



UNIVERSIDAD DE TALCA
Facultad de Ciencias Forestales
Escuela de Ingeniería Forestal

**ANALISIS DE LAS ESCORRENTIAS MENSUALES Y
ANUALES DE LA CUECA DEL MAIPO Y LA POTENCIAL
INFLUENCIA GLACIAL EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA**

CYNTHIA PAOLA CABRERA JOFRÉ

Memoria para optar al título de:
INGENIERO FORESTAL

PROFESOR GUÍA: DR. ING. ROBERTO PIZARRO TAPIA

TALCA – CHILE
2008

RESUMEN

En la presente memoria se pretende inferir en la tendencia del comportamiento de las variables precipitación y caudal en las últimas 4 décadas para la cuenca del Río Maipo, ubicada en la Región Metropolitana de Chile.

Para ello se consideraron cinco 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 dos estaciones fluviométricas. También se utilizaron los datos de cinco estaciones fluviométricas adicionales. Cabe señalar que dichos registros fluviométricos y pluviométricos fueron facilitados por la Dirección General de Aguas, Región Metropolitana.

Luego, para el análisis del comportamiento de las variables en estudio y a partir de la información obtenida, se utilizaron diferentes herramientas, tales como la función de distribución de probabilidad de Gumbel, cálculo de promedios móviles, Coeficiente PP/Q (el cual expresa la proporcionalidad existente entre la precipitación y el caudal) y Coeficiente Q/PP.

Para la realización de este estudio se analizaron dos subcuencas; El Colorado (1.710 Km²) y la del Maipo Alto (3.521,52 Km²).

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

SUMMARY

The present report is intended to infer the trend in the behavior of precipitation and flow variables in the past 4 decades for the Maipo River basin, basin that is located in the Region Metropolitana of Chile.

It felt 5 rainfall stations which handed records monthly and annual rainfall (mm) where, after completing the missing data at each station were estimated rainfall averages areas through the method of Polygons Thiessen. For their part, the average monthly and annual flows were extracted from the records of 2 seasons guage. It was also used data from 5 additional stations guage. It should be noted that these fluviométricos and rainfall records were provided by the General Directorate of Water, Region Metropolitana.

Then, for analyzing the behavior of the variables under study and from information obtained is used different tools, among which include the probability distribution function of Gumbel, calculating moving averages, Coefficient PP/Q (which expresses the proportionality between precipitation and flow) and coefficient Q/PP.

To achieve this study were analyzed two sub; El Colorado (1,710 km²) and the Maipo Alto (3.521,52 km²).

Thus, it was possible to determine that the basin Maipo there is a trend towards decreased rainfall and increased flows in summer periods, so it could be inferred that such flows are influenced by the melting glacier.

ÍNDICE

	Páginas
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivo específico.....	3
3. ANTECEDENTES GENERALES.....	4
Antecedentes generales de la Región Metropolitana.....	4
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	9
4.1. Retroceso Glaciar.....	9
4.1.1. Calentamiento Global.....	10
4.1.2. Fenómeno El Niño.....	11
4.2. Análisis Estadístico de las Variables Hidrológicas.....	12
4.2.1. Pruebas de Bondad de Ajuste.....	13
4.2.1.1. Kolmogorov – Smirnov.....	14
4.2.1.2. Coeficiente de Determinación R^2	14
4.3. Algunos Estudios de la misma línea.....	15
4.3.1. Variaciones recientes de glaciares en la cuenca Aconcagua.....	15
4.3.2. Volcanes activos en el sur de Chile, por efecto en los cambios volumétricas en los glaciares.....	15
4.3.3. Modelación de los impactos del cambio climático en los glaciares.....	16
5. METODOLOGÍA.....	17
5.1. Materiales.....	17
5.2. Pasos Metodológicos.....	17

5.2.1. Revisión bibliográfica.....	17
5.2.2. Captura de datos.....	16
5.2.3. Completación de datos faltantes.....	18
5.2.4. Estimación de precipitaciones areales medias.....	19
5.2.5. Ajuste de la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel, para las precipitaciones y caudales a nivel mensual y anual.....	19
5.2.6. Cálculo de la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel.....	20
5.2.7. Análisis del comportamiento de las precipitaciones y de los caudales.....	21
5.2.8. Presentación de resultados.....	22
5.2.9. Análisis y discusión de resultados.....	22
6. RESULTADOS.....	23
6.1. Completación de datos faltantes.....	23
6.1.1. Completación de caudales mensuales.....	23
a) Estación Río Colorado antes junta Río Maipo.....	24
b) Estación Río Maipo en El Manzano.....	25
c) Estación Río Maipo en San Alfonso.....	26
d) Estación Río Colorado antes junta Río Olivares.....	28
e) Estación Río Maipo en Las Hualtatas.....	29
.f) Estación Río Olivares antes junta Río Colorado.....	31
g) Estación Río Volcán en Los Queltehues.....	32
6.1.2. Completación de precipitaciones mensuales.....	34
a) Estación El Yeso Embalse.....	34
b) Estación San José de Maipo Retén.....	36
c) Estación San Gabriel.....	37
d) Estación Maitenes Bocatoma.....	39
e) Estación La Obra (Recinto EMOS).....	40
6.2. Estimación de precipitaciones medias areales.....	42
6.2.1. Método de los Polígonos de Thiessen.....	42
6.2.1.1. Precipitaciones medias areales para la	

subcuenca El Colorado.....	44
6.2.1.2. Precipitaciones medias areales para la subcuenca del Maipo Alto.....	45
6.3. Comparación interperíodos de valores medios, mensuales y anuales.....	46
6.3.1. Comparación de precipitación.....	46
a) Subcuenca El Colorado.....	46
b) Subcuenca del Maipo Alto.....	48
6.3.2. Comparación de caudales.....	49
a) Subcuenca El Colorado.....	49
b) Subcuenca del Maipo Alto.....	50
6.4. Ajuste de la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel, a nivel mensual y anual.....	52
6.4.1. Ajuste de Gumbel para las precipitaciones.....	52
6.4.1.1. Funciones ajustadas.....	52
a) Subcuenca El Colorado.....	52
b) Subcuenca del Maipo Alto.....	53
6.4.1.2. Calidad de los ajustes.....	53
a) Subcuenca El Colorado.....	53
b) Subcuenca del Maipo Alto.....	54
6.4.1.3. Cálculo de probabilidades por mes y año, asociadas a cada período en estudio.....	55
6.4.2. Ajuste de Gumbel para los caudales.....	57
6.4.2.1. Funciones ajustadas.....	57
a) Subcuenca El Colorado.....	57
b) Subcuenca del Maipo Alto.....	58
6.4.2.2. Calidad de los ajustes.....	58
a) Subcuenca El Colorado.....	58
b) Subcuenca del Maipo Alto.....	59
6.4.2.3. Cálculo de probabilidades por mes y año, asociadas a cada período en estudio.....	60
6.5. Comportamiento de las precipitaciones y los caudales.....	61
6.5.1. Variación temporal de las precipitaciones y caudales.....	61

6.5.2. Comportamiento de la relación PP/Q a nivel anual y mensual.....	64
a) Mes de mayo.....	65
b) Mes de junio.....	67
c) Mes de julio.....	69
d) Mes de diciembre.....	71
e) Mes de enero.....	73
f) Mes de febrero.....	75
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	78
7.1. Completación de datos faltantes.....	78
7.2. Estimación de precipitaciones medias areales por Polígonos de Thiessen.....	78
7.3. Ajuste de la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel a las variables precipitación y caudal.....	79
7.4. Análisis de las tendencias de las precipitaciones y caudales, a través de promedios móviles y tendencias.....	80
7.5. Análisis del comportamiento de las precipitaciones y caudales.....	81
a) Meses húmedos.....	83
b) Meses secos.....	86
7.6. Análisis del coeficiente de escorrentía en el tiempo.....	89
a) Meses húmedos.....	89
b) Meses secos.....	91
7.7. Análisis del coeficiente de escorrentía en relación a las precipitaciones.....	93
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
8.1. Conclusiones.....	95
8.2. Recomendaciones.....	96
9. BIBLIOGRAFÍA.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla N° 1. Caudales mensuales Estación Río Colorado antes junta Río Maipo (m ³ /s).....	24
Tabla N° 2. Caudales mensuales Estación Río Maipo en El Manzano (m ³ /s).....	25
Tabla N° 3. Caudales mensuales Estación Río Maipo en San Alfonso (m ³ /s).....	27
Tabla N° 4. Caudales mensuales Estación Río Colorado antes junta Río Olivares (m ³ /s).....	28
Tabla N° 5. Caudales mensuales Estación Río Maipo en Las Hualtatas (m ³ /s).....	30
Tabla N° 6. Caudales mensuales Estación Río Olivares antes junta Río Colorado (m ³ /s).....	31
Tabla N° 7. Caudales mensuales Estación Río Volcán en Los Queltehues (m ³ /s).....	33
Tabla N° 8. Precipitaciones mensuales Estación El Yeso Embalse (mm)....	35
Tabla N° 9. Precipitaciones mensuales Estación San José de Maipo Retén (mm).....	36
Tabla N° 10. Precipitaciones mensuales Estación San Gabriel (mm).....	38
Tabla N° 11. Precipitaciones mensuales Estación Maitenes Bocatoma (mm).....	39
Tabla N° 12. Precipitaciones mensuales Estación La Obra Recinto EMOS (mm).....	41
Tabla N° 13. Superficies abarcadas a través de Polígonos de Thiessen para la subcuenca El Colorado.....	42
Tabla N° 14. Superficies abarcadas a través de Polígonos de Thiessen para la subcuenca del Maipo Alto.....	43
Tabla N° 15. Precipitaciones Medias Areales para la subcuenca El	

Colorado.....	44
Tabla N° 16. Precipitaciones Medias Areales para la subcuenca del Maipo Alto.....	45
Tabla N° 17. Valores promedio de precipitación para los distintos períodos analizados, subcuenca El Colorado	46
Tabla N° 18. Comparación de los valores medios en proporción y con respecto al período 1963-1976 para El Colorado.....	47
Tabla N° 19. Valores promedio de precipitación para los distintos periodos analizados, subcuenca del Maipo Alto	48
Tabla N° 20. Comparación de los valores medios en proporción y con respecto al período 1963-1976 para Maipo Alto.....	48
Tabla N° 21. Valores promedio, para la variable caudal de la subcuenca El Colorado.....	49
Tabla N° 22. Comparación de los valores medios en proporción y con respecto al período 1963-1976 para El Colorado.....	50
Tabla N° 23. Valores promedio, para la variable caudal de la subcuenca del Maipo alto.....	50
Tabla N° 24. Comparación de los valores medios en proporción y con respecto al período 1963-1976 para Maipo alto.....	51
Tabla N° 25. Valores de los parámetros de precipitación para la Subcuenca El Colorado.....	52
Tabla N° 26. Valores de los parámetros de precipitación para la Subcuenca del Maipo Alto.....	53
Tabla N° 27. Coeficientes de Determinación (R^2), subcuenca El Colorado.....	53
Tabla N° 28. Valores de Kolmogorov-Smirnov, subcuenca El Colorado.....	54
Tabla N° 29. Coeficientes de Determinación (R^2), subcuenca del Maipo Alto.....	54
Tabla N° 30. Valores de Kolmogorov-Smirnov, subcuenca del Maipo Alto.....	55
Tabla N° 31. Función de Gumbel para la subcuenca El Colorado, mensual y anual, para precipitación ($T=50$).....	56

Tabla N° 32. Función de Gumbel para la subcuenca del Maipo Alto, mensual y anual, para precipitación (T=50).....	56
Tabla N° 33. Valores de los parámetros de caudal para la Subcuenca El Colorado.....	57
Tabla N° 34. Valores de los parámetros de caudal para la Subcuenca del Maipo Alto.....	58
Tabla N° 35. Coeficientes de Determinación (R^2), subcuenca El Colorado.....	58
Tabla N° 36. Valores de Kolmogorov-Smirnov, subcuenca El Colorado.....	59
Tabla N° 37. Coeficientes de Determinación (R^2), subcuenca del Maipo Alto.....	59
Tabla N° 38. Valores de Kolmogorov-Smirnov, subcuenca del Maipo Alto.....	60
Tabla N° 39. Función de Gumbel para la subcuenca El Colorado, mensual y anual, para caudal (T=50).....	60
Tabla N° 40. Función de Gumbel para la subcuenca del Maipo Alto, mensual y anual, para caudal (T=50).....	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Páginas
Gráfico N° 1. Gráfica de la variación temporal de la subcuenca El Colorado.....	62
Gráfico N° 2. Gráfica de la variación temporal de la subcuenca del Maipo Alto.....	63
Gráfico N° 3. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Mayo, subcuenca El Colorado.....	65
Gráfico N° 4. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Mayo, subcuenca del Maipo Alto.....	66
Gráfico N° 5. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Junio, subcuenca El Colorado.....	67
Gráfico N° 6. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Junio, subcuenca del Maipo Alto.....	68
Gráfico N° 7. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Julio, subcuenca El Colorado.....	69
Gráfico N° 8. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Julio, subcuenca del Maipo Alto.....	70
Gráfico N° 9. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Diciembre, subcuenca El Colorado.....	71
Gráfico N° 10. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Diciembre, subcuenca del Maipo Alto.....	72
Gráfico N° 11. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Enero, subcuenca El Colorado.....	73
Gráfico N° 12. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Enero, subcuenca del Maipo Alto.....	74
Gráfico N° 13. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Febrero, subcuenca El Colorado.....	75
Gráfico N° 14. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de	

Febrero, subcuenca del Maipo Alto.....	76
Gráfico N° 15. Comportamiento de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca El Colorado.....	81
Gráfico N° 16. Comportamiento de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca del Maipo Alto.....	82
Gráfico N° 17. Comportamiento en los meses de mayo de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca El Colorado.....	83
Gráfico N° 18. Comportamiento en los meses de junio de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca El Colorado.....	84
Gráfico N° 19. Comportamiento en los meses de mayo de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca Maipo Alto.....	85
Gráfico N° 20. Comportamiento en los meses de junio de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca Maipo Alto.....	85
Gráfico N° 21. Comportamiento en los meses de diciembre de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca El Colorado.....	86
Gráfico N° 22. . Comportamiento en los meses de enero de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca El Colorado.....	87
Gráfico N° 23. Comportamiento en los meses de diciembre de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca Maipo Alto.....	88
Gráfico N° 24. Comportamiento en los meses de enero de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca Maipo Alto.....	88
Gráfico N° 25. Comportamiento de Q/PP en los meses húmedos, para la subcuenca El Colorado.....	89
Gráfico N° 26. Comportamiento de Q/PP en los meses húmedos, para la subcuenca del Maipo Alto.....	90
Gráfico N° 27. Comportamiento de Q/PP en los meses secos, para la subcuenca El Colorado.....	91
Gráfico N° 28. Comportamiento de Q/PP en los meses secos, para la subcuenca del Maipo Alto.....	92
Gráfico N° 29. Comportamiento del coeficiente (Q/PP) con respecto a las precipitaciones, para la subcuenca El Colorado.....	93
Gráfico N° 30. Comportamiento del coeficiente (Q/PP) con respecto a las precipitaciones, para la subcuenca del Maipo Alto.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura Nº 1. Ubicación de la Región Metropolitana de Chile.....	6
Figura Nº 2. Ubicación de Estaciones Fluviométricas.....	7
Figura Nº 3. Ubicación de Estaciones Pluviométricas.....	8

ÍNDICE DE APÉNDICES

Páginas

Apéndice I.

Datos precipitación y caudal para subcuenca del Maipo Alto.....	102
Datos precipitación y caudal para subcuenca El Colorado.....	103

Apéndice II

Análisis gráfico de los caudales a través de los promedios móviles de la estación Río Colorado antes junta Río Maipo correspondiente a la subcuenca El Colorado.....	104
Análisis gráfico de los caudales a través de los promedios móviles de la estación Río Olivares antes junta Río Colorado.....	111
Análisis gráfico de los caudales a través de los promedios móviles de la estación Río Colorado antes junta Río Olivares.....	118
Análisis gráfico de los caudales a través de los promedios móviles de la estación Río Maipo en San Alfonso	125
Análisis gráfico de los caudales a través de los promedios móviles de la estación Río Maipo en El Manzano, correspondiente a la subcuenca del Maipo Alto.....	132
Análisis gráfico de los caudales a través de los promedios móviles de la estación Río Volcán en Los Queltehues	139
Análisis gráfico de los caudales a través de los promedios móviles de la estación Río Maipo en Las Hualtatas	146

Apéndice III

Comportamiento PP/Q a través del tiempo para la subcuenca El Colorado.....	153
Comportamiento PP/Q a través del tiempo para la subcuenca del Maipo Alto.....	154

Comportamiento Q/PP a través del tiempo para la subcuenca El Colorado.....	155
Comportamiento Q/PP a través del tiempo para la subcuenca del Maipo Alto.....	156

1. INTRODUCCIÓN

La aparente abundancia del agua en el mundo ha dado la impresión, en el pasado, de que se trataba de un bien inagotable y no vulnerable, además de ser un bien de uso barato. Todo ello ha conducido a un uso abusivo del recurso, en donde es necesario aplicar criterios eficientes de gestión (Informe País, 2006).

El agua dulce, se encuentra ubicada dentro de los recursos naturales más escasos. Chile manifiesta un severo déficit de agua en el norte del país, a pesar de ser considerado en América Latina, uno de los países con altos volúmenes de agua disponible por día (D.G.A., 1999).

Por otra parte, la mayor parte de los glaciares en Chile Meridional, han mostrado importantes retrocesos en las décadas recientes, teóricamente en respuesta al cambio climático, haciendo cada vez más importante el estudio de la potencial influencia glacial en las diferentes cuencas del país y particularmente en la producción de agua (Rivera *et al.*, 2000).

Las últimas investigaciones científicas, han demostrado que la velocidad del derretimiento de los glaciares se ha incrementado en las últimas décadas. De esta manera, se piensa que el retroceso glacial está asociado al cambio climático, y este proceso genera un aumento en la magnitud de los caudales (Rignot *et al.*, 2003).

En este contexto, el presente estudio pretende establecer si el retroceso glacial ha influido en los caudales, mediante un análisis del comportamiento de las relaciones precipitación-escorrentía en la cuenca del río Maipo, ubicada al sureste de la Región Metropolitana de Chile. Esto se

realizará a través del análisis de las variables caudal y precipitación, bajo criterios estadísticos y matemáticos.

2. OBJETIVOS

Objetivo General

Establecer el nivel de influencia del retroceso glaciar, en la producción de agua de la cuenca del Maipo.

Objetivo Específico

Caracterizar y contrastar el comportamiento temporal de las precipitaciones y de los caudales promedio mensuales, en las subcuencas del Colorado y del Maipo Alto, en la Región Metropolitana de Chile.

3. ANTECEDENTES GENERALES

3.1. Antecedentes generales de la Región Metropolitana

La zona de estudio que aborda esta memoria, se encuentra ubicada en la Región Metropolitana de Santiago, específicamente en la parte alta de la cuenca del río Maipo.

De acuerdo al censo 2002 (I.N.E., 2002), la Región Metropolitana de Santiago posee una población que alcanza los 6.061.185 habitantes, distribuidos en una superficie total de 15.403,2 Km². De la población total, un 96,9% corresponde a población urbana. La Región Metropolitana, que contiene a la ciudad de Santiago, capital de la República, se extiende entre los 32° 55´ y los 34° 19´ de latitud sur, y entre los 69° 46´ y 71° 43´ de longitud oeste. Limita al norte y oeste con la Región de Valparaíso, al este con Argentina y al sur con la Región del Libertador General Bernardo O´Higgins. A su vez, la Región Metropolitana representa el 2,05 % del territorio nacional (excluido el territorio Chileno Antártico). En superficie, la Región Metropolitana de Santiago es la más pequeña del país, aunque presenta la mayor densidad poblacional, con 393,5 habitantes por Km².

La principal hoya hidrográfica de esta región es la del río Maipo y sus tributarios. Es de origen mixto, ya que sus aguas provienen tanto de las precipitaciones de invierno como de los deshielos. Posee una cuenca que drena unos 15.380 Km² y su caudal promedio es de 92,3 m³ por segundo.

El Maipo tiene sus orígenes en la Cordillera de los Andes, específicamente, en la confluencia de los ríos Cruz de Piedra, Alvarado y

Argüelles. El río Maipo recibe en la cordillera tres grandes tributarios, como lo son los ríos Volcán, Colorado y Yeso. La cuenca de Santiago recibe por el norte las aguas de otro afluente, el río Mapocho, que drena la cuenca que atraviesa la ciudad de Santiago. En el curso inferior su principal tributario es el estero Puangue, de origen pluvial, por lo que su aporte de aguas se produce en invierno. El curso medio del río Maipo recibe los ríos Clarillo y Angostura. Finalmente, tras un recorrido de 250 kilómetros, las aguas del Maipo van a desembocar en el Pacífico, a la altura de la localidad de Lolleo (D.G.A., 2004).

El clima de esta región es templado cálido, del tipo continental. Esta última característica está acentuada porque la Cordillera de la Costa actúa como biombo climático, impidiendo que la influencia marina actúe como moderadora climática.

Este clima se caracteriza por un irregular régimen de precipitaciones, que se concentran en los meses de otoño e invierno, con un promedio anual de 384 mm. También presenta un verano seco, con temperaturas que en ocasiones sobrepasan los 30° C.

Las estaciones que se han necesitado para el presente estudio están a cargo de la Dirección General de Aguas y éstas corresponden a las estaciones pluviométricas El Yeso Embalse, San José de Maipo Retén, San Gabriel, Maitenes Bocatoma y la Obra recinto EMOS. Las estaciones fluviométricas son Río Colorado antes junta Río Maipo, Río Maipo en el Manzano, Río Maipo en San Alfonso, Río Colorado antes junta Río Olivares, Río Maipo en las Hualtatas, Río Olivares antes junta Río Colorado y Río Volcán en Queltehues.

3.2. Ubicación de la Región Metropolitana de Chile

Figura N° 1

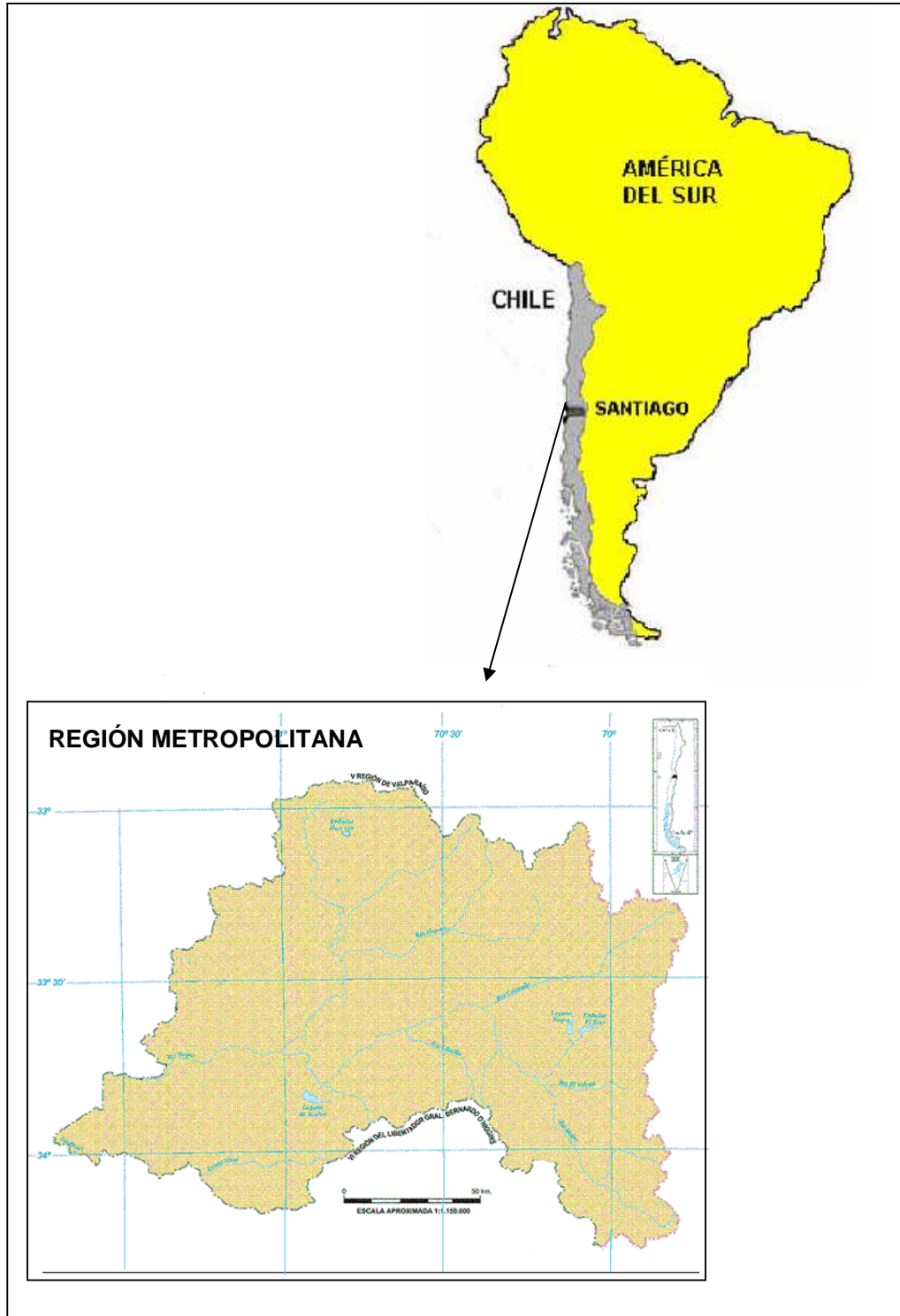
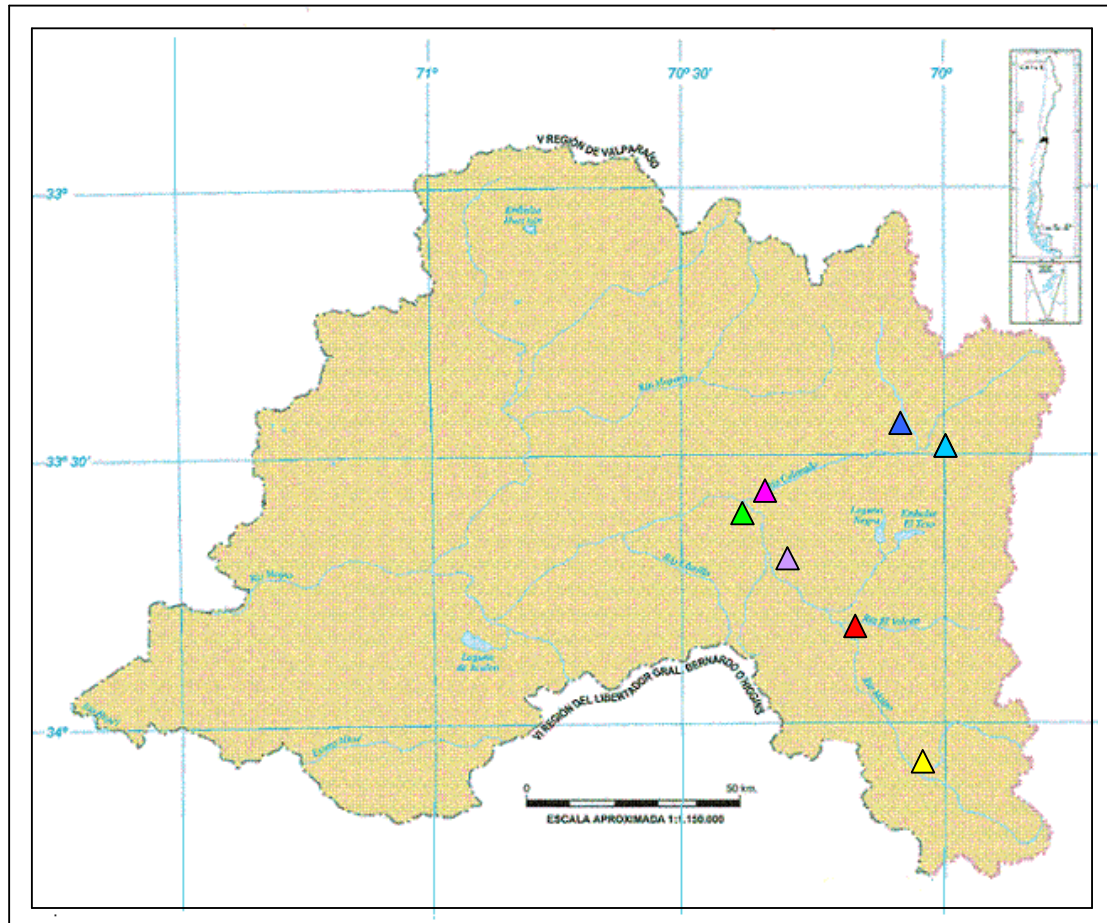


Figura N° 2. Mapa Ubicación Estaciones Fluviométricas.



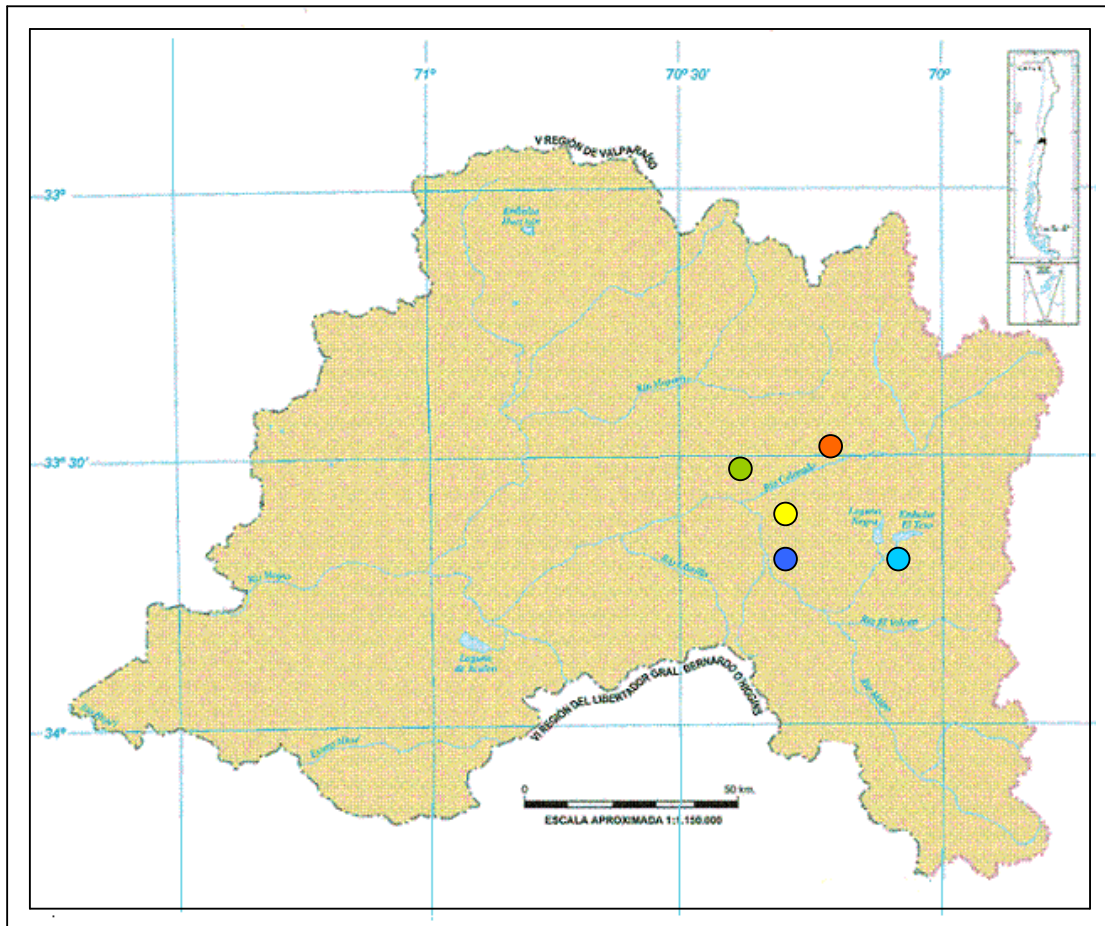
Leyenda

-  Estación Río Colorado antes junta Río Maipo
-  Estación Río Maipo en El Manzano
-  Estación Río Olivares antes junta Río Colorado
-  Estación Río Colorado antes junta Río Olivares
-  Estación Río Volcán en Los Queltehues
-  Estación Río Maipo en Las Hualtatas
-  Estación Río Maipo en San Alfonso

NORTE



Figura N° 2. Mapa Ubicación Estaciones Pluviométricas.



