0,956	ACEPTA
FEBRERO	0,964	ACEPTA
MARZO	0,973	ACEPTA
ABRIL	0,982	ACEPTA
MAYO	0,979	ACEPTA
JUNIO	0,881	ACEPTA
JULIO	0,972	ACEPTA
AGOSTO	0,987	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,994	ACEPTA
OCTUBRE	0,980	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,991	ACEPTA
DICIEMBRE	0,982	ACEPTA

TABLA 15: Bondad de ajuste de series de caudales máximos, río Purapel

MES	R ²	K-S
ENERO	0,950	ACEPTA
FEBRERO	0,905	ACEPTA
MARZO	0,650	RECHAZA
ABRIL	0,789	RECHAZA
MAYO	0,821	RECHAZA
JUNIO	0,932	ACEPTA
JULIO	0,938	RECHAZA
AGOSTO	0,980	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,880	ACEPTA
OCTUBRE	0,824	RECHAZA
NOVIEMBRE	0,628	RECHAZA
DICIEMBRE	0,957	ACEPTA

TABLA 16: Bondad de ajuste de series de caudales mínimos, río Achibueno

MES	R ²	K-S
ENERO	0,984	ACEPTA
FEBRERO	0,983	ACEPTA
MARZO	0,972	ACEPTA
ABRIL	0,886	ACEPTA
MAYO	0,868	ACEPTA
JUNIO	0,969	ACEPTA
JULIO	0,955	ACEPTA
AGOSTO	0,948	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,945	ACEPTA
OCTUBRE	0,942	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,939	ACEPTA
DICIEMBRE	0,978	ACEPTA

TABLA 17: Bondad de ajuste de series de caudales máximos, río Achibueno

MES	R ²	K-S
ENERO	0,959	ACEPTA
FEBRERO	0,966	ACEPTA
MARZO	0,887	ACEPTA
ABRIL	0,828	RECHAZA
MAYO	0,991	ACEPTA
JUNIO	0,970	ACEPTA
JULIO	0,983	ACEPTA
AGOSTO	0,970	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,966	ACEPTA
OCTUBRE	0,983	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,982	ACEPTA
DICIEMBRE	0,972	ACEPTA

6.4.2. - Función Normal

a) Series Anuales

TABLA 18: Bondad de ajuste de series anuales

Series Anuales	R ²	K-S
Pp. Anual Emb. Ancoa	0,985	ACEPTA
Pp. Anual Nirivilo	0,995	ACEPTA
Caudal medio anual río Achibueno	0,985	ACEPTA
Caudal medio anual río Purapel	0,972	ACEPTA

b) Series de Precipitación Mensual

TABLA 19: Bondad de ajuste de series de precipitación mensual, estación Nirivilo

MES	R ²	K-S
ENERO	0,810	RECHAZA
FEBRERO	0,605	RECHAZA
MARZO	0,717	RECHAZA
ABRIL	0,905	ACEPTA
MAYO	0,933	ACEPTA
JUNIO	0,960	ACEPTA
JULIO	0,972	ACEPTA
AGOSTO	0,956	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,950	ACEPTA
OCTUBRE	0,884	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,806	RECHAZA
DICIEMBRE	0,568	RECHAZA

TABLA 20: Bondad de ajuste de series de precipitación mensual, estación Ancoa

MES	R ²	K-S
ENERO	0,650	RECHAZA
FEBRERO	0,632	RECHAZA
MARZO	0,844	RECHAZA
ABRIL	0,914	ACEPTA
MAYO	0,952	ACEPTA
JUNIO	0,980	ACEPTA
JULIO	0,963	ACEPTA
AGOSTO	0,952	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,900	ACEPTA
OCTUBRE	0,948	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,910	ACEPTA
DICIEMBRE	0,824	RECHAZA

c) Series de Caudales

TABLA 21: Bondad de ajuste de series de caudales mínimos, río Purapel:

MES	R ²	K-S
ENERO	0,919	ACEPTA
FEBRERO	0,937	ACEPTA
MARZO	0,963	ACEPTA
ABRIL	0,982	ACEPTA
MAYO	0,967	ACEPTA
JUNIO	0,802	RECHAZA
JULIO	0,948	ACEPTA
AGOSTO	0,968	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,978	ACEPTA
OCTUBRE	0,967	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,961	ACEPTA
DICIEMBRE	0,960	ACEPTA

TABLA 22: Bondad de ajuste de series de caudales máximos, río Purapel:

MES	R ²	K-S
ENERO	0,901	ACEPTA
FEBRERO	0,839	ACEPTA
MARZO	0,577	RECHAZA
ABRIL	0,721	RECHAZA
MAYO	0,746	RECHAZA
JUNIO	0,883	ACEPTA
JULIO	0,954	ACEPTA
AGOSTO	0,955	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,812	RECHAZA
OCTUBRE	0,756	RECHAZA
NOVIEMBRE	0,548	RECHAZA
DICIEMBRE	0,913	ACEPTA

TABLA 23: Bondad de ajuste de series de caudales mínimos, río Achibueno

MES	R ²	K-S
ENERO	0,983	ACEPTA
FEBRERO	0,993	ACEPTA
MARZO	0,932	ACEPTA
ABRIL	0,811	RECHAZA
MAYO	0,809	RECHAZA
JUNIO	0,958	ACEPTA
JULIO	0,912	ACEPTA
AGOSTO	0,944	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,981	ACEPTA
OCTUBRE	0,974	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,976	ACEPTA
DICIEMBRE	0,984	ACEPTA

TABLA 24: Bondad de ajuste de series de caudales máximos, río Achibueno

MES	R ²	K-S
ENERO	0,963	ACEPTA
FEBRERO	0,909	ACEPTA
MARZO	0,813	RECHAZA
ABRIL	0,779	RECHAZA
MAYO	0,966	ACEPTA
JUNIO	0,931	ACEPTA
JULIO	0,949	ACEPTA
AGOSTO	0,925	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,909	ACEPTA
OCTUBRE	0,942	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,944	ACEPTA
DICIEMBRE	0,937	ACEPTA

6.4.3. - Función Log- Normal

a) Series Anuales

TABLA 25: Bondad de ajuste de series anuales

Series Anuales	R ²	K-S
Pp. Anual Emb. Ancoa	0,950	ACEPTA
Pp. Anual Nirivilo	0,976	ACEPTA
Caudal medio anual río Achibueno	0,900	ACEPTA
Caudal medio anual río Purapel	0,990	ACEPTA

b) Series de Precipitación Mensual

TABLA 26: Bondad de ajuste de series de precipitación mensual, estación Nirivilo

MES	R ²	K-S
ENERO	*	*
FEBRERO	*	*
MARZO	*	*
ABRIL	*	*
MAYO	0,823	RECHAZA
JUNIO	0,807	RECHAZA
JULIO	0,859	RECHAZA
AGOSTO	0,973	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,985	ACEPTA
OCTUBRE	*	*
NOVIEMBRE	*	*
DICIEMBRE	*	*

*: Se indetermina la serie, debido a la presencia de valores ceros

TABLA 27: Bondad de ajuste de series de precipitación mensual, estación Ancoa

MES	R ²	K-S
ENERO	*	*
FEBRERO	*	*
MARZO	*	*
ABRIL	*	*
MAYO	*	*
JUNIO	*	*
JULIO	*	*
AGOSTO	0,994	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,993	ACEPTA
OCTUBRE	*	*
NOVIEMBRE	*	*
DICIEMBRE	*	*

*: Se indetermina la serie, debido a la presencia de valores ceros

c) Series de Caudales

TABLA 28: Bondad de ajuste de series de caudales mínimos, río Purapel

MES	R ²	K-S
ENERO	0,970	ACEPTA
FEBRERO	0,955	ACEPTA
MARZO	0,933	ACEPTA
ABRIL	0,887	ACEPTA
MAYO	0,885	ACEPTA
JUNIO	0,975	ACEPTA
JULIO	0,977	ACEPTA
AGOSTO	0,970	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,977	ACEPTA
OCTUBRE	0,945	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,969	ACEPTA
DICIEMBRE	0,949	ACEPTA

TABLA 29: Bondad de ajuste de series de caudales máximos, río Purapel

MES	R ²	K-S
ENERO	0,978	ACEPTA
FEBRERO	0,992	ACEPTA
MARZO	0,989	ACEPTA
ABRIL	0,974	ACEPTA
MAYO	0,974	ACEPTA
JUNIO	0,981	ACEPTA
JULIO	0,958	ACEPTA
AGOSTO	0,966	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,994	ACEPTA
OCTUBRE	0,980	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,978	ACEPTA
DICIEMBRE	0,969	ACEPTA

TABLA 30: Bondad de ajuste de series de caudales mínimos, río Achibueno

MES	R ²	K-S
ENERO	0,893	ACEPTA
FEBRERO	0,900	ACEPTA
MARZO	0,936	ACEPTA
ABRIL	0,952	ACEPTA
MAYO	0,980	ACEPTA
JUNIO	0,966	ACEPTA
JULIO	0,931	ACEPTA
AGOSTO	0,840	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,810	RECHAZA
OCTUBRE	0,825	RECHAZA
NOVIEMBRE	0,778	RECHAZA
DICIEMBRE	0,863	ACEPTA

TABLA 31: Bondad de ajuste de series de caudales máximos, río Achibueno

MES	R ²	K-S
ENERO	0,821	RECHAZA
FEBRERO	0,930	ACEPTA
MARZO	0,925	ACEPTA
ABRIL	0,984	ACEPTA
MAYO	0,958	ACEPTA
JUNIO	0,984	ACEPTA
JULIO	0,990	ACEPTA
AGOSTO	0,973	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,986	ACEPTA
OCTUBRE	0,946	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,943	ACEPTA
DICIEMBRE	0,917	ACEPTA

6.4.4.- Función Goodrich

a) Series Anuales

TABLA 32: Bondad de ajuste de series anuales

Series Anuales	R ²	K-S
Pp. Anual Embalse Ancoa	0,988	ACEPTA
Pp. Anual Nirivilo	0,996	ACEPTA
Caudal medio anual río Achibueno	0,987	ACEPTA
Caudal medio anual río Purapel	0,987	ACEPTA

b) Series de precipitación Mensual

TABLA 33: Bondad de ajuste de series de precipitación mensual, estación Nirivilo

MES	R ²	K-S
ENERO	0,740	RECHAZA
FEBRERO	0,414	RECHAZA
MARZO	0,540	RECHAZA
ABRIL	0,709	RECHAZA
MAYO	0,886	RECHAZA
JUNIO	0,913	RECHAZA
JULIO	0,956	RECHAZA
AGOSTO	0,834	RECHAZA
SEPTIEMBRE	0,887	RECHAZA
OCTUBRE	0,757	RECHAZA
NOVIEMBRE	0,571	RECHAZA
DICIEMBRE	0,422	RECHAZA

TABLA 34: Bondad de ajuste de series de precipitación mensual, estación Ancoa

MES	R ²	K-S
ENERO	0,416	RECHAZA
FEBRERO	0,480	RECHAZA
MARZO	0,679	RECHAZA
ABRIL	0,763	RECHAZA
MAYO	0,892	RECHAZA
JUNIO	0,951	RECHAZA
JULIO	0,952	RECHAZA
AGOSTO	0,875	RECHAZA
SEPTIEMBRE	0,824	RECHAZA
OCTUBRE	0,877	RECHAZA
NOVIEMBRE	0,767	RECHAZA
DICIEMBRE	0,705	RECHAZA

c) Series de Caudales Mensual

TABLA 35: Bondad de ajuste de series de caudales mínimos, río Purapel

MES	R ²	K-S
ENERO	0,972	ACEPTA
FEBRERO	0,974	ACEPTA
MARZO	0,976	ACEPTA
ABRIL	0,973	RECHAZA
MAYO	0,643	RECHAZA
JUNIO	0,831	ACEPTA
JULIO	0,966	RECHAZA
AGOSTO	0,979	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,961	RECHAZA
OCTUBRE	0,949	RECHAZA
NOVIEMBRE	0,969	RECHAZA
DICIEMBRE	0,976	RECHAZA

TABLA 36: Bondad de ajuste de series de caudales máximos, río Purapel

MES	R ²	K-S
ENERO	0,883	RECHAZA
FEBRERO	0,977	RECHAZA
MARZO	0,335	RECHAZA
ABRIL	0,554	RECHAZA
MAYO	0,621	RECHAZA
JUNIO	0,844	RECHAZA
JULIO	0,959	RECHAZA
AGOSTO	0,875	RECHAZA
SEPTIEMBRE	0,628	RECHAZA
OCTUBRE	0,473	RECHAZA
NOVIEMBRE	0,195	RECHAZA
DICIEMBRE	0,887	RECHAZA

TABLA 37: Bondad de ajuste de series de caudales mínimos, río Achibueno

MES	R ²	K-S
ENERO	0,978	ACEPTA
FEBRERO	0,974	ACEPTA
MARZO	0,855	RECHAZA
ABRIL	0,587	RECHAZA
MAYO	0,649	RECHAZA
JUNIO	0,725	RECHAZA
JULIO	0,653	RECHAZA
AGOSTO	0,486	RECHAZA
SEPTIEMBRE	*	*
OCTUBRE	*	*
NOVIEMBRE	*	*
DICIEMBRE	0,985	ACEPTA

*: Se indetermina la serie.

