

UNIVERSIDAD DE TALCA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

**Análisis de las escorrentías mensuales y anuales de la cuenca del Lontué y
la potencial influencia glaciár en la producción de agua.**

CAROLINA M. MORALES CALDERÓN

Memoria para optar al título de:
INGENIERO FORESTAL

Profesor Guía: Dr. Ing. ROBERTO PIZARRO TAPIA

TALCA - CHILE

2005

RESUMEN

En la presente memoria se pretende inferir en la tendencia del comportamiento de las variables precipitación y caudal en las últimas 3 décadas para la cuenca del río Lontué, cuenca que se emplaza en la región del Maule, Chile.

Para ello se consideraron 4 estaciones pluviométricas las cuales entregaron registros de precipitación mensual y anual (mm) donde, luego de completar los datos faltantes en cada estación, se estimaron las precipitaciones medias areales mediante el método de Polígonos de Thiessen. Por su parte, los caudales medios mensuales y anuales fueron extraídos de los registros de 2 estaciones fluviométricas. Cabe señalar que dichos registros fluviométricos y pluviométricos fueron facilitados por la Dirección General de Aguas, Región del Maule.

Luego, para el análisis del comportamiento de las variables en estudio y a partir de la información obtenida, se utilizaron diferentes herramientas, entre las cuales cabe señalar la función de distribución de probabilidad de Gumbel, cálculo de promedios móviles, modelos precipitación-escorrentía (Budyko, Turc-Pike, Pizarro) y el coeficiente PP/Q, el cual expresa la proporcionalidad existente entre la precipitación y el caudal.

Para la realización de este estudio se hizo necesario analizar por separado las dos subcuencas que conforman la cuenca del Lontué, estas son la del río Lontué (286 Km²) y la del río Colorado (899,9 Km²).

Así, fue posible determinar que en la cuenca del Lontué existe una tendencia a la disminución de las precipitaciones y que los caudales se mantengan estables en el tiempo, por lo que se podría inferir que tales caudales son influenciados por el derretimiento glaciar.

ÍNDICE

Páginas

1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
3.- ANTECEDENTES GENERALES	4
3.1.- Antecedentes generales de la Región del Maule	4
4.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	8
4.1.- Retroceso Glaciar.....	8
4.1.1.- Calentamiento climático	10
4.2.- Relación precipitación- escorrentía	11
4.3.- Modelos precipitación-escorrentía usados en Chile	12
4.3.1.- Modelo de Grunsky	12
4.3.2.- Modelo de Peñuelas.....	13
4.3.3.- Modelo de Coutagne.....	14
4.4.- Modelos precipitación-escorrentía propuestos en esta memoria	15
4.4.1.- Modelo de Budyko	15
4.4.2.- Modelo de Turc – Pike	15
4.4.3.- Modelo de Pizarro.....	16
4.5.- Análisis estadístico de las variables hidrológicas en estudio.....	17
4.5.1.- Pruebas de Bondad de Ajuste	19
4.5.1.1.- Kolmogorov – Smirnov	19

4.5.1.2.- Coeficiente de Determinación R^2	20
5.- METODOLOGÍA	21
5.1.- Revisión Bibliográfica	21
5.2.- Captura de Datos.....	21
5.3.- Completación de datos faltantes	22
5.4.- Estimación de Precipitaciones Areales Medias	23
5.5.- Ajuste de los modelos precipitación-escorrentía (Budyko, Turc-Pike y Pizarro) .	24
5.6.- Ajuste de la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel, para las precipitaciones y caudales a nivel mensual y anual.	25
5.6.1.- Medidas de Bondad de Ajuste	27
5.7.- Análisis del comportamiento de las precipitaciones y caudales.	28
5.8.- Presentación de resultados	28
5.9.- Análisis y discusión de resultados. Obtención de conclusiones y recomendaciones	29
6.- RESULTADOS	30
6.1.- Completación de datos faltantes	30
6.1.1.- Completación de caudales mensuales.....	30
6.1.2.- Completación de precipitaciones mensuales	33
6.2.- Estimación de Precipitaciones Medias Areales	37
6.2.1.- Método de los Polígonos de Thiessen	37
6.2.- Estimación parámetro K para los modelos precipitación-escorrentía.	40
6.3.- Ajuste de los modelos precipitación-escorrentía (Budyko, Turc-Pike y Pizarro) .	41
6.4.- Ajuste de la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel, para las precipitaciones y caudales a nivel mensual y anual.	42
6.4.1.- Ajuste de Gumbel para las precipitaciones.....	42
6.4.2.- Ajuste de Gumbel para los caudales.	45

6.4.3- Calidad de ajuste para la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel.....	47
6.5.- Análisis del comportamiento de las precipitaciones y caudales.	51
6.5.1.- Variación temporal de las precipitaciones y caudales.	51
6.5.2.- Comportamiento de las precipitaciones en función de los caudales.....	53
7.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	54
7.1.- Completación de datos faltantes.	54
7.2.- Estimación de Precipitaciones medias areales por Polígonos de Thiessen.	54
7.3.- Ajuste de los modelos precipitación-escorrentía (Budyko, Turc-Pike y Pizarro). .	55
7.4.- Ajuste de la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel a las variables precipitación y caudal.	56
7.4.1.- Cuenca del Lontué	56
7.4.2.- Cuenca del Colorado.....	56
7.5.- Análisis de las tendencias de las precipitaciones y caudales, a través de Promedios Móviles.....	57
7.4.- Análisis del comportamiento de las precipitaciones y de los caudales.....	57
8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
8.1.- Conclusiones.....	60
8.2.- Recomendaciones	61
9.- BIBLIOGRAFÍA	63

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1. Caudales mensuales Estación Palos en junta con Colorado (m ³)	31
Tabla 2. Caudales mensuales Estación Colorado en junta con Palos (m ³)	32
Tabla 3. Precipitaciones mensuales y anuales de Estación Potrero Grande (mm).....	33
Tabla 4. Precipitaciones mensuales y anuales de Estación Monte Oscuro (mm).	34
Tabla 5. Precipitaciones mensuales y anuales de Estación El Radal Fundo (mm).	35
Tabla 6. Precipitaciones mensuales y anuales de Estación Las Trancas (mm).....	36
Tabla 7. Superficies abarcadas a través de Polígonos de Thiessen para la cuenca del Lontué.	37
Tabla 8. Superficies abarcadas a través de Polígonos de Thiessen para la cuenca del Colorado.....	37
Tabla 9. Precipitaciones Medias Areales para la cuenca del Lontué (mm).	38
Tabla 10. Precipitaciones Medias Areales para la cuenca del Colorado (mm).....	39
Tabla 11. Valores del parámetro K para la cuenca del Lontué y los diferentes períodos... 40	
Tabla 12. Valores del Parámetro K para la cuenca del Colorado y los diferentes períodos.	40
Tabla 13. Cuadro resumen para la cuenca del Lontué con los valores de R ² y EEE.	41
Tabla 14. Cuadro resumen para la cuenca del Colorado con los valores de R ² y EEE.....	41
Tabla 15. Tabla resumen de las precipitaciones para la Función de Gumbel para la cuenca del Lontué, por mes y período de retorno.	42
Tabla 16. Tabla resumen de las precipitaciones para la Función de Gumbel para la cuenca del Colorado, por mes y período de retorno.....	44
Tabla 17. Tabla resumen de los caudales para la Función de Gumbel para la cuenca del Lontué, por mes y período de retorno.	45

Tabla 18. Tabla resumen de los caudales para la Función de Gumbel para la cuenca del Colorado, por mes y período de retorno.....	46
Tabla 19. Coeficientes de Determinación (R^2) de las precipitaciones, para la cuenca del Lontué.	47
Tabla 20. Valores de Kolmogorov-Smirnov de las precipitaciones, para la cuenca del Lontué.	48
Tabla 21. Coeficientes de Determinación (R^2) de las precipitaciones, para la cuenca del Colorado.....	48
Tabla 22. Valores de Kolmogorov-Smirnov de las precipitaciones, para la cuenca del Colorado.....	49
Tabla 23. Coeficientes de Determinación (R^2) de los caudales, para la cuenca del Lontué.	49
Tabla 24. Valores de Kolmogorov-Smirnov de los caudales, para la cuenca del Lontué...	50
Tabla 25. Coeficientes de Determinación (R^2) de los caudales, para la cuenca del Colorado.....	50
Tabla 26. Valores de Kolmogorov - Smirnov de los caudales, para la cuenca del Colorado.....	50

ÌNDICE DE GRÁFICOS

	Páginas
Gráfico 1. Variación temporal de las precipitaciones y caudales para la cuenca del Lontué.	51
Gráfico 2. Variación temporal de las precipitaciones y caudales para la cuenca del Colorado.....	52
Gráfico 3. Gráfica coeficiente (P/Q) v/s tiempo (t), para la cuenca del Lontué.....	53
Gráfico 4. Gráfica coeficiente (P/Q) v/s tiempo (t), para la cuenca del Colorado.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Páginas

Figura 1. Mapa Ubicación Estaciones Pluviométricas	6
Figura 2. Mapa Ubicación Estaciones Fluviométricas	7

1.- INTRODUCCIÓN

Una de las grandes problemáticas medio ambientales es la escasez de los recursos naturales, principalmente el recurso de agua dulce, fuente vital para la sobrevivencia y desarrollo del ser humano. Es así que en el caso de Chile, las demandas de este recurso superan ampliamente la oferta disponible, principalmente desde la región Metropolitana hacia el norte del país, considerando esta situación como un importante problema hídrico.

El recurso agua se encuentra distribuido de diversas formas, donde el 97% del agua del planeta corresponde a los océanos, el 0,02% a lagos y ríos, el 0,58% a humedad del suelo, un 2,01% a iceberg y glaciares y un 0,001% se encuentra en la atmósfera. Del total de agua, tan solo un 2,6 % corresponde al recurso de agua dulce que sirve para el consumo humano (D.G.A., 1999). Debido a la distribución anterior el agua en forma de glaciación equivale a la mayor reserva de agua dulce existente en el mundo.

Según la Universidad de Chile (1999), la disponibilidad promedio del recurso agua en Chile en el año 1992 alcanzó los 5.475 m³/hab/año, mientras que desde Santiago hacia el norte, en general la disponibilidad es inferior a los 1.000 m³/hab/año.

De acuerdo a la Dirección General de Aguas (1999), Chile utiliza 15.000 l/hab/día, de los cuales 10.200 l/hab/día son de uso hidroeléctrico, 4.060 l/hab/día para uso agrícola, 310 l/hab/día en uso industrial, 220 l/hab/día de uso minero y tan sólo 210 l/hab/día son destinados a uso doméstico, volúmenes que son considerados los más altos a nivel de América Latina.

Actualmente las investigaciones científicas han demostrado un predominante interés en el comportamiento e influencia del retroceso glaciar a nivel mundial, puesto que se ha demostrado, en los últimos años, que la velocidad del derretimiento de los principales glaciares se ha incrementado significativamente. Asimismo se piensa que el retroceso glaciar está asociado directamente con el cambio climático, favoreciendo el aumento de los caudales en diferentes niveles, los cuales no han sido aprovechados adecuadamente por la falta de información (Rignot *et al*, 2003).

En este contexto, el presente estudio pretende establecer si el retroceso glaciar ha influido en las últimas décadas en los caudales, mediante el comportamiento de los cauces en la cuenca del río Lontué, ubicado en la Región del Maule de Chile. Esto se realizará a partir del análisis de dos variables hidrológicas, a saber, caudales y precipitaciones.

2.- OBJETIVOS

Objetivo general

- Establecer el nivel de influencia del retroceso glaciar en la producción de agua de la cuenca del Lontué, en las tres últimas décadas.

Objetivos específicos

- Caracterizar el comportamiento de los caudales promedio mensuales y sus probabilidades de excedencia.
- Determinar la variabilidad temporal de los valores paramétricos que rigen las relaciones precipitación-escorrentía de Budyko, Turc-Pike y Pizarro.

3.- ANTECEDENTES GENERALES

3.1.- Antecedentes generales de la Región del Maule

El área de evaluación a través de los modelos precipitación escorrentía propuestos en esta memoria, se encuentra ubicada en la VII Región del Maule, en la cuenca del río Mataquito.

De acuerdo al Censo 2002 (I.N.E., 2002), la Región del Maule posee una población que alcanza los 908.097 habitantes distribuidos en una superficie total de 30.496,1 Km². La Región del Maule se extiende entre los 34° 41´ y los 36° 33´ de latitud sur y desde los 70° 20´ de longitud oeste hasta el Océano Pacífico. Limita al norte con la Región del Libertador Bernardo O´Higgins, al sur con la Región del Bío – Bío. A su vez, la Región del Maule representa el 4 % del territorio nacional incluyendo el territorio Chileno Antártico (B.C.N., 2003).

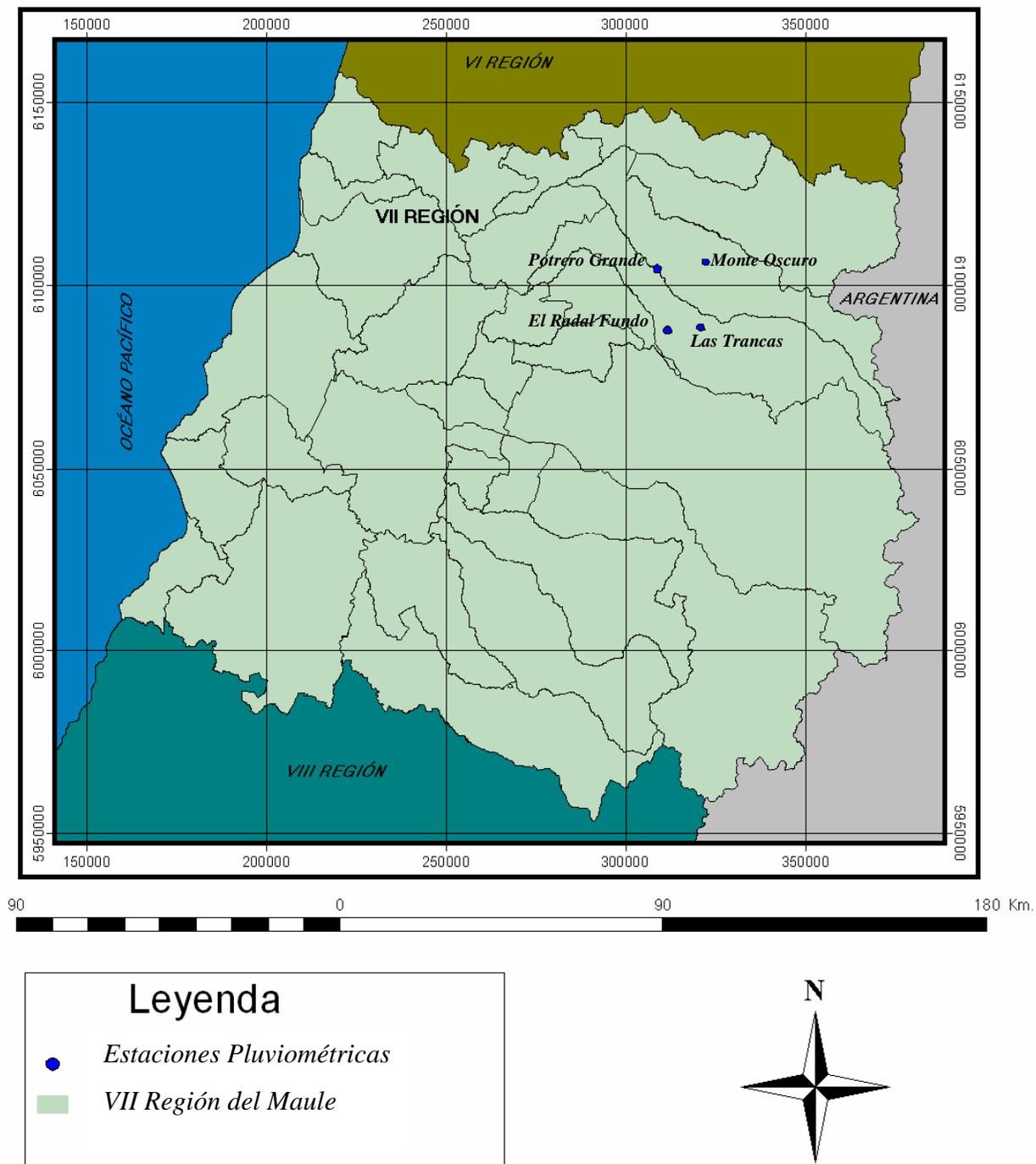
La cuenca del Mataquito se origina de la confluencia del río Teno, que drena la porción norte del área, y el río Lontué que drena la parte sur. La conjunción de dichas subcuencas, se produce a 12 Km al Oeste de Curicó.

El río Lontué posee una cuenca mayor que la del río Teno, con una hoya de 2.510 Km² y con un rumbo Noroeste a lo largo de todo su curso. Esta subcuenca del Mataquito, nace desde la Cordillera de los Andes, de la confluencia de los ríos Colorados y Patos de San Pedro a 48 Km al Sureste de su junta al Teno. El río Colorado se presenta como el principal afluente del Lontué, así como el río Patos de San Pedro no presenta una mayor importancia en las aportaciones, y corre de forma paralela al Colorado.

El Lontué es tributado con cierto grado de importancia por dos esteros, Upeo y Chequenlemillo, que fluyen hacia el Valle Central. El Lontué posee una longitud total de 126 Km (D.G.A., 2004).