Leyenda

- Estación El Yeso Embalse
- Estación Maitenes Bocatoma
- Estación La Obra (Recinto EMOS)
- Estación San Gabriel
- Estación San José de Maipo Retén

NORTE



4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. Retroceso Glaciar

El retroceso glaciar se conoce como el ascenso de la línea inferior de las nieves persistentes de alta montaña, hecho que se verifica a una mayor altitud, hasta que dicha línea desaparece por completo en muchos casos, como consecuencia del deshielo o fusión glaciar. El retroceso glaciar generalizado se debe aparentemente a un balance de masa negativo, controlado en primer lugar por el aumento de las temperaturas y, en segundo lugar, por la distribución espacial y temporal de las precipitaciones (Pillaca, 1995).

En Chile, también se ha podido apreciar a través de distintas investigaciones, la disminución de la masa glaciar.

Ribstein y Francou (1991), en un estudio que analizó una serie de 20 años de escurrimiento glaciar, observaron que los escurrimientos más fuertes, se asocian a la corriente del Niño, hecho que se verificó principalmente en los años 1982, 1987 y 1991, tendiendo a vincular fuertemente el retroceso glaciar a la presencia de esta corriente.

El Campo de Hielo Norte (CHN), ubicado entre los 47° 00' latitud sur y 73° 30' longitud oeste, con una superficie aproximada de 4000 km² de hielo, distribuidos principalmente en 70 glaciares (*Rivera et al.*, 2007), muestra una marcada tendencia de retroceso desde el año 1945, cuando fueron tomadas las primeras fotografías aéreas de estas latitudes. En particular destacan los retrocesos de los Glaciares San Rafael y San Quintín.

En Chile central, el número y superficie de glaciares es superior al de la zona sur debido a las mayores precipitaciones y alturas de la cordillera de los Andes que superan los 6.000 m. En las cuencas de los ríos Aconcagua, Maipo, Cachapoal y Tinguiririca, donde vive cerca del 55 por ciento de la población nacional, la superficie de glaciares supera los 900 Km², distribuidos en más de 1.320 glaciares. Los glaciares son una de las principales reservas estratégicas para el abastecimiento de agua potable de la población (*Rivera et al.*,2000).

Otra zona importante de glaciares, corresponde a Campo de Hielo Sur (CHS), ubicado entre los 48°20' y 51°30' de latitud sur, la cual es la mayor superficie continua de Hielo en Sud América, con aproximadamente 13.000 km² de hielo a lo largo de unos 350 Km de Norte a Sur. Su tendencia general ha sido también de retroceso, tal como ha ocurrido en el glaciar O'Higgins, que ha retrocedido cerca de 15 Km durante el siglo XX; sin embargo, algunos glaciares han experimentado un avance excepcional, como es el caso del glaciar Brüggen o Pío XI (*Rivera*, 2007).

4.1.1. Calentamiento Global

Según la Revista de la Sociedad Nacional de Pesquería de Perú (2005), el fenómeno del calentamiento global, se produce porque el bióxido de carbono y otros contaminantes del aire se acumulan en la atmósfera, formando una capa cada vez más gruesa que atrapa el calor del sol y no lo deja escapar hacia el espacio, causando el calentamiento del planeta. El calentamiento global está influenciando la elevación de las temperaturas mínimas, lo que es más notorio en las altas montañas que en altitudes más bajas, de acuerdo con algunos modelos climáticos. Asimismo, y según la misma fuente, algunas mediciones indican que los glaciares se están derritiendo con una alta velocidad, por el efecto de este fenómeno.

Según el Consejo para la Defensa de Recursos Naturales (NRDC, 2005), la principal fuente de contaminación a nivel mundial por la emisión de bióxido de carbono, son las plantas de generación de energía a base de carbón, pues emiten 2,500 millones de toneladas al año. La segunda causa principal, son los automóviles que emiten casi 1,500 millones de toneladas de CO₂ al año.

A su vez, ésto tiene consecuencias importantes para las comunidades que dependen del suministro de agua proveniente de glaciares. Pese a que un incremento en el derretimiento glaciar aumenta inicialmente la producción de agua en un horizonte de mediano plazo (10 años), se estima un agotamiento de estas reservas, generando un déficit de caudal en períodos estivales y de sequía. Adicionalmente, la desaparición de los glaciares causa cambios muy abruptos en el flujo de agua corriente por la falta de un amortiguador glaciar durante la temporada de sequía. Esto afecta la disponibilidad de agua para beber, para la agricultura y para la hidroenergía.

Se estima que el retroceso de la mayoría de los glaciares de Chile, se debe a las tendencias del calentamiento global de la atmósfera que también se han verificado en numerosas estaciones del país. Para los últimos 100 años, se ha calculado un calentamiento que varía entre 1.3 a 2.0 °C, mientras que para las últimas tres décadas el calentamiento sería el doble. No obstante, esta tendencia no es general para todo el país, ya que en la latitud de la ciudad de Puerto Montt (41° Sur) se observa un enfriamiento de aproximadamente -2.3°C (Rosemblüth *et al.* 1997).

4.1.2. Fenómeno El Niño

Actualmente, se sabe que corresponde a un fenómeno natural de interacción océano-atmósfera que ocurre en la región del Pacífico intertropical cada cierta cantidad de años y que se caracteriza por presentar

condiciones de la temperatura del mar más cálidas que lo normal, en una extensa área entre las costas sudamericanas y de Oceanía.

Según la Revista de la Sociedad Nacional de Pesquería de Perú (2005), cada cierta cantidad de años, se presentan condiciones cálidas en el Pacífico ecuatorial y costas del norte de Chile, Perú, Ecuador y Colombia, asociadas a la disminución de la presión atmosférica, evidenciando así la presencia de este fenómeno. Este calentamiento del agua marina inhibe la surgencia en la superficie del mar (afloramiento de aguas frías desde las profundidades marinas), aumentando la temperatura del aire en 1 a 2 °C sobre lo normal, lo que es sensible en la costa norte de Chile, durante el período de máxima intensidad de El Niño.

Los elementos climáticos más afectados por este fenómeno son la precipitación y la temperatura; desde la Región de Atacama hasta la Región del Maule, muchas veces se experimenta un importante aumento en los totales de precipitaciones y en su intensidad, que han dejado consecuencias catastróficas en la infraestructura vial y en algunos sectores económicos del país, como el sector agrícola, ganadero, de vivienda y minero. Así mismo, la elevación de las temperaturas por sobre lo normal del periodo estival, conlleva a un aumento en la velocidad del retroceso glaciar.

4.2. Análisis Estadístico de las Variables Hidrológicas

Para estudiar las variables precipitación y caudal, es adecuado usar una Ley de Distribución de Probabilidades, porque de esta manera se puede conocer la probabilidad de que se produzcan determinados valores cada cierto tiempo.

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, aunque existen otras Funciones de Distribución de

Probabilidades de probada calidad como Goodrich, Log-Normal y Pearson III.

Según Morales (2006), para determinar la probabilidad implícita es necesario definir dos conceptos: Período de retorno y Probabilidad de excedencia.

Periodo de retorno: se considera como el 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, es la probabilidad de 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;

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

Como una manera de probar la calidad de ajuste presentado por una Función de Distribución de Probabilidades, en general se aplican las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y el Coeficiente de Determinación R^2 , propuestos por Pizarro (1986).

4.2.1. Pruebas de Bondad de Ajuste

4.2.1.1. 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 iésima 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:

$H_0: D_c < D_t$ (el ajuste es adecuado)

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

4.2.1.2. Coeficiente de Determinación R^2

Pizarro (1996) señala 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:

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

donde:

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

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

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

4.3. Algunos estudios de la misma línea

4.3.1. Variaciones recientes de glaciares en la Cuenca Aconcagua.

Bown et al. (2008), indicó que la cuenca de río de Aconcagua (38° S), poseía una gran superficie de glaciares en Chile central, con 121 km² de hielo registrados hasta el año 2003. Usando la información de uno de los inventarios más actuales, el cual se desarrolló en base a 1.955 aerofotos, se obtuvo un área total de 151 Km², la que implica una reducción en el área glaciar de un 20%, en los 48 años. Con los registros del satélite de alta resolución **imagina** (Landsat) y los datos que aportó el inventario, se delineó el área glaciar actual. El estudio se centró en el Glaciar Juncal Norte, uno de los glaciares más grandes en esta cuenca y se realizó precisamente en éste, ya que por su tamaño permitió un análisis más detallado de los cambios. El glaciar ha exhibido una reducción más pequeña (14%) entre 1955 y 2006, y los cambios resultantes de la elevación sobre este período no son significativos. Las tasas de reducción son más bajas que en otros glaciares de Chile central y Argentina. Esta tendencia acentúa la menor disponibilidad de agua en el río Aconcagua, porque precisamente en este río la mayor parte del agua en los veranos secos, es generada por glaciares y deshielos.

4.3.2. Volcanes activos en el sur de Chile, por efecto de los cambios volumétricos en los glaciares.

Rivera et al. (2006), investigaron los cambios volumétricos de los glaciares comparando datos topográficos. Por un largo tiempo (1961 a 2004), una porción del Volcán Villarrica fue cubierto por glaciares, mientras en el Volcán Mocho, la proporción de hielo era demasiado pequeña para inferir cualquier conclusión acerca de la influencia de éste en la actividad del volcán. La reducción del área del Glaciar Mocho se comenzó a registrar desde 1976, mientras en el Volcán Villarrica el cambio de área fue entre

1976 y 2005. Los glaciares ubicados en volcanes activos se están encogiendo, principalmente en respuesta a los factores climáticos. Sin embargo, se corrobora que la actividad volcánica afecta a los glaciares de dos maneras opuestas: la advección de ceniza/escombros ayuda a reducir la ablación de superficie en zonas más bajas aislando el hielo de la radiación solar, mientras la actividad geotérmica probablemente ayuda a fundir y a producir agua en la roca de fondo, teniendo como resultado los cambios negativos de la elevación de hielo.

4.3.3. Modelación de los impactos del cambio climático en los glaciares y en los recursos de agua de los Andes Secos Centrales

Corripio *et al.* (2007), investigaron la zona de los Andes Secos Centrales, los cuales se encuentran ubicados en una barrera de alta montaña que divide Chile y Argentina entre los 31° y 35° de latitud sur. En esta zona se investigó la importancia de las aguas generadas por la fusión, porque la precipitación es muy baja en los meses del verano. Como uno de los resultados, se muestra que la precipitación en el mes de diciembre es de 1 mm, mientras lo generado por fusión es de 42 m³/s en el mismo mes. Esto beneficia las actividades humanas en la región, en el tiempo de mayor calor y demanda de agua, ya que se logró comprobar que en ese periodo el sistema aporta una disponibilidad máxima. Actualmente se está evaluando si esta manera de generar el recurso, es sostenible a largo plazo o si deberá existir una relación entre la acumulación de la nieve y la ablación.

5. METODOLOGÍA

5.1. Materiales

Los materiales requeridos por este estudio, fueron los siguientes: Datos de precipitaciones medias y caudales medios mensuales; Cartas Topográficas (Escala 1:50.000) de la zona del Cajón del Maipo, ubicada en la Región Metropolitana de Chile; Software Microsoft Office Word; Software Microsoft Office Excel y Software Statgraphics.

5.2. Pasos Metodológicos

5.2.1. Revisión bibliográfica

En esta etapa se buscó y seleccionó la información referida a la influencia glaciar en la producción de agua, analizando los métodos de estudio para las diferentes variables hídricas a considerar, en este caso, precipitación y caudal.

5.2.2. Captura de datos

Los datos requeridos de precipitación y escorrentía se obtuvieron tanto de estaciones pluviométricas como de estaciones fluviométricas, ubicadas en la cuenca del Río Maipo, los que fueron proporcionados por la Dirección General de Aguas (D.G.A.), de la Región Metropolitana.

Los datos corresponden a los valores de caudales y precipitaciones, registrados de manera mensual y anual por las estaciones pluviométricas y pluviométricas de los últimos 40 años.

Los datos de precipitaciones anuales y mensuales fueron obtenidos de las siguientes estaciones pluviométricas: San Gabriel, San José de Maipo Retén, El Yeso Embalse, Maitenes Bocatoma y La Obra Recinto EMOS. Los datos de caudales mensuales y anuales fueron obtenidos de las siguientes estaciones fluviométricas: Río Colorado antes junta Río Maipo, Río Maipo en el Manzano. Adicionalmente, se utilizó la información de las estaciones fluviométricas Río Maipo en San Alfonso, Río Colorado antes junta Río Olivares, Río Maipo en las Hualtatas, Río Olivares antes junta Río Colorado y Río Volcán en Queltehues, para el análisis del comportamiento de los caudales en ambas cuencas.

5.2.3. Completación de datos faltantes

Los datos proporcionados por la Dirección General de Aguas (D.G.A.), con frecuencia presentan discontinuidades, lo que se traduce en datos faltantes, ya sean de precipitaciones o caudales. Por ello, fue necesario completar datos faltantes, proceso que se realizó con los métodos propuestos por UNESCO para el Balance Hídrico de América del Sur (1982) y los alcances hechos por Ausensi (2005).

Es importante señalar que la principal forma de completación que se utilizó, fueron regresiones lineales simples, combinadas con regresiones múltiples, tanto para precipitación como para caudal. Además, se probaron diferentes agrupaciones de los datos, con el fin de alcanzar un menor error, como por ejemplo, separando los datos en meses secos y húmedos.

En el caso de las precipitaciones, la estación que presentaba mayor cantidad de información era la estación El Yeso Embalse, por lo cual a través de regresión lineal, se completó la estación San José de Maipo Retén. Las estaciones San Gabriel, Maitenes Bocatoma y la Obra recinto EMOS, fueron completadas a través de regresiones múltiples, ya que de esta

manera se obtuvo el mejor error estándar de estimación, por lo cual se utilizaron como variables independientes las estaciones El Yeso y San José.

5.2.4. Estimación de precipitaciones areales medias

Al terminar la completación de datos pluviométricos faltantes para ambas cuencas, fue necesario definir la superficie de influencia de cada estación, mediante el método de los Polígonos de Thiessen, el cual pondera de manera representativa las precipitaciones en función de la superficie.

Los Polígonos de Thiessen fueron utilizados para la estimación de las precipitaciones medias areales, ya que 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).

5.2.5. 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 Gumbel para ambas cuencas, ya que es la función que ha presentado la mejor calidad de ajuste en estos casos, aunque no se descartó el uso de otras Funciones de Distribución de Probabilidad, como Goodrich y Pearson III; sin embargo, su uso no fue requerido. Para el ajuste de la función, los datos de precipitación y caudal fueron agrupados en períodos de tiempo, partiendo por el periodo 1963-1976; a esta serie se le fueron sumando periodos de diez en diez años, hasta el año 2006, completando 4 periodos a ajustar. Ello, con el fin de observar las tendencias experimentadas por los datos en función del tiempo.

Los períodos definidos para las precipitaciones y caudales fueron;

Período 1: 1963 – 1976

Período 2: 1963 – 1986

Período 3: 1963 – 1996

Período 4: 1963 – 2006

Existe información de caudal desde el año 1953, pero para las precipitaciones, sólo se cuenta con datos a partir de 1963. Es por ello, que se hizo coincidir los años de inicio de las series de datos para ambas variables.

Así, el ajuste de la función de Gumbel se realizó a cuatro períodos o series de tiempo iguales, tanto para las precipitaciones y como para los 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 asociaron a las series son 20, 50 y 75 años.

Por lo tanto, el ajuste de la función se realizó a nivel mensual y anual, para precipitación y caudal, y por cada período considerado. Para ambas variables, el ajuste mensual consideró todos los meses.

5.2.6. Cálculo de la Función de Distribución de Gumbel

Según Chow (1998), la expresión asociada a la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel es:

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

donde;

X = Valor a asumir por la variable aleatoria.

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

Para determinar 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.

5.2.7. Análisis del comportamiento de las precipitaciones y de los caudales

Esta etapa se evaluó a través del análisis de los valores de probabilidad obtenidos para cada variable, serie de datos y su variación en el tiempo. Asimismo, para ambas cuencas se analizó el comportamiento de los caudales a partir de las estaciones que no fueron utilizadas en la relación precipitación-caudal. Adicionalmente, las variables precipitación y caudal fueron evaluadas por medio del coeficiente PP/Q, que permitió analizar el comportamiento de ésta en función del tiempo y de la precipitación. Así también, se utilizó su inverso, Q/PP, que permitió evaluar esta relación desde el punto de vista del tiempo y del caudal. Asimismo, se utilizaron los promedios móviles para inferir las tendencias de las variables en estudio. En este caso, también se agruparon los datos tanto de precipitación como de caudal, en los mismos períodos de tiempo que el ajuste a la Función de Gumbel, con el fin de hacer comparable la información resultante.

Por otra parte, la relación PP/Q define cuantas veces es superior el valor de la precipitación con respecto al caudal; la relación inversa, Q/PP , define qué proporción de las precipitaciones representan las escorrentías.

5.2.8. Presentación de resultados

Los resultados se presentaron en tablas resúmenes y gráficos, con el fin de inferir de los mismos el comportamiento de las variables en estudio.

5.2.9. Análisis y discusión de resultados.

En esta parte se analizaron y discutieron los resultados obtenidos en todas las etapas anteriores, lo que conllevó a obtener conclusiones y recomendaciones en función de los objetivos definidos para este estudio.

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. En ambas variables se probaron regresiones simples y múltiples, optando por aquella que presentaba el menor error estándar de estimación.

6.1.1. Completación de caudales mensuales

La información básica de caudal, fue obtenida de dos estaciones, a saber, Río Colorado antes junta Río Maipo y Río Maipo en el Manzano, las que no presentan datos faltantes. Adicionalmente, se completaron las otras estaciones que disponían datos para un posterior análisis de los caudales a través del tiempo. A continuación, se presenta la completación de los datos faltantes de las estaciones fluviométricas Río Maipo en San Alfonso, Río Colorado antes junta Río Olivares, Río Maipo en las Hualtatas, Río Olivares antes junta Río Colorado y Río Volcán en Queltehues. Estos datos fueron completados por los métodos de Regresión Lineal Simple y Múltiple, a través de series de tiempo, explicado con anterioridad en la metodología. Las estaciones Río Colorado antes junta Río Maipo y Río Maipo en El Manzano, fueron tomadas como estaciones patrón en el caso de los caudales, por ser las estaciones más largas y completas en sus registros. La completación se realizó con un Error Estándar de Estimación promedio de 8,84 m³/s. El porcentaje de datos que se debió completar, fue del 24.9%, aproximadamente.

a) Estación Río Colorado antes junta Río Maipo

La estación Río Colorado antes junta Río Maipo, mantuvo sus registros originales y sin completación, dado que fue definida como estación patrón.

Tabla Nº 1. Caudales mensuales Estación Río Colorado antes junta Río Maipo (m³/s)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	14,9	14,5	12,9	17,5	22,5	24,2	32,0	44,9	99,0	103,5	79,8	29,6	495,3
64 / 65	17,6	14,9	13,8	12,1	10,9	12,2	12,7	14,9	18,7	33,7	34,0	22,6	218,1
65 / 66	16,0	11,3	11,0	10,6	18,8	16,2	28,9	51,7	59,7	68,9	33,1	23,4	349,6
66 / 67	15,6	13,7	12,4	14,9	13,6	18,9	24,1	36,7	35,8	48,7	50,4	27,0	311,9
67 / 68	21,2	12,1	10,8	10,0	9,0	9,9	13,7	14,2	32,8	35,1	35,6	17,3	221,6
68 / 69	11,1	7,7	6,5	6,2	5,9	5,9	6,0	12,1	8,2	13,7	32,5	32,5	148,2
69 / 70	8,8	8,6	9,6	6,7	8,6	10,1	11,8	23,9	66,4	52,6	51,9	30,0	289,1
70 / 71	18,2	12,4	10,3	10,3	10,1	13,0	17,9	28,2	33,9	27,5	21,2	18,2	221,1
73 / 74	34,4	24,4	19,8	20,8	17,3	17,9	20,2	34,1	39,5	59,6	43,7	30,5	362,2
75 / 76	20,9	15,1	12,6	12,6	12,5	13,7	19,7	20,7	35,6	40,2	26,7	19,5	249,6
76 / 77	12,6	11,1	12,1	10,4	9,4	10,6	13,7	24,2	29,7	38,2	28,7	26,4	227,0
79 / 80	23,9	18,4	14,7	13,3	15,2	16,3	24,8	28,4	40,1	63,0	45,6	38,2	341,8
81 / 82	23,0	23,0	19,6	17,1	17,4	17,6	18,1	28,2	42,5	55,3	47,4	21,8	331,0
82 / 83	19,5	17,8	31,0	35,2	28,4	33,8	36,8	60,5	102,6	112,2	97,5	61,2	636,7
83 / 84	38,4	26,4	21,6	20,4	18,5	18,6	33,4	46,8	73,8	71,6	76,5	79,3	525,4
84 / 85	63,9	71,5	61,8	47,6	65,2	57,4	60,9	65,2	61,1	54,9	54,6	43,9	707,9
85 / 86	25,1	19,2	16,1	15,6	13,8	13,0	17,9	40,4	55,2	60,2	50,0	32,1	358,7
86 / 87	18,1	16,4	25,1	18,6	18,7	19,2	27,4	44,1	82,7	85,3	65,4	45,9	466,8
88 / 89	38,1	22,9	17,1	14,4	14,4	13,6	19,2	36,2	47,7	57,4	64,4	34,4	379,7
89 / 90	19,8	14,6	12,5	11,7	19,9	22,3	34,8	63,7	69,2	62,7	48,0	30,8	410,2
90 / 91	19,2	15,0	12,6	11,7	12,3	15,6	31,3	34,2	49,0	48,6	43,6	34,6	327,5
91 / 92	20,6	21,5	19,3	28,3	21,6	29,4	34,0	54,8	62,4	74,2	64,6	46,6	477,1
92 / 93	25,3	20,8	20,6	18,1	17,5	22,5	33,9	46,0	63,3	71,3	56,7	36,8	432,8
93 / 94	26,6	38,0	24,1	21,6	19,1	20,7	27,9	40,3	54,9	74,1	49,4	37,2	434,0
94 / 95	18,0	16,0	14,8	17,6	15,7	17,2	26,7	44,3	69,7	60,8	43,7	30,0	374,5
95 / 96	20,8	17,0	15,5	14,2	13,8	18,6	20,4	40,0	56,5	41,9	38,8	31,0	328,3
96 / 97	17,8	13,8	11,7	10,6	10,5	10,0	9,7	14,4	24,2	38,6	30,8	22,2	214,3
97 / 98	13,5	10,4	22,7	13,0	17,7	30,1	32,1	53,9	78,9	101,2	54,4	33,0	460,9
98 / 99	25,1	18,5	15,1	14,1	11,1	10,7	13,8	20,9	37,9	41,7	42,8	24,0	275,7
99 / 00	13,2	11,4	10,4	8,9	13,2	22,9	22,0	35,3	41,9	49,4	35,2	22,1	285,8
00 / 01	15,2	12,2	19,7	17,9	14,0	17,5	36,1	45,4	86,1	71,4	59,2	29,9	424,5

Continuación Tabla N° 1

01 /02	23,3	17,5	15,0	20,1	23,1	23,5	34,9	44,4	85,2	67,3	55,7	37,8	448,0
02 /03	23,9	22,0	26,5	21,4	31,9	27,8	37,2	63,4	85,8	98,8	76,5	53,1	568,2
03 /04	33,2	22,7	20,4	18,4	15,5	16,6	26,3	40,1	47,2	58,2	48,3	34,5	381,4
04/05	20,8	15,1	13,0	10,4	9,9	15,2	14,8	25,3	38,5	46,2	40,1	24,5	273,9
05 /06	13,4	12,6	25,7	23,0	29,1	30,1	39,3	66,9	98,2	95,2	65,9	38,0	537,5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

b) Estación Río Maipo en el Manzano

La estación Río Maipo en el Manzano, contó con el total de registros originales y sin completación, dado que fue definida como estación patrón, al igual que la anterior.

Tabla N° 2. Caudales mensuales Estación Río Maipo en El Manzano (m³/s)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	54,7	46,3	48,0	50,2	59,3	68,7	90,3	127,3	298,2	356,2	210,2	125,5	1535,0
64 / 65	82,0	56,2	51,7	48,5	42,9	49,4	61,2	83,6	88,3	112,9	101,0	80,1	857,7
65 / 66	68,9	45,1	45,9	43,4	71,4	82,5	114,7	196,4	198,8	274,5	181,3	115,5	1438,4
66 / 67	92,7	58,2	58,5	57,3	53,0	71,5	94,9	229,7	177,2	165,4	127,5	77,5	1263,3
67 / 68	48,8	45,4	35,6	34,1	34,5	37,3	59,9	88,2	123,4	106,6	93,9	73,1	780,7
68 / 69	50,7	35,8	24,3	24,6	23,2	27,5	33,8	50,6	43,0	66,7	62,3	51,4	493,9
69 / 70	33,4	31,9	39,6	28,7	33,7	41,1	65,3	102,7	209,3	136,2	103,2	65,6	890,6
70 / 71	44,9	39,5	36,3	40,4	34,1	46,6	70,3	93,7	108,0	82,9	76,2	53,4	726,3
73 / 74	140,0	79,7	60,2	68,8	59,2	54,6	81,1	155,4	175,9	177,0	125,6	85,2	1262,8
75 / 76	65,6	51,9	39,5	47,1	51,8	61,9	81,4	104,6	147,5	129,4	96,9	82,1	959,7
76 / 77	49,1	36,9	41,0	34,4	32,7	36,2	55,7	112,5	123,8	107,4	96,4	80,0	806,0
79 / 80	73,7	68,9	56,5	44,8	58,8	64,2	83,8	114,7	194,5	278,6	166,9	120,8	1326,2
81 / 82	76,5	74,2	66,2	55,3	52,4	54,4	78,5	132,1	143,2	139,6	111,3	73,9	1057,6
82 / 83	59,1	49,9	104,1	142,7	100,0	144,1	155,5	256,7	539,5	592,8	455,1	261,1	2860,5
83 / 84	160,7	99,9	78,9	90,7	87,9	74,2	147,3	247,0	296,5	240,5	185,5	107,1	1816,0
84 / 85	67,7	57,0	44,3	63,4	60,2	71,8	145,6	190,3	313,3	289,7	181,0	146,1	1630,5
85 / 86	87,4	76,9	65,8	52,0	46,0	59,9	81,3	147,5	173,8	216,9	183,5	141,2	1332,2
86 / 87	111,4	97,2	115,0	88,6	66,7	83,7	122,7	159,9	309,5	351,5	271,6	162,5	1940,3
88 / 89	131,4	63,2	59,6	48,1	52,7	56,5	91,8	138,9	136,4	145,1	148,3	98,3	1170,2
89 / 90	67,8	52,8	40,4	36,0	68,7	82,4	122,3	224,5	225,3	170,4	122,6	85,9	1299,1
90 / 91	62,7	58,8	50,5	49,7	52,3	56,8	78,5	118,4	135,4	129,4	109,7	78,4	980,6

Continuación Tabla Nº 2

91 / 92	63,1	116,6	79,0	102,7	77,8	101,8	125,4	212,9	216,3	276,7	206,7	158,4	1737,3
92 / 93	94,7	80,1	80,0	71,2	68,4	80,6	132,0	196,2	233,6	257,0	192,5	117,1	1603,3
93 / 94	103,4	306,6	97,7	85,1	76,4	78,5	111,0	131,6	198,6	219,7	142,1	96,1	1646,8
94 / 95	69,5	60,7	60,2	76,4	75,8	82,0	98,0	161,3	261,1	184,2	127,8	97,8	1354,8
95 / 96	75,6	60,3	61,2	55,4	57,4	77,9	90,5	168,2	198,6	128,2	111,6	96,8	1181,8
96 / 97	69,5	50,0	42,8	41,4	38,6	38,2	47,0	51,9	58,7	81,8	75,9	61,8	657,5
97 / 98	43,6	33,9	65,4	61,2	80,1	119,2	114,5	208,6	335,5	413,8	207,3	136,2	1819,2
98 / 99	102,7	72,4	60,4	50,4	44,7	39,1	61,0	83,7	105,8	99,7	89,5	61,9	871,4
99 / 00	52,1	41,8	38,0	37,8	40,7	60,8	86,8	138,5	144,8	133,8	100,2	71,6	946,9
00 / 01	55,3	52,1	81,9	76,9	62,7	73,3	135,9	184,7	339,0	315,4	201,5	136,7	1715,6
01 / 02	89,1	75,8	61,7	80,6	89,4	83,5	134,0	180,4	295,3	216,9	136,4	104,6	1547,7
02 / 03	73,4	60,6	93,1	84,4	99,5	80,0	105,5	203,2	297,7	332,0	258,7	181,1	1869,2
03 / 04	115,1	70,2	73,5	71,3	58,6	69,6	106,2	150,8	150,6	182,1	129,8	92,7	1270,5
04 / 05	71,5	53,1	52,5	51,6	46,3	63,9	71,9	104,0	140,7	136,9	99,5	76,2	968,1
05 / 06	54,7	50,8	95,2	86,9	116,4	116,5	150,1	254,8	349,2	320,8	223,7	125,5	1944,5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

c) Estación Río Maipo en San Alfonso

Los datos faltantes de esta estación fueron completados con las estaciones Río Colorado antes junta Río Maipo y Río Maipo en el Manzano, a través de una regresión múltiple. La ecuación utilizada fue la siguiente

$$\text{San Alfonso} = -6,45311 + 0,190853 * \text{Colorado} + 0,690321 * \text{Manzano}$$

con;

$$\text{EEE} = 16,7328$$

$$R^2 = 0,90$$

$$\text{EEE}/\mu = 0,1697$$

El R^2 fue alto y el Error Estándar de Estimación (EEE) fue bajo. Esto se corrobora con la relación EEE/μ , donde μ es la media muestral que indica que 0,17 es el error como proporción del caudal medio.

