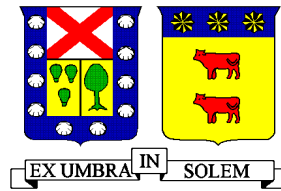


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE



ANÁLISIS DE MODELOS PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA PARA CUENCAS NIVO-PLUVIALES DEL PAIS

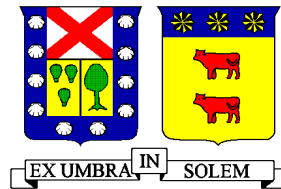
FERNANDO ANTONIO LIZAMA ABARCA

Memoria para optar al título de
Ingeniero Civil

Profesor Guía
Pedro Kamann Chacana

Diciembre de 2019

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE



ANÁLISIS DE MODELOS PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA PARA CUENCAS NIVO-PLUVIALES DEL PAIS

Memoria de titulación presentada por
FERNANDO ANTONIO LIZAMA ABARCA

Como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil

Profesor Guía
Pedro Kamann Chacana

Diciembre de 2019

RESUMEN

Esta memoria de título tiene por finalidad verificar el comportamiento y la aplicabilidad de los modelos precipitación – escorrentía de Turc, Coutagne, Turc – Pike, Grunsky y Peñuelas en las cuencas existentes a lo largo del país, específicamente entre la IV y XII región. Los modelos mencionados fueron obtenidos empíricamente fuera de nuestro país (excepto Peñuelas), en climas no necesariamente similares a los de Chile, por ende, ampliar el conocimiento sobre éstos es relevante.

Siguiendo una serie de criterios establecidos en cuatro memorias de título precedentes a esta, se definieron 67 subcuencas entre la IV región de Coquimbo y la XII región de Magallanes, siendo éstas una selección de las hoyas hidrográficas más importantes de cada región.

Los modelos precipitación – escorrentía estudiados dependen de variables tales como la precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración potencial media anual. Para este estudio, se han considerado los valores de éstas variables determinadas, como se dijo anteriormente, en las cuatro memorias de título anteriores.

El cálculo de la escorrentía media anual no arrojó buenos resultados, obteniéndose un error relativo promedio de 46% para el modelo de Turc, 43% para el modelo de Coutagne, 52% para el modelo Turc – Pike, 43% para el modelo de Grunsky y 45% para el modelo de Peñuelas. Considerando el no despreciable error obtenido para cada uno de los modelos, se procedió al ajuste de estos por grupos de subcuencas. Esta división de la muestra se efectuó mediante dos metodologías, la primera divide la muestra total de subcuencas por grupos de regiones, mientras que la segunda divide las subcuencas en base al Método Cluster, el cual es un método estadístico de análisis de conglomerados.

La primera metodología consistió en dividir las subcuencas estudiadas por grupos de regiones en lo que se denominó configuraciones. Efectuando el ajuste a cada uno de estos, resultó que la configuración N°4, que separa el análisis en IV región, V a VI región, VII a IX región y X a XII región, es la que entrega un error relativo más bajo, obteniéndose un 27% (Turc ajustado), 33% (Grunsky y Peñuelas ajustados), 22% (Turc-Pike ajustado) y un 24% (Grunsky y Peñuelas ajustados) respectivamente.

La segunda metodología corresponde al análisis de conglomerados o también conocido como Análisis Cluster, mediante el cual se divide la muestra total de subcuencas analizadas en este estudio en 5 grupos. A partir de los resultados obtenidos, se aprecia que el principal discriminante

en la división obtenida es la precipitación media anual, por lo cual se modifican levemente los grupos de tal manera de establecer claramente el rango de precipitación media anual de cada uno de ellos. Es así como se establece que las subcuencas con precipitación media anual menor a 500 mm pertenecen al grupo N°1 corregido, entre 500 y 1000 mm al grupo N°2 corregido, entre 1000 y 2000 mm al grupo N°3 corregido, entre 2000 y 3500 mm al grupo N°4 corregido y mayor a 3500 mm al grupo N°5 corregido. Al realizar el ajuste de los modelos precipitación – escorrentía a estos grupos, se obtuvo un error relativo promedio del 29% (Turc) para el grupo N°1, 45% (Coutagne) para el grupo N°2, 33% (Turc) para el grupo N°3, 19% (Turc – Pike) para el grupo N°4 y finalmente un 13% (Turc) para el grupo N°5. Posteriormente, se realizó un análisis en el borde de cada grupo, obteniéndose grandes diferencias en lo obtenido con los modelos definidos en el límite.

Finalmente, el autor recomienda la utilización de la división por regiones, específicamente la configuración N°4, y el uso de las expresiones ajustadas definidas para cada región. Así también, se recomienda el uso de estos modelos como una estimación preliminar y solo como apoyo.

ABSTRACT

The purpose of this work was to verify the behavior and the applicability of the rainfall – runoff models of Turc, Coutagne, Turc – Pike, Grunsky and Peñuelas on the basins along our country, specifically between IV to XII region. The mentioned models were obtained empirically in other countries (except Peñuelas), in climate not necessarily similar to those of Chile, therefore, expanding knowledge about them is relevant.

Following a series of criteria established in four previous memoirs, 67 sub-basins were defined between the IV region of Coquimbo and the XII region of Magallanes, these being a selection of the most important hydrographic holes in each region.

The rainfall - runoff models studied depend on variables such as annual average rainfall, annual average temperature and annual average potential evapotranspiration. For this study, the values of these determined variables have been considered, as stated above, in the four previous memoirs.

The calculation of the average annual runoff did not yield good results, obtaining an average relative error of 46.2% for the Turc model, 43% for the Coutagne model, 52% for the Turc - Pike model, 43.3% for the Grunsky model and 45.2% for the Peñuelas model. Considering the non-negligible error obtained for each of the models, the models were adjusted by sub-basin groups. This division of the sample was carried out by means of two methodologies, the first dividing the total sample of sub-basins by groups of regions, while the second divides the sub-basins based on the Cluster Method, which is a statistical method of cluster analysis.

The first methodology consisted of dividing the sub-basins studied by groups of regions in what were called configurations. Performing the adjustment to each of them, it turned out that the configuration N°4, which separates the analysis in IV region, V to VI region, VII to IX region and X to XII region, is the one that delivers a lower relative error, obtaining a 27% (Turc adjusted), 33% (Grunsky and Peñuelas adjusted), 22% (Turc-Pike adjusted) and 24% (Grunsky and Peñuelas adjusted) respectively.

The second methodology corresponds to cluster analysis or also known as Cluster Analysis, by which the total sample of sub-basins analyzed in this study is divided into 5 groups. From the results obtained, it can be seen that the main discriminant in the division obtained is the average annual rainfall, so the groups are slightly modified in such a way to clearly establish the average annual rainfall range of each of them. This is how it is established that the sub-basins with average annual rainfall of less than 500 mm belong to the corrected No. 1 group, between 500 and 1000 mm to the

corrected No. 2 group, between 1000 and 2000 mm to the corrected No. 3 group, between 2000 and 3500 mm to the No. 4 group corrected and greater than 3500 mm to the corrected group N°5. When adjusting rainfall - runoff models to these groups, an average relative error of 29% (Turc) was obtained for group N°1, 45% (Coutagne) for group N°2, 33% (Turc) for group N°3, 19% (Turc - Pike) for group N°4 and finally 13% (Turc) for group N°5. Subsequently, an analysis was carried out at the edge of each group, obtaining great differences in what was obtained with the models defined in the limit.

Finally, the author recommends the use of the division by regions, specifically the configuration N°4, and the use of the adjusted expressions defined for each region. Also, the use of these models is recommended as a preliminary estimate and only as support.

GLOSARIO

- **DGA:** Dirección General de Aguas, perteneciente al Ministerio de Obras Públicas.
- **DMC:** Dirección Meteorológica de Chile.
- **CNR:** Comisión Nacional de Riego.
- **Estación fluviométrica:** corresponde a una instalación dotada de instrumentos que permiten la medición de la altura limnimétrica y con ello el caudal de un escurrimiento.
- **Estación meteorológica:** corresponde a una instalación destinada a medir y registrar distintas variables meteorológicas como temperatura, precipitación, humedad relativa, entre otras.
- **Precipitación media anual:** corresponde a la cantidad de agua caída en una determinada hoya hidrográfica en un periodo de tiempo igual a un año.
- **Temperatura media anual:** corresponde al promedio de la temperatura en determinado lugar en un periodo de un año.
- **Evapotranspiración potencial media anual:** se define como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	11
Capítulo 2: Antecedentes Generales	14
2.1 Objetivos	14
2.1.1 Objetivo general	14
2.1.2 Objetivos específicos	14
2.2 Alcances del estudio	15
2.3 Recopilación de estudios relacionados	15
2.3.1 Memoria: Análisis de los modelos precipitación-escorrentía para cuencas nivo-pluviales de la 3°, 4° y 5° región de Chile-Leandro Ramírez (Universidad de Valparaíso)	15
2.3.2 Memoria: Análisis de los modelos precipitación-escorrentía para las regiones XV, I, II y III de Chile-Christian Olivares (USM)	16
2.3.3 Memoria: Análisis de los modelos precipitación-escorrentía para las regiones VI, VII, VIII y IX de Chile-Matías Wulf (USM)	17
2.3.4 Memoria: Análisis de los modelos precipitación-escorrentía para las regiones XIV, X, XI y XII de Chile-Jorge Pavez (USM)	18
2.3.5 Memoria: Análisis de los modelos precipitación-escorrentía para la cuenca nivo-pluvial de la región Metropolitana de Chile – Estrella Estirado Díaz (Universidad de Cantabria)	19
Capítulo 3: Marco Teórico	20
3.1 El ciclo hidrológico y la Escorrentía	20
3.2 Ecuación general del balance hidrológico	22
3.3 Modelos precipitación-escorrentía	24
3.3.1 Modelo de Turc	24
3.3.2 Modelo Coutagne	25
3.3.3 Modelo Turc-Pike	26
3.3.4 Modelo Grunsky	26
3.3.5 Modelo Peñuelas	27
Capítulo 4: Cuencas consideradas en el estudio	29
4.1 Criterios considerados para la selección de cuencas	29
4.2 Cuencas seleccionadas en este estudio	29

4.2.1	Descripción general de las cuencas seleccionadas	30
Capítulo 5: Definición de subcuencas utilizadas		54
5.1	Área de subcuencas	54
5.2	Curva hipsométrica	56
Capítulo 6: Estudio Hidrológico		57
6.1	Cálculo y distribución de variables en subcuencas.....	57
6.1.1	Caudal medio anual	57
6.1.2	Precipitación media anual	59
6.1.3	Temperatura media anual	62
6.1.4	Evapotranspiración potencial media anual	64
6.2	Resumen de las variables hidrometeorológicas representativas de cada subcuenca ..	66
6.3	Escorrentía media anual medida para cada subcuenca	70
Capítulo 7: Evaluación de los Modelos Precipitación-Escorrentía con metodología original		74
7.1	Metodología utilizada	74
7.2	Resultados obtenidos.....	75
7.2.1	Modelo precipitación-escorrentía de Turc	75
7.2.2	Modelo precipitación-escorrentía de Coutagne.....	80
7.2.3	Modelo precipitación-escorrentía Turc-Pike	85
7.2.4	Modelo precipitación-escorrentía de Grunsky	88
7.2.5	Modelo precipitación-escorrentía de Peñuelas.....	91
7.2.6	Síntesis de los resultados obtenidos	95
Capítulo 8: Evaluación de los modelos precipitación – escorrentía con metodología alternativa		100
8.1	Metodología aplicada	100
8.2	Resultados obtenidos.....	101
8.2.1	Modelo precipitación – escorrentía de Turc	101
8.2.2	Modelo precipitación – escorrentía de Coutagne	105
8.2.3	Modelo precipitación – escorrentía de Turc-Pike.....	108
8.2.4	Modelo precipitación – escorrentía de Grunsky	112
8.2.5	Modelo precipitación – escorrentía de Peñuelas	115

8.2.6	Síntesis de los resultados obtenidos	119
Capítulo 9: Ajuste de los modelos precipitación – escorrentía por grupos según regiones		125
9.1	Metodología aplicada	125
9.2	Configuraciones utilizadas.....	127
9.3	Ajuste de los modelos precipitación – escorrentía estudiados	128
9.3.1	Lineamientos del ajuste a los modelos precipitación – escorrentía estudiados	129
9.3.2	Resultados obtenidos mediante el ajuste de los modelos estudiados.....	133
9.3.3	Análisis de los resultados obtenidos.....	155
Capítulo 10: Ajuste de modelos precipitación – escorrentía para división entregada por el Método Cluster		163
10.1	Metodología utilizada	163
10.2	Método Cluster.....	165
10.3	División entregada por el método Cluster	166
10.4	Ajuste de modelos precipitación - escorrentía	171
10.4.1	Resultados del ajuste para el grupo N°1 corregido	171
10.4.2	Resultados del ajuste para el grupo N°2 corregido	175
10.4.3	Resultados del ajuste del grupo N°3 corregido	178
10.4.4	Resultados del ajuste del grupo N°4 corregido	182
10.4.5	Resultados del ajuste para el grupo N°5 corregido	186
10.5	Análisis de los resultados en los límites de cada grupo	189
10.5.1	Análisis en el límite grupo N°1 – grupo N°2 corregidos.....	189
10.5.2	Análisis en el límite grupo N°2 – grupo N°3 corregidos.....	190
10.5.3	Análisis en el límite grupo N°3 – grupo N°4 corregidos.....	191
10.5.4	Análisis en el límite grupo N°4 – grupo N°5 corregidos.....	191
Capítulo 11: Conclusiones y Recomendaciones.....		193
Capítulo 12: Bibliografía y Referencias.....		199

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 3-1 Idealización pictórica del ciclo hidrológico</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3-2 Diagrama de flujo del ciclo hidrológico</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4-1 Cuenca del río Elqui</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4-2 Cuenca del río Choapa.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4-3 Cuenca del río Petorca.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4-4 Cuenca del río La Ligua.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 4-5 Cuenca del río Aconcagua</i>	<i>36</i>
<i>Figura 4-6 Cuenca del río Maipo.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4-7 Cuenca del río Cachapoal</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4-8 Cuenca del río Tinguiririca</i>	<i>39</i>
<i>Figura 4-9 Cuenca del río Mataquito.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4-10 Cuenca del río Maule.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4-11 Cuenca del río Itata</i>	<i>42</i>
<i>Figura 4-12 Cuenca del río Biobío</i>	<i>43</i>
<i>Figura 4-13 Cuenca del río Imperial.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4-14 Cuenca del río Toltén.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 4-15 Cuenca del río Valdivia</i>	<i>46</i>
<i>Figura 4-16 Cuenca del río Bueno.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4-17 Cuenca del río Cisnes</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4-18 Cuenca del río Aysén</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4-19 Cuenca del río Serrano</i>	<i>51</i>
<i>Figura 4-20 Cuenca de Península de Brunswick.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4-21 Cuenca de Tierra del Fuego</i>	<i>53</i>
<i>Figura 7-1 Diagrama X-Y para evaluación de método de Turc.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 7-2 Diagrama X-Y para evaluación de método de Turc.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 7-3 Relación Pma – Tma para escorrentía media anual nula Modelo Coutagne</i>	<i>83</i>
<i>Figura 7-4 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Coutagne.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 7-5 Diagrama X-Y para evaluación de modelo Turc-Pike</i>	<i>88</i>
<i>Figura 7-6 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Grunsky</i>	<i>91</i>
<i>Figura 7-7 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Peñuelas.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 8-1 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Turc mediante procedimiento por banda hipsométrica</i>	<i>104</i>
<i>Figura 8-2 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Coutagne mediante procedimiento por banda hipsométrica.....</i>	<i>108</i>

<i>Figura 8-3 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Turc-Pike mediante procedimiento por banda hipsométrica.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 8-4 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Grunsky mediante procedimiento por banda hipsométrica.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 8-5 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Peñuelas mediante procedimiento por banda hipsométrica.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 9-1 Análisis de sensibilidad modelo de Turc ajustado para IV región.....</i>	<i>158</i>
<i>Figura 9-2 Análisis de sensibilidad modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado para V, RM y VI región</i>	<i>159</i>
<i>Figura 9-3 Análisis de sensibilidad modelo de Turc - Pike ajustado para VII, VIII y IX región</i>	<i>160</i>
<i>Figura 9-4 Análisis de sensibilidad modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado para X, XIV, XI y XII región</i>	<i>162</i>
<i>Figura 10-1 Análisis de sensibilidad para modelo de Turc ajustado para Grupo N°1 corregido</i>	<i>174</i>
<i>Figura 10-2 Análisis de sensibilidad para modelo de Coutagne ajustado para Grupo N°2 corregido</i>	<i>178</i>
<i>Figura 10-3 Análisis de sensibilidad para modelo de Turc ajustado para Grupo N°3 corregido</i>	<i>181</i>
<i>Figura 10-4 Análisis de sensibilidad para modelo de Turc - Pike ajustado para Grupo N°4 corregido.....</i>	<i>185</i>
<i>Figura 10-5 Análisis de sensibilidad para modelo de Turc ajustado para Grupo N°5 corregido</i>	<i>189</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1-1 Etapas del estudio</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 4-1 Cuencas seleccionadas en este estudio</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4-2 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Elqui</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 4-3 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Choapa.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 4-4 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Petorca.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 4-5 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río La Ligua.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 4-6 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Aconcagua</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 4-7 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Maipo.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4-8 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Cachapoal</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 4-9 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Tinguiririca</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 4-10 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Mataquito.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 4-11 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Maule</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4-12 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Itata</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 4-13 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Biobío</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 4-14 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Imperial.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 4-15 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Toltén</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 4-16 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Valdivia</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 4-17 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Bueno</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 4-18 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Cisnes</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 4-19 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Aysén.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 4-20 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Serrano.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 4-21 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica de la Península de Brunswick.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 4-22 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica de Tierra del Fuego</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 5-1 Área aportante de cada subcuenca estudiada.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 6-1 Caudal medio anual de cada subcuenca analizada.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 6-2 Precipitación media anual para cada subcuenca analizada.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 6-3 Temperatura media anual para cada subcuenca analizada</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 6-4 Evapotranspiración potencial media anual para cada subcuenca analizada.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 6-5 Resumen de las variables hidrometeorológicas representativas de cada subcuenca</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 6-6 Escorrentía media anual para cada subcuenca analizada</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 7-1 Ejemplo de metodología por banda tradicional utilizada en estación Estero Derecho en Alcohuaz.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 7-2 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 7-3 Subcuencas con escorrentía media anual cercana a 0 con modelo Turc.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 7-4 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Coutagne</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 7-5 Subcuencas con escorrentía media anual cercana a 0 con modelo Coutagne</i>	<i>84</i>

<i>Tabla 7-6 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc - Pike</i>	85
<i>Tabla 7-7 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Grunsky</i>	88
<i>Tabla 7-8 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Peñuelas</i>	92
<i>Tabla 7-9 Resumen de escorrentías medias anuales estimadas por los métodos precipitación-escorrentía estudiados</i>	97
<i>Tabla 8-1 Ejemplo de metodología alternativa utilizada en estación Estero Derecho en Alcohuaz</i>	101
<i>Tabla 8-2 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc</i>	101
<i>Tabla 8-3 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Coutagne</i>	105
<i>Tabla 8-4 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc - Pike</i>	109
<i>Tabla 8-5 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Grunsky</i>	112
<i>Tabla 8-6 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Peñuelas</i>	116
<i>Tabla 8-7 Resumen de escorrentías medias anuales estimadas mediante el procedimiento por banda hipsométrica por los métodos precipitación-escorrentía estudiados</i>	121
<i>Tabla 9-1 Resultados del ajuste para Configuración N°1 Modelo de Turc</i>	133
<i>Tabla 9-2 Resultados del ajuste para Configuración N°1 Modelo de Coutagne</i>	134
<i>Tabla 9-3 Resultados del ajuste para Configuración N°1 Modelo de Turc Pike</i>	134
<i>Tabla 9-4 Resultados del ajuste para Configuración N°1 Modelo de Grunsky</i>	135
<i>Tabla 9-5 Resultados del ajuste para Configuración N°1 Modelo de Peñuelas</i>	135
<i>Tabla 9-6 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°1</i>	136
<i>Tabla 9-7 Resultados del ajuste para Configuración N°2 Modelo de Turc</i>	139
<i>Tabla 9-8 Resultados del ajuste para Configuración N°2 Modelo de Coutagne</i>	139
<i>Tabla 9-9 Resultados del ajuste para Configuración N°2 Modelo de Turc Pike</i>	140
<i>Tabla 9-10 Resultados del ajuste para Configuración N°2 Modelo de Grunsky</i>	140
<i>Tabla 9-11 Resultados del ajuste para Configuración N°2 Modelo de Peñuelas</i>	141
<i>Tabla 9-12 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°2</i>	142
<i>Tabla 9-13 Resultados del ajuste para Configuración N°3 Modelo de Turc</i>	144
<i>Tabla 9-14 Resultados del ajuste para Configuración N°3 Modelo de Coutagne</i>	145
<i>Tabla 9-15 Resultados del ajuste para Configuración N°3 Modelo de Turc Pike</i>	145
<i>Tabla 9-16 Resultados del ajuste para Configuración N°3 Modelo de Grunsky</i>	146
<i>Tabla 9-17 Resultados del ajuste para Configuración N°3 Modelo de Peñuelas</i>	146