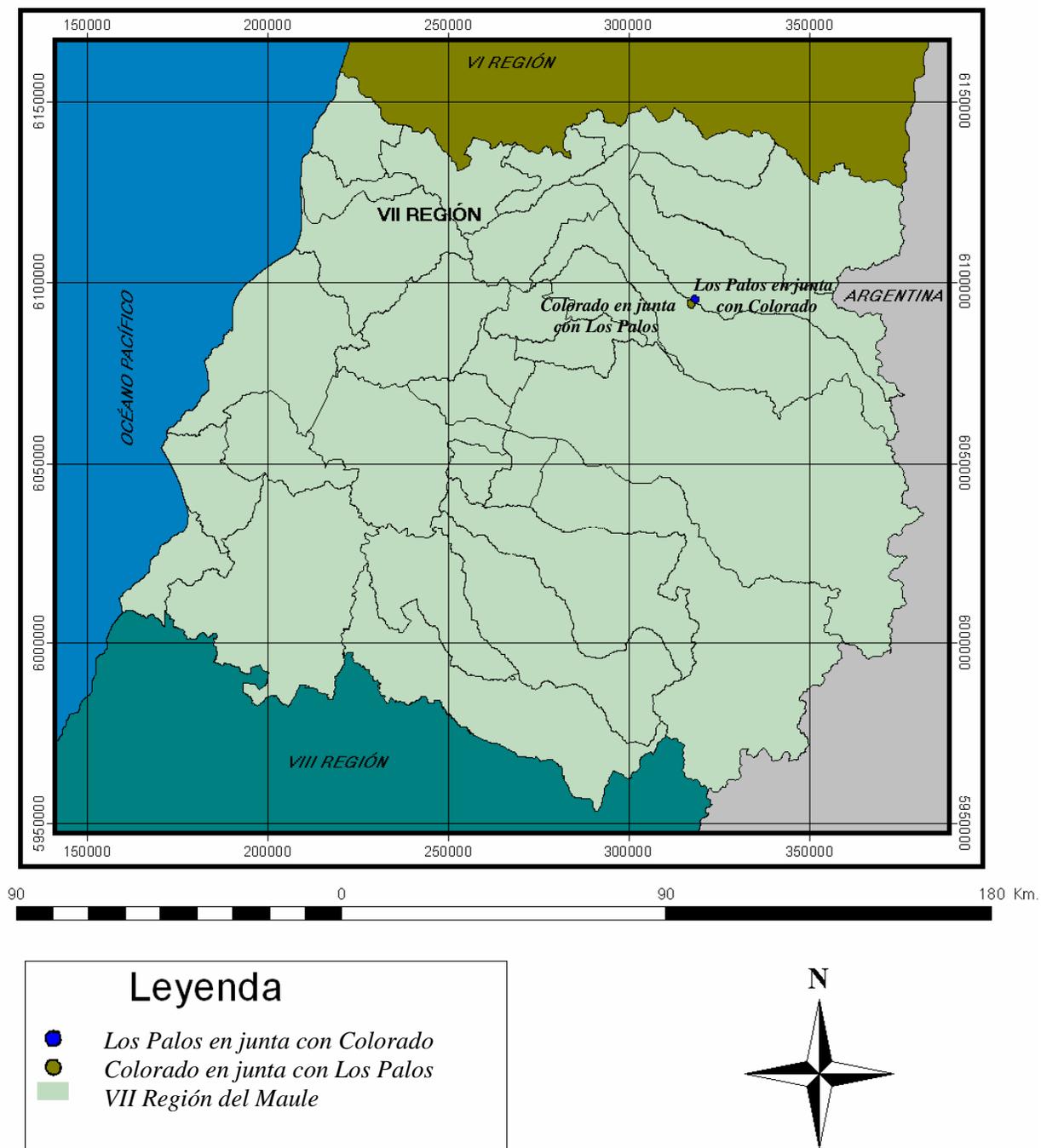
Las estaciones que se han necesitado para el presente estudio están a cargo de la Dirección General de Aguas, y estas corresponden a las estaciones pluviométricas Potrero Grande, Monte Oscuro, El Radal Fundo y Las Trancas. Las estaciones fluviométricas corresponden a Los Palos en junta con Colorado (Lontué) y Colorado en junta con los Palos (Colorado).

Figura 3. Mapa Ubicación Estaciones Pluviométricas



Fuente: Mena *et al* (2005), Laboratorio de SIG, Universidad de Talca, Ingeniería Forestal.

Figura 4. Mapa Ubicación Estaciones Fluviométricas



Fuente: Mena *et al* (2005), Laboratorio de SIG, Universidad de Talca, Ingeniería Forestal.

4.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1.- Retroceso Glaciar

De acuerdo a los científicos del Centro de Estudios Científicos de Valdivia (CECs), la disminución en los volúmenes de Campo de Hielo Sur, Chile, que se han observado, son alarmantes. Esto se pudo detectar a través de modelos digitales de terreno provenientes de Estados Unidos. Así y mediante una comparación con datos cartográficos anteriores, los científicos pudieron calcular la diferencia volumétrica que han presentado los 63 mayores glaciares de Campo Hielo Sur y Norte. Se puede mencionar como dato curioso, que entre los períodos 1968-2000 y 1975-2000, los glaciares han perdido $16,7 \text{ Km}^3$ por año, mientras las tasas de adelgazamiento en el espesor entre el período 1995-2000 se han duplicado (CECs, 2003).

En este mismo contexto, Ribstein y Francou (1991), reunieron datos hidrológicos y realizaron mediciones del balance de masa del glaciar de Zongo en la Cordillera Real de Bolivia. Observaron que los escurrimientos presentan una fuerte variabilidad estacional, con valores importantes durante las estaciones de lluvia y valores muy bajos en julio y agosto. Estos resultados se deben a que la estación de lluvias es también la estación más cálida y presenta valores más altos de radiación solar. Mientras tanto, la comparación de los balances hidrológicos y glaciológicos muestra que la sublimación es débil, comparada con el derretimiento en el valor de la ablación total.

Dichos autores lograron obtener una serie de 20 años de escurrimiento del glaciar a partir de 1973. En esta serie de datos observaron que los escurrimientos más fuertes son la consecuencia de los eventos asociados a la corriente del niño de los años 1982, 1987 y 1991. Por otra parte, lograron concluir que existe una simultaneidad en el período de acumulación y el período de ablación, mientras que la sublimación parece ser poco importante en relación al derretimiento de la nieve y del hielo.

Desde fines del año 2002, el CECs junto con la NASA de Estados Unidos y la Armada de Chile, efectuaron un proyecto de exploración a las áreas de los glaciares del Mar de Amundsen y de la Península Antártica. Estas áreas son de gran importancia, porque los glaciares del Mar de Amundsen son los más rápidos de la Antártica, y son los que mayor cantidad de hielo drenan en esta zona (CECs, 2003). Este estudio ha permitido obtener información base de parámetros clave para determinar los cambios que se produzcan en el futuro, en especial en la Antártica, donde existe evidencia clara de la desintegración de algunas plataformas flotantes y la rapidez con que esto se produce en algunos glaciares interiores, así como también, se pretende determinar el nivel de estabilidad de algunos glaciares.

Bown (2004), trata de plantear la variación glaciaria y su relación con el cambio climático. Así, con el fin de estimar la tendencia de las precipitaciones y temperaturas, analizó datos de la atmósfera superficial y superior, de la Región de Los Lagos. Estos datos son obtenidos de estaciones meteorológicas pertenecientes a la Dirección Meteorológica de Chile (D.M.C.). Luego, y a partir de esta investigación, la autora pudo concluir que durante la segunda mitad del último siglo, en la Región las temperaturas y las precipitaciones experimentaron un aumento y reducción, respectivamente. A su vez, determinó que las precipitaciones fueron afectadas de forma negativa por el fenómeno del Niño-Oscilación del Sur, además de que plantea la existencia de una tendencia hacia el calentamiento troposférico, derivado del incremento del efecto invernadero.

Es así, que concluye que los cambios climáticos constituyen el principal factor de las fluctuaciones presentadas por los glaciares en este estudio, donde la disminución de las precipitaciones y el calentamiento troposférico se relacionan con el adelgazamiento de los hielos y su retroceso frontal; esto último afecta a los glaciares de forma negativa, por el balance de masa. Por lo tanto, con las altas tasas de adelgazamiento que presentan los glaciares en las últimas décadas, más la baja tendencia al enfriamiento, es posible intuir que

en el futuro el retroceso de los glaciares aumentará debido al incremento de las temperaturas superficiales.

4.1.1.- Calentamiento climático

Rivera, citado por Bown (2004), también señala que el aumento en las temperaturas y la disminución de las precipitaciones en el último siglo, tendrían un papel importante en el retroceso frontal y adelgazamiento de los glaciares chilenos.

Según Ellsaesser (1984), el aumento en las temperaturas oceánicas sería uno de los factores relevantes en el calentamiento climático global, y donde el efecto invernadero no sería el responsable exclusivo de este calentamiento, ya que en los últimos años las más altas tasas de calentamiento, parecen estar relacionadas con los cambios experimentados en el Océano Pacífico.

Rosenbluth (1997), plantea que en el último siglo las temperaturas medias superficiales se han duplicado, y que las temperaturas mínimas han tenido mayor influencia en el calentamiento atmosférico, que las temperaturas máximas.

Sin embargo, pese a la tendencia del enfriamiento atmosférico, algunos glaciares han experimentado retroceso frontal durante las últimas décadas, producto de los cambios en las temperaturas superficiales. Pese a esto, se tiene muy poca información sobre los cambios atmosféricos superiores y cómo éstos influyen en los glaciares (Rivera, 2000).

Al igual que Rivera, Casassa (1995) señala que los estudios se han concentrado en la Patagonia y en el centro del país; esto debido a la relación que presentarían las variaciones frontales de los glaciares con el calentamiento atmosférico en el siglo XX.

4.2.- Relación precipitación- escorrentía

Black (1991) plantea que los modelos en hidrología pueden estructurarse en modelos físicos, determinísticos y estocásticos, aunque ninguno de ellos constituyen una panacea, pero que a su vez cumplen un rol de unidad en los esquemas de gestión de recursos hídricos.

Según Monsalve (1999), la escorrentía superficial es el fenómeno más importante desde el punto de vista de ingeniería, y consiste en la ocurrencia y el transporte de agua en la superficie terrestre. Este fenómeno comprende el exceso de la precipitación que ocurre después de una lluvia intensa y se mueve libremente por la superficie del terreno, y la escorrentía de una corriente de agua, que puede ser alimentada tanto por el exceso de precipitación como por las aguas subterráneas.

Aparicio (2003), menciona cinco parámetros que intervienen en el proceso de conversión de lluvia en escurrimiento: El área de la cuenca, la altura total de precipitación, las características generales o promedio de la cuenca (forma, pendiente, vegetación), la distribución de la lluvia en el tiempo y por último la distribución espacial de la lluvia y de las características de la cuenca.

En cuanto a los modelos propuestos por este estudio, Pizarro y Torres (1998) citados por Sandoval (2000), indican que tanto el modelo de Budyko como el modelo Turc-Pike que representan la precipitación como la suma de las escorrentías y las pérdidas por evapotranspiración potencial, han presentado buenos resultados en Europa a nivel interanual, mientras que el modelo Pizarro establece la variación de la escorrentía respecto a la precipitación caída, más las reservas de agua almacenadas previamente en la cuenca.

Por otra parte, Pizarro (1996) citando a Wilson (1990), plantea que mientras hay una relación general causa-efecto entre las precipitaciones y las escorrentías, esta relación no será directa debido a que no se consideran de forma adecuada algunas variables como la evaporación, la intercepción o el almacenamiento de agua. Además, estas relaciones son aplicadas a cuencas de diversos tamaños, climas y topografías, por lo que se deben incluir valores extremos que definan una correlación racional, a lo menos en períodos cortos.

4.3.- Modelos precipitación-escorrentía usados en Chile

En general, en Chile, los modelos precipitación-escorrentía son de uso frecuente, debido a que es posible obtener datos pluviométricos de cada cuenca o zona de estudio, puesto que el fin de estos modelos es poder estimar datos cuando no existen estaciones.

Según Tobar (2000), los modelos precipitación-escorrentía más usados en Chile son Grunsky, Peñuelas y Coutagne. Estos modelos son, además considerados dentro de la ley de riego N° 18.450.

4.3.1.- Modelo de Grunsky

El modelo de Grunsky es propuesto a principios de siglo por un hidrólogo norteamericano del mismo nombre. Gracias a la transpiración y la evaporación, este modelo expresa pérdida. Además, las escorrentías pueden estimarse a través de las siguientes expresiones matemáticas.

$$Q = (0.4 * P^2) * S / 31536000 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{para } P \leq 1,25 \text{ metros}$$

$$Q = (P - E_{\text{máximo}}) * S / 31536000 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{para } P > 1,25 \text{ metros}$$

donde;

Q = Escorrentía media anual sobre la cuenca expresada en m³/s.

P = Precipitación sobre la cuenca, expresada en metros.

S = Superficie para la cuenca, expresada en m².

E = Pérdida por transpiración y evaporación.

Se considera que para precipitaciones por sobre 1,25 metros, éstas escurren de forma total, de tal manera que para una precipitación mayor a 1,25 metros anuales, se asume que la pérdida máxima es de 625 m.

4.3.2.- Modelo de Peñuelas

El modelo Peñuelas fue establecido por Quintana, alrededor de 1930, para la zona central de Chile. Tiene una estructura muy similar al del método de Grunsky, donde intenta representar las escorrentías de las zonas áridas y semi-áridas, especialmente las escorrentías de las cuencas costeras.

Este modelo se basa en mediciones hechas en el Lago Peñuelas (Valparaíso), y las escorrentías se pueden estimar de la siguiente forma:

$$Q = (0.5 * P^2) * S / 31536000 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{para } P \leq 1,00 \text{ metros}$$

$$Q = (P - E_{\text{máximo}}) * S / 31536000 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{para } P > 1,00 \text{ metros}$$

$$E_{\text{máximo}} = 0,5 \text{ metros}$$

donde;

Q = Escorrentía media anual sobre la cuenca expresada en m³/s.

P = Precipitación sobre la cuenca, expresada en metros.

S = Superficie de la cuenca expresada en m².

E = Pérdidas por transpiración y evaporación.

4.3.3.- Modelo de Coutagne

Coutagne desarrolló este método para una zona relativamente plana de Francia, con precipitaciones acotadas entre los 300 y 1800 mm. Sin embargo, López (1998) asegura que este modelo presenta buenos resultados para precipitaciones entre 1000 y 1300 mm.

Este modelo expresa el déficit de escurrimiento en metros. Este déficit se establece a partir de la altura media anual de la precipitaciones y la temperatura anual (Remenieras, 1971).

La ecuación que define el déficit de escorrentía se expresa de la siguiente forma:

$$Q = (P - E) * S / 31536000$$

donde;

Q = Escorrentía media anual sobre la cuenca expresada en m³/s.

P = Precipitación sobre la cuenca, expresada en metros.

S = Superficie de la cuenca, expresada en m².

E = Pérdida por transpiración y evaporación.

4.4.- Modelos precipitación-escorrentía propuestos en esta memoria

4.4.1.- Modelo de Budyko

Pizarro (1996) señala que Budyko en el año 1948, propone un modelo basado en Schreiber (1904), explicando que al tener una expresión para la evapotranspiración, es posible utilizar la ecuación reducida del balance hídrico ($Q = P - E$), donde la escorrentía es igual a la precipitación caída menos las pérdidas.

Este modelo es de base física y evita que las escorrentías superen en algún momento a las precipitaciones; asimismo, tampoco se verifican valores negativos en dichas escorrentías.

La expresión matemática del modelo que propone Budyko, es la siguiente:

$$Q = P * e^{(-ETP / P)}$$

4.4.2.- Modelo de Turc – Pike

Pizarro (1996), señala que este modelo propuesto por Pike es una derivación del modelo de Turc para la estimación de la evapotranspiración. Este modelo también es de base física, utilizando al igual que el modelo de Budyko la ecuación reducida del balance hídrico. Pike en este modelo cambia el parámetro L de la ecuación original de Turc, por el valor de la evapotranspiración potencial (ETP); para evitar que la expresión final obtenga resultados negativos, Pike no utiliza el valor 0.9 de la ecuación original, sino el valor 1.

Al igual que el modelo de Budyko, este modelo incorpora la ETP sólo en términos interanuales; a nivel anual, es reemplazada por el parámetro k a ser estimado.

El modelo Turc – Pike esta representado matemáticamente por la siguiente expresión:

$$Q = P - \left[P / (1 + (P / ETP)^2)^{0.5} \right]$$

4.4.3.- Modelo de Pizarro

Pizarro en el año 1996, propone que la variación de la escorrentía con respecto a la precipitación caída no es sólo función de dicha precipitación, sino que la escorrentía posee un incremento producto de aguas provenientes del almacenaje en la cuenca. Sumado a esto, Pizarro señala que si el análisis se realizara a partir de una ecuación diferencial, no sería posible utilizar la ecuación reducida del balance hídrico.

De igual forma, que los anteriores, este modelo se asegura que las escorrentías no superen a las precipitaciones y que dichas escorrentías nunca presenten valores negativos. Es decir, corresponde a un modelo de base física. Además, debe ser ajustado el parámetro k del modelo.

El modelo de Pizarro presenta la siguiente expresión matemática:

$$Q = P \left[1 - e^{(-P / ETP)} \right]$$

4.5.- Análisis estadístico de las variables hidrológicas en estudio.

Según Fernández (1995), la variabilidad de las precipitaciones es un factor de alto riesgo debido a la aparición de valores extremos en determinadas zonas y épocas del año. Por tanto, conocer la probabilidad de que se produzcan determinados valores que puedan traducirse en inundaciones y avenidas, se hace de vital importancia, así como determinar el uso de un método de análisis probabilístico, como puede ser el método de Gumbel.