Tabla N° 3. Caudales mensuales Estación Río Maipo en San Alfonso (m³/s)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	37,3	31,6	28,8	*31,6	*38,8	43,4	55,8	86,1	253,8	292,8	*153,9	*85,8	1139,9
64 / 65	39,2	40,1	45,0	*29,3	27,3	36,5	45,6	69,5	74,0	83,4	66,0	50,7	606,6
65 / 66	44,3	31,9	30,6	28,6	37,2	43,8	72,7	144,5	152,0	213,4	129,3	74,2	1002,4
66 / 67	52,0	35,4	34,2	29,8	27,4	35,8	65,8	123,2	148,4	105,1	91,3	51,0	799,4
67 / 68	38,8	*27,2	22,4	*19,0	*19,1	21,7	46,8	76,7	93,6	72,7	53,9	49,8	541,6
68 / 69	39,6	31,0	*11,5	*11,7	*10,7	*13,7	31,1	39,5	28,6	35,5	*42,8	24,2	319,8
69 / 70	19,6	17,6	24,8	23,5	19,6	31,0	58,5	81,3	159,2	101,8	71,3	48,0	656,1
70 / 71	32,7	30,7	26,9	28,0	18,9	32,5	52,7	70,2	85,8	57,2	51,1	36,6	523,2
73 / 74	*96,7	*53,2	37,1	36,2	30,5	*34,7	64,9	98,8	*122,5	*127,1	*88,6	*58,2	848,5
75 / 76	47,7	35,3	25,7	25,2	26,9	38,4	60,9	85,3	110,4	74,7	78,5	67,0	675,9
76 / 77	31,1	21,8	22,0	22,0	21,0	33,4	35,5	74,8	99,3	81,8	66,4	52,8	561,9
79 / 80	44,2	40,3	34,4	29,6	31,9	29,2	38,1	61,8	129,6	191,6	113,4	74,7	818,6
81 / 82	48,4	42,1	37,0	34,0	34,5	37,9	56,4	96,0	100,0	88,8	69,7	50,5	695,2
82 / 83	39,9	31,1	41,5	60,2	58,9	89,7	94,4	170,8	*385,5	*424,2	*326,3	123,9	1846,4
83 / 84	94,3	64,4	56,1	57,4	53,7	41,8	77,0	139,8	178,6	146,3	115,2	84,1	1108,7
84 / 85	44,1	44,5	31,8	34,9	34,3	42,1	95,0	134,0	212,1	207,3	131,7	106,8	1118,7
85 / 86	65,3	60,3	49,8	34,4	32,2	47,2	60,1	101,5	115,8	91,5	75,6	59,7	793,5
86 / 87	47,5	34,4	118,7	53,8	44,8	61,5	87,8	87,7	235,7	235,3	200,3	95,0	1302,4
88 / 89	74,2	53,9	40,0	30,4	31,1	39,5	69,2	96,4	89,0	85,4	81,6	57,0	747,6
89 / 90	39,5	29,5	22,3	20,5	29,3	36,7	63,7	138,7	138,0	101,8	70,4	50,8	741,2
90 / 91	35,8	34,8	29,5	29,6	31,2	31,8	52,9	93,0	87,9	75,5	65,3	50,2	617,6
91 / 92	43,4	52,2	48,9	55,3	42,4	56,4	76,5	148,1	145,6	197,1	141,1	105,2	1112,1
92 / 93	59,9	47,6	52,5	48,8	46,9	51,9	83,7	132,5	168,9	167,7	123,6	78,8	1062,8
93 / 94	65,3	199,4	114,1	71,2	55,8	56,9	106,3	129,5	148,0	166,0	94,1	72,1	1278,8
94 / 95	50,5	42,3	41,9	52,3	65,0	71,1	87,3	158,3	173,9	132,8	95,5	70,4	1041,2
95 / 96	55,7	44,6	45,8	39,9	38,7	50,3	67,6	121,8	143,0	82,0	68,8	57,6	815,9
96 / 97	41,8	31,4	27,8	26,4	25,1	24,5	38,4	39,5	39,5	49,4	62,8	61,1	467,8
97 / 98	*26,2	*18,9	*43,0	*38,2	*52,2	*81,6	40,5	108,6	179,6	272,5	154,9	91,3	1107,6
98 / 99	76,6	50,1	42,3	34,8	30,1	29,4	45,0	58,2	67,6	69,4	54,3	41,1	599,0
99 / 00	32,6	28,9	26,7	26,0	25,8	36,3	58,5	100,3	103,7	85,2	64,4	48,1	636,4
00 /-01	37,0	36,2	40,1	47,8	37,4	37,5	81,9	130,7	299,4	252,0	160,7	85,5	1246,3
01 /-02	58,2	49,7	50,5	51,3	55,0	55,6	90,6	138,6	311,3	166,4	104,1	73,7	1205,0
02 /-03	55,6	49,1	54,8	48,7	78,1	71,3	95,9	197,4	295,1	311,8	219,8	139,5	1617,1
03 /-04	78,3	52,9	51,5	48,9	42,4	50,5	91,0	114,5	117,4	116,0	85,9	64,3	913,6
04 /-05	48,3	37,4	36,6	35,8	35,1	44,0	58,8	71,3	100,8	93,8	67,5	52,8	682,3
05 /-06	42,5	36,9	55,9	54,5	64,3	65,4	93,9	216,8	328,4	359,9	237,9	106,3	1662,9

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

* Datos de caudal completados por regresión múltiple.

d) Estación Río Colorado antes junta Río Olivares

Los datos faltantes de esta estación fueron completados con las estaciones Río Colorado antes junta Río Maipo y Río Maipo en el Manzano, a través de una regresión múltiple. La ecuación utilizada fue la siguiente

$$\text{Colorado-Olivares} = -5,6111 + 0,0688059 * \text{Colorado} + 0,132786 * \text{Manzano}$$

con;

$$\text{EEE} = 8,01353$$

$$R^2 = 0,72$$

$$\text{EEE}/\mu = 0,2950$$

El R^2 fue alto y el Error Estándar de Estimación (EEE) fue medio, lo que se corrobora con la relación EEE/μ , que indica que 0,3 es el error como proporción del caudal medio, el cual supera a Río Maipo en San Alfonso.

Tabla Nº 4. Caudales mensuales Estación Río Colorado antes junta Río Olivares (m^3/s)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	*2,7	*1,5	*1,7	*2,3	*3,8	*5,2	*8,6	*14,4	*40,8	*48,8	*27,8	*13,1	170,6
64 / 65	*6,5	*2,9	*2,2	*1,7	*0,8	*1,8	*3,4	*6,5	*7,4	*11,7	*10,1	*6,6	61,6
65 / 66	*4,6	*1,2	*1,2	*0,9	*5,2	*6,5	*11,6	*24,0	*24,9	*35,6	*20,7	*11,3	147,7
66 / 67	*7,8	*3,1	*3,0	*3,0	*2,4	*5,2	*8,6	*27,4	*20,4	*19,7	*14,8	*6,5	121,9
67 / 68	*2,3	*1,2	*0,1	*0,4	*0,4	*0,0	*3,3	*7,1	*13,0	*11,0	*9,3	*5,3	53,5
68 / 69	*1,9	*0,3	*1,9	*1,9	*2,1	*1,6	*0,7	*1,9	*0,7	*4,2	*4,9	*3,4	25,6
69 / 70	*0,6	*0,8	*0,3	*1,3	*0,5	*0,5	*3,9	*9,7	*26,8	*16,1	*11,7	*5,2	77,3
70 / 71	*1,6	*0,5	*0,1	*0,5	*0,4	*1,5	*5,0	*8,8	*11,1	*7,3	*6,0	*2,7	45,3
73 / 74	*15,3	*6,7	*3,8	*5,0	*3,4	*2,9	*6,5	*17,4	*20,5	*22,0	*14,1	*7,8	125,3
75 / 76	*4,5	*2,3	*0,5	*1,5	*2,1	*3,6	*6,6	*9,7	*16,4	*14,3	*9,1	*6,6	77,3
76 / 77	*1,8	*0,1	*0,7	*0,3	*0,6	*0,1	*2,7	*11,0	*12,9	*11,3	*9,2	12,5	63,0
79 / 80	17,4	13,6	10,9	9,5	9,8	9,2	12,4	15,1	20,6	29,4	26,2	*13,1	187,1
81 / 82	*6,1	*5,8	*4,5	*2,9	9,1	9,0	9,8	14,9	19,8	24,1	25,8	15,1	147,1
82 / 83	13,1	9,7	9,1	13,3	12,3	15,8	16,8	31,2	74,0	153,6	*61,5	*33,3	443,9
83 / 84	*18,4	*9,5	14,8	14,8	12,9	11,9	17,6	29,0	48,9	47,7	40,6	19,6	285,6
84 / 85	15,5	12,2	10,3	9,5	9,6	10,4	16,5	23,0	38,4	52,4	33,4	24,5	255,7
85 / 86	14,8	12,1	10,6	9,3	8,3	7,5	9,4	18,9	34,2	31,4	25,1	17,9	199,5

Continuación Tabla N° 4

86 / 87	*10,4	13,2	16,4	12,9	11,1	11,6	15,4	26,3	46,5	57,0	50,5	29,7	300,8
88 / 89	*14,5	*4,4	*3,5	*1,8	*2,4	*2,8	12,1	20,0	21,4	23,5	24,8	14,5	145,5
89 / 90	10,9	9,3	8,0	7,5	8,2	9,2	13,1	29,7	35,1	30,9	23,0	16,8	201,7
90 / 91	11,9	9,8	8,7	8,1	7,8	8,1	10,0	19,1	20,7	17,5	17,0	14,3	152,9
91 / 92	10,4	10,2	10,7	11,8	9,5	5,4	6,3	18,6	21,5	38,9	*26,3	17,1	186,6
92 / 93	6,4	3,8	3,8	3,1	3,1	4,0	6,7	10,6	21,6	35,7	14,7	3,0	116,7
93 / 94	10,8	11,9	5,0	4,0	3,5	3,7	5,0	7,7	32,3	38,1	9,9	5,9	137,8
94 / 95	3,0	2,4	2,2	3,4	2,7	2,8	3,9	10,3	22,6	16,9	11,3	3,4	84,8
95 / 96	2,8	2,4	2,5	2,3	2,2	3,1	3,6	7,4	17,4	11,1	6,3	4,1	65,1
96 / 97	3,0	2,4	2,3	2,0	6,9	1,5	1,3	1,3	1,5	3,6	1,5	1,4	28,8
97 / 98	1,3	1,5	4,5	2,7	1,6	5,3	6,0	22,9	33,3	61,1	21,6	6,7	168,6
98 / 99	4,2	2,8	2,1	1,7	1,4	1,4	1,9	2,6	4,1	2,8	2,3	2,1	29,4
99 / 00	2,0	1,6	1,5	1,6	1,5	2,0	2,4	3,7	8,3	12,5	4,7	2,2	43,8
00 / 01	1,1	1,4	2,1	2,5	2,3	2,6	4,6	9,8	52,8	37,8	18,0	6,9	141,8
01 / 02	2,0	1,7	1,5	2,0	2,5	3,0	3,8	10,6	38,0	*27,8	*16,3	*10,9	120,2
02 / 03	*5,8	2,1	3,1	2,9	4,2	3,9	5,3	21,4	42,9	39,9	32,0	15,8	179,2
03 / 04	16,1	14,6	12,6	11,3	5,5	2,5	3,3	6,7	10,4	11,1	*14,9	2,7	111,5
04 / 05	2,0	1,6	1,6	1,5	1,6	1,9	2,2	3,1	4,3	5,9	4,4	3,1	33,2
05 / 06	2,5	2,4	3,4	3,3	3,7	4,3	4,5	10,0	13,5	17,0	11,7	11,8	88,0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

* Datos de caudal completados por regresión múltiple.

e) Estación Río Maipo en Las Hualtatas

Los datos faltantes de esta estación fueron completados con las estaciones Río Colorado antes junta Río Maipo y Río Maipo en el Manzano a través de una regresión múltiple. La ecuación utilizada fue la siguiente

$$\text{Hualtatas} = -5,61762 + 0,41977 * \text{Colorado} + 0,200467 * \text{Manzano}$$

con;

$$\text{EEE} = 9,83218$$

$$R^2 = 0,86$$

$$\text{EEE}/\mu = 0,1797$$

El R^2 fue alto y el Error Estándar de Estimación (EEE) fue bajo. Esto se corrobora con la relación EEE/μ , que indica que 0,18 es el error como proporción del caudal medio.

Tabla N° 5. Caudales mensuales Estación Río Maipo en las Hualtatas (m^3/s)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	*11,6	*9,7	*9,4	*11,8	*15,7	*18,3	*25,9	*38,7	*95,7	*109,2	*70,0	*32,0	448,2
64 / 65	*18,2	*11,9	*10,6	*9,2	*7,5	*9,4	*12,0	*17,4	*19,9	*31,2	*28,9	*19,9	196,1
65 / 66	*14,9	*8,2	*8,2	*7,6	*16,6	*17,7	*29,5	*55,5	*59,3	*78,3	*44,6	*27,4	367,7
66 / 67	*19,5	*11,8	*11,3	*12,1	*10,7	*16,7	*23,5	*55,8	*44,9	*48,0	*41,1	*21,2	316,8
67 / 68	*13,1	*8,6	*6,1	*5,4	*5,1	*6,0	*12,1	*18,0	*32,9	*30,5	*28,1	*16,3	182,1
68 / 69	*9,2	*4,8	*2,0	*1,9	*1,5	*2,4	*3,7	*9,6	*6,4	*13,5	*20,5	*18,3	93,8
69 / 70	*4,7	*4,4	*6,4	*2,9	*4,8	*6,9	*12,4	*25,0	*64,2	*43,8	*36,8	*20,1	232,5
70 / 71	*11,0	*7,5	*6,0	*6,8	*5,5	*9,2	*16,0	*25,0	*30,3	*22,5	*18,6	*12,7	171,0
73 / 74	*36,9	*20,6	*14,8	*16,9	*13,5	*12,8	*19,1	*39,8	*46,2	*54,9	*37,9	*24,3	337,8
75 / 76	*16,3	*11,1	*7,6	*9,1	*10,0	*12,5	*19,0	*24,0	*38,9	*37,2	*25,0	*19,0	229,8
76 / 77	*9,5	*6,4	*7,7	*5,6	*4,9	*6,1	*11,3	*27,1	*31,7	*32,0	*25,7	*21,5	189,4
79 / 80	23,9	17,6	13,3	11,2	11,6	*14,1	19,0	25,2	52,4	*86,5	58,1	*34,6	367,5
81 / 82	*19,4	*18,9	15,6	14,0	13,9	15,5	20,6	54,7	59,4	50,9	37,9	27,7	348,6
82 / 83	18,7	15,6	14,4	14,4	11,4	22,1	21,3	44,0	103,9	158,5	*126,5	*72,4	623,3
83 / 84	42,7	24,5	19,7	16,3	14,4	14,2	24,2	50,7	82,8	68,3	51,3	33,5	442,5
84 / 85	22,5	17,4	14,7	13,8	12,2	14,0	26,6	42,9	89,0	104,1	74,9	49,8	481,9
85 / 86	27,4	22,7	18,4	15,5	13,1	12,7	16,8	46,6	66,8	51,2	39,9	26,6	357,7
86 / 87	17,7	14,6	25,6	18,4	15,8	15,3	27,3	43,5	83,3	*100,6	*76,3	35,5	474,1
88 / 89	28,8	19,2	15,2	13,2	12,3	12,0	20,0	44,9	47,9	51,8	37,9	27,8	331,0
89 / 90	*16,3	13,8	12,1	10,5	11,2	13,3	22,5	51,9	59,5	48,5	35,7	23,7	319,0
90 / 91	16,5	13,9	12,0	11,4	11,0	12,2	18,3	35,7	43,8	39,4	32,2	24,3	270,7
91 / 92	19,7	22,9	19,9	18,0	14,9	20,9	29,2	64,6	60,8	80,4	65,3	44,0	460,6
92 / 93	25,4	21,3	17,4	13,7	12,5	16,3	29,5	54,7	93,0	83,6	51,6	33,6	452,6
93 / 94	25,3	34,9	26,3	22,1	17,3	21,5	29,4	59,1	84,8	76,2	39,4	39,5	476,0
94 / 95	23,4	16,5	15,2	14,4	14,2	16,3	24,5	62,8	88,7	63,1	39,9	29,0	408,2
95 / 96	20,2	15,5	13,7	11,9	11,4	13,8	18,6	49,8	72,3	50,0	37,6	30,3	345,0
96 / 97	19,3	15,4	12,3	11,3	10,7	11,0	11,7	15,5	18,8	22,4	19,3	16,2	184,1
97 / 98	12,3	10,6	10,4	11,2	11,6	19,0	24,4	42,3	93,8	111,3	65,8	38,1	450,8
98 / 99	25,7	18,1	14,9	12,4	11,1	10,2	15,3	24,2	33,1	30,4	27,5	18,1	240,9
99 / 00	11,2	8,8	8,0	7,4	7,5	8,9	15,9	36,6	48,2	43,5	30,8	23,4	250,3
00 / 01	16,7	13,4	13,0	15,6	12,5	13,2	28,1	45,6	105,5	84,4	61,9	33,6	443,5
01 / 02	16,7	12,5	10,2	9,4	10,4	12,0	21,5	41,1	107,3	83,5	55,6	34,9	415,2
02 / 03	23,1	20,6	19,0	17,3	23,4	23,5	34,1	66,9	104,3	120,1	90,4	56,7	599,5
03 / 04	30,8	21,5	20,8	18,6	15,4	16,3	28,9	49,0	56,5	53,2	40,9	28,7	380,5
04 / 05	20,3	15,9	14,1	13,2	13,0	15,9	20,3	25,5	47,4	48,5	34,7	24,7	293,5
05 / 06	17,4	15,5	17,0	17,3	18,4	18,0	27,5	66,0	108,2	146,0	105,0	57,1	613,5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

* Datos de caudal completados por regresión múltiple

f) Estación Río Olivares antes junta Río Colorado

Los datos faltantes de esta estación, fueron completados con las estaciones Río Colorado antes junta Río Maipo y Río Maipo en el Manzano, a través de una regresión múltiple. La ecuación utilizada fue la siguiente

$$\text{Olivares} = -3,39616 + 0,16794 * \text{Colorado} + 0,0347003 * \text{Manzano}$$

con;

$$\text{EEE} = 5,84887$$

$$R^2 = 0,75$$

$$\text{EEE}/\mu = 0,3937$$

El R^2 fue alto y el Error Estándar de Estimación (EEE) fue medio, ya que la relación EEE/μ , indica que 0,39 es el error como proporción del caudal medio, lo cual es más alto que los ajustes anteriores.

Tabla Nº 6. Caudales mensuales Estación Río Olivares antes junta Río Colorado (m^3/s)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	*2,4	*1,9	*2,0	*2,2	*2,9	*3,5	*5,1	*7,7	*19,6	*23,2	*13,7	*7,1	91,3
64 / 65	*4,1	*2,5	*2,2	*2,0	*1,6	*2,0	*2,7	*4,1	*4,5	*6,5	*5,8	*4,2	42,2
65 / 66	*3,3	*1,7	*1,8	*1,6	*3,5	*4,1	*6,4	*12,0	*12,4	*17,2	*10,5	*6,3	81,0
66 / 67	*4,7	*2,6	*2,6	*2,6	*2,3	*3,5	*5,1	*13,5	*10,4	*10,1	*7,9	*4,1	69,3
67 / 68	*2,3	*1,8	*1,3	*1,4	*1,4	*1,2	*2,7	*4,4	*7,1	*6,1	*5,4	*3,6	2,1
68 / 69	*2,1	*1,1	*2,1	*2,1	*2,2	*1,9	*1,5	*2,1	*1,5	*3,1	*3,4	*2,8	25,7
69 / 70	*1,5	*1,6	*1,3	*1,8	*1,4	*1,4	*2,9	*5,6	*13,3	*8,5	*6,5	*3,5	49,3
70 / 71	*1,9	*1,4	*1,2	*1,4	*1,4	*1,9	*3,4	*5,2	*6,2	*4,5	*3,9	*2,4	34,8
73 / 74	*8,1	*4,2	*2,9	*3,4	*2,8	*2,5	*4,2	*9,0	*10,4	*11,1	*7,5	*4,7	70,9
75 / 76	*3,2	*2,2	*1,4	*1,9	*2,2	*2,8	*4,2	*5,6	*8,6	*7,7	*5,3	*4,2	49,3
76 / 77	*2,0	*1,2	*1,5	*1,4	*1,5	*1,2	*2,4	*6,2	*7,0	*6,3	15,5	13,0	59,2
79 / 80	6,2	5,0	3,8	1,8	3,6	3,7	5,1	6,3	11,0	22,1	16,0	13,8	98,4
81 / 82	5,9	4,4	3,6	2,9	2,4	3,2	3,9	7,1	12,7	22,9	24,6	11,8	105,4
82 / 83	6,8	4,3	3,7	5,6	5,8	10,6	12,7	20,9	35,2	33,5	30,8	16,3	186,0

Continuación Tabla N° 6

83 / 84	8,9	6,0	4,9	5,3	4,0	4,4	8,2	12,7	24,5	28,2	22,8	12,3	142,2
84 / 85	3,7	1,8	2,6	3,6	3,9	4,7	8,7	12,2	18,4	23,0	19,4	13,1	115,0
85 / 86	6,2	4,8	4,1	3,7	3,3	3,2	5,1	11,4	17,5	23,6	19,0	13,3	115,2
86 / 87	4,8	3,5	5,3	4,5	3,5	4,8	6,9	8,5	22,6	29,4	27,6	15,8	137,2
88 / 89	*7,7	*3,2	*2,8	*2,0	*2,3	*2,5	*6,6	9,8	23,2	35,1	46,0	18,1	159,2
89 / 90	6,3	3,4	2,8	4,2	4,5	6,0	8,2	19,3	25,1	33,0	27,2	11,6	151,5
90 / 91	4,1	3,0	2,8	3,2	3,7	4,6	5,8	9,8	16,7	26,6	24,4	16,3	121,1
91 / 92	4,8	6,3	2,7	2,2	2,3	2,5	2,9	6,0	23,3	70,7	10,1	9,9	143,7
92 / 93	2,7	1,6	1,3	1,1	1,1	1,6	2,5	3,2	5,3	18,5	5,7	1,8	46,5
93 / 94	4,8	6,3	2,0	1,9	1,8	1,8	1,9	3,1	14,8	15,1	4,7	4,7	62,9
94 / 95	0,8	0,8	0,8	2,1	1,1	1,4	1,5	2,4	8,0	5,1	3,7	1,0	28,9
95 / 96	0,9	0,7	0,8	0,7	0,8	1,2	1,2	1,7	4,5	2,4	2,3	1,2	18,3
96 / 97	0,5	0,6	0,5	0,5	1,7	0,8	0,8	0,7	2,3	4,5	3,4	0,8	17,2
97 / 98	0,4	0,6	3,0	1,6	1,4	2,3	3,5	4,9	11,5	27,9	5,9	1,6	64,6
98 / 99	1,3	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	1,1	5,5	4,4	7,0	1,6	24,8
99 / 00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,8	1,2	1,4	2,2	5,2	1,3	0,5	14,9
00 / 01	0,6	0,6	0,7	0,9	*2,3	1,6	2,2	2,6	10,3	15,4	17,5	9,5	64,1
01 / 02	0,5	0,5	0,4	0,7	1,0	1,4	1,9	2,2	11,9	6,1	7,1	1,7	35,5
02 / 03	0,8	1,1	1,1	0,9	1,6	1,9	2,7	4,6	8,6	17,9	12,4	2,1	55,9
03 / 04	6,4	1,6	0,9	0,9	1,6	1,0	1,2	1,7	1,8	10,2	6,1	0,8	34,2
04 / 05	0,7	0,6	0,6	0,4	0,4	0,6	0,6	1,2	1,7	8,2	6,9	1,6	23,6
05 / 06	0,6	0,6	1,5	1,4	2,1	2,3	2,6	5,9	16,7	28,3	16,3	1,1	79,2

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

* Datos de caudal completados por regresión múltiple

g) Estación Río Volcán en Los Queltehues

Los datos faltantes de esta estación fueron completados con las estaciones Río Colorado antes junta Río Maipo y Río Maipo en el Manzano, a través de una regresión múltiple. La ecuación utilizada fue la siguiente

$$\text{Volcán} = -5,40073 + 0,176422 * \text{Colorado} + 0,0727266 * \text{Manzano}$$

con;

EEE = 3,81103

R² = 0,86

EEE/μ = 0,4036

El R² fue alto y el Error Estándar de Estimación (EEE) fue medio, ya que la relación EEE/μ, indica que 0,40 es el error como proporción del caudal medio, lo cual es más alto que los primeros ajustes.

Tabla N° 7. Caudales mensuales Estación Río Volcán en Queltehues (m³/s)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	1,3	0,8	1,2	1,6	1,7	3,0	3,8	6,8	54,3	48,0	33,9	17,5	174,0
64 / 65	8,8	3,1	1,2	1,4	0,9	0,9	1,4	6,6	10,6	12,1	9,5	5,1	61,5
65 / 66	2,8	1,7	1,5	1,6	3,6	3,7	6,2	16,0	19,7	34,8	19,4	10,6	121,5
66 / 67	4,0	1,1	1,9	2,0	1,5	1,7	4,2	13,6	16,4	11,5	8,0	3,6	69,5
67 / 68	1,8	0,6	0,6	0,5	0,2	0,3	0,9	3,9	13,7	10,0	7,1	3,6	43,4
68 / 69	0,4	1,1	1,3	0,4	0,4	0,3	0,4	2,6	*0,0	*1,9	*4,9	*4,1	17,6
69 / 70	*0,0	*0,0	*0,0	*2,1	1,3	1,8	2,2	7,0	25,1	17,2	10,4	2,5	69,7
70 / 71	*1,1	*0,4	*0,9	*0,7	*1,1	*0,3	*2,9	*6,4	*8,4	3,0	2,7	1,6	29,5
73 / 74	10,6	*4,7	*2,5	*3,3	*2,0	*1,7	*4,1	*11,9	*14,4	21,5	11,9	5,5	93,9
75 / 76	*3,1	*1,0	*0,3	*0,2	*0,6	*1,5	2,0	6,5	19,2	12,5	5,3	*4,0	56,2
76 / 77	*0,4	0,3	0,8	0,9	0,8	0,5	1,2	8,2	15,9	17,2	8,2	7,2	61,6
79 / 80	5,1	2,2	1,3	*0,2	*1,6	*2,1	*5,1	*8,0	*15,8	*26,0	*14,8	*10,1	92,2
81 / 82	*4,2	*4,1	*2,9	*1,6	*1,5	0,8	3,2	8,8	14,8	15,2	12,9	*3,8	73,7
82 / 83	*2,3	*1,4	2,7	6,6	4,8	6,0	5,1	14,7	49,4	53,7	43,8	26,7	217,1
83 / 84	14,0	5,5	1,8	1,5	1,6	1,4	4,1	16,0	31,1	26,6	19,4	10,4	133,4
84 / 85	3,9	1,0	0,5	1,2	1,8	2,5	7,0	12,3	28,0	38,7	24,6	16,7	138,2
85 / 86	4,5	2,8	1,3	1,1	0,9	0,6	1,4	12,7	20,4	16,9	10,7	5,2	78,6
86 / 87	1,6	1,3	10,7	3,4	2,6	2,1	5,0	12,0	35,0	37,3	28,1	15,9	155,0
88 / 89	7,0	2,3	0,9	0,7	1,0	1,3	2,2	12,2	15,9	15,4	13,7	4,3	76,9
89 / 90	0,7	0,7	0,6	0,7	2,2	3,3	4,3	19,4	24,6	20,7	10,4	4,1	91,7
90 / 91	1,4	1,0	0,7	0,7	0,7	1,6	1,9	8,0	11,5	*12,6	9,2	3,2	52,3
91 / 92	0,9	4,9	12,4	5,0	5,2	4,0	5,6	16,0	21,6	34,6	20,7	14,6	145,5
92 / 93	4,5	2,4	2,2	2,1	1,8	2,9	6,7	16,1	27,6	31,6	20,8	11,5	130,1
93 / 94	6,3	11,8	5,0	3,1	2,5	2,3	7,1	*11,3	*18,7	*23,6	*13,7	4,0	109,5
94 / 95	2,4	1,0	0,9	1,4	1,5	2,0	2,7	20,6	30,5	22,0	11,8	6,2	102,9
95 / 96	2,2	0,6	0,6	0,6	0,7	1,3	3,1	12,9	24,3	13,7	9,7	5,2	74,9
96 / 97	1,2	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,2	0,8	3,6	6,3	4,4	2,2	20,7
97 / 98	0,8	1,0	3,4	2,9	3,9	8,0	7,6	13,9	32,7	46,9	19,1	11,7	151,9
98 / 99	7,4	3,4	0,9	0,8	0,5	0,3	1,3	4,7	4,9	7,3	6,9	1,8	40,2

Continuación Tabla N° 7

99 / 00	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,9	2,9	9,5	14,9	10,2	7,4	1,6	49,4
00 / 01	1,0	0,9	2,1	2,7	1,7	1,8	6,8	13,0	36,6	31,9	21,9	11,1	131,5
01 / 02	3,7	1,4	1,1	1,7	2,3	2,5	5,8	14,5	34,4	25,9	17,3	9,9	120,4
02 / 03	4,0	*2,9	*6,1	*4,5	7,2	4,3	6,7	12,3	32,4	34,2	25,2	14,8	154,5
03 / 04	6,5	2,4	1,6	1,2	1,8	1,9	5,4	11,7	14,4	16,5	11,9	7,1	82,4
04/05	1,9	0,9	0,7	0,7	1,0	1,8	2,7	6,0	15,6	15,1	9,6	3,8	59,8
05 / 06	0,8	0,7	2,3	2,4	2,8	3,5	6,9	20,0	35,7	40,3	26,5	11,7	153,6

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

* Datos de caudales completados por regresión múltiple

6.1.2.- Completación de precipitaciones mensuales

A continuación se presenta la completación de los datos faltantes de las estaciones pluviométricas El Yeso Embalse, San José de Maipo Retén, San Gabriel, Maitenes Bocatoma y la Obra recinto EMOS.

La estación patrón es El Yeso Embalse, por ser la estación más larga y completa en sus registros. La completación se realizó a través de regresión lineal simple con un Error Estándar de Estimación Promedio de 11 mm, aproximadamente. El porcentaje de datos que debió completarse fue de 37%, aproximadamente.

a) Estación El Yeso Embalse

La estación El Yeso Embalse, contó con un total de registros originales y sin completación, dado que fue definida como estación patrón.

Tabla N° 8. Precipitaciones mensuales Estación El Yeso Embalse (mm)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	9,0	34,7	103,8	108,5	121,2	173,6	53,9	99,8	1,2	0,0	2,2	21,7	729,6
64 / 65	0,0	0,0	95,3	47,3	48,6	4,4	9,2	10,4	34,6	29,8	0,0	0,0	279,6
65 / 66	87,4	100,3	16,1	193,7	307,9	27,2	27,1	51,0	87,0	0,0	0,0	0,0	897,7
66 / 67	67,5	21,0	94,6	60,7	58,2	0,0	5,0	12,7	9,5	8,0	7,0	0,0	344,2
67 / 68	4,7	36,7	73,0	35,0	29,0	46,0	29,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	259,4
68 / 69	18,6	3,2	26,9	0,0	14,2	22,2	6,7	4,7	8,0	0,0	0,0	1,6	106,1
69 / 70	62,5	30,7	188,7	81,2	87,7	41,7	27,8	19,2	0,0	0,0	3,0	0,0	542,5
70 / 71	0,0	98,1	32,0	106,5	13,0	19,1	17,0	0,0	0,0	5,0	0,0	4,0	294,7
73 / 74	24,3	69,5	45,0	166,0	0,0	15,0	8,0	0,0	8,0	0,0	1,5	0,0	337,3
75 / 76	41,0	58,0	2,0	148,0	59,0	5,5	10,0	10,5	0,0	1,5	38,5	14,0	388,0
76 / 77	42,5	39,5	157,0	7,5	13,0	21,5	44,5	16,5	9,5	1,5	0,0	3,0	356,0
79 / 80	12,0	65,5	1,5	47,5	139,0	16,5	0,0	66,0	35,5	0,0	38,0	0,0	421,5
80 / 81	201,0	201,5	90,0	164,5	18,0	60,5	15,0	8,0	0,0	0,0	35,0	20,0	813,5
81 / 82	11,0	196,5	21,5	26,0	35,5	11,5	9,0	4,5	0,0	3,5	0,0	5,5	324,5
82 / 83	0,0	90,0	602,0	431,5	215,5	89,4	20,5	6,5	0,0	47,0	9,5	0,0	1511,9
83 / 84	38,5	32,0	105,5	105,0	48,5	14,5	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	357,0
84 / 85	3,0	79,0	61,5	322,5	63,5	51,5	37,0	21,5	5,5	9,5	0,0	37,0	691,5
85 / 86	5,5	64,0	17,5	97,5	1,0	24,0	95,5	0,0	0,0	0,0	15,5	0,0	320,5
86 / 87	124,5	164,5	386,5	3,0	140,5	6,0	21,2	35,5	2,0	0,0	18,0	23,0	924,7
87 / 88	7,0	71,5	97,0	645,5	342,0	29,0	38,5	0,0	0,0	0,0	6,5	3,0	1240,0
88 / 89	1,5	62,0	26,0	55,0	114,5	17,0	3,5	1,5	9,0	0,0	0,0	0,0	290,0
89 / 90	30,5	42,0	12,0	75,5	242,5	54,5	3,5	1,5	0,0	0,0	0,0	31,5	493,5
90 / 91	25,0	28,0	24,0	43,5	73,0	89,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	293,5
91 / 92	81,5	311,5	139,5	244,0	5,5	72,5	9,5	10,5	53,0	1,5	0,5	5,5	935,0
92 / 93	72,1	119,0	172,5	67,0	28,5	33,0	14,5	30,9	0,0	21,0	37,5	0,0	596,0
93 / 94	132,0	217,7	169,5	59,6	14,0	21,5	1,0	15,0	0,0	0,0	0,0	3,9	634,2
94 / 95	60,0	44,0	79,5	257,5	16,5	44,7	11,7	7,1	0,0	25,1	3,5	0,0	549,6
95 / 96	59,2	32,0	155,5	31,5	43,7	35,5	4,5	7,0	0,0	11,0	0,0	0,0	379,9
96 / 97	35,7	17,0	37,0	27,9	18,5	1,5	5,7	1,5	3,0	0,0	0,0	20,0	167,8
97 / 98	27,3	108,0	460,7	55,7	212,0	231,5	49,5	6,1	30,6	0,0	14,0	27,3	1222,7
98 / 99	103,9	9,2	28,0	0,0	3,5	47,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	202,9
99 / 00	26,2	50,0	67,1	10,5	84,0	173,2	22,0	27,5	2,0	0,0	33,5	0,0	496,0
00 / 01	61,0	34,0	816,2	61,0	6,0	107,5	2,5	33,0	0,0	0,0	0,0	37,0	1158,2
01 / 02	50,5	72,0	60,0	406,3	189,2	17,5	17,0	0,0	4,0	0,0	3,5	11,0	831,0
02 / 03	45,0	195,0	367,0	206,0	308,0	47,5	14,0	1,2	8,0	57,5	0,0	5,5	1254,7
03 / 04	0,0	104,0	135,0	106,8	9,0	65,0	0,0	62,0	1,0	3,5	10,5	9,5	506,3
04 / 05	27,5	7,5	86,5	54,0	60,0	41,3	34,6	138,5	0,5	10,0	0,0	43,2	503,6
05 / 06	25,7	142,2	461,9	11,0	413,5	95,5	21,0	3,5	2,0	7,3	0,5	2,5	1186,6

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

b) Estación San José de Maipo Retén

Los datos faltantes de esta estación fueron completados con la estación El Yeso Embalse, a través de una regresión lineal simple. La ecuación utilizada fue la siguiente

$$\text{San José} = 6,03184 + 0,728153 * \text{El Yeso}$$

con;

$$\text{EEE} = 15,1501$$

$$R^2 = 0,86$$

$$\text{EEE}/\mu = 0,3232$$

El R^2 fue alto y el Error Estándar de Estimación (EEE) fue medio, lo que se corrobora con la relación EEE/μ , que indica que 0,32 es el error como proporción de la precipitación media.