<i>Tabla 9-18 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°3</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 9-19 Resultados del ajuste para Configuración N°4 Modelo de Turc</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 9-20 Resultados del ajuste para Configuración N°4 Modelo de Coutagne.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 9-21 Resultados del ajuste para Configuración N°4 Modelo de Turc Pike.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 9-22 Resultados del ajuste para Configuración N°4 Modelo de Grunsky</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 9-23 Resultados del ajuste para Configuración N°4 Modelo de Peñuelas.....</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 9-24 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°4</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 9-25 Modelo de Turc ajustado propuesto para la IV región</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 9-26 Modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado propuesto para la V, RM y VI región</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 9-27 Modelo de Turc – Pike ajustado propuesto para la VII, VIII y IX región</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 9-28 Modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado propuesto para la X, XIV, XI y XII región</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 9-29 Condiciones para escorrentía nula en modelos ajustados división por latitud.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 9-30 Análisis de sensibilidad modelo de Turc ajustado para IV región.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 9-31 Análisis de sensibilidad modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado para V, RM y VI región</i>	<i>158</i>
<i>Tabla 9-32 Análisis de sensibilidad modelo de Turc - Pike ajustado para VII, VIII y IX región</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 9-33 Análisis de sensibilidad modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado para X, XIV, XI y XII región</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 10-1 Grupo N°1 obtenido del Análisis Cluster.....</i>	<i>166</i>
<i>Tabla 10-2 Grupo N°2 obtenido del Análisis Cluster.....</i>	<i>166</i>
<i>Tabla 10-3 Grupo N°3 obtenido del Análisis Cluster.....</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 10-4 Grupo N°4 obtenido del Análisis Cluster.....</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 10-5 Grupo N° 5 obtenido del Análisis Cluster.....</i>	<i>168</i>
<i>Tabla 10-6 Grupo N°1 corregido del Análisis Cluster.....</i>	<i>169</i>
<i>Tabla 10-7 Grupo N°2 corregido del Análisis Cluster.....</i>	<i>169</i>
<i>Tabla 10-8 Grupo N°3 corregido del Análisis Cluster.....</i>	<i>170</i>
<i>Tabla 10-9 Grupo N°4 corregido del Análisis Cluster.....</i>	<i>170</i>
<i>Tabla 10-10 Grupo N°5 corregido del Análisis Cluster.....</i>	<i>171</i>
<i>Tabla 10-11 Resultados del grupo N°1 corregido para el modelo de Turc</i>	<i>171</i>
<i>Tabla 10-12 Resultados del grupo N°1 corregido para el modelo de Coutagne</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 10-13 Resultados del grupo N°1 corregido para el modelo de Turc - Pike</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 10-14 Resultados del grupo N°1 corregido para el modelo de Grunsky</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 10-15 Resultados del grupo N°1 corregido para el modelo de Peñuelas.....</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 10-16 Modelo precipitación – escorrentía propuesto para Grupo N°1</i>	<i>173</i>
<i>Tabla 10-17 Resultados obtenidos para cada subcuenca del grupo N°1 corregido</i>	<i>173</i>
<i>Tabla 10-18 Variación de parámetros y error relativo para modelo Turc ajustado para Grupo N°1 corregido</i>	<i>174</i>
<i>Tabla 10-19 Resultados del grupo N°2 corregido para el modelo de Turc</i>	<i>175</i>

<i>Tabla 10-20 Resultados del grupo N°2 corregido para el modelo de Coutagne</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 10-21 Resultados del grupo N°2 corregido para el modelo de Turc - Pike</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 10-22 Resultados del grupo N°2 corregido para el modelo de Grunsky</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 10-23 Resultados del grupo N°2 corregido para el modelo de Peñuelas.....</i>	<i>176</i>
<i>Tabla 10-24 Modelo precipitación – escorrentía propuesto para Grupo N°2 corregido</i>	<i>176</i>
<i>Tabla 10-25 Resultados obtenidos para cada subcuenca del grupo N°2 corregido</i>	<i>177</i>
<i>Tabla 10-26 Variación de parámetros y error relativo para modelo Coutagne ajustado para Grupo N°2 corregido</i>	<i>177</i>
<i>Tabla 10-27 Resultados del grupo N°3 corregido para el modelo de Turc</i>	<i>178</i>
<i>Tabla 10-28 Resultados del grupo N°3 corregido para el modelo de Coutagne</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 10-29 Resultados del grupo N°3 corregido para el modelo de Turc - Pike</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 10-30 Resultados del grupo N°3 corregido para el modelo de Grunsky.....</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 10-31 Resultados del grupo N°3 corregido para el modelo de Peñuelas.....</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 10-32 Modelo precipitación – escorrentía propuesto para Grupo N°3 corregido</i>	<i>180</i>
<i>Tabla 10-33 Resultados obtenidos para cada subcuenca del grupo N°3 corregido</i>	<i>180</i>
<i>Tabla 10-34 Variación de parámetros y error relativo para modelo Turc ajustado para Grupo N°3 corregido</i>	<i>181</i>
<i>Tabla 10-35 Resultados del grupo N°4 corregido para el modelo de Turc</i>	<i>182</i>
<i>Tabla 10-36 Resultados del grupo N°4 corregido para el modelo de Coutagne</i>	<i>182</i>
<i>Tabla 10-37 Resultados del grupo N°4 corregido para el modelo de Turc - Pike</i>	<i>182</i>
<i>Tabla 10-38 Resultados del grupo N°4 corregido para el modelo de Grunsky.....</i>	<i>183</i>
<i>Tabla 10-39 Resultados del grupo N°4 corregido para el modelo de Peñuelas.....</i>	<i>183</i>
<i>Tabla 10-40 Modelo precipitación – escorrentía propuesto para Grupo N°4 corregido</i>	<i>183</i>
<i>Tabla 10-41 Resultados obtenidos para cada subcuenca del grupo N°4 corregido</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 10-42 Variación de parámetros y error relativo para modelo Turc - Pike ajustado para Grupo N°4 corregido</i>	<i>185</i>
<i>Tabla 10-43 Resultados del grupo N°5 corregido para el modelo de Turc</i>	<i>186</i>
<i>Tabla 10-44 Resultados del grupo N°5 corregido para el modelo de Coutagne</i>	<i>186</i>
<i>Tabla 10-45 Resultados del grupo N°5 corregido para el modelo de Turc - Pike</i>	<i>186</i>
<i>Tabla 10-46 Resultados del grupo N°5 corregido para el modelo de Grunsky.....</i>	<i>186</i>
<i>Tabla 10-47 Resultados del grupo N°5 corregido para el modelo de Peñuelas.....</i>	<i>187</i>
<i>Tabla 10-48 Modelo precipitación – escorrentía propuesto para Grupo N°5 corregido</i>	<i>187</i>
<i>Tabla 10-49 Resultados obtenidos para cada subcuenca del grupo N°5 corregido</i>	<i>188</i>
<i>Tabla 10-50 Variación de parámetros y error relativo para modelo Turc ajustado para Grupo N°5 corregido</i>	<i>188</i>
<i>Tabla 10-51 Análisis en el límite de grupo N°1 y grupo N°2 corregidos.....</i>	<i>190</i>
<i>Tabla 10-52 Análisis en el límite del grupo N°2 y grupo N°3 corregidos.....</i>	<i>190</i>
<i>Tabla 10-53 Análisis en el límite del grupo N°3 y grupo N°4 corregidos.....</i>	<i>191</i>

<i>Tabla 10-54 Análisis en el límite del grupo N°4 y grupo N°5 corregidos.....</i>	<i>192</i>
<i>Tabla 11-1 Modelo de Turc ajustado propuesto para la IV región</i>	<i>197</i>
<i>Tabla 11-2 Modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado propuesto para la V, RM y VI región.....</i>	<i>197</i>
<i>Tabla 11-3 Modelo de Turc – Pike ajustado propuesto para la VII, VIII y IX región</i>	<i>197</i>
<i>Tabla 11-4 Modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado propuesto para la VII, VIII y IX región</i>	<i>198</i>

Capítulo 1: Introducción

El agua ha sido desde la antigüedad el elemento básico e indispensable en la vida del hombre. El desarrollo de las civilizaciones más antiguas se basó principalmente en el recurso hídrico, buscando beneficios en cuanto a la agricultura, ganadería, entre otras disciplinas, siendo común poblar los valles de los ríos, como lo hicieron los egipcios en la ribera del Nilo, los romanos en la del Tíber y también Mesopotamia entre los ríos Tigris y Éufrates. Considerando el aumento de la población mundial con el correr de los años, el recurso comenzó a hacerse más escaso, lo cual no tiene relación con un agotamiento, considerando que es un recurso natural cíclico, sino más bien producto de una demanda mucho mayor. A raíz de esto, se hizo necesario estudiar y comprender los fenómenos que lo controlan, de tal forma de modelar el comportamiento y estimar su disponibilidad a grandes rasgos en el espacio y tiempo.

A lo largo de los años se ha estudiado las variables y los fenómenos que controlan el ciclo hidrológico, generándose modelos matemáticos que buscan determinar la respuesta en términos de caudales de una cuenca hidrográfica frente a variables como la temperatura, la evapotranspiración potencial y la precipitación, entre otras. Estos modelos se denominan modelos “Precipitación – Escorrentía”, los cuales han sido definidos de forma empírica en otros países, con climas no necesariamente similares a los que se pueden encontrar en Chile, por lo cual su uso es más bien referencial, de tal manera de tener una idea a corto y largo plazo de la cuenca estudiada.

A grandes rasgos se entiende por escorrentía a la fracción de la precipitación caída en una determinada superficie que eventualmente se manifiesta como flujo en cauces, ya sea en forma permanente o intermitente. Acorde a esto, definir de forma correcta la precipitación en la cuenca analizada es imperativo para obtener una buena estimación de la escorrentía.

La precipitación que cae sobre un área definida es drenada mediante tres tipos de flujo:

- Flujo superficial: lámina de agua que escurre superficialmente antes de incorporarse a un cauce.
- Flujo intermedio: flujo en los primeros horizontes de suelo, no alcanza a incorporarse al flujo subterráneo.
- Flujo subterráneo: proviene de la percolación profunda, presenta un desfase temporal significativo.

La suma del flujo superficial, intermedio y subterráneo más la precipitación caída sobre el cauce se denomina escorrentía total, la cual es la variable a determinar en este estudio.

En las zonas donde no se cuenta con información fluviométrica, o bien es escasa y poco fiable, es razonable la utilización de modelos Precipitación – Escorrentía, solo si se tiene pleno conocimiento de las variables meteorológicas involucradas, esto es temperatura, evapotranspiración potencial y precipitación. Los modelos Precipitación – Escorrentía más utilizados en Chile y estudiados en este trabajo son los siguientes:

- Fórmula de Grunsky
- Fórmula de Peñuelas
- Fórmula de Turc
- Fórmula de Coutagne
- Fórmula de Turc-Pike.

En los modelos de Grunsky y Peñuelas la escorrentía depende totalmente de la precipitación, mientras que para los modelos de Turc y Coutagne lo es la temperatura y la precipitación. Por último, el modelo Turc – Pike utiliza las variables de evapotranspiración potencial y la precipitación para el cálculo.

Con respecto a la aplicabilidad de estas fórmulas, se debe señalar que los modelos de Grunsky y Peñuelas son sólo válidas para cuencas pluviales, mientras que los modelos de Turc, Coutagne y Turc – Pike lo son para cuencas nivo pluviales. Aun así, por más que los modelos sean aplicables para hoyas hidrográficas de determinado régimen, en este trabajo se aplicarán para todas las cuencas estudiadas, las cuales en su mayoría, por no decir 100%, son nivo pluviales.

En el ámbito profesional, los ingenieros civiles del país tienden a utilizar las expresiones estudiadas para determinar el rendimiento hídrico de una determinada cuenca, sin conocer la verdadera validez de éstas, lo cual no es lo idóneo, considerando que a excepción de la fórmula de Peñuelas, todos los modelos precipitación – escorrentía planteados fueron definidos en otros países, con condiciones meteorológicas y una geografía distintas a las nuestras.

Continuando con el estudio realizado por cinco memoristas, quienes analizaron la aplicabilidad de los modelos mencionados para distintas regiones, se definirá la validez de estas fórmulas para el país, desde la IV a XII región, ajustando las expresiones a las condiciones de nuestro territorio, reduciendo el error relativo obtenido en primera instancia con los modelos en su forma original.

De forma de estimar el rendimiento hídrico de cada cuenca con estos modelos, se hace necesario definir las variables hidrometeorológicas para caracterizar la zona. Esta información ya fue determinada en las memorias de título en las que se basa este estudio, las cuales para el cálculo se

basaron en los datos entregados por la Dirección General de Aguas (DGA), la cual cuenta con una amplia red de estaciones tanto meteorológicas como pluviométricas a lo largo del país.

El estudio será dividido en tres etapas. En la primera se efectúa la presentación de las cuencas y subcuencas estudiadas, junto con la definición de las variables hidrometeorológicas de cada una de ellas. En la segunda etapa se muestran los resultados de escorrentía media anual obtenidos con cada una de las fórmulas en su versión original, realizando el cálculo mediante dos metodologías distintas. En la tercera etapa se efectuará un ajuste a los modelos, de tal forma de reducir el error relativo obtenido en la segunda etapa. Para esto, se realizará un análisis regional o por latitud, definiendo de esta manera que regiones se comportan de forma similar y asignando así la mejor configuración. Así también, en esta etapa se ajustarán los modelos precipitación - escorrentía en base a los grupos con características similares obtenidos con el método Cluster, el cual es un procedimiento estadístico de análisis de conglomerados.

Tabla 1-1 Etapas del estudio

Etapas	Contenido	Capítulos
M. Teórico	Recopilación de antecedentes y marco teórico.	2 y 3
Etapas I	Definición de subcuencas a analizar y sus variables hidrometeorológicas.	4, 5 y 6
Etapas II	Evaluación de modelos precipitación – escorrentía.	7 y 8
Etapas III	Ajuste de los modelos precipitación – escorrentía.	9 y 10

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 2: Antecedentes Generales

En este acápite se presentan los objetivos tanto generales como específicos del estudio. Durante el desarrollo de éste mismo, se intentará dar cumplimiento a cada uno de ellos.

Adicionalmente, se analizarán los estudios precedentes a éste, realizados a distintas regiones del país. En estas cinco memorias de título se estudia la aplicabilidad de los modelos precipitación-escorrentía a lo largo de distintas zonas de nuestro país.

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

En este estudio el objetivo general es evaluar, analizar y ajustar los modelos precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne, Turc-Pike, Peñuelas y Grunsky para las principales cuencas en régimen natural de nuestro país, desde la IV a la XII región.

2.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar y analizar los modelos precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne, Turc-Pike, Peñuelas y Grunsky en cada subcuenca seleccionada en los estudios precedentes, desde la IV a la XII región del país.
- Evaluar y analizar los modelos precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne, Turc-Pike, Peñuelas y Grunsky en cada subcuenca seleccionada, realizando el cálculo del rendimiento hídrico de una manera alternativa, esto es para cada banda de la curva hipsométrica, obteniendo el caudal de la hoya hidrográfica mediante una suma ponderada en base al área.
- Efectuar un análisis regional de las cuencas estudiadas, de tal manera de encontrar las similitudes entre ellas, logrando una configuración que al realizar el ajuste a los modelos precipitación-escorrentía reduzca al mínimo el error relativo obtenido.
- Evaluar y analizar las subcuencas estudiadas con el método estadístico de análisis de conglomerados Cluster. Efectuar un ajuste de los modelos precipitación-escorrentía a cada uno de los grupos obtenidos con este método.

2.2 Alcances del estudio

- Este estudio abarca cuencas y subcuencas ubicadas entre la IV y la XII región del país, con origen nivo-pluvial.
- El estudio realizado está restringido a cuencas en régimen natural, es decir, que estén mínimamente intervenidas por el hombre, ya sea por extracciones mineras, agrícolas, u otra índole. La razón de esto radica en el hecho de que los modelos precipitación-escorrentía estudiados fueron concebidos bajo esta condición.
- El análisis se limitará a cuencas cuyo origen no esté relacionado a lagos o glaciares, situación muy frecuente de encontrar en el sur de nuestro país.
- Para este estudio se han considerado estaciones fluviométricas con una cantidad de años de registro significativas, de tal manera que sean representativas de la zona estudiada. A raíz de que para el sur de Chile la red hidrométrica es más reciente, este criterio ha sido ajustado para esta zona, exigiéndose una cantidad de años de estadística menor.

2.3 Recopilación de estudios relacionados

Este estudio se basa en los resultados obtenidos en cinco memorias de título, en las cuales se evaluaron los modelos precipitación-escorrentía en diferentes regiones del país, de tal forma de analizar su aplicabilidad en estas zonas. En este capítulo se entrega una descripción de forma general de cada una de ellas.

2.3.1 Memoria: Análisis de los modelos precipitación-escorrentía para cuencas nivo-pluviales de la 3°, 4° y 5° región de Chile-Leandro Ramírez (Universidad de Valparaíso)

Este estudio tuvo por finalidad analizar los modelos precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike, de manera de aportar al conocimiento de estas relaciones y considerar su aplicabilidad en las principales cuencas nivo-pluviales de la III, IV y V región del país.

Tomando restricciones a la hora de la elección de las subcuencas a analizar, como por ejemplo la condición de régimen natural y la cantidad de años del registro fluviométrico, es que se consideraron para este estudio 16 subcuencas, ubicadas en la zona alta (sobre los 2000 msnm) de la cuenca de los ríos Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua. A raíz de que el régimen de las subcuencas

estudiadas es nivo-pluvial, no se estudiaron los modelos precipitación-escorrentía de Grunsky y de Peñuelas, los cuales definen el rendimiento hídrico para cuencas de tipo pluvial.

Los modelos precipitación-escorrentía aquí analizados se encuentran en función de las variables hidrometeorológicas de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial. Una vez definidas estas variables para cada subcuenca, se procedió a calcular la escorrentía media anual con cada uno de los modelos, no obteniéndose resultados satisfactorios, pudiéndose apreciar un alto porcentaje de error promedio en las 16 subcuencas analizadas, siendo de un 80% para el modelo de Turc, un 69% para el modelo de Coutagne y un 105% para el modelo Turc-Pike.

A raíz del alto error obtenido, se procedió a ajustar los modelos estudiados, de tal manera de minimizar el error promedio obtenido. Al efectuar esto se obtuvo una mejor estimación, obteniéndose un error promedio del 26% para los modelos de Turc y Coutagne, y un 32% para Turc-Pike.

Debido a los resultados obtenidos con el ajuste, es que finalmente el autor recomienda la utilización del modelo de Turc o Coutagne ajustado para la cuenca del Río Aconcagua y Choapa. Para la cuenca del Río Huasco y Elqui recomienda la utilización del modelo Turc ajustado.

2.3.2 Memoria: Análisis de los modelos precipitación-escorrentía para las regiones XV, I, II y III de Chile-Christian Olivares (USM)

Este estudio tiene por finalidad verificar la aplicabilidad de los modelos precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne, Turc-Pike, Grunsky y Peñuelas. Estos modelos han sido utilizados sin mayores cuestionamientos en múltiples zonas de Chile, sin verificar el nivel de confiabilidad de los resultados obtenidos.

Esta memoria de título es una continuación de la mencionada en la sección 2.3.1, también guiada por el profesor Kamann. Plasma el estudio de los modelos precipitación-escorrentía en la zona comprendida entre las regiones de Arica y Parinacota (XV) y Atacama (III), abarcando 16 subcuencas determinadas por las estaciones fluviométricas controladas por la DGA entre el río Lluta y río Copiapó. Las cuencas analizadas cumplen el requisito de estar en régimen natural, es decir, presentan una intervención mínima. Muchas de ellas tienen un carácter altiplánico, lo que supone un comportamiento distinto al resto, por su régimen de precipitaciones.

Al aplicar los modelos originales se obtiene un error de 97% para Turc, un 116% para Coutagne, un 78% para Turc-Pike, un 41% para Grunsky y un 49% para Peñuelas; lo que demuestra la poca aplicabilidad de los modelos en la zona estudiada.

Los modelos son ajustados respetando su estructura original y se logra reducir el error a un 39% para Turc, 41% para Coutagne, 42% para Turc-Pike y 40% para Grunsky-Peñuelas.

Finalmente, el autor deja en manifiesto que los modelos originales no se apegan a las características hídricas de la zona; y los ajustes realizados a dichos modelos no entregan resultados satisfactorios, recomendando el uso de estos últimos sólo como una estimación preliminar a criterio del profesional.