La distribución de frecuencias de valores máximos de un evento meteorológico, depende principalmente de su naturaleza. La distribución de Gumbel ha sido empleada con buenos resultados para el estudio de frecuencias de valores extremos de las variables meteorológicas, de tal manera que aplicándose los valores máximos diarios de series anuales de lluvias, se han logrado ajustes muy precisos para los mismos (Mintegui y Robredo, 1993).

A su vez Pizarro (1996), señala que la ley de distribución de Gumbel ha demostrado poseer una adecuada capacidad de ajuste, a valores máximos de precipitación y caudal. La expresión algebraica de la función de Gumbel se describe de la siguiente forma:

$$F(X) = P[\varepsilon \leq X] = e^{-e^{-d(x-\mu)}} \quad , \text{ con } -\infty \leq x \leq \infty$$

donde;

- x = representa la variable aleatoria
- d, μ = parámetros a estimar
- e = base de los logaritmos neperianos

Para la determinación de los parámetros d y μ , se utilizan las siguientes expresiones:

$$\mu = \bar{x} - 0,450047 \cdot S \quad \text{y} \quad d = \frac{1}{0,779696 \cdot S}$$

donde;

- \bar{x} = Media aritmética de la serie de los datos considerados
- S = Desviación típica de la muestra de los datos considerados.

Según Pizarro (1996), estos valores son validos para un número de cincuenta datos, sin embargo Heras (1985), asegura que estos valores son admisibles para cualquier tamaño de la población debido a la menor importancia que poseen.

Sin embargo, para determinar la probabilidad implícita es necesario consignar dos conceptos; Período de retorno y la Probabilidad de excedencia.

- Período de retorno, se considera al tiempo que transcurre entre dos sucesos iguales. Sea ese tiempo, T .
- Probabilidad de excedencia, es aquella probabilidad que se asocia al período de retorno, es decir, P es la probabilidad que la variable aleatoria tome un valor mayor a un cierto número X , dada por la función de distribución de probabilidad $F(X)$.

Por lo tanto;

$$P(x) = \frac{1}{T}$$

Como una forma de probar la calidad de ajuste presentado por Gumbel, se aplican las pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov y Coeficiente de Determinación R^2 , propuestas por Pizarro (1996).

4.5.1.- Pruebas de Bondad de Ajuste

4.5.1.1.- Kolmogorov – Smirnov

De acuerdo a Canavos (1995), esta prueba de bondad de ajuste es apropiada cuando $F_n(X)$ es continua, es factible para muestras pequeñas y no requiere de datos agrupados.

Kolmogorov – Smirnov, se caracteriza por comparar la desviación de la frecuencia observada acumulada $F_n(X)_i$ con relación a la frecuencia teórica acumulada $F(X)_i$, de tal manera de obtener el supremo de las diferencias D_c entre ambas frecuencias, ubicado en la n -ésima posición, calculándose de la siguiente forma:

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

Luego, utilizando un 95 % de confianza, se procede a comparar los valores obtenidos para D_c , con los valores obtenidos en la tabla de valores críticos de D_t , del test de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov. De acuerdo a lo anterior, se establece lo siguiente:

Ho: $D_c < D_t$ (el ajuste es adecuado)

Ha: $D_c > D_t$ (El ajuste no es adecuado)

4.5.1.2.- Coeficiente de Determinación R^2

Pizarro (1996), indica que el Coeficiente de Determinación R^2 indica qué proporción de la variación total de los datos, es representada por el modelo. Este Coeficiente está definido matemáticamente por la siguiente expresión:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Fn(X)_i - F(X)_i)^2}{\sum (Fn(X)_i - \overline{Fn(X)})^2}$$

donde:

$Fn(X)_i$ = Frecuencia observada acumulada.

$F(X)_i$ = Frecuencia teórica acumulada.

$\overline{Fn(X)}$ = Media de las frecuencias observadas acumuladas.

5.- METODOLOGÍA

5.1.- Revisión Bibliográfica

En esta etapa se recopiló toda la información específica referida a la influencia glaciaria en la producción de escorrentía, así como los diferentes métodos de análisis para variables hidrológicas, como es el caso de caudales y precipitaciones. Para ello, se utilizó diversos libros y revistas especializadas como *Journal of Hydrology* o *Ingeniería Hidráulica en México*, e información disponible en internet.

5.2.- Captura de Datos

Los datos requeridos de precipitación y escorrentía se obtuvieron tanto de estaciones pluviométricas como fluviométricas, ubicadas en la cuenca del río Lontué, pertenecientes a la Dirección General de Aguas (D.G.A.), VII Región.

Estos datos corresponden a los valores medios mensuales y anuales de caudales y precipitaciones, registrados de forma periódica por las estaciones Pluviométricas y Fluviométricas en los últimos 30 años.

Los datos mensuales y anuales de precipitación, fueron obtenidos en su totalidad por las siguientes estaciones: Potrero Grande, Monte Oscuro y Radal El Fundo. A su vez, los datos de caudales mensuales y anuales, se obtuvieron de las estaciones: Palos en Junta con el Colorado (Lontué) y Colorado en Junta con Palos (Colorado). Todas estas estaciones pertenecen a la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

5.3.- Completación de datos faltantes

La información proporcionada por la Dirección General de Aguas (D.G.A.), normalmente presenta inconvenientes como la falta de actualización de sus registros mensuales, tanto para caudales como precipitaciones. Es por esto, que la completación de los datos faltantes se realizó a través de los métodos propuestos por UNESCO para el balance Hídrico de América del Sur (1982).

Los métodos utilizados para la completación de datos faltantes para este estudio corresponden a Regresiones Lineales y Promedios Históricos. Sin embargo, hay que mencionar que de igual forma, en este estudio y para la completación de información, se probaron regresiones múltiples con resultados no satisfactorios. El método de Regresión Múltiple es descrito por Ausensi (2005), como el mejor método para la completación de datos faltantes en la Región del Maule, y en estaciones similares.

Las regresiones lineales se utilizaron cuando faltaban datos en las Estaciones de Monte Oscuro, El Radal Fundo y Las Trancas. En estas regresiones se necesitó siempre la participación de la estación Potero Grande, como variable independiente, ya que esta estación es la que presenta mayor cantidad de información; las otras estaciones ya mencionadas con anterioridad, representaron la variable dependiente en cada una de las regresiones, respectivamente.

Para las regresiones lineales de los caudales fue necesario agrupar los datos bajo dos criterios. En primer lugar se consideraron dos periodos, en donde el periodo uno comprende los años 1967 al 1987 y el periodo dos los años 1987 al 2004, luego en cada periodo, los datos se reagruparon en meses húmedos y meses secos. A partir de esto, en la completación de los datos de caudal se generaron 4 regresiones lineales.

Para el periodo uno (1967 a 1987) se describe una regresión lineal asociada a los meses húmedos - marzo a octubre - y otra para los meses secos - noviembre octubre -. A su vez para el periodo dos (1987 a 2004) se generó una regresión lineal para los meses húmedos –enero a octubre – y otra para los meses secos, los cuales se limitan a noviembre y diciembre.

El por qué de estas clasificaciones diferenciadas en torno a los meses, radica en que se tiene como objetivo obtener regresiones con bajos valores en los errores de estimación (EEE).

En el caso de las precipitaciones no se hizo necesario el dividir ni separar la información en series, ya que aquí no existe gran variabilidad como en los caudales. Así mismo, se utilizaron los datos de la estación Potrero Grande para obtener los datos de las demás estaciones, derivado de que esta estación es la mas completa de la zona.

El método de Promedio Histórico fue requerido para los casos donde no se disponía de información de ninguna de las estaciones consideradas en este estudio.

5.4.- Estimación de Precipitaciones Areales Medias

Una vez completados los datos faltantes de las estaciones Monte Oscuro y Radal El Fundo, se hace necesario definir la superficie de influencia de cada estación pluviométrica, el cual se realizó a través del método de los Polígonos de Thiessen, método que intenta ponderar de forma representativa las precipitaciones en función de la superficie.

Los Polígonos de Thiessen fueron utilizados para la estimación de las precipitaciones medias areales, ya que las precipitaciones medias son necesarias al momento de realizar cualquier análisis y cálculo. Hay que mencionar que este modelo que asigna una

ponderación de representatividad en función de la superficie, fue validado para la Región del Maule por Ramírez (1998).

5.5.- Ajuste de los modelos precipitación-escorrentía (Budyko, Turc-Pike y Pizarro)

A partir de la obtención de las series de datos de precipitaciones medias areales y sus aportaciones específicas, se realizó el ajuste a nivel mensual y anual de los modelos propuestos por esta memoria, Budyko, Turc-Pike y Pizarro, con el Software Estadístico Statgraphics, el cual permite realizar análisis de regresiones de tipo no paramétrico.

Con el fin de observar las tendencias experimentadas por los datos en función del tiempo y analizar la variación paramétrica, el ajuste de estas funciones se realizó a partir de 3 series de años. Luego, los datos utilizados en ambos casos (caudal y precipitación) se presentan en la misma unidad (mm), y los períodos se definieron del año 1971, ya que desde este año se cuenta con información de precipitaciones.

Por lo tanto, las series o períodos determinados para las precipitaciones y caudales se describen de la siguiente manera:

Período 1 : 1971 – 1984

Período 2 : 1971 – 1994

Período 3 : 1971 – 2004

Hay que mencionar que en los períodos anteriores fue necesario eliminar el año 1986 para ambos análisis (caudal y Precipitación), por no contar con este dato en caudales.

Las expresiones matemáticas asociadas a los modelos propuestos son los siguientes:

$$Q = P * e^{(-K/P)};$$
$$Q = P - \left[P / (1 + (P/K)^2)^{0.5} \right];$$
$$Q = P \left[1 - e^{(-P/K)} \right]$$

las cuales corresponden a los modelos Budyko, Turc-Pike y Pizarro respectivamente y en donde:

- Q = Escorrentía media anual sobre la cuenca expresada en m³/s.
- P = Precipitación sobre la cuenca, expresada en metros.
- K = Parámetro a estimar por mínimos cuadrados.

5.6.- Ajuste de la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel, para las precipitaciones y caudales a nivel mensual y anual.

Los datos de precipitación y caudal, fueron ajustados a la función de distribución de probabilidad de valor extremo, Gumbel, que de acuerdo a la literatura especializada es recomendada por su buena calidad de ajuste.

Repitiendo la metodología del punto anterior, el ajuste de la función de Gumbel se realizó a tres períodos o series de tiempo diferentes en el caso de las precipitaciones y caudales. Además, estos valores se asociaron a tres períodos de retorno, manifestando así el comportamiento de los datos en el tiempo. Los períodos de retorno que se asocian a las series son 50, 75 y 100 años, representando estos, los años en que se espera que la variable aleatoria tome un valor mayor a un cierto número.

Por lo tanto, el ajuste de la función se realizó a nivel mensual y anual, por período. En el caso de las precipitaciones el ajuste se hizo para todos los meses y, para los caudales, sólo los meses de deshielo considerados en esta memoria, es decir, para los meses de Septiembre a Enero, así como para los datos anuales. Lo anterior con el propósito de observar la tendencia de las precipitaciones y caudales en los últimos años en la cuenca del río Lontué.

Al igual que en el caso de los modelos precipitación-escorrentía, estos períodos representan el mínimo estadístico para el ajuste a este tipo de modelos, y expresan el comportamiento que van teniendo cada 10 años.

Los períodos definidos para las precipitaciones son;

Período 1: 1971 – 1984

Período 2: 1971 – 1994

Período 3: 1971 – 2004

Ahora, los períodos para los caudales se determinaron de la siguiente manera:

Período 1: 1967 – 1984

Período 2: 1967 – 1994

Período 3: 1967 – 2004

Como se describió anteriormente, los períodos de caudal se consideran del año 1967, año donde se empieza a contar con este tipo de información, al contrario de las precipitaciones, que se cuenta con información a partir del año 1971. Sin embargo, se hizo coincidir con los años de término en los períodos.

Luego, según Chow (1998), la expresión asociada a la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel, corresponde a :

$$F(X) = P[\varepsilon \leq X] = e^{-e^{-d(x-\mu)}} \quad \text{con; } -\infty \leq X \leq \infty$$

X = Valor a asumir por la variable aleatoria.

σ, μ = Parámetros a estimar en función de los valores de la muestra.

Para la determinación de los parámetros σ y μ se utilizan las siguientes expresiones.

$$\mu = \bar{X} - 0,450047 * S \quad \text{y} \quad \sigma = \frac{1}{(0,779696 * S)}$$

en donde, S corresponde a la desviación estándar de la muestra y \bar{X} a la media de la muestra.

5.6.1.- Medidas de Bondad de Ajuste

Las medidas de bondad de ajuste contempladas para el análisis estadístico de los modelos precipitación-escorrentía propuestos, son el Coeficiente de Determinación R^2 y el Test de Kolmogorov-Smirnov, establecidos para marcos no paramétricos.

Para la determinación del R^2 es necesario el cálculo de las frecuencias observadas y calculadas. Luego, para la obtención de los valores de Kolmogorov-Smirnov se requiere el cálculo del valor D de tabla y el estadístico D calculado.

5.7.- Análisis del comportamiento de las precipitaciones y caudales.

Debido a la falta de ajuste en los modelos precipitación-escorrentía propuestos por esta memoria, se hizo necesario incorporar otras metodologías para observar el comportamiento de las variables en estudio. Es por ello, que se utilizó el análisis de la variación de las precipitaciones y caudales en función del tiempo, así como inferir su tendencia a través de promedios móviles, y por medio del análisis del coeficiente determinado PP/Q. Este último, se crea con el fin de determinar cómo las precipitaciones en función de los caudales se comportan a lo largo del tiempo.

Para la variación temporal, los datos, y al igual que en las metodologías anteriores, se agruparon en tres períodos o series de tiempo, ya que se pretende observar el comportamiento de éstos en el tiempo. Los períodos, al igual que en el caso de los modelos precipitación- escorrentía para las precipitaciones y caudales, son los siguientes: Período 1 desde el año 1971 al 1984, para el Período 2 del año 1971 al año 1994, y el Período 3 para los años 1971 al 2004.

Para observar las tendencias de las variables en estudio a través de los promedios móviles, se utilizaron todos los datos con que se contaba, es decir, de la misma manera que en el caso anterior se agruparon en períodos. Sin embargo, y como ya se señaló, para las precipitaciones el año de inicio fue 1971, y en el caso de los caudales, el año 1967 (Apéndice 3).

5.8.- Presentación de resultados

En esta parte, los resultados obtenidos se presentan a través de tablas resúmenes y gráficos tanto para los modelos precipitación-escorrentía, como para la función de distribución y la variación temporal de los datos.

5.9.- Análisis y discusión de resultados. Obtención de conclusiones y recomendaciones.

En esta etapa se analizaron y discutieron los resultados que se obtuvieron de todas las actividades realizadas con los datos de precipitaciones y caudales, tendiendo a la obtención de conclusiones y recomendaciones como producto del trabajo realizado.

6.- RESULTADOS

6.1.- Completación de datos faltantes

La completación de datos se realizó tanto para los datos mensuales de caudales como para las precipitaciones.

6.1.1.- Completación de caudales mensuales

A continuación se presenta la completación de los datos faltantes de las estaciones fluviométricas de Colorado en junta con Palos y Palos en junta con Colorado. Estos datos fueron completados por los métodos de Regresión Lineal y Promedio Histórico, a través de series de tiempo, explicado con anterioridad en la parte metodológica.