Tabla N° 9. Precipitaciones mensuales Estación San José de Maipo Retén (mm)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	*12,6	*31,3	*81,6	*85,0	*94,3	*132,4	*45,3	*78,7	*6,9	*6,0	*7,6	*21,8	603,6
64 / 65	*6,0	*6,0	*75,4	*40,5	*41,4	*9,2	*12,7	*13,6	*31,2	*27,7	*6,0	*6,0	276,0
65 / 66	*69,7	*79,1	*17,8	*147,1	*230,2	*25,8	*25,8	*43,2	*69,4	*6,0	*6,0	*6,0	726,0
66 / 67	*55,2	*21,3	*74,9	*50,2	*48,4	*6,0	*9,7	*15,3	*12,9	*11,9	*11,1	*6,0	323,0
67 / 68	*9,5	*32,8	*59,2	*31,5	*27,1	*39,5	*27,1	*6,0	*6,0	*10,4	*6,0	*6,0	261,3
68 / 69	*19,6	*8,4	*25,6	*6,0	*16,4	*22,2	*10,9	*9,5	*11,9	*6,0	*6,0	*7,2	149,6
69 / 70	*51,5	*28,4	*143,4	*65,2	*69,9	*36,4	*26,3	*20,0	*6,0	*6,0	*8,2	*6,0	467,4
70 / 71	*6,0	*77,5	*29,3	*83,6	*15,5	*19,9	*18,4	*6,0	*6,0	*9,7	*6,0	*8,9	287,0
73 / 74	10,0	98,0	55,0	177,0	3,6	13,0	40,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	396,6
75 / 76	*35,9	56,5	5,0	150,0	88,5	0,0	0,0	23,5	0,0	0,0	0,0	0,0	359,4
76 / 77	*37,0	*34,8	*120,4	*11,5	0,0	67,5	105,0	18,0	2,0	0,0	0,0	0,0	396,1
79 / 80	20,0	62,5	6,5	120,0	126,0	71,0	0,0	68,0	31,0	0,0	34,0	0,0	539,0
80 / 81	123,0	56,0	111,5	128,5	17,0	30,5	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	4,0	477,0
81 / 82	10,0	257,0	21,0	38,0	22,0	23,0	22,5	1,0	0,0	26,0	0,0	13,5	434,0
82 / 83	0,0	149,0	599,0	141,5	103,0	103,0	37,0	4,0	0,0	33,0	4,0	0,0	1173,5
83 / 84	49,5	51,5	161,0	133,5	38,0	49,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	482,5
84 / 85	22,5	86,0	52,0	255,9	43,0	70,0	29,0	10,0	0,0	6,5	0,0	38,5	613,4

Continuación Tabla N° 9

85 / 86	7,0	65,0	115,0	134,2	22,3	26,5	63,0	0,0	0,0	0,0	8,5	0,0	441,5
86 / 87	29,0	192,8	261,1	2,5	92,3	9,0	24,0	33,5	0,0	0,0	0,0	8,5	652,7
87 / 88	13,5	71,5	60,5	460,0	321,0	18,0	71,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	1018,0
88 / 89	0,0	25,0	12,0	67,5	108,0	15,0	0,0	5,0	3,5	0,0	0,0	0,0	236,0
89 / 90	55,5	44,5	26,0	110,0	220,0	43,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,0	546,5
90 / 91	22,5	22,0	6,5	37,0	82,0	75,5	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	254,5
91 / 92	16,0	154,0	154,0	198,5	25,5	88,0	47,0	0,0	68,5	0,0	0,0	*10,0	761,5
92 / 93	84,5	157,5	169,5	40,0	53,0	37,0	2,5	17,0	0,0	3,5	0,0	0,0	564,5
93 / 94	125,0	212,0	44,0	49,0	27,0	25,5	8,5	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	496,0
94 / 95	*49,7	80,5	23,0	203,5	20,5	34,5	14,5	2,0	0,0	5,5	9,5	0,0	443,2
95 / 96	32,0	16,5	69,8	60,0	74,0	38,0	*9,3	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	306,6
96 / 97	53,0	8,0	49,0	33,0	51,0	0,0	3,5	0,0	8,5	0,0	0,0	27,0	233,0
97 / 98	3,5	116,0	442,0	77,5	130,0	105,5	80,0	17,5	23,0	0,0	12,0	3,0	1010,0
98 / 99	67,5	18,0	32,5	0,0	0,0	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	144,5
99 / 00	33,0	25,0	58,5	20,0	101,0	113,5	19,0	1,0	3,5	0,0	19,0	0,0	393,5
00 / 01	38,5	26,0	479,5	39,0	4,0	123,0	1,5	5,0	0,0	0,0	0,0	18,0	734,5
01 / 02	34,5	59,0	10,0	278,0	118,0	22,5	19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	553,5
02 / 03	18,5	214,0	243,0	124,5	178,0	49,0	9,0	3,0	2,5	20,5	0,0	0,1	862,1
03 / 04	0,0	92,5	84,0	107,0	3,5	39,5	0,0	29,0	0,0	7,0	0,0	17,0	379,5
04 / 05	46,0	22,0	57,5	71,5	67,5	54,0	17,0	96,5	0,0	0,0	0,0	27,0	459,0
05 / 06	9,5	105,4	336,0	35,0	211,0	34,5	22,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	764,4

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

* Datos de precipitaciones completados por regresión lineal

c) Estación San Gabriel

Los datos faltantes de esta estación fueron completados con las estaciones El Yeso Embalse y San José de Maipo Retén, a través de una regresión múltiple. La ecuación utilizada fue la siguiente

$$\text{San Gabriel} = 2,78902 + 0,413166 * \text{El yeso} + 0,641038 * \text{San José}$$

con;

$$EEE = 17,8614$$

$$R^2 = 0,92$$

$$EEE/\mu = 0,3183$$

El R² fue alto y el Error Estándar de Estimación (EEE) fue medio, dado que la relación EEE/ μ , indica que 0,32 es el error como proporción de la precipitación media.

Tabla N° 10. Precipitaciones mensuales Estación San Gabriel (mm)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	*14,6	*37,2	*98,0	*102,1	*113,3	*159,4	*54,1	*94,5	*7,7	*6,7	*8,6	*25,8	721,9
64 / 65	*6,7	*6,7	*90,5	*48,3	*49,4	*10,5	*14,8	*15,8	*37,1	*32,9	*6,7	*6,7	325,9
65 / 66	*83,6	*94,9	*20,8	*177,1	*277,6	*30,6	*30,5	*51,5	*83,2	*6,7	*6,7	*6,7	869,8
66 / 67	*66,1	*25,1	*89,9	*60,1	*57,9	*6,7	*11,1	*17,8	*15,0	*13,7	*12,8	*6,7	382,7
67 / 68	*10,8	*38,9	*70,9	*37,5	*32,2	*47,1	*32,2	*6,7	*6,7	*11,9	*6,7	*6,7	308,1
68 / 69	*23,0	*9,5	*30,3	*6,7	*19,2	*26,2	*12,6	*10,8	*13,7	*6,7	*6,7	*8,1	173,2
69 / 70	*61,7	*33,7	*172,7	*78,1	*83,8	*43,3	*31,1	*23,6	*6,7	*6,7	*9,3	*6,7	557,2
70 / 71	*6,7	*93,0	*34,8	*100,4	*18,1	*23,5	*21,6	*6,7	*6,7	*11,1	*6,7	*10,2	339,2
73 / 74	*19,2	*94,3	*56,6	*184,8	*5,1	*17,3	*31,7	*2,8	*6,1	*2,8	*3,4	*2,8	427,1
75 / 76	*42,7	*63,0	*6,8	*160,1	*83,9	*5,1	*6,9	*22,2	*2,8	*3,4	*18,7	*8,6	424,2
76 / 77	*44,1	*41,4	*144,8	*13,3	*8,2	*54,9	*88,5	*21,1	*8,0	*3,4	*2,8	*4,0	434,5
79 / 80	23,0	34,0	6,0	96,5	108,0	50,0	1,0	77,5	41,5	0,0	23,0	0,0	460,5
80 / 81	216,5	172,5	151,0	146,0	8,5	108,5	3,5	7,0	0,0	0,0	12,0	13,0	838,5
81 / 82	30,0	266,0	37,5	43,0	23,0	8,0	*20,9	*5,3	0,0	0,0	0,0	10,0	443,7
82 / 83	0,0	139,0	679,0	346,5	131,0	170,5	36,0	1,0	0,0	36,0	9,0	0,0	1548,0
83 / 84	50,0	63,0	137,5	107,0	104,5	1,5	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	478,5
84 / 85	27,0	75,0	94,0	273,5	114,5	71,0	18,4	14,0	0,4	3,5	0,0	24,5	715,8
85 / 86	4,0	78,5	23,5	77,0	5,0	21,0	120,5	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	331,5
86 / 87	83,0	206,0	299,3	5,0	125,2	0,0	20,8	56,0	0,0	0,0	0,0	0,0	795,3
87 / 88	8,5	72,0	114,0	439,5	341,5	12,0	92,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1080,0
88 / 89	0,0	52,0	26,0	70,0	154,0	38,0	1,0	4,0	5,0	0,0	0,0	0,0	350,0
89 / 90	42,0	58,4	33,0	166,0	327,0	112,5	0,0	*3,4	*2,8	0,0	0,0	0,0	745,1
90 / 91	45,0	4,0	28,0	54,0	36,0	101,0	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	274,5
91 / 92	52,0	206,5	207,5	269,5	12,5	58,0	20,0	4,7	47,7	0,0	0,0	12,0	890,4
92 / 93	95,0	147,5	0,0	62,0	9,0	3,8	7,0	47,5	0,0	12,0	0,0	0,0	383,8
93 / 94	205,5	199,6	146,0	74,0	29,0	29,0	8,0	10,0	1,0	0,0	0,0	0,0	702,1
94 / 95	44,5	179,4	89,1	122,7	0,0	25,0	24,0	60,0	15,0	0,0	0,0	0,0	559,7
95 / 96	7,0	0,0	155,5	26,5	49,0	75,0	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	319,5
96 / 97	5,5	0,0	37,0	30,4	62,0	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	37,0	172,6
97 / 98	24,5	127,5	599,5	92,0	181,5	158,6	86,6	3,0	29,0	0,0	11,0	5,0	1318,2
98 / 99	136,1	28,3	43,5	0,0	0,0	46,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	262,9
99 / 00	36,0	48,0	80,4	30,5	77,5	266,7	20,0	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	595,1
00 / 01	39,7	26,5	598,3	43,5	1,0	106,0	5,0	16,0	0,0	0,0	0,0	14,5	850,5
01 / 02	55,0	94,0	37,0	400,5	184,0	21,0	23,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	829,5
02 / 03	42,0	247,0	205,5	96,1	316,0	75,5	9,5	2,0	1,0	89,5	0,0	0,0	1084,1
03 / 04	0,0	86,5	112,0	115,2	12,5	65,0	0,0	47,5	0,0	0,0	0,0	24,5	463,2
04 / 05	66,0	36,0	77,0	94,2	60,1	73,5	22,6	111,5	0,0	0,0	0,0	41,0	581,9
05 / 06	11,5	174,0	339,0	44,0	310,4	71,0	37,0	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	999,9

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

* Datos de precipitaciones completados por regresión múltiple

d) Estación Maitenes Bocatoma

Los datos faltantes de esta estación fueron completados con las estaciones El Yeso Embalse y San José de Maipo Retén, a través de una regresión múltiple. La ecuación utilizada fue la siguiente

$$\text{Maitenes} = 1,1444 + 0,02729 * \text{El yeso} + 0,8360934 * \text{San José}$$

con;

$$\text{EEE} = 12,1016$$

$$R^2 = 0,97$$

$$\text{EEE}/\mu = 0,2265$$

El R^2 fue alto y el Error Estándar de Estimación (EEE) fue bajo. Esto se corrobora con la relación EEE/μ , que indica que 0,23 es el error como proporción de la precipitación media, valor que es más bajo que lo obtenido en las dos estaciones precedentes.

Tabla N° 11. Precipitaciones mensuales Estación Maitenes Bocatoma (mm)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	*11,8	*28,1	*71,8	*74,8	*82,8	*115,9	*40,2	*69,3	*6,9	*6,2	*7,5	*19,9	535,2
64 / 65	*6,2	*6,2	*66,4	*36,1	*36,9	*8,9	*12,0	*12,7	*28,0	*25,0	*6,2	*6,2	250,7
65 / 66	*61,4	*69,6	*16,3	*128,6	*200,9	*23,4	*23,3	*38,4	*61,2	*6,2	*6,2	*6,2	641,5
66 / 67	*48,8	*19,4	*66,0	*44,5	*43,0	*6,2	*9,3	*14,2	*12,2	*11,2	*10,6	*6,2	291,5
67 / 68	*9,1	*29,4	*52,3	*28,3	*24,5	*35,2	*24,5	*6,2	*6,2	*10,0	*6,2	*6,2	237,9
68 / 69	*17,9	*8,2	*23,2	*6,2	*15,1	*20,2	*10,4	*9,1	*11,2	*6,2	*6,2	*7,2	141,0
69 / 70	*45,7	*25,6	*125,5	*57,5	*61,6	*32,5	*23,7	*18,3	*6,2	*6,2	*8,1	*6,2	416,9
70 / 71	*6,2	*68,2	*26,4	*73,5	*14,4	*18,2	*16,9	*6,2	*6,2	*9,3	*6,2	*8,7	260,2
73 / 74	*10,1	*84,5	*48,1	*152,7	*4,1	*12,4	*34,6	*1,1	*1,4	*1,1	*1,2	*1,1	352,5
75 / 76	*32,1	*49,7	*5,4	*129,8	*76,3	*1,3	*1,4	*21,0	*1,1	*1,2	*2,2	*1,5	322,9
76 / 77	*33,0	*31,1	*105,4	*10,9	*1,5	*57,8	*89,6	*16,6	*3,1	*1,2	*1,1	*1,2	352,6
79 / 80	*18,1	*54,9	*6,6	*102,2	*109,6	*60,6	*1,1	*59,4	*27,9	*1,1	*30,4	*1,1	473,1
80 / 81	*108,8	*53,2	*96,2	*112,4	*15,8	*28,1	*1,6	*1,4	*1,1	*1,1	*7,5	*5,0	432,3
81 / 82	*9,8	*220,1	*19,2	*33,4	*20,4	*20,6	*20,1	*2,1	*1,1	*22,8	*1,1	*12,5	383,2
82 / 83	*1,1	*127,4	*515,3	*130,5	*92,6	*89,2	*32,4	*4,6	*1,1	*29,8	*4,7	*1,1	1030,1
83 / 84	*43,3	*44,8	*137,8	*114,9	*34,0	*42,3	*1,2	*1,1	*1,1	*1,1	*1,1	*1,4	424,4

Continuación Tabla N° 11

84 / 85	*19,9	*74,8	*46,0	*222,6	*38,6	*60,7	*26,3	*10,0	*1,3	*6,8	*1,1	*34,1	542,3
85 / 86	*7,1	*56,9	*97,2	*115,3	*19,7	*23,8	*56,1	*1,1	*1,1	*1,1	*8,6	*1,1	389,3
86 / 87	*28,6	*165,8	*228,6	*3,3	*81,7	*8,8	*21,7	*29,9	*1,2	*1,1	*1,6	*8,8	581,3
87 / 88	*12,6	*62,5	*54,1	*401,0	*277,2	*16,9	*61,6	*1,1	*1,1	*1,1	0,0	0,1	889,4
88 / 89	0,5	37,8	7,5	63,7	81,7	27,3	*1,2	*5,3	*4,3	*1,1	*1,1	*1,1	232,8
89 / 90	*48,1	*39,3	*23,1	107,9	209,6	*38,8	6,0	0,0	2,0	0,2	0,0	27,3	502,2
90 / 91	34,1	15,6	15,1	*33,1	*71,3	*66,3	*8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	244,4
91 / 92	*16,7	*137,6	109,4	*172,7	*22,5	*76,2	*40,5	*1,4	*59,5	0,0	0,0	*9,6	646,2
92 / 93	*73,3	*135,3	*146,7	33,7	*46,0	*32,8	*3,6	*16,1	*1,1	*4,6	*2,2	*1,1	496,5
93 / 94	126,9	149,7	53,7	*43,5	*24,0	*22,9	*8,2	*5,7	*1,1	*1,1	*1,1	*1,3	439,3
94 / 95	*44,1	*69,2	43,3	*177,3	*18,6	*31,0	*13,5	*3,0	*1,1	3,4	4,5	0,0	409,1
95 / 96	31,5	19,5	68,1	51,6	49,0	34,4	4,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	261,6
96 / 97	50,0	8,7	37,2	15,6	32,9	4,5	6,2	0,0	2,5	0,0	0,0	26,5	184,1
97 / 98	7,0	131,5	411,0	32,0	161,0	121,5	44,0	15,5	31,0	0,0	6,0	9,5	970,0
98 / 99	7,0	131,5	411,0	32,0	161,0	121,5	44,0	15,5	31,0	0,0	6,0	9,5	970,0
99 / 00	27,0	28,0	68,7	26,5	90,0	52,5	20,0	0,0	4,5	0,0	10,0	0,0	327,2
00 / 01	30,0	25,0	400,5	44,0	10,0	88,5	1,0	14,5	0,0	0,0	0,0	12,0	625,5
01 / 02	36,5	48,0	8,5	271,2	98,2	24,3	24,7	0,5	2,0	0,0	0,0	13,0	526,9
02 / 03	32,6	202,6	158,0	117,0	143,8	45,5	18,0	2,0	0,0	33,1	0,0	0,5	753,1
03 / 04	0,0	79,0	66,5	93,0	6,0	29,0	0,0	20,0	0,0	0,5	9,5	8,0	311,5
04 / 05	33,3	12,0	46,3	65,7	57,0	59,9	13,0	74,1	0,0	0,0	0,0	29,0	390,3
05 / 06	10,6	109,6	316,3	18,0	171,5	59,5	34,2	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	733,7

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

* Datos de precipitaciones completados por regresión múltiple

e) Estación La Obra recinto EMOS

Los datos faltantes de esta estación fueron completados con las estaciones El Yeso Embalse y San José de Maipo Retén, a través de una regresión múltiple. La ecuación utilizada fue la siguiente

$$Obra = 4,0696 + 0,0612683 * El\ yeso + 1,19385 * San\ José$$

con;

$$EEE = 11,9745$$

$$R^2 = 0,95$$

$$EEE/\mu = 0,1927$$

El R^2 fue alto y el Error Estándar de Estimación (EEE) fue bajo. Esto se corrobora con la relación EEE/μ , que indica que 0,19 es el error como proporción de la precipitación media, lo que mejora la estimación con respecto a las anteriores.

Tabla Nº 12. Precipitaciones mensuales Estación La Obra recinto EMOS (mm)

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	*19,6	*43,6	*107,9	*112,2	*124,1	*172,8	*61,4	*104,1	*12,4	*11,3	*13,3	*31,5	814,2
64 / 65	*11,3	*11,3	*100,0	*55,3	*56,5	*15,4	*19,8	*20,9	*43,5	*39,0	*11,3	*11,3	395,4
65 / 66	*92,6	*104,6	*26,3	*191,5	*297,8	*36,6	*36,5	*58,7	*92,2	*11,3	*11,3	*11,3	970,6
66 / 67	*74,1	*30,8	*99,3	*67,8	*65,4	*11,3	*15,9	*23,1	*20,1	*18,7	*17,8	*11,3	455,6
67 / 68	*15,6	*45,4	*79,2	*43,8	*38,3	*54,1	*38,3	*11,3	*11,3	*16,9	*11,3	*11,3	376,6
68 / 69	*28,6	*14,2	*36,3	*11,3	*24,5	*31,9	*17,5	*15,6	*18,7	*11,3	*11,3	*12,8	234,0
69 / 70	*69,4	*39,8	*186,9	*86,8	*92,9	*50,1	*37,1	*29,1	*11,3	*11,3	*14,1	*11,3	640,1
70 / 71	*11,3	*102,6	*41,0	*110,4	*23,4	*29,0	*27,1	*11,3	*11,3	*15,9	*11,3	*15,0	409,5
73 / 74	*17,5	*125,3	*72,5	*225,6	*8,4	*20,5	*52,3	*4,1	*4,6	*4,1	*4,2	*4,1	543,0
75 / 76	*49,4	*75,1	*10,2	*192,2	*113,3	*4,4	*4,7	*32,8	*4,1	*4,2	*6,4	*4,9	501,7
76 / 77	*50,8	*48,0	*157,4	*18,3	*4,9	*86,0	*132,2	*26,6	*7,0	*4,2	*4,1	*4,3	543,6
79 / 80	*28,7	*82,7	*11,9	*150,2	*163,0	*89,8	*4,1	*89,3	*43,3	*4,1	*47,0	*4,1	718,1
80 / 81	*163,2	*83,3	*142,7	*167,6	*25,5	*44,2	*5,0	*4,6	*4,1	*4,1	*14,0	*10,1	668,1
81 / 82	*16,7	*322,9	*30,5	*51,0	*32,5	*32,2	*31,5	*5,5	*4,1	*35,3	*4,1	*20,5	586,8
82 / 83	*4,1	*187,5	*756,1	*199,4	*140,2	*132,5	*49,5	*9,2	*4,1	*46,3	*9,4	*4,1	1542,4
83 / 84	*65,5	*67,5	*202,7	*169,9	*52,4	*63,5	*4,3	*4,1	*4,1	*4,1	*4,1	*4,7	646,7
84 / 85	*31,1	*111,6	*69,9	*329,3	*59,3	*90,8	*41,0	*17,3	*4,4	*12,4	*4,1	*52,3	823,5
85 / 86	*12,8	*85,6	*142,4	*170,3	*30,8	*37,2	*85,1	*4,1	*4,1	*4,1	*15,2	*4,1	595,6
86 / 87	*46,3	*244,3	*339,5	*7,2	*122,9	*15,2	*34,0	*46,2	*4,2	*4,1	*5,2	*15,6	884,7
87 / 88	*20,6	*93,8	*82,2	*592,8	*408,2	*27,3	*91,8	*4,1	*4,1	*4,1	*4,5	*6,6	1340,1
88 / 89	*4,2	*37,7	*20,0	*88,0	*140,0	*23,0	*4,3	*10,1	*8,8	*4,1	*4,1	*4,1	348,4
89 / 90	*72,2	*59,8	*35,8	*140,0	*281,6	*59,3	*4,3	*4,2	*4,1	*4,1	*4,1	*62,1	731,5
90 / 91	*32,5	*32,0	*13,3	*50,9	*106,4	*99,7	*15,5	*4,1	*4,1	*4,1	*4,1	*4,1	370,7
91 / 92	*28,2	*207,0	*196,5	*256,0	*34,8	*113,6	*60,8	*4,7	*89,1	*4,2	*4,1	*16,4	1015,3
92 / 93	*109,4	*199,4	*217,0	*55,9	*69,1	*50,3	*7,9	*26,3	*4,1	*9,5	*6,4	*4,1	759,3
93 / 94	*161,4	*270,5	*67,0	*66,2	*37,2	*35,8	*14,3	*11,0	*4,1	*4,1	*4,1	*4,3	679,8
94 / 95	*67,1	*102,9	*36,4	*262,8	*29,6	*48,0	*22,1	*6,9	*4,1	*12,2	*15,6	*4,1	611,6
95 / 96	*45,9	*25,7	109,5	88,9	95,5	45,5	0,0	0,1	0,0	2,5	0,0	0,0	413,6
96 / 97	60,0	10,5	76,0	37,5	94,0	10,5	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,0	320,5
97 / 98	4,5	184,5	534,0	132,2	176,0	170,0	124,7	19,7	37,0	0,0	3,6	4,3	1390,5
98 / 99	85,5	49,0	52,0	0,0	2,0	21,5	0,0	0,0	0,0	0,2	2,0	14,0	226,2
99 / 00	16,6	22,0	51,0	75,0	145,0	216,5	35,5	0,0	0,4	0,0	41,5	0,0	603,5
00 / 01	38,3	32,7	621,5	49,3	2,6	200,2	12,3	6,0	0,0	0,0	0,0	17,5	980,4
01 / 02	34,8	79,1	14,5	336,2	130,6	45,8	15,1	0,7	0,0	0,5	0,0	39,5	696,8
02 / 03	31,9	301,4	346,8	197,3	220,0	55,6	12,5	5,0	2,4	13,2	0,0	0,3	1186,4

Continuación Tabla Nº 12

03 /04	0,0	124,3	74,6	134,8	7,4	42,5	0,0	31,5	0,0	0,0	2,5	22,6	440,2
04/05	50,9	20,5	71,2	141,8	93,8	65,7	10,9	168,5	0,0	4,3	0,0	26,1	653,7
05 /06	5,2	147,4	308,5	95,7	385,1	53,7	66,4	21,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1083,5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

* Datos de precipitaciones completados por regresión múltiple

6.2.- Estimación de Precipitaciones Medias Areales

6.2.1.- Método de los Polígonos de Thiessen

A través de la cartografía y aplicando el método de Thiessen, como se mencionó en la metodología, se estimaron las precipitaciones medias areales para el área de influencia definida para cada estación fluviométrica base, es decir, Río Colorado antes junta Río Maipo y Río Maipo en el Manzano. A continuación, se describen las superficies totales de cada subcuenca en estudio y las áreas de influencia de cada estación.

Tabla Nº 13. Superficies abarcadas a través de Polígonos de Thiessen para la subcuenca El Colorado

Estaciones	Superficie representada (Km²)
La Obra (Recinto EMOS)	0,49
San José de Maipo Retén	30,87
Maitenes Bocatoma	1.678,64
Superficie Total Cuenca	1 .710

Tabla N° 14. Superficies abarcadas a través de Polígonos de Thiessen para la subcuenca del Maipo Alto

Estaciones	Superficie representada (Km²)
San José de Maipo Retén	170,46
El Yeso Embalse	816,54
San Gabriel	2.264,52
Superficie Total Cuenca	3.251,52

Luego, las precipitaciones medias areales para las subcuencas El Colorado y Maipo Alto, se determinan de la siguiente manera:

Subcuenca El Colorado

$$P_m = \frac{0,49 * P_{mo} + 30,87 * P_{mj} + 1.678,64 * P_{mm}}{1.710}$$

donde:

P_m = Precipitación media areal.

P_{mo} = Precipitación media estación La Obra (Recinto EMOS) (mm).

P_{mj} = Precipitación media estación San José de Maipo Retén (mm).

P_{mm} = Precipitación media estación Maitenes Bocatoma (mm).

Subcuenca del Maipo Alto

$$P_m = \frac{170,46 * P_{mj} + 816,54 * P_{my} + 2.264,52 P_{mg}}{3.251,52}$$

donde:

P_m = Precipitación media areal.

P_{mj} = Precipitación media estación San José de Maipo Retén (mm).

P_{my} = Precipitación media estación El Yeso Embalse (mm).

P_{mg} = Precipitación media estación San Gabriel (mm).

6.2.1.1. Precipitaciones Medias Areales para la subcuenca El Colorado

Tabla N° 15.