2.3.3 Memoria: Análisis de los modelos precipitación-escorrentía para las regiones VI, VII, VIII y IX de Chile-Matías Wulf (USM)

Esta memoria de título tiene como objetivo analizar y ampliar el conocimiento de los modelos precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne, Turc-Pike, Peñuelas y Grunsky, de tal manera de verificar su aplicabilidad en las principales cuencas de las regiones VI, VII, VIII y IX de nuestro país.

Considerando restricciones en la definición de las subcuencas a estudiar, siendo el régimen natural de las cuencas la primordial, se seleccionaron 23 subcuencas, pertenecientes a las cuencas de los ríos Cachapoal, Tinguiririca, Mataquito, Maule, Itata, Biobío, Imperial y Toltén.

La información meteorológica necesaria para definir la precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial de cada subcuenca fue obtenida de la Dirección General de Aguas (DGA), la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y el Visualizador Electrónico del mapa de la Evapotranspiración Potencial en Chile, proveniente de la Comisión Nacional de Riego (CNR).

Definidas las variables meteorológicas se calculó el error promedio con cada uno de los modelos precipitación-escorrentía obteniéndose un 34% para el modelo de Turc, un 35% para el modelo de Coutagne, 30% para el modelo Turc-Pike, 31% para el modelo de Peñuelas y un 30% para el modelo de Grunsky. Posteriormente, se realiza un segundo procedimiento que consiste en la corrección de los modelos iniciales, pero manteniendo la estructura de los mismos. Producto de este ajuste, el error promedio logra reducirse a un 22% para el modelo de Turc, 26% el modelo Coutagne, 21% para el modelo Turc-Pike y 30% para los modelos Peñuelas y Grunsky, los cuales a juicio de este autor son tolerables.

Adicionalmente, el autor propone tres modelos, el primero de ellos sólo dependiente de la precipitación, el segundo modelo dependiente de la temperatura y la precipitación y un tercer modelo dependiente total e únicamente de la temperatura. De estos tres modelos es el segundo el que mejores resultados arroja, con un error promedio del 17%, el mejor de todos los errores obtenidos con cada modelo en este estudio.

2.3.4 Memoria: Análisis de los modelos precipitación-escorrentía para las regiones XIV, X, XI y XII de Chile-Jorge Pavez (USM)

Este estudio tiene por finalidad verificar la aplicabilidad de los modelos precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne, Turc-Pike, Grunsky y Peñuelas en las principales cuencas nivo-pluviales de las regiones XIV, X, XI y XII de Chile.

En base a una serie de criterios formulados con la intención de asegurar la confiabilidad de los datos necesarios para efectuar el análisis, se seleccionaron 23 subcuencas, pertenecientes a las cuencas del río Valdivia, río Bueno, río Cisnes, río Aysén, río Serrano, Península de Brunswick y Tierra del Fuego.

Los modelos precipitación-escorrentía requieren para ser aplicados del conocimiento de las variables meteorológicas representativas de cada subcuenca. La estadística necesaria para definir dichas variables se obtuvo de registros de la DGA, de la DMC y del Visualizador Electrónico de la Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile de la CNR.

Obtenida la precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial para cada subcuenca, se evaluó cada modelo precipitación-escorrentía, obteniéndose un error relativo promedio de 31% para el modelo Turc, 30% para el modelo Coutagne, 41% para el modelo Turc-Pike, 43% para el modelo Grunsky y 39% para el modelo Peñuelas. Estos resultados, a juicio del autor, son medianamente buenos pero no satisfactorios.

Con el objetivo de reducir los errores obtenidos, se realizó un ajuste a los modelos estudiados, de tal manera de hacerlos más representativos de las cuencas analizadas. A raíz de esto fue posible disminuir el error relativo promedio obteniéndose un 20% para el modelo de Turc, 19% para el modelo de Coutagne, 32% para el modelo de Turc-Pike y 37% para el modelo de Grunsky y el modelo de Peñuelas.

De forma adicional, el autor propone dos modelos que consideran las variables precipitación y temperatura para obtener la escorrentía media anual. El error promedio obtenido, a pesar de ser

bajo es mayor que el obtenido por los modelos de Turc y Coutagne ajustados, por lo cual se descarta su utilización.

Finalmente, el autor recomienda la utilización de los modelos ajustados de Turc y Coutagne para las cuencas del río Valdivia, río Bueno, río Cisnes y río Aysén, de los modelos de Turc, Coutagne, Turc-Pike y Grunsky-Peñuelas para la cuenca de la península de Brunswick, y del modelo ajustado Grunsky-Peñuelas para las cuencas del río Serrano y Tierra del Fuego.

2.3.5 Memoria: Análisis de los modelos precipitación-escorrentía para la cuenca nivopluvial de la región Metropolitana de Chile – Estrella Estirado Díaz (Universidad de Cantabria)

El objetivo de esta memoria de título fue analizar y calibrar los modelos precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne, Turc-Pike y Grunsky en la cuenca hidrográfica del Maipo, en la región metropolitana de nuestro país.

Considerando algunas restricciones en la elección de las subcuencas a analizar, es que se han seleccionado solo 7 de ellas.

La información necesaria para definir las variables meteorológicas involucradas en los modelos precipitación-escorrentía fue obtenida de la Dirección General de Aguas (DGA), de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y también del Visualizador Electrónico de la Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile de la Comisión Nacional de Riego (CNR).

Se evaluaron los modelos precipitación-escorrentía para las 7 estaciones seleccionadas, obteniéndose un error relativo promedio de 74% para el modelo de Turc, 63% para el modelo de Coutagne, 94% para el modelo de Turc-Pike y un 53% para el modelo de Grunsky. La autora concluye que acorde a los resultados obtenidos, los modelos precipitación-escorrentía estudiados no entregan valores confiables.

De manera de disminuir los errores obtenidos se procede a efectuar un ajuste a cada uno de los modelos precipitación-escorrentía, reduciendo el error promedio relativo a un 44% para Turc, un 42% para Coutagne, un 40% para Turc-Pike y un 48% para Grunsky.

Finalmente, la autora concluye sobre la invalidez y mal funcionamiento de los modelos precipitación-escorrentía estudiados en la hoya hidrográfica del río Maipo.

Capítulo 3: Marco Teórico

En este acápite se presenta la base conceptual requerida para realizar y comprender este estudio.

En una primera parte se definirá el concepto de escorrentía, por lo cual se explicará lo que es el ciclo hidrológico de manera general. Además, se estudiará la ecuación del balance hídrico para una hoya hidrográfica, junto con las variables que participan en este proceso, que constituyen la base de lo que son los modelos precipitación – escorrentía. Posteriormente, se presentan los modelos precipitación-escorrentía utilizados en este estudio.

3.1 El ciclo hidrológico y la Esorrentía

El ciclo hidrológico corresponde a una idealización del movimiento, circulación y estados en que el agua se manifiesta en el planeta, incluyendo entonces el movimiento del agua en la litosfera, hidrosfera y atmosfera como los procesos o mecanismos asociados como lo son la precipitación, evaporación y escorrentía.

Un primer acercamiento a lo que es el ciclo hidrológico es entender los fenómenos relacionados a esta idealización de manera conceptual, sin cuantificarlos y sin considerar el factor tiempo, como puede observarse en la Figura 3-1.

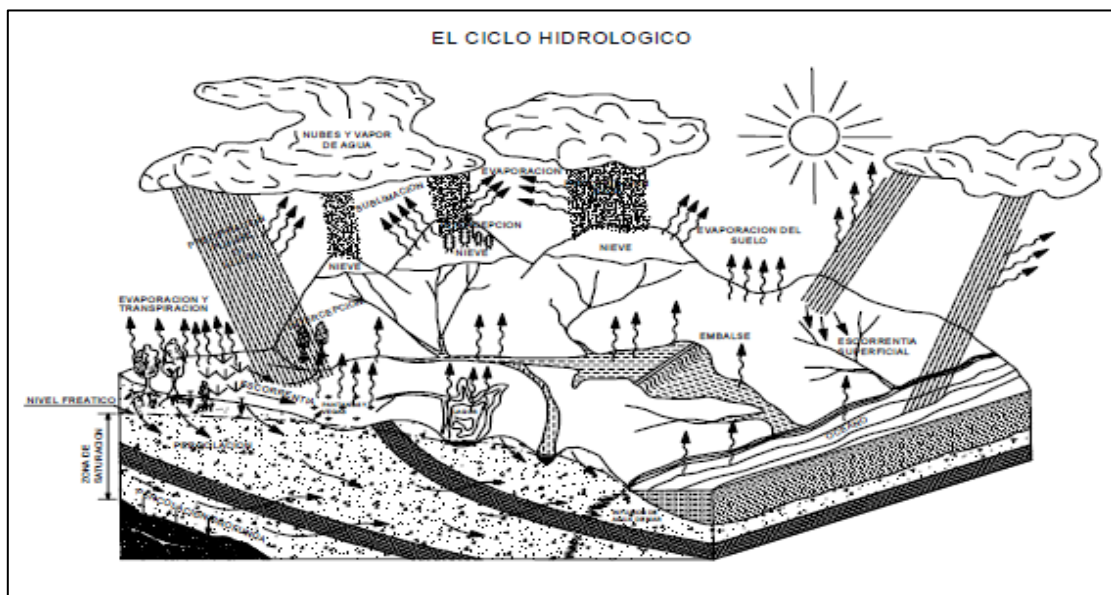


Figura 3-1 Idealización pictórica del ciclo hidrológico
Fuente: Fundamentos de Hidrología – Basilio Espíldora [5]

Como puede observarse en la figura anterior, el agua almacenada en los océanos y mares se evapora a la atmósfera, donde se manifiesta como vapor de agua, el cual puede condensar y precipitar en la superficie terrestre ya sea en forma pluvial o nival, cayendo sobre valles, montañas, lagos u océanos. La precipitación caída puede tomar distintos caminos, uno de ellos sería que esta agua escurra sobre la superficie terrestre y fluya hacia la red de drenaje natural para desembocar en el mar. Otra parte puede quedar temporalmente retenida en depresiones, lagos o directamente infiltrarse hacia la zona de raíces de las plantas o percolar hasta alcanzar napas subterráneas. Por otra parte, el agua almacenada en la superficie o retenida en el suelo, regresará a la atmósfera mediante procesos como la evaporación, sublimación del hielo y transpiración de las plantas, o se infiltrará percolando profundamente, fluyendo de manera subterránea para posteriormente aflorar en ríos y lagos, o descargar subterráneamente al mar.

La idealización mostrada en la Figura 3-1 solo presenta los fenómenos involucrados en el ciclo hidrológico, pero no permite establecer la relación existente entre cada uno de ellos, los cuales definen finalmente la trayectoria del agua a través de los subciclos existentes en su camino de regreso ya sea a la atmósfera o el mar. Así también, la figura mencionada no considera la temporalidad de cada uno de los procesos. Es por estas razones que se presenta la Figura 3-2.

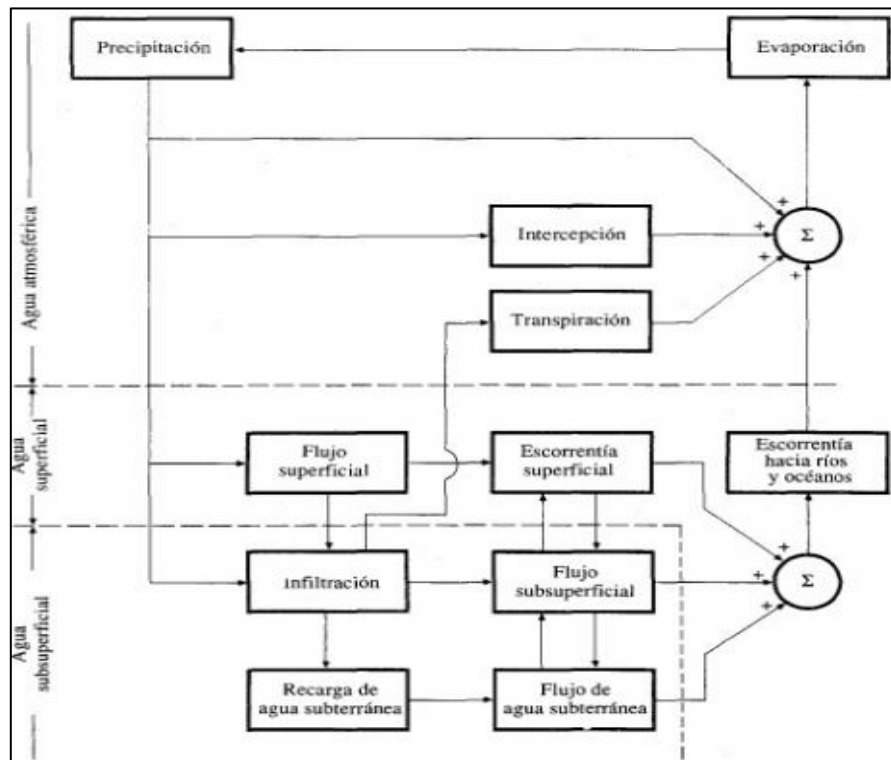


Figura 3-2 Diagrama de flujo del ciclo hidrológico
Fuente: Hidrología Aplicada – Ven Te Chow [4]

La Figura 3-2, correspondiente a un diagrama de flujo, donde se describen los fenómenos que participan en el ciclo hidrológico y las respectivas interconexiones entre estos procesos.

Habiendo definido el ciclo hidrológico, es posible entender el ciclo de escorrentía, que no es más que la parte del ciclo hidrológico comprendida entre la caída de la precipitación sobre la Tierra y su manifestación como escorrentía en el punto de salida de la cuenca o su posible regreso a la atmósfera mediante los fenómenos de evaporación y transpiración.

La unidad física básica en hidrología es la cuenca u hoya hidrográfica, la cual queda determinada al establecer un punto o sección de salida en el curso de agua, hacia el cual será drenada el agua del territorio adyacente. La línea que delimita la superficie de la cuenca lleva por nombre línea divisoria de aguas.

3.2 Ecuación general del balance hidrológico

A la hora de cuantificar lo que es el ciclo hidrológico y el ciclo de escorrentía en una cuenca, es necesario recurrir al concepto de masa o también denominada ecuación de continuidad, cuya expresión en su forma básica es la siguiente:

$$I - Q = \frac{\partial V}{\partial t}$$

Donde:

- I : caudales de entrada a un volumen de control.
- Q : caudales de salida de un volumen de control.
- $\frac{\partial V}{\partial t}$: tasa de variación del volumen.

La expresión presentada, aplicada a una cuenca hidrográfica y para un periodo de tiempo δt queda de la siguiente manera:

$$P + Q_a = R + E + T + Q_e + \delta V_{sup} + \delta V_{sub} + \delta V_h + \delta H$$

Donde:

- P : Precipitación total.
- Q_a : Volumen de agua afluente a la cuenca como caudales superficiales o subterráneos.

- R : Precipitación retenida por la vegetación.
- E : Evaporación desde superficies de suelo húmedo o desde espejos de agua.
- T : Transpiración.
- Q_e : Caudales superficiales y subterráneos efluentes de la cuenca.
- δV_{sup} : Variación del volumen de agua almacenado en la cuenca en depresiones superficiales, lagos y embalses.
- δV_{sub} : Variación del volumen de agua almacenado en forma subterránea.
- δV_h : Variación del volumen de agua almacenado en forma de hielos, glaciares o nieve estacional.
- δH : Variación del volumen de agua almacenado en forma de humedad contenida en los suelos.

La expresión mostrada anteriormente puede reducirse agrupando ciertas variables y eliminando otras que son despreciables respecto al resto. Así entonces, suele denominarse evapotranspiración (ET) al término que engloba las variables evaporación, retención y transpiración vegetal. Por otro lado, los caudales afluentes superficiales solo pueden ocurrir por la intervención del hombre en la cuenca, mientras que los caudales afluentes subterráneos son mínimos en magnitud al compararlos con el resto de las variables, por lo cual el término Q_a ha sido eliminado de la ecuación, resultando lo siguiente:

$$P = ET + Q_e + \delta V_{sup} + \delta V_{sub} + \delta V_h + \delta H$$

Ahora bien, si el balance hidrológico se efectúa para un periodo de un año hidrológico (periodo de tiempo considerado entre 01 de abril a 31 de marzo del otro año), la acumulación de los términos δV_{sup} , δV_{sub} , δV_h y δH resulta mínima o incluso nula independiente de la magnitud que se haya alcanzado en la época invernal, por ende, la esorrentía media anual de la cuenca puede determinarse con un error admisible mediante la expresión mostrada a continuación.

$$Q_e = P - ET$$

Esta ecuación expresa que la esorrentía media anual de una cuenca puede obtenerse con un error aceptable si se conoce la precipitación media anual caída y la evapotranspiración media anual.

La expresión del balance hidrológico es utilizada como base por los modelos precipitación-esorrentía para definir la esorrentía media a un nivel anual mediante el déficit hidrológico (D), como se verá más adelante.

3.3 Modelos precipitación-escorrentía

Se presentan los modelos precipitación-escorrentía utilizados en este estudio, los cuales son los siguientes:

- Modelo de Turc
- Modelo de Coutagne
- Modelo de Turc-Pike
- Modelo de Peñuelas
- Modelo Grunsky

Estos modelos se basan en fórmulas matemáticas obtenidas mediante la experiencia, es decir, son métodos empíricos de estimación de caudales, la mayor parte de ellos deducidos en otros países, con condiciones climáticas distintas a las nuestras. Por lo general, los modelos precipitación-escorrentía intentan definir el déficit de la cuenca, que no es más que la parte de la precipitación que no se transforma en escorrentía.

Cabe mencionar que el modelo de Peñuelas y el modelo de Grunsky presentan la misma expresión matemática, solo cambiando el valor del coeficiente que acompaña a la variable precipitación, sin embargo, a raíz de esto mismo, se han considerado y trabajado en esta memoria de título como dos métodos distintos.

En los siguientes puntos se define cada uno de los modelos considerados en este estudio.

3.3.1 Modelo de Turc

El modelo de Turc, presentado por Lucien Turc en el año 1954 [13], se obtuvo a partir de los resultados obtenidos de 254 cuencas correspondientes a diferentes climas alrededor del mundo. Este modelo es válido para cuencas con régimen natural de origen nivo-pluvial y pluvial. Por otra parte, este modelo fue aplicado en la realización del Balance Hídrico de Chile, perteneciente a la Dirección General de Aguas, siendo quizás el modelo precipitación-escorrentía más utilizado en nuestro país.

El modelo de Turc presenta una expresión matemática para obtener el déficit hidrológico (D) en base a la precipitación media anual y la temperatura media anual de la cuenca, como puede verse a continuación:

$$E_s = P - D$$

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^3$$

Donde:

- E_s : Escorrentía media anual [mm];
- P : Precipitación media anual [mm];
- D : Déficit hidrológico [mm];
- L : Factor calórico;
- T : Temperatura media anual [°C].

Así entonces, la escorrentía media anual queda definida por la diferencia entre la precipitación media anual y el déficit hidrológico.

3.3.2 Modelo Coutagne

La fórmula de Coutagne fue presentada a mediados del siglo XX [3], siendo aplicable a cuencas con régimen natural con origen tanto pluvial como nivo-pluvial. Al igual que el modelo de Turc, el modelo de Coutagne estima el déficit hidrológico a partir de la precipitación y la temperatura media anual. Existen tres casos para estimar el parámetro D, como se muestra a continuación:

$$E_s = P - D$$

$$\lambda = \frac{1}{800 + 140 \cdot T}$$

Caso 1: Si $\frac{1}{8 \cdot \lambda} < P < \frac{1}{2 \cdot \lambda}$

Entonces: $D = P - \lambda \cdot P^2$

Caso 2: Si $\frac{1}{8 \cdot \lambda} \geq P$

Entonces: $D=P$

Caso 3: Si $\frac{1}{2 \cdot \lambda} \leq P$

Entonces: $D = 200 + 35 \cdot T$

Donde:

- E_s : Escorrentía media anual [mm].
- P : Precipitación media anual [mm].
- D : Déficit hidrológico [mm].
- λ : Parámetro Helio térmico afectado por la temperatura media anual.
- T : Temperatura media anual [°C].

3.3.3 Modelo Turc-Pike

En el año 1964, tomando como base la fórmula de Turc, Pike [10] introdujo la variable evapotranspiración potencial anual en la expresión del factor calórico, reemplazando a la temperatura media anual. El modelo Turc-Pike es válido para cuencas en régimen natural ya sea de origen pluvial o nivo-pluvial. La expresión utilizada es la siguiente:

$$E_s = P - D$$
$$D = \frac{P}{\sqrt{1 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$
$$L = ETP$$

Donde:

- E_s : Escorrentía media anual [mm];
- P : Precipitación media anual [mm];
- D : Déficit hidrológico [mm];
- L : Factor calórico;
- ETP : Evapotranspiración potencial anual [mm].