Tabla 1. Caudales mensuales Estación Palos en junta con Colorado (m³)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
67/68	18,62	17,07	14,56	12,52	12,84	18,47	29,73	36,61	32,11	13,88	10,33	10,93	93,51
68/69	12,15	10,74	9,45	8,49	9,58	12,2	11,93	16,84	13,33	9,63	7,94	7,56	39,80
69/70	8,24	15,37	36,85	22,28	18,45	18,94	17,83	32,05	43,74	26,98	18,37	14,82	193,91
70/71	12,07	11,3	12,42	15,36	14,61	16,11	30,54	33,88	34,74	22,68	14,64	11,91	163,72
71/72	10,37	15,99	14,28	26,99	23,19	16,33	*21,73	*23,37	*42,10	*35,91	*27,05	*20,65	199,82
72/73	*16,29	*20,31	*15,39	27,5	56,93	33,9	33,47	37,27	80,9	66,48	45,84	30,94	351,49
73/74	20,78	30,16	18,69	23,9	17,54	*19,51	♦31,11	37,43	37,59	28,96	20,06	15,43	285,54
74/75	12,74	25,3	25,22	21,08	17,54	18,51	27,14	39,47	41,75	33,47	25,19	17,1	268,12
75/76	18,35	19,52	22,83	35,98	22,75	22,71	29,64	44,09	56,84	38,68	23,28	17,06	236,84
76/77	14,38	12,69	26,04	14,24	12,24	*20,05	24,17	36,76	36,57	24,79	16,41	*16,85	198,85
77/78	*14,72	*14,85	27,1	47,11	31,58	29,54	38,1	56,1	59,87	44,95	31,99	22,1	291,44
78/79	17,14	17,44	19,82	64,0	24,1	28,3	48,48	55,54	66,62	53,16	37,13	25,61	314,24
79/80	18,85	20,86	15,88	43,97	55,69	39,17	31,96	38,33	57,88	41,54	29,42	23,09	324,76
80/81	27,75	46,36	52,97	38,79	27,44	23,08	26,12	32,65	42,57	32,75	25,72	20,35	301,25
81/82	17,53	49,33	30,88	22,31	23,29	19,64	22,96	32,03	28,37	21,74	17,61	15,62	244,89
82/83	13,36	15,82	38,72	49,96	29,04	41,76	38,42	44,69	63,37	66,37	54,28	36,6	308,12
83/84	25,93	19,65	19,78	20,76	18,0	20,79	29,0	45,27	41,91	28,47	20,8	15,57	238,76
84/85	13,03	14,4	15,42	31,22	18,11	25,99	44,44	48,53	65,64	51,11	38,7	27,96	308,41
85/86	22,25	26,35	20,74	28,04	17,84	17,76	28,61	37,81	31,33	20,97	16,79	13,44	36,15
87/88	16,92	15,4	18,76	48,2	36,93	29,97	47,95	58,19	55,58	42,54	28,02	19,46	52,84
88/89	15,75	15,23	16,31	18,52	24,1	20,13	27,44	43,11	38,67	18,04	15,52	12,91	32,08
89/90	11,33	10,86	11,14	11,95	24,25	22,32	29,42	43,67	30,47	18,69	14,87	12,78	28,84
90/91	17,44	16,03	13,62	14,21	16,53	24,31	24,32	29,61	26,2	18,73	14,6	12,51	28,28
91/92	14,28	60,86	36,47	33,77	19,86	24,88	26,83	39,39	41,52	34,98	24,65	19,66	47,40
92/93	18,1	37,74	38,71	28,32	22,62	26,75	37,16	53,9	59,53	48,03	31,31	22,37	53,39
93/94	20,84	35,85	45,68	28,27	24,24	24,3	28,28	37,73	46,19	33,01	23,63	19,12	57,32
94/95	17,92	18,6	24,8	44,39	25,4	26,37	31,1	41,28	44,07	31,78	22,25	18,59	41,17
95/96	23,12	20,2	38,12	30,57	26	34,69	35,25	53,2	51,87	31,99	22,28	19,53	49,96
96/97	18,45	15,86	23,4	18,41	20,52	20,92	27,07	26,29	17,46	14,77	11,94	10,95	24,61
97/98	18,35	18,16	41,47	25,14	36,29	54,84	45,72	53,16	68,24	58,91	39,77	27,93	68,15
98/99	25,89	19,52	19,44	15,39	13,17	13,97	17,47	14,76	12,45	10,97	9,83	10,04	19,50
99/00	9,57	9,52	13,62	14,08	20,09	31,06	35,36	51,03	42,08	25,03	20,3	15,16	38,42
00/01	13,6	12,59	56,73	48,22	23,6	34,85	41,14	50,11	72,27	50,95	35,69	22,23	58,60
01/02	18,13	31,51	32,76	55,05	45,48	32,58	32,25	42,43	58,22	37,66	25,69	29,28	55,50
02/03	21,98	36,95	36,32	28,62	103,58	37,87	38,12	55,46	73,13	67,55	37,45	22,9	75,46
03/04	15,61	12,99	40,13	25,76	18,7	20,94	29,52	38,53	31,3	21,89	16,58	14,7	33,75

* Datos de caudal completados por regresión lineal

♦ Datos completados por Promedio Histórico

Tabla 2. Caudales mensuales Estación Colorado en junta con Palos (m³)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
67/68	19,1	18,63	16,36	15,29	16,43	21,32	50,36	75,22	79,73	34,29	24,64	15,41	32,23
68/69	12,73	11,84	10,79	10,79	11,1	13,22	15,78	25,48	16,52	15,31	12,91	11,23	13,98
69/70	10,83	19,46	29,88	33,41	28,71	28,42	27,7	66,28	97,53	78,4	22,21	16,39	38,27
70/71	12,55	13,01	15,71	21,04	20,18	23,45	57,8	67,17	60,51	27,14	17,84	13,76	29,18
71/72	11,35	17,61	15,33	34,57	31,9	27,2	50,58	84,93	62,84	35,4	22,08	18,87	34,39
72/73	15,37	53,25	94,6	41,37	109,46	48,55	55,54	76,93	139,95	128,94	77,1	43,25	73,69
73/74	25,33	40,43	23,69	36,45	25,82	27,47	♦50,49	92,02	83,33	48,93	29,97	*81,77	47,14
74/75	*44,55	16,34	24,33	19,13	22,81	27,33	50,49	79,59	84,37	67,17	34,1	20,22	40,87
75/76	21,15	24,03	26,96	41,62	26,39	28,66	42,17	77,36	106,06	38,07	29,52	20,46	40,20
76/77	16,34	14,54	19,23	18,5	16,72	23,4	43,04	77,18	72,56	38,81	22,32	17,36	31,67
77/78	13,78	22,88	37,54	58,66	37,75	47,15	67,06	105,43	127,48	85,99	48	27,89	56,63
78/79	17,68	18,57	24,69	65,19	29,83	38,11	71,37	100,92	137,1	110,85	54,73	32,01	58,42
79/80	23,91	28,28	21,97	48,49	72,71	54,86	48,53	71,58	114,03	94,1	49,45	29,88	54,82
80/81	51,61	72,91	61,99	50,01	31,87	28,12	39,78	65,5	100,31	54,14	33,75	22,41	51,03
81/82	18,79	70,07	42,97	27,5	30,7	25,06	38,76	67,79	56,03	32,39	21,21	16,73	37,33
82/83	13,32	20,97	58,25	69,07	40,09	62,04	59,99	74,7	*115,28	*45,99	76,63	51,08	57,28
83/84	28,71	22,35	23,12	27,49	29,7	28,13	51,3	92,18	78,82	39,76	24,68	17,81	38,67
84/85	13,35	16,31	19,74	43,19	26,58	40,07	73,59	86,37	135,52	113,17	58,8	35,25	55,16
85/86	25,77	34,43	29,36	41,14	22,5	24,67	48,45	78,7	57,14	29,64	23,91	18,06	36,15
87/88	17,37	17,07	24,87	66,11	47,25	37,17	72,12	110,73	108,92	69,31	39,66	23,51	52,84
88/89	17,59	15,87	17,14	21,48	30,87	25,17	43,31	88,18	60,34	28,26	20,75	15,94	32,08
89/90	11,4	10,87	11,17	13,05	32,54	29,91	48,17	82,87	47,16	24,8	19,65	14,48	28,84
90/91	21,88	21,2	15,03	15,74	21,05	34,1	40	57,91	49,67	29,13	18,4	15,26	28,28
91/92	18,14	69,94	53,46	46,25	27,03	41,66	49,97	82,74	77,74	52,94	29,02	19,88	47,40
92/93	19,56	63,72	58,89	33,17	21,15	36,34	60,48	110,84	131,58	49,78	37,43	17,77	53,39
93/94	16,39	74,28	127,68	52,61	30,53	31,41	50,38	83	99,86	67,28	30,65	23,71	57,32
94/95	18,61	12,25	31,8	54,4	25,53	32,41	51,45	98,62	73,83	44,76	28,62	21,71	41,17
95/96	28,5	55,2	62,63	34,42	30,46	47,71	51,62	103,59	93,13	37,59	30,29	24,38	49,96
96/97	22,17	19,42	28,52	20,06	25,23	27,39	42,36	36,78	23,13	18,35	17,1	14,8	24,61
97/98	13,75	26,04	73,77	42,27	60,9	125,6	49,08	84,97	142,1	119,34	47,38	32,56	68,15
98/99	25,87	21,94	22,24	15,9	15,25	17,49	26,02	22,51	19,77	17,84	16,13	13,04	19,50
99/00	11,69	11,61	17,05	17,73	26,78	43,75	58,85	102,79	86,98	39,97	25,96	17,82	38,42
00/01	15,42	14,59	63,07	58,53	29,05	49	66,58	96,25	150,87	89,34	46,6	23,86	58,60
01/02	19,88	39,58	38,34	70,48	59,27	39,2	52,27	86,39	134,29	63,53	33,51	29,21	55,50
02/03	20,23	45,24	45,52	35,4	109,24	56,64	67,07	117,29	167,87	140,44	64,83	35,77	75,46
03/04	21,31	19,34	58	26,19	18,07	24,54	45,28	71,18	54,93	30,61	19,17	16,39	33,75

* Datos de caudal completados por regresión lineal

♦ Datos completados por Promedio Histórico

6.1.2.- Completación de precipitaciones mensuales

Como se explica en la metodología, en la completación de los datos mensuales de precipitación se utilizó el método de Regresión Simple, además del método de Promedio Histórico, con el fin de obtener mayor cantidad de datos.

Tabla 3. Precipitaciones mensuales y anuales de Estación Potrero Grande (mm).

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
71/72	◆58,09	184,0	364,5	145,0	73,0	60,0	60,0	0,0	51,0	7,5	0,0	74,5	1078
72/73	14,5	592,5	374,0	241,0	374,0	191,0	127,5	45,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1959,5
73/74	14,0	310,0	139,0	289,0	37,0	19,0	153,0	0,0	12,0	24,0	0,0	0,0	997,0
74/75	0,0	310,0	437,0	53,0	71,0	24,0	36,0	31,0	0,0	◆4,78	◆4,87	◆21,7	993,3
75/76	◆58,09	◆201,8	262,6	270,5	91,0	20,0	21,5	59,0	0,0	0,0	2,5	0,0	987,1
76/77	2,5	65,5	180,5	34,0	65,6	143,0	183,9	77,0	22,0	31,0	0,0	8,0	813,0
77/78	◆58,1	166,5	314,9	639,6	174,2	22,0	103,5	145,5	0,0	5,0	0,0	0,0	1629,3
78/79	0,0	81,5	238,2	538,4	63,6	139,0	605,0	181,0	3,5	1,0	0,0	0,0	1851,2
79/80	32,0	129,4	17,5	338,5	328,4	145,0	0,0	85,7	87,5	0,0	31,8	19,5	1215,3
80/81	319,0	279,0	286,3	221,0	49,9	109,0	0,0	30,5	21,5	1,0	0,0	4,3	1321,5
81/82	82,0	389,8	99,5	100,8	234,0	50,5	34,4	6,5	0,0	7,8	0,0	39,5	1044,8
82/83	23,6	287,1	740,9	330,2	203,0	300,5	152,1	8,5	3,0	13,9	2,0	0,0	2064,8
83/84	27,3	118,4	301,7	210,1	137,1	66,7	7,0	0,0	2,0	0,0	0,0	7,2	877,5
84/85	23,0	304,5	191,5	527,5	126,7	134,2	92,8	15,1	0,0	0,0	0,0	26,0	1441,3
85/86	59,0	257,6	63,6	237,0	10,0	76,0	147,0	1,7	0,0	1,3	1,0	20,0	874,2
86/87	116,0	256,5	412,6	66,5	170,5	33,0	25,5	92,2	0,0	0,0	0,0	17,7	1190,5
87/88	20,5	80,4	45,7	530,5	208,5	130,2	79,6	0,5	0,0	0,0	0,0	39,5	1135,4
88/89	12,8	34,8	236,4	152,7	227,6	37,3	14,0	10,5	0,0	1,2	0,0	9,3	736,6
89/90	8,0	44,3	136,8	197,0	259,9	42,4	30,0	6,6	9,9	5,5	0,3	75,4	816,1
90/91	51,0	46,8	54,2	122,7	68,9	154,8	62,3	33,0	0,0	4,2	0,0	0,0	597,9
91/92	63,9	370,2	242,0	298,4	32,4	103,7	93,7	24,7	80,3	0,0	0,0	28,7	1338,0
92/93	106,6	521,2	434,7	116,3	100,6	58,6	12,9	8,5	0,2	4,1	0,0	0,0	1363,7
93/94	59,0	328,2	267,2	150,1	81,7	12,5	29,5	26,7	21,6	0,0	0,0	0,0	976,5
94/95	153,2	146,6	193,7	242,9	40,2	66,3	42,7	2,5	16,4	0,0	0,0	0,0	904,5
95/96	127,2	34,9	341,5	293,7	204,3	33,4	42,8	0,0	0,0	0,0	0,0	18,9	1096,7
96/97	73,5	54,9	162,2	72,0	171,2	2,9	4,9	17,1	4,0	0,2	22,7	0,0	585,6
97/98	113,3	156,5	517,0	225,4	165,4	211,5	246,4	33,7	5,4	0,0	0,0	1,2	1675,8
98/99	88,3	50,8	46,4	0,0	18,4	76,5	0,0	0,0	5,2	0,0	2,0	23,7	311,3
99/00	21,4	88,8	237,8	98,0	282,3	273,8	19,0	0,0	1,5	0,0	76,5	0,0	1099,1
00/01	15,3	47,3	812,0	75,7	38,7	268,6	8,2	29,7	0,0	6,9	0,0	0,0	1302,4
01/02	66,5	261,3	77,1	555,3	287,0	18,5	6,2	7,5	0,0	0,0	17,0	233,8	1530,2
02/03	44,6	337,3	219,9	201,0	558,4	117,7	74,7	19,7	15,0	38,2	0,0	0,0	1626,5
03/04	4,8	122,5	217,6	84,9	37,8	91,3	62,5	86,3	11,0	0,0	0,0	46,0	764,7

◆ Datos completados por Promedio Histórico

Tabla 4. Precipitaciones mensuales y anuales de Estación Monte Oscuro (mm).

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
71/72	◆78,06	244,7	483,7	193,02	97,66	80,4	80,4	0,99	68,5	10,9	0,99	99,7	1439
72/73	*20,2	*785,7	*496,3	*320,2	*496,3	*253,9	*169,8	*60,6	*1,0	*1,0	*1,0	*1,0	2606,9
73/74	*19,5	*411,5	*185,1	*383,7	*50,0	*26,1	*203,6	*1,0	*16,9	*32,8	*1,0	*1,0	1332,2
74/75	1,0	411,5	579,7	71,2	95,0	32,8	48,7	42,0	1,0	◆7,1	◆7,4	◆26,3	1323,7
75/76	◆78,1	◆266,4	◆359,9	359,2	121,5	27,5	29,5	79,1	1,0	1,0	4,3	1,0	1328,4
76/77	4,3	87,7	240,0	46,0	87,9	190,4	244,5	103,0	30,1	42,0	1,0	11,6	1088,5
77/78	◆78,06	221,5	418	848,05	231,7	30,1	138	194	0,99	7,61	0,99	0,99	2169,7
78/79	*1,0	*108,9	*316,4	*714,0	*85,2	*185,1	*802,2	*240,7	*5,6	*2,3	*1,0	*1,0	2463,5
79/80	*43,4	*172,4	*24,2	*449,3	*435,9	*193,0	*1,0	*114,5	*116,9	*1,0	*43,1	*26,8	1621,3
80/81	*423,5	*370,5	*380,2	*293,7	*67,1	*145,3	*1,0	*41,4	*29,5	*2,3	*1,0	*6,7	1762,0
81/82	*109,6	*517,2	*132,8	*134,5	*310,9	*67,9	*46,5	*9,6	*1,0	*11,3	*1,0	*53,3	1395,5
82/83	*32,2	*381,2	*982,2	*438,3	*269,8	*399,0	*202,4	*12,2	*5,0	*19,4	*3,6	*1,0	2746,4
83/84	*37,1	*157,8	*400,5	*279,2	*182,6	*89,3	*10,3	*1,0	*3,6	*1,0	*1,0	*10,5	1174,0
84/85	*31,4	*404,3	*254,6	*699,6	*168,8	*178,7	*123,9	*21,0	*1,0	*1,0	*1,0	*35,4	1920,6
85/86	*79,1	*342,1	*85,2	*314,9	*14,2	*101,6	*195,7	*3,2	*1,0	*2,7	*2,3	*27,5	1169,6
86/87	*154,6	*340,7	*547,4	*89,1	*226,8	*44,7	*34,8	*123,1	*1,0	*1,0	*1,0	*24,4	1588,5
87/88	*28,1	*107,5	*61,5	*703,6	*277,1	*173,4	*106,4	*1,6	*1,0	*1,0	*1,0	*53,3	1515,5
88/89	*17,9	*47,1	*314,1	*203,2	*302,4	*50,4	*19,5	*14,9	*1,0	*2,6	*1,0	*13,3	987,4
89/90	*11,6	*59,7	*182,2	*261,9	*345,2	*57,1	*40,7	*9,7	*14,1	*8,3	*1,4	*100,8	1092,6
90/91	*68,5	*63,0	*72,8	*163,5	*92,2	*206,0	*83,5	*44,7	*1,0	*6,5	*1,0	*1,0	803,7
91/92	*85,6	*491,3	*321,5	*396,2	*43,9	*138,3	*125,1	*33,7	*107,3	*1,0	*1,0	*39,0	1783,8
92/93	*142,2	*691,2	*576,7	*155,0	*134,2	*78,6	*18,1	*12,2	*1,3	*6,4	*1,0	*1,0	1817,9
93/94	*79,1	*435,6	*354,9	*199,8	*109,2	*17,5	*40,1	*36,3	*29,6	*1,0	*1,0	*1,0	1305,1
94/95	*203,9	178,4	355,0	457,0	53,0	134,0	53,0	1,0	21,0	0,0	0,0	0,0	1456,3
95/96	216,0	48,0	422,0	425,0	255,6	70,0	61,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,0	1531,6
96/97	51,0	48,0	195,0	102,0	359,0	9,0	22,0	17,0	6,0	0,0	31,0	6,0	846,0
97/98	175,0	282,0	824,0	166,0	250,0	335,5	256,6	80,0	9,0	0,0	0,0	1,0	2379,1
98/99	115,0	62,0	88,0	0,0	23,0	89,0	0,0	0,0	5,0	0,0	4,0	22,0	408,0
99/00	29,0	88,8	405,0	117,0	356,0	271,2	30,0	0,0	0,0	0,0	118,0	0,0	1415,0
00/01	36,0	56,0	1072,0	119,0	27,0	363,0	8,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1701,0
01/02	59,0	347,0	111,0	671,5	373,0	53,0	13,0	5,8	0,0	0,0	14,0	201,0	1848,3
02/03	63,0	395,0	275,0	246,0	747,0	146,0	101,0	24,0	23,0	62,0	0,0	0,0	2082,0
03/04	4,0	168,0	359,0	159,0	32,0	133,0	96,0	76,0	14,0	0,0	0,0	66,0	1107,0

* Datos de precipitaciones completados por regresión lineal

◆ Datos completados por Promedio Histórico

Tabla 5. Precipitaciones mensuales y anuales de Estación El Radal Fundo (mm).