TABLA 38: Bondad de ajuste de series de caudales máximos, río Achibueno

MES	R ²	K-S
ENERO	0,958	ACEPTA
FEBRERO	0,725	RECHAZA
MARZO	0,654	RECHAZA
ABRIL	0,514	RECHAZA
MAYO	0,875	RECHAZA
JUNIO	0,934	RECHAZA
JULIO	0,821	RECHAZA
AGOSTO	0,901	RECHAZA
SEPTIEMBRE	0,792	RECHAZA
OCTUBRE	0,717	RECHAZA
NOVIEMBRE	0,857	RECHAZA
DICIEMBRE	0,734	RECHAZA

6.4.5.- Función Pearson Tipo III

a) Series Anuales

TABLA 39: Bondad de ajuste de series anuales

Series Anuales	R ²	K-S
Pp. Anual Emb. Ancoa	0,981	ACEPTA
Pp. Anual Nirivilo	0,987	ACEPTA
Caudal medio anual río Achibueno	0,980	ACEPTA
Caudal medio anual río Purapel	0,987	ACEPTA

b) Series de Precipitación Mensual

TABLA 40: Bondad de ajuste de series de precipitación mensual, estación Nirivilo

MES	R ²	K-S
ENERO	0,842	RECHAZA
FEBRERO	0,734	RECHAZA
MARZO	0,861	RECHAZA
ABRIL	0,978	RECHAZA
MAYO	0,984	ACEPTA
JUNIO	0,989	ACEPTA
JULIO	0,993	ACEPTA
AGOSTO	0,991	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,995	ACEPTA
OCTUBRE	0,970	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,887	RECHAZA
DICIEMBRE	0,631	RECHAZA

TABLA 41: Bondad de ajuste de series de precipitación mensual, estación Ancoa

MES	R ²	K-S
ENERO	0,784	RECHAZA
FEBRERO	0,766	RECHAZA
MARZO	0,965	RECHAZA
ABRIL	0,985	RECHAZA
MAYO	0,988	ACEPTA
JUNIO	0,992	ACEPTA
JULIO	0,993	ACEPTA
AGOSTO	0,993	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,985	ACEPTA
OCTUBRE	0,989	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,986	ACEPTA
DICIEMBRE	0,924	RECHAZA

c) Series de Caudales Mensuales

TABLA 42: Bondad de ajuste de series de caudales mínimos, río Purapel

MES	R ²	K-S
ENERO	0,975	ACEPTA
FEBRERO	0,976	ACEPTA
MARZO	0,974	ACEPTA
ABRIL	0,985	ACEPTA
MAYO	0,959	ACEPTA
JUNIO	0,919	RECHAZA
JULIO	0,963	ACEPTA
AGOSTO	0,984	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,992	ACEPTA
OCTUBRE	0,978	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,995	ACEPTA
DICIEMBRE	0,987	ACEPTA

TABLA 43: Bondad de ajuste de series de caudales máximos, río Purapel

MES	R ²	K-S
ENERO	0,972	ACEPTA
FEBRERO	0,991	RECHAZA
MARZO	0,768	RECHAZA
ABRIL	0,913	RECHAZA
MAYO	0,895	RECHAZA
JUNIO	0,948	ACEPTA
JULIO	0,967	ACEPTA
AGOSTO	0,986	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,986	RECHAZA
OCTUBRE	0,885	RECHAZA
NOVIEMBRE	0,671	RECHAZA
DICIEMBRE	0,983	ACEPTA

TABLA 44: Parámetros de series de caudales mínimos, río Achibueno

MES	R ²	K-S
ENERO	0,988	ACEPTA
FEBRERO	0,988	ACEPTA
MARZO	0,953	ACEPTA
ABRIL	0,842	ACEPTA
MAYO	0,970	RECHAZA
JUNIO	0,969	ACEPTA
JULIO	0,934	ACEPTA
AGOSTO	0,949	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,968	ACEPTA
OCTUBRE	0,962	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,957	ACEPTA
DICIEMBRE	0,982	ACEPTA

TABLA 45: Parámetros de series de caudales máximos, río Achibueno

MES	R²	K-S
ENERO	0,963	ACEPTA
FEBRERO	0,959	ACEPTA
MARZO	0,934	ACEPTA
ABRIL	0,943	ACEPTA
MAYO	0,991	ACEPTA
JUNIO	0,967	ACEPTA
JULIO	0,986	ACEPTA
AGOSTO	0,977	ACEPTA
SEPTIEMBRE	0,990	ACEPTA
OCTUBRE	0,963	ACEPTA
NOVIEMBRE	0,979	ACEPTA
DICIEMBRE	0,954	ACEPTA

7.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados entregados en el capítulo anterior, es importante discutir ciertos aspectos de relevancia.

7.1.- Determinación y generación de las series y sus tamaños

Según Linsley *et al* (1988), para que el análisis probabilístico produzca resultados útiles, debe comenzar con una serie de datos significativos, adecuados y precisos. Cuando se dice que los datos son significativos, implica que deben estar estrechamente relacionados con el problema.

La determinación de las series fue de acuerdo a las variables hidrológicas planteadas, a saber, caudal medio anual, precipitación anual, precipitación mensual y caudal máximo y mínimo mensual. Estas variables son consideradas de gran utilidad en hidrología, para pronósticos de años secos y lluviosos, como también para diseños de obras de conservación de suelos y control de crecidas.

Se elaboraron diez conjuntos de series de datos, las cuales presentan un amplio registro a través del tiempo, con series de 33 hasta 46 años, consideradas de una validez estadística confiable, no siendo necesario la extensión de los registros. Estudios realizados por Ott, 1971, citado por Linsley *et al* 1988, muestran que con un registro de 20 años, la probabilidad es del 80% de que el caudal de diseño sea sobreestimado y que el 45% de los valores sobreestimados excedan en más de un 30% el valor real. Debido a esto, no se deben usar series de datos de menos de 20 años para el análisis de frecuencia.

7.2.-Características paramétricas de las series de precipitación y caudal.

7.2.1.- Situación espacial y temporal de la variable precipitación

i) En cuanto a la situación espacial de las precipitaciones:

La magnitud expresada en los promedios de agua caída, que se aprecian para las series anuales de precipitación es de 1.554,3 mm, en la estación embalse Ancoa, y de 836 mm, en la estación Nirivilo, presentando una diferencia significativa de 717,5 mm.

Así mismo, los promedios mensuales de precipitación presentan diferencias en las magnitudes de agua caída. Las mayores diferencias, entre las estaciones Embalse Ancoa y Nirivilo, ocurren durante los meses de invierno de Junio y Julio, con 145 mm y 138 mm, respectivamente. Así mismo, a medida que se acercan los meses estivales, las diferencias van disminuyendo hasta encontrar la menor en el mes de Enero, con solo 5,8 milímetros. Lo anterior se puede apreciar en la posterior figura N° 11.

A pesar de las diferencias que se presentan en las cantidades de agua que precipitan, en ambas zonas de estudio, es posible apreciar un patrón de comportamiento similar de las precipitaciones durante los meses del año (Figura N° 11).

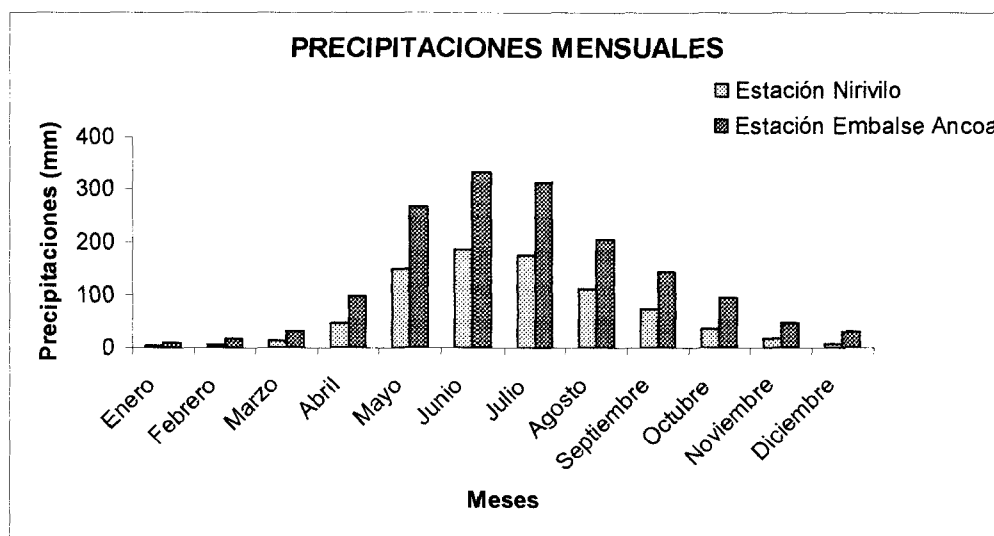


Figura N° 11: Gráfico de promedios de precipitación mensual de las estaciones Embalse Ancoa y Nirivilo.

En base a todo lo anterior, las zonas se pueden definir con estaciones secas y lluviosas de duración análoga y con la variable precipitación notablemente influenciada por el relieve.

ii) Referente a la distribución temporal de la variable precipitación:

- **Estación Nirivilo**

De los 40 años de registro de precipitación que se estudiaron en la estación de Nirivilo, se determinó que precipitaron 33.334,7 milímetros de agua, los cuales se distribuyen en el tiempo de la siguiente manera:

TABLA N° 46: Distribución de las precipitaciones por décadas, estación Nirivilo.

Años	Precipitación Total	Promedio anual	Porcentaje (%)
1960-1969	7.545,9	754,6	22,6
1970-1979	8.792,1	879,2	26,4
1980-1989	9.963,7	996,4	29,9
1990-1999	7.033,0	703,3	21,1

Así, se aprecia por medio de la tabla N° 46 y la posterior figura N° 12, que las décadas del 70 y del 80 presentan las mayores cantidades de precipitación, con promedios anuales de 879,2 mm, y 996,4 mm, respectivamente, promedios notablemente superiores al histórico de la estación, que es de 836,8 mm. En contraste a lo anterior, se presentan las décadas del 60 y del 90, donde se observan las menores precipitaciones totales, principalmente en la década del 90, la cual evidencia un promedio de 703,3 mm, valor inferior al promedio histórico.

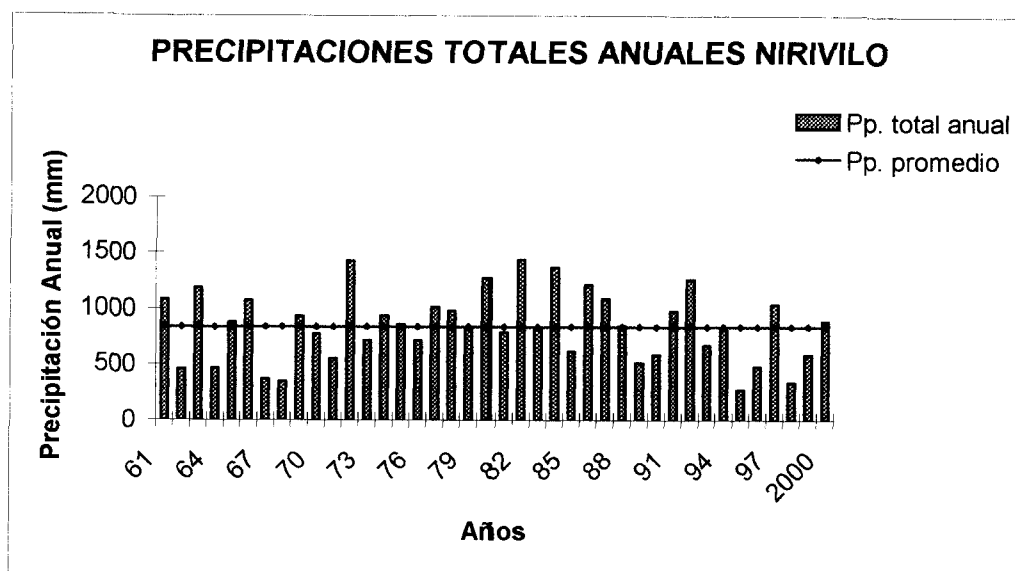


Figura N° 12: Precipitaciones totales anuales y su comparación con respecto al promedio histórico de la estación Nirivilo.

- **Estación Embalse Ancoa**

Con respecto a la estación del Embalse Ancoa, se cuenta con una información de 41 años, durante los cuales precipita un total de 63.724,7 mm, y se distribuyen a través del tiempo de la siguiente manera:

TABLA N° 47: Distribución de las precipitaciones por década, estación Embalse Ancoa.

Años	Precipitación Total	Promedio anual	Porcentaje (%)
1960-1969	13.441,5	1.344,2	21,7
1970-1979	16.986,6	1.698,7	27,4
1980-1989	18.008,9	1.800,9	29,1
1990-1999 *	13.522,7	1.456,1	21,8

*: Se calculó el promedio y la suma total en base a 8 registros existentes.

Se aprecia en la tabla N° 47, que la mayor cantidad de agua caída se encuentra en la década del 80 con 18.008,9 mm, aportando con el 29,1% del total de las precipitaciones registradas; a su vez, el promedio que se obtuvo de 1.800,9 mm, es superior al promedio histórico de la estación de 1.554,3 mm.

La década del 60 es la que presenta menor cantidad de precipitación, como se puede apreciar en la figura N° 13, aportando sólo con el 21,7% de las precipitaciones totales de la serie.

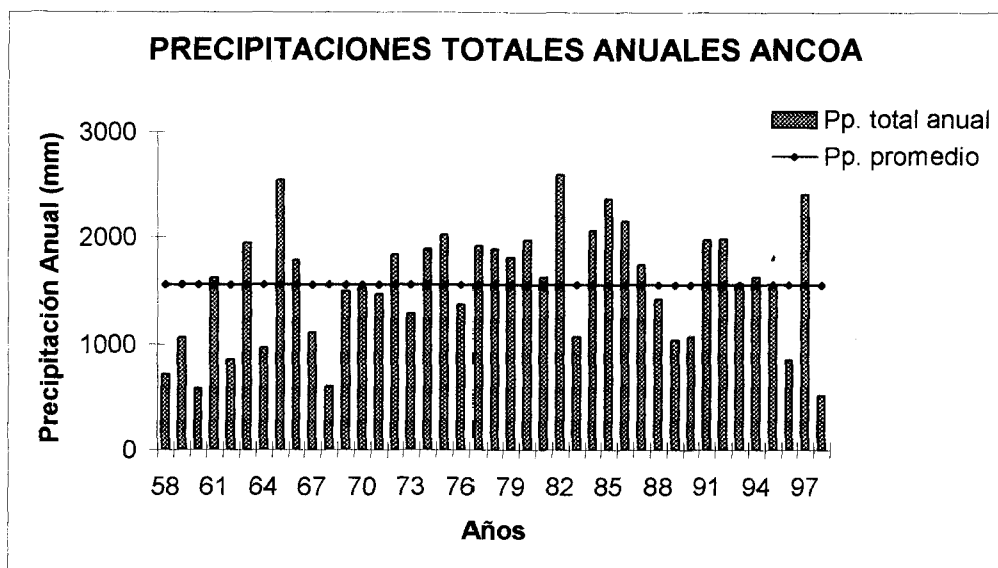


Figura N° 13: Precipitaciones totales anuales y su comparación con respecto al promedio histórico de la estación Embalse Ancoa.

En general a escala anual, las series no muestran un patrón a seguir durante el tiempo.

7.2.2.- Situación espacial y temporal de la variable caudal

i) Análisis espacial de la variable caudal:

Para realizar un análisis espacial de la variable caudal medio anual, se torna necesario comparar las cuencas sobre sus superficies; esto se lleva a cabo transformando la variable caudal (m^3/s), a su aportación específica en milímetros.

El río Achibueno tiene una aportación media anual ampliamente mayor que la del río Purapel, con una media de 124,6 mm, en tanto que la cuenca del Purapel muestra un valor promedio de 33,2 mm.

La cuenca del río Purapel presenta un carácter de tipo pluvial, siendo las variaciones de sus aportes controlados simplemente por las magnitudes de precipitación que se generan en el tiempo; estas magnitudes son bastante menores al compararse con los de una cuenca de la precordillera Andina. En contrapartida, la cuenca del río Achibueno posee un carácter de tipo mixto, lo cual implica que sus aportaciones son generadas por las precipitaciones y por el derretimiento de las nieves.

ii) Referente al análisis temporal de la variable Caudal:

• **Cuenca del río Purapel**

Con respecto a la cuenca del río Purapel, desde el año 1961 hasta el 1999 se registró una aportación específica total de 1.326,3 mm, los que se distribuyen de la siguiente manera:

TABLA N° 48: Distribución de las aportaciones específicas por década, cuenca del río Purapel.

Años	Aportación Específica Media anual	Promedio anual	Porcentaje (%)
1960-1969*	243,2	27,0	19,0
1970-1979	291,2	29,1	22,8
1980-1989	479,6	48,0	37,5
1990-1999	265,6	26,6	20,8

*: Se calculo el promedio y la suma total de las aportaciones específicas en base a 9 años, debido a la carencia de información en el año 1960.

Se aprecia por medio de la tabla N° 48 y la posterior figura N° 14, que la mayor aportación específica se produce en la década del 80, con una aportación de 479,6 mm, aportando cerca del 38% del total de las cuatro décadas; las restantes tres décadas no presentan diferencias considerables entre ellas.