3.3.4 Modelo Grunsky

El modelo de Grunsky [7] tiene su origen en Estados Unidos durante el siglo XX. Esta fórmula es aplicable a cuencas en régimen natural sólo de carácter pluvial. La expresión utilizada es la siguiente:

$$E_S = 0.4 \cdot P^2 \quad \text{para } P \leq 1.25 [m]$$

$$E_S = P - 0.625 \quad \text{para } P > 1.25 [m]$$

Donde:

- E_S : Escorrentía media anual [m];
- P : Precipitación media anual [m].

Como puede observarse, para una precipitación menor a 1250 [mm] la escorrentía depende de la precipitación de forma cuadrática. Una vez que se supera este valor, el excedente se transforma totalmente en escorrentía, de forma lineal.

3.3.5 Modelo Peñuelas

El modelo de Peñuelas [12] fue formulado en Chile por Arturo Quintana, específicamente en la zona central del país alrededor del año 1930. Este modelo se basa en la fórmula de Grunsky y se determinó a partir de mediciones efectuadas en el lago Peñuelas. Al igual que el modelo de Grunsky, el modelo de Peñuelas es aplicable para cuencas en régimen natural con origen pluvial. Su expresión es mostrada a continuación:

$$E_S = 0.5 \cdot P^2 \quad \text{para } P \leq 1.00 [m]$$

$$E_S = P - 0.500$$

Donde:

- E_S : Escorrentía media anual [m];
- P : Precipitación media anual [m].

Como se aprecia, para una precipitación menor a 1000 [mm], la escorrentía depende del cuadrado de la precipitación, mientras que cuando se supera esa magnitud lo hace de forma lineal.

ETAPA I

Capítulo 4: Cuencas consideradas en el estudio

En este capítulo se presentan las condiciones para las cuales es válido este estudio, junto con las cuencas consideradas para el posterior análisis. Se describirá de forma breve su ubicación junto con sus principales características.

4.1 Criterios considerados para la selección de cuencas

Para la elaboración de este estudio se necesita seleccionar las cuencas hidrográficas más representativas de las regiones en análisis, siguiendo ciertos criterios que todas deberán cumplir. Esta selección ya fue realizada en las cinco memorias de título precedentes a ésta, mencionadas en el punto 2.3.

Los criterios utilizados para definir las cuencas representativas fueron los siguientes:

- La cuenca debe tener régimen natural, es decir, no debe estar intervenida por el hombre, ya sea por la actividad agrícola, embalses, extracciones mineras, entre otras actividades.
- Las cuencas estudiadas deben ser caracterizadas de manera confiable, en términos de distribución y extensión de los registros de las estaciones meteorológicas y fluviométricas cercanas. A raíz de esto, se han considerado estaciones con una cantidad de 30 o más años de estadística, con la excepción de las estaciones ubicadas en la zona sur del país, las cuales poseen una cantidad de años menor.
- Para las cuencas del sur de Chile, debe evitarse que tengan influencia lacustre, es decir, el área de los lagos y lagunas debe ser mínima en comparación a la superficie total de la cuenca.

4.2 Cuencas seleccionadas en este estudio

Como se indicó anteriormente, se analizaron las 5 memorias de título citadas en el punto 2.3, a partir de las cuales se han seleccionado para este estudio las siguientes cuencas:

Tabla 4-1 Cuencas seleccionadas en este estudio

Cuenca	Región
Río Elqui	IV
Río Choapa	IV
Río Petorca	V
Río La Ligua	V
Río Aconcagua	V
Río Maipo	RM
Río Cachapoal	VI
Río Tinguiririca	VI
Río Mataquito	VII
Río Maule	VII
Río Itata	VIII
Río Biobío	VIII
Río Imperial	IX
Río Toltén	IX
Río Valdivia	XIV
Río Bueno	X - XIV
Río Cisnes	XI
Río Aysén	XI
Río Serrano	XII
Península de Brunswick	XII
Tierra del Fuego	XII

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa, se han considerado hoyas hidrográficas que se ubican entre la IV y la XII región. Las cuencas pertenecientes a la XV, I, II y III región se dejaron a un lado debido a las grandes diferencias observadas entre lo medido y lo obtenido con los modelos estudiados incluso después de efectuar el ajuste de éstos, según lo expuesto en la memoria de título USM “Análisis de los modelos precipitación-escorrentía para las regiones XV, I, II y III de Chile – Christian Olivares” [8]. Debido a esto, de aquí en adelante al hablar de las memorias de título precedentes a esta, nos referimos a solo cuatro de las cinco mencionadas en la sección 2.3, no considerando como se dijo la de Christian Olivares.

4.2.1 Descripción general de las cuencas seleccionadas

En este punto se entrega una breve descripción de cada una de las cuencas consideradas en este estudio. Como se ha mencionado antes, cada una de las hoyas hidrográficas seleccionadas fueron ampliamente detalladas en las cinco memorias de título que precedieron a esta, por lo cual se sugiere revisarlas y así tener un mayor conocimiento de ellas. Adicional a la información de

estaciones fluviométricas asociadas a cada cuenca, en Anexos se presentan las estaciones meteorológicas utilizadas en la determinación de la precipitación media anual, lo cual es mero informativo ya que como se mostrará más adelante, la Pma considerada para cada subcuenca en este estudio se obtuvo de las memorias de título precedentes.

4.2.1.1 Cuenca del río Elqui

La hoya hidrográfica del río Elqui se ubica en la IV región de Coquimbo, entre los paralelos 29°30' y 30°30' latitud sur y entre los meridianos 71°22' y 69°52' longitud oeste. El área de esta cuenca es de aproximadamente 9825 [km²].

El río Elqui presenta un régimen pluvio nival, en donde las crecidas se producen por las lluvias en invierno y por deshielos en verano. Sus principales afluentes son el río Claro y el río Turbio.

En la siguiente figura se muestra la cuenca del río Elqui junto con las estaciones fluviométricas de la misma hoya utilizadas en este estudio.

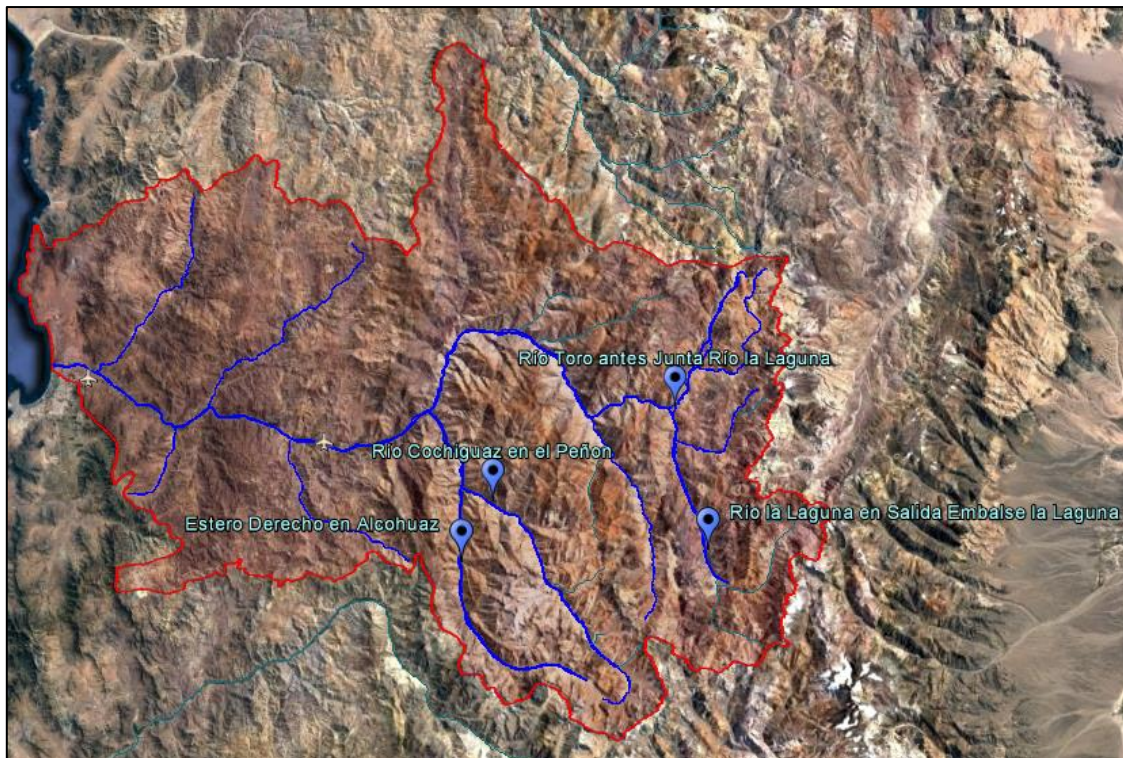


Figura 4-1 Cuenca del río Elqui
Fuente: Google Earth

La ubicación de las subcuencas consideradas en este estudio son las siguientes:

Tabla 4-2 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Elqui

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	356128	6655453
	Río Cochiguaz en el Peñon	361606	6666424
	Río Toro antes junta río La Laguna	394586	6683646
	Embalse Laguna	399676	6657932

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.2 Cuenca del río Choapa

La cuenca del río Choapa se ubica en la IV región de Coquimbo, entre los 31°19' y 31°44' Latitud Sur y 71°17' y 71°35' longitud oeste. El área de esta cuenca es de 8124 [km²].

El régimen del tramo del río Choapa estudiado es predominantemente nival, con crecidas de deshielo entre los meses de Octubre y Diciembre y con máximos en Noviembre. Sus afluentes principales son el río Totoral, río Cuncumén, río Chalinga y el Estero La Canela entre otros.

En la Figura 4-2 se presenta la morfología de la hoya del río Choapa junto con las estaciones fluviométricas de la misma consideradas en este estudio.



Figura 4-2 Cuenca del río Choapa

Fuente: Google Earth

La ubicación de las estaciones fluviométricas de la cuenca del río Choapa consideradas en este estudio se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4-3 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Choapa

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	327669	6512412
	Río Chalinga en La Palmilla	337179	6491620
	Río Choapa en Cuncumén	349642	6461856

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.3 Cuenca del río Petorca

La cuenca del río Petorca se emplaza en la V región de nuestro país, específicamente entre los paralelos 33°01' y 32°27' latitud sur y los meridianos 71°26' y 70°26' longitud oeste. El área de esta hoya hidrográfica bordea los 2000 [km²] (1986 [km²]).

El régimen de las subcuencas consideradas en este río es nivo pluvial, encontrándose éstas ubicadas en la parte más bien alta de la cuenca. Dentro de los cauces importantes en esta cuenca se encuentran el río Sobrante y el río Pedernal, los cuales nacen en la parte alta de la hoya, mientras que en la parte media se agrega por la ribera norte el estero Las Palmas.

En la Figura 4-3 se muestra gráficamente la extensión de la cuenca del río Petorca, junto con las subcuencas consideradas en esta memoria de título, las cuales se emplazan sobre el río Sobrante y el río Pedernal. Así también, en la Tabla 4-4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la ubicación en coordenadas UTM de las mismas.

Tabla 4-4 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Petorca

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	334246	6450175
	Río Sobrante en Piñadero	338476	6432931

Fuente: Dirección General de Aguas



Figura 4-3 Cuenca del río Petorca
Fuente: Google Earth

4.2.1.4 Cuenca del río La Ligua

La hoya hidrográfica del río La Ligua se ubica en la V región de Valparaíso, entre los 32°12' y 32°39' latitud sur y 71°26' y 70°24' longitud oeste. El área de esta cuenca es de aproximadamente 2000 [km²].

El régimen del río La Ligua es nivo pluvial, siendo algunos de sus tributarios importantes el río Alicahue, el estero Cajón de Los Ángeles, entre otros. En la siguiente figura puede observarse la geomorfología de la cuenca en cuestión.



Figura 4-4 Cuenca del río La Ligua
Fuente: Google Earth

Para esta cuenca solo se ha considera una subcuenca, la cual corresponde a la estación pluviométrica río Alicahue en Colliguay, cuya ubicación es la siguiente.

Tabla 4-5 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río La Ligua

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
	Río Alicahue en Colliguay	336651	6421899

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.5 Cuenca del río Aconcagua

La cuenca del río Aconcagua se emplaza en la V región de Valparaíso, ubicándose entre los paralelos 32°12' y 33°14' de latitud sur y los meridianos 69°57' y 71°35' de longitud oeste. El área de esta hoya hidrográfica es de aproximadamente 7500 [km²].

La cuenca del río Aconcagua presenta un régimen pluvio nival, considerando que algunos de sus tributarios como el río Colorado, Juncal y Blanco nacen en la cordillera, siendo en la parte baja de la hoya donde toma importancia la influencia pluvial. Los principales afluentes al río Aconcagua son

el río Colorado, río Juncal, río Blanco, estero Pocuro, río Putaendo, estero Quilpué, estero Catemu y estero Limache.

Las subcuencas del río Aconcagua estudiadas en esta memoria de título son las siguientes:

Tabla 4-6 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Aconcagua

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	351258	6402477
	Río Juncal en Juncal	390674	6363051
	Río Colorado en Colorado	367650	6363280
	Esteros Pocuro en el Sifón	355764	6356553

Fuente: Dirección General de Aguas

En la Figura 4-5 se muestra la cuenca del río Aconcagua, además de las estaciones fluviométricas mencionadas en la tabla anterior.

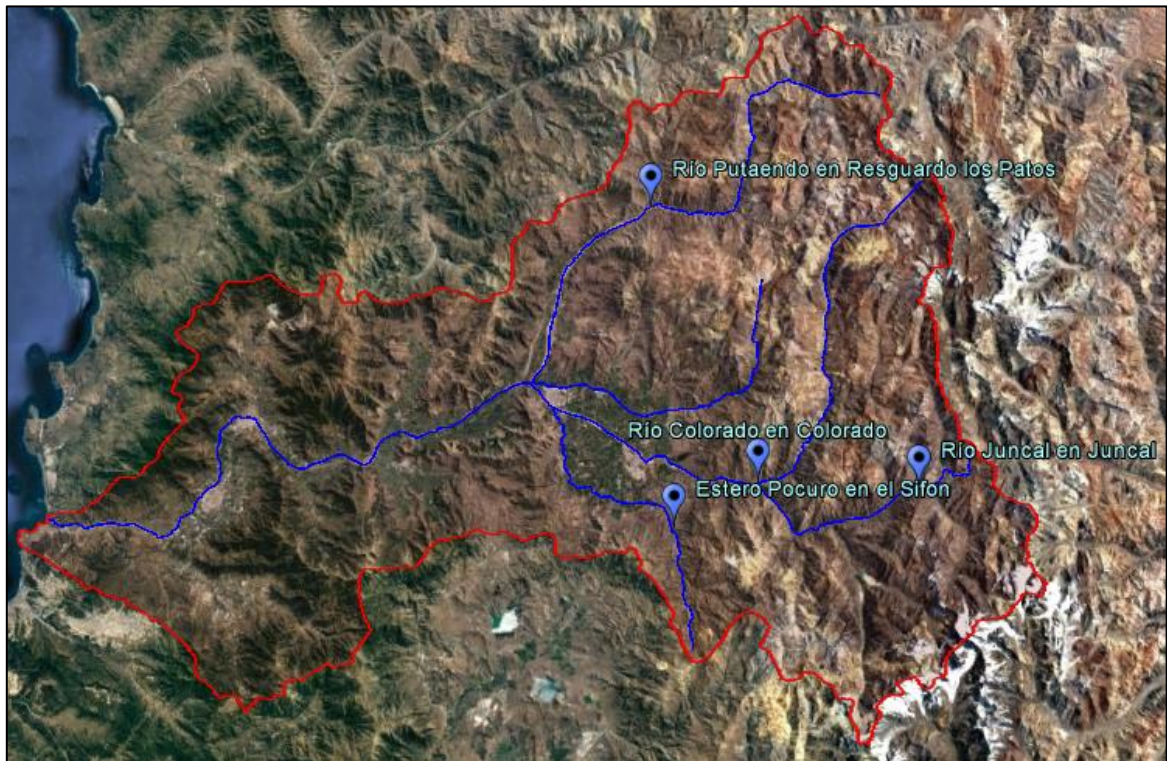


Figura 4-5 Cuenca del río Aconcagua

Fuente: Google Earth

4.2.1.6 Cuenca del río Maipo

La cuenca del río Maipo se emplaza en dos regiones; la Metropolitana y la V región de Valparaíso. Se ubica entre los paralelos 32°55' y 34°15' latitud sur y los meridianos 69°55' y 71°33' longitud oeste. La hoya hidrográfica del río Maipo cubre una superficie de 15380 [km²].

El río Maipo posee un régimen pluvio nival, siendo sus principales afluentes el río Volcán, el río Colorado, el río Yeso, el río Angostura, el estero Yerba Loca y el río Mapocho, entre otros.

En la Figura 4-6 se presenta la hoya hidrográfica del río Maipo junto con las subcuencas de la misma utilizadas en esta memoria de título. Así también, en la Tabla 4-7 se muestra la ubicación de las mismas estaciones fluviométricas.

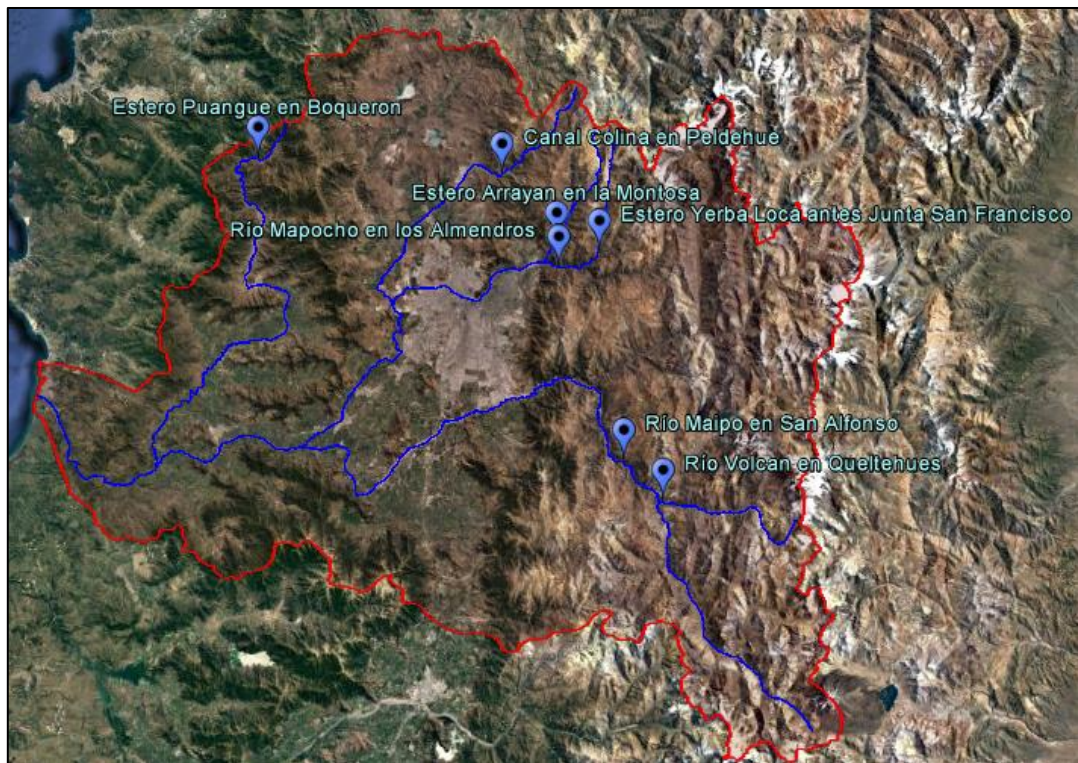


Figura 4-6 Cuenca del río Maipo
Fuente: Google Earth

Tabla 4-7 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Maipo

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Maipo	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	373288	6309760
	Estero Arrayán en la Montosa	364179	6311278
	Río Volcan en Queltehues	387898	6258371
	Estero Puangue en Boquerón	301122	6327807
	Canal Colina en Peldehue	352439	6325420
	Río Maipo en San Alfonso	379437	6266492
	Río Mapocho en los Almendros	363553	6307101

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.7 Cuenca del río Cachapoal

La cuenca del río Cachapoal se ubica en la VI región del Libertador Bernardo O'Higgins, entre los paralelos 34°00' y 34°42' latitud sur y los meridianos 70°38' y 70°00' longitud oeste.

La hoya del río Cachapoal posee un régimen pluvio nival, siendo sus principales tributarios el río Cortaderal, el río Pangal, el río Coya y el río Blanco, antes de su desembocadura en el río Tinguiririca.

La cuenca del río y como se emplaza dentro de la región puede visualizarse en la Figura 4-7, además de las estaciones fluviométricas analizadas en este estudio.