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
71/72	◆105,2	308,4	601,1	245,1	128,3	107	107	9,9	92,6	22,1	9,9	131	1868
72/73	*33,4	*971,0	*616,5	*400,8	*616,5	*319,7	*216,7	*82,9	*9,9	*9,9	*9,9	*9,9	3297,2
73/74	*32,6	*512,7	*235,4	*478,7	*69,9	*40,7	*258,1	*9,9	*29,4	*48,8	*9,9	*9,9	1736,0
74/75	9,904	512,7	718,7	95,872	125,1	48,8	68,3	60,2	9,9	◆16,5	◆15,7	◆41,1	1722,8
75/76	◆105,2	◆333,2	◆458,2	448,67	157,5	42,3	44,8	106	9,9	9,9	14	9,9	1739,2
76/77	13,96	116,1	302,7	65,054	116,3	242	308	135	45,6	60,2	9,9	22,9	1437,6
77/78	◆105,2	280	520,7	1047,4	292,5	45,6	178	246	9,9	18	9,9	9,9	2762,7
78/79	*9,9	*142,1	*396,3	*883,2	*113,1	*235,4	*991,2	*303,5	*15,6	*11,5	*9,9	*9,9	3121,6
79/80	*61,8	*219,8	*38,3	*559,0	*542,6	*245,1	*9,9	*148,9	*151,8	*9,9	*61,5	*41,5	2090,1
80/81	*527,3	*462,5	*474,3	*368,4	*90,8	*186,7	*9,9	*59,4	*44,8	*11,5	*9,9	*16,9	2262,4
81/82	*142,9	*642,2	*171,3	*173,4	*389,5	*91,8	*65,7	*20,4	*9,9	*22,6	*9,9	*74,0	1813,6
82/83	*48,2	*475,6	*1211,7	*545,5	*339,2	*497,3	*256,6	*23,7	*14,8	*32,5	*13,1	*9,9	3468,0
83/84	*54,2	*202,0	*499,3	*350,7	*232,3	*118,1	*21,3	*9,9	*13,1	*9,9	*9,9	*21,6	1542,2
84/85	*47,2	*503,8	*320,5	*865,5	*215,4	*227,6	*160,4	*34,4	*9,9	*9,9	*9,9	*52,1	2456,7
85/86	*105,6	*427,7	*113,1	*394,3	*26,1	*133,2	*248,3	*12,7	*9,9	*12,0	*11,5	*42,3	1536,8
86/87	*198,1	*426,0	*679,2	*117,8	*286,5	*63,4	*51,3	*159,5	*9,9	*9,9	*9,9	*38,6	2049,9
87/88	*43,2	*140,3	*84,0	*870,4	*348,1	*221,1	*139,0	*10,7	*9,9	*9,9	*9,9	*74,0	1960,5
88/89	*30,7	*66,4	*393,4	*257,6	*379,1	*70,4	*32,6	*26,9	*9,9	*11,9	*9,9	*25,0	1313,6
89/90	*22,9	*81,8	*231,8	*329,4	*431,5	*78,7	*58,6	*20,6	*26,0	*18,8	*10,4	*132,2	1442,6
90/91	*92,6	*85,8	*97,8	*208,9	*121,7	*261,0	*111,0	*63,4	*9,9	*16,7	*9,9	*9,9	1088,7
91/92	*113,6	*610,4	*402,4	*493,9	*62,5	*178,1	*161,9	*50,0	*140,2	*9,9	*9,9	*56,5	2289,1
92/93	*182,8	*855,3	*715,0	114,8	127,9	105,4	56,2	16,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2174,2
93/94	117,7	518,8	555,3	244,1	60,9	163,3	69,5	63,8	51,7	0,0	0,0	5,2	1850,3
94/95	212,0	199,7	505,6	638,8	66,4	129,8	58,7	0,0	38,0	0,0	6,0	0,0	1855,0
95/96	302,3	1,2	580,9	609,9	246,2	116,2	88,2	0,0	0,0	2,2	15,0	25,5	1987,6
96/97	70,3	139,0	357,8	108,2	361,3	11,0	28,9	35,5	0,0	8,6	25,5	5,5	1151,6
97/98	227,4	387,6	857,5	340,0	232,1	388,2	402,3	14,8	2,6	0,0	3,0	0,0	2855,5
98/99	137,5	64,9	111,8	0,0	46,0	105,4	0,0	0,0	5,4	0,0	17,1	31,0	519,1
99/00	43,2	119,6	472,6	137,8	420,6	408,7	2,8	0,0	0,0	0,0	126,6	0,0	1731,9
00/01	53,6	124,7	1331,0	156,3	56,2	417,1	14,8	55,7	0,0	62,8	0,0	0,0	2272,2
01/02	131,8	435,1	225,0	836,1	393,3	43,0	8,9	14,4	0,0	0,0	45,0	416,5	2549,1
02/03	81,5	475,5	413,1	309,6	763,4	203,5	142,8	26,1	23,0	89,9	0,0	0,0	2528,4
03/04	8,6	153,1	429,1	221,2	58,9	170,8	150,8	110,2	23,1	0,0	3,4	32,7	1361,9

* Datos de precipitaciones completados por regresión lineal

◆ Datos completados por Promedio Histórico

Tabla 6. Precipitaciones mensuales y anuales de Estación Las Trancas (mm).

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
71/72	◆62,51	217,3	424,5	172,54	89,88	75	75	6,07	64,6	14,7	6,07	91,6	1300
72/73	*22,7	*686,3	*435,4	*282,7	*435,4	*225,3	*152,4	*57,7	*6,1	*6,1	*6,1	*6,1	2322,4
73/74	*22,1	*362,0	*165,6	*337,9	*48,6	*27,9	*181,7	*6,1	*19,9	*33,6	*6,1	*6,1	1217,5
74/75	6,074	362	507,8	66,919	87,58	33,6	47,4	41,7	6,07	◆389	◆11,1	◆29,7	1589,0
75/76	◆62,51	◆237,7	◆337,5	316,61	110,5	29	30,8	73,8	6,07	6,07	8,94	6,07	1225,6
76/77	8,944	81,27	213,3	45,107	81,38	170	217	94,5	31,3	41,7	6,07	15,3	1006,2
77/78	◆62,51	197,2	367,6	740,35	206,1	31,3	125	173	6,07	11,8	6,07	6,07	1933,1
78/79	*6,1	*99,6	*279,5	*624,2	*79,1	*165,6	*700,6	*213,9	*10,1	*7,2	*6,1	*6,1	2198,1
79/80	*42,8	*154,6	*26,2	*394,7	*383,1	*172,5	*6,1	*104,5	*106,5	*6,1	*42,6	*28,5	1468,1
80/81	*372,3	*326,4	*334,8	*259,8	*63,4	*131,2	*6,1	*41,1	*30,8	*7,2	*6,1	*11,0	1590,0
81/82	*100,2	*453,6	*120,3	*121,8	*274,7	*64,0	*45,6	*13,5	*6,1	*15,0	*6,1	*51,4	1272,3
82/83	*33,2	*335,7	*856,6	*385,2	*239,1	*351,1	*180,7	*15,8	*9,5	*22,0	*8,4	*6,1	2443,3
83/84	*37,4	*142,0	*352,4	*247,3	*163,5	*82,6	*14,1	*6,1	*8,4	*6,1	*6,1	*14,3	1080,3
84/85	*32,5	*355,6	*225,9	*611,7	*151,5	*160,1	*112,6	*23,4	*6,1	*6,1	*6,1	*35,9	1727,5
85/86	*44,2	*391,4	*989,5	*448,2	*280,6	*409,1	*213,5	*24,3	*17,0	*31,4	*15,7	*13,0	2877,9
86/87	*49,0	*169,1	*410,7	*289,9	*193,7	*101,0	*22,3	*13,0	*15,7	*13,0	*13,0	*22,5	1313,1
87/88	*29,6	*98,4	*58,5	*615,1	*245,4	*155,5	*97,5	*6,6	*6,1	*6,1	*6,1	*51,4	1376,4
88/89	*20,8	*46,0	*277,5	*181,4	*267,4	*48,9	*22,1	*18,1	*6,1	*7,5	*6,1	*16,8	918,5
89/90	*15,3	*56,9	*163,1	*232,2	*304,4	*54,8	*40,5	*13,7	*17,4	*12,4	*6,4	*92,6	1009,8
90/91	*64,6	*59,8	*68,3	*146,9	*85,2	*183,8	*77,6	*44,0	*6,1	*10,9	*6,1	*6,1	759,3
91/92	*79,4	*431,1	*283,9	*348,6	*43,3	*125,1	*113,6	*34,4	*98,3	*6,1	*6,1	*39,0	1608,9
92/93	*128,5	*604,4	*505,1	87,5	104,4	72,5	8,2	8,0	2,5	6,5	0,0	0,0	1527,6
93/94	81,0	309,7	274,5	99,5	27,0	19,0	65,6	37,5	27,0	0,0	0,0	6,0	946,8
94/95	40,9	64,1	250,0	341,0	55,8	83,2	71,3	23,0	26,5	0,0	4,5	0,0	960,3
95/96	87,0	148,0	352,7	523,6	248,9	55,3	6,6	7,2	0,0	0,0	5,0	37,5	1471,8
96/97	81,5	110,3	223,3	79,3	253,0	0,0	27,0	0,0	13,5	42,0	14,2	0,0	844,1
97/98	154,0	241,0	617,6	243,2	133,1	318,6	282,1	60,1	13,0	0,0	0,0	0,0	2062,7
98/99	71,2	60,4	101,3	16,7	31,3	103,8	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	26,2	420,5
99/00	27,4	135,3	285,3	142,7	277,1	339,7	33,5	8,4	8,6	0,0	103,0	0,0	1361,0
00/01	51,1	121,2	934,9	114,5	49,4	486,9	19,7	34,5	0,0	24,5	0,0	0,0	1836,7
01/02	103,0	283,0	119,0	665,9	271,6	20,1	15,8	17,0	0,0	2,0	34,5	292,3	1824,2
02/03	58,9	365,7	291,3	235,4	585,5	131,8	85,1	31,3	15,0	43,2	0,0	0,0	1843,2
03/04	3,5	137,0	282,1	168,9	28,8	93,0	86,3	76,9	10,5	0,0	4,3	63,0	954,3

* Datos de precipitaciones completados por regresión lineal

◆ Datos completados por Promedio Histórico

6.2.- Estimación de Precipitaciones Medias Areales

6.2.1.- Método de los Polígonos de Thiessen

El método de Thiessen como se ha mencionado en la metodología, estimó las precipitaciones medias en función de la asignación de pesos relativos a las estaciones Monte Oscuro, El Radal Fundo y Las Trancas, a través de criterios geográficos. Luego, las superficies totales de las cuencas en estudio y sus áreas de influencia por cada estación, se describen de la siguiente manera:

Tabla 7. Superficies abarcadas a través de Polígonos de Thiessen para la cuenca del Lontué.

Estaciones	Superficie representada (Km²)
Monte Oscuro	2
El Radal Fundo	280
Las Trancas	4
Superficie Total Cuenca	286

Tabla 8. Superficies abarcadas a través de Polígonos de Thiessen para la cuenca del Colorado.

Estaciones	Superficie representada (Km²)
Monte Oscuro	490
El Radal Fundo	409
Las Trancas	0,9
Superficie Total Cuenca	899,9

Luego, las precipitaciones medias areales para la cuenca del Lontué y el Colorado, se determinan de la siguiente manera:

Cuenca del Lontué

$$Pm = \frac{2 * Pmm + 280 * Pmr + 4 * Pma}{286}$$

Cuenca del Colorado

$$Pm = \frac{490 * Pmm + 409 * Pmr + 0,9Pma}{899,9}$$

donde:

Pm = Precipitación media areal.

Pmm = Precipitación media estación Monte Oscuro (mm).

Pmr = Precipitación media estación El Radal Fundo (mm).

Pma = Precipitación media estación Las Trancas (mm).

Tabla 9. Precipitaciones Medias Areales para la cuenca del Lontué (mm).

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
71/72	104,44	306,64	597,85	243,72	127,56	106,59	106,59	9,79	92,07	21,89	9,79	129,98	1856,90
72/73	33,18	965,69	613,17	398,60	613,17	317,93	215,49	82,39	9,79	9,79	9,79	9,79	3278,78
73/74	32,37	509,92	234,04	476,04	69,48	40,44	256,63	9,79	29,15	48,51	9,79	9,79	1725,95
74/75	9,79	509,92	714,81	95,29	124,33	48,51	67,87	59,80	9,79	21,68	15,53	40,80	1718,13
75/76	104,44	331,39	455,85	446,19	156,60	42,05	44,47	104,97	9,79	9,79	13,82	9,79	1729,16
76/77	13,82	115,46	300,99	64,64	115,62	240,49	306,48	134,01	45,28	59,80	9,79	22,69	1429,10
77/78	104,44	278,41	517,83	1041,67	290,83	45,28	176,77	244,53	9,79	17,85	9,79	9,79	2746,97
78/79	9,79	141,27	394,08	878,40	112,40	234,04	985,85	301,80	15,43	11,40	9,79	9,79	3104,05
79/80	61,41	218,55	38,02	555,90	539,61	243,72	9,79	148,05	150,95	9,79	61,09	41,25	2078,14
80/81	524,44	459,91	471,68	366,33	90,29	185,64	9,79	58,99	44,47	11,40	9,79	16,73	2249,47
81/82	142,08	638,66	170,31	172,41	387,31	91,26	65,29	20,27	9,79	22,37	9,79	73,51	1803,07
82/83	47,86	472,98	1205,10	542,51	337,29	494,59	255,18	23,50	14,63	32,21	13,01	9,79	3448,66
83/84	53,83	200,81	496,53	348,75	230,98	117,40	21,08	9,79	13,01	9,79	9,79	21,40	1533,16
84/85	46,89	501,05	318,74	860,82	214,20	226,30	159,51	34,15	9,79	9,79	9,79	51,73	2442,75
85/86	104,56	426,64	125,13	394,53	29,60	136,82	247,49	12,76	9,94	12,22	11,52	41,83	1553,03
86/87	195,67	421,77	674,48	119,98	284,75	63,83	50,75	157,15	9,92	9,89	9,89	38,29	2036,36
87/88	42,86	139,50	83,52	865,66	346,17	219,84	138,21	10,60	9,79	9,79	9,79	73,51	1949,23
88/89	30,44	65,93	391,18	256,14	376,98	69,97	32,37	26,73	9,79	11,72	9,79	24,79	1305,84
89/90	22,69	81,26	230,49	327,61	429,09	78,19	58,19	20,44	25,76	18,66	10,27	131,43	1434,10
90/91	92,07	85,29	97,23	207,74	120,95	259,53	110,30	63,03	9,79	16,56	9,79	9,79	1082,07
91/92	112,88	607,04	400,21	491,21	62,06	177,09	160,96	49,64	139,34	9,79	9,79	56,09	2276,09
92/93	181,77	850,66	711,10	114,70	127,62	104,75	55,26	16,65	0,04	0,14	0,01	0,01	2162,69

93/94	116,92	515,29	549,97	241,77	60,76	160,26	69,24	63,24	51,20	0,01	0,01	5,18	1833,85
94/95	209,55	197,65	500,97	633,36	66,16	129,18	58,84	0,33	37,72	0,00	5,94	0,00	1839,70
95/96	298,69	3,58	576,60	607,40	246,30	115,03	86,87	0,10	0,00	2,15	14,76	25,73	1977,20
96/97	70,32	137,96	354,78	107,75	359,77	10,83	28,83	34,87	0,23	9,01	25,38	5,43	1145,16
97/98	226,01	384,81	853,91	337,43	230,84	386,86	399,60	15,89	2,79	0,00	2,94	0,01	2841,08
98/99	136,42	64,82	111,49	0,23	45,63	105,26	0,00	0,00	5,32	0,00	16,90	30,87	516,94
99/00	42,88	119,60	469,51	137,72	418,14	406,77	3,42	0,12	0,12	0,00	126,21	0,00	1724,50
00/01	53,44	124,17	1323,65	155,45	55,90	417,70	14,82	55,15	0,00	61,83	0,00	0,00	2262,11
01/02	130,89	432,36	222,72	832,57	391,46	42,75	9,03	14,38	0,00	0,03	44,64	413,26	2534,06
02/03	81,05	473,40	410,43	308,12	760,80	202,10	141,70	26,16	22,89	89,05	0,00	0,00	2515,70
03/04	8,50	152,98	426,55	220,03	58,29	169,45	149,51	109,50	22,86	0,00	3,39	33,36	1354,42

Tabla 10. Precipitaciones Medias Areales para la cuenca del Colorado (mm).