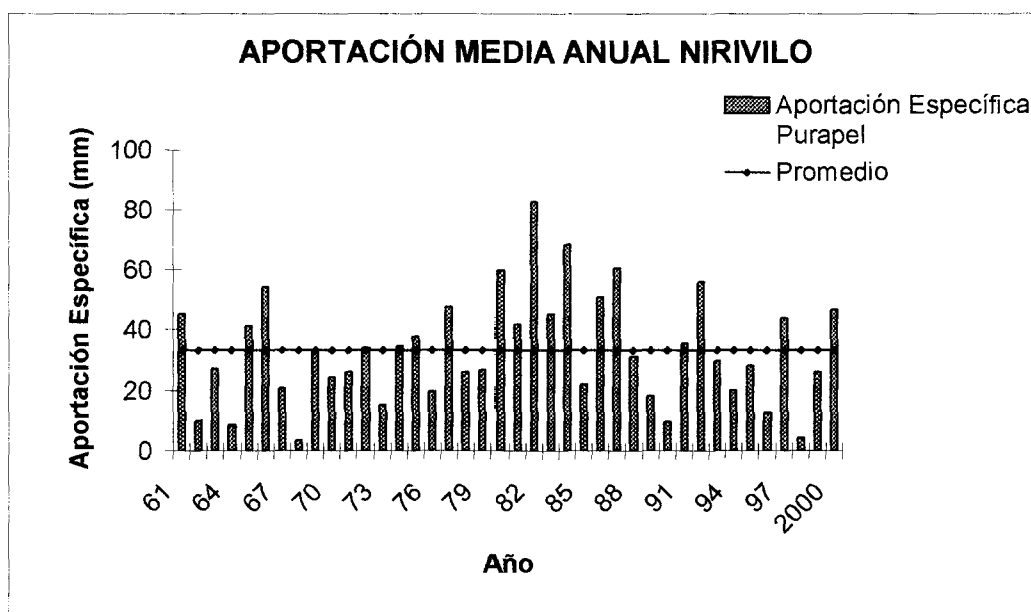


Figura N° 14: Aportaciones específicas anuales y su comparación con respecto al promedio histórico de la cuenca del río Purapel.

- **Cuenca del río Achibueno**

La cuenca del río Achibueno cuenta con una información, para su análisis temporal, desde el año 1961 hasta el 1996, periodo en el cual se produce una aportación específica total de 4.484,2 mm, los cuales se distribuyen en el tiempo de acuerdo a lo expresado en la tabla N° 49:

TABLA N° 49: Distribución de las aportaciones específicas por década, cuenca del río Purapel.

Años	Aportación Específica Media anual	Promedio anual	Porcentaje (%)
1960-1969*	1.035,3	115,0	23,1
1970-1979	1.263,6	126,4	28,2
1980-1989	1.331,1	133,1	29,7
1990-1996	854,2	122,0	19,0

*: Se calculó el promedio y la suma total de las aportaciones específicas en base a 9 años, debido a la carencia de información en el año 1960.

Así, se aprecia por medio de la tabla N° 49 y la posterior figura N° 15, que la mayor aportación específica se produce en la década del 80 con 1.331,1 mm, levemente superior a la década del 70 en 68 mm; ambas décadas están sobre el promedio histórico de la cuenca, de 124,6 mm.

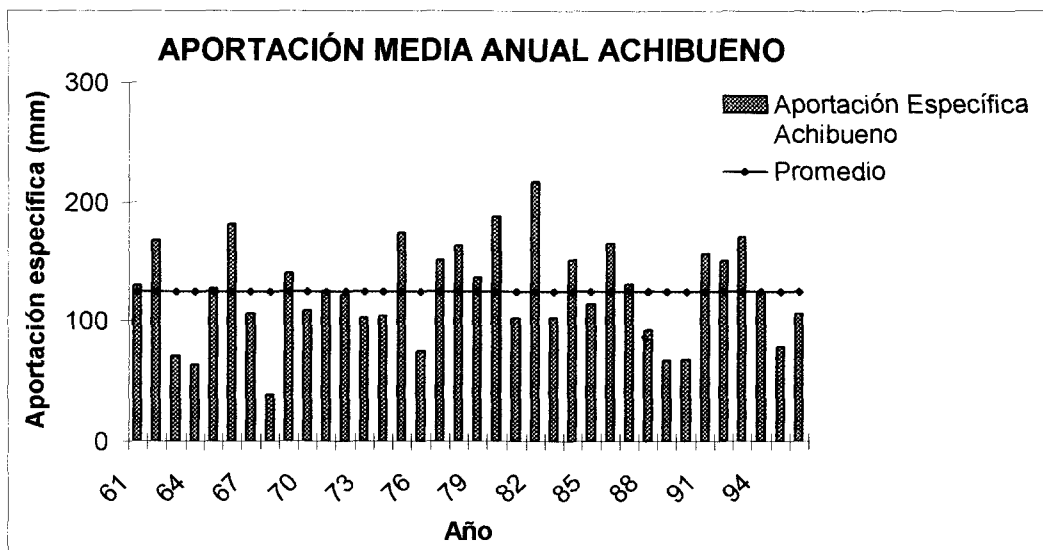


Figura N° 15: Aportaciones específicas anuales y su comparación con respecto al promedio histórico de la cuenca del río Achibueno.

En forma general, a escala anual las aportaciones específicas en ambas cuencas, no muestran un patrón de comportamiento durante las cuatro décadas.

ii) Situación temporal de los caudales máximos y mínimos mensuales, en las cuencas del Purapel y Achibueno:

- **Caudal mínimo mensual**

Se puede apreciar en la figura N° 16, la distribución en el año de los caudales mínimos en ambas cuencas. Así, queda de manifiesto la influencia tipo pluvial de la cuenca del Purapel, presentando sus caudales mínimos un patrón de comportamiento en el año, similar al de las precipitaciones. Ahora, con respecto a la cuenca del río Achibueno se puede apreciar la directa acción de los deshielos, produciendo sus caudales mínimos superiores durante los meses de Julio, Octubre y Noviembre.

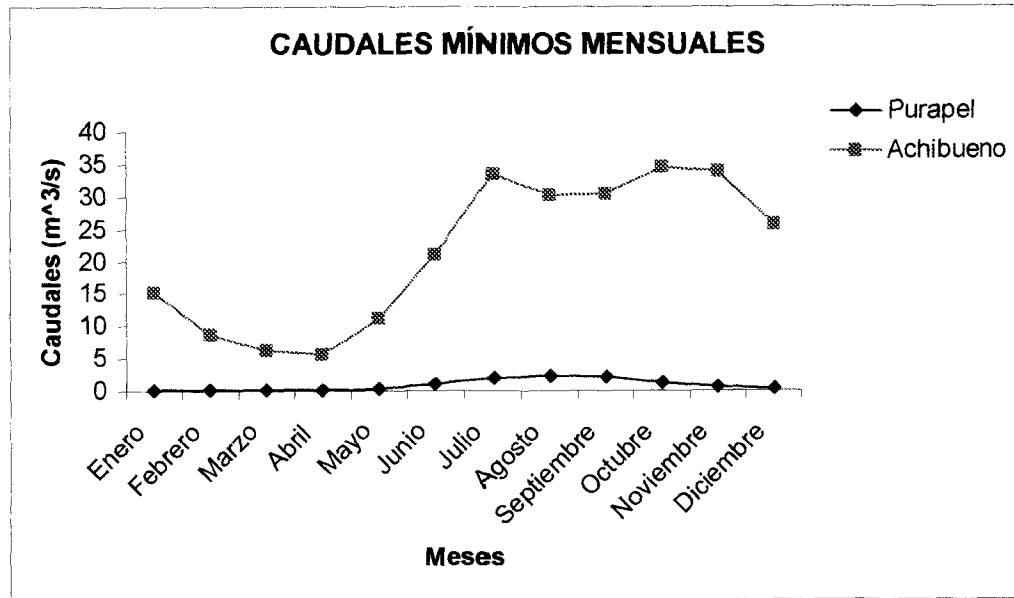


Figura N° 16: Distribución en el año de los caudales mínimos, en las cuencas de los ríos Purapel y Achibuenos.

- Caudales máximos mensuales

Con respecto a esta variable, se verifica una situación distinta, la que es apreciable en la figura N° 17. Las aportaciones máximas superiores se producen en los meses de Julio, seguido por Junio y Agosto, lo que deja de manifiesto que las aportaciones máximas están reguladas, para ambas cuencas, por las precipitaciones durante los meses invernales. Este escenario cambia, para la cuenca del Achibueno, a medida que se aproximan los meses estivales, ya que los caudales van siendo regulados por las precipitaciones y los deshielos en su conjunto.

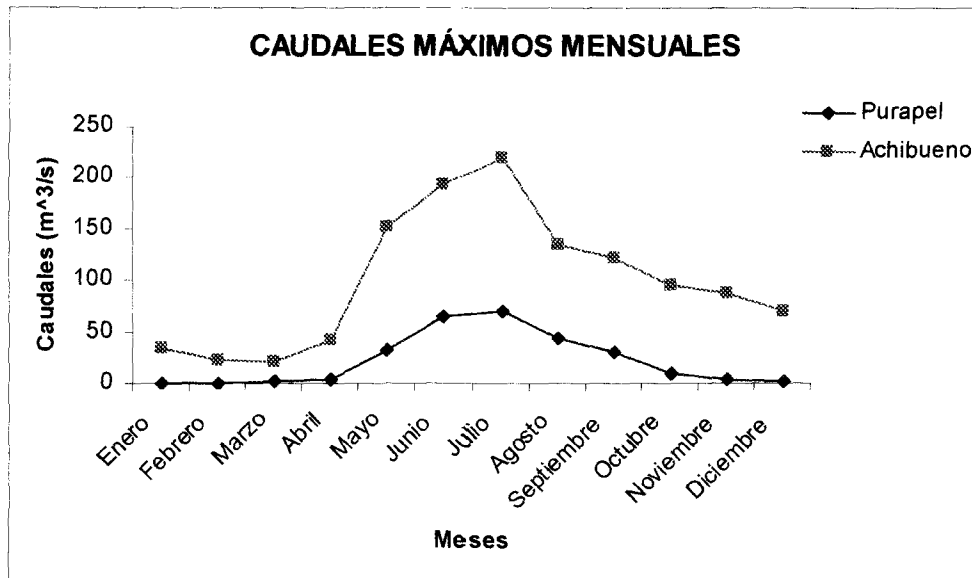


Figura N° 17: Distribución en el año de los caudales máximos mensuales, en las cuencas de los ríos Purapel y Achibuenos.

En síntesis, los caudales mínimos son regulados por las precipitaciones en la cuenca del río Purapel, y por los deshielos en la cuenca del Achibueno. En cuanto a los caudales máximos, tanto en la cuenca del Achibueno como el Purapel, sus valores son directamente influenciados por la presencia de altas precipitaciones.

7.2.3.- Datos anómalos

i) Series mensuales:

- Series de precipitaciones

La presencia de datos outliers se manifiestan en ambas estaciones, Nirivilo y Embalse Ancoa, justamente en las series de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo. La presencia de estos datos se puede deber principalmente a la ocurrencia de máximos históricos de las series o de otras lluvias excepcionalmente grandes. La situación se puede apreciar en forma gráfica en la Figura N° 18.

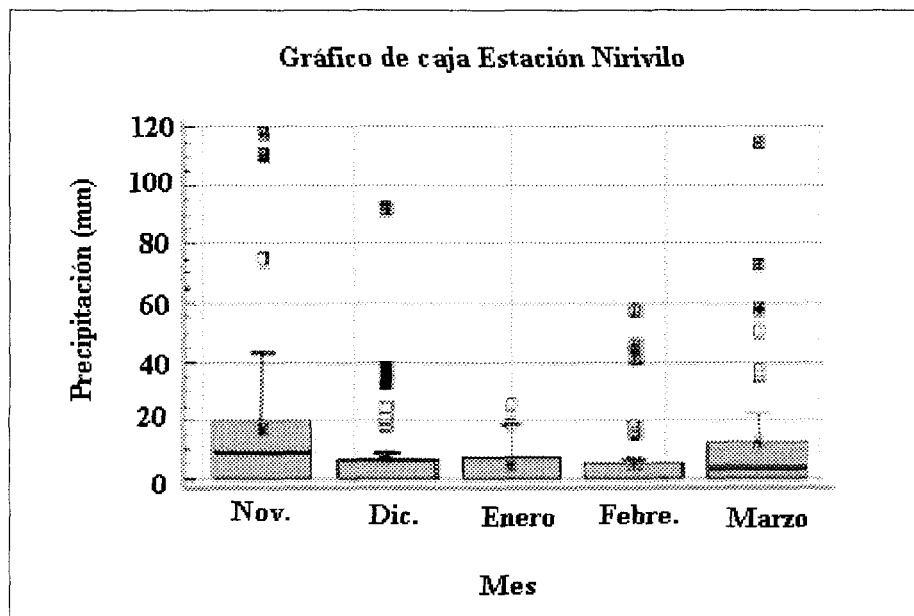


Figura N° 18: Series de precipitaciones mensuales estación Nirivilo, donde se evidencian los meses con presencia de outliers o valores anómalos.

- **Series de caudales máximos**

Al igual que las series de Precipitaciones mensuales, los caudales máximos cuentan con la presencia de outliers, justamente en los meses de Enero, Febrero, Marzo, Noviembre y Diciembre. Lo anterior confirma la directa relación que existe entre las precipitaciones y los caudales máximos (Apreciar figura N°19)

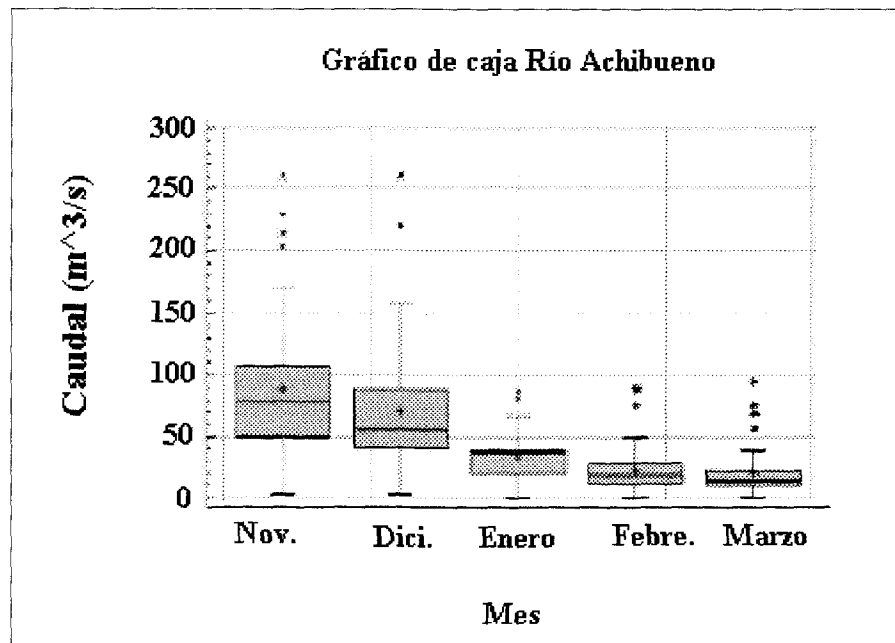


Figura N° 19: Series de caudales máximos mensuales en el río Achibueno, donde se evidencian los meses con presencia de outliers.

- **Series de caudales mínimos**

A diferencia de los conjuntos de series anteriores, los caudales mínimos mensuales no evidencian la presencia de outliers en ninguna de sus series.

ii) Series anuales:

Las series anuales de precipitación y caudal medio anual, no evidencian la presencia de outliers; lo anterior se puede apreciar en la posterior figura N° 20, para el caso de las series de precipitaciones anuales.