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	11,9	28,2	72,0	75,0	83,0	116,2	40,3	69,4	6,9	6,2	7,6	19,9	536,5
64 / 65	6,2	6,2	66,6	36,2	37,0	8,9	12,0	12,8	28,1	25,1	6,2	6,2	251,2
65 / 66	61,6	69,8	16,4	129,0	201,4	23,4	23,3	38,5	61,3	6,2	6,2	6,2	643,1
66 / 67	49,0	19,5	66,1	44,6	43,1	6,2	9,3	14,2	12,2	11,2	10,6	6,2	292,1
67 / 68	9,1	29,4	52,4	28,4	24,5	35,3	24,5	6,2	6,2	10,0	6,2	6,2	238,4
68 / 69	18,0	8,2	23,2	6,2	15,2	20,2	10,4	9,1	11,2	6,2	6,2	7,2	141,2
69 / 70	45,8	25,6	125,8	57,6	61,8	32,6	23,8	18,3	6,2	6,2	8,1	6,2	417,9
70 / 71	6,2	68,4	26,4	73,7	14,4	18,3	16,9	6,2	6,2	9,3	6,2	8,7	260,8
73 / 74	10,1	84,7	48,2	153,2	4,1	12,4	34,7	1,1	1,3	1,1	1,2	1,1	353,3
75 / 76	32,2	49,8	5,3	130,2	76,5	1,3	1,4	21,0	1,1	1,2	2,2	1,5	323,7
76 / 77	33,1	31,2	105,7	10,9	1,5	58,0	89,9	16,6	3,0	1,2	1,1	1,2	353,4
79 / 80	18,1	55,0	6,6	102,5	109,9	60,8	1,1	59,6	27,9	1,1	30,5	1,1	474,4
80 / 81	109,1	53,2	96,5	112,7	15,8	28,2	1,5	1,3	1,1	1,1	7,5	5,0	433,2
81 / 82	9,8	220,8	19,2	33,5	20,4	20,6	20,1	2,1	1,1	22,9	1,1	12,5	384,2
82 / 83	1,1	127,8	516,9	130,7	92,8	89,4	32,5	4,6	1,1	29,9	4,7	1,1	1032,8
83 / 84	43,4	44,9	138,2	115,3	34,1	42,4	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4	425,5
84 / 85	20,0	75,0	46,1	223,2	38,7	60,9	26,3	10,0	1,3	6,8	1,1	34,2	543,7
85 / 86	7,1	57,1	97,5	115,7	19,8	23,9	56,2	1,1	1,1	1,1	8,6	1,1	390,3
86 / 87	28,7	166,3	229,3	3,3	81,9	8,8	21,7	30,0	1,2	1,1	1,6	8,8	582,7
87 / 88	12,6	62,7	54,2	402,1	278,0	16,9	61,8	1,1	1,1	1,1	0,0	0,1	891,8
88 / 89	0,5	37,6	7,6	63,8	82,2	27,1	1,2	5,3	4,3	1,1	1,1	1,1	232,9
89 / 90	48,2	39,4	23,1	107,9	209,8	38,9	5,9	0,0	2,0	0,2	0,0	27,7	503,1
90 / 91	33,9	15,7	14,9	33,2	71,5	66,5	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	244,6
91 / 92	16,7	137,9	110,2	173,2	22,5	76,5	40,6	1,4	59,7	0,0	0,0	9,6	648,4
92 / 93	73,5	135,7	147,1	33,8	46,1	32,9	3,6	16,1	1,1	4,6	2,1	1,1	497,9
93 / 94	126,9	150,9	53,5	43,6	24,0	23,0	8,2	5,7	1,1	1,1	1,1	1,2	440,4
94 / 95	44,2	69,4	42,9	177,8	18,7	31,1	13,5	3,0	1,1	3,4	4,6	0,0	409,8
95 / 96	31,5	19,4	68,1	51,8	49,5	34,5	4,1	3,4	0,0	0,1	0,0	0,0	262,5
96 / 97	50,1	8,7	37,4	15,9	33,2	4,4	6,2	0,0	2,6	0,0	0,0	26,5	185,0
97 / 98	6,9	131,2	411,6	32,9	160,4	121,2	44,7	15,5	30,9	0,0	6,1	9,4	970,8

Continuación Tabla Nº 15

98 / 99	8,1	129,4	404,1	31,4	158,0	119,6	43,2	15,2	30,4	0,0	5,9	9,5	954,9
99 / 00	27,1	27,9	68,5	26,4	90,2	53,6	20,0	0,0	4,5	0,0	10,2	0,0	328,5
00 / 01	30,2	25,0	402,0	43,9	9,9	89,2	1,0	14,3	0,0	0,0	0,0	12,1	627,6
01 / 02	36,5	48,2	8,5	271,3	98,6	24,3	24,6	0,5	2,0	0,0	0,0	13,0	527,4
02 / 03	32,3	202,8	159,6	117,2	144,4	45,6	17,8	2,0	0,0	32,9	0,0	0,5	755,2
03 / 04	0,0	79,3	66,8	93,3	6,0	29,2	0,0	20,2	0,0	0,6	9,3	8,2	312,8
04 / 05	33,5	12,2	46,5	65,8	57,2	59,8	13,1	74,5	0,0	0,0	0,0	29,0	391,6
05 / 06	10,6	109,5	316,7	18,3	172,3	59,0	34,0	13,9	0,0	0,0	0,0	0,0	734,4

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.1.2. Precipitaciones Medias Areales para la subcuenca del Maipo Alto

Tabla Nº 16. .

Años	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
63 / 64	13,1	36,3	98,6	102,8	114,3	161,6	53,6	95,0	6,0	5,0	6,9	24,5	717,6
64 / 65	5,0	5,0	90,9	47,6	48,8	8,9	13,3	14,3	36,2	31,8	5,0	5,0	311,7
65 / 66	83,8	95,4	19,5	179,7	282,7	29,5	29,4	51,0	83,4	5,0	5,0	5,0	869,3
66 / 67	65,8	23,9	90,3	59,7	57,5	5,0	9,5	16,4	13,5	12,2	11,3	5,0	369,9
67 / 68	9,2	38,1	70,8	36,5	31,1	46,4	31,1	5,0	5,0	10,4	5,0	5,0	293,4
68 / 69	21,7	7,8	29,2	5,0	17,8	25,0	11,0	9,2	12,2	5,0	5,0	6,4	155,1
69 / 70	61,3	32,6	175,2	78,2	84,1	42,6	30,0	22,3	5,0	5,0	7,7	5,0	548,8
70 / 71	5,0	93,5	33,8	101,0	16,7	22,2	20,3	5,0	5,0	9,5	5,0	8,6	325,3
73 / 74	20,0	88,3	53,6	179,7	3,7	16,5	26,2	1,9	6,3	1,9	2,8	1,9	402,9
75 / 76	41,9	61,4	5,5	156,5	77,9	4,9	7,3	19,3	1,9	2,8	22,7	9,5	411,7
76 / 77	43,3	40,6	146,6	11,7	8,9	47,2	78,3	19,8	8,1	2,8	1,9	3,6	412,8
79 / 80	20,1	43,4	4,9	85,4	116,7	42,7	0,7	74,1	39,4	0,0	27,3	0,0	454,8
80 / 81	207,7	173,7	133,6	149,7	11,3	92,4	6,2	6,9	0,0	0,0	17,5	14,3	813,3
81 / 82	24,2	248,1	32,6	38,5	26,1	9,7	18,0	4,9	0,0	2,2	0,0	9,1	413,3
82 / 83	0,0	127,2	655,5	357,1	150,8	146,6	32,2	2,5	0,0	38,6	8,9	0,0	1519,3
83 / 84	47,1	54,6	130,7	107,9	87,0	7,3	11,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	448,2
84 / 85	20,7	76,6	83,6	284,9	97,9	66,1	23,6	15,7	1,7	5,2	0,0	28,4	704,3
85 / 86	4,5	74,2	26,8	85,1	4,9	22,0	111,2	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0	334,5
86 / 87	90,6	194,9	319,2	4,4	127,3	2,0	21,1	49,7	0,5	0,0	4,5	6,2	820,3
87 / 88	8,4	71,8	106,9	492,3	340,6	16,6	77,8	0,0	0,0	0,0	1,6	0,9	1116,9
88 / 89	0,4	53,1	25,3	66,1	141,7	31,5	1,6	3,4	5,9	0,0	0,0	0,0	329,0
89 / 90	39,8	53,6	27,4	140,3	300,2	94,3	0,9	2,7	2,0	0,0	0,0	10,4	671,5
90 / 91	38,8	11,0	25,9	50,5	47,7	96,6	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	278,2
91 / 92	57,5	230,1	187,6	259,4	11,4	63,2	18,8	5,9	50,1	0,4	0,1	10,3	894,8
92 / 93	88,7	140,9	52,2	62,1	16,2	12,9	8,6	41,7	0,0	13,8	9,4	0,0	446,6
93 / 94	182,8	204,8	146,6	69,1	25,1	26,9	6,3	11,0	0,7	0,0	0,0	1,0	674,2

Continuación Tabla N° 16

94 / 95	48,7	140,2	83,2	160,8	5,2	30,4	20,4	43,7	10,4	6,6	1,4	0,0	551,1
95 / 96	21,4	8,9	151,0	29,5	49,0	63,1	6,1	1,8	0,0	3,1	0,0	0,0	334,0
96 / 97	15,6	4,7	37,6	29,9	50,5	0,7	1,8	0,4	1,2	0,0	0,0	32,2	174,6
97 / 98	24,1	122,0	556,4	82,1	186,5	174,1	76,9	4,5	29,1	0,0	11,8	10,5	1278,1
98 / 99	124,4	23,0	39,0	0,0	0,9	44,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	241,6
99 / 00	33,4	47,3	75,9	24,9	80,4	235,2	20,4	7,0	0,7	0,0	34,5	0,0	559,6
00 / 01	45,0	28,4	646,8	47,7	2,4	107,3	4,2	19,7	0,0	0,0	0,0	20,3	921,7
01 / 02	52,8	86,6	41,4	395,5	181,8	20,2	21,3	0,0	1,0	0,0	0,9	13,9	815,4
02 / 03	41,5	232,2	248,0	125,2	306,8	67,1	10,6	1,9	2,8	77,8	0,0	1,4	1115,3
03 / 04	0,0	91,2	116,3	112,7	11,1	63,7	0,0	50,2	0,3	1,2	2,6	20,3	469,6
04/05	55,3	28,1	78,4	82,9	60,5	64,4	25,3	117,5	0,1	2,5	0,0	40,8	555,8
05 / 06	15,0	162,4	369,7	35,2	331,1	75,2	32,2	10,5	0,5	1,8	0,1	0,6	1034,4

Fuente: Elaboración propia

6.3. Comparación íterperíodos de valores medios, mensuales y anuales.

6.3.1. Comparación de Precipitaciones

a) Subcuenca El Colorado

Tabla N° 17. Valores promedio de precipitación para los distintos períodos analizados.

Meses	Períodos			
	1963 -1976	1963 - 1986	1963 - 1996	1963 - 2006
Abril	24,99	27,31	32,44	30,09
Mayo	38,97	58,59	67,49	70,11
Junio	50,26	84,97	81,45	110,58
Julio	73,40	87,70	95,32	89,09
Agosto	56,10	49,67	63,51	71,28
Septiembre	36,61	36,25	42,66	42,66
Octubre	19,68	23,65	21,26	21,05
Noviembre	19,68	16,30	12,84	13,57
Diciembre	14,07	9,92	8,93	8,44
Enero	8,25	8,21	5,74	5,11
Febrero	6,03	6,45	4,53	4,16
Marzo	6,92	7,05	6,31	7,49
Anual	345,82	416,43	436,06	473,63

Tabla N° 18. Comparación de los valores medios en proporción, y con respecto al período 1963 - 1976.

Meses	Períodos		
	1963 - 1986	1963 - 1996	1963 - 2006
Abril	0,09	0,30	0,20
Mayo	0,50	0,73	0,80
Junio	0,69	0,62	1,20
Julio	0,19	0,30	0,21
Agosto	-0,11	0,13	0,27
Septiembre	-0,01	0,17	0,17
Octubre	0,20	0,08	0,07
Noviembre	-0,17	-0,35	-0,31
Diciembre	-0,29	-0,37	-0,40
Enero	0,00	-0,30	-0,38
Febrero	0,07	-0,25	-0,31
Marzo	0,02	-0,09	0,08
Anual	0,20	0,26	0,37

Fuente: *Elaboración propia.*

Según los resultados presentados en la Tabla N° 18, se aprecian en los meses de mayo y junio, fuertes incrementos en las precipitaciones con respecto al primer período. En abril y agosto, se observa un incremento menor. Llamen la atención los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, que muestran un descenso de las precipitaciones en comparación al primer período.

b) Subcuenca del Maipo Alto.

Tabla N° 19. Valores promedio de precipitación, para los distintos períodos analizados.

Meses	Períodos			
	1963 -1976	1963 - 1986	1963 - 1996	1963 - 2006
Abril	32,68	38,58	45,41	44,17
Mayo	48,22	73,36	86,78	85,67
Junio	66,75	104,54	107,39	137,28
Julio	94,68	114,84	121,49	114,15
Agosto	73,45	68,79	82,23	92,48
Septiembre	36,25	44,24	44,07	54,91
Octubre	23,17	28,51	24,38	23,04
Noviembre	23,93	20,18	18,68	19,33
Diciembre	17,44	12,42	10,47	8,65
Enero	8,83	7,62	5,75	6,43
Febrero	7,61	7,63	5,52	5,77
Marzo	7,57	7,41	5,79	8,20
Anual	440,57	528,12	557,96	599,71

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 20. Comparación de los valores medios en proporción, respecto al período 1963 - 1976.

Meses	Períodos		
	1963 - 1986	1963 - 1996	1963 - 2006
Abril	0,18	0,39	0,35
Mayo	0,52	0,80	0,78
Junio	0,57	0,61	1,06
Julio	0,21	0,28	0,21
Agosto	-0,06	0,12	0,26
Septiembre	0,22	0,22	0,51
Octubre	0,23	0,05	-0,01
Noviembre	-0,16	-0,22	-0,19
Diciembre	-0,29	-0,40	-0,50
Enero	-0,14	-0,35	-0,27
Febrero	0,00	-0,27	-0,24
Marzo	-0,02	-0,24	0,08
Anual	0,20	0,27	0,36

Según los resultados presentados en la Tabla N° 20, se aprecia en los primeros cuatro meses de inicio del año hidrológico, un aumento en las precipitaciones, aunque en el último período ese aumento es menor que el anterior. A su vez, el mes de junio presenta en sus tres períodos de comparación, un fuerte incremento. En los otros meses, se manifestó claramente un decremento en las precipitaciones en el período estival a lo largo de los tres períodos evaluados. A nivel anual, hay un claro incremento.

6.3.2. Comparación de Caudales

b) Subcuenca El Colorado

Tabla N° 21. Valores promedio para la variable caudal.

Meses	Períodos			
	1963 -1976	1963 - 1986	1963 - 1996	1963 - 2006
Abril	68,17	73,88	78,29	76,74
Mayo	49,00	56,10	71,16	66,97
Junio	43,96	52,72	59,23	61,23
Julio	44,30	54,49	59,21	60,60
Agosto	46,31	53,01	57,59	60,40
Septiembre	54,12	61,53	67,16	69,17
Octubre	75,28	88,26	95,11	96,82
Noviembre	28,13	33,83	37,64	38,58
Diciembre	42,95	49,09	53,46	55,93
Enero	160,78	204,31	205,20	210,23
Febrero	117,80	150,46	153,49	153,14
Marzo	80,94	102,33	105,04	104,99
Anual	1020,84	1237,49	1305,83	1321,17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 22. Comparación de los valores medios en proporción, y con respecto al período 1963 - 1976.

Meses	Períodos		
	1963 - 1986	1963 - 1996	1963 - 2006
Abril	0,08	0,15	0,13
Mayo	0,14	0,45	0,37
Junio	0,20	0,35	0,39
Julio	0,23	0,34	0,37
Agosto	0,14	0,24	0,30
Septiembre	0,14	0,24	0,28
Octubre	0,17	0,26	0,29
Noviembre	0,20	0,34	0,37
Diciembre	0,14	0,24	0,30
Enero	0,27	0,28	0,31
Febrero	0,28	0,30	0,30
Marzo	0,26	0,30	0,30
Anual	0,21	0,28	0,29

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados presentados en la Tabla N° 22, en esta estación se puede ver una tendencia al incremento del caudal en casi todos sus meses y en todos los períodos analizados.

a) Subcuenca del Maipo Alto

Tabla N° 23. Valores promedio para la variable caudal.

Meses	Períodos			
	1963 -1976	1963 - 1986	1963 - 1996	1963 - 2006
Abril	17,88	22,66	22,76	21,97
Mayo	13,46	18,94	19,39	18,35
Junio	11,97	17,44	17,62	17,73
Julio	12,17	16,55	16,83	16,54
Agosto	12,93	17,48	17,31	17,40
Septiembre	14,21	18,20	18,78	19,24
Octubre	18,69	23,09	24,92	25,39

Continuación Tabla N° 23

Noviembre	28,13	33,83	37,64	38,58
Diciembre	42,95	49,09	53,46	55,93
Enero	48,35	55,23	58,28	60,65
Febrero	40,90	47,60	49,38	49,80
Marzo	25,05	32,55	33,87	33,32
Anual	286,69	352,66	370,24	374,90

Tabla N° 24. Comparación de los valores medios en proporción, y con respecto al período 1963 - 1976.

Meses	Períodos		
	1963 - 1986	1963 - 1996	1963 - 2006
Abril	0,27	0,27	0,23
Mayo	0,41	0,44	0,36
Junio	0,46	0,47	0,48
Julio	0,36	0,38	0,36
Agosto	0,35	0,34	0,35
Septiembre	0,28	0,32	0,35
Octubre	0,24	0,33	0,36
Noviembre	0,20	0,34	0,37
Diciembre	0,14	0,24	0,30
Enero	0,14	0,21	0,25
Febrero	0,16	0,21	0,22
Marzo	0,30	0,35	0,33
Anual	0,23	0,29	0,31

Según los resultados presentados en la Tabla N° 24, se aprecia en casi el total de los meses un incremento en los caudales. En los meses de marzo, abril y mayo, se muestran incrementos algo menores, en el último período, con respecto a los otros meses de este mismo período, y ambos con respecto al lapso 1963-1976.

6.4. Ajuste de la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel a nivel mensual y anual.

6.4.1. Ajuste de Gumbel para las precipitaciones.

El ajuste de la función de Distribución de Probabilidad de Gumbel se realizó a través de los cuatro períodos establecidos, tanto para las precipitaciones, como para los caudales mencionados anteriormente. Para ajustar los datos a la función, primero se determinó el valor medio de las precipitaciones asociadas a cada periodo de retorno, como se indica en la fórmula presentada en la metodología, y además se realizó una comparación de periodos con respecto al primer período (1963-1976).

6.4.1.1. Funciones Ajustadas

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

a) Subcuenca El Colorado

Tabla N° 25. Valores de los parámetros

Meses	Períodos							
	1963-1976		1963-1986		1963-1996		1963-2006	
	μ	d	μ	d	μ	d	μ	d
Abril	15,74	0,062	15,17	0,048	18,60	0,042	17,61	0,046
Mayo	26,59	0,047	35,96	0,026	43,38	0,024	44,95	0,023
Junio	34,40	0,036	33,16	0,011	36,53	0,013	52,19	0,010
Julio	51,30	0,026	62,06	0,023	58,06	0,015	52,58	0,016
Agosto	30,14	0,022	27,45	0,026	33,65	0,019	41,47	0,019
Septiembre	22,97	0,042	24,13	0,048	28,30	0,040	28,30	0,040
Octubre	14,27	0,107	13,58	0,057	11,67	0,060	12,10	0,065
Noviembre	10,52	0,063	7,31	0,064	5,00	0,074	5,25	0,069
Diciembre	5,84	0,070	3,00	0,083	1,61	0,079	1,58	0,084
Enero	5,20	0,189	4,19	0,144	2,18	0,162	1,27	0,150
Febrero	4,81	0,474	3,43	0,191	1,82	0,213	1,65	0,230
Marzo	4,60	0,249	3,30	0,154	2,53	0,153	3,45	0,143
Anual	278,22	0,009	327,86	0,007	347,02	0,006	372,02	0,006

Fuente: Elaboración propia

b) Subcuenca del Maipo Alto

Tabla N° 26. Valores de los Parámetros

Meses	Períodos							
	1963-1976		1963-1986		1963-1996		1963-2006	
	μ	d	μ	d	μ	d	μ	d
Abril	19,80	0,045	16,77	0,026	22,896	0,026	23,43	0,028
Mayo	32,75	0,037	46,01	0,021	55,28	0,018	54,32	0,018
Junio	44,21	0,026	38,57	0,009	49,71	0,010	63,05	0,008
Julio	67,21	0,021	73,32	0,014	70,95	0,011	63,86	0,011
Agosto	36,88	0,016	37,41	0,018	41,01	0,014	4,717	0,013
Septiembre	15,40	0,028	23,45	0,028	25,41	0,031	31,04	0,024
Octubre	16,84	0,091	16,02	0,046	12,57	0,049	11,66	0,051
Noviembre	11,05	0,045	8,23	0,048	7,79	0,053	6,89	0,046
Diciembre	6,10	0,051	2,90	0,061	1,825	0,067	0,88	0,074
Enero	4,90	0,147	2,79	0,120	1,58	0,138	0,08	0,089
Febrero	5,01	0,220	4,19	0,167	2,38	0,184	2,10	0,157
Marzo	4,72	0,203	3,86	0,163	2,60	0,181	3,72	0,129
Anual	344,22	0,006	387,50	0,004	424,05	0,004	454,84	0,004

Fuente: Elaboración propia.

6.4.1.2. Calidad de los ajustes

a) Subcuenca El Colorado

Tabla N° 27. Coeficientes de Determinación (R^2).

Meses	Períodos			
	1963-1976	1963-1986	1963-1996	1963-2006
Abril	0,86	0,94	0,96	0,97
Mayo	0,85	0,96	0,97	0,97
Junio	0,94	0,84	0,90	0,88
Julio	0,94	0,92	0,98	0,97
Agosto	0,95	0,95	0,92	0,96
Septiembre	0,88	0,97	0,98	0,98
Octubre	0,93	0,98	0,97	0,98
Noviembre	0,92	0,90	0,88	0,89
Diciembre	0,81	0,78	0,67	0,69
Enero	0,90	0,89	0,84	0,77
Febrero	0,70	0,89	0,91	0,91
Marzo	0,80	0,87	0,88	0,92
Anual	0,97	0,98	0,99	0,99

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 28. Valores de Kolmogorov-Smirnov.

Meses	Períodos											
	1963 - 1976			1963 - 1986			1963 - 1996			1963 - 2006		
	Dc	Dt	Ca	Dc	Dt	Ca	Dc	Dt	Ca	Dc	Dt	Ca
Abril	0,174	0,410	A	0,127	0,309	A	0,111	0,257	A	0,081	0,220	A
Mayo	0,189	0,410	A	0,094	0,309	A	0,102	0,257	A	0,093	0,220	A
Junio	0,100	0,410	A	0,205	0,309	A	0,189	0,257	A	0,177	0,220	A
Julio	0,148	0,410	A	0,153	0,309	A	0,079	0,257	A	0,089	0,220	A
Agosto	0,079	0,410	A	0,118	0,309	A	0,133	0,257	A	0,092	0,220	A
Septiembre	0,156	0,410	A	0,092	0,309	A	0,098	0,257	A	0,094	0,220	A
Octubre	0,085	0,410	A	0,078	0,309	A	0,118	0,257	A	0,086	0,220	A
Noviembre	0,131	0,410	A	0,174	0,309	A	0,201	0,257	A	0,212	0,220	A
Diciembre	0,201	0,410	A	0,258	0,309	A	0,287	0,257	A	0,294	0,220	A
Enero	0,161	0,410	A	0,159	0,309	A	0,210	0,257	A	0,273	0,220	A
Febrero	0,317	0,410	A	0,159	0,309	A	0,195	0,257	A	0,206	0,220	A
Marzo	0,234	0,410	A	0,194	0,309	A	0,195	0,257	A	0,169	0,220	A
Anual	0,089	0,410	A	0,065	0,309	A	0,069	0,257	A	0,060	0,220	A

Fuente: Elaboración propia.

Calidad de Ajuste (Ca)

A: Se acepta como válido el ajuste

R: Se rechaza la validez del ajuste

b) Subcuenca del Maipo alto

Tabla N° 29. Coeficientes de Determinación (R^2).

Meses	Períodos			
	1963-1976	1963-1986	1963-1996	1963-2006
Abril	0,89	0,90	0,95	0,96
Mayo	0,91	0,98	0,97	0,98
Junio	0,95	0,84	0,90	0,88
Julio	0,94	0,98	0,96	0,95
Agosto	0,94	0,97	0,94	0,94
Septiembre	0,85	0,94	0,96	0,97
Octubre	0,83	0,93	0,92	0,94
Noviembre	0,87	0,86	0,88	0,85
Diciembre	0,72	0,76	0,73	0,68
Enero	0,86	0,84	0,84	0,65
Febrero	0,80	0,93	0,93	0,89
Marzo	0,79	0,93	0,94	0,94
Anual	0,95	0,92	0,96	0,98

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 30. Valores de Kolmogorov-Smirnov.

Meses	Períodos											
	1963 - 1976			1963 - 1986			1963 - 1996			1963 - 2006		
	Dc	Dt	Ca	Dc	Dt	Ca	Dc	Dt	Ca	Dc	Dt	Ca
Abril	0,146	0,410	A	0,160	0,309	A	0,129	0,257	A	0,120	0,220	A
Mayo	0,152	0,410	A	0,088	0,309	A	0,085	0,257	A	0,092	0,220	A
Junio	0,103	0,410	A	0,206	0,309	A	0,175	0,257	A	0,178	0,220	A
Julio	0,131	0,410	A	0,092	0,309	A	0,107	0,257	A	0,110	0,220	A
Agosto	0,102	0,410	A	0,107	0,309	A	0,151	0,257	A	0,136	0,220	A
Septiembre	0,171	0,410	A	0,134	0,309	A	0,115	0,257	A	0,100	0,220	A
Octubre	0,036	0,410	A	0,168	0,309	A	0,146	0,257	A	0,142	0,220	A
Noviembre	0,180	0,410	A	0,189	0,309	A	0,186	0,257	A	0,218	0,220	A
Diciembre	0,223	0,410	A	0,251	0,309	A	0,209	0,257	A	0,218	0,220	A
Enero	0,175	0,410	A	0,213	0,309	A	0,214	0,257	A	0,215	0,220	A
Febrero	0,182	0,410	A	0,117	0,309	A	0,178	0,257	A	0,213	0,220	A
Marzo	0,203	0,410	A	0,146	0,309	A	0,167	0,257	A	0,173	0,220	A
Anual	0,123	0,410	A	0,166	0,309	A	0,139	0,257	A	0,098	0,220	A

Fuente: Elaboración propia.

Calidad de Ajuste (Ca)

A: Se acepta como válido el ajuste

R: Se rechaza la validez del ajuste

6.4.1.3. Cálculo de Probabilidades por mes y asociadas a cada período.

A continuación se presentan las precipitaciones areales de las dos subcuencas en estudio, ajustadas a la Función de Distribución de Gumbel por mes y por año; sin embargo, se muestran sólo las probabilidades para el período de retorno $T = 50$ años. Se eligió éste por considerarlo representativo, aunque en el anexo I, se encuentra la totalidad de la información para los períodos de retorno 20 y 75 años.

Tabla N° 31. Función de Gumbel para la subcuenca El Colorado, mensual y anual, para precipitación (T=50).

Meses	Períodos			
	1963 - 1976	1963 - 1986	1963 - 1996	1963 - 2006
Abril	78,26	97,27	112,15	101,98
Mayo	110,30	188,97	206,34	214,99
Junio	141,60	383,40	340,19	446,92
Julio	200,70	235,39	309,93	299,40
Agosto	205,61	177,64	235,46	242,97
Septiembre	84,85	105,92	122,01	110,88
Octubre	50,84	81,64	76,48	72,58
Noviembre	72,48	68,09	58,01	51,51
Diciembre	61,48	49,76	51,10	47,92
Enero	25,83	31,34	26,20	27,22
Febrero	13,05	23,88	20,10	18,63
Marzo	20,25	28,67	28,07	30,78
Anual	735,17	926,60	948,90	1058,88

Fuente: Elaboración propia.

La precipitación asociada a un período de retorno de T=50 años, se incrementa si se considera el período 1963-2006 con respecto al período 1963-1976. Se puede pensar que esto es producto de lo ocurrido en el último tiempo (10 años), pero los períodos intermedios denotan el mismo comportamiento y prácticamente para todos los meses.

Tabla N° 32. Función de Gumbel para la subcuenca del Maipo Alto, mensual y anual, para precipitaciones (T=50).

Meses	Períodos			
	1963 - 1976	1963 - 1986	1963 - 1996	1963 - 2006
Abril	106,88	164,22	175,29	163,66
Mayo	137,34	230,89	268,19	266,25
Junio	196,58	484,52	439,65	564,84
Julio	252,90	353,98	412,58	403,82
Agosto	284,11	249,52	319,68	353,53
Septiembre	156,35	164,01	151,59	192,46
Octubre	59,59	100,46	92,37	88,57
Noviembre	98,13	88,99	81,45	91,02
Diciembre	82,75	67,23	60,28	53,45
Enero	31,49	35,40	29,76	43,93
Febrero	22,58	27,50	23,56	26,89
Marzo	23,95	27,82	24,17	34,00
Anual	995,57	1338,10	1329,25	1434,14

Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente las precipitaciones se ven incrementadas para un período de retorno de 50 años, en cada uno de los períodos analizados y con respecto al primer período.

6.4.2.- Ajuste de Gumbel para los caudales.

Los períodos de los caudales están conformados por los mismos años que las precipitaciones. Además, el ajuste de esta variable se realizó de igual manera que en las precipitaciones, a nivel mensual y anual.

6.4.2.1. Funciones ajustadas

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

a) Subcuenca El Colorado

Tabla N° 33. Valores de los parámetros

Meses	Períodos							
	1963-1976		1963-1986		1963-1996		1963-2006	
	μ	d	μ	d	μ	d	μ	d
Abril	14,74	0,184	16,78	0,098	17,77	0,116	17,47	0,128
Mayo	11,39	0,279	12,39	0,088	13,83	0,104	13,47	0,118
Junio	10,42	0,372	11,69	0,100	12,86	0,121	13,50	0,136
Julio	10,12	0,281	11,84	0,122	12,82	0,144	12,95	0,161
Agosto	10,60	0,248	11,39	0,095	12,37	0,117	12,85	0,127
Septiembre	11,84	0,244	12,83	0,107	14,31	0,129	15,06	0,139
Octubre	15,07	0,159	17,31	0,100	19,94	0,116	20,49	0,118
Noviembre	22,05	0,095	26,69	0,081	31,01	0,087	31,66	0,083
Diciembre	31,26	0,049	37,50	0,050	43,38	0,057	45,29	0,054
Enero	37,01	0,051	43,94	0,051	48,41	0,058	50,50	0,057
Febrero	33,36	0,077	38,38	0,063	41,47	0,073	42,36	0,078
Marzo	22,53	0,230	25,28	0,079	27,79	0,095	27,72	0,103
Anual	242,29	0,013	282,93	0,008	311,67	0,010	318,13	0,010

Fuente: Elaboración propia.

b) Subcuenca del Maipo Alto

Tabla N° 34. Valores de los Parámetros

Meses	Períodos							
	1963-1976		1963-1986		1963-1996		1963-2006	
	μ	d	μ	d	μ	d	μ	d
Abril	54,28	0,042	58,99	0,039	64,55	00,42	63,92	0,045
Mayo	42,85	0,094	47,81	0,070	47,63	0,025	46,61	0,028
Junio	38,96	0,115	44,18	0,068	49,23	0,058	51,56	0,060
Julio	38,33	0,097	42,01	0,046	47,37	0,049	49,72	0,053
Agosto	39,54	0,085	43,97	0,064	49,40	0,070	50,87	0,061
Septiembre	46,44	0,075	49,75	0,049	56,48	0,054	58,09	0,052
Octubre	65,21	0,057	72,88	0,038	81,21	0,042	82,67	0,041
Noviembre	98,34	0,023	115,72	0,021	127,29	0,024	127,81	0,023
Diciembre	124,62	0,018	145,49	0,011	158,75	0,013	162,80	0,013
Enero	120,21	0,014	145,75	0,010	154,50	0,011	159,88	0,011
Febrero	97,11	0,028	109,81	0,014	118,12	0,016	119,78	0,017
Marzo	70,18	0,054	79,82	0,026	85,37	0,029	86,08	0,031
Anual	868,92	0,004	989,61	0,002	1087,78	0,003	1106,97	0,003

Fuente: Elaboración propia.

6.4.2.2. Calidad de los ajustes

a) Subcuenca El Colorado

Tabla N° 35. Coeficientes de Determinación (R^2) de los caudales

Meses	Períodos			
	1963-1976	1963-1986	1963-1996	1963-2006
Abril	0,95	0,95	0,92	0,95
Mayo	0,94	0,85	0,88	0,88
Junio	0,94	0,85	0,90	0,94
Julio	0,95	0,93	0,95	0,97
Agosto	0,96	0,88	0,88	0,93
Septiembre	0,97	0,90	0,93	0,97
Octubre	0,95	0,98	0,98	0,98
Noviembre	0,94	0,97	0,95	0,97
Diciembre	0,93	0,97	0,97	0,99
Enero	0,99	0,96	0,97	0,99
Febrero	0,96	0,97	0,98	0,99
Marzo	0,84	0,94	0,96	0,98
Anual	0,96	0,97	0,97	0,99

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 36. Valores de Kolmogorov-Smirnov de los caudales

Meses	Períodos											
	1963 - 1976			1963 - 1986			1963 - 1996			1963 - 2006		
	Dc	Dt	Ca	Dc	Dt	Ca	Dc	Dt	Ca	Dc	Dt	Ca
Abril	0,109	0,410	A	0,147	0,309	A	0,134	0,257	A	0,128	0,220	A
Mayo	0,121	0,410	A	0,168	0,309	A	0,160	0,257	A	0,162	0,220	A
Junio	0,079	0,410	A	0,187	0,309	A	0,159	0,257	A	0,136	0,220	A
Julio	0,107	0,410	A	0,131	0,309	A	0,120	0,257	A	0,099	0,220	A
Agosto	0,100	0,410	A	0,180	0,309	A	0,166	0,257	A	0,132	0,220	A
Septiembre	0,074	0,410	A	0,196	0,309	A	0,137	0,257	A	0,097	0,220	A
Octubre	0,076	0,410	A	0,072	0,309	A	0,080	0,257	A	0,088	0,220	A
Noviembre	0,133	0,410	A	0,088	0,309	A	0,121	0,257	A	0,118	0,220	A
Diciembre	0,123	0,410	A	0,088	0,309	A	0,112	0,257	A	0,072	0,220	A
Enero	0,058	0,410	A	0,105	0,309	A	0,124	0,257	A	0,053	0,220	A
Febrero	0,115	0,410	A	0,092	0,309	A	0,114	0,257	A	0,048	0,220	A
Marzo	0,181	0,410	A	0,169	0,309	A	0,119	0,257	A	0,109	0,220	A
Anual	0,098	0,410	A	0,149	0,309	A	0,116	0,257	A	0,056	0,220	A

Fuente: Elaboración propia.