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
71/72	91,41	276,66	543,06	219,10	112,84	93,65	93,65	5,10	80,37	16,17	5,10	115,05	1652,18
72/73	26,50	879,56	557,08	360,79	557,08	286,99	193,28	71,52	5,10	5,10	5,10	5,10	2953,20
73/74	25,76	462,62	210,25	431,63	59,71	33,14	230,91	5,10	22,81	40,52	5,10	5,10	1532,66
74/75	5,10	462,62	650,06	83,32	109,89	40,52	58,23	50,85	5,10	11,88	11,30	33,37	1522,26
75/76	91,41	300,08	409,10	404,33	139,41	34,62	36,83	92,18	5,10	5,10	8,79	5,10	1532,04
76/77	8,79	101,77	271,50	55,28	101,92	216,15	276,51	118,74	37,57	50,85	5,10	16,91	1261,10
77/78	91,41	250,83	469,86	949,07	262,20	37,57	157,85	219,84	5,10	12,48	5,10	5,10	2466,42
78/79	5,10	125,39	356,66	799,71	98,97	210,25	898,01	272,23	10,27	6,58	5,10	5,10	2793,36
79/80	52,33	196,08	30,93	504,69	489,78	219,10	5,10	131,58	134,24	5,10	52,03	33,88	1854,85
80/81	475,91	416,87	427,64	331,27	78,75	165,97	5,10	50,12	36,83	6,58	5,10	11,45	2011,58
81/82	126,12	580,40	151,95	153,87	350,46	79,63	55,87	14,69	5,10	16,61	5,10	63,40	1603,21
82/83	39,93	428,83	1098,58	492,44	304,70	448,60	229,58	17,65	9,53	25,62	8,05	5,10	3108,61
83/84	45,39	179,84	450,37	315,18	207,44	103,54	15,43	5,10	8,05	5,10	5,10	15,73	1356,29
84/85	39,05	454,51	287,73	783,63	192,09	203,16	142,06	27,39	5,10	5,10	5,10	43,47	2188,40
85/86	92,15	385,38	99,89	355,06	20,13	117,59	222,09	7,63	5,11	7,04	6,59	34,60	1353,25
86/87	176,21	383,53	613,98	103,46	256,73	53,86	42,72	141,08	5,11	5,11	5,11	31,22	1818,12
87/88	35,36	123,76	72,55	788,05	312,82	197,26	122,58	5,84	5,10	5,10	5,10	63,40	1736,92
88/89	23,99	56,46	354,00	230,47	341,01	60,15	25,76	20,60	5,10	6,87	5,10	18,83	1148,34
89/90	16,91	70,48	207,00	295,85	388,68	67,68	49,38	14,84	19,71	13,22	5,54	116,38	1265,68
90/91	80,37	74,17	85,09	186,19	106,79	233,57	97,05	53,80	5,10	11,30	5,10	5,10	943,64
91/92	99,41	551,47	362,26	445,50	52,92	158,15	143,39	41,56	123,61	5,10	5,10	47,46	2035,94
92/93	162,43	774,33	646,67	138,20	132,79	91,79	35,79	14,47	0,69	3,54	0,54	0,54	2001,78
93/94	97,74	478,63	450,89	222,29	88,14	84,73	54,06	49,37	40,08	0,54	0,54	2,94	1569,96
94/95	209,74	190,08	428,10	545,57	59,76	133,52	56,23	0,57	29,05	0,00	2,76	0,00	1655,39
95/96	257,96	27,13	499,70	514,86	254,15	92,01	74,13	0,01	0,00	1,01	6,90	30,48	1758,33
96/97	60,47	90,43	272,04	105,97	363,98	10,01	25,42	25,68	3,32	4,00	28,80	5,83	995,96
97/98	201,03	333,66	848,45	247,91	244,46	363,47	326,47	50,91	6,16	0,00	1,38	0,55	2624,47
98/99	126,59	64,03	99,94	0,02	33,84	97,55	0,00	0,00	5,23	0,00	10,07	26,39	463,66
99/00	35,85	104,00	440,50	127,90	389,61	337,51	17,84	0,01	0,01	0,00	123,26	0,00	1576,49
00/01	44,51	88,27	1202,94	137,48	40,75	392,07	11,23	36,65	0,00	28,89	0,00	0,00	1982,78
01/02	93,17	391,33	164,65	754,69	386,42	48,97	11,26	9,83	0,00	0,00	28,43	302,40	2191,13
02/03	72,21	436,41	341,58	277,98	762,77	174,05	121,33	25,24	23,25	75,50	0,00	0,00	2310,32
03/04	6,16	163,01	395,17	189,38	44,72	151,83	122,26	92,57	18,34	0,00	1,57	51,43	1236,44

6.2.- Estimación parámetro K para los modelos precipitación-escorrentía.

Los modelos precipitación-escorrentía propuestos para el estudio, Budyko, Turc-Pike y Pizarro, presentan en su composición el parámetro K, el cual se desconoce y se debió determinar a través del Software Estadístico Statgraphics, para ecuaciones no paramétricas.

Para la estimación de los parámetros K de los modelos, se utilizan los datos de precipitaciones medias areales y caudales, para cada cuenca.

Tabla 11. Valores del parámetro K para la cuenca del Lontué y los diferentes períodos.

Períodos	Budyko	Turc-Pike	Pizarro
1971 - 1984	-1807,0	-19,3839	*
1971 - 1994	-1688,14	*	-76,0965
1971 - 2004	-1339,76	*	-77,4482

* No pudo obtenerse el ajuste

Tabla 12. Valores del Parámetro K para la cuenca del Colorado y los diferentes períodos.

Períodos	Budyko	Turc-Pike	Pizarro
1971 - 1984	1380,95	1169,35	3205,53
1971 - 1994	1143,63	968,776	2703,79
1971 - 2004	1076,4	915,811	2521,14

6.3.- Ajuste de los modelos precipitación-escorrentía (Budyko, Turc-Pike y Pizarro)

El ajuste de los modelos precipitación-escorrentía no fue posible obtenerlo, para ninguno de los modelos en estudio, ya que estos modelos no explican suficientemente ninguna variación con respecto a los datos, aún cuando se pudieron obtener casi todos los valores de k.

Tabla 13. Cuadro resumen para la cuenca del Lontué con los valores de R^2 y EEE.

	1971-1984		1971-1994		1971-2004	
Modelo	R^2	EEE	R^2	EEE	R^2	EEE
Budyko	27,9	1103,0	15,6	1192,0	0,0	1875,8
Turc-Pike	0,0	3353,49	*	*	*	*
Pizarro	*	*	0,0	3,5E+22	0	1,3E+22

* No se obtuvo información

Tabla 14. Cuadro resumen para la cuenca del Colorado con los valores de R^2 y EEE.

	1971-1984		1971-1994		1971-2004	
Modelo	R^2	EEE	R^2	EEE	R^2	EEE
Budyko	0,0	337,7	0,0	323,4	0,0	310,3
Turc-Pike	0,0	353,2	0,0	338,0	0,0	322,6
Pizarro	0,0	339,1	0,0	339,3	0,0	326,8

Adicionalmente, las salidas del programa statgraphics, que explican los resultados de los modelos precipitación-escorrentía, se presentan en el apéndice 1.

6.4.- Ajuste de la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel, para las precipitaciones y caudales a nivel mensual y anual.

6.4.1.- Ajuste de Gumbel para las precipitaciones.

De acuerdo a la metodología planteada, el ajuste de la función de Distribución de Probabilidad de Gumbel se realizó a través de tres períodos predeterminados, tanto para las precipitaciones como para los caudales. Además, este ajuste se realizó a nivel mensual y anual. A continuación, se presentan en tablas resumen, los resultados obtenidos de estos ajustes.

Tabla 15. Tabla resumen de las precipitaciones para la Función de Gumbel para la cuenca del Lontué, por mes y período de retorno.

	Período 1971 - 1984 Abril	Período 1971 - 1994 Abril	Período 1971 - 2004 Abril
T = 50	431,57	378,88	371,00
T = 75	473,32	413,18	403,77
T = 100	502,87	437,46	426,98
	Período 1971 - 1984 Mayo	Período 1971 - 1994 Mayo	Período 1971 - 2004 Mayo
T = 50	1117,30	1072,54	981,41
T = 75	1198,52	1155,86	1060,81
T = 100	1256,03	1214,84	1117,03
	Período 1971 - 1984 Junio	Período 1971 - 1994 Junio	Período 1971 - 2004 Junio
T = 50	1314,38	1136,45	1247,83
T = 75	1422,11	1226,32	1346,56
T = 100	1498,39	1289,94	1416,45
	Período 1971 - 1984 Julio	Período 1971 - 1994 Julio	Período 1971 - 2004 Julio
T = 50	1116,88	1061,68	1046,26
T = 75	1191,34	1138,80	1126,77
T = 100	1244,05	1193,40	1183,78

	Período 1971 - 1984 Agosto	Período 1971 - 1994 Agosto	Período 1971 - 2004 Agosto
T = 50	797,07	695,03	752,53
T = 75	859,62	751,36	814,02
T = 100	903,90	791,25	857,55
	Período 1971 - 1984 Septiembre	Período 1971 - 1994 Septiembre	Período 1971 - 2004 Septiembre
T = 50	567,53	458,28	509,34
T = 75	610,65	492,95	549,11
T = 100	641,17	517,49	577,26
	Período 1971 - 1984 Octubre	Período 1971 - 1994 Octubre	Período 1971 - 2004 Octubre
T = 50	1011,22	721,15	637,86
T = 75	1108,52	790,66	699,62
T = 100	1177,40	839,87	743,35
	Período 1971 - 1984 Noviembre	Período 1971 - 1994 Noviembre	Período 1971 - 2004 Noviembre
T = 50	324,09	249,54	216,80
T = 75	354,53	273,04	237,46
T = 100	376,08	289,68	252,09
	Período 1971 - 1984 Diciembre	Período 1971 - 1994 Diciembre	Período 1971 - 2004 Diciembre
T = 50	151,56	141,21	119,25
T = 75	166,14	154,69	131,04
T = 100	176,46	164,24	139,39
	Período 1971 - 1984 Enero	Período 1971 - 1994 Enero	Período 1971 - 2004 Enero
T = 50	53,92	42,90	68,08
T = 75	58,29	46,53	74,63
T = 100	61,39	49,11	79,27
	Período 1971 - 1984 Febrero	Período 1971 - 1994 Febrero	Período 1971 - 2004 Febrero
T = 50	59,91	43,81	81,39
T = 75	65,33	47,79	89,41
T = 100	69,17	50,60	95,08
	Período 1971 - 1984 Marzo	Período 1971 - 1994 Marzo	Período 1971 - 2004 Marzo
T = 50	87,20	119,62	244,89
T = 75	94,59	130,29	270,02
T = 100	99,82	137,84	287,82
	Período 1971 - 1984 Anual	Período 1971 - 1994 Anual	Período 1971 - 2004 Anual
T = 50	4254,97	3733,69	3751,95
T = 75	4482,07	3939,46	3967,29
T = 100	4642,86	4085,14	4119,74

Tabla 16. Tabla resumen de las precipitaciones para la Función de Gumbel para la cuenca del Colorado, por mes y período de retorno.

	Período 1971 - 1984 Abril	Período 1971 - 1994 Abril	Período 1971 - 2004 Abril
T = 50	390,87	346,25	335,15
T = 75	429,06	377,97	365,12
T = 100	456,10	400,43	386,33
	Período 1971 - 1984 Mayo	Período 1971 - 1994 Mayo	Período 1971 - 2004 Mayo
T = 50	903,26	913,38	854,59
T = 75	969,38	983,66	922,77
T = 100	1016,20	1033,41	971,04
	Período 1971 - 1984 Junio	Período 1971 - 1994 Junio	Período 1971 - 2004 Junio
T = 50	1089,85	1003,56	1109,47
T = 75	1171,91	1079,64	1195,58
T = 100	1230,00	1133,50	1256,55
	Período 1971 - 1984 Julio	Período 1971 - 1994 Julio	Período 1971 - 2004 Julio
T = 50	1120,72	1022,05	987,06
T = 75	1206,84	1100,61	1065,39
T = 100	1267,81	1156,22	1120,84
	Período 1971 - 1984 Agosto	Período 1971 - 1994 Agosto	Período 1971 - 2004 Agosto
T = 50	624,15	580,74	674,60
T = 75	673,98	627,42	730,18
T = 100	709,25	660,48	769,53
	Período 1971 - 1984 Septiembre	Período 1971 - 1994 Septiembre	Período 1971 - 2004 Septiembre
T = 50	464,69	397,34	443,82
T = 75	502,75	428,92	479,61
T = 100	529,69	451,28	504,96
	Período 1971 - 1984 Octubre	Período 1971 - 1994 Octubre	Período 1971 - 2004 Octubre
T = 50	763,06	605,13	545,70
T = 75	835,82	662,90	598,06
T = 100	887,33	703,80	635,12
	Período 1971 - 1984 Noviembre	Período 1971 - 1994 Noviembre	Período 1971 - 2004 Noviembre
T = 50	293,32	244,08	216,51
T = 75	319,88	266,75	236,90
T = 100	338,69	282,81	251,33
	Período 1971 - 1984 Diciembre	Período 1971 - 1994 Diciembre	Período 1971 - 2004 Diciembre
T = 50	123,95	120,52	104,63
T = 75	135,94	132,22	115,02
T = 100	144,43	140,50	122,37
	Período 1971 - 1984 Enero	Período 1971 - 1994 Enero	Período 1971 - 2004 Enero
T = 50	52,56	42,67	54,02
T = 75	57,16	46,53	59,24
T = 100	60,41	49,27	62,94

	Período 1971 - 1984 Febrero	Período 1971 - 1994 Febrero	Período 1971 - 2004 Febrero
T = 50	41,59	32,59	69,66
T = 75	45,55	35,71	76,84
T = 100	48,36	37,93	81,92
	Período 1971 - 1984 Marzo	Período 1971 - 1994 Marzo	Período 1971 - 2004 Marzo
T = 50	107,24	114,14	180,87
T = 75	117,23	124,67	199,00
T = 100	124,31	132,12	211,84
	Período 1971 - 1984 Anual	Período 1971 - 1994 Anual	Período 1971 - 2004 Anual
T = 50	3586,88	3262,96	3303,85
T = 75	3783,44	3441,99	3492,09
T = 100	3922,59	3568,74	3625,36

6.4.2.- Ajuste de Gumbel para los caudales.

Como se recordará, los períodos de los caudales están conformados por diferentes años en comparación a las precipitaciones; ésto se debió a la cantidad de información con la que se cuenta. Además, el ajuste de esta variable se realizó para los meses de deshielo y para los datos anuales. Posteriormente y al igual que las precipitaciones, se presentan a continuación los resultados de estos ajustes a través de tablas resumen.

Tabla 17. Tabla resumen de los caudales para la Función de Gumbel para la cuenca del Lontué, por mes y período de retorno.

	Período 1967 - 1984 Septiembre	Período 1967 - 1994 Septiembre	Período 1967 - 2004 Septiembre
T = 50	44,54	41,50	48,58
T = 75	47,11	43,68	51,40
T = 100	48,94	45,22	53,39
	Período 1967 - 1984 Octubre	Período 1967 - 1994 Octubre	Período 1967 - 2004 Octubre
T = 50	52,96	51,75	52,59
T = 75	55,80	54,39	55,23
T = 100	57,82	56,26	57,10
	Período 1967 - 1984 Noviembre	Período 1967 - 1994 Noviembre	Período 1967 - 2004 Noviembre
T = 50	64,03	64,62	68,32
T = 75	67,18	67,67	71,73
T = 100	69,41	69,83	74,14

	Período 1967 – 1984 Diciembre	Período 1967 – 1994 Diciembre	Período 1967 - 2004 Diciembre
T = 50	90,04	84,18	89,95
T = 75	95,34	88,97	95,38
T = 100	99,08	92,37	99,23
	Período 1967 – 1984 Enero	Período 1967 – 1994 Enero	Período 1967 - 2004 Enero
T = 50	77,28	71,68	75,17
T = 75	82,40	76,36	80,22
T = 100	86,02	79,67	83,79
	Período 1967 - 1984 Sep - Ene	Período 1967 - 1994 Sep - Ene	Período 1967 - 2004 Sep - Ene
T = 50	72,59	69,46	72,74
T = 75	77,22	73,75	77,32
T = 100	80,50	76,79	80,57
	Período 1967 - 1984 Anual	Período 1967 - 1994 Anual	Período 1967 - 2004 Anual
T = 50	48,72	46,81	49,94
T = 75	51,30	49,17	52,59
T = 100	53,12	50,84	54,47

Tabla 18. Tabla resumen de los caudales para la Función de Gumbel para la cuenca del Colorado, por mes y período de retorno.

	Período 1967 - 1984 Septiembre	Período 1967 - 1994 Septiembre	Período 1967 - 2004 Septiembre
T = 50	66,17	60,84	85,93
T = 75	70,26	64,29	92,00
T = 100	73,15	66,73	96,30
	Período 1967 - 1984 Octubre	Período 1967 - 1994 Octubre	Período 1967 - 2004 Octubre
T = 50	86,92	83,50	83,17
T = 75	91,50	87,57	87,19
T = 100	94,74	90,46	90,03
	Período 1967 - 1984 Noviembre	Período 1967 - 1994 Noviembre	Período 1967 - 2004 Noviembre
T = 50	122,00	126,45	136,26
T = 75	127,53	132,07	143,10
T = 100	131,44	136,05	147,95
	Período 1967 - 1984 Diciembre	Período 1967 - 1994 Diciembre	Período 1967 - 2004 Diciembre
T = 50	178,11	170,69	189,84
T = 75	188,62	180,87	202,10
T = 100	196,06	188,07	210,77
	Período 1967 - 1984 Enero	Período 1967 - 1994 Enero	Período 1967 - 2004 Enero
T = 50	147,58	132,36	143,91
T = 75	158,29	141,88	154,63
T = 100	165,87	148,61	162,22

	Período 1967 - 1984 Sep - Ene	Período 1967 - 1994 Sep - Ene	Período 1967 - 2004 Sep - Ene
T = 50	142,77	139,15	148,63
T = 75	152,70	148,72	159,17
T = 100	159,73	155,49	166,63
	Período 1967 - 1984 Anual	Período 1967 - 1994 Anual	Período 1967 - 2004 Anual
T = 50	120,28	117,64	122,81
T = 75	129,66	126,78	132,47
T = 100	136,31	133,25	139,31

6.4.3- Calidad de ajuste para la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel.