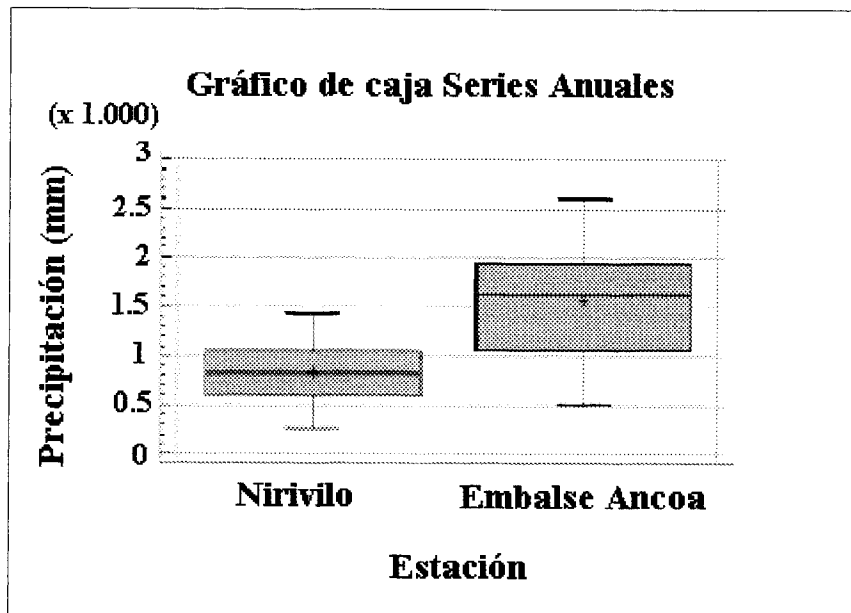


Figura N° 20: Series de precipitaciones anuales en las estaciones Nirivilo y Embalse Ancoa.

7.2.4.- Coeficiente de Asimetría

Las asimetrías de las series fueron por lo general marcadas hacia la derecha, situación común para variables hidrológicas de valores extremos en hidrología, corroborando lo dicho por Varas y Bois (1998), en que “las variables físicas de interés en hidrología



(precipitación, caudal, evaporación y otras) son generalmente positivas, por lo cual es usual que presenten distribuciones de frecuencia asimétricas”.

La serie más representativa de la situación anterior es la de caudal mínimo del mes de Abril del río Achibueno, apreciable en la figura N° 21, la cual presenta un coeficiente de asimetría de 3,3 y una marcada tendencia hacia la derecha.

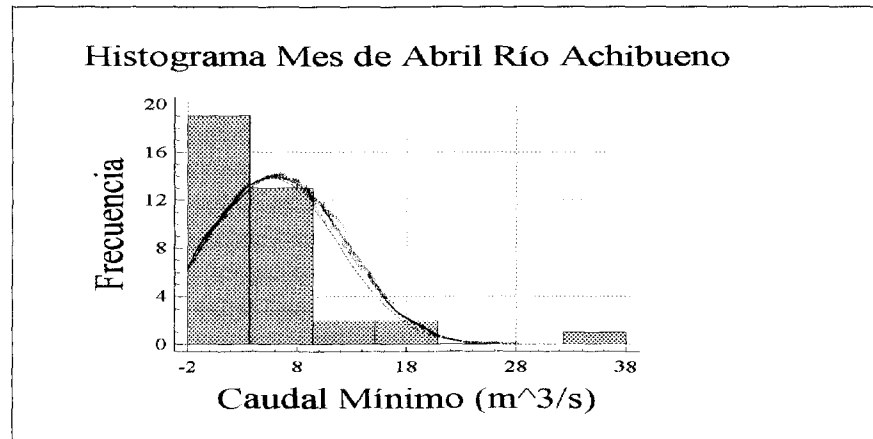


Figura N° 21: Histograma de serie de caudales mínimos mes de Abril río Achibueno, estación Los Peñascos.

En el caso de las series anuales se marcó una asimetría con valores cercanos a cero, apreciable en la tabla N° 4 del capítulo anterior.

A modo de representación de las series anuales se presenta la posterior figura N° 22, donde se aprecia el histograma de la serie de precipitación anual en la estación Nirivilo, la cual presenta un coeficiente de asimetría de 0,1.

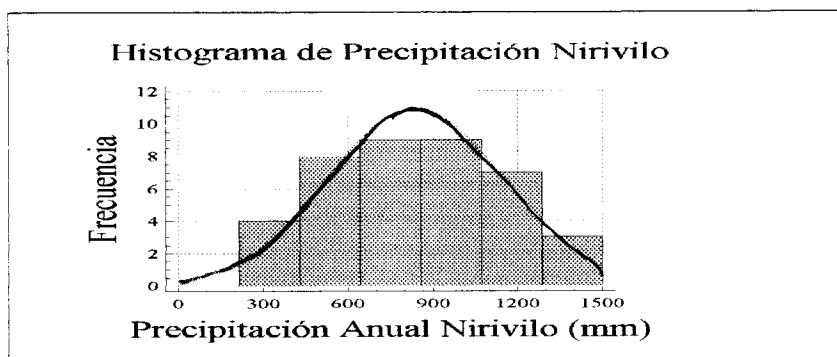


Figura N° 22: Histograma de serie de precipitación anual estación Nirivilo.

7.3.- Pruebas de bondad de ajuste

7.3.1.- Series anuales

De acuerdo al test de Kolmogorov Smirnov (K-S), todas las funciones son altamente confiables en su utilización en series anuales, situación que no es muy distinta para el coeficiente de determinación R^2 , donde todos los promedios en base a sus cuatro series superan el 95% de bondad, siendo la función de Goodrich la que mejor ajusta. Ello se aprecia en la tabla N° 50.

TABLA N° 50: Bondad Promedio del R^2 y porcentaje de aceptación por K-S, del conjunto de series anuales.

Función	Promedio R^2	% de aceptación por K-S
Gumbel	0,968	100%
Normal	0,984	100%
Log-Normal	0,954	100%
Goodrich	0,990	100%
Pearson Tipo III	0,984	100%

Si bien, la función de Goodrich se presenta como la con mejores ajustes, en base del R^2 , existen otras alternativas confiables como la función Normal y Pearson Tipo III.

7.3.2.- Series de precipitación mensual

Las series de precipitación mensual presentan diversos problemas al ajustarse a una función de distribución, como los que se presentan a continuación:

- Las series de precipitación de los meses estivales no se ven reflejadas en las funciones en cuestión, situación demostrada en la aplicación de los test de bondad. Lo anterior puede deberse principalmente a la presencia de outliers, lo que aumenta considerablemente la desviación estándar y la posterior dificultad del ajuste.
- En el caso particular de la función Log-Normal con las series de precipitaciones mensuales que presentan registros sin precipitación, la función se indetermina al no poderse aplicar el logaritmo a un evento con valor cero.

a) Estación Nirivilo

La función de Gumbel se presenta como la alternativa más válida para ajustar las precipitaciones mensuales. Ahora, con respecto a la función Pearson Tipo III, está presenta un R^2 promedio mayor que Gumbel, pero a su vez su índice de aceptabilidad por K-S es bajo lo cual la descarta en su utilización. Lo anterior se puede apreciar en la tabla N° 51.

TABLA N° 51: Bondad Promedio del R^2 y porcentaje de aceptación por K-S, del conjunto de series de precipitación mensual, estación Nirivilo.

Función	Promedio R^2	% de aceptación por K-S
Gumbel	0,880	58,30%
Normal	0,839	58,30%
Log-Normal	*	*
Goodrich	0,719	0%
Pearson Tipo III	0,905	50%

*: Indeterminación de alguna serie en la función.

Los bajos niveles de aceptación por parte de los test de K-S por todas las funciones, se debe principalmente al rechazo de los ajustes en los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo.

b) Estación Embalse Ancoa

La función Normal se presenta como la mejor alternativa para el conjunto de las series de precipitación mensual, mostrando un R^2 promedio de 87,2% y un nivel de aceptación por medio del test K-S de 67%, con 8 aceptaciones del total de las 12 series, produciéndose los rechazos principalmente en los meses estivales.

La función Pearson Tipo III se presenta como una alternativa a la función Normal, para el ajuste de las series de precipitación mensual. Lo que perjudica a esta función, como se aprecia en la tabla N° 52, es su bajo nivel de aceptación por K-S debido a su deficiente ajuste en las series de los meses de Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril (apreciable en la tabla N° 41, del capítulo 6)

TABLA N° 52: Bondad Promedio del R^2 y porcentaje de aceptación por K-S, del conjunto de series de precipitación mensual, estación Embalse Ancoa.

Función	Promedio R^2	% de aceptación por K-S
Gumbel	0,845	66,70%
Normal	0,872	67%
Log-Normal	*	*
Goodrich	0,765	0%
Pearson Tipo III	0,946	58%

*: Indeterminación de alguna serie en la función.

7.3.3.- Series de caudales mínimos

a) Series de caudales mínimos río Purapel

Las series de caudales mínimos del río Purapel se ven representadas principalmente por la función Log-Normal, con un R^2 promedio del 95% y con un 100% de aceptación por parte del test de K-S. Lo anterior se puede apreciar en la posterior tabla N° 53.

TABLA N° 53: Bondad Promedio del R^2 y porcentaje de aceptación por K-S, del conjunto de series de caudales mínimos, en el río Purapel.

Función	Promedio R^2	% de aceptación por K-S
Gumbel	0,912	100%
Normal	0,946	91,67%
Log-Normal	0,950	100%
Goodrich	0,930	42%
Pearson Tipo III	0,974	92%

Como se puede apreciar en la tabla N° 42 del capítulo anterior, la función de Pearson Tipo III se presenta con excelentes R^2 y niveles de aceptación sobre el 95% por medio de K-S, siendo sólo el mes de Junio el único mes que presenta dificultad, lo cual indica que esta función se presenta como una buena alternativa en los ajustes de caudales mínimos del río Purapel.

b) Series de caudales mínimos río Achibueno

La función de Gumbel es la que presenta mejores resultados en los ajustes de las series de caudales mínimos en el río Achibueno, con un 100% de aceptación por K-S y con un valor promedio de un R^2 del 95% (Tabla N° 54).

TABLA N° 54: Bondad Promedio del R^2 y porcentaje de aceptación por K-S, del conjunto de series de caudales mínimos, en el río Achibueno.

Función	Promedio R^2	% de aceptación por K-S
Gumbel	0,947	100%
Normal	0,938	83,30%
Log-Normal	0,890	75%
Goodrich	*	*
Pearson Tipo III	0,970	91,70%

*: Indeterminación de alguna serie en la función.

Cabe destacar que la función Pearson Tipo III presenta excelentes índices de aceptación, evidenciándose problemas solamente en la serie del mes de Mayo, justamente la serie de caudales mínimos que presenta mayor variabilidad de sus eventos (Tabla N° 44, Capítulo 6).

7.3.4.- Series de caudales máximos

a) Series de caudales máximos río Purapel

La función que mejor ajusta al conjunto de series de caudales máximos en el río Purapel, es la Log-Normal, la cual presenta un R^2 del 97,8% y un 100% de aceptación por parte del test de K-S. Lo anterior confirma lo mencionado por Linsley *et al* 1988, que en áreas secas una distribución asimétrica tal como la Log-Normal, produce los mejores ajustes.

TABLA N° 55: Bondad Promedio del R^2 y porcentaje de aceptación por K-S, del conjunto de series de caudales máximos, en el río Purapel.

Función	Promedio R^2	% de aceptación por K-S
Gumbel	0,747	50%
Normal	0,80	50%
Log-Normal	0,978	100%
Goodrich	0,686	0%
Pearson Tipo III	0,983	41,70%

La función Log Normal presenta la condición que los registros deben ser mayores que cero y que la transformación logarítmica tiende a reducir la asimetría positiva.

b) Series de caudales máximos río Achibueno

El conjunto de series de caudales máximos del río Achibueno, se ven representados por la función de distribución de Pearson Tipo III, la cual muestra una bondad promedio en sus ajustes de un R^2 del 96,7%, además de presentar un porcentaje de aceptación del conjunto de las series de un 100% por K-S. Lo anterior se puede apreciar en la tabla N° 55

TABLA N° 55: Bondad Promedio del R^2 y porcentaje de aceptación por K-S, del conjunto de series de caudales máximos, en el río Achibueno.

Función	Promedio R^2	% de aceptación por K-S
Gumbel	0,747	91,70%
Normal	0,914	83,30%
Log-Normal	0,946	91,70%
Goodrich	0,790	8,33%
Pearson Tipo III	0,967	100%

Las funciones como Gumbel, Log-Normal y Normal se presentan como buenas alternativas para los caudales máximos del río Achibueno. Éstas en general presentan dificultades para ajustar las series de Enero, Marzo y Abril, justamente los meses que presentan mayor variabilidad de sus eventos.

8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1.- Conclusiones

A continuación se presentan las principales conclusiones:

- Las series anuales de precipitación y caudal se ven reflejadas en la función de Goodrich, pero cabe destacar que esta función no marca una diferencia significativa, sobre las otras cuatro funciones de distribución de probabilidad.
- En las series anuales no es relevante si la serie depende de un régimen pluvial o pluvio-nival, para determinar la función que presenta mejor aceptación por las series.
- Las series de precipitaciones mensuales sí presentan diferencias en sus ajustes entre una cuenca pluvial con una pluvio-nival. Así, en la estación de Nirivilo la función que se ajusta en mejor medida es Gumbel, a diferencia de la estación Embalse Ancoa, donde las series ajustan con mayor bondad a la función Normal.
- El ajuste de las precipitaciones mensuales presenta dificultades importantes para las series de los meses de Enero, Febrero, Marzo, Noviembre y Diciembre, no ajustando a ninguna función, debido a la marcada presencia de “outliers” o valores anómalos.
- Las series de caudales mínimos presentan diferencias en sus ajustes entre las cuencas del río Purapel y del río Achibueno. Para el caso del río Purapel sus

caudales mínimos ajustan mejor a una función Log-Normal, a diferencia del río Achibueno, donde sus series de caudales mínimos se ven reflejadas en la función de Gumbel.

- Las series de caudales máximos también presentan diferencias en las funciones que ajustan mejor a las cuencas. Así, en la cuenca del río Purapel, los caudales máximos se ajustan con mejor bondad a una función Log-Normal, a diferencia del río Achibueno, donde las series se ven reflejadas en la función Pearson tipo III.
- No se identifica el uso general de una función de distribución en las series de caudales extremos y precipitaciones mensuales.
- En general se concluye que las funciones de Gumbel y Pearson tipo III, son las que presentan mayor flexibilidad para su aplicación a distintas variables hidrológicas, aunque ello debe siempre quedar refrendado por las medidas de bondad de ajuste.

8.2.- Recomendaciones

- Se recomienda ampliar el estudio a otras variables como temperatura, evapotranspiración, infiltración, etc.
- Se recomienda utilizar otras funciones de distribución como la Log-Normal de tres parámetros o la Log-Pearson Tipo III, especialmente cuando se encuentre que las funciones enunciadas no ajustan a las series de datos.
- Finalmente y en base a este estudio, se recomienda utilizar las siguientes funciones de distribución en la Región del Maule, de acuerdo a la siguiente tabla.

TABLA N° 56: Funciones recomendadas de acuerdo a la serie y la cuenca.