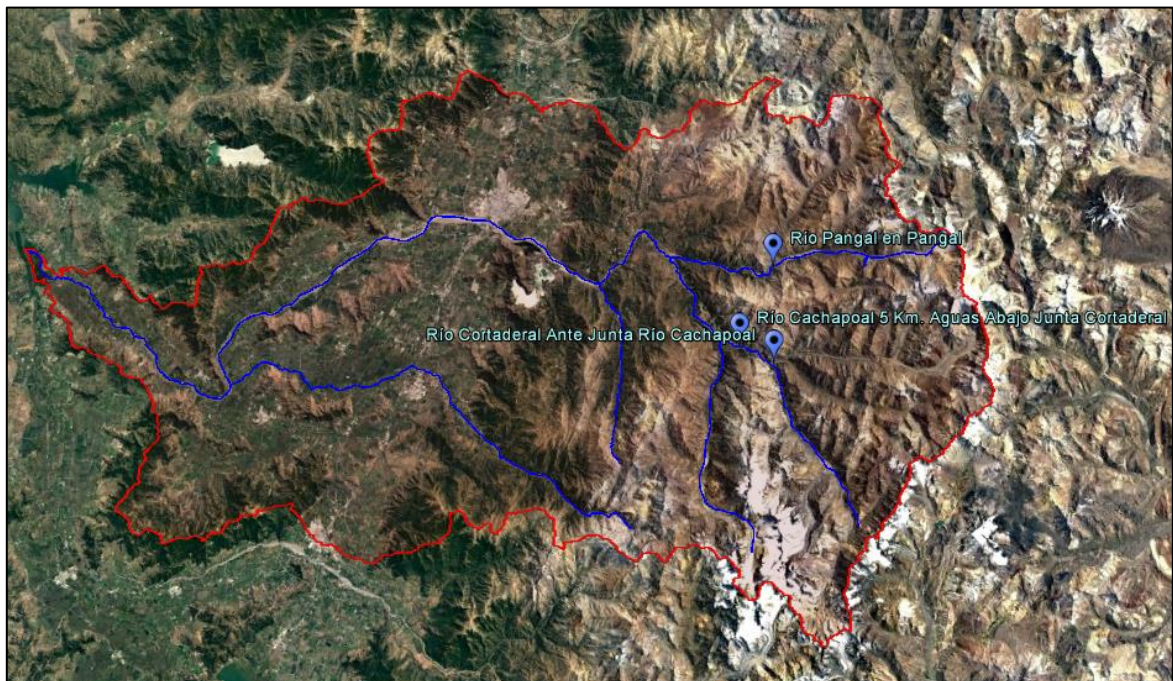


Figura 4-7 Cuenca del río Cachapoal
Fuente: Google Earth

La ubicación de las estaciones fluviométricas presentadas en la figura anterior se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4-8 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Cachapoal

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	377501	6209288
	Río Cortaderal antes junta río Cachapoal	377879	6195985
	Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	373378	6198704

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.8 Cuenca del río Tinguiririca

La cuenca del río Tinguiririca pertenece a la VI región del Libertador Bernardo O'Higgins, ubicándose entre los paralelos 34°35' y 35°00' latitud sur y los meridianos 70°15' y 70°55' longitud oeste.

El régimen de la cuenca del río Tinguiririca es pluvio nival, mientras que sus principales afluentes son el río Damas, el río Azufre y el estero Chimbarongo, entre otros.

Para este estudio, en la cuenca del río Tinguiririca solo se ha trabajado con la estación fluviométrica río Tinguiririca aguas abajo junta río Azufre. Esta estación y la cuenca del río Tinguiririca pueden observarse en la siguiente figura.

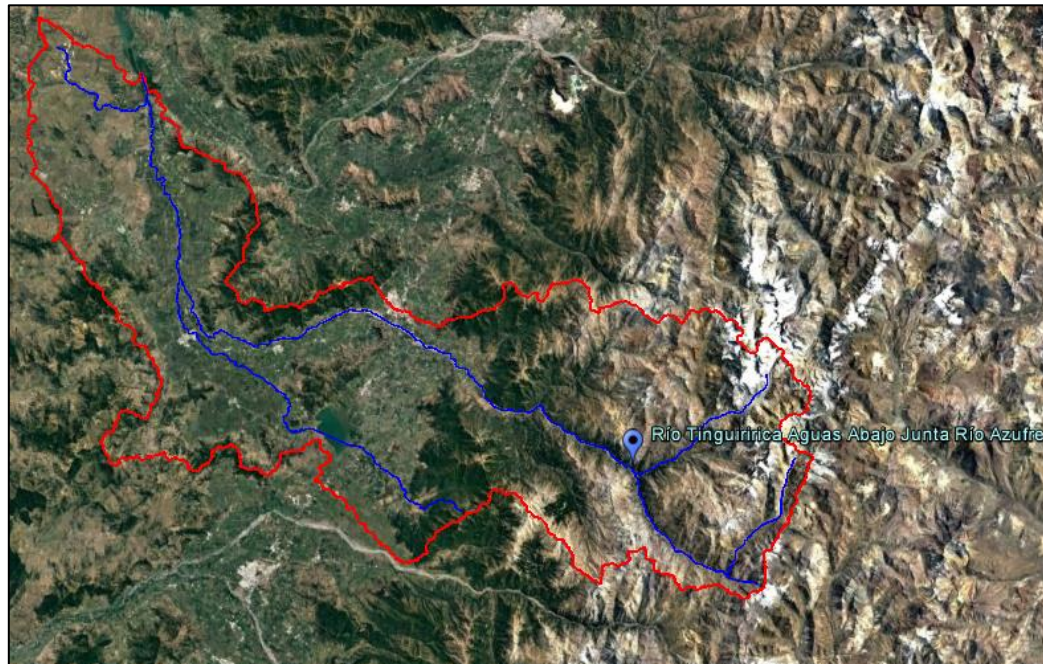


Figura 4-8 Cuenca del río Tinguiririca

Fuente: Google Earth

La ubicación de la estación considerada para esta cuenca se muestra en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Tinguiririca

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta río Azufre	356735	6145828

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.9 Cuenca del río Mataquito

La cuenca del río Mataquito se ubica en la VII región del Maule, entre los paralelos 34°52' y 35°37' latitud sur y los meridianos 70°24' y 72°09' longitud oeste.

La hoya hidrográfica del río Mataquito presenta un régimen pluvio nival. Sus principales tributarios son el río Teno, el río Claro, el río Colorado y el río Palos. En la Figura 4-9 puede observarse la cuenca mencionada, además de las estaciones fluviométricas de la misma utilizadas en este estudio.

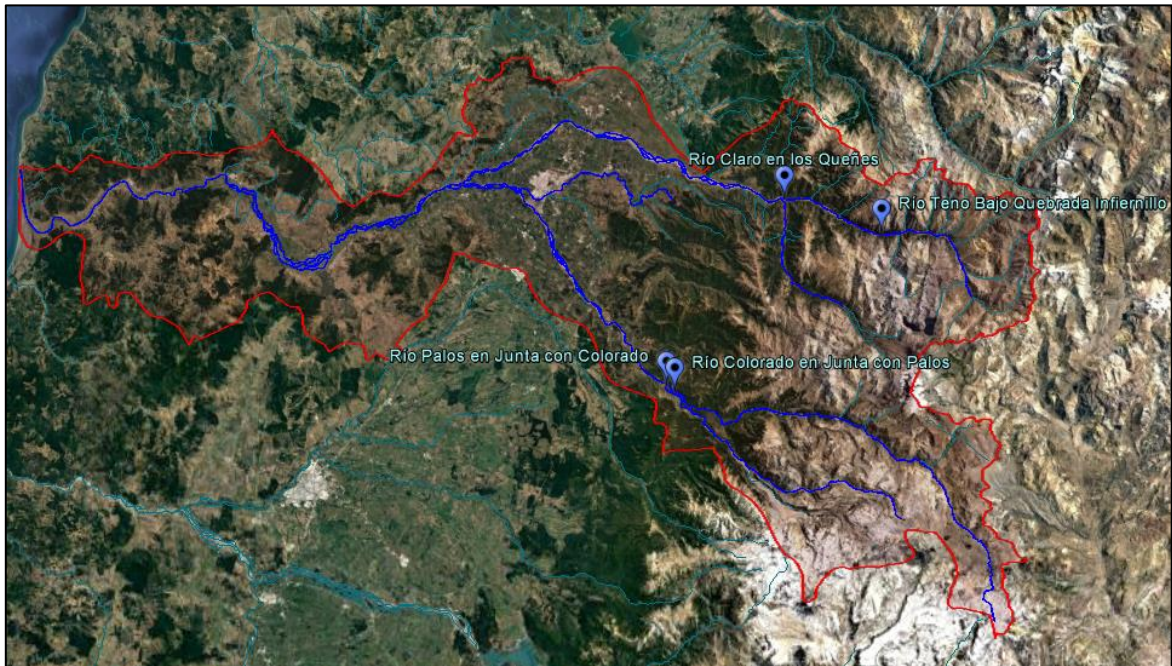


Figura 4-9 Cuenca del río Mataquito

Fuente: Google Earth

La ubicación de la subcuencas asociadas a la cuenca del río Mataquito, mostradas en la figura anterior, puede apreciarse en la siguiente tabla.

Tabla 4-10 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Mataquito

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	350645	6120369
	Río Claro en los Queñes	334665	6125271
	Río Colorado en junta con Palos	317644	6093876
	Río Palos en junta con Colorado	316472	6094283

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.10 Cuenca del río Maule

La cuenca del río Maule se emplaza en lo que es la VII región del Maule, ubicándose entre los paralelos 35°05' y 36°30' de latitud sur y los meridianos 70°05' y 72°30' longitud oeste.

El río Maule presenta un régimen pluvio nival siendo sus principales afluentes el río Longaví, el río Achibueno y el río Ancoa.

En la siguiente figura se muestran en planta las estaciones fluviométricas de la hoya del río Maule consideradas en esta memoria de título, mientras que en la Tabla 4-11 se presenta la ubicación en coordenadas UTM de las mismas.

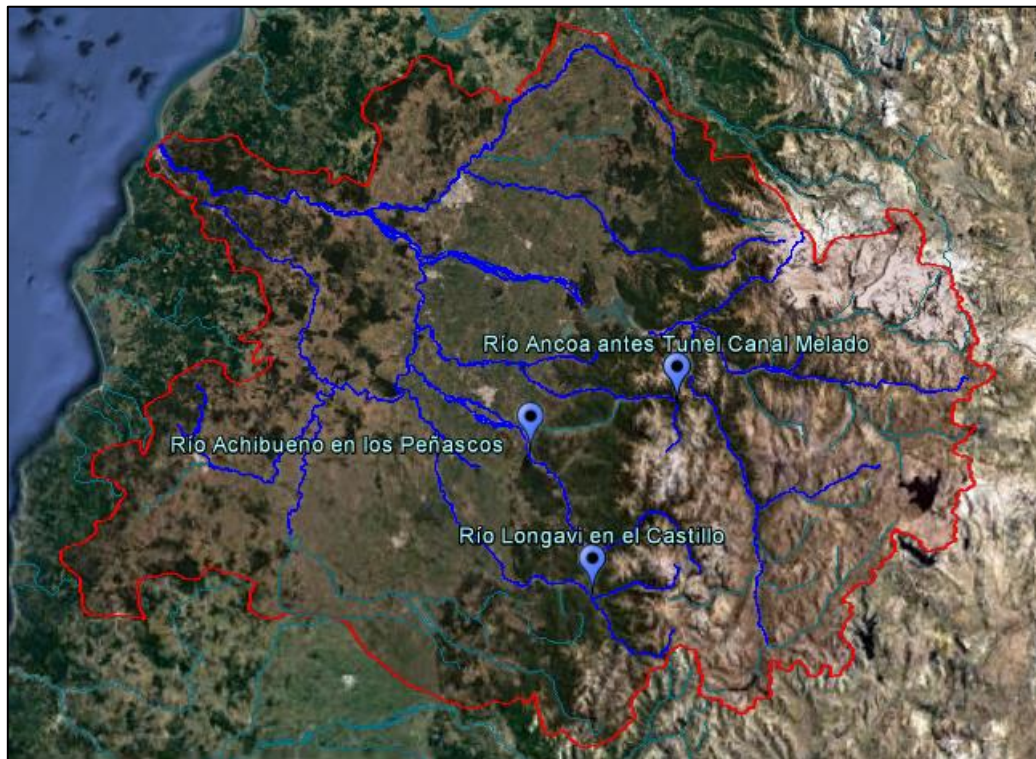


Figura 4-10 Cuenca del río Maule

Fuente: Google Earth

Tabla 4-11 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Maule

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Maule	Río Longaví en el Castillo	289785	5984768
	Río Achibueno en los Peñascos	275427	6016852
	Río Ancoa antes tunel Canal Melado	308664	6028396

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.11 Cuenca del río Itata

La cuenca del río Itata se encuentra ubicada en la VIII región del Biobío. Se emplaza entre los paralelos 36°12' y 37°16' latitud sur y los meridianos 71°00' y 73°10' longitud oeste.

El río Itata presenta un régimen pluvio nival, siendo sus principales afluentes el río Sauce, el río Ñuble y el río Diguillín, entre otros.

El área que comprende la cuenca del río Itata se muestra en la siguiente figura. Así también, pueden observarse las estaciones fluviométricas que fueron consideradas para este estudio.

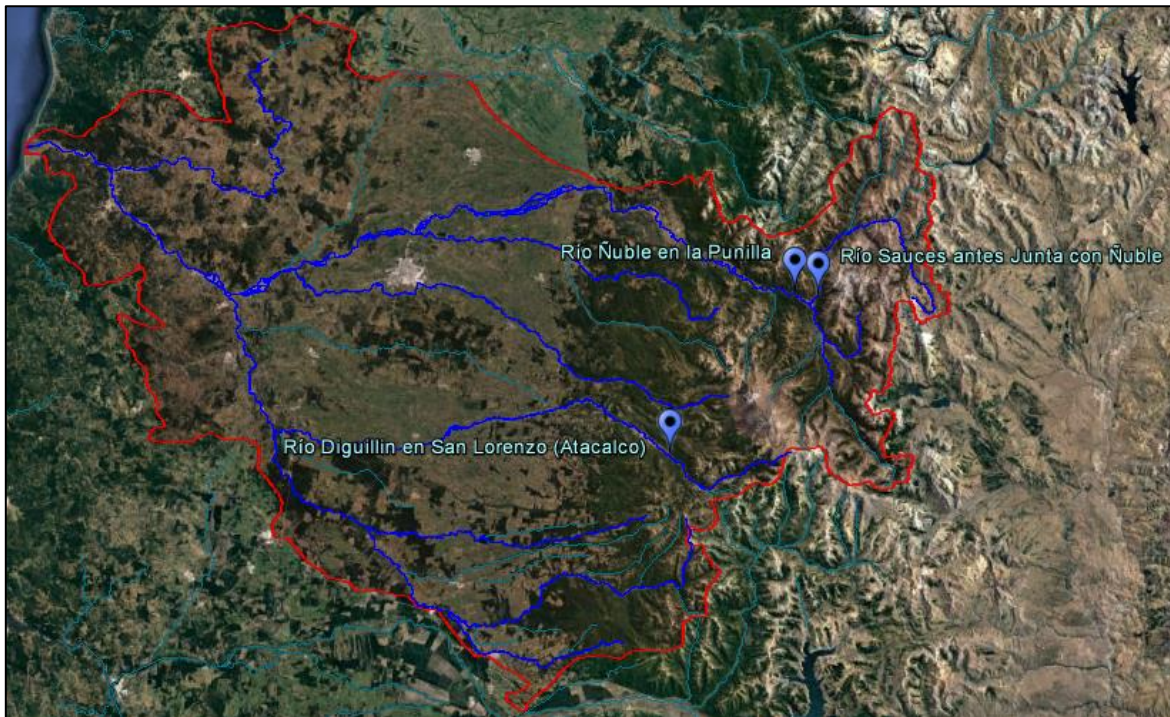


Figura 4-11 Cuenca del río Itata

Fuente: Google Earth

La ubicación de las estaciones fluviométricas mostradas en la figura anterior son las presentadas en la Tabla 4-12.

Tabla 4-12 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Itata

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Itata	Río Sauce antes junta con Ñuble	296573	5939477
	Río Ñuble en la Punilla	292358	5940146
	Río Diguillín en San Lorenzo	270063	5910893

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.12 Cuenca del río Biobío

La cuenca del río Biobío se emplaza en la VIII región que lleva el mismo nombre, entre los paralelos 36°42' y 38°49' latitud sur y los meridianos 71°00' y 73°20' longitud oeste.

El río Biobío presenta un régimen pluvio nival. Sus principales tributarios son el río Lonquimay, el río Mulchén y el río Bureo, entre otros.

La Figura 4-12 muestra la hoya hidrográfica del río Biobío, junto con las estaciones fluviométricas de esta cuenca con las que se trabajó.

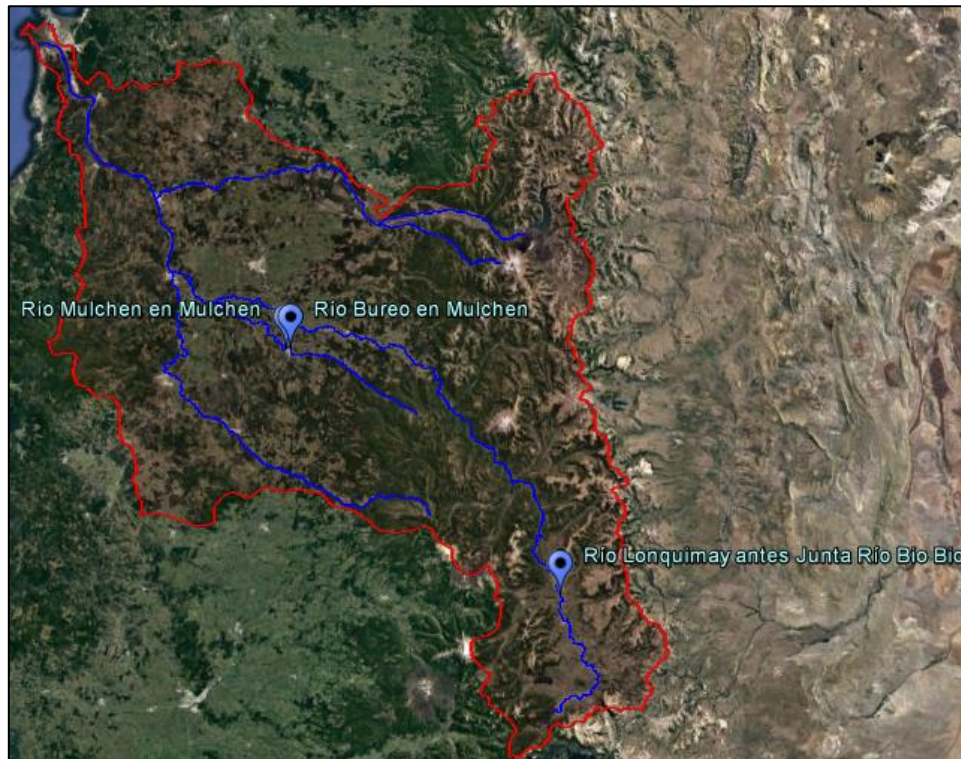


Figura 4-12 Cuenca del río Biobío

Fuente: Google Earth

La ubicación de las subcuencas del río Biobío estudiadas en esta memoria es la siguiente.

Tabla 4-13 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Biobío

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	304861	5743371
	Río Mulchen en Mulchén	213535	5819930
	Río Bureo en Mulchén	215250	5820572

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.13 Cuenca del río Imperial

La cuenca del río Imperial pertenece a la IX región de la Araucanía, ubicándose entre los paralelos 38°06' y 38°54' latitud sur y los meridianos 73°30' y 71°30' longitud oeste.

El río Imperial presenta un régimen pluvio nival, siendo sus principales afluentes el río Blanco, el río Cautín y el río Huichahue. La hoya hidrográfica del río puede apreciarse en la siguiente figura.