Mediante los valores probabilísticos para la variable aleatoria de precipitación (Tabla 14 y Tabla 15), y de caudal (Tabla 16 y Tabla 17), se pudieron estimar los valores de R^2 y Kolmogorov-Smirnov que se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 19. Coeficientes de Determinación (R^2) de las precipitaciones, para la cuenca del Lontué.

	1971 - 1984	1971 - 1994	1971 - 2004
Abril	0,81	0,93	0,95
Mayo	0,95	0,97	0,96
Junio	0,97	0,96	0,98
Julio	0,98	0,98	0,98
Agosto	0,93	0,94	0,96
Septiembre	0,93	0,98	0,99
Octubre	0,89	0,85	0,90
Noviembre	0,95	0,91	0,91
Diciembre	0,75	0,78	0,81
Enero	0,87	0,89	0,89
Febrero	0,43	0,55	0,71
Marzo	0,86	0,93	0,76
Anual	0,92	0,98	0,99

Tabla 20. Valores de Kolmogorov-Smirnov de las precipitaciones, para la cuenca del Lontué.

	1971 - 1984		1971 - 1994		1971 - 2004		Condición
	D Calculado	D Tabla	D Calculado	D Tabla	D Calculado	D Tabla	
Abril	0,19	0,349	0,13	0,2748	0,10	0,232	Ajuste Adecuado
Mayo	0,07	0,349	0,09	0,2748	0,12	0,232	Ajuste Adecuado
Junio	0,06	0,349	0,08	0,2748	0,07	0,232	Ajuste Adecuado
Julio	0,07	0,349	0,07	0,2748	0,06	0,232	Ajuste Adecuado
Agosto	0,15	0,349	0,17	0,2748	0,15	0,232	Ajuste Adecuado
Septiembre	0,12	0,349	0,05	0,2748	0,07	0,232	Ajuste Adecuado
Octubre	0,14	0,349	0,15	0,2748	0,11	0,232	Ajuste Adecuado
Noviembre	0,07	0,349	0,15	0,2748	0,14	0,232	Ajuste Adecuado
Diciembre	0,22	0,349	0,21	0,2748	0,19	0,232	Ajuste Adecuado
Enero	0,18	0,349	0,15	0,2748	0,17	0,232	Ajuste Adecuado
Febrero	0,25	0,349	0,24	0,2748	0,23	0,232	Ajuste Adecuado
Marzo	0,16	0,349	0,14	0,2748	0,19	0,232	Ajuste Adecuado
Anual	0,15	0,349	0,07	0,2748	0,07	0,232	Ajuste Adecuado

Tabla 21. Coeficientes de Determinación (R^2) de las precipitaciones, para la cuenca del Colorado.

	1971 - 1984	1971 - 1994	1971 - 2004
Abril	0,81	0,93	0,96
Mayo	0,96	0,95	0,95
Junio	0,98	0,97	0,98
Julio	0,96	0,99	0,95
Agosto	0,94	0,94	0,97
Septiembre	0,93	0,97	0,98
Octubre	0,92	0,87	0,90
Noviembre	0,94	0,91	0,91
Diciembre	0,93	0,76	0,75
Enero	0,86	0,85	0,84
Febrero	0,45	0,50	0,55
Marzo	0,86	0,92	0,82
Anual	0,94	0,98	0,99

Tabla 22. Valores de Kolmogorov-Smirnov de las precipitaciones, para la cuenca del Colorado.

	1971 - 1984		1971 - 1994		1971 - 2004		Condición
	D Calculado	D Tabla	D Calculado	D Tabla	D Calculado	D Tabla	
Abril	0,19	0,349	0,14	0,2748	0,13	0,232	Ajuste Adecuado
Mayo	0,07	0,349	0,11	0,2748	0,12	0,232	Ajuste Adecuado
Junio	0,05	0,349	0,07	0,2748	0,07	0,232	Ajuste Adecuado
Julio	0,08	0,349	0,04	0,2748	0,17	0,232	Ajuste Adecuado
Agosto	0,14	0,349	0,15	0,2748	0,12	0,232	Ajuste Adecuado
Septiembre	0,13	0,349	0,08	0,2748	0,10	0,232	Ajuste Adecuado
Octubre	0,12	0,349	0,13	0,2748	0,10	0,232	Ajuste Adecuado
Noviembre	0,10	0,349	0,14	0,2748	0,15	0,232	Ajuste Adecuado
Diciembre	0,22	0,349	0,21	0,2748	0,21	0,232	Ajuste Adecuado
Enero	0,17	0,349	0,18	0,2748	0,20	0,232	Ajuste Adecuado
Febrero	0,25	0,349	0,28	0,2748	0,28	0,232	Ajuste Adecuado
Marzo	0,16	0,349	0,15	0,2748	0,15	0,232	Ajuste Adecuado
Anual	0,14	0,349	0,08	0,2748	0,03	0,232	Ajuste Adecuado

Tabla 23. Coeficientes de Determinación (R^2) de los caudales, para la cuenca del Lontué.

	1967 - 1984	1967 - 1994	1967 - 2004
Septiembre	0,96	0,99	0,99
Octubre	0,97	0,97	0,98
Noviembre	0,95	0,97	0,95
Diciembre	0,95	0,97	0,97
Enero	0,99	0,99	0,99
Septiembre-Enero	0,99	0,99	0,99
Anual	0,95	0,96	0,96

Tabla 24. Valores de Kolmogorov-Smirnov de los caudales, para la cuenca del Lontué.

	1967 - 1984		1967 - 1994		1967 - 2004		Condición
	D Calculado	D Tabla	D Calculado	D Tabla	D Calculado	D Tabla	
Septiembre	0,11	0.309	0,06	0,258	0,08	0,224	Ajuste Adecuado
Octubre	0,06	0.309	0,07	0,258	0,07	0,224	Ajuste Adecuado
Noviembre	0,09	0.309	0,07	0,258	0,07	0,224	Ajuste Adecuado
Diciembre	0,09	0.309	0,07	0,258	0,07	0,224	Ajuste Adecuado
Enero	0,06	0.309	0,05	0,258	0,05	0,224	Ajuste Adecuado
Septiembre-Enero							
	0,04	0.309	0,04	0,258	0,04	0,224	Ajuste Adecuado
Anual	0,08	0.309	0,06	0,258	0,07	0,224	Ajuste Adecuado

Tabla 25. Coeficientes de Determinación (R^2) de los caudales, para la cuenca del Colorado.

	1967 - 1984	1967 - 1994	1967 - 2004
Septiembre	0,91	0,98	0,94
Octubre	0,92	0,93	0,91
Noviembre	0,91	0,95	0,91
Diciembre	0,96	0,97	0,97
Enero	0,94	0,97	0,97
Septiembre-Enero	0,99	0,99	0,99
Anual	0,96	0,96	0,96

Tabla 26. Valores de Kolmogorov-Smirnov de los caudales, para la cuenca del Colorado.

	1967 - 1984		1967 - 1994		1967 - 2004		Condición
	D Calculado	D Tabla	D Calculado	D Tabla	D Calculado	D Tabla	
Septiembre	0,21	0.309	0,10	0,258	0,08	0,224	Ajuste Adecuado
Octubre	0,09	0.309	0,07	0,258	0,05	0,224	Ajuste Adecuado
Noviembre	0,05	0.309	0,04	0,258	0,08	0,224	Ajuste Adecuado
Diciembre	0,05	0.309	0,04	0,258	0,08	0,224	Ajuste Adecuado
Enero	0,13	0.309	0,09	0,258	0,11	0,224	Ajuste Adecuado
Septiembre-Enero							
	0,09	0.309	0,07	0,258	0,06	0,224	Ajuste Adecuado
Anual	0,05	0.309	0,06	0,258	0,07	0,224	Ajuste Adecuado

6.5.- Análisis del comportamiento de las precipitaciones y caudales.

6.5.1.- Variación temporal de las precipitaciones y caudales.

Para una mejor interpretación del comportamiento de las precipitaciones y caudales en las últimas décadas, se presentan a continuación las gráficas resultantes de la variación temporal de los datos en función del tiempo, las cuales fueron ajustadas a una función potencial. (Apéndice 2).

Gráfico 1. Variación temporal de las precipitaciones y caudales para la cuenca del Lontué.

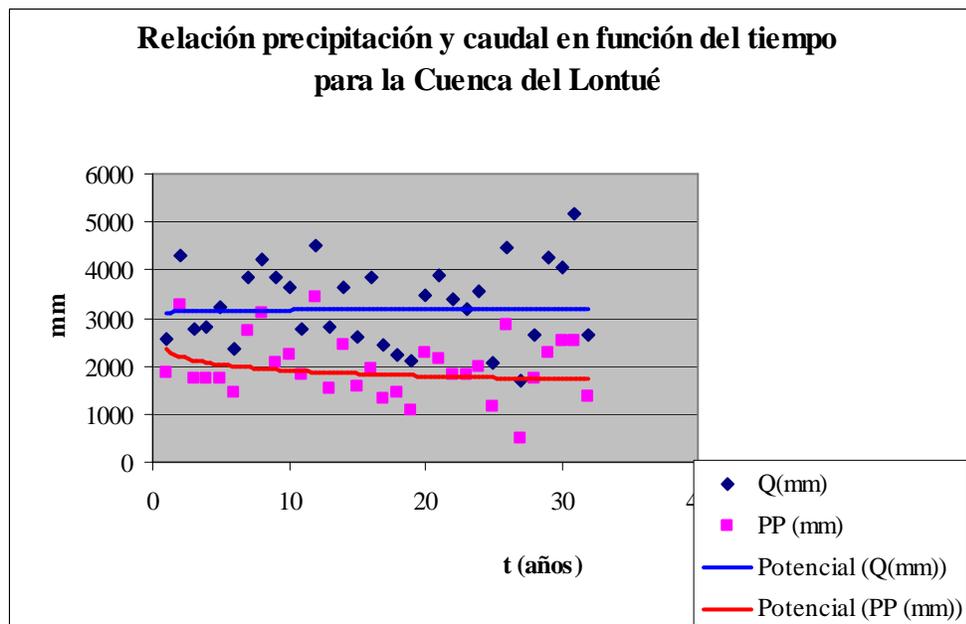
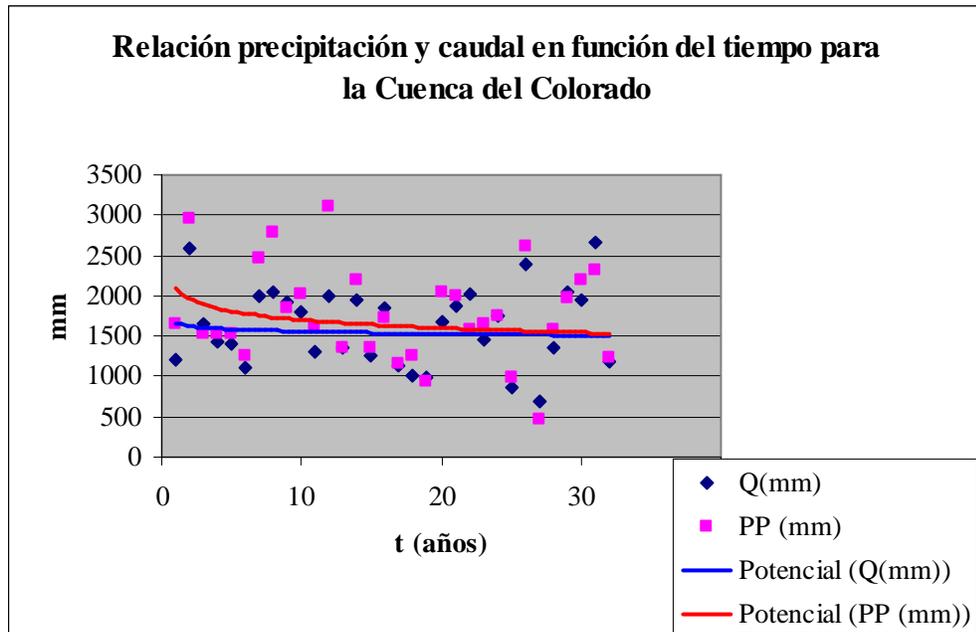


Gráfico 2. Variación temporal de las precipitaciones y caudales para la cuenca del Colorado.



6.5.2.- Comportamiento de las precipitaciones en función de los caudales.

A continuación en los gráficos 3 y 4, se presentan la tendencia experimentada por el coeficiente PP/Q , explicado con anterioridad en metodología, con el fin de observar como este coeficiente se comporta a través del tiempo.

Gráfico 3. Gráfica coeficiente (P/Q) v/s tiempo (t), para la cuenca del Lontué.

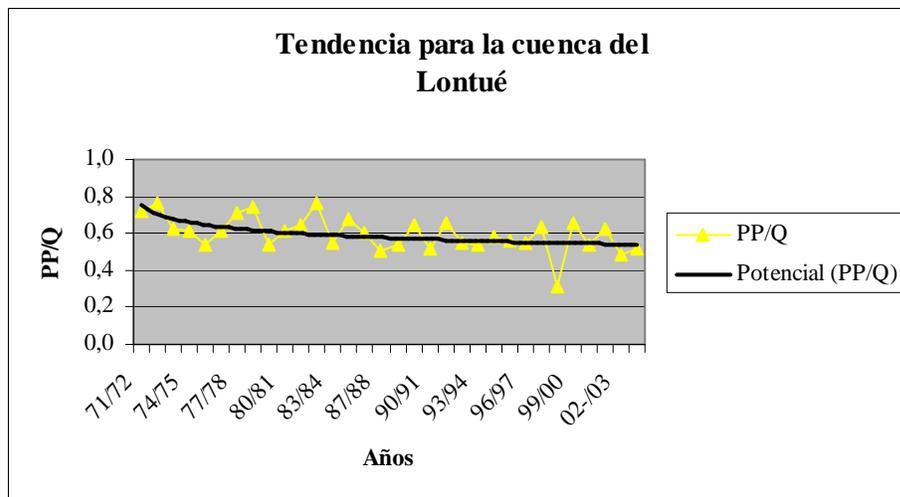
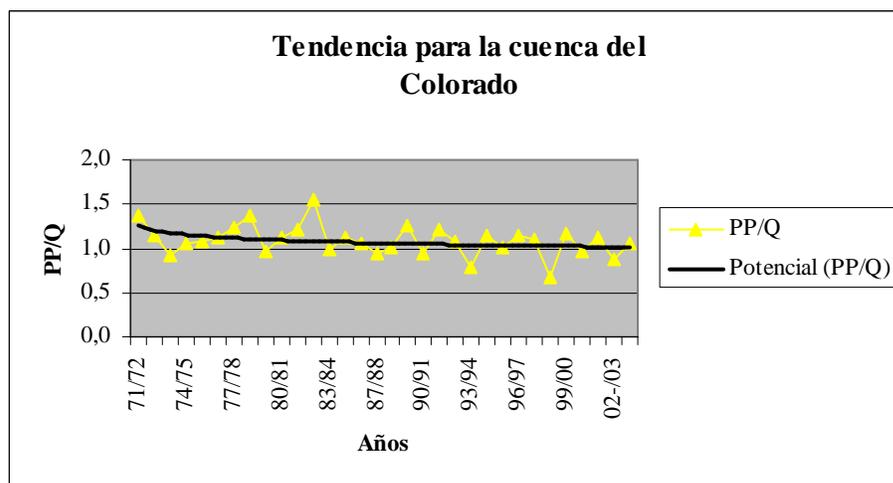


Gráfico 4. Gráfica coeficiente (P/Q) v/s tiempo (t), para la cuenca del Colorado.



7.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1.- Completación de datos faltantes.

Los registros proporcionados por la Dirección General de Aguas, para las precipitaciones y caudales, se encontraban incompletos. Es por ello, que se hizo necesario la completación de estos a través de dos métodos.

Los métodos de Regresión Lineal y Promedio Histórico fueron utilizados para la completación de datos faltantes. El método de Regresión Lineal se escogió por presentar mayores R^2 y menores valores de Error de Estimación, en comparación al método de Regresión Múltiple propuesto por Ausensi (2005).

El método de Promedio Histórico se utilizó en algunos casos donde se hizo imposible determinar la información por medio de regresiones.

En las regresiones simples para el caso de las precipitaciones, se dependió de la estación Potrero Grande. Para los caudales, se hizo necesario establecer series con características de meses húmedos y meses secos, debido a la gran variabilidad presentada por los datos.

7.2.- Estimación de Precipitaciones medias areales por Polígonos de Thiessen.

Los valores de precipitación media obtenidos por medio de Thiessen, son valores considerados altos. Si bien se esperaba que los resultados fuesen por sobre los 1.000 mm, no se contaba con que estos superaran los 2.000 mm, ya que las precipitaciones medias anuales para esta zona van de los 700 a los 1.300 mm.

Luego, en la cuenca del Lontué que abarca una superficie de 286 Km², se puede encontrar una precipitación máxima de 3.278,78 mm para el año 1972. A su vez, para la cuenca del Colorado con una superficie total de 899,9 km², se dispone de una precipitación máxima de 3108,61 mm para el año 1982.