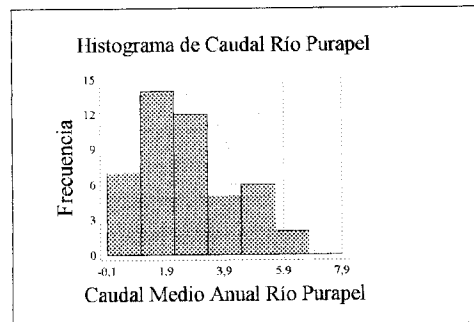
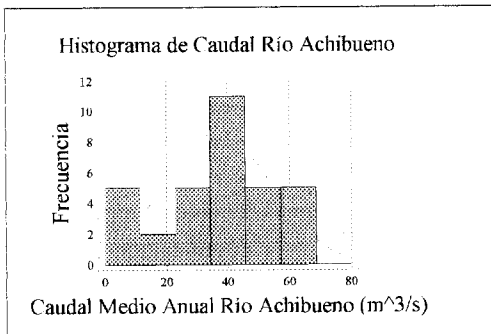
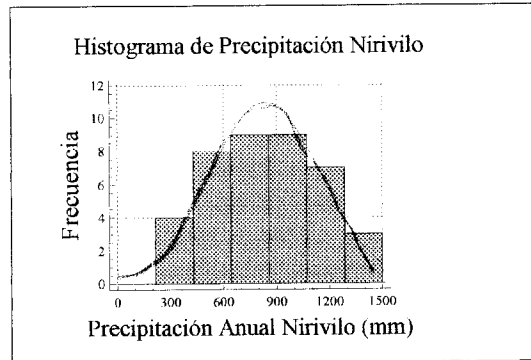
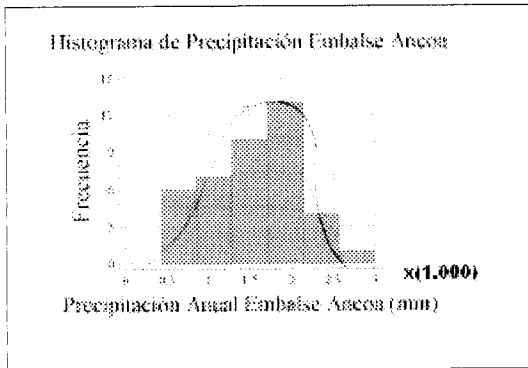
Series	Río Purapel Estación Nirivilo	Río Achibueno Estación Los Peñascos	Río Ancoa Estación Embalse Ancoa
Precipitación Anual	Goodrich Normal Pearson Tipo III	*	Goodrich Normal PearsonTipo III
Caudal Medio Anual	Goodrich Normal Pearson Tipo III	Goodrich Normal Pearson Tipo III	*
Precipitación Mensual	Gumbel Normal	*	Normal Gumbel
Caudal Mínimo Mensual	Log-Normal Gumbel	Gumbel Pearson Tipo III	*
Caudal Máximo Mensual	Log-Normal	Pearson Tipo III Log-Normal	*

*: Series no consideradas

APÉNDICES

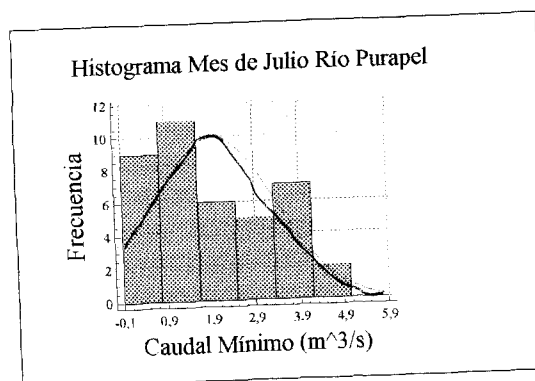
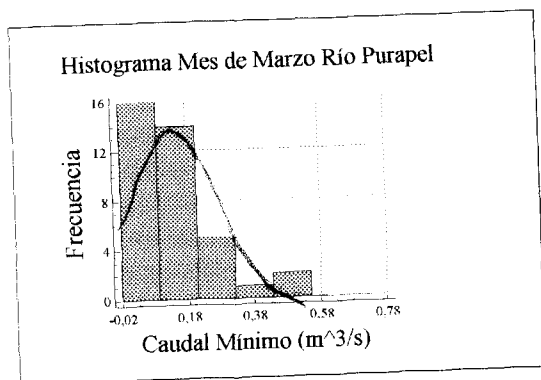
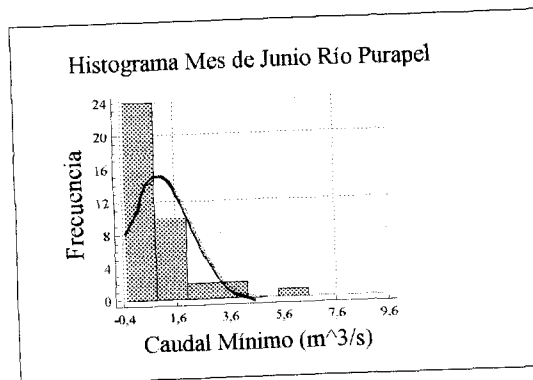
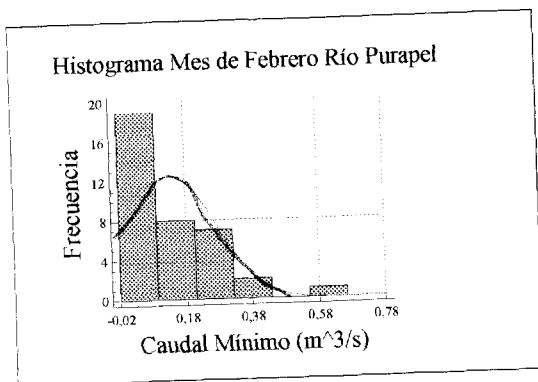
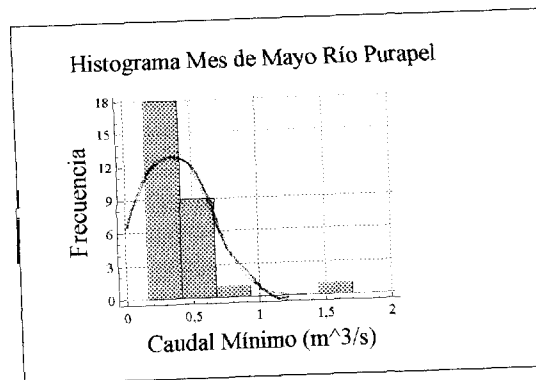
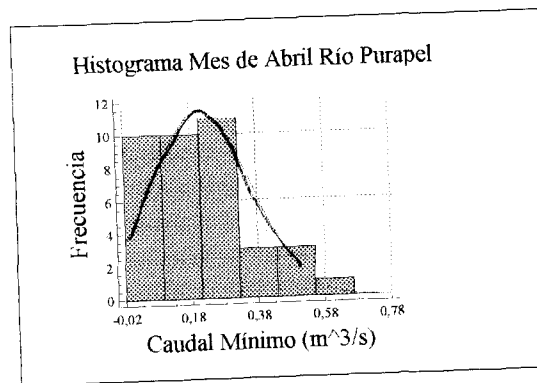
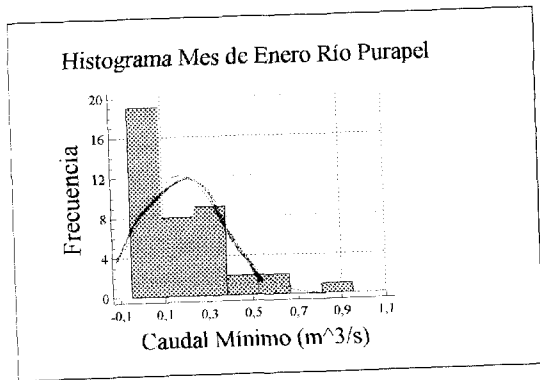
APÉNDICE 1.

1.1 Histogramas de Series Anuales:

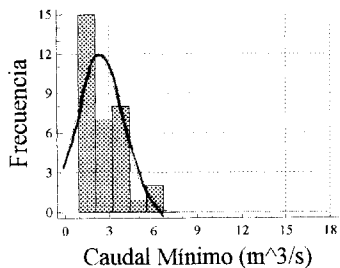


1.2 Histogramas de Series de Caudales

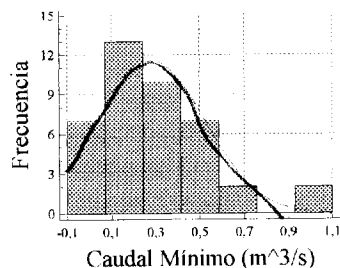
1.2.1 Histogramas de Caudales Mínicos Río Purapel:



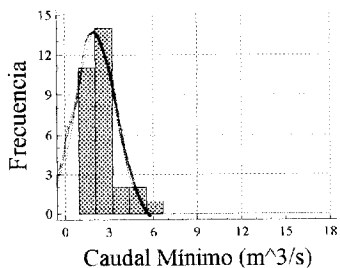
Histograma Mes de Agosto Río Purapel



Histograma Mes de Diciembre Río Purapel

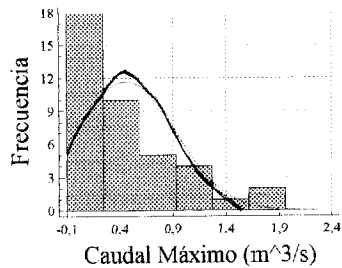


Histograma Mes de Septiembre Río Purapel

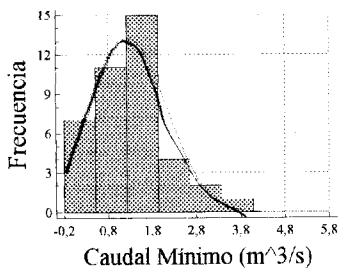


1.2.2 Histogramas de Caudales Máximos Río Purapel:

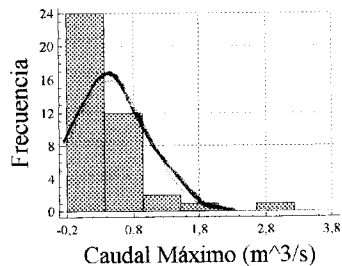
Histograma Mes de Enero Río Purapel



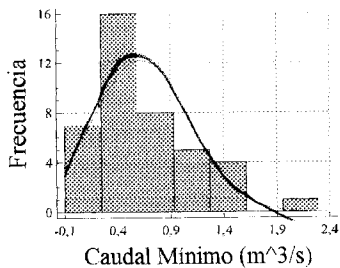
Histograma Mes de Octubre Río Purapel



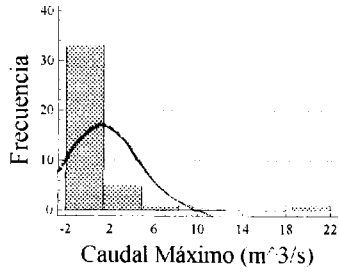
Histograma Mes de Febrero Río Purapel



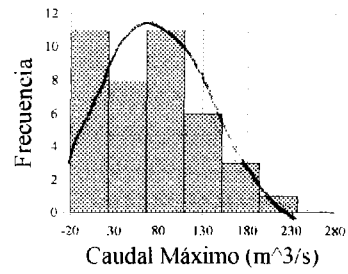
Histograma Mes de Noviembre Río Purapel



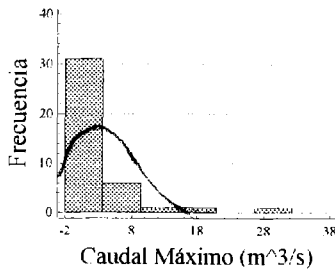
Histograma Mes de Marzo Río Purapel



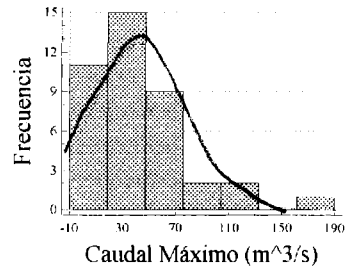
Histograma Mes de Julio Río Purapel



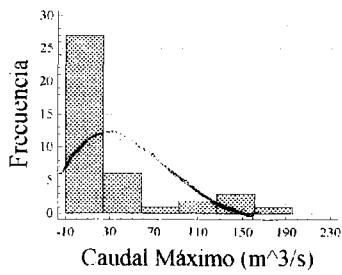
Histograma Mes de Abril Río Purapel



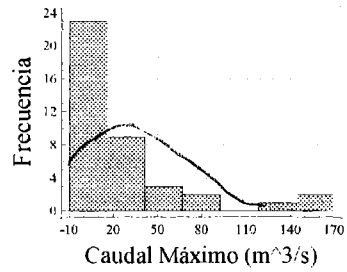
Histograma Mes de Agosto Río Purapel



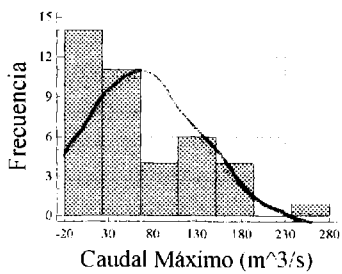
Histograma Mes de Mayo Río Purapel



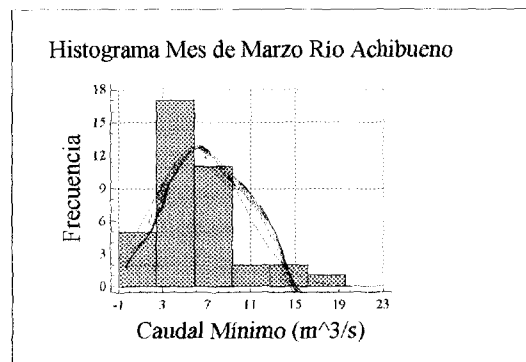
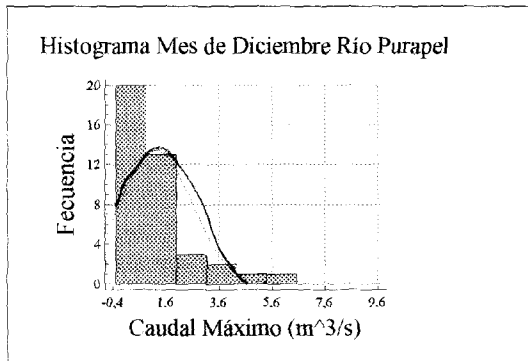
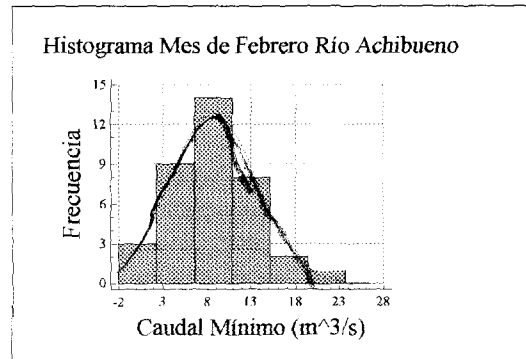
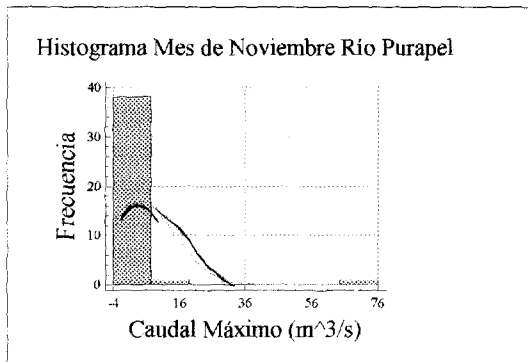
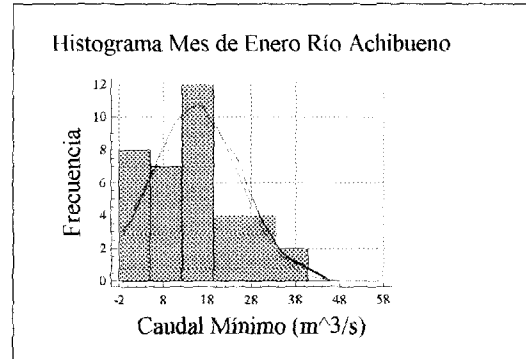
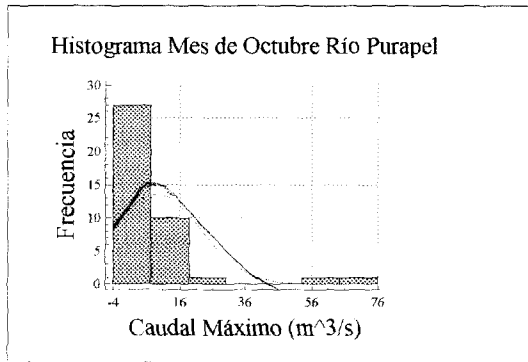
Histograma Mes de Septiembre Río Purapel