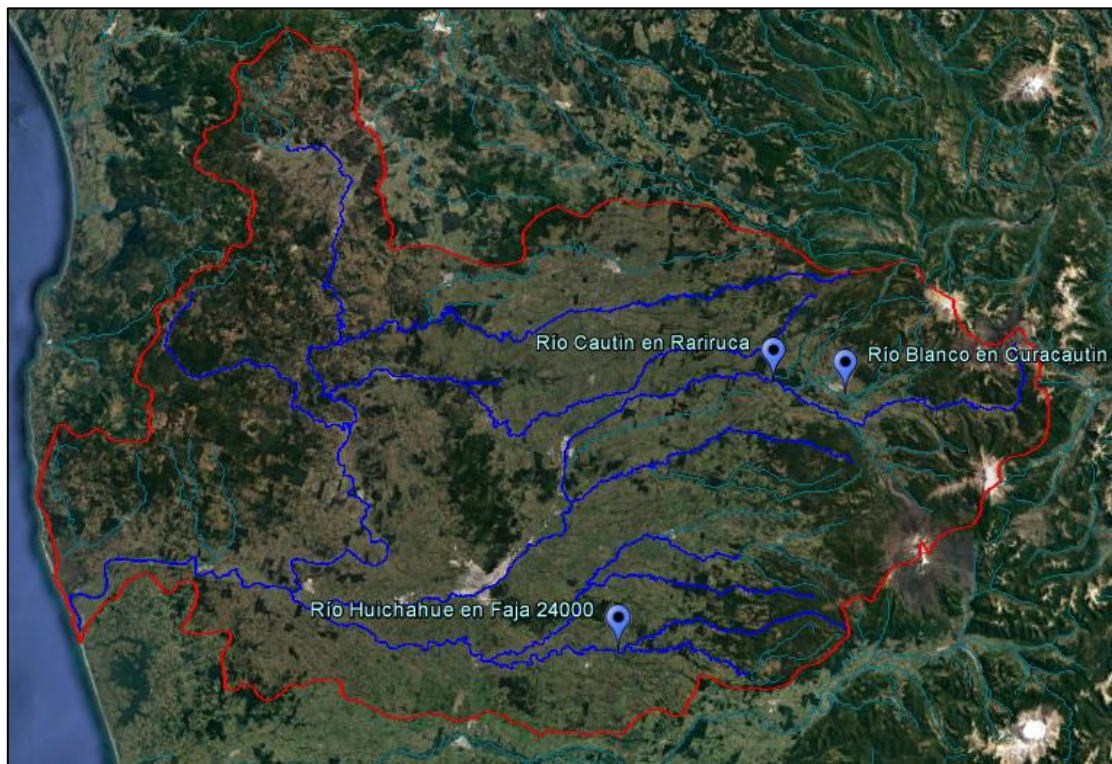


Figura 4-13 Cuenca del río Imperial

Fuente: Google Earth

En la Tabla 4-14 se muestra la ubicación de las subcuencas consideradas en este estudio para el río Imperial.

Tabla 4-14 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Imperial

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	249708	5739900
	Río Cautin en Raricuca	237229	5742164
	Río Huichahue en Faja 24000	210540	5694217

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.14 Cuenca del río Toltén

La cuenca del río Toltén se ubica en la IX región de la Araucanía, emplazándose entre los paralelos 38°57' y 39°18' latitud sur y los meridianos 73°15' y 71°18' longitud oeste.

El río Toltén posee un régimen pluvio nival. Sus tributarios más importantes son el río Allipén, el río Trancura y el río Liucura.

Las subcuencas consideradas en este estudio para la cuenca del río Toltén y la morfología de la misma se muestra en la Figura 4-14. Así también, la ubicación en coordenadas UTM de las estaciones fluviométricas puede apreciarse en la Tabla 4-15.

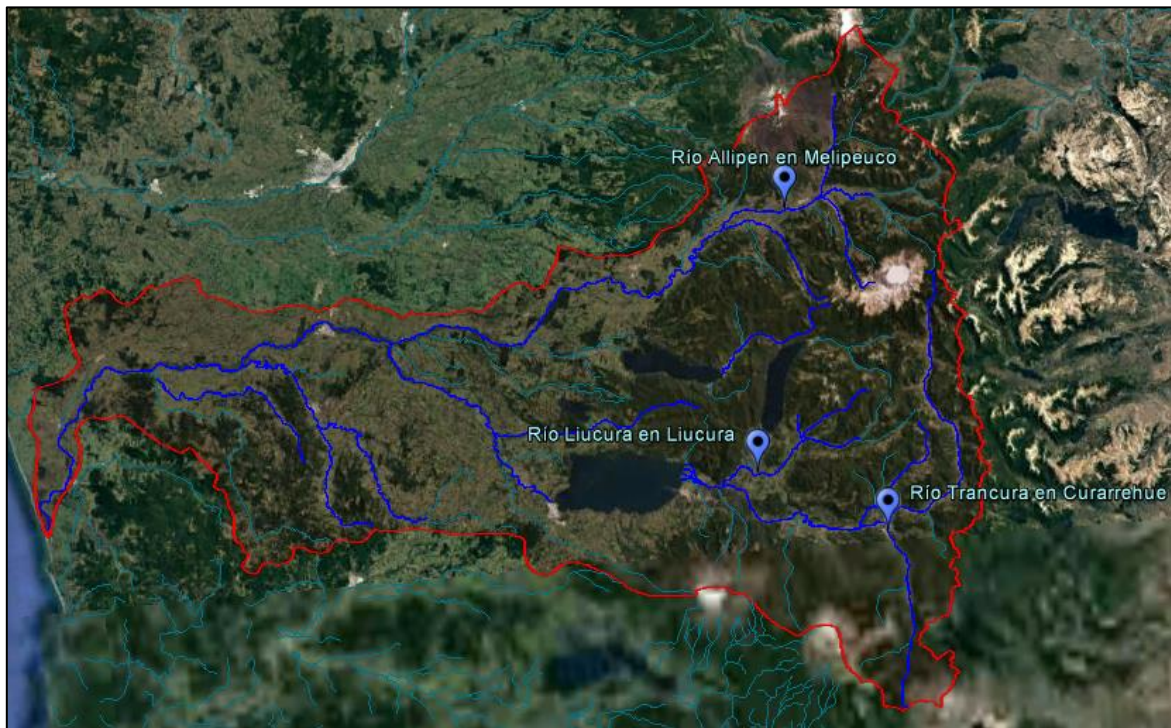


Figura 4-14 Cuenca del río Toltén
Fuente: Google Earth

Tabla 4-15 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Toltén

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM E [m]
Río Toltén	Río Allipen en Melipeuco	262834	5694550
	Río Trancura en Curarrehue	277438	5639726
	Río Liucura en Liucura	256086	5650629

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.15 Cuenca del río Valdivia

La cuenca del río Valdivia se ubica en la XIV región de Los Ríos, situándose entre los paralelos 39°19' y 40°09' latitud sur y los meridianos 71°17' y 73°24' longitud oeste. La hoya hidrográfica del río Valdivia ocupa una superficie de 10275 [km²].

La cuenca en cuestión posee un régimen pluvio nival, siendo sus principales afluentes el río Liquiñe, el río Cruces, el río Iñaque, el río Collileufu y el río Santo Domingo, entre otros.

La morfología de la cuenca del río Valdivia se muestra en la Figura 4-15. Junto con ello, pueden apreciarse las estaciones fluviométricas consideradas dentro de la misma cuenca.

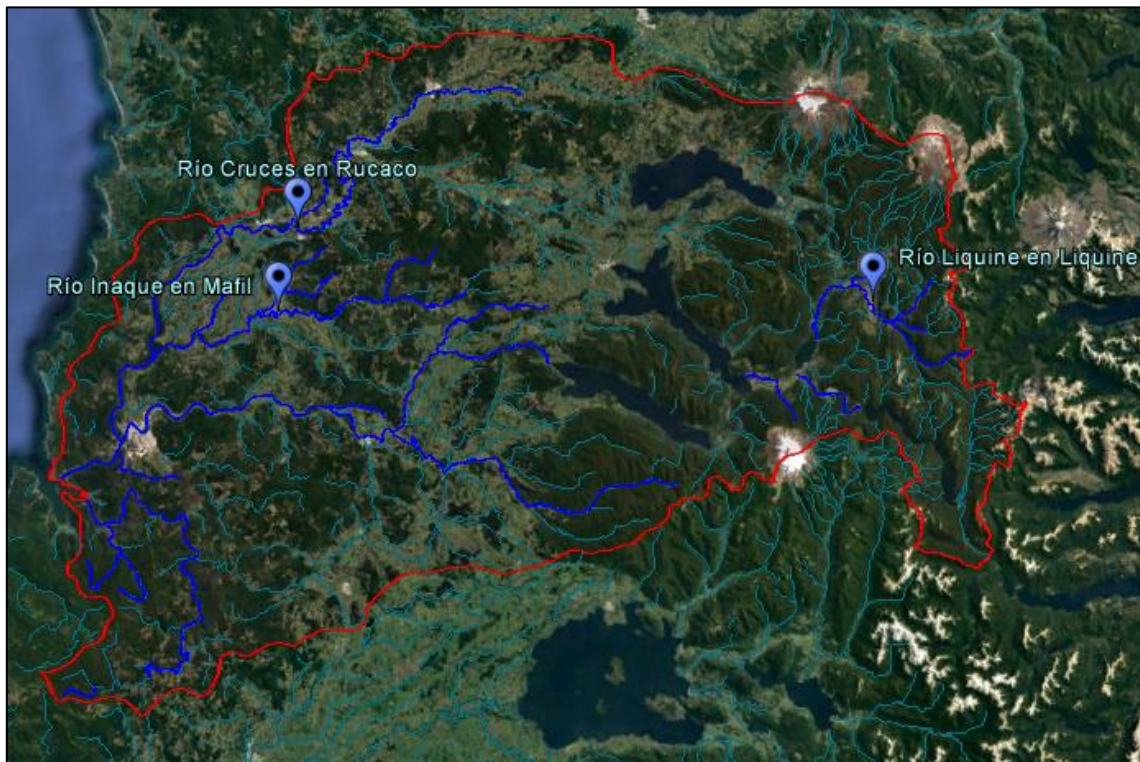


Figura 4-15 Cuenca del río Valdivia
Fuente: Google Earth

Las coordenadas UTM de las estaciones fluviométricas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4-16 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Valdivia

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	255558	5598326
	Río Cruces en Rucaco	164619	5614742
	Río Iñaque en Máfil	160969	5601315
	Río Collileufú en Los Lagos	173845	5579672
	Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	148867	5573341

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.16 Cuenca del río Bueno

La cuenca del río Bueno se ubica entre las regiones X y XIV de nuestro país, emplazándose entre los 39°58' y 41°06' de latitud sur y los 71°50' y 73°42' de longitud oeste. La cuenca del río Bueno cubre un área de 15367 [km²].

El régimen del río Bueno es pluvio nival. Sus principales tributarios son el río Pilmaiquén, el río Rahue.

Respecto a la morfología de la hoya hidrográfica del río Bueno, esta puede apreciarse en la Figura 4-16. De la misma manera, las subcuencas de la misma cuenca analizadas en este estudio también pueden visualizarse en la figura mencionada, mientras que la ubicación de estas mismas se presenta en la Tabla 4-17.

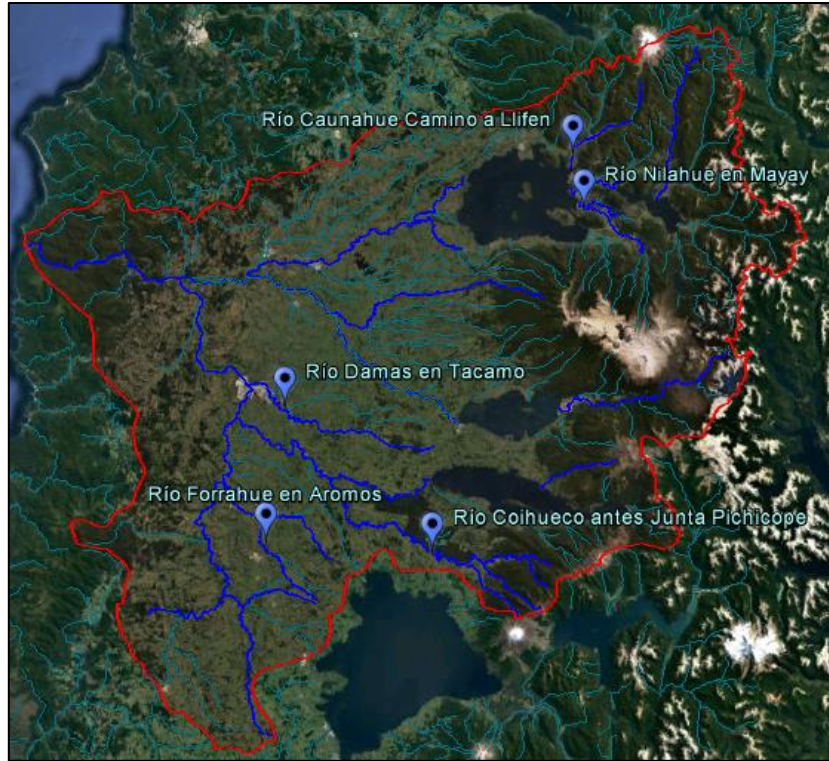


Figura 4-16 Cuenca del río Bueno
 Fuente: Google Earth

Tabla 4-17 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Bueno

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	222901	5549910
	Río Nilahue en Mayay	230434	5535481
	Río Coihueco antes junta Pichicope	189832	5461813
	Río Damas en Tacamo	157403	5494254
	Río Forrahue en Aromos	151557	5465350

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.17 Cuenca del río Cisnes

La cuenca del río Cisnes está ubicada en la XI región de Aysén, entre los 44°24' y 44°49' latitud sur y los 71°05' y 72°42' longitud oeste. La hoya hidrográfica cubre un área de aproximadamente 5464 [km²].

El río Cisnes presenta un regimen pluvio nival, siendo sus principales afluentes el río Moro, el río Grande, el estero Ventisquero y el río Picacho. En la Figura 4-17 se muestra la morfología de la cuenca del río Cisnes, además de las estaciones de esta cuenca consideradas en este estudio.

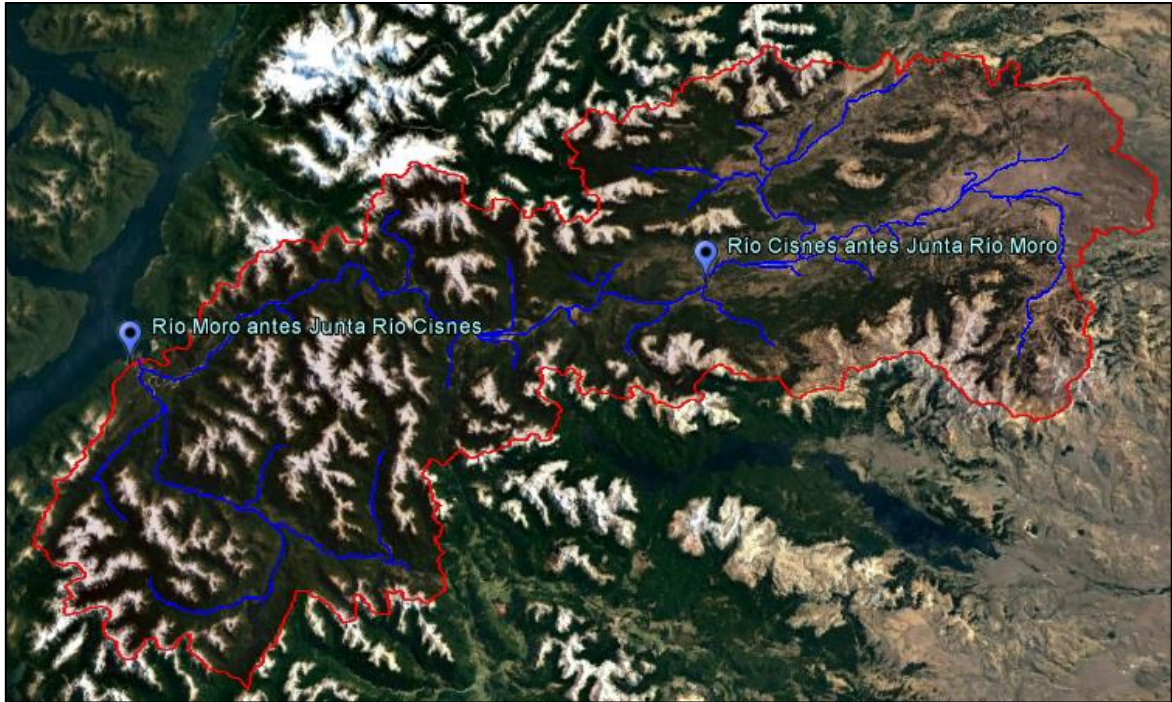


Figura 4-17 Cuenca del río Cisnes
Fuente: Google Earth

La ubicación de las subcuencas consideradas para esta la hoya hidrográfica se muestra en la Tabla 4-18.

Tabla 4-18 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Cisnes

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM E [m]
Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	276975	5049858
	Río Cisnes antes junta río Moro	277146	5050711

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.18 Cuenca del río Aysén

La cuenca del río Aysén pertenece a la XI región de Aysén, emplazándose entre los 45°00' y 46°16' latitud sur y los meridianos 71°20' y 73°00' longitud oeste. La superficie total de la cuenca en cuestión es igual a 11456 [km²].

El río Aysén posee un régimen pluvio nival, siendo sus tributarios principales el río Mañihuales, el río Simpson y el río Blanco, entre otros. La morfología de la hoya hidrográfica en cuestión se presenta en la Figura 4-18. Así también, en la misma figura pueden observarse las estaciones asociadas a las subcuencas analizadas en este estudio para esta cuenca.

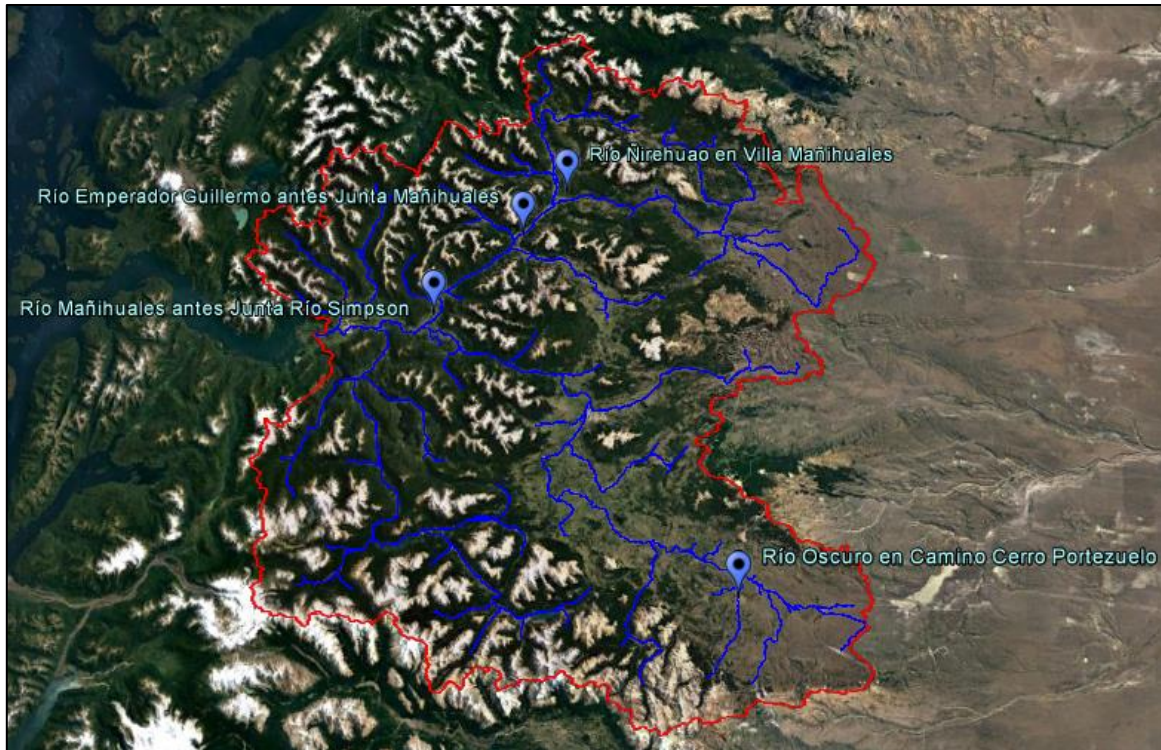


Figura 4-18 Cuenca del río Aysén
Fuente: Google Earth

Las coordenadas UTM de las estaciones fluviométricas utilizadas para estudiar la cuenca del río Aysén son las siguientes.

Tabla 4-19 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Aysén

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	253118	4993539
	Río Emperador Guillermo antes junta Mañihuales	243792	4982887
	Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	289764	4912388
	Río Mañihuales antes junta Río Simpson	228756	4967897

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.19 Cuenca del río Serrano

La hoya hidrográfica del río Serrano es una cuenca binacional ubicada en la XII región de Magallanes, emplazándose entre los 50°34' y 51°33' latitud sur y los 71°50' y 73°22' longitud oeste. La cuenca del río Serrano cubre una superficie de 6673 [km²].

El río Serrano presenta un régimen pluvio nival. Los afluentes más importantes de esta cuenca son el río Baguales, el río Paine, el río Las Chinas y el río Grey, entre otros. El área de la cuenca del río

Serrano se muestra en la figura a continuación, junto con las estaciones utilizadas en este estudio para el análisis.



Figura 4-19 Cuenca del río Serrano
Fuente: Google Earth

En la Tabla 4-20 se muestra la ubicación de las subcuencas consideradas para la hoya del río Serrano.

Tabla 4-20 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica del río Serrano

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	255296	4343200
	Río Las Chinas en Cerro Guido	254507	4341588
	Río Chorrillos tres pasos ruta N°9	257881	4294491

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.20 Cuenca de la Península de Brunswick

La cuenca de la Península de Brunswick se ubica en la XII región de Magallanes, entre los paralelos 52°16' y 53°53' latitud sur y los meridianos 70°30' y 72°27' longitud oeste.