En este método se utilizaron 3 estaciones fluviométricas: Monte Oscuro, El Radal Fundo y Las Trancas, asumiendo la influencia de estas estaciones en las dos cuencas (Lontué y Colorado).

Cuando los caudales se originan a partir de las precipitaciones, los valores de dichos caudales son menores que los valores de las precipitaciones, de lo contrario se estaría en presencia de caudales que se generan a partir de las precipitaciones mas el aporte de otras fuentes como podría ser agua proveniente del derretimiento glaciar.

En el presente estudio se aprecia que para la cuenca del Colorado los caudales se originarían netamente a partir de las precipitaciones, dado que éstas últimas superan los valores de los caudales. Por el contrario, en la cuenca del Lontué se observa que los valores asociados a los caudales son más altos que los valores de las precipitaciones, por lo que se podría inducir que existen aportaciones distintas a las precipitaciones.

7.3.- Ajuste de los modelos precipitación-escorrentía (Budyko, Turc-Pike y Pizarro).

El ajuste de estos modelos se realizó de la misma forma para ambas cuencas, utilizando los mismos períodos. Sin embargo, se puede mencionar que los modelos propuestos en este estudio no ajustaron debido a la gran variabilidad existente entre los datos. Por otra parte, cabe señalar que si bien se obtuvieron valores para el parámetro k, estos fueron muy diferentes entre cuencas, y en algunos casos imposibles de determinar.

7.4.- Ajuste de la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel a las variables precipitación y caudal.

7.4.1.- Cuenca del Lontué

De acuerdo a lo observado en la cuenca del Lontué (Tabla 11), se pudo inferir que el monto de las precipitaciones presenta una tendencia a la baja. Esto, porque desde el mes de Julio al mes de Diciembre, existe una tendencia probabilística a encontrar valores cada vez más bajos, principalmente los períodos asociados a un período de retorno de 100 años. Esta tendencia se aprecia claramente, ya que por ejemplo, para el mes de Octubre el período 1 presenta una precipitación de 1177,4 mm, y 743,35 mm en el período 3, siempre asociado a un T igual 100.

7.4.2.- Cuenca del Colorado

A diferencia de la cuenca del Lontué, en el Colorado el monto de precipitaciones no presenta una determinada tendencia, ya que si bien existe una disminución en los valores para el segundo período (1971 – 1994), éstos aumentan en el tercero (1971 – 2004), cosa que no se da para la cuenca anterior.

Los caudales en los meses de deshielo (Tabla 14), es decir, los meses de septiembre a Enero, se comportan de la misma forma que en la cuenca del Lontué. Así y con la sola excepción del mes de Noviembre, todos estos meses experimentan un aumento en el período 3, luego de la baja sufrida en el segundo período.

7.5.- Análisis de las tendencias de las precipitaciones y caudales, a través de Promedios Móviles.

Otra de las metodologías propuestas para observar las tendencias de las variables en estudio, es el cálculo de los Promedios Móviles. Según Araya (2003), el método de Promedios Móviles tiene por objetivo la suavización de los datos y la eliminación del efecto de la variación aleatoria, transformando la serie original en una nueva, sujeta a menos oscilaciones rápidas y susceptible para inferir alguna tendencia en el tiempo.

Luego, con respecto a las comparaciones realizadas entre los distintos períodos y para la totalidad de los meses (ver apéndice 3), puede señalarse en primer lugar que existe una tendencia negativa para las precipitaciones, y una positiva para los caudales, en función del tiempo. Sin embargo, al igual que los resultados expuestos por la función de Gumbel, estas tendencias son cuestionables, ya que no son significativas.

7.4.- Análisis del comportamiento de las precipitaciones y de los caudales.

La tendencia manifestada por los datos para cada cuenca, se muestran a través de los gráficos 3 y 4, en donde se graficó el coeficiente PP/Q en función del tiempo, el cual expresa la proporcionalidad que existe entre las precipitaciones y caudales para una misma cuenca. En dichos gráficos se observa que los valores del coeficiente PP/Q tienden a disminuir en función del tiempo, lo que se podría deber a dos posibilidades; primero: las precipitaciones han disminuido y los caudales se han mantenido o bien las precipitaciones se han mantenido y los caudales han aumentado. En este último caso se podría especular que existen aportes provenientes de retroceso glaciar.

Es por lo anterior que fue necesario observar la relación entre el coeficiente PP/Q y las precipitaciones, lo cual se aprecia en los gráficos 5 y 6, en donde se observa que el coeficiente PP/Q aumenta a medida que aumentan las precipitaciones. A partir de esto y con la ayuda de los gráficos 1 y 2, en donde se muestran las variaciones temporales, se

puede deducir que las precipitaciones han tendido a disminuir con el tiempo, mientras que los caudales se han mantenido, lo cual estaría indicando que existe otro origen de aportación distinto a las precipitaciones.

Gráfico 5. Gráfica coeficiente (P/Q) v/s Precipitaciones (P), para la cuenca del Lontué.

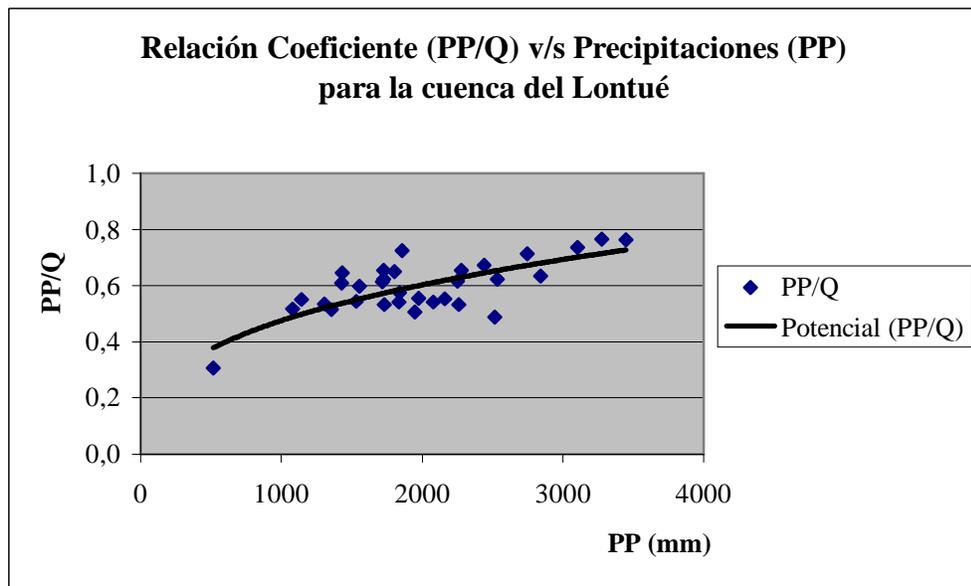
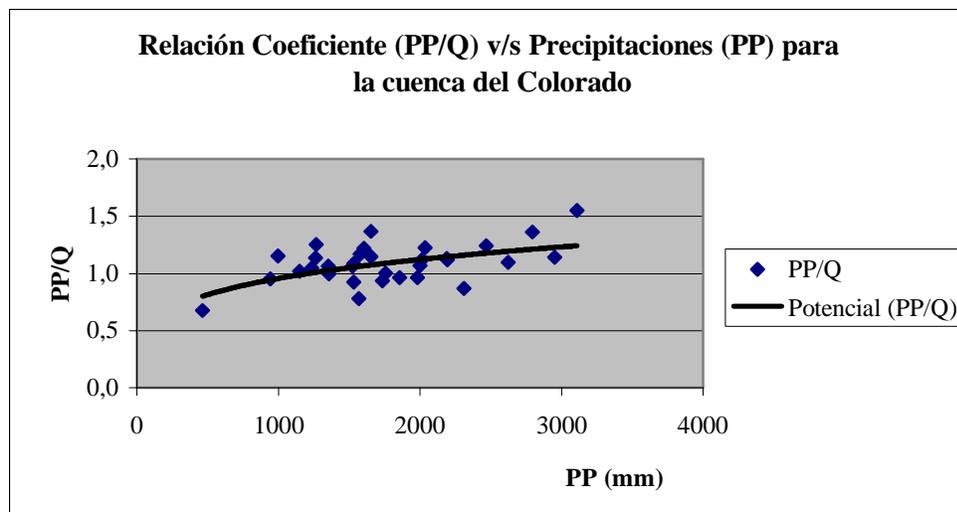


Gráfico 6. Gráfica coeficiente (P/Q) v/s Precipitaciones (P), para la cuenca del Colorado.



Como se puede observar en ambas cuencas, la relación expresada por el coeficiente PP/Q y las precipitaciones, es la que normalmente se espera, es decir, que a mayor precipitación, mayor es el valor de la relación PP/Q . Así mismo, se puede apreciar en el gráfico que expresa dicha relación para la cuenca del colorado, que este coeficiente presenta valores mayores a uno, lo cual se debe a la inexistencia de una buena red de precipitaciones.

En síntesis, se aprecia que las precipitaciones han tenido a disminuir en el tiempo y los caudales a mantenerse, lo cual señala que no se mantiene una tendencia equivalente. Como se sabe que las precipitaciones han tendido a disminuir debiera darse la lógica que los caudales también disminuyesen, lo cual no es así.

Por otra parte, el coeficiente PP/Q tiende a la baja con el tiempo, lo cual acusa claramente que son los caudales los que se mantienen en un valor que no se corresponde con la baja de las precipitaciones. En el mismo contexto, la relación PP/Q en función de las precipitaciones, se comportan de forma creciente, es decir a mayores precipitaciones, la relación PP/Q aumenta, lo cual señala que el componente caudal aumenta al incrementarse las precipitaciones.

Por lo tanto, si las precipitaciones disminuyesen, PP/Q podría disminuir como producto del comportamiento natural de ambas variables, o por, la presencia de algún factor exógeno que mantenga el nivel del caudal, como el deshielo glaciar.

8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1.- Conclusiones

De acuerdo a los resultados y análisis obtenidos en este estudio en la cuenca del Lontué, es posible concluir lo siguiente:

- Debido a la gran variabilidad de los datos obtenidos se puede concluir que se hace necesario el establecimiento de un mayor número de estaciones meteorológicas en las zonas cordilleranas altas a fin de corregir dicha variabilidad y obtener datos que entreguen una mayor precisión y confiabilidad.
- Los modelos precipitación-escorrentía analizados en esta memoria (Budyko, Turc-Pike y Pizarro) no ajustaron a los datos originados por este estudio, y por tanto no pudieron ser utilizados para inferir comportamientos relativos a los caudales en el tiempo.
- A partir del presente estudio y de la función de distribución de probabilidad, se puede señalar que sería posible que las precipitaciones sigan disminuyendo a través del tiempo, mientras que los caudales se seguirían manteniendo e inclusive podrían aumentar.
- En todos los análisis se observa que los datos son influenciados por un período de disminución en sus valores. Este período es el 2, el cual corresponde para caudales a los años 1967 a 1994 y para las precipitaciones a los años 1971 a 1994, reflejando así el comportamiento de las variables para la década de los 90, década que es considerada como seca.

- Existe una tendencia positiva en el aumento de los caudales y una negativa para las precipitaciones. Esto se pudo concluir a través de los resultados del análisis del coeficiente PP/Q en función del tiempo y de las precipitaciones, asociado al comportamiento temporal de las variables en estudio.
- En general, entre las cuencas de Lontué y la del Colorado existe una gran diferencia en superficie. Sin embargo, esta diferencia no se refleja en las tendencias, ya que estas se repiten para ambas cuencas.
- Finalmente, cabe señalar que existe un aporte en los caudales, el cual sería de origen externo a las precipitaciones. A partir de ello se podría inferir que estos aportes serían de origen glaciar.

8.2.- Recomendaciones

Las recomendaciones que surgen para nuevos estudios similares o relacionados con este son las siguientes:

- En primer lugar, se recomienda que para un estudio de estas características se cuente con estaciones que contengan series de datos más largas, para el cálculo de las variables en estudio. Es decir, que estas estaciones requieran la mínima intervención para su completación, y así poder visualizar de mejor manera el comportamiento de las variables en estudio.
- Se sugiere que las series de datos sean ajustadas a otras funciones de distribución de probabilidad para que sean comparables, y de esta manera visualizar mejor alguna conclusión.

- Por último, se recomienda que este estudio sea complementado con otros para incentivar la preocupación que existe con la pérdida y mal manejo del recurso agua a lo largo de todo el país producto del retroceso glaciario de los últimos años.

9.- BIBLIOGRAFÍA

Aparicio, F. 2003. Fundamentos de hidrología de superficie. 11a ed. México. Editorial Limusa. 303 p.

Araya, S. 2003. Análisis de la variación temporal de los caudales punta instantáneos en la cuenca del río Purapel, VII Región del Maule. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. 112 p.

Ausensi, P. 2005. Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. 111 p.

B.C.N. 2003. Biblioteca del Congreso Nacional. Información regional: Sus Regiones. Consultado 15 mar. 2005. Disponible en <http://www.bcn.cl/index2.html>.

Black, P. 1991. Watershed hydrology. Ney Jersey, Estados Unidos. Prentice Hall. 408p.

Bown, F. 2004. Cambios climáticos en la Región de Los Lagos y respuestas recientes del glaciar Casa Pangue (41°08'S). Tesis para optar al grado de Magíster en Geografía. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 131 p.

Canavos, G. 1995. Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana. México. 319 p.

Casassa, G. 1995. Glacier inventory in Chile: current status and recent glacier variations. *Annals of Glaciology*, 21, 317-322.

CECs (Centro de estudios científicos, Chile). 2003. Glaciología y cambio climático. (en línea). Valdivia, Chile. Consultado 20 set. 2004. Disponible en http://www.cecs.cl/esp/esp_news2003.html

Chow, V. 1998. Hidrología aplicada. Fundamentos de hidrología de superficie. Bogotá. Editorial McGraw-Hill. 583 p.

DGA (Dirección General de Aguas, Chile). 1999. Política nacional de recursos hídricos. (en línea). Santiago, Chile. Consultado 3 oct. 2004. Disponible en http://www.dga.cl/secuencias/politica/Politica_Recursos_Hidricos.pdf.

DGA (Dirección General de Aguas, Chile). 2004. Centro documental. Diagnostico y clasificación de los cursos de agua según objetivos de calidad, Cuenca del río Mataquito. Consultado 5 may. 2005. Disponible en <http://www.dga.cl/index.php?option=content&task=section&id=31&Itemid=354>

Ellsaesser, H. 1984. The climate effect of CO₂ : A different view. *Atmospheric Environment*, 18 (2), 431 – 434.

Fernández, F. 1995. Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación. 1ª ed. Madrid, España. Editorial Síntesis. 285 p.

Heras, R. 1985. Recursos hidráulicos; síntesis, metodología y normas. Cooperativa de publicaciones del colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. España. 360 p.

I.N.E. (Instituto Nacional de Estadísticas). 2002. Cence 2002. Síntesis de resultados (en línea). Consultado 22 set. 2004. Disponible en <http://www.ine.cl/cd2002/sintesiscensal.pdf>.

López, F. 1998. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Ingeniería Ambiental. Tragsa; Tragsatec; Ministerio del Medio Ambiente; Mundi-prensa. Madrid. España. 851 p.

Mintegui, J.; Robredo, J. 1993. Métodos para la estimación de los efectos torrenciales en una cuenca hidrográfica. Madrid. España. Editorial Prentice-Hall. 88 p.

Monsalve, G. 1999. Hidrología en la ingeniería. 2a ed. México. Editorial Alfaomega. 382 p.
Pizarro, R. 1996. Análisis comparativo de modelos matemáticos precipitación-escorrentía en cuencas de España peninsular. Tesis Doctoral. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S. de Ing. De Montes. 270 p.

Pizarro, R. 1996. Elementos técnicos de hidrología. La Serena, Chile. CONAF. 57 p.

Ramírez, C. 1998. Análisis comparativo de los modelos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. 78 p.

Remenieras, G. 1971. Tratado de Hidrología Aplicada. Primera edición española. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona. España.

Ribstein, P.; Francou, B. 1991. Glaciología e hidrología de glaciares en la Cordillera Real de Bolivia. (en línea). Consultado 22 set. 2004. Disponible en http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_veterinarias_y_pecuarias/simposio1993/02areaclimayrecurso/21.html

Rignot, E.; Rivera, A.; Casassa, G. (2003). Contribution of the Patagonia icefields of South America to global sea level rise. (en línea). Science, 302: 434-437. Consultado 22 set. 2004. Disponible en <http://www.glaciologia.cl/>

Rivera, A; Casassa, G.; Acuña, C.; Lange, H. 2000. Variaciones recientes de glaciares en Chile. Revista de Investigaciones Geográficas, 34, 29-60.

Rosenbluth, B; Fuenzalida H.; Aceituno, P. 1997. Recent temperature variations in southern South America. International Journal of Climatology 17, 67-85.

Sandoval, C. 2000. Análisis comparativo de los modelos precipitación-escorrentía de Grunsky, Peñuelas, Coutagne y Turc, en la cuenca del río Achibueno y en la cuenca del río Purapel, VII Región. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. 78 p.

Tobar, M. 2000. Evaluación de tres modelos (Budyko, Turc-Pike, Pizarro) precipitación-escorrentía, en la cuenca del río Purapel, VII Región Chile. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. 83 p.

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Chile). 1982. Guía para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Oficina regional de ciencia y tecnología para América Latina y el Caribe, Rostlac. Montevideo. Uruguay. 130 p.

Universidad de Chile.1999. Recursos hídricos. In Informe País: estado del medio ambiente en Chile 1998. Santiago, Chile. LOM Ediciones. 75-117 p.