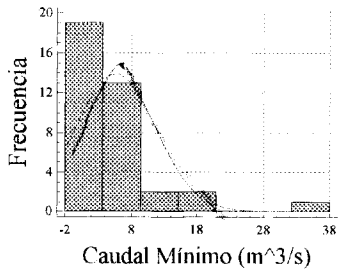
Histograma Mes de Junio Río Purapel



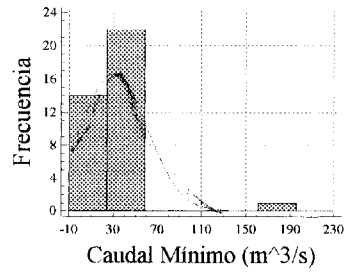
1.2.3 Histogramas de Caudales Mínicos Río Achibueno:



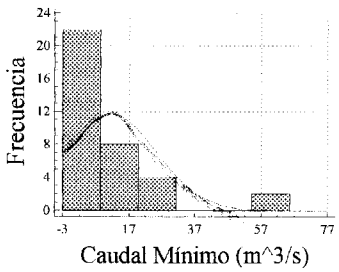
Histograma Mes de Abril Río Achibueno



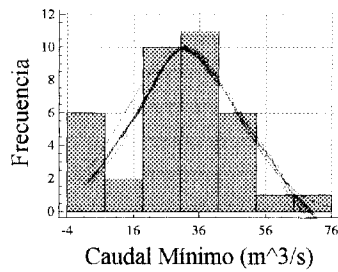
Histograma Mes de Agosto Río Achibueno



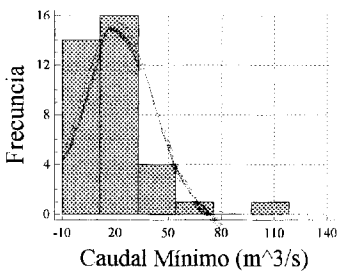
Histograma Mes de Mayo Río Achibueno



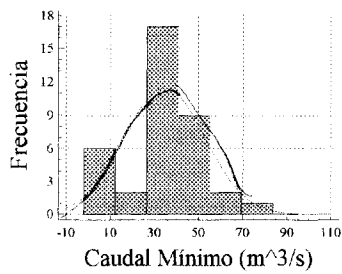
Histograma Mes de Septiembre Río Achibueno



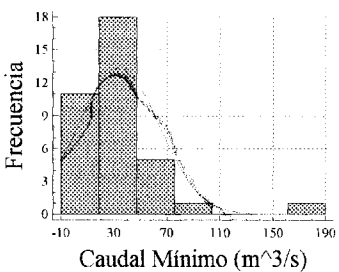
Histograma Mes de Junio Río Achibueno



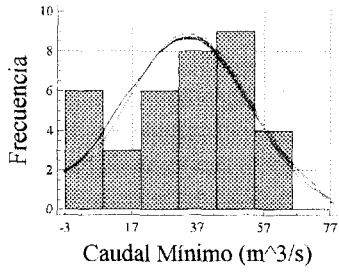
Histograma Mes de Octubre Río Achibueno



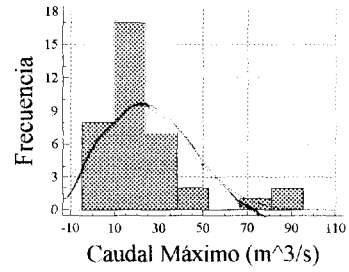
Histograma Mes de Julio Río Achibueno



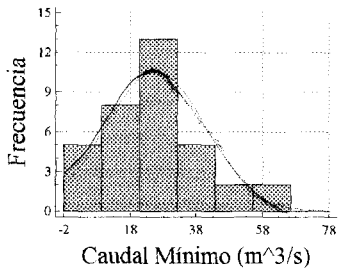
Histograma Mes de Noviembre Río Achibueno



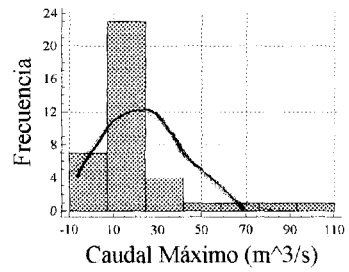
Histograma Mes de Febrero Río Achibueno



Histograma Mes de Diciembre Río Achibueno

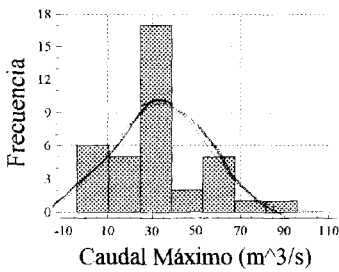


Histograma Mes de Marzo Río Achibueno

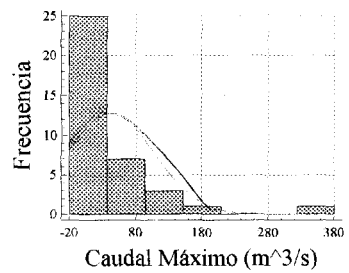


1.2.4 Histogramas de Caudales Máximos Río Achibueno:

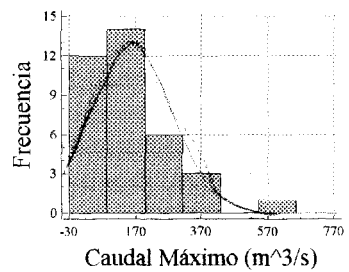
Histograma Mes de Enero Río Achibueno



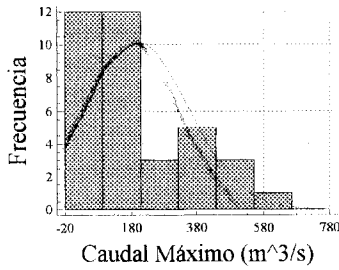
Histograma Mes de Abril Río Achibueno



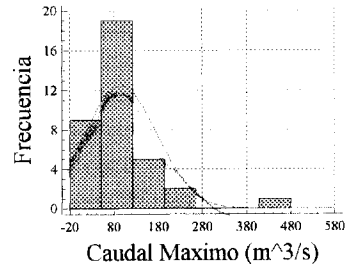
Histograma Mes de Mayo Río Achibueno



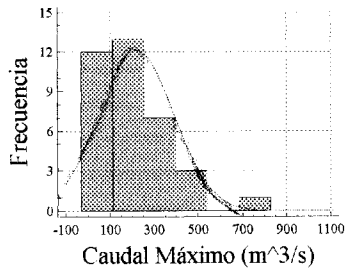
Histograma Mes de Junio Río Achibueno



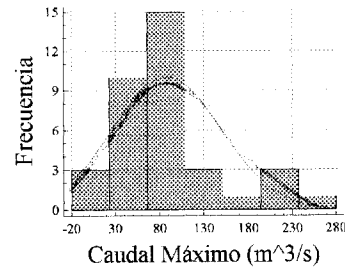
Histograma Mes de Octubre Río Achibueno



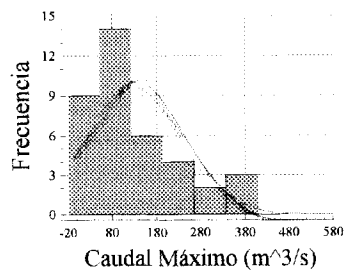
Histograma Mes de Julio Río Achibueno



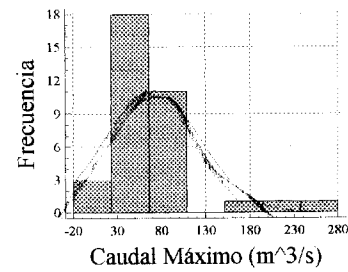
Histograma Mes de Noviembre Río Achibueno



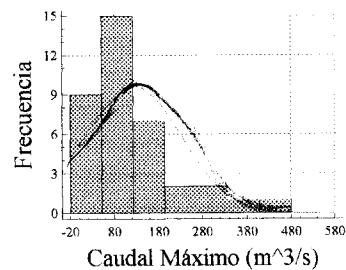
Histograma Mes de Agosto Río Achibueno



Histograma Mes de Diciembre Río Purapel



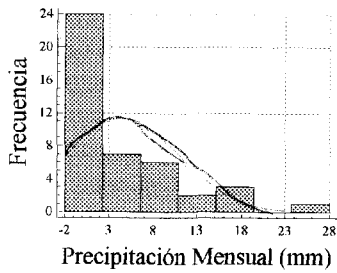
Histograma Mes de Septiembre Río Achibueno



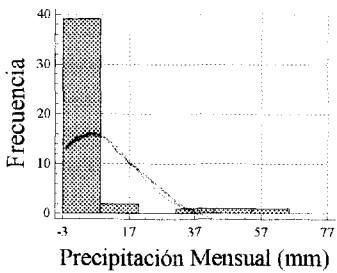
1.3 Histogramas de Series de Precipitación Mensual:

1.3.1 Histogramas de Precipitación Mensual Estación Nirivilo:

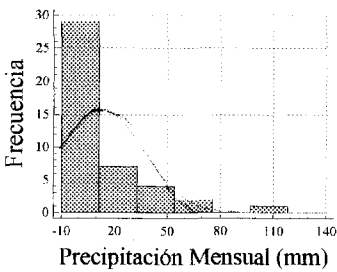
Histograma Mes de Enero Estación Nirivilo



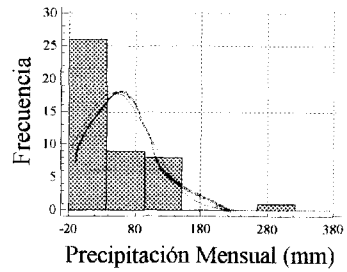
Histograma Mes de Febrero Estación Nirivilo



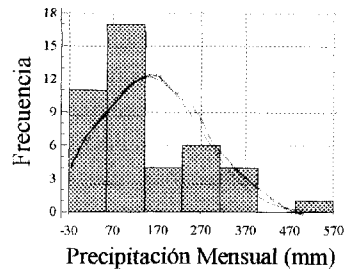
Histograma Mes de Marzo Estación Nirivilo



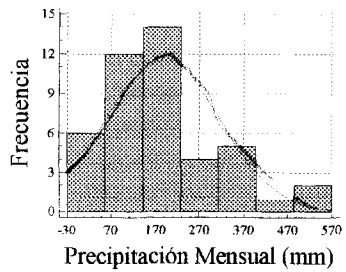
Histograma Mes de Abril Estación Nirivilo



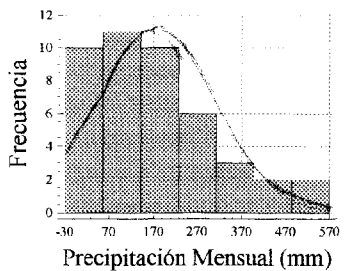
Histograma Mes de Mayo Estación Nirivilo



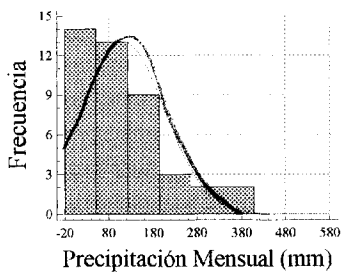
Histograma Mes de Junio Estación Nirivilo



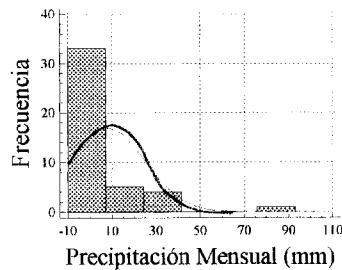
Histograma Mes de Julio Estación Nirivilo



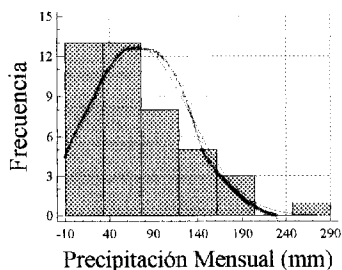
Histograma Mes de Agosto Estación Nirivilo



Histograma Mes de Diciembre Estación Nirivilo

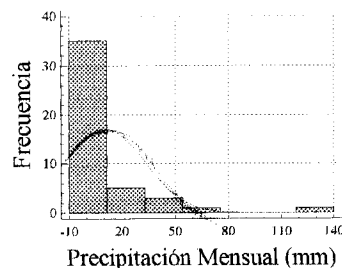


Histograma Mes de Septiembre Estación Nirivilo

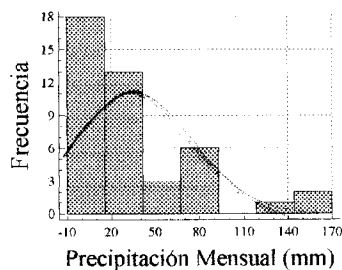


1.3.2 Histogramas de Precipitación Mensual Estación Ancoa:

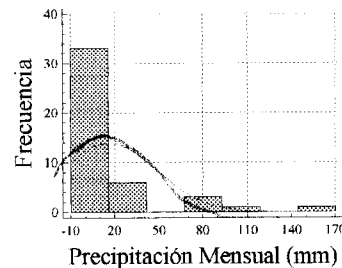
Histograma Mes de Enero Estación Ancoa



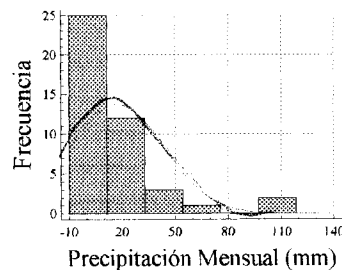
Histograma Mes de Octubre Estación Nirivilo



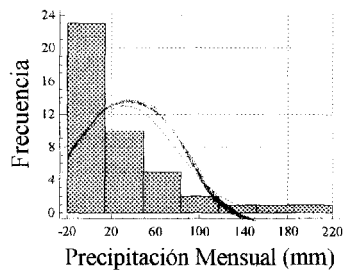
Histograma Mes de Febrero Estación Ancoa



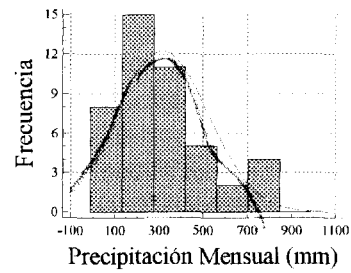
Histograma Mes de Noviembre Estación Nirivilo