Los principales afluentes de esta cuenca son el río Las Minas, el río Tres Brazos, el río San Juan y el río Grande.

La morfología de la cuenca de la Península de Brunswick puede apreciarse en la Figura 4-20.



Figura 4-20 Cuenca de Península de Brunswick
 Fuente: Google Earth

Las subcuencas de la hoya de la península de Brunswick consideradas en este estudio son las presentadas en la siguiente tabla:

Tabla 4-21 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica de la Península de Brunswick

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM E [m]
Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	367768	4094486
	Río San Juan en Desembocadura	370615	4054097

Fuente: Dirección General de Aguas

4.2.1.21 Cuenca de Tierra del Fuego

La cuenca del Tierra del Fuego se emplaza en XII región de Magallanes, entre los paralelos 52°28' y 54°56' de latitud sur y los meridianos 68°36' y 70°28' longitud oeste.

Los principales ríos de esta cuenca son el Side, Oro, Oscar, Grande y Azopardo, entre otros. En la siguiente figura puede apreciarse la hoya hidrográfica de Tierra del Fuego, junto con las subcuencas consideradas en este estudio.



Figura 4-21 Cuenca de Tierra del Fuego
Fuente: Google Earth

Respecto a la ubicación de las estaciones fluviométricas mostradas en la figura anterior, esta puede apreciarse en la Tabla 4-22.

Tabla 4-22 Subcuencas consideradas de la hoya hidrográfica de Tierra del Fuego

Cuenca	Subcuencas	Coordenadas UTM Datum WGS 84	
		UTM E [m]	UTM E [m]
Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	449285	4144305
	Río Oro en Bahía San Felipe	439555	4144123

Fuente: Dirección General de Aguas

Capítulo 5: Definición de subcuencas utilizadas

En este capítulo se presentan las subcuencas utilizadas en este estudio, junto con la superficie de drenaje y la morfología de cada una de éstas, requeridas para la aplicación de los modelos precipitación – escorrentía.

En un primer punto, se esclarecerá el área aportante de cada subcuenca analizada, la cual queda definida por la estación fluviométrica asociada. Posteriormente, se determinará la curva hipsométrica de cada subcuenca, de tal manera de conocer cómo se distribuye el área de esta con respecto a la altura. Considerando que tanto el área como la curva hipsométrica de cada subcuenca fueron determinadas en las memorias de título en las que se basa este estudio, se trabajará con las mismas, de tal manera de hacer consistentes los cálculos efectuados en este estudio con los anteriores.

5.1 Área de subcuencas

La superficie de cada subcuenca corresponde al área total que drena sus aguas hacia el punto de salida o punto de control que, en este caso, corresponde a cada estación fluviométrica seleccionada. Así también, la superficie de la subcuenca queda delimitada por la denominada “divisoria de aguas”, formada por los puntos altos de cada hoyo y a partir de la cual el agua escurre hacia el punto de control.

La superficie de cada subcuenca utilizada en este estudio fue obtenida en las memorias de título precedentes mencionadas en el punto 2.3. Para la obtención de las áreas de las subcuencas se trabajó con imágenes DEM (Digital Elevation Model), las cuales se descargaron de ASTER GDEM, correspondiente a un proyecto desarrollado en conjunto entre la NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria en Japón, elaborando de esta forma un mapa cartográfico digital de la Tierra. Estas imágenes DEM fueron posteriormente procesadas mediante un software GIS.

Finalmente, en la Tabla 5-1 se presenta el área de cada subcuenca considerada en este estudio. Considerando que son cuencas nivo pluviales en su gran mayoría y que, por ende, se ubican en zonas más bien altas, el área de estas no es tan grande. Dentro de éstas, las que presentan mayor superficie son río Mañihuales antes junta río Simpson (4321 [km²]), río Maipo en San Alfonso (3233 [km²]), río Cisnes antes junta río Moro (2244 [km²]), río Cruces en Rucaco (1827 [km²]) y río Ñirehuao en Villa Mañihuales (1802 [km²]).

Tabla 5-1 Área aportante de cada subcuenca estudiada

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	A [km2]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuáz	415.1
		Río Cochiguaz en el Peñón	594.7
		Río Toro antes junta Río La Laguna	424.0
		Embalse Laguna	521.9
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	618.4
		Río Chalinga en La Palmilla	206.4
		Río Choapa en Cuncumén	1133.5
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	60.1
		Río Sobrante en Piñadero	218.6
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	343.0
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	961.3
		Río Juncal en Juncal	225.2
		Río Colorado en Colorado	849.2
		Estero Pocuro en el Sifón	171.1
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	185.5
		Estero Arrayán en la Montosa	321.0
		Río Volcán en Queltehues	847.8
		Estero Puangue en Boquerón	103.9
		Canal Colina Peldehue	149.6
		Río Maipo en San Alfonso	3233.0
		Río Mapocho en los Almendros	254.0
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	516.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	417.0
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	963.0
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	971.0
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	597.0
		Río Claro en los Queñes	354.0
		Río Colorado en junta con Palos	872.0
		Río Palos en junta con Colorado	489.0
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	467.0
		Río Achibueno en los Peñascos	977.0
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	84.0
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	595.0
		Río Ñuble en la Punilla	1258.0
		Río Diguillín en San Lorenzo	206.0
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	467.0
		Río Mulchén en Mulchén	418.0
		Río Bureo en Mulchén	542.0
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	167.0
		Río Cautín en Rariruca	1254.0
		Río Huichahue en Faja 24000	348.0
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	757.0
		Río Trancura en Curarrehue	358.0
		Río Liucura en Liucura	348.0

Tabla 5-1 Área aportante de cada subcuenca estudiada (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	A [km2]
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	361.1
		Río Cruces en Rucaco	1826.9
		Río Iñaque en Máfil	534.4
		Río Collileufú en Los Lagos	621.1
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	115.4
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	353.1
		Río Nilahue en Mayay	299.7
		Río Coihueco antes junta Pichicope	298.1
		Río Damas en Tacamo	401.7
		Río Forrahue en Aromos	213.7
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	133.2
		Río Cisnes antes junta Río Moro	2243.7
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	1801.9
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	600.1
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	105.1
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	4321.0
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	545.4
		Río Las Chinas en Cerro Guido	889.6
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	102.7
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	102.4
		Río San Juan en Desembocadura	857.6
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	512.4
		Río Oro en Bahía San Felipe	578.4

Fuente: Varios autores [6], [9], [11] y [14]

5.2 Curva hipsométrica

Para la obtención del caudal medio anual que escurre por cada subcuenca se requiere conocer las variables meteorológicas precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración potencial media anual. A su vez, para el conocimiento de estas variables se requiere conocer su distribución en altura en el área de la cuenca. De tal modo de solucionar estas limitantes es que se obtiene la curva hipsométrica para cada subcuenca.

La curva hipsométrica de las subcuencas consideradas en este estudio pueden observarse en Anexos.

Capítulo 6: Estudio Hidrológico

En este capítulo se presentan las variables hidrometeorológicas de cada una de las cuencas analizadas en este estudio, esto es precipitación media anual, temperatura media anual, evapotranspiración media anual y caudal medio anual.

El proceso de determinación de cada una de las variables hidrometeorológicas fue realizado en las memorias de título precedentes mencionadas en el punto 2.3, por lo cual se sugiere la revisión de estas. Acorde a esto, en esta memoria solo se presentarán los resultados obtenidos para cada subcuenca considerando que el procedimiento utilizado se encuentra disponible en los estudios citados.

6.1 Cálculo y distribución de variables en subcuencas

El objetivo de esta sección es presentar los valores de las variables hidrometeorológicas necesarias, que se utilizarán como entrada de los modelos precipitación-escorrentía. Estas variables son: caudal medio anual, precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración potencial media anual. La metodología desarrollada para la obtención de cada variable fue presentada en los estudios citados en el punto 2.3.

6.1.1 Caudal medio anual

El caudal medio anual para cada cuenca subcuenca ha sido determinado en las memorias de título precedentes detalladas en el punto 2.3, previo recopilación, relleno y revisión de homogeneidad de los registros fluviométricos.

En la siguiente tabla puede observarse el caudal medio anual asociado a cada subcuenca analizada. Como puede apreciarse, las subcuencas que presentan un mayor caudal son río Mañihuales antes junta río Simpson (185 [m³/s]), río Cautín en Raricura (90.3 [m³/s]), río Maipo en San Alfonso (82.9 [m³/s]), río Ñuble en la Punilla (75.3 [m³/s]) y río Allipén en Melipeuco (73.5 [m³/s]). Analizando el área de la cuenca de cada una de estas estaciones, para las estaciones río Mañihuales antes junta río Simpson y río Maipo en San Alfonso es lógico que presenten un caudal importante, ya que también muestran una superficie elevada, sin embargo, llama la atención la cuenca de la estación

río Allipén en Melipeuco, cuya área es menor frente a las mencionadas pero muestra un elevado caudal, lo cual refleja la innegable disponibilidad del recurso en esta zona.

Tabla 6-1 Caudal medio anual de cada subcuenca analizada

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Q [m3/s]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuáz	1.35
		Río Cochiguaz en el Peñón	2.96
		Río Toro antes junta Río La Laguna	0.70
		Embalse Laguna	2.27
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	2.81
		Río Chalinga en La Palmilla	1.06
		Río Choapa en Cuncumén	10.17
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	0.39
		Río Sobrante en Piñadero	1.15
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	1.49
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	8.49
		Río Juncal en Juncal	6.02
		Río Colorado en Colorado	6.60
		Estero Pocuro en el Sifón	0.98
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	1.07
		Estero Arrayán en la Montosa	1.71
		Río Volcán en Queltehues	8.58
		Canal Colina Peldehue	1.97
		Río Maipo en San Alfonso	82.92
		Río Mapocho en los Almendros	6.66
		Estero Puangue en Boquerón	0.75
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	15.87
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	21.16
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	44.43
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	51.05
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	32.25
		Río Claro en los Queñes	19.52
		Río Colorado en junta con Palos	44.59
		Río Palos en junta con Colorado	29.54
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	37.04
		Río Achibueno en los Peñascos	50.52
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	4.50
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	33.04
		Río Ñuble en la Punilla	75.28
		Río Diguillín en San Lorenzo	16.18
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	27.47
		Río Mulchén en Mulchén	16.64
		Río Bureo en Mulchén	35.61
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	7.95
		Río Cautín en Rariruca	90.26
		Río Huichahue en Faja 24000	12.67

Tabla 6-1 Caudal medio anual de cada subcuenca analizada (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Q [m3/s]
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	73.47
		Río Trancura en Curarrehue	29.57
		Río Liucura en Liucura	30.48
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	41.76
		Río Cruces en Rucaco	84.47
		Río Iñaque en Máfil	19.77
		Río Collileufu en Los Lagos	31.6
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	8.39
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	39.86
		Río Nilahue en Mayay	37.56
		Río Coihueco antes junta Pichicope	32.02
		Río Damas en Tacamo	8.82
		Río Forrahue en Aromos	4.09
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	4.69
		Río Cisnes antes junta Río Moro	42.08
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	35.16
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	19.06
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	2.18
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	185.00
XII	Río Serrano	Río Bagueles en Cerro Guido	2.96
		Río Las Chinas en Cerro Guido	7.93
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	0.31
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	2.11
		Río San Juan en Desembocadura	19.15
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	2.05
		Río Oro en Bahía San Felipe	3.27

Fuente: Varios autores [6], [9], [11] y [14]

6.1.2 Precipitación media anual

La precipitación media anual para cada subcuenca analizada en este estudio, fue obtenida en las memorias precedentes mediante dos metodologías según sea el caso; relación precipitación – altura y relación precipitación – coordenada UTM Este.

La metodología de la relación precipitación – altura fue la más utilizada para obtención de la variable en cuestión. Consiste en distribuir la precipitación media anual de acuerdo a la morfología de cada subcuenca estudiada y una relación precipitación – altura, la cual es obtenida para cada zona. Valiéndose de la curva hipsométrica, la variable es definida mediante la relación descrita para cada banda de la curva, obteniéndose mediante integración numérica la precipitación media anual.

La metodología de la relación precipitación – coordenada UTM Este solo se utilizó para obtener la precipitación media anual en las cuencas de los ríos Cisnes, Aysén y Serrano, ubicados en la XI y XII región de nuestro país. La razón de aquello radica en la existencia de dos climas distintos en la misma cuenca, generándose una gran diferencia entre la precipitación media anual entre el este y oeste de la hoya. Esta metodología fue presentada en la memoria de título USM “Evaluación de Recursos Hídricos de la cuenca del río Aysén”, G. Aguilar, 2006 [1].

El valor de precipitación media anual utilizado para cada subcuenca se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6-2 Precipitación media anual para cada subcuenca analizada

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Pma [mm]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuáz	160.9
		Río Cochiguaz en el Peñón	161.7
		Río Toro antes junta Río La Laguna	166.3
		Embalse Laguna	169.9
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	438.3
		Río Chalinga en La Palmilla	451.0
		Río Choapa en Cuncumén	441.3
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	841.7
		Río Sobrante en Piñadero	863.9
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	786.2
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	922.3
		Río Juncal en Juncal	1060.7
		Río Colorado en Colorado	989.5
		Estero Pocuro en el Sifón	595.4
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	766.5
		Estero Arrayán en La Montosa	812.7
		Río Volcán en Queltehues	901.2
		Canal Colina en Peldehue	677.6
		Río Maipo en San Alfonso	838.7
		Río Mapocho en Los Almendros	726.7
		Estero Puangue en Boquerón	455.5
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	1496.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1399.0
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1449.0
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1418.0
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	3080.0
		Río Claro en los Queñes	2544.0
		Río Colorado en junta con Palos	2933.0
		Río Palos en junta con Colorado	2608.0
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2533.0
		Río Achibueno en los Peñascos	2268.0
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	2642.0

Tabla 6-2 Precipitación media anual para cada subcuenca analizada (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Pma [mm]
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	3361.0
		Río Ñuble en la Punilla	3379.0
		Río Diguillín en San Lorenzo	3123.0
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	2342.0
		Río Mulchén en Mulchén	1457.0
		Río Bureo en Mulchén	1529.0
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	2628.0
		Río Cautín en Rariruca	2398.0
		Río Huichahue en Faja 24000	2487.0
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3639.0
		Río Trancura en Curarrehue	3975.0
		Río Liucura en Liucura	4659.0
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3835.1
		Río Cruces en Rucaco	2404.4
		Río Ñaqué en Máfil	2274.0
		Río Collileufu en Los Lagos	2256.5
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2468.9
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	4333.7
		Río Nilahue en Mayay	4239.2
		Río Coihueco antes junta Pichicope	3031.0
		Río Damas en Tacamo	1676.1
		Río Forrahue en Aromos	1651.7
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1042.3
		Río Cisnes antes junta Río Moro	795.7
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	627.3
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1017.0
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	656.0
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1018.2
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	351.3
		Río Las Chinas en Cerro Guido	567.4
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	356.9
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	933.2
		Río San Juan en Desembocadura	900.6
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	495.2
		Río Oro en Bahía San Felipe	506.3

Fuente: Varios autores [6], [9], [11] y [14]

Como se aprecia en la tabla anterior, la menor precipitación en las cuencas estudiadas se produce en la hoya del río Elqui y río Choapa, siendo menor a 1000 [mm] también en la del Aconcagua (excepto subcuenca río Juncal en Juncal) y del Maipo. A medida que se avanza hacia el sur la variable en términos generales aumenta, generándose sus máximos en la cuenca del río Toltén y río Bueno,

siendo el valor más extremo en la subcuenca de la estación río Liucura en Liucura (4659 [mm]). Un caso especial son las cuencas de Tierra del Fuego y río Serrano, las cuales difieren de lo que sucede en la zona austral mostrando una precipitación media anual menores a 600 [mm].

6.1.3 Temperatura media anual

La temperatura media anual es otra de las variables de entrada a los modelos precipitación – escorrentía estudiados. La temperatura es una variable que depende de la altura, por lo cual es importante conocer su distribución en cada una de las cuencas estudiadas. Para esto se utiliza un gradiente térmico acorde a la zona, para posteriormente mediante la utilización de la curva hipsométrica obtener la variable en cuestión. Este procedimiento ya fue efectuado en los estudios citados en el punto 2.3, por ende, en esta memoria de título solo se presentan los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

En la Tabla 6-3 puede observarse la temperatura media anual asociada a cada subcuenca analizada en este estudio.

Tabla 6-3 Temperatura media anual para cada subcuenca analizada

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Tma [°C]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuáz	1.1
		Río Cochiguaz en el Peñón	0.9
		Río Toro antes junta Río La Laguna	-1.9
		Embalse Laguna	-3.9
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	3.9
		Río Chalinga en La Palmilla	2.9
		Río Choapa en Cuncumén	3.4
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	7.1
		Río Sobrante en Piñadero	6.6
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	8.2
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	5.4
		Río Juncal en Juncal	2.2
		Río Colorado en Colorado	3.8
		Estero Pocuro en el Sifón	12.1
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	7.1
		Estero Arrayán en La Montosa	6.0
		Río Volcán en Queltehues	3.1
		Canal Colina en Peldehue	9.2
		Río Maipo en San Alfonso	5.2
		Río Mapocho en Los Almendros	8.1
		Estero Puangue en Boquerón	14.1

Tabla 6-3 Temperatura media anual para cada subcuenca analizada (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Tma [°C]
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	5.1
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	6.8
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	5.9
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	6.4
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1.0
		Río Claro en los Queñes	3.9
		Río Colorado en junta con Palos	1.8
		Río Palos en junta con Colorado	3.5
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	6.0
		Río Achibueno en los Peñascos	7.7
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	5.2
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	4.9
		Río Ñuble en la Punilla	4.8
		Río Diguillín en San Lorenzo	6.0
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	6.9
		Río Mulchén en Mulchén	12.5
		Río Bureo en Mulchén	11.2
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	6.5
		Río Cautín en Rariruca	7.3
		Río Huichahue en Faja 24000	9.9
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	6.9
		Río Trancura en Curarrehue	7.0
		Río Liucura en Liucura	7.8
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	4.9
		Río Cruces en Rucaco	9.1
		Río Iñaque en Máfil	9.5
		Río Collileufu en Los Lagos	9.6
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	9.0
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	5.8
		Río Nilahue en Mayay	5.9
		Río Coihueco antes junta Pichicope	7.8
		Río Damas en Tacamo	9.8
		Río Forrahue en Aromos	9.9
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	4.6
		Río Cisnes antes junta Río Moro	5.3
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	6.0
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	5.7
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	4.4
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	5.9
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	1.5
		Río Las Chinas en Cerro Guido	2.3
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	4.3
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	4.7
		Río San Juan en Desembocadura	4.8

Tabla 6-3 Temperatura media anual para cada subcuenca analizada (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Tma [°C]
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	4.0
		Río Oro en Bahía San Felipe	3.9

Fuente: Varios autores [6], [9], [11] y [14]

La temperatura media anual más elevada de las subcuencas estudiadas se produce en la zona céntrica, específicamente en la cuenca del río Aconcagua (subcuenca estero Pocuro en el Sifón) y del río Maipo (subcuenca estero Puangue en Boquerón). Así también, las menores temperaturas se aprecian en la hoya del río Elqui, lo que se puede explicar por la altura de estas subcuencas, las cuales en su parte más alta incluso superan los 5000 metros.

6.1.4 Evapotranspiración potencial media anual

La evapotranspiración potencial es una variable requerida para la utilización de los modelos precipitación – escorrentía. Esta variable se encuentra relacionada con la temperatura, la cual a su vez es influenciada por la altura.

La obtención de la evapotranspiración potencial en cada subcuenca fue efectuada en las memorias de título precedentes, utilizándose para su determinación, de forma similar a la precipitación, dos metodologías; la relación evapotranspiración potencial – altura y la relación evapotranspiración potencial – coordenada UTM Este. Para el primer método, se determina el valor de evapotranspiración potencial representativo para cada banda de la curva hipsométrica, para luego mediante integración numérica obtener la variable. Por otra parte, con el método de la relación evapotranspiración potencial – coordenada UTM Este, se integra entre las coordenadas Este extremas de cada subcuenca para así obtener el valor de la evapotranspiración potencial media anual.

En la Tabla 6-4 se presenta el valor de evapotranspiración potencial media anual asociada a cada subcuenca. Como allí puede observarse, los mayores valores de ETPma se producen en la cuenca del río Elqui, río Aconcagua y río Maipo.