Calidad de Ajuste (Ca)

A: Se acepta como válido el ajuste

R: Se rechaza la validez del ajuste

b) Subcuenca del Maipo Alto

Tabla N° 37. Coeficientes de Determinación (R^2) de los caudales

Meses	Períodos			
	1963-1976	1963-1986	1963-1996	1963-2006
Abril	0,97	0,97	0,98	0,98
Mayo	0,97	0,99	0,81	0,80
Junio	0,94	0,98	0,99	0,99
Julio	0,93	0,95	0,98	0,99
Agosto	0,89	0,95	0,95	0,99
Septiembre	0,95	0,96	0,97	0,98
Octubre	0,95	0,97	0,98	0,98
Noviembre	0,95	0,98	0,99	0,99
Diciembre	0,95	0,97	0,98	0,99
Enero	0,95	0,98	0,98	0,98
Febrero	0,95	0,92	0,95	0,97
Marzo	0,94	0,96	0,97	0,99
Anual	0,91	0,97	0,97	0,97

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 38. Valores de Kolmogorov-Smirnov de los caudales

Meses	Períodos											
	1963 - 1976			1963 - 1986			1963 - 1996			1963 - 2006		
	Dc	Dt	Ca	Dc	Dt	Ca	Dc	Dt	Ca	Dc	Dt	Ca
Abril	0,080	0,410	A	0,077	0,309	A	0,074	0,257	A	0,099	0,220	A
Mayo	0,083	0,410	A	0,065	0,309	A	0,193	0,257	A	0,196	0,220	A
Junio	0,091	0,410	A	0,062	0,309	A	0,048	0,257	A	0,060	0,220	A
Julio	0,106	0,410	A	0,128	0,309	A	0,081	0,257	A	0,087	0,220	A
Agosto	0,149	0,410	A	0,124	0,309	A	0,153	0,257	A	0,081	0,220	A
Septiembre	0,102	0,410	A	0,103	0,309	A	0,102	0,257	A	0,104	0,220	A
Octubre	0,122	0,410	A	0,097	0,309	A	0,096	0,257	A	0,078	0,220	A
Noviembre	0,125	0,410	A	0,075	0,309	A	0,078	0,257	A	0,075	0,220	A
Diciembre	0,127	0,410	A	0,128	0,309	A	0,095	0,257	A	0,093	0,220	A
Enero	0,096	0,410	A	0,076	0,309	A	0,081	0,257	A	0,099	0,220	A
Febrero	0,116	0,410	A	0,129	0,309	A	0,126	0,257	A	0,108	0,220	A
Marzo	0,099	0,410	A	0,107	0,309	A	0,102	0,257	A	0,085	0,220	A
Anual	0,177	0,410	A	0,087	0,309	A	0,140	0,257	A	0,091	0,220	A

Fuente: Elaboración propia.

Calidad de Ajuste (Ca)

A: Se acepta como válido el ajuste

R: Se rechaza la validez del ajuste

6.4.2.3. Cálculo de Probabilidades por mes y año, asociadas a cada período en estudio.

Tabla N° 39. Función de Gumbel para la estación Río Colorado antes junta Río Maipo, mensual y anual para caudales (T=50).

Meses	Períodos			
	1963 - 1976	1963 - 1986	1963 - 1996	1963 - 2006
Abril	35,98	56,55	51,46	47,92
Mayo	25,38	56,67	51,47	46,41
Junio	20,92	50,58	44,10	42,11
Julio	24,01	43,73	39,93	37,18
Agosto	26,35	52,59	45,77	43,58
Septiembre	27,83	49,14	44,54	43,23
Octubre	39,55	56,40	53,66	53,66
Noviembre	63,15	74,94	75,85	79,43
Diciembre	110,28	115,83	111,51	117,26
Enero	113,63	120,28	115,12	119,13
Febrero	84,36	100,73	94,94	92,65
Marzo	39,53	74,37	6,886	65,60
Anual	542,44	754,36	707,62	701,89

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 40. Función de Gumbel para la estación Río Maipo en el Manzano (T=50).

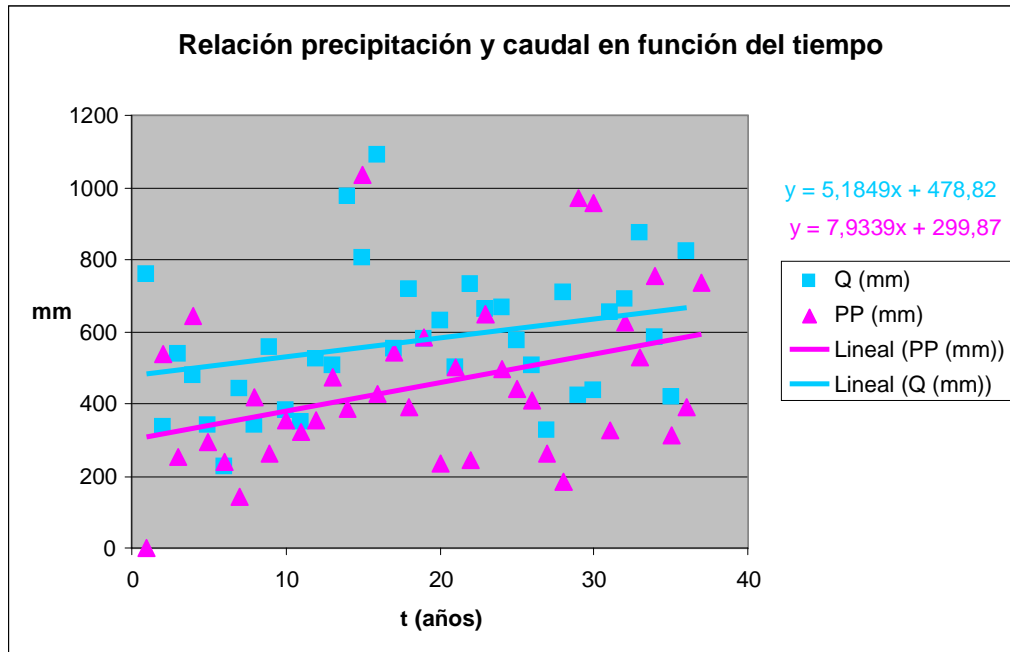
Meses	Períodos			
	1963 - 1976	1963 - 1986	1963 - 1996	1963 - 2006
Abril	148,17	159,59	157,43	150,58
Mayo	84,42	103,87	206,69	184,25
Junio	72,77	101,96	116,81	116,94
Julio	78,66	126,34	127,40	123,29
Agosto	85,29	105,08	104,78	115,29
Septiembre	98,37	129,38	128,66	133,01
Octubre	133,31	176,89	175,17	178,36
Noviembre	266,40	300,83	292,41	297,62
Diciembre	343,32	495,71	455,56	468,00
Enero	394,45	541,61	497,22	500,30
Febrero	237,01	384,58	357,20	345,29
Marzo	142,89	231,99	218,36	213,90
Anual	1895,89	2665,27	2561,79	2554,97

6.5. Comportamiento de las precipitaciones y los caudales.

6.5.1. Variación temporal de las precipitaciones y caudales

Para una interpretación del comportamiento de las precipitaciones y caudales en las últimas décadas, a continuación se presentan las gráficas resultantes de la variación temporal de los datos con respecto al tiempo, las cuales fueron ajustadas a una recta con el fin de conocer la tendencia de los datos en ambas variables.

Figura N° 4. Gráfica de la variación temporal de la subcuenca El Colorado



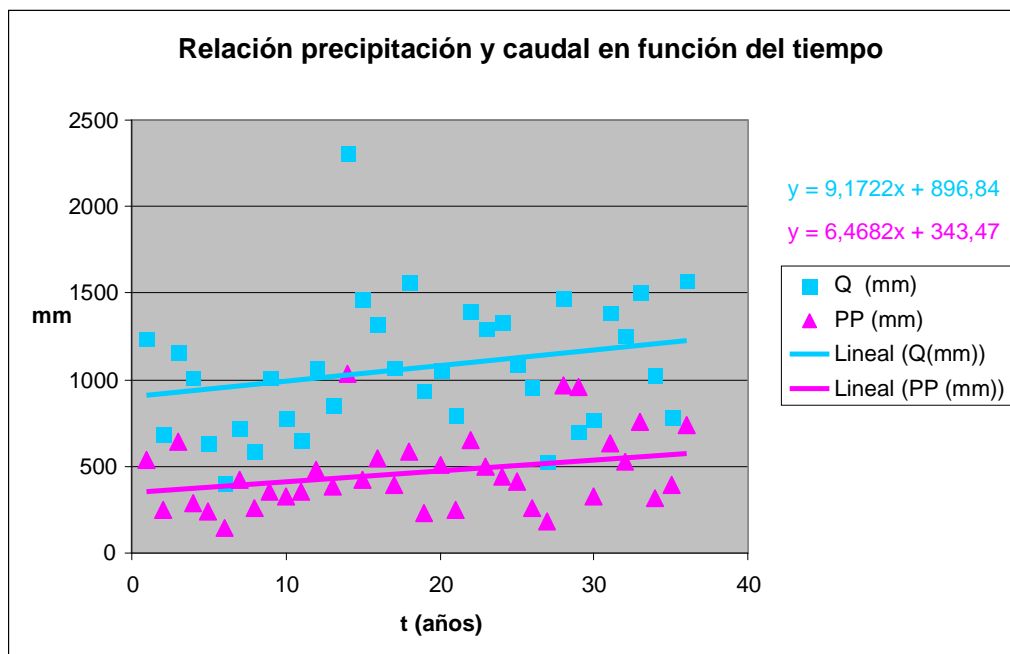
En el gráfico de la Figura N° 4, se aprecia que los caudales son mayores que las precipitaciones. De lo anterior se debe mencionar que en estricto rigor las precipitaciones deberían ser mayores que los caudales, si se toma como hipótesis que los caudales se generan a partir de las precipitaciones, por lo cual se podría pensar que estas precipitaciones fueron mal estimadas. La mala estimación puede ser atribuida a que en ambas subcuencas no se presentan estaciones pluviométricas en la zona alta y las estaciones disponibles con registros, corresponden a zonas más bajas desde donde no se logra realizar una estimación cabal de las precipitaciones de la cuenca total, hecho que se ve reflejado en que los caudales superan a las precipitaciones.

No obstante, las gráficas dan cuenta de una tendencia incremental en sus montos, en las precipitaciones y en los caudales, en la subcuenca del Colorado en donde la derivada de la tendencia alcanza un valor 7,9 para las precipitaciones y de 5,18 para los caudales, lo que señala el marco

incremental de dichas tendencias y para ambas variables. Así, en los últimos 20 años se ve una tendencia a aumentar de las variables a nivel anual pero con una alta variabilidad de los montos observados.

En el caso de la subcuenca del Maipo Alto, la figura N° 5 muestra lo que ocurre con ambas variables en análisis.

Figura N° 5. Gráfica de la variación temporal de la subcuenca del Maipo Alto



Así, se logra establecer como un primer resultado, que los caudales son mayores que las precipitaciones, un elemento similar al observado en la subcuenca del Colorado, aunque en teoría, no habría una relación de traslape de las variables entre sí, como se vio en la Figura N° 4. En el caso de las precipitaciones se observa un aumento a lo largo de los años, lo que también se aprecia en el caso de la variable caudal. Asimismo, cabe destacar que los montos de las variables son notoriamente más altos que los observados en la subcuenca del Colorado.

El que las precipitaciones sean superadas por los caudales, debería obedecer a lo ya señalado en términos que las estaciones no capturan la realidad de toda la cuenca al estar ubicadas en la parte baja. Otro factor que puede justificar esta situación estas zonas presentan nieve y hielo en abundancia, y por lo tanto no se consigue hacer una adecuada estimación de las precipitaciones; sin embargo, en los meses de deshielo es evidente que los caudales superan con creces a las precipitaciones.

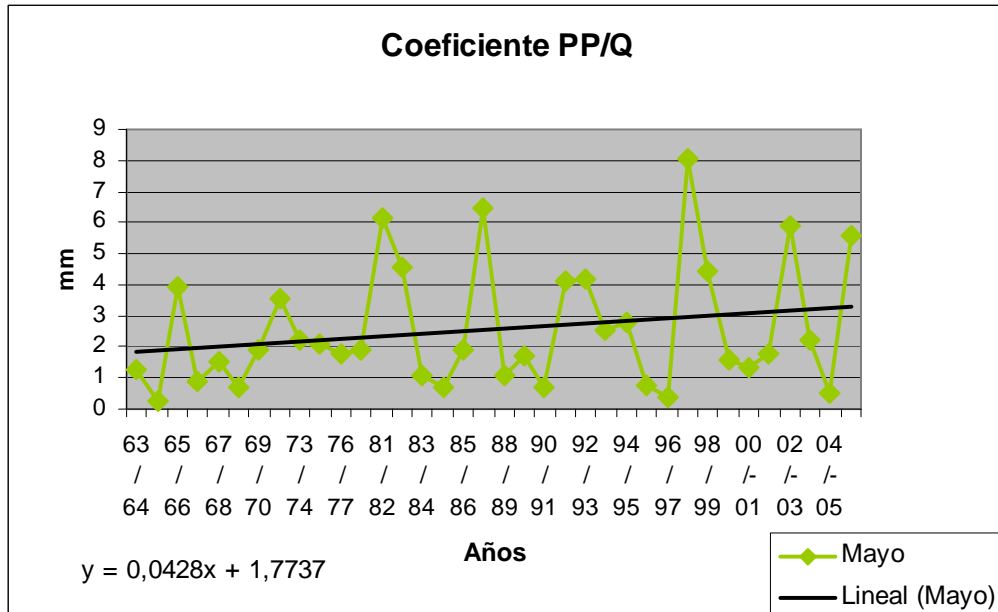
Cualquier sea la razón del porqué los caudales superan las precipitaciones, no parece una situación lógica y por tanto, parece adecuado un análisis en marcos temporales menores, es decir, mes a mes.

6.5.2. Comportamiento de la relación PP/Q a nivel anual y mensual.

En este tipo de análisis de variables hidrológicas, se hace necesario estudiar como se da la relación entre las variables. Así, se realizó un análisis del coeficiente PP/Q, el cual indica cuántas veces la precipitación supera a los caudales. Para ello, se realizaron gráficos de este coeficiente a nivel anual y por período, los cuales se encuentran disponibles en el Apéndice III. Al analizar los comportamientos anuales del coeficiente, se pudo concluir que a nivel anual este coeficiente muestra una alta variabilidad, lo cual podría deberse a que cada uno de ellos enmascara diversas situaciones, como las de estiaje, en donde predomina el deshielo, o situaciones de una alta cantidad de precipitaciones en forma líquida, pero también y muy importante, en forma sólida, especialmente en las zonas altas de la cuenca, lo cual genera escenarios que no permiten diferenciarse a nivel anual. Por ello, se realizó para ambas subcuencas, un estudio del coeficiente PP/Q para tres meses de estiaje y tres meses de invierno, con el fin de intentar inferir algunos comportamientos hidrológicos.

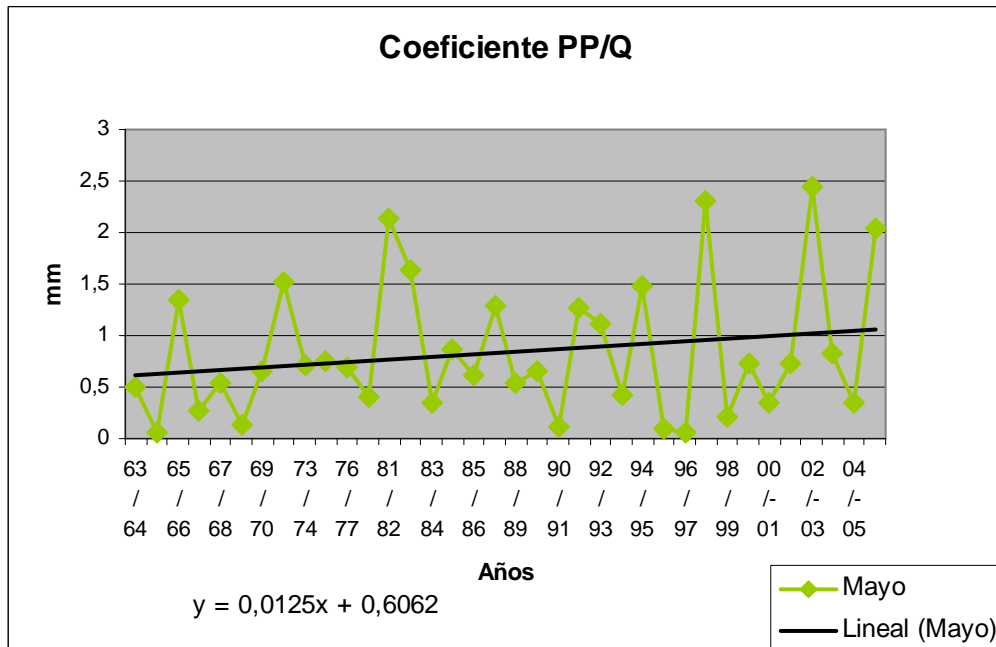
a) Mes de mayo

Figura N° 6. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de mayo, subcuenca del Colorado



El coeficiente PP/Q, para los meses de mayo y a lo largo del período de estudio en la subcuenca del Colorado, presenta valores que generalmente denotan montos superiores a 1, lo que se traduce en que las precipitaciones fueron mayores que los caudales y ello es diferente a lo que se observa a nivel anual. También se observan valores que no sobrepasaron el valor 1, lo que se podría asociar a años secos. A modo de explicación el punto más alto en el gráfico que toma un valor 8 el coeficiente, representa a mayo de 1997, pero este mes en el año 1998, denotó un valor muy bajo y ello porque es sabido que en ese año hubo una sequía que fue evaluada como de las peores del siglo XX. Por tanto, en esos periodos lo que ocurre es que el deshielo aumenta los caudales, lo que contrasta con precipitaciones escasas.

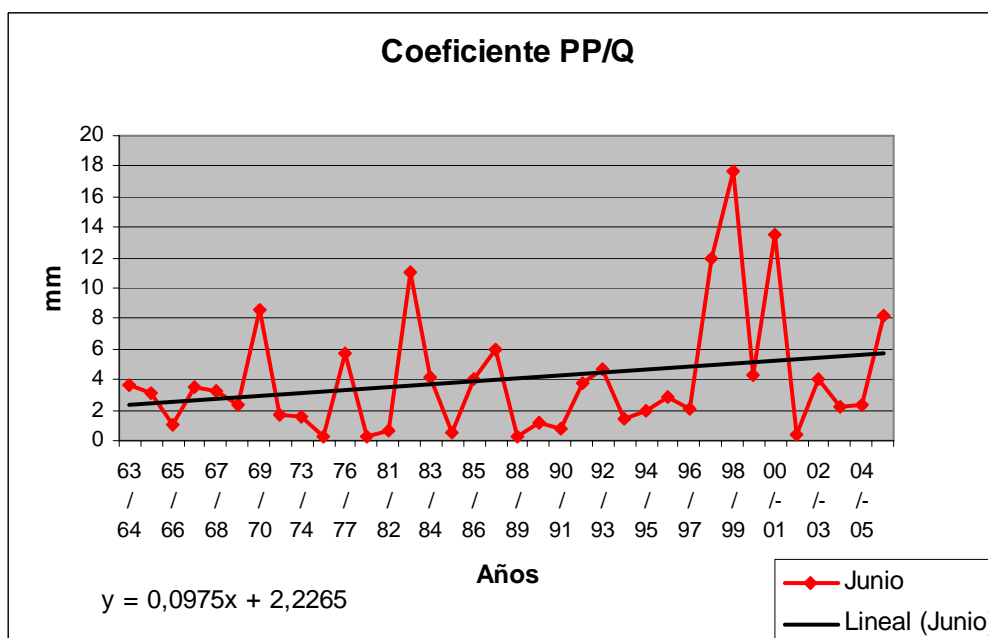
Figura Nº 7. Comportamiento de PP/Q correspondiente al mes de mayo, subcuenca Maipo Alto.



Para los meses de mayo y a lo largo del período de estudio en la subcuenca del Maipo Alto, se aprecia que las precipitaciones superan a los caudales, aunque no en la magnitud que en la subcuenca El Colorado. Esto también es contradictorio con lo que se muestra a nivel anual. Asimismo, mayo de 1997 es uno de los puntos más altos del gráfico y mayo 1998, uno de los más bajos, aunque existen meses que superan estos valores, lo que diferencia a Maipo Alto de la subcuenca del Colorado. Por último, es importante señalar que las tendencias en el tiempo y para este mes, de la relación PP/Q, son positivas, es decir, en el tiempo se verifica que las precipitaciones tienden a superar a los caudales en montos mayores, lo que significa que llueve más o que llueve más en forma líquida, por lo cual lo captan los pluviógrafos de zonas más bajas, y por tanto, llueve menos en forma de nieve y hielo en las zonas altas.

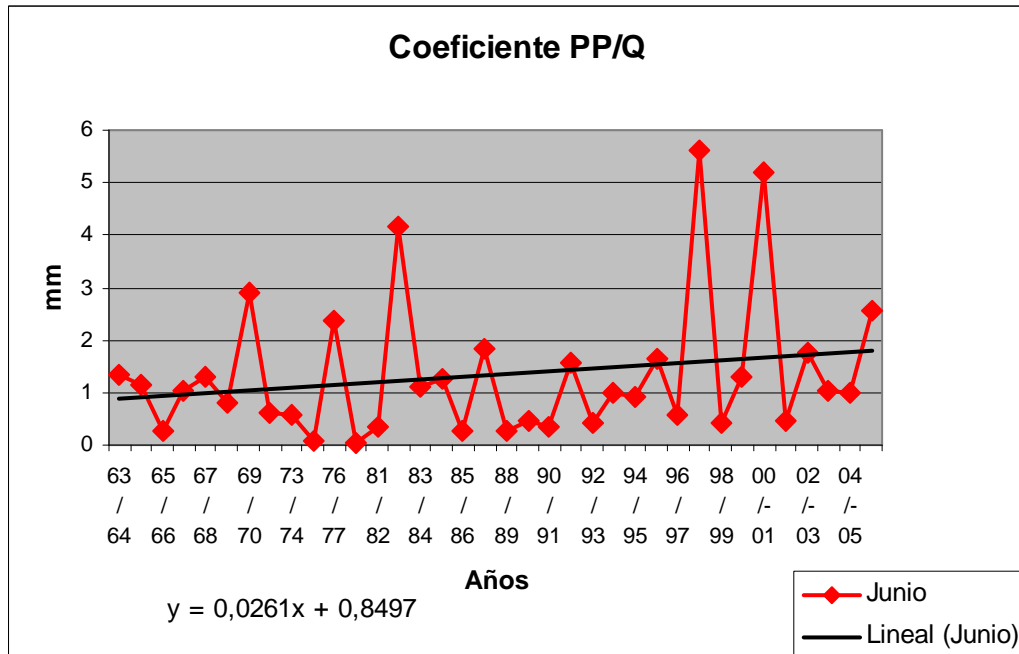
b) Mes de junio.

Figura N° 8. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de junio, subcuenca del Colorado



En los meses de junio, al igual que en los meses de mayo, se observa que los valores que toma el coeficiente PP/Q son superiores a 1, por lo que nuevamente se indica que las precipitaciones caídas son mayores al caudal, mostrándose una relación lógica de acuerdo al estudio. Lo que distingue a este mes, del de mayo, es que el valor de la relación es ostensiblemente más alta y se aprecia un predominio manifiesto de las precipitaciones sobre los caudales. Esto no se logra inferir en ningún análisis a nivel anual y de ahí la importancia de estos resultados a nivel mensual. Por tanto y aunque en teoría las precipitaciones son subestimadas, debido a la ubicación de las estaciones, los valores de la relación PP/Q permitirían afirmar que cuando las precipitaciones son importantes, la relación PP/Q se mantiene en contextos de lógica hidrológica.

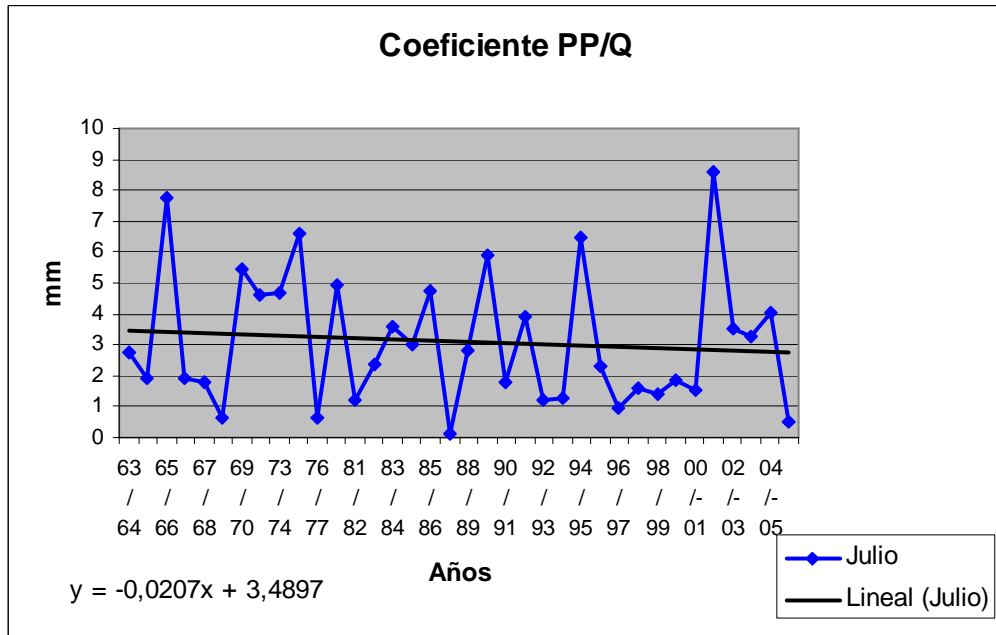
Figura N° 9. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de junio, subcuenca del Maipo Alto.



La figura N° 9 denota una situación muy similar a lo observado para la subcuenca del Colorado, con una relación PP/Q que se ha incrementado en relación al mes de mayo, pero que presenta valores más modestos para esta misma relación, de lo expuesto por la subcuenca del Colorado. Asimismo, para ambas cuencas se da cuenta de la tendencia positiva del coeficiente en función del tiempo, por lo cual nuevamente se puede inferir o que llueve más, o que llueve más en forma líquida, en desmedro de precipitaciones de hielo y nieve en la zona alta.

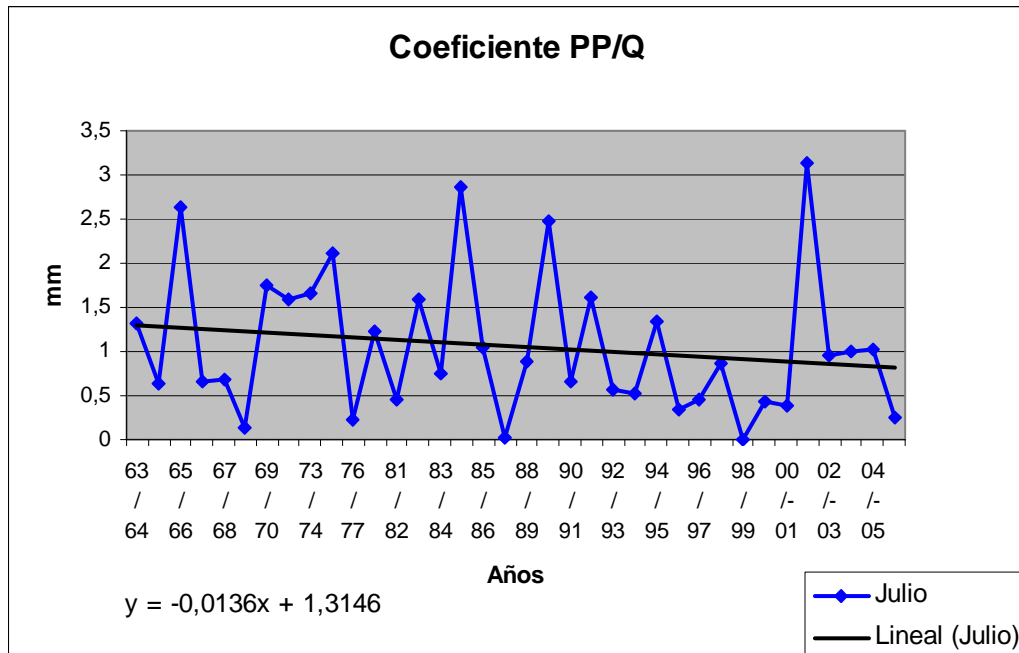
c) Mes de julio

Figura N° 10 Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de julio, subcuenca del Colorado.



En julio, se aprecia que los valores del coeficiente son superiores a 1, como se ha dado en los dos meses invernales que se estudiaron precedentemente. De igual forma, los valores de los coeficientes son más similares a los del mes de mayo que a los de junio, pero se observa que no hay claridad de que la relación PP/Q tienda a ser positiva en función del tiempo, más bien, se ve una tendencia negativa, como se desprende de la gráfica, sólo compensada por los valores presentes desde el año 2001 en adelante.

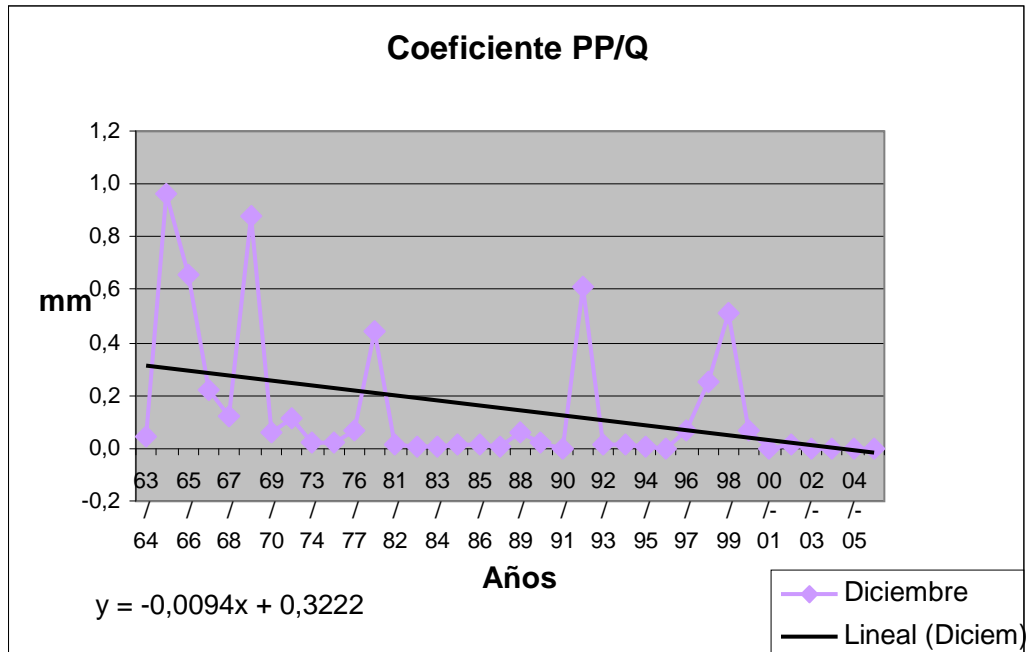
Figura N° 11. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de julio, subcuenca Maipo Alto.



