

# ÍNDICE

|                                                                                                             | <b>Páginas</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 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<br>Aconcagua.....                                    | 15             |
| 4.3.2. Volcanes activos en el sur de Chile, por efecto en los<br>cambios volumétricos en los glaciares..... | 15             |
| 4.3.3. Modelación de los impactos del cambio climático en<br>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<br>de Gumbel, para las precipitaciones y caudales a nivel<br>mensual y anual..... | 19        |
| 5.2.6. Cálculo de la Función de Distribución de Probabilidad<br>de Gumbel.....                                                                | 20        |
| 5.2.7. Análisis del comportamiento de las precipitaciones y<br>de los caudales.....                                                           | 21        |
| 5.2.8. Presentación de resultados.....                                                                                                        | 22        |
| 5.2.9. Análisis y discusión de resultados.....                                                                                                | 22        |
| <b>6. RESULTADOS.....</b>                                                                                                                     | <b>23</b> |
| 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<br>subcuenca El Colorado.....                                                                 | 44        |

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.2.1.2. Precipitaciones medias areales para la<br>subcuenca del Maipo Alto.....                     | 45 |
| 6.3. Comparación interperíodos de valores medios, mensuales<br>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<br>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,<br>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,<br>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 |
| <br>                                                                    |    |
| 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 |
| <br>                                                                    |    |
| 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                                  | 95 |
| 8.1. Conclusiones.....                                                  | 95 |
| 8.2. Recomendaciones.....                                               | 96 |
| <br>                                                                    |    |
| 9. BIBLIOGRAFÍA.....                                                    | 98 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                      | <b>Páginas</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Tabla N° 1.</b> Caudales mensuales Estación Río Colorado antes<br>junta Río Maipo (m <sup>3</sup> /s).....        | 24             |
| <b>Tabla N° 2.</b> Caudales mensuales Estación Río Maipo en El<br>Manzano (m <sup>3</sup> /s).....                   | 25             |
| <b>Tabla N° 3.</b> Caudales mensuales Estación Río Maipo en San<br>Alfonso (m <sup>3</sup> /s).....                  | 27             |
| <b>Tabla N° 4.</b> Caudales mensuales Estación Río Colorado antes<br>junta Río Olivares (m <sup>3</sup> /s).....     | 28             |
| <b>Tabla N° 5.</b> Caudales mensuales Estación Río Maipo en Las<br>Hualtatas (m <sup>3</sup> /s).....                | 30             |
| <b>Tabla N° 6.</b> Caudales mensuales Estación Río Olivares antes<br>junta Río Colorado (m <sup>3</sup> /s).....     | 31             |
| <b>Tabla N° 7.</b> Caudales mensuales Estación Río Volcán en Los<br>Queltehues (m <sup>3</sup> /s).....              | 33             |
| <b>Tabla N° 8.</b> Precipitaciones mensuales Estación El Yeso Embalse (mm)....                                       | 35             |
| <b>Tabla N° 9.</b> Precipitaciones mensuales Estación San José de Maipo<br>Retén (mm).....                           | 36             |
| <b>Tabla N° 10.</b> Precipitaciones mensuales Estación San Gabriel (mm).....                                         | 38             |
| <b>Tabla N° 11.</b> Precipitaciones mensuales Estación Maitenes<br>Bocatoma (mm).....                                | 39             |
| <b>Tabla N° 12.</b> Precipitaciones mensuales Estación La Obra<br>Recinto EMOS (mm).....                             | 41             |
| <b>Tabla N° 13.</b> Superficies abarcadas a través de Polígonos de<br>Thiessen para la subcuenca El Colorado.....    | 42             |
| <b>Tabla N° 14.</b> Superficies abarcadas a través de Polígonos de<br>Thiessen para la subcuenca del Maipo Alto..... | 43             |
| <b>Tabla N° 15.</b> Precipitaciones Medias Areales para la subcuenca El<br>Colorado.....                             | 44             |

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

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

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                                                                                                                  | Páginas |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Gráfico N° 1.</b> Gráfica de la variación temporal de la subcuenca El Colorado.....                           | 62      |
| <b>Gráfico N° 2.</b> Gráfica de la variación temporal de la subcuenca del Maipo Alto.....                        | 63      |
| <b>Gráfico N° 3.</b> Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Mayo, subcuenca El Colorado.....          | 65      |
| <b>Gráfico N° 4.</b> Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Mayo, subcuenca del Maipo Alto.....       | 66      |
| <b>Gráfico N° 5.</b> Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Junio, subcuenca El Colorado.....         | 67      |
| <b>Gráfico N° 6.</b> Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Junio, subcuenca del Maipo Alto.....      | 68      |
| <b>Gráfico N° 7.</b> Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Julio, subcuenca El Colorado.....         | 69      |
| <b>Gráfico N° 8.</b> Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Julio, subcuenca del Maipo Alto.....      | 70      |
| <b>Gráfico N° 9.</b> Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Diciembre, subcuenca El Colorado.....     | 71      |
| <b>Gráfico N° 10.</b> Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Diciembre, subcuenca del Maipo Alto..... | 72      |
| <b>Gráfico N° 11.</b> Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Enero, subcuenca El Colorado.....        | 73      |
| <b>Gráfico N° 12.</b> Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Enero, subcuenca del Maipo Alto.....     | 74      |
| <b>Gráfico N° 13.</b> Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Febrero, subcuenca El Colorado.....      | 75      |
| <b>Gráfico N° 14.</b> Comportamiento de PP/Q, correspondiente al mes de Febrero, subcuenca del Maipo Alto.....   | 76      |

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

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                        | <b>Páginas</b> |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Figura N° 1.</b> Ubicación de la Región Metropolitana de Chile..... | 6              |
| <b>Figura N° 2.</b> Ubicación de Estaciones Fluviométricas.....        | 7              |
| <b>Figura N° 3.</b> Ubicación de Estaciones Pluviométricas.....        | 8              |

## ÍNDICE DE APÉNDICES

### Páginas

#### Apéndice I

|                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 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..... | 101 |
| Análisis gráfico de los caudales a través de los promedios móviles de la estación Río Olivares antes junta Río Colorado.....                                         | 108 |
| Análisis gráfico de los caudales a través de los promedios móviles de la estación Río Colorado antes junta Río Olivares.....                                         | 115 |
| Análisis gráfico de los caudales a través de los promedios móviles de la estación Río Maipo en San Alfonso .....                                                     | 122 |
| 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.....        | 129 |
| Análisis gráfico de los caudales a través de los promedios móviles de la estación Río Volcán en Los Queltehues .....                                                 | 136 |
| Análisis gráfico de los caudales a través de los promedios móviles de la estación Río Maipo en Las Hualtatas .....                                                   | 143 |

#### Apéndice II

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| Datos precipitación y caudal para subcuenca del Maipo Alto..... | 150 |
| Datos precipitación y caudal para subcuenca El Colorado.....    | 151 |

#### Apéndice III

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Comportamiento PP/Q a través del tiempo para la subcuenca El Colorado.....    | 152 |
| Comportamiento PP/Q a través del tiempo para la subcuenca del Maipo Alto..... | 153 |

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Comportamiento Q/PP a través del tiempo para la subcuenca<br>El Colorado.....    | 154 |
| Comportamiento Q/PP a través del tiempo para la subcuenca<br>del Maipo Alto..... | 155 |