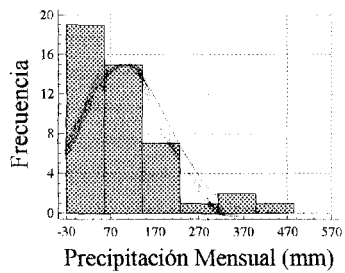
Histograma Mes de Marzo Estación Ancoa



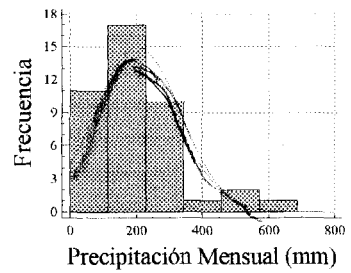
Histograma Mes de Julio Estación Ancoa



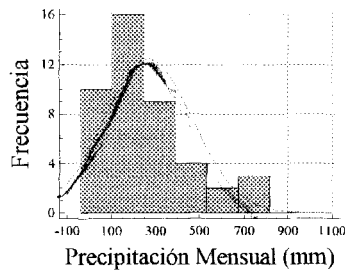
Histograma Mes de Abril Estación Ancoa



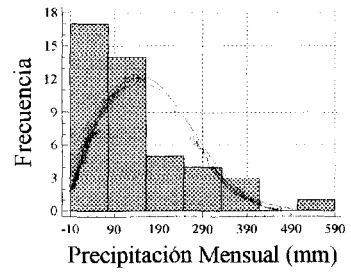
Histograma Mes de Agosto Estación Ancoa



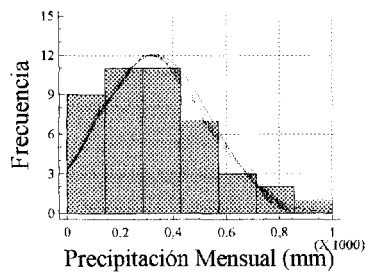
Histograma Mes de Mayo Estación Ancoa



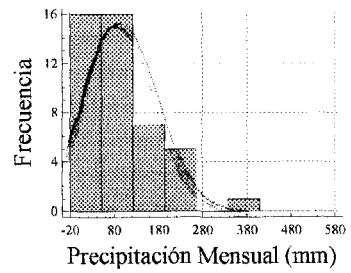
Histograma Mes de Septiembre Estación Ancoa



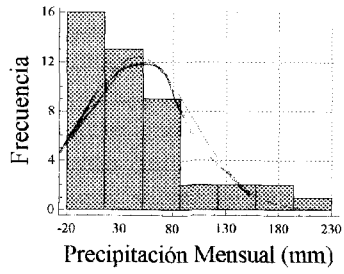
Histograma Mes de Junio Estación Ancoa



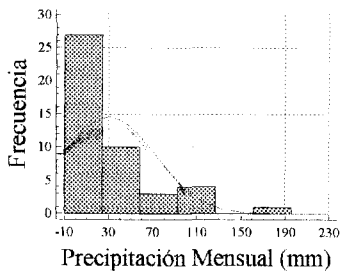
Histograma Mes de Octubre Estación Ancoa



Histograma Mes de Noviembre Estación Ancoa



Histograma Mes de Diciembre Estación Ancoa



APENDICE 2.

2.- PARÁMETROS DE LAS FUNCIONES

2.1.- FUNCIÓN DE GUMBEL

a) SERIES ANUALES:

TABLA N° 1: Parámetros de series anuales

Series Anuales	μ	d
Pp. Anual Embalse Ancoa	1309.095	0.002
Pp. Anual Nirivilo	696.365	0.004
Caudal medio anual río Achibueno	28,650	0,073
Caudal medio anual río Purapel	1,997	0,843

b) SERIES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL:

TABLA N° 2: Parámetros de series de precipitación mensual estación Nirivilo

MES	μ	d
ENERO	1.554	0.199
FEBRERO	-0.010	0.103
MARZO	2.488	0.055
ABRIL	22.348	0.023
MAYO	93.281	0.011
JUNIO	128.967	0.010
JULIO	114.856	0.010
AGOSTO	69.584	0.014
SEPTIEMBRE	47.118	0.022
OCTUBRE	17.747	0.032
NOVIEMBRE	4.901	0.048
DICIEMBRE	-0.148	0.074

TABLA N° 3: Parámetros de series de precipitación mensual estación Ancoa

MES	μ	d
ENERO	0.215	0.057
FEBRERO	1.417	0.040
MARZO	11.707	0.028
ABRIL	51.163	0.012
MAYO	177.041	0.006
JUNIO	238.627	0.006
JULIO	219.853	0.006
AGOSTO	146.373	0.010
SEPTIEMBRE	88.142	0.011
OCTUBRE	56.557	0.015
NOVIEMBRE	23.233	0.025
DICIEMBRE	11.104	0.030

c) SERIES DE CAUDALES MENSUALES:**TABLA N° 4: Parámetros de series de caudales mínimos río Purapel**

MES	μ	d
ENERO	0.102	6.662
FEBRERO	0.077	9.516
MARZO	0.087	10.072
ABRIL	0.143	8.481
MAYO	0.221	4.630
JUNIO	0.531	1.092
JULIO	1.372	0.933
AGOSTO	1.622	0.846
SEPTIEMBRE	1.487	0.995
OCTUBRE	0.880	1.494
NOVIEMBRE	0.414	2.798
DICIEMBRE	0.171	5.294

TABLA N° 5: Parámetros de series de caudales máximos río Purapel

MES	μ	d
ENERO	0.250	2.745
FEBRERO	0.190	2.252
MARZO	-0.262	0.388
ABRIL	0.738	0.236
MAYO	10.446	0.026
JUNIO	34.827	0.020
JULIO	68.349	0.022
AGOSTO	26.391	0.036
SEPTIEMBRE	12.256	0.033
OCTUBRE	2.963	0.093
NOVIEMBRE	-1.052	0.119
DICIEMBRE	0.619	0.948

TABLA N° 6: Parámetros de series de caudales mínimo río Achibueno

MES	μ	d
ENERO	10.818	0.129
FEBRERO	6.504	0.257
MARZO	4.323	0.314
ABRIL	2.856	0.208
MAYO	4.699	0.090
JUNIO	12.424	0.094
JULIO	20.125	0.041
AGOSTO	16.255	0.042
SEPTIEMBRE	22.688	0.074
OCTUBRE	26.250	0.069
NOVIEMBRE	25.094	0.069
DICIEMBRE	19.021	0.084

TABLA N° 7: Parámetros de series de caudales máximo río Achibueno

MES	μ	d
ENERO	24.376	0.060
FEBRERO	12.917	0.059
MARZO	10.572	0.060
ABRIL	12.103	0.019
MAYO	95.396	0.010
JUNIO	121.188	0.008
JULIO	143.327	0.008
AGOSTO	85.740	0.012
SEPTIEMBRE	72.982	0.012
OCTUBRE	58.293	0.016
NOVIEMBRE	60.362	0.021
DICIEMBRE	45.530	0.024

2.2.- FUNCIÓN NORMAL

a) SERIES ANUALES:

TABLA N° 8: Parámetros de series anuales

Series Anuales	\bar{X}	S
Pp. Anual Embalse Ancoa	1554.261	544.844
Pp. Anual Nirivilo	836.766	311.972
Caudal medio anual río Achibueno	36,559	17,575
Caudal medio anual río Purapel	2,681	1,521

b) SERIES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL:

TABLA N° 9: Parámetros de series de precipitación mensual estación Nirivilo

MES	\bar{X}	S
ENERO	4.453	6.444
FEBRERO	5.584	12.430
MARZO	13.058	23.488
ABRIL	47.261	55.356
MAYO	147.660	120.832
JUNIO	186.834	128.580
JULIO	175.541	134.841
AGOSTO	111.707	93.598
SEPTIEMBRE	73.242	58.047
OCTUBRE	35.640	39.757
NOVIEMBRE	16.930	26.728
DICIEMBRE	7.628	17.278

TABLA N° 10: Parámetros de series de precipitación mensual estación Ancoa

MES	\bar{X}	S
ENERO	32.0	22.384
FEBRERO	16	32.402
MARZO	32	45.091
ABRIL	97.9	103.849
MAYO	267.6	201.222
JUNIO	332	207.475
JULIO	313.7	208.526
AGOSTO	203.9	127.825
SEPTIEMBRE	142.6	121.005
OCTUBRE	94	83.199
NOVIEMBRE	46.5	51.699
DICIEMBRE	30.2	42.432

C) SERIES DE CAUDALES MENSUALES:

TABLA N° 11: Parámetros de series de caudales mínimos río Purapel:

MES	\bar{X}	S
ENERO	0.188	0.193
FEBRERO	0.137	0.135
MARZO	0.145	0.127
ABRIL	0.211	0.151
MAYO	0.346	0.277
JUNIO	1.060	1.175
JULIO	1.991	1.375
AGOSTO	2.304	1.517
SEPTIEMBRE	2.067	1.289
OCTUBRE	1.266	0.858
NOVIEMBRE	0.621	0.458
DICIEMBRE	0.280	0.242

TABLA N° 12: Parámetros de series de caudales máximos río Purapel

MES	\bar{X}	S
ENERO	0.460	0.467
FEBRERO	0.445	0.570
MARZO	1.224	3.302
ABRIL	3.180	5.426
MAYO	32.424	48.834
JUNIO	64.326	65.546
JULIO	71.014	59.213
AGOSTO	42.635	36.092
SEPTIEMBRE	29.703	38.767
OCTUBRE	9.007	13.431
NOVIEMBRE	3.804	10.791
DICIEMBRE	1.228	1.353

TABLA N° 13: Parámetros de series de caudales mínimo río Achibueno:

MES	\bar{X}	S
ENERO	15.148	9.878
FEBRERO	8.697	4.925
MARZO	6.163	4.032
ABRIL	5.642	6.071
MAYO	11.147	14.009
JUNIO	20.983	19.814
JULIO	33.504	30.702
AGOSTO	30.194	30.228
SEPTIEMBRE	30.412	17.017
OCTUBRE	34.539	18.339
NOVIEMBRE	33.853	18.490
DICIEMBRE	25.665	15.129

TABLA N° 14: Parámetros de series de caudales máximo río Achibueno:

MES	\bar{X}	S
ENERO	34.005	21.395
FEBRERO	22.746	21.841
MARZO	20.144	21.269
ABRIL	42.000	66.432
MAYO	152.303	126.447
JUNIO	193.343	160.326
JULIO	219.128	168.429
AGOSTO	134.191	107.657
SEPTIEMBRE	121.976	108.863
OCTUBRE	95.232	82.078
NOVIEMBRE	88.052	61.527
DICIEMBRE	69.836	54.008

2.3.- FUNCIÓN LOG- NORMAL

a) SERIES ANUALES:

TABLA N° 15: Parámetros de series anuales

Series Anuales	\bar{X}	S
Pp. Anual Embalse Ancoa	7.275	0.412
Pp. Anual Nirivilo	6.651	0.422
Caudal medio anual río Achibueno	3,424	0,687
Caudal medio anual río Purapel	0,799	0,671

b) SERIES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL:

TABLA N° 16: Parámetros de series de precipitación mensual estación Nirivilo

MES	\bar{X}	S
ENERO	-6.434	8.022
FEBRERO	-7.298	7.945
MARZO	-4.061	8.048
ABRIL	2.060	4.566
MAYO	4.242	2.684
JUNIO	4.636	2.601
JULIO	4.454	2.653
AGOSTO	4.319	1.016
SEPTIEMBRE	3.923	0.986
OCTUBRE	1.228	5.618
NOVIEMBRE	-2.991	8.052
DICIEMBRE	-6.908	6.737

TABLA N° 17: Parámetros de series de precipitación mensual estación Ancoa

MES	\bar{X}	S
ENERO	-8.073	11.489
FEBRERO	-8.630	12.753
MARZO	-3.055	11.198
ABRIL	2.242	6.958
MAYO	5.233	1.033
JUNIO	5.590	0.703
JULIO	5.491	0.792
AGOSTO	5.132	0.629
SEPTIEMBRE	4.623	0.844
OCTUBRE	2.419	6.940
NOVIEMBRE	0.481	8.478
DICIEMBRE	-2.978	10.933

c) SERIES DE CAUDALES MENSUALES:

TABLA N° 18: Parámetros de Series de caudales mínimos río Purapel

MES	\bar{X}	S
ENERO	-2.326	1.337
FEBRERO	-2.609	1.288
MARZO	-2.475	1.231
ABRIL	-2.031	1.253
MAYO	-1.467	1.146
JUNIO	-0.407	1.044
JULIO	0.396	0.841
AGOSTO	0.538	0.906
SEPTIEMBRE	0.486	0.809
OCTUBRE	-0.070	0.954
NOVIEMBRE	-0.837	1.032
DICIEMBRE	-1.816	1.294

TABLA N° 19: Parámetros de series de caudales máximos río Purapel

MES	\bar{X}	S
ENERO	-1.439	1.466
FEBRERO	-1.492	1.264
MARZO	-1.372	1.915
ABRIL	-0.297	2.197
MAYO	2.159	1.987
JUNIO	3.459	1.444
JULIO	3.715	1.301
AGOSTO	3.307	1.095
SEPTIEMBRE	2.677	1.275
OCTUBRE	1.507	1.386
NOVIEMBRE	0.414	1.170
DICIEMBRE	-0.632	1.625

TABLA N° 20: Parámetros de series de caudales mínimo río Achibueno

MES	\bar{X}	S
ENERO	2.352	1.111
FEBRERO	1.891	0.989
MARZO	1.541	0.981
ABRIL	1.329	1.052
MAYO	1.720	1.348
JUNIO	2.623	0.996
JULIO	3.135	0.971
AGOSTO	2.958	1.207
SEPTIEMBRE	3.069	1.126
OCTUBRE	3.281	0.911
NOVIEMBRE	3.128	1.277
DICIEMBRE	2.943	0.982

TABLA N° 21: Parámetros de series de caudales máximo río Achibueno

MES	X	S
ENERO	3.125	1.221
FEBRERO	2.608	1.259
MARZO	2.476	1.268
ABRIL	2.830	1.404
MAYO	4.575	1.130
JUNIO	4.822	1.078
JULIO	5.095	0.835
AGOSTO	4.461	1.180
SEPTIEMBRE	4.401	0.989
OCTUBRE	4.176	1.007
NOVIEMBRE	4.169	0.959
DICIEMBRE	3.896	1.042

2.4.- FUNCIÓN GOODRICH

a) SERIES ANUALES:

TABLA N° 22: Parámetros de series anuales

Series Anuales	a	x1
Pp. Anual Embalse Ancoa	3.51E-15	-541.7336485
Pp. Anual Nirivilo	1.70028E-10	-78.93172599
Caudal medio anual río Achibueno	5,40E-09	-3,11E+01
Caudal medio anual río Purapel	6,12E-02	-4,94E-01

b) SERIES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL:

TABLA N° 23: Parámetros de series de precipitación mensual estación Nirivilo

MES	a	x1
ENERO	0.005853	-59.328
FEBRERO	0.009069	-454.399
MARZO	0.001682	-1855.771
ABRIL	0.000197	-7951.824
MAYO	0.000008	-1845.136
JUNIO	0.000006	-1238.270
JULIO	0.000004	-659.907
AGOSTO	0.000023	-3420.009
SEPTIEMBRE	0.000039	-800.913
OCTUBRE	0.000182	-1531.964
NOVIEMBRE	0.001208	-2368.755
DICIEMBRE	0.005526	-1128.851

TABLA N° 24: Parámetros de series de precipitación mensual estación Ancoa

MES	a	x1
ENERO	0.00449799	-2452.558505
FEBRERO	0.000936723	-4050.824107
MARZO	-4.91843E-09	203318967.7
ABRIL	2.96541E-05	-9521.811255
MAYO	2.85007E-06	-3266.151477
JUNIO	1.73018E-06	-1202.283179
JULIO	1.53875E-06	-893.4142041
AGOSTO	8.34543E-06	-2479.241048
SEPTIEMBRE	1.23757E-05	-4168.882463
OCTUBRE	2.05055E-05	-1566.177209
NOVIEMBRE	0.00011022	-2434.874101
DICIEMBRE	0.000198751	-2354.16451

c) SERIES DE CAUDALES MENSUALES:

TABLA N° 25: Parámetros de Series de caudales mínimos río Purapel

MES	a	x1
ENERO	5.475519348	-0.059227588
FEBRERO	10.25567955	-0.022075401
MARZO	8.378994594	-0.065630858
ABRIL	1.841129314	-0.459293658
MAYO	8.195519846	0.235641878
JUNIO	0.472956331	-1.238933772
JULIO	0.021064661	-3.042362095
AGOSTO	0.018356074	-3.24840634
SEPTIEMBRE	0.050899564	-3.028365756
OCTUBRE	0.160148742	-1.729546676
NOVIEMBRE	0.564911301	-0.685797362
DICIEMBRE	2.115251279	-0.267354482

TABLA N° 26: Parámetros de series de caudales máximos río Purapel

MES	a	x1
ENERO	0.950896228	-0.503252982
FEBRERO	2.474418841	0.062250869
MARZO	0.033655157	-20.84177062
ABRIL	0.039668114	-54.83225648
MAYO	0.000179369	-3814.448982
JUNIO	3.17732E-05	-1019.836083
JULIO	1.61724E-05	-177.5204755
AGOSTO	0.000119175	-548.0845735
SEPTIEMBRE	0.000367621	-3291.948854
OCTUBRE	0.009123953	-568.8250203
NOVIEMBRE	0.004291118	-228.3877826
DICIEMBRE	0.136742412	-3.608966

TABLA N° 27: Parámetros de series de caudales mínimo río Achibueno

MES	a	xl
ENERO	0.000418728	-15.10870744
FEBRERO	0.002021896	-9.053999828
MARZO	0.012742229	-21.70704942
ABRIL	0.044717345	-65.81297988
MAYO	0.002713324	-392.6360742
JUNIO	0.001639012	-939.0085676
JULIO	0.000864852	-2986.485268
AGOSTO	0.003235027	-6394.995343
SEPTIEMBRE	3.1385E-05	16.95020506
OCTUBRE	3.56968E-05	17.02067187
NOVIEMBRE	7.08088E-06	27.96184342
DICIEMBRE	0.000126458	-6.873467263

TABLA N° 28: Parámetros de series de caudales máximo río Achibueno

MES	a	xl
ENERO	7.7443E-05	-19.04203201
FEBRERO	0.0007979	-705.6390223
MARZO	0.001064096	-855.7598622
ABRIL	0.000372933	-39091.09389
MAYO	9.48705E-06	-3145.209763
JUNIO	2.66694E-06	-753.2087801
JULIO	8.26841E-06	-12005.48411
AGOSTO	8.04552E-06	-970.3641123
SEPTIEMBRE	1.89667E-05	-5313.302244
OCTUBRE	8.201E-05	-15343.9869
NOVIEMBRE	3.59804E-05	-892.4115095
DICIEMBRE	0.000125785	-3741.891502

2.5.- FUNCIÓN PEARSON TIPO III

a) SERIES ANUALES:

TABLA N° 29: Parámetros de series anuales

Series Anuales	β_1	α_1	δ_1
Pp. Anual Embalse Ancoa	193.354	39.183	-6021.884
Pp. Anual Nirivilo	461.353	14.524	-5864.110
Caudal medio anual río Achibueno	146,845	1,450	-176,410
Caudal medio anual río Purapel	15,093	0,391	-3,227

b) SERIES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL:

TABLA N° 30: Parámetros de series de precipitación mensual estación Nirivilo

MES	β_1	α_1	δ_1
ENERO	1.809	4.791	-4.212
FEBRERO	0.475	18.044	-2.978
MARZO	0.626	29.679	-5.530
ABRIL	0.861	59.656	-4.105
MAYO	3.658	63.179	-83.433
JUNIO	4.632	59.742	-89.901
JULIO	6.886	51.387	-178.289
AGOSTO	2.192	63.221	-26.864
SEPTIEMBRE	3.299	31.959	-32.191
OCTUBRE	1.569	31.737	-14.164
NOVIEMBRE	4.924	12.045	-42.379
DICIEMBRE	0.423	26.575	-3.605

TABLA N° 31: Parámetros de series de precipitación mensual estación Ancoa

MES	β_1	α_1	δ_1
ENERO	0.346	38.078	-2.870
FEBRERO	0.606	41.632	-9.219
MARZO	0.999	45.107	-13.074
ABRIL	1.447	86.339	-27.010
MAYO	3.820	102.957	-125.673
JUNIO	6.332	82.451	-190.077
JULIO	7.403	76.642	-253.656
AGOSTO	3.203	71.418	-24.883
SEPTIEMBRE	2.407	77.992	-45.140
OCTUBRE	3.032	47.783	-50.862
NOVIEMBRE	1.553	41.486	-17.926
DICIEMBRE	1.300	37.208	-18.188

c) SERIES DE CAUDALES MENSUALES:

TABLA N° 32: Parámetros de Series de caudales mínimos río Purapel

MES	β_1	α_1	δ_1
ENERO	2.161	0.131	-0.095
FEBRERO	2.361	0.088	-0.070
MARZO	3.151	0.072	-0.081
ABRIL	14.980	0.039	-0.374
MAYO	0.839	0.302	0.092
JUNIO	0.814	1.302	0.000
JULIO	16.029	0.343	-3.514
AGOSTO	14.760	0.395	-3.523
SEPTIEMBRE	5.449	0.552	-0.941
OCTUBRE	3.686	0.447	-0.382
NOVIEMBRE	3.733	0.237	-0.265
DICIEMBRE	3.473	0.130	-0.171

TABLA N° 33: Parámetros de series de caudales máximos río Purapel

MES	β_1	α_1	δ_1
ENERO	2.099	0.322	-0.217
FEBRERO	0.705	0.678	-0.034
MARZO	0.171	7.989	-0.140
ABRIL	0.538	7.396	-0.800
MAYO	1.134	45.855	-19.583
JUNIO	3.192	36.686	-52.785
JULIO	8.739	20.031	-104.030
AGOSTO	2.759	21.727	-17.319
SEPTIEMBRE	0.931	40.177	-7.703
OCTUBRE	0.426	20.583	0.243
NOVIEMBRE	0.049	48.644	1.410
DICIEMBRE	1.782	1.014	-0.578

TABLA N° 34: Parámetros de series de caudales mínimo río Achibueno

MES	β_1	α_1	δ_1
ENERO	15.552	2.505	-23.805
FEBRERO	11.646	1.443	-8.111
MARZO	2.229	2.700	0.143
ABRIL	0.424	9.323	1.690
MAYO	0.957	14.322	-2.557
JUNIO	0.825	21.810	2.982
JULIO	0.695	36.815	7.900
AGOSTO	0.288	56.279	13.958
SEPTIEMBRE	1381.491	0.458	-602.071
OCTUBRE	2719.687	0.352	-921.865
NOVIEMBRE	23.304	3.830	-55.405
DICIEMBRE	30.460	2.741	-57.831

ANEXOS

ANEXO 1.

Tabla 1. Serie de curvas obtenidas para las crecidas menores del río Purapel.

Período de validez de la curva	Modelo (Curva)	Coef. de Det. (R²)
1961 – 1962	$Q = -1,3978 \cdot H^3 + 21,323 \cdot H^2 - 35,75 \cdot H + 15,773$	99,96
1963 – 1964	$Q = -1,7611 \cdot H^3 + 23,94 \cdot H^2 - 41,415 \cdot H + 19,206$	99,94
1965 – 1966	$Q = -1,5235 \cdot H^3 + 21,945 \cdot H^2 - 36,26 \cdot H + 15,335$	99,91
1967 – 1968	$Q = -1,7895 \cdot H^3 + 23,622 \cdot H^2 - 39,102 \cdot H + 16,161$	99,83
1969 – 1970	$Q = -2,45 \cdot H^3 + 29,538 \cdot H^2 - 55,005 \cdot H + 28,05$	99,72
1971 – 1972	$Q = -3,0014 \cdot H^3 + 33,188 \cdot H^2 - 62,183 \cdot H + 32,165$	99,81
1973 – 1974	$Q = -1,13 \cdot H^3 + 19,293 \cdot H^2 - 30,875 \cdot H + 12,056$	99,93
1975 – 1976	$Q = -3,2815 \cdot H^3 + 34,717 \cdot H^2 - 64,014 \cdot H + 31,869$	99,68
1977 – 1978	$Q = -2,2317 \cdot H^3 + 27,647 \cdot H^2 - 50,192 \cdot H + 24,9$	99,65
1979 – 1980	$Q = -0,9153 \cdot H^3 + 17,346 \cdot H^2 - 26,3H + 10,455$	98,89
1981 – 1982	$Q = -1,2287 \cdot H^3 + 19,875 \cdot H^2 - 31,691 \cdot H + 12,042$	99,91
1983 – 1984	$Q = -1,2287 \cdot H^3 + 19,875 \cdot H^2 - 31,691 \cdot H + 12,042$	99,91
1985 – 1986	$Q = -1,2287 \cdot H^3 + 19,875 \cdot H^2 - 31,691 \cdot H + 12,042$	99,91
1987 – 1988	$Q = -1,8407 \cdot H^3 + 24,231 \cdot H^2 - 41,111 \cdot H + 17,939$	99,81
1989 – 1990	$Q = -0,305 \cdot H^3 + 12,907 \cdot H^2 - 15,357 \cdot H + 0,4276$	99,98
1991 – 1992	$Q = 10,904 \cdot H^2 - 12,22 \cdot H - 0,5117$	99,60
1993 – 1994	$Q = 11,161 \cdot H^2 - 12,941 \cdot H + 0,0508$	99,94
1995 – 1996	$Q = -1,1182 \cdot H^3 + 18,849 \cdot H^2 - 28,823 \cdot H + 9,9204$	99,94
1997 – 1998	$Q = 11,047 \cdot H^2 - 12,298 \cdot H - 0,457$	99,93
1999 – 2000	$Q = -1,6118 \cdot H^3 + 23,018 \cdot H^2 - 39,698 \cdot H + 18,119$	99,85

ANEXO 2.

PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

(n = Tamaño de la muestra)

n	$\alpha = 0,2$	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,02$	$\alpha = 0,01$
1	0,990	0,970	0,975	0,990	0,995
2	0,684	0,776	0,842	0,900	0,929
3	0,505	0,636	0,708	0,785	0,829
4	0,403	0,565	0,624	0,689	0,734
5	0,347	0,509	0,563	0,627	0,669
6	0,310	0,468	0,519	0,577	0,617
7	0,281	0,436	0,483	0,538	0,576
8	0,259	0,410	0,454	0,507	0,542
9	0,239	0,387	0,430	0,480	0,513
10	0,223	0,369	0,409	0,457	0,486
11	0,208	0,352	0,391	0,437	0,468
12	0,196	0,338	0,375	0,419	0,449
13	0,185	0,325	0,361	0,404	0,432
14	0,175	0,314	0,349	0,390	0,418
15	0,166	0,304	0,338	0,377	0,404
16	0,158	0,295	0,327	0,366	0,392
17	0,150	0,286	0,318	0,355	0,381
18	0,144	0,279	0,309	0,346	0,371
19	0,137	0,271	0,300	0,337	0,361
20	0,132	0,265	0,291	0,329	0,352
21	0,126	0,259	0,287	0,321	0,341
22	0,121	0,253	0,281	0,311	0,337
23	0,116	0,247	0,275	0,307	0,330
24	0,112	0,242	0,269	0,301	0,323
25	0,108	0,238	0,264	0,295	0,317
26	0,104	0,233	0,259	0,290	0,311
27	0,100	0,229	0,254	0,284	0,306
28	0,097	0,225	0,250	0,279	0,300
29	0,093	0,221	0,246	0,275	0,295
30	0,090	0,218	0,242	0,270	0,290
35	0,077	0,202	0,224	0,251	0,269
40	0,065	0,189	0,210	0,235	0,252
45	0,056	0,179	0,198	0,222	0,238
50	0,048	0,170	0,188	0,211	0,226
55	0,042	0,162	0,180	0,201	0,216
60	0,036	0,155	0,172	0,193	0,207
65	0,031	0,149	0,166	0,185	0,199
70	0,026	0,144	0,160	0,179	0,192
75	0,022	0,139	0,154	0,173	0,185
80	0,018	0,135	0,150	0,167	0,179
85	0,014	0,131	0,145	0,162	0,174
90	0,011	0,127	0,141	0,158	0,169
95	0,008	0,124	0,137	0,154	0,165
100	0,006	0,121	0,134	0,150	0,161
$n > 100$	$1,07/\sqrt{n}$	$1,22/\sqrt{n}$	$1,36/\sqrt{n}$	$1,72/\sqrt{n}$	$1,63/\sqrt{n}$

TABLA DE LILLIEFORS

(n = Tamaño de la muestra)

n	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
5	0,337	0,405
6	0,319	0,364
7	0,309	0,348
8	0,285	0,331
9	0,271	0,311
10	0,258	0,294
11	0,249	0,284
12	0,242	0,275
13	0,234	0,268
14	0,227	0,261
15	0,220	0,257
16	0,213	0,250
17	0,206	0,245
18	0,200	0,239
19	0,195	0,235
20	0,190	0,231
25	0,180	0,203
30	0,161	0,187
$n > 30$	$0,886/\sqrt{n}$	$1,631/\sqrt{n}$

ANEXO 3.

Tabla 1.3: Probabilidad acumulada de la distribución normal estándar.

<i>z</i>	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

Source: Grant, E. L., and R. S. Leavenworth, *Statistical Quality and Control*, Table A, p.643, McGraw-Hill, New York, 1972. Used with permission.

ANEXO 4.

Distribución Chi-cuadrado de Pearson

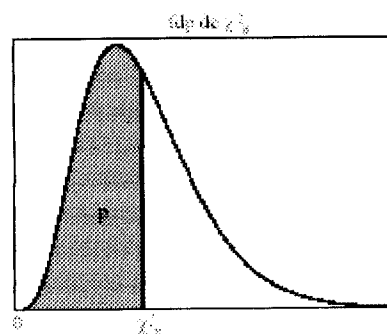
Tabla de la función de distribución:

$$P(\chi^2_n \leq \chi^2_p) = p$$

χ^2_p : valor tabulado

p: probabilidad acumulada

n: grados de libertad



n/p	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1	0.50	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.45	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	1.39	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.11	0.22	0.35	0.58	2.37	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84
4	0.21	0.30	0.48	0.71	1.06	3.36	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.31	0.55	0.83	1.15	1.61	4.35	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.24	1.64	2.20	5.35	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	6.35	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	7.34	13.36	15.51	17.53	20.09	21.96
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	8.34	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	9.34	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	10.34	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	11.34	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	12.34	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	13.34	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	14.34	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	15.34	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.59	8.67	10.09	16.34	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.86	17.34	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	18.34	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	19.34	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	20.34	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	21.34	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80
23	9.26	10.20	11.69	13.09	14.85	22.34	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	23.34	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	24.34	34.38	37.65	40.65	44.31	46.93
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	25.34	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	26.34	36.74	40.11	43.19	46.96	49.64
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	27.34	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	28.34	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	29.34	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	26.51	29.65	39.34	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
60	35.53	37.48	41.48	43.19	46.46	59.33	74.40	79.08	83.30	88.38	91.95
120	83.85	86.92	91.57	95.70	100.6	119.33	140.2	146.5	152.2	158.9	163.6