En julio, se aprecia que los valores del coeficiente fluctúan entre 0 y 3,1; valores que en general son más altos que mayo, pero menores que junio. Asimismo, presentan una tendencia a la baja que se compensa por los meses de julio que van desde el año 2001 en adelante y en general esto señalaría que las precipitaciones en este mes, en general han disminuido con respecto a los caudales, o bien, que ellas se comportan más bien como hielo y nieve, no siendo captadas por las estaciones pluviométricas en la zona baja.

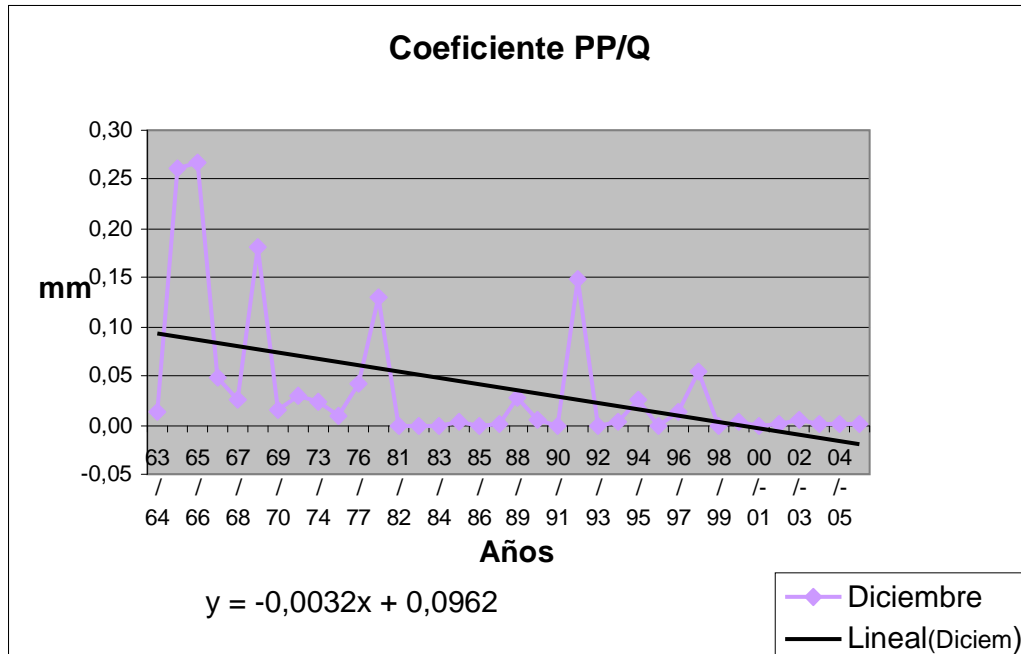
d) Mes de diciembre

Figura Nº 12. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de diciembre, subcuenca del Colorado.



En este caso, se aprecia que los valores del coeficiente en ningún caso superan el valor 1, de lo cual se infiere que en ningún caso las precipitaciones han superado el valor de los caudales. En el gráfico se muestran tres puntos más cercanos al valor 1, pero una gran cantidad de puntos se ubican cercanos al valor 0, lo que indica que en el mes de diciembre de todos los años los caudales son muy mayores a las precipitaciones. Ello se explica por la existencia de los deshielos en este periodo de estiaje. Asimismo, es importante destacar la tendencia de la relación PP/Q, que es evidentemente negativa en el tiempo, lo que indicaría que los caudales han tendido a crecer más que las precipitaciones, pudiendo ser atribuido a un mayor aporte de aguas al caudal circulante, como consecuencia del derretimiento glaciar.

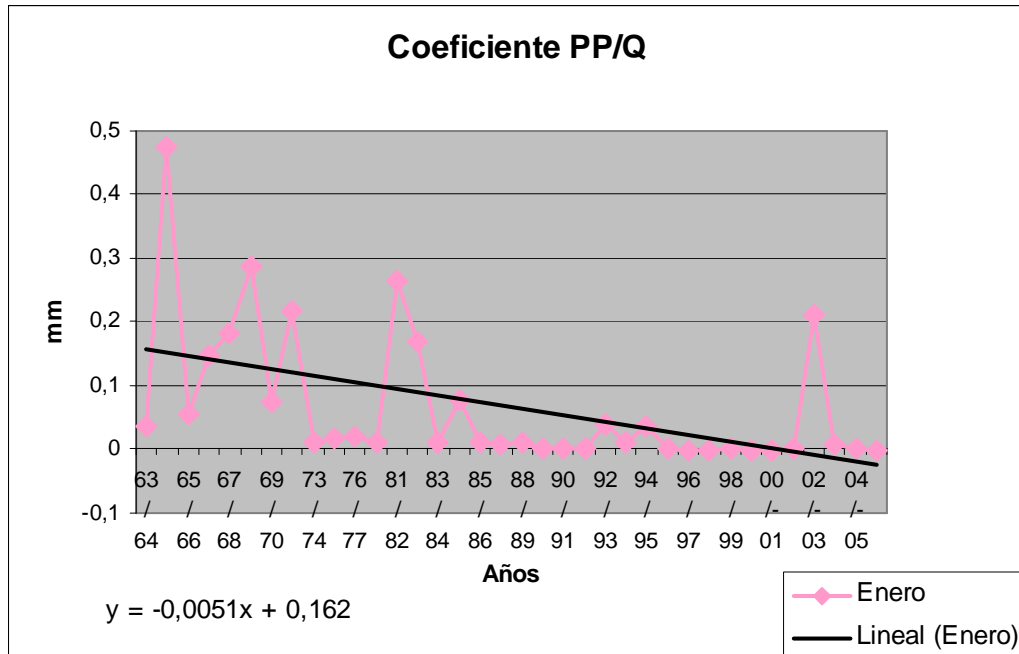
Figura Nº 13. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de diciembre, subcuenca Maipo Alto.



En este caso, se aprecia que los valores del coeficiente en ningún caso superan el valor 0,3; inferiendo que las precipitaciones son menores que los valores de caudales. En el gráfico se muestran los datos más bien agrupados entre el 0 y el 0,05, lo que denotan una gran superioridad de los caudales versus las precipitaciones. Asimismo, se vuelve a denotar la tendencia negativa del coeficiente en función del tiempo que muestra un predominio creciente del caudal sobre las precipitaciones a lo largo de los años y para este mes en estudio. Adicionalmente, los valores son menores que los que muestra las subcuenca del Colorado, como ha sido una constante en el estudio de los meses y de la relación PP/Q.

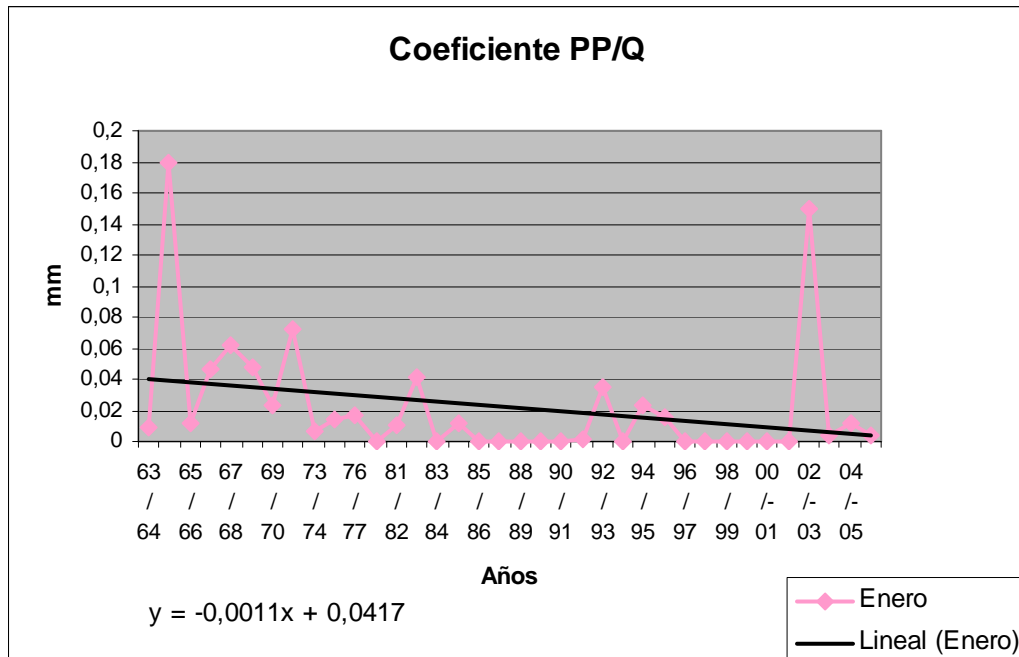
e) Mes de enero

Figura N° 14. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de enero, subcuenca del Colorado.



Para enero se presenta que los valores del coeficiente no superan el valor 0,5 en ninguna oportunidad, lo que indica que los caudales superan a las precipitaciones registradas en los meses de enero y a lo largo del período en estudio, de una forma más categórica que lo que muestra el mes de diciembre. Nuevamente se advierte una clara tendencia en el tiempo a una disminución o decremento de la relación PP/Q, la que sólo es revertida por los valores que expresó el año 2003.

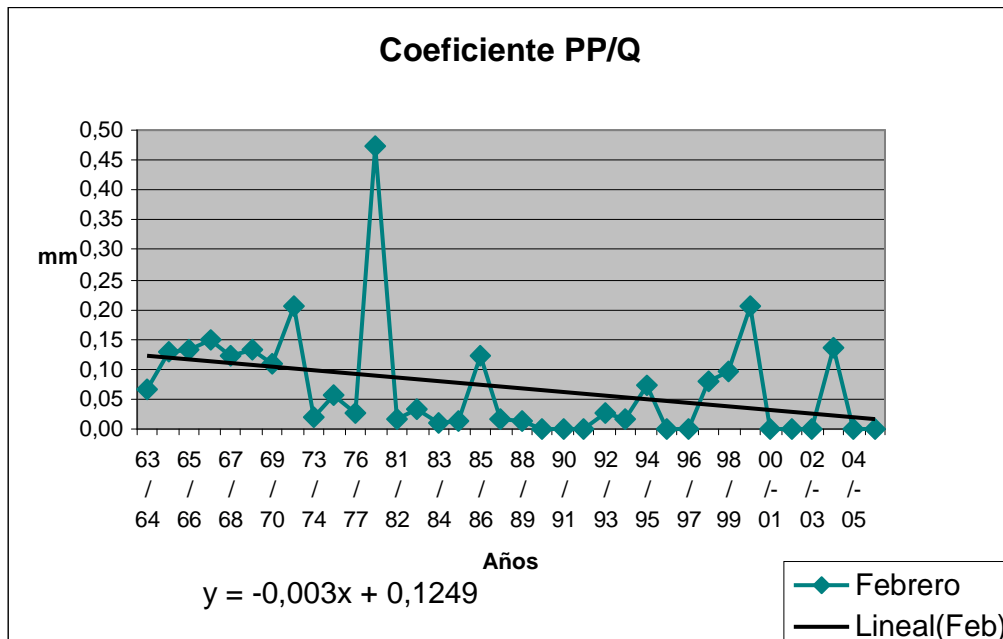
Figura N° 15. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de enero, subcuenca del Maipo Alto.



Para enero los valores del coeficiente no superan el valor 0,2 en ninguna oportunidad, lo que indica que los caudales superan ampliamente la cantidad de precipitaciones registradas en los meses de enero a lo largo del período en estudio y para esta subcuenca. Asimismo y aunque los valores del coeficiente son más bajos que los presentados por la subcuenca del Colorado, es evidente la tendencia del coeficiente PP/Q, a mostrar que las precipitaciones se ven disminuidas en este mes, en comparación a los caudales, lo que aumenta la posibilidad de que se trate de deshielos por sobre los normales que se verificaban en estos periodos, los que permitirían adicionar volúmenes de agua al caudal circulante en la subcuenca de Maipo Alto.

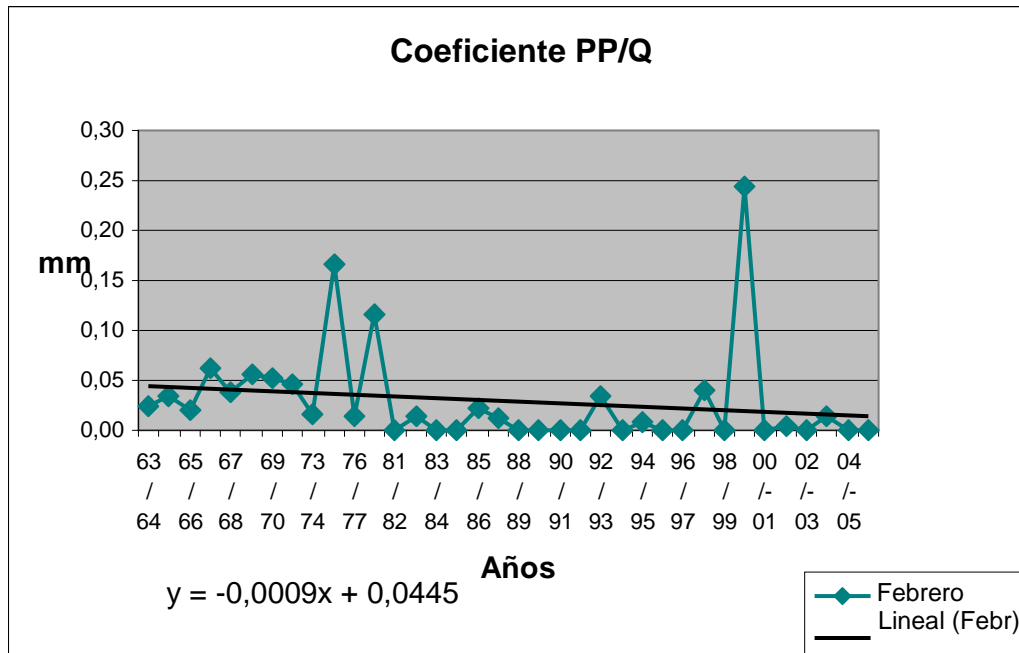
f) Mes de febrero

Figura N° 16. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de febrero, subcuenca del Colorado.



Para febrero se presenta una situación similar al mes de enero, ya que se presentan valores inferiores a 0,5. Esto indica que los caudales son mayores a las precipitaciones. Asimismo, se vuelve a verificar que la tendencia del coeficiente es a un decremento del mismo en función del tiempo, lo que estaría proponiendo que hay aportes de otras fuentes en volumen del caudal existente en ese período. No obstante, eso se puede apreciar en una leve tendencia al alza en el periodo 1997-2006, marcado por las altas precipitaciones de los años 2002, 2003 y 2005. Por otra parte, este mes guarda una relación más estrecha en su comportamiento con el mes de enero que con el mes de diciembre, ya que este último presenta valores más altos del coeficiente en estudio.

Figura N° 17. Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de febrero, subcuenca del Maipo Alto.



Para febrero se presenta una situación similar al mes de enero, ya que los valores de PP/Q son inferiores a 0,25. Esto indica que los caudales son mayores a las precipitaciones. El punto más alto es el situado en el valor 0,24 correspondiente al año 2000. Nuevamente se presenta una tendencia a la disminución del coeficiente en el tiempo, compensada nítidamente por el valor del año 200. De igual forma, los valores del coeficiente son menores a los de la subcuenca del Colorado.

Finalmente, se puede señalar que existen marcadas diferencias entre el comportamiento de los meses estivales y el de los meses de invierno, en donde los meses estivales parecen expresar que en el último tiempo se presentan caudales circulantes superiores a los normales y para los meses estivales y invernales analizados, por lo cual se podría inferir que esta situación podría deberse a un proceso de derretimiento glaciar, por sobre lo

normal, el cual aporta mayores volúmenes de agua a las dos subcuencas en estudio.

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, por lo cual fue necesario realizar la completación de estos a través del método de Regresiones Lineales, simples y múltiples.

El método de Regresión Lineal se escogió porque es recomendado en estos casos y es considerado como el de más rigor estadístico (Ausensi, 2005). En este marco, se obtuvieron valores aceptables y altos de R^2 (sobre 0,75), valores bajos para el Error Estándar de Estimación (inferiores al 30% de la media), y en general una baja proporción entre el error estándar y la media de los datos observados (inferiores al 15% de la media).

En general, el error estándar de estimación fluctuó para las precipitaciones mensuales entre 12 y 18 mm y para los caudales, entre 4 y 16 m³/s, lo cual se considera válido para estudios de este tipo en donde existe una alta variación en la información base.

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. Así, en la subcuenca del Maipo Alto que abarca una superficie de 3.251,52 Km², se puede encontrar una precipitación máxima de 1.519,3 mm para el año 1982. A su vez, para la cuenca El Colorado con una superficie total de 1.710 km², se dispone de una precipitación máxima de 1.032,8 mm, para el mismo año.

Para la aplicación de este método, se utilizaron tres estaciones pluviométricas para estimar la superficie de influencia de cada subcuenca. En la subcuenca del Maipo Alto las estaciones utilizadas fueron El Yeso Embalse, San José de Maipo Retén y San Gabriel. Por otro lado, para la subcuenca El Colorado, las estaciones utilizadas fueron San José de Maipo Retén, Maitenes Bocatoma y La Obra.

Cuando los caudales nacen a partir de las precipitaciones, los valores de estos caudales deberían ser menores que los valores de las precipitaciones, de lo contrario se estaría en presencia de caudales que se generan a partir de las precipitaciones más el aporte de otras fuentes, las cuales pueden ser atribuibles a los deshielos.

En el presente estudio se aprecia que para ambas subcuencas los valores asociados a los caudales son más altos que los valores de las precipitaciones a nivel anual, por lo que se podría deducir que existen aportaciones distintas a las precipitaciones.

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

De acuerdo a lo observado en esta subcuenca y a partir de la información que arroja la Función de Gumbel ajustada para diferentes periodos, se puede inferir que la probabilidad de encontrar precipitaciones de mayor monto asociadas a un determinado periodo de retorno, es más alta cuando se incorpora la información correspondiente a los periodos más recientes, lo que es muy evidente en los meses húmedos (Abril-Septiembre). Sin embargo, esta situación es diferente en lo que respecta a los meses secos (Octubre- Marzo), donde la probabilidad ha disminuido. Al considerar que las precipitaciones a nivel anual han aumentado en general, se

desprende que las lluvias están tendiendo a concentrarse en los meses invernales.

Por otra parte, los caudales donde presentan un mayor incremento en los valores de probabilidad, es al incorporar la información más reciente, o sea la de los últimos 10 años, y es en los meses estivales, donde se habla de un aporte adicional a los caudales existentes. Esto último, no se sustenta en las precipitaciones existentes, ya que en estos periodos ha visto disminuida, la única posibilidad lógica desde un punto de vista hidrológico es en zonas de alta cordillera andina, en donde hay un mayor derretimiento glaciar y un mayor aporte de caudales

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

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, haciéndola susceptible para inferir sobre 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 II), se puede señalar, que existe una tendencia negativa, y en algunos casos a mantenerse en las precipitaciones, y una positiva para los caudales en función del tiempo.

7.5. Análisis del comportamiento de las precipitaciones y de los caudales.

La tendencia manifestada por los datos para cada subcuenca en estudio, muestra que tanto los caudales como las precipitaciones poseen tendencias positivas en el tiempo, y a nivel anual, lo cual señala que en los periodos recientes ambas variables se han incrementado, lo que contrasta con lo que se señala en publicaciones de carácter no científico, periódicos y televisión, en relación a que las lluvias estarían siendo más exiguas. Esto se corrobora en las figuras 18 y 19, aunque se establece que las precipitaciones son superadas por los caudales, hecho ya explicado anteriormente, es evidente que a nivel anual estas variables se incrementan. Asimismo, es muy claro que ambas variables presentan mayores magnitudes en la subcuenca de Maipo Alto que en Colorado.

Figura N° 18. Comportamiento de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca El Colorado.

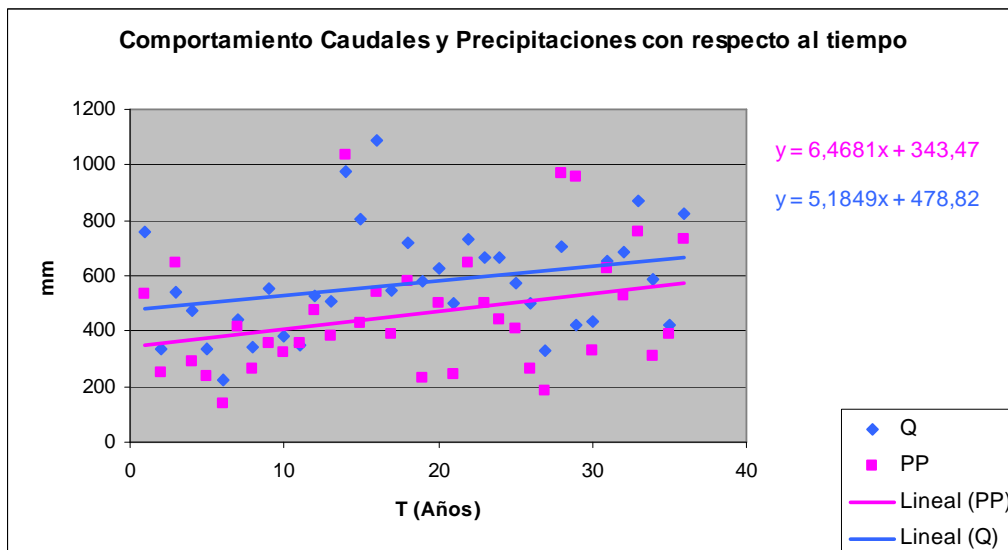
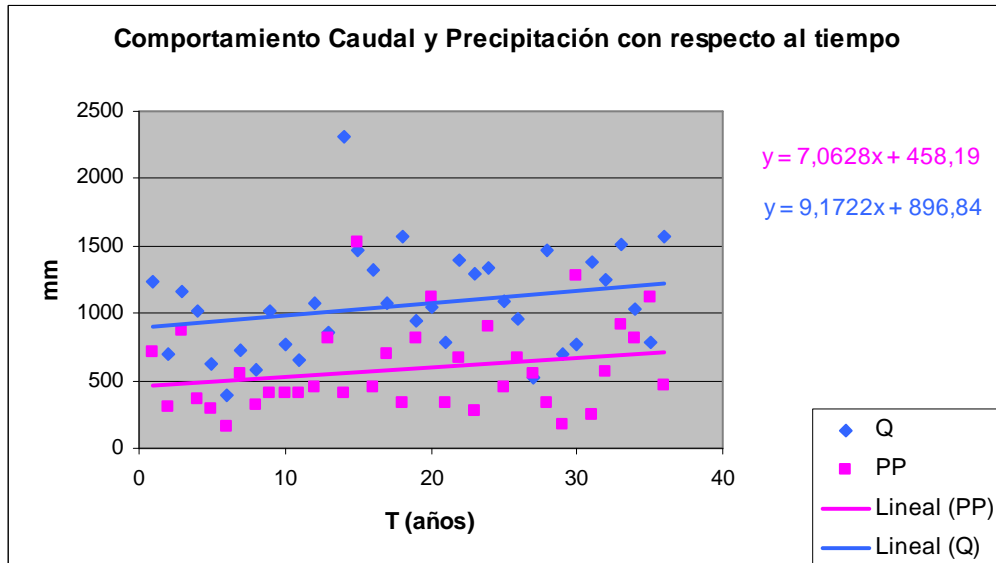


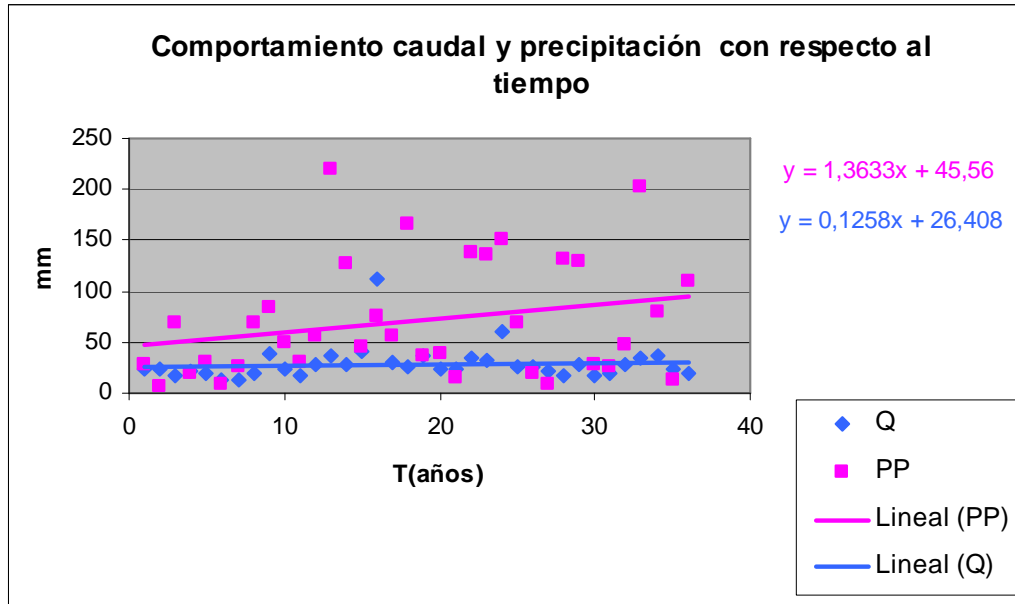
Figura N° 19. Comportamiento de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca del Maipo Alto.



Por tanto surge como un elemento a analizar, cuál sería el comportamiento de estas mismas variables al ser comparadas a nivel mensual, lo cual se muestra en los siguientes gráficos. Para ello se planteará un análisis a nivel de algunos meses húmedos y otros meses estivales.

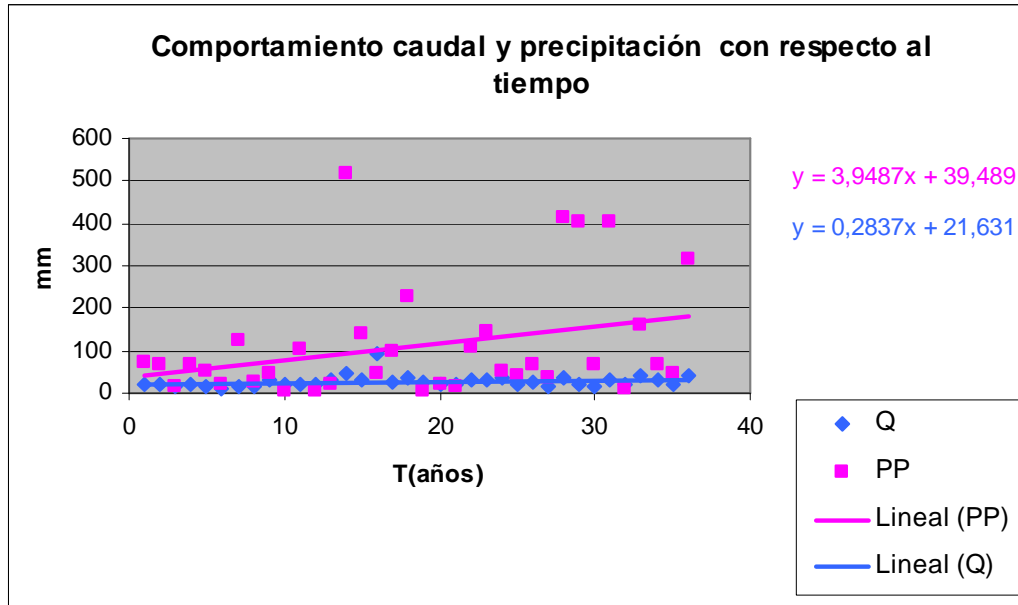
a) Meses Húmedos

Figura N° 20. Comportamiento en los meses de mayo de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca El Colorado.



Como se desprende del gráfico N° 20, los caudales y las precipitaciones tienden a incrementarse, aunque se verifica que las precipitaciones poseen una pendiente positiva mayor que la de los caudales.

Figura N° 21. Comportamiento en los meses de junio de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca El Colorado.



Al igual que mayo, el mes de junio para Colorado muestra una clara tendencia positiva en ambas variables, pero con una marcada pendiente en el caso de las precipitaciones.

Figura N° 22. Comportamiento en los meses de mayo de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca del Maipo Alto.

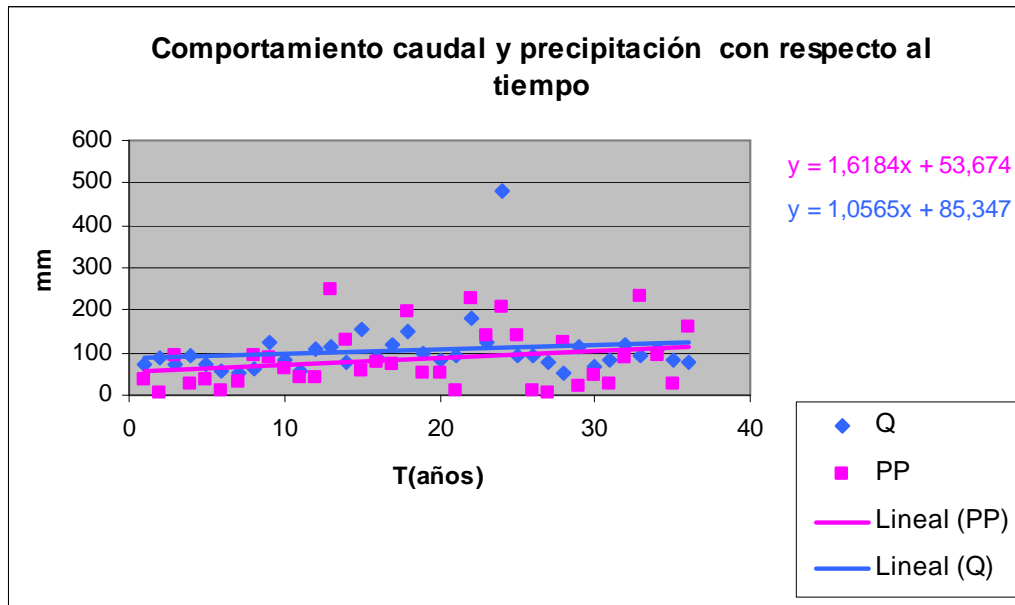
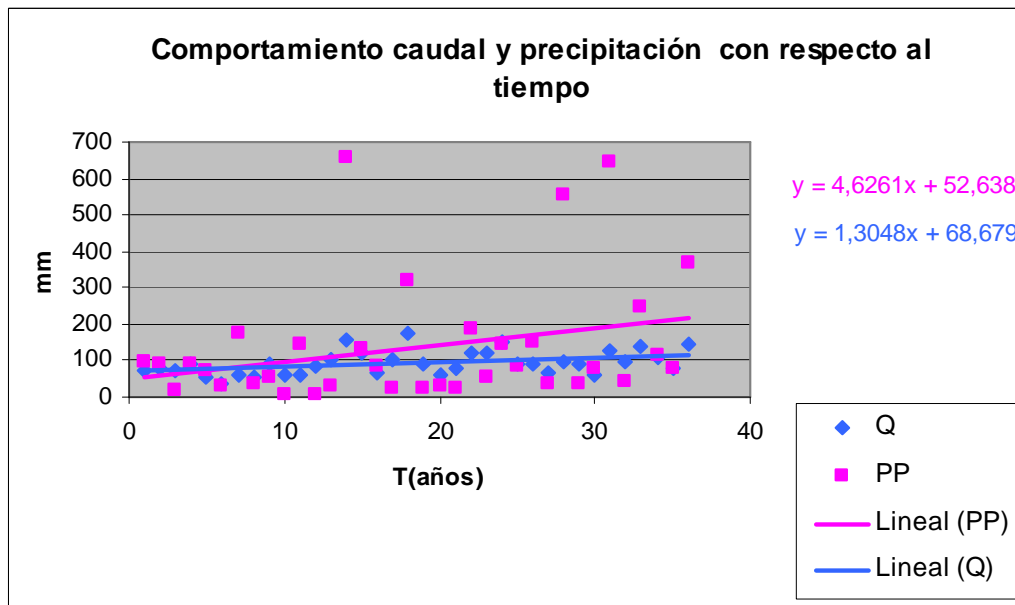


Figura N° 22. Comportamiento en los meses de junio de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca del Maipo Alto.



Como se aprecia en los gráficos 21 y 22, la situación de la subcuenca Maipo Alto es muy similar a la de Colorado, en términos de los meses analizados y el comportamiento diferencial de cada variable, pero en donde las magnitudes, por el tamaño de cuenca que representa Maipo Alto, son mayores que los de Colorado.

b) Meses Secos

Figura Nº 23. Comportamiento en los meses de diciembre de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca El Colorado.

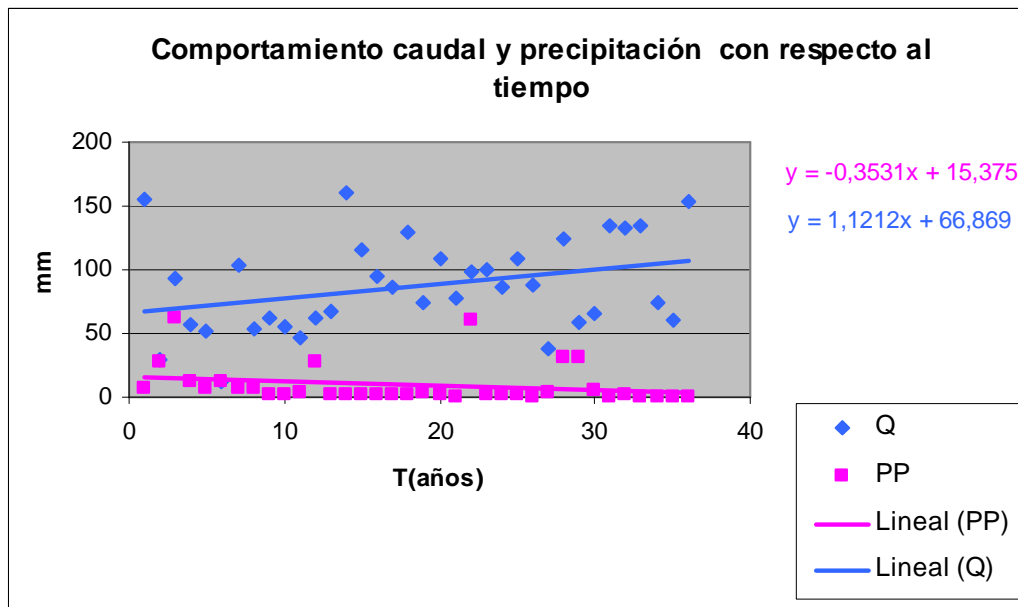
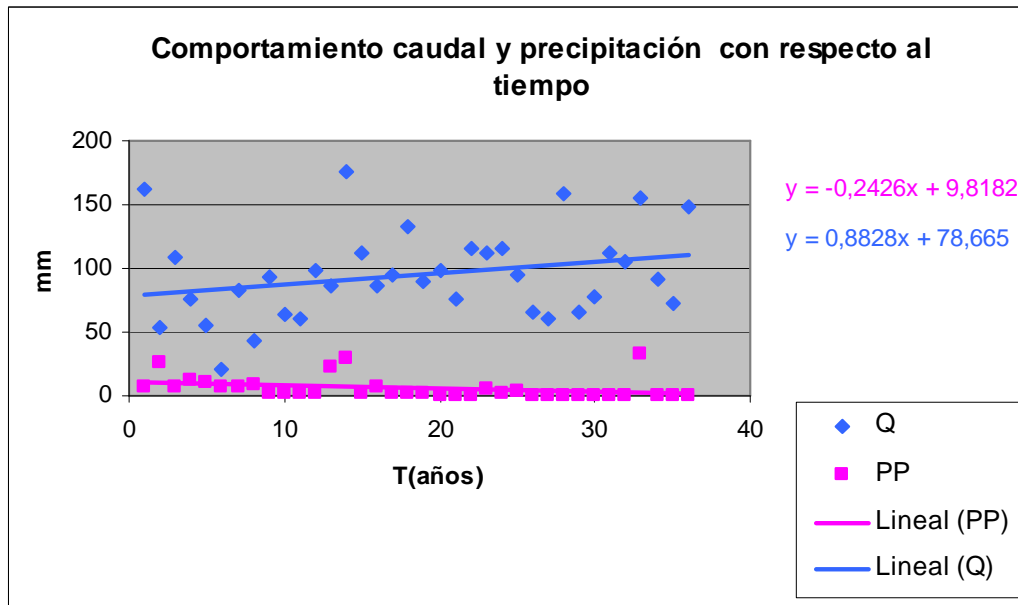


Figura N° 24. Comportamiento en los meses de enero de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca El Colorado.



Al analizar los meses de enero y diciembre para la subcuenca de Colorado (gráficos 23 y 24), surge nuevamente el hecho que los caudales presentan un incremento evidente, pero lo más destacable es que las precipitaciones decrecen lo que se demuestra en una pendiente negativa. Por tanto, cuando no existen aportes de precipitaciones sólidas (meses estivales) y además, los aportes líquidos son menores, se verifica un incremento de los caudales, lo cual no admite dudas de que esto es producto de aportes del derretimiento glaciar generado en la zona alta de ambas cuencas.

Figura N° 25. Comportamiento en los meses de diciembre de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca del Maipo Alto

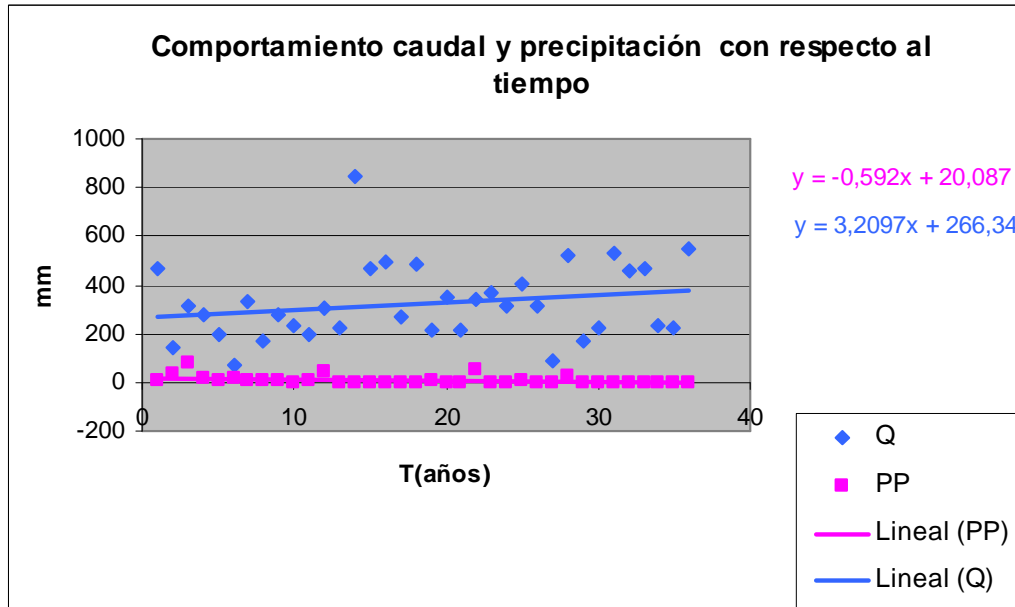
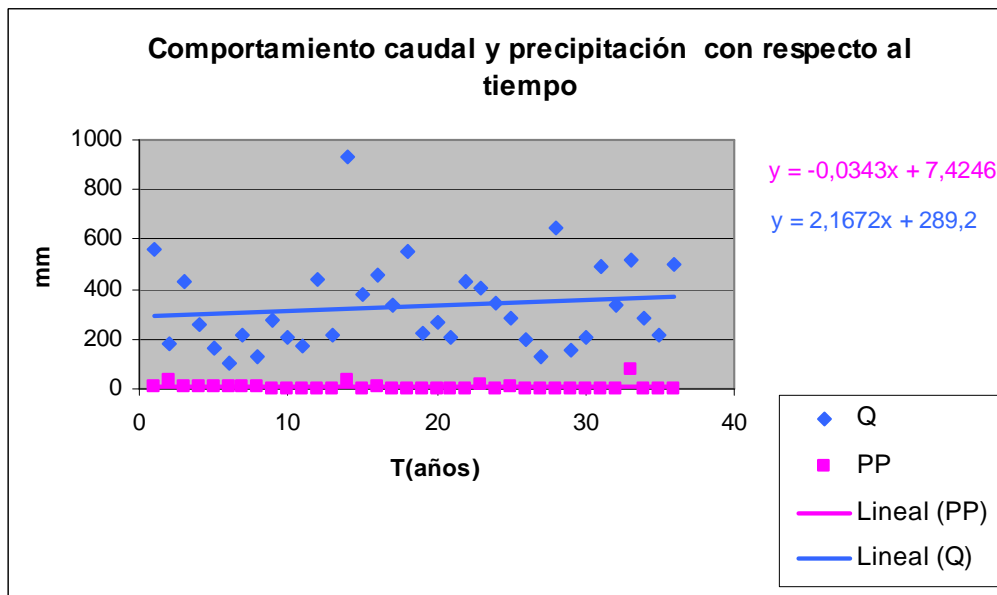


Figura N° 26. Comportamiento en los meses de enero de las variables con respecto al tiempo, para la subcuenca del Maipo Alto



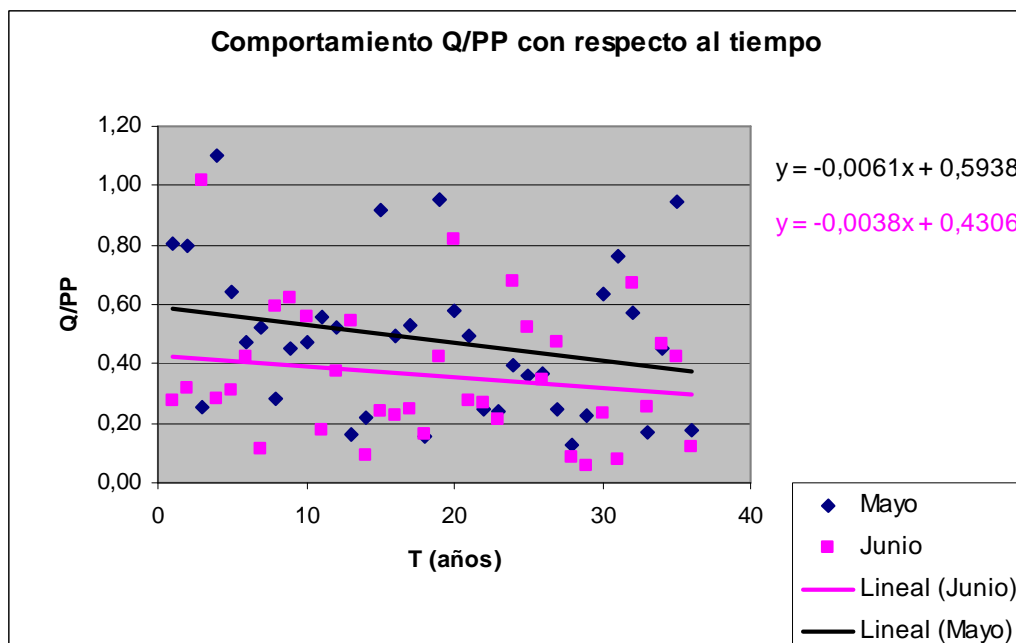
Lo expuesto con respecto a Colorado y el comportamiento de las variables precipitación y caudal en función del tiempo, para los meses estivales analizados, es más marcado en la subcuenca del Maipo Alto, dado que la pendiente negativa de las precipitaciones es muy alta, en tanto los caudales aumentan drásticamente, elemento que prueba la existencia de aportes adicionales de caudal, lo cual se explica sólo en el derretimiento glaciar.

7.6. Análisis del coeficiente de escorrentía en el tiempo.

Establecidos los anteriores análisis, surge la necesidad de ver qué ocurre en el tiempo con el coeficiente de escorrentía, es decir, la relación Q/PP. Así, a nivel de meses húmedos ocurre lo siguiente:

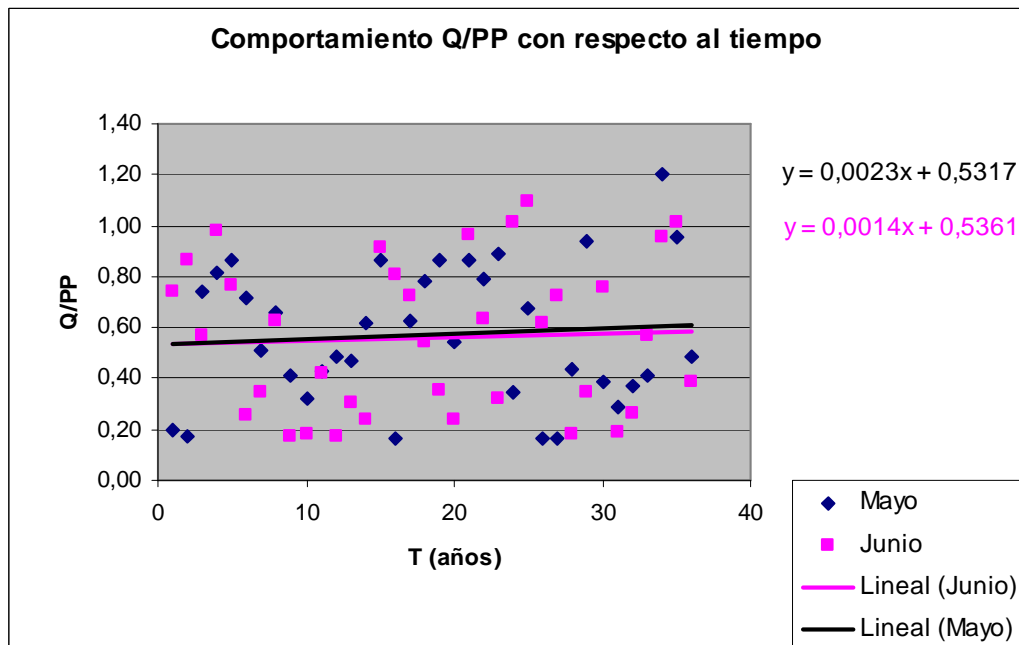
a) Meses Húmedos

Figura N° 27. Comportamiento de Q/PP, para la subcuenca El Colorado.



Las precipitaciones superan a los caudales en estos meses invernales, en la subcuenca del Colorado, lo que se infiere por la dominancia de valores inferiores a 1 del coeficiente. Asimismo, es evidente que esta relación tiende a ser decreciente en el tiempo, lo cual señala que lo representado por los caudales, para estos meses húmedos, como proporción de las precipitaciones, ha ido disminuyendo en el tiempo en los últimos 40 años, siendo mucho más evidente en el mes de mayo en relación a lo representado en junio.

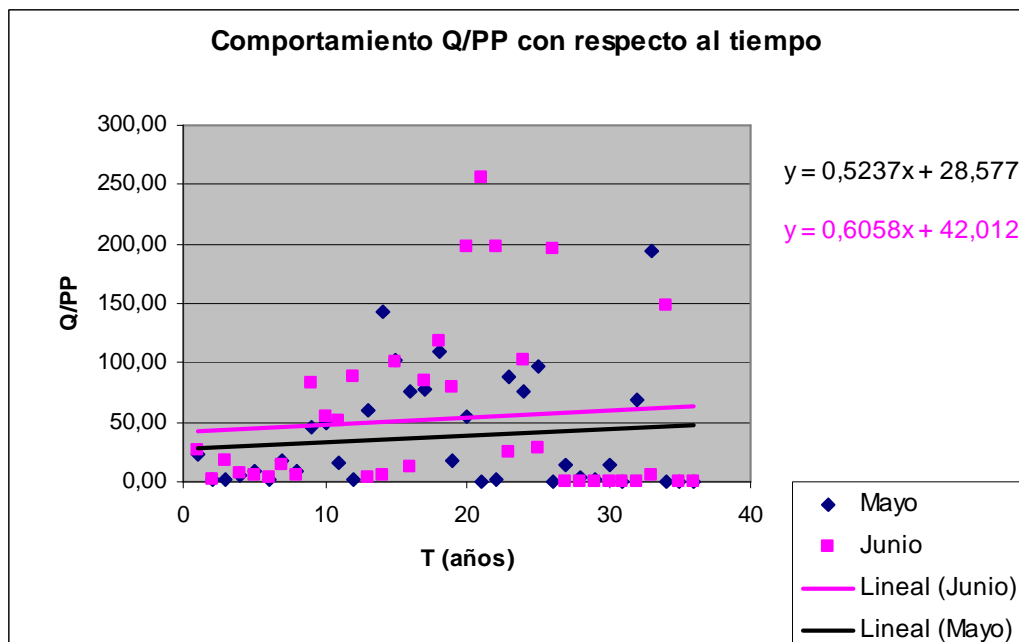
Figura N° 28. Comportamiento de Q/PP, para la subcuenca del Maipo Alto.



Como se desprende del gráfico N° 28, la relación Q/PP en la subcuenca del Maipo Alto, aunque presenta una alta variabilidad para los meses de junio y mayo, denota una tendencia más estable en el tiempo que la subcuenca El Colorado, con una leve pendiente positiva. Esto contrasta con El Colorado, lo que puede deberse a la mayor superficie de Maipo Alto, que por poseer un mayor territorio, enmascara algunos comportamientos más locales de la relación entre la precipitación y el caudal.

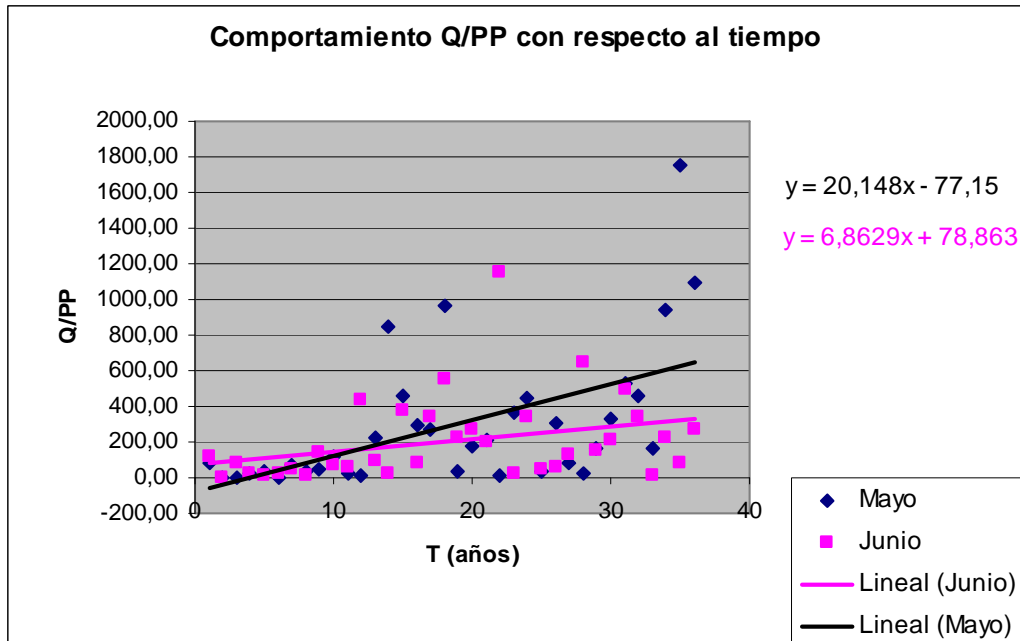
b) Meses Secos

Figura Nº 29. Comportamiento de Q/PP, para la subcuenca El Colorado.



Al contrario de lo que señalan los meses húmedos, los meses secos analizados denotan una clara tendencia alcista en sus valores, lo que significa que en los últimos años, los caudales en estos meses superan a las precipitaciones, por efecto del deshielo. Mientras hace 40 años atrás, en el mes de enero y diciembre, no superaban a las precipitaciones en valores superiores a 5 veces el valor nominal. Sin embargo, en los últimos años ese valor se incrementó a 8 y 10 veces, y en algunos años excepcionales se alcanzaron valores de caudal que superan a las precipitaciones en más de 150 veces.

Figura N° 30. Comportamiento de Q/PP, para la subcuenca del Maipo Alto.



Lo expuesto precedentemente para la subcuenca de El Colorado, se ve reforzado con la información que arroja el coeficiente de escorrentía para Maipo Alto, en donde es evidente que en el mes de diciembre se ha venido produciendo una marcada inflexión de las variables y en donde los caudales superan con mayor fuerza a las precipitaciones y por sobre lo normalmente conocido en esta subcuenca, esto se atribuye a un mayor derretimiento glaciar que aporta mayores volúmenes de agua.

7.7. Análisis del coeficiente de escorrentía en relación a las precipitaciones.

Realizados los anteriores análisis, es importante conocer cómo se comporta el coeficiente de escorrentía Q/PP, con respecto a las precipitaciones mismas, lo cual se muestra en los gráficos 31 y 32, y para ambas subcuencas a nivel anual.

Figura N° 31. Comportamiento del coeficiente (Q/PP) con respecto a las precipitaciones, para la subcuenca El Colorado.

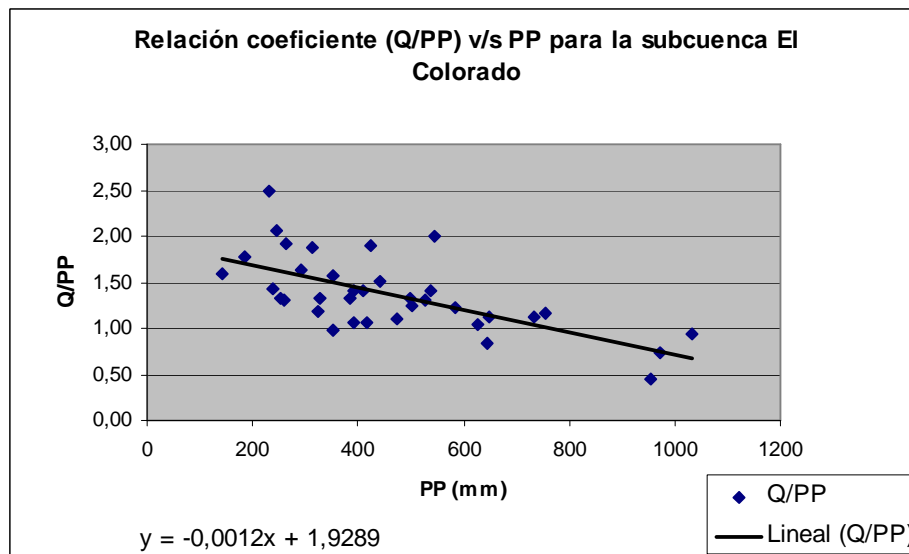
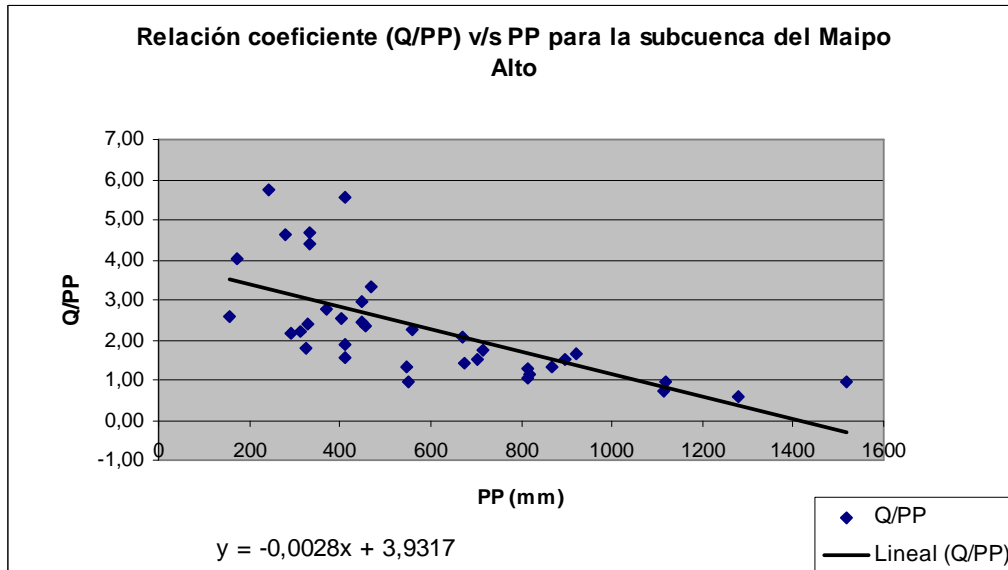


Figura Nº 32. Comportamiento del coeficiente (Q/PP) con respecto a las precipitaciones, para la subcuenca del Maipo Alto.



Como se puede observar en ambas cuencas, la relación expresada por el coeficiente Q/PP y las precipitaciones, no es lo normalmente esperado, es decir, que a mayor precipitación, mayor es el valor de la relación Q/PP. Esto es así, porque las demandas de agua del ecosistema tienden a ser estables, esto es evaporación, transpiración y reservas de agua por infiltración hasta los acuíferos; por tanto si existe mayor disponibilidad de agua, y como las demandas señaladas son relativamente estables por la capacidad natural de los ecosistemas, una mayor disponibilidad de agua debería transformarse en caudal, y por tanto la relación Q/PP debería tender a crecer y no a disminuir. Sin embargo, esto es así en zonas cordilleranas andinas, porque el agua no se incorpora de una vez al caudal, sino que los aportes en una gran cantidad de meses, se transforman en nieves y hielos, y por tanto no escurren hasta la época de deshielo, y eso cuando las situaciones climáticas lo permitan por efecto principalmente de mayores temperaturas que posibiliten la fusión.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

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

- Debido a la gran variabilidad de los datos obtenidos y a la necesidad de contar con información más densa en la zona de estudio, 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.
- En general, entre las subcuencas del Maipo Alto y El Colorado existe una gran diferencia en superficie, lo que se ve reflejado en las magnitudes que presentan las variables precipitación y caudal y los respectivos coeficientes estudiados, hecho que es también notorio en la aplicación de las funciones de distribución de probabilidad y lo resultados alcanzados.
- A partir del presente estudio y de la función de distribución de probabilidad, se puede señalar que a nivel anual, sería posible que las precipitaciones sigan aumentando a través del tiempo, mientras que los caudales se incrementen más de lo históricamente conocido.
- A nivel mensual, existe un claro incremento de las precipitaciones en los meses húmedos, que superan a los caudales incluso con estaciones ubicadas en la zona baja; en tanto, en los meses secos se evidencia un incremento notorio de los caudales en relación a las

precipitaciones, lo cual es sólo atribuible a un mayor derretimiento glaciar, como aporte de agua a los cauces.

- Finalmente, cabe señalar que producto del análisis del coeficiente de escorrentía en los meses estivales, del comportamiento por separado que entregan las precipitaciones y los caudales, y de los valores que arrojan para los distintos periodos analizados, las funciones de distribución de probabilidad, análisis hecho para las subcuencas de Colorado y Maipo Alto, se concluye que en los periodos secos existe un mayor aporte de aguas a la escorrentía de los cauces. Esto no es producto de las precipitaciones, ya que éstas han declinado en sus magnitudes en las últimas décadas en los periodos estivales, sino que son atribuibles sin ninguna duda, a un mayor derretimiento glaciar y por ende un mayor aporte de agua de escorrentía en los periodos ya señalados.

8.2. Recomendaciones

- Como primera recomendación se plantea que es necesario seguir extendiendo estos estudios hacia otras áreas del país, ya que Morales 2005 lo inició en la cuenca del Mataquito, Región del Maule y este estudio lo hace en la del Maipo, pero es necesario analizar si el comportamiento de este proceso se repite a lo largo del país o bien es una situación puntual de zonas semiáridas.
- Un segundo aspecto importante de considerar, es la gravedad de la situación analizada, reflejada en la vulnerabilidad a que están expuestas las reservas de agua dulce del país, es necesario formar un grupo interdisciplinario para enfrentar esta problemática y así mejorar la gestión de los recursos hídricos.

- Finalmente, se recomienda generar una corriente de análisis y discusión de esta problemática, mediante seminarios, charlas y foros, dado que un mayor derretimiento glaciar no sólo pone en riesgo las reservas de agua dulce de extensas zonas del país, sino que puede ser la expresión de un fenómeno de mayor escala e intensidad, cual es el cambio climático. Por ello, es necesario reunir esfuerzos científicos, económicos, sociales y políticos para revertir efectos indeseables a futuro y tener una mayor y mejor capacidad de respuesta a una problemática que abarca toda la vida nacional.

9. BIBLIOGRAFÍA

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. 111p.

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.

Bown, F.; Rivera, A.; Acuña, C. 2008. Recent glaciers variations at the Aconcagua basin, central Chilean Andes. *Annals of Glaciology*, 48, 43-48.

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

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

Corripio, J.; Purves, R.; Rivera, A. 2007. Modeling climate-change impacts on mountain glaciers and water resources in the Central Dry Andes. *Darkening Peaks: Glacier Retreat, Science and Society*, University of California Press, USA, p. 126-135.

DGA (Dirección General de Aguas, Chile). 1999. Política nacional de recursos hídricos. (en línea). Santiago, Chile. Consultado 27 may 2007. Disponible en http://www.dga.cl/secuencia/politica/Politica_Recursos_Hidricos.pdf.

DGA (Dirección General de Aguas, Chile). 2004. Centro documental. Diagnóstico y clasificación de los cursos de agua según objetivos de calidad, Cuenca del río Mataquito. Consultado 5 may 2007. Disponible en <http://www.dga.cl/index.php?option=conten&task=section&id=31&Itemid=354>

I.N.E. (Instituto Nacional de Estadísticas). 2002. Censo 2002. Síntesis de resultados (en línea). Consultado 22 may 2007. Disponible en <http://www.ine.cl/cd2002/sintesis censal.pdf>.

NDRC. 2005. Calentamiento global: Como luchar contra el calentamiento Global. California, Estados Unidos de America. Consultado 26 may 2007. Disponible en <http://www.ndrc.org/laondaverde/globalwarming/f101.asp#4>

Morales, C. 2006. Análisis de las escorrentías mensuales y anuales de la cuenca del Lontué y la potencial influencia glaciaria en la producción de agua. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 114 p.

Pillaca, J. 1995. Geografía General del Perú. Nuevos Enfoques. Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Educación *Enrique Guzmán y Valle*. Chosica. Consultado 30 jun 2008. Disponible en <http://membres.lycos.fr/runapacha/nouvelle.pdf>

Pizarro, R. 1986. 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.

Ribstein, P.; Francou, B. 1991. Glaciología e hidrología de glaciares en la Cordillera Real de Bolivia. (en línea). Consultado 25 may 2007. Disponible en http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_veterinarias_y_pecuarias/simposio1993/02areaclimayrecurso/21.html.

Rivera, A.; Casassa, G.; Lange, H. 2000. Variaciones recientes de glaciares en Chile. *Revista de Investigaciones Geográficas* 34(1): 29-60.

Rivera, A.; Bown, F.; Wendt, J.; Casassa, G.; Acuña, C.; Rignot, E.; Clavero, J.; Brock, B. 2006. Ice volumetric changes on active volcanoes in southern Chile. *Annals of Glaciology*, 43, 111-122.

Rivera *et al.* 2007; Aniya *et al.* 1996. Inventario de Glaciares Chilenos. (en línea). Consultado 15 feb 2008. Disponible en <http://www.glaciologia.cl/inventario-2007.html>

Rignot, E.; Rivera, A.; Casassa, G. 2003. Contribution of the Patagonia Icefields of South America to Global Sea Level Rise. *Science*, 302: 434-437.

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

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. 2006. Recursos hídricos. Informe País: Estado del medio ambiente en Chile 2006. Santiago, Chile. LOM Ediciones. 75-117 p.