Tabla 6-4 Evapotranspiración potencial media anual para cada subcuenca analizada

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	ETPma [mm]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuáz	1230.6
		Río Cochiguaz en el Peñón	1224.0
		Río Toro antes junta Río La Laguna	1131.3
		Embalse Laguna	1063.6
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	728.6
		Río Chalinga en La Palmilla	691.8
		Río Choapa en Cuncumén	710.3
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	429.1
		Río Sobrante en Piñadero	396.0
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	512.4
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	304.7
		Río Juncal en Juncal	70.2
		Río Colorado en Colorado	190.6
		Estero Pocuro en el Sifón	798.4
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	848.7
		Estero Arrayán en La Montosa	806.5
		Río Volcán en Queltehues	691.5
		Canal Colina en Peldehue	931.6
		Río Maipo en San Alfonso	775.5
		Río Mapocho en Los Almendros	888.6
		Estero Puangue en Boquerón	1125.9
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	1019.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1023.0
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1018.0
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	544.0
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	823.0
		Río Claro en los Queñes	893.0
		Río Colorado en junta con Palos	842.0
		Río Palos en junta con Colorado	885.0
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	753.0
		Río Achibueno en los Peñascos	847.0
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	714.0
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	920.0
		Río Ñuble en la Punilla	919.0
		Río Diguillín en San Lorenzo	926.0
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	669.0
		Río Mulchén en Mulchén	1008.0
		Río Bureo en Mulchén	864.0
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	812.0
		Río Cautín en Rariruca	844.0
		Río Huichahue en Faja 24000	862.0
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	699.0
		Río Trancura en Curarrehue	767.0
		Río Liucura en Liucura	782.0

Tabla 6-4 Evapotranspiración potencial media anual para cada subcuenca analizada

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	ETPma [mm]
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	452.5
		Río Cruces en Rucaco	750.3
		Río Iñaque en Máfil	791.0
		Río Collileufu en Los Lagos	796.5
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	730.0
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	737.1
		Río Nilahue en Mayay	740.1
		Río Coihueco antes junta Pichicope	777.9
		Río Damas en Tacamo	820.4
		Río Forrahue en Aromos	821.1
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	762.4
		Río Cisnes antes junta Río Moro	783.0
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	871.6
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	824.1
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	868.5
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	825.6
XII	Río Serrano	Río Bagueles en Cerro Guido	608.6
		Río Las Chinas en Cerro Guido	608.6
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	608.6
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	599.0
		Río San Juan en Desembocadura	599.0
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	670.2
		Río Oro en Bahía San Felipe	670.2

Fuente: Varios autores [6], [9], [11] y [14]

6.2 Resumen de las variables hidrometeorológicas representativas de cada subcuenca

Habiendo definido el valor de la variable precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración potencial anual para cada subcuenca, en la Tabla 6-2, Tabla 6-3 y Tabla 6-4, se presenta una síntesis en la Tabla 6-5.

Tabla 6-5 Resumen de las variables hidrometeorológicas representativas de cada subcuenca

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	A [km2]	Q [m3/s]	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuáz	415.1	1.4	160.9	1.1	1230.6
		Río Cochiguaz en el Peñón	594.7	3.0	161.7	0.9	1224.0
		Río Toro antes junta Río La Laguna	424.0	0.7	166.3	-1.9	1131.3
		Embalse Laguna	521.9	2.3	169.9	-3.9	1063.6
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	618.4	2.8	438.3	3.9	728.6
		Río Chalinga en La Palmilla	206.4	1.1	451.0	2.9	691.8
		Río Choapa en Cuncumén	1133.5	10.2	441.3	3.4	710.3
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	60.1	0.4	841.7	7.1	429.1
		Río Sobrante en Piñadero	218.6	1.2	863.9	6.6	396.0
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	343.0	1.5	786.2	8.2	512.4
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	961.3	8.5	922.3	5.4	304.7
		Río Juncal en Juncal	225.2	6.0	1060.7	2.2	70.2
		Río Colorado en Colorado	849.2	6.6	989.5	3.8	190.6
		Estero Pocuro en el Sifón	171.1	1.0	595.4	12.1	798.4
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	185.5	1.1	766.5	7.1	848.7
		Estero Arrayán en La Montosa	321.0	1.7	812.7	6.0	806.5
		Río Volcán en Queltehues	847.8	8.6	901.2	3.1	691.5
		Canal Colina en Peldehue	149.6	2.0	677.6	9.2	931.6
		Río Maipo en San Alfonso	3233.0	82.9	838.7	5.2	775.5
		Río Mapocho en Los Almendros	254.0	6.7	726.7	8.1	888.6
VI	Río Cachapoal	Estero Puangue en Boquerón	103.9	0.8	455.5	14.1	1125.9
		Río Pangal en Pangal	516.0	15.9	1496.0	5.1	1019.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	417.0	21.2	1399.0	6.8	1023.0
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	963.0	44.4	1449.0	5.94	1018.0
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	971.0	51.1	1418.0	6.4	544.0
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	597.0	32.3	3080.0	1.0	823.0
		Río Claro en los Queñes	354.0	19.5	2544.0	3.9	893.0
		Río Colorado en junta con Palos	872.0	44.6	2933.0	1.8	842.0
		Río Palos en junta con Colorado	489.0	29.5	2608.0	3.5	885.0

Tabla 6-5 Resumen de las variables hidrometeorológicas representativas de cada subcuenca (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	A [km2]	Q [m3/s]	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	467.0	37.0	2533.0	6.0	753.0
		Río Achibueno en los Peñascos	977.0	50.5	2268.0	7.7	847.0
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	84.0	4.5	2642.0	5.2	714.0
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	595.0	33.0	3361.0	4.9	920.0
		Río Ñuble en la Punilla	1258.0	75.3	3379.0	4.8	919.0
		Río Diguillín en San Lorenzo	206.0	16.2	3123.0	6.0	926.0
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	467.0	27.5	2342.0	6.9	669.0
		Río Mulchén en Mulchén	418.0	16.6	1457.0	12.5	1008.0
		Río Bureo en Mulchén	542.0	35.6	1529.0	11.2	864.0
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	167.0	8.0	2628.0	6.5	812.0
		Río Cautín en Rariruca	1254.0	90.3	2398.0	7.3	844.0
		Río Huichahue en Faja 24000	348.0	12.7	2487.0	9.9	862.0
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	757.0	73.5	3639.0	6.9	699.0
		Río Trancura en Curarrehue	358.0	29.6	3975.0	7.0	767.0
		Río Liucura en Liucura	348.0	30.5	4659.0	7.8	782.0
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	361.1	41.8	3835.1	4.9	452.5
		Río Cruces en Rucaco	1826.9	84.5	2404.4	9.1	750.3
		Río Iñaque en Máfil	534.4	19.8	2274.0	9.5	791.0
		Río Collileufu en Los Lagos	621.1	31.6	2256.5	9.6	796.5
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	115.4	8.4	2468.9	9.0	730.0
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	353.1	39.9	4333.7	5.8	737.1
		Río Nilahue en Mayay	299.7	37.6	4239.2	5.9	740.1
		Río Coihueco antes junta Pichicope	298.1	32.0	3031.0	7.8	777.9
		Río Damas en Tacamo	401.7	8.8	1676.1	9.8	820.4
		Río Forrahue en Aromos	213.7	4.1	1651.7	9.9	821.1
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	133.2	4.7	1042.3	4.6	762.4
		Río Cisnes antes junta Río Moro	2243.7	42.1	795.7	5.3	783.0

Tabla 6-5 Resumen de las variables hidrometeorológicas representativas de cada subcuenca (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	A [km ²]	Q [m ³ /s]	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	1801.9	35.2	627.3	6.0	871.6
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	600.1	19.1	1017.0	5.7	824.1
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	105.1	2.2	656.0	4.4	868.5
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	4321.0	185.0	1018.2	5.9	825.6
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	545.4	3.0	351.3	1.5	608.6
		Río Las Chinas en Cerro Guido	889.6	7.9	567.4	2.3	608.6
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	102.7	0.3	356.9	4.3	608.6
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	102.4	2.1	933.2	4.7	599.0
		Río San Juan en Desembocadura	857.6	19.2	900.6	4.8	599.0
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	512.4	2.1	495.2	4.0	670.2
		Río Oro en Bahía San Felipe	578.4	3.3	506.3	3.9	670.2

Fuente: Varios autores [6], [9], [11] y [14]

6.3 Escorrentía media anual medida para cada subcuenca

Para este estudio se trabajó con la escorrentía media anual medida determinada en las memorias de título precedentes a esta. La forma de obtención de esta variable, a partir del caudal medio anual asociado a cada subcuenca, se realiza mediante la siguiente expresión:

$$ES_{medida} = \frac{31536000 \cdot 1000 \cdot Q_{ma}}{A}$$

Donde:

- ES_{medida} : escorrentía media anual de la subcuenca medida por la estación fluviométrica asociada, en [mm].
- Q_{ma} : caudal medio anual medido de la subcuenca, en [m³/s].
- A : área aportante de cada subcuenca, en [m²].

En la siguiente tabla se muestra la escorrentía media anual medida para cada subcuenca en estudio.

Tabla 6-6 Escorrentía media anual para cada subcuenca analizada

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	102.6
		Río Cochiguaz en el Peñón	157.1
		Río Toro antes junta Río La Laguna	52.2
		Embalse Laguna	137.4
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	143.2
		Río Chalinga en La Palmilla	161.4
		Río Choapa en Cuncumén	282.9
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	204.5
V	Río La Ligua	Río Sobrante en Piñadero	166.3
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	137.1
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278.6
		Río Juncal en Juncal	842.7
		Río Colorado en Colorado	245.0
		Estero Pocuro en el Sifón	181.1
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	180.0
		Estero Arrayán en La Montosa	170.0
		Río Volcán en Queltehues	320.0
		Estero Puangue en Boquerón	230.0
		Canal Colina en Peldehue	420.0
		Río Maipo en San Alfonso	810.0
Río Mapocho en Los Almendros	830.0		

Tabla 6-6 Escorrentía media anual para cada subcuenca analizada (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	970.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1600.0
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1455.0
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1658.0
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1703.0
		Río Claro en los Queñes	1739.0
		Río Colorado en junta con Palos	1612.0
		Río Palos en junta con Colorado	1903.0
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2504.0
		Río Achibueno en los Peñascos	1631.0
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1690.0
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	1751.0
		Río Ñuble en la Punilla	1888.0
		Río Diguillín en San Lorenzo	2471.0
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1855.0
		Río Mulchén en Mulchén	1254.0
		Río Bureo en Mulchén	2071.0
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1503.0
		Río Cautín en Rariruca	2270.0
		Río Huichahue en Faja 24000	1149.0
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3061.0
		Río Trancura en Curarrehue	2607.0
		Río Liucura en Liucura	2764.0
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3647.0
		Río Cruces en Rucaco	1458.1
		Río Iñaque en Máfil	1166.6
		Río Collileufu en Los Lagos	1604.4
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2292.0
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3559.9
		Río Nilahue en Mayay	3952.0
		Río Coihueco antes junta Pichicope	3387.7
		Río Damas en Tacamo	692.4
		Río Forrahue en Aromos	603.6
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1110.8
		Río Cisnes antes junta Río Moro	591.4
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	615.4
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1001.6
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	653.9
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1350.2
XII	Río Serrano	Río Bagueles en Cerro Guido	171.1
		Río Las Chinas en Cerro Guido	281.1
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	95.2
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	650.1
		Río San Juan en Desembocadura	704.2

Tabla 6-6 Escorrentía media anual para cada subcuenca analizada (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.2
		Río Oro en Bahía San Felipe	178.3

Fuente: Varios autores [6], [9], [11] y [14]

En la cuenca del río Bueno se presenta la escorrentía media anual medida más alta, alcanzando casi los 4000 [mm]. Por otra parte, se debe mencionar que la escorrentía media anual en términos globales se ve incrementada al avanzar hacia el sur del país, exceptuando la cuenca de Tierra del Fuego, río Serrano y Península de Brunswick, lo que se puede explicar por el clima estepárico frío de esta zona. Así también, la escorrentía media anual medida tiende a comportarse en términos generales similar a la precipitación media anual, es decir, cuando esta última es alta la primera también, lo cual muestra la influencia de esta variable en los caudales de escurrimiento.

ETAPA II

Capítulo 7: Evaluación de los Modelos Precipitación- Esorrentía con metodología original

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los modelos precipitación – esorrentía de Turc, Coutagne, Turc – Pike, Grunsky y Peñuelas en las subcuencas analizadas en este estudio.

La aplicabilidad de los modelos precipitación – esorrentía debe definirse a partir de un parámetro que cuantifique qué tan bien se ajustan estas fórmulas a los valores de esorrentía media anual medidos en cada subcuenca. Este parámetro será el error relativo, cuya expresión es la siguiente:

$$\text{Error relativo \%} = \frac{|E_{S_{medida}} - E_{S_{estimada}}|}{E_{S_{medida}}} \cdot 100$$

Donde:

- $E_{S_{medida}}$: esorrentía media anual de la subcuenca medida por la estación fluviométrica asociada, en [mm].
- $E_{S_{estimada}}$: esorrentía media anual de la subcuenca estimada mediante modelo precipitación-esorrentía, en [mm].

7.1 Metodología utilizada

La metodología utilizada para la determinación de la esorrentía media anual de cada subcuenca en las memorias de título en las que se basa este estudio y denominada en esta memoria como “metodología original”, se basa en obtener el valor de esorrentía habiendo definido previamente las variables precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración potencial media anual para cada subcuenca. El valor de estas variables fue presentado en el punto 6.1. Posteriormente, a sabiendas del valor de cada una de estas variables, se utilizan los modelos precipitación – esorrentía estudiados.

En la Tabla 7-1 se muestra un ejemplo de la metodología por banda utilizada para la determinación de la esorrentía media anual con los distintos métodos estudiados, en este caso en específico el modelo de Grunsky para la estación fluviométrica estero Derecho en Alcohuaz.

Tabla 7-1 Ejemplo de metodología por banda tradicional utilizada en estación Estero Derecho en Alcohuz

Cota Inicial [m]	Cota Final [m]	Cota Media [m]	Area Acum [km2]	A Interv [km2]	T [°C]	T *Ai [°C]	ETP [mm]	ETP*Ai [mm]	P [mm]	P *Ai [mm]	
1971	2509	2240	41.5	41.5	9.5	394	1514.4	62848	136.3	5656	
2509	2946	2727	83	41.5	6.4	266	1408.9	58469	146.1	6063	
2946	3248	3097	124.5	41.5	4	166	1328.9	55149	153.5	6370	
3248	3497	3372	166	41.5	2.2	91	1269.3	52676	159.1	6603	
3497	3670	3584	207.5	41.5	0.9	37	1223.5	50775	163.3	6777	
3670	3823	3746	249	41.5	-0.2	-8	1188.3	49314	166.6	6914	
3823	3926	3874	290.5	41.5	-1	-42	1160.5	48161	169.2	7022	
3926	4031	3979	332	41.5	-1.7	-71	1138.0	47227	171.3	7109	
4031	4172	4000	373.5	41.5	-2.5	-104	1111.3	46119	171.7	7126	
4172	5400	4000	415.1	41.6	-6.9	-287	963.2	40069	171.7	7143	
						Tma [°C]	1.1	ETPma [mm]	1230.6	Pma [mm]	160.9
										Es [mm]	10.4

Fuente: Elaboración propia

7.2 Resultados obtenidos

7.2.1 Modelo precipitación-escorrentía de Turc

El modelo precipitación – escorrentía de Turc fue expuesto en el punto 3.3.1 de este documento. Este modelo considera que la escorrentía media anual en determinada subcuenca está relacionada con las variables precipitación media anual y temperatura media anual.

La escorrentía media anual para cada subcuenca con el modelo de Turc se presenta entonces en la siguiente tabla.

Tabla 7-2 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuz	102.6	10.3	90.0
		Río Cochiguaz en el Peñón	157.1	11.1	93.0
		Río Toro antes junta Río La Laguna	52.2	22.3	57.0
		Embalse Laguna	137.4	36.6	73.0
Sub Promedio			78.3		
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	143.2	135.4	5.0
		Río Chalinga en La Palmilla	161.4	157.5	2.0
		Río Choapa en Cuncumén	282.9	143.8	49.0
Sub Promedio			18.7		
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	204.5	409.6	100.0
		Río Sobrante en Piñadero	166.3	439.0	164.0
Sub Promedio			132.0		

Tabla 7-2 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	137.1	337.9	147.0
Sub Promedio			147.0		
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278.6	519.6	86.0
		Río Juncal en Juncal	842.7	721.8	14.0
		Río Colorado en Colorado	245.0	617.0	152.0
		Estero Pocuro en el Sifón	181.1	130.9	28.0
Sub Promedio			70.0		
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	180.0	344.2	91.2
		Estero Arrayán en La Montosa	170.0	406.9	139.3
		Río Volcán en Queltehues	320.0	549.2	71.6
		Estero Puangue en Boquerón	230.0	44.8	80.5
		Canal Colina en Peldehue	420.0	232.6	44.6
		Río Maipo en San Alfonso	810.0	446.9	44.8
		Río Mapocho en Los Almendros	830.0	291.4	64.9
Sub Promedio			76.7		
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	970.0	1078.0	11.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1600.0	938.0	41.0
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1455.0	1009.0	31.0
Sub Promedio			27.7		
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1658.0	966.0	42.0
Sub Promedio			42.0		
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1703.0	2758.0	62.0
		Río Claro en los Queñes	1739.0	2148.0	24.0
		Río Colorado en junta con Palos	1612.0	2591.0	61.0
		Río Palos en junta con Colorado	1903.0	2222.0	17.0
Sub Promedio			41.0		
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2504.0	2080.0	17.0
		Río Achibueno en los Peñascos	1631.0	1763.0	8.0
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1690.0	2209.0	31.0
Sub Promedio			18.7		
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	1751.0	2936.0	68.0
		Río Ñuble en la Punilla	1888.0	2956.0	57.0
		Río Diguillín en San Lorenzo	2471.0	2668.0	8.0
Sub Promedio			44.3		
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1855.0	1861.0	0.0
		Río Mulchén en Mulchén	1254.0	813.0	35.0
		Río Bureo en Mulchén	2071.0	926.0	55.0
Sub Promedio			30.0		
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1503.0	2158.0	44.0
		Río Cautín en Rariruca	2270.0	1906.0	16.0
		Río Huichahue en Faja 24000	1149.0	1905.0	66.0
Sub Promedio			42.0		

Tabla 7-2 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3061.0	3154.0	3.0
		Río Trancura en Curarrehue	2607.0	3486.0	34.0
		Río Liucura en Liucura	2764.0	4143.0	50.0
Sub Promedio					29.0
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3647.0	3408.1	7.0
		Río Cruces en Rucaco	1458.1	1851.3	27.0
		Río Iñaque en Máfil	1166.6	1709.1	46.0
		Río Collileufú en Los Lagos	1604.4	1689.9	5.0
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2292.0	1921.8	16.0
Sub Promedio					20.2
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3559.9	3881.6	9.0
		Río Nilahue en Mayay	3952.0	3782.9	4.0
		Río Coihueco antes junta Pichicope	3387.7	2520.1	26.0
		Río Damas en Tacamo	692.4	1113.8	61.0
		Río Forrahue en Aromos	603.6	1089.0	80.0
Sub Promedio					36.0
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1110.8	649.7	41.0
		Río Cisnes antes junta Río Moro	591.4	406.1	31.0
Sub Promedio					36.0
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	615.4	248.8	60.0
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1001.6	599.9	40.0
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	653.9	300.0	54.0
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1350.2	596.1	56.0
Sub Promedio					52.5
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	171.1	102.2	40.0
		Río Las Chinas en Cerro Guido	281.1	260.5	7.0
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	95.2	79.0	18.0
Sub Promedio					21.7
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	650.1	544.9	16.0
		Río San Juan en Desembocadura	704.2	511.3	27.0
Sub Promedio					21.5
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.2	176.3	40.0
		Río Oro en Bahía San Felipe	178.3	186.0	4.0
Sub Promedio					22.0
Promedio					46.2

Fuente: Elaboración propia

A partir de lo obtenido puede observarse que en la cuenca del río Petorca, río La Ligua, río Aconcagua y río Maipo el modelo de Turc no se ajusta de buena manera, generándose un error relativo promedio de 132%, 147%, 70% y 77% respectivamente, los más altos de las cuencas analizadas. Promediando el error relativo de todas las subcuenas analizadas, se obtiene un valor

de 46%. Excluyendo de este análisis las cuencas de la V región y la cuenca del río Maipo, el error disminuye a un 35%. Así también, se puede concluir que el modelo de Turc se ajusta de mejor manera en las cuencas del sur de Chile, de hecho al considerar solo desde la X hasta la XII región, el error relativo promedio disminuye a un 31%.

Resulta interesante determinar para qué valor de precipitación media anual y temperatura media anual el modelo de Turc entrega una escorrentía media anual nula. Tomando la expresión del modelo y desarrollando algebraicamente la igualdad ($E_s=0$), se obtiene la siguiente relación:

$$P = \sqrt{0.1} L$$

$$P = 94.8 + 7.9 T + 0.016 T^3$$

En la Figura 7-1 se presenta gráficamente la relación obtenida. Como puede observarse, para obtener una escorrentía media anual nula con el modelo de Turc, la precipitación media anual debe ser baja, requiriéndose por ejemplo, para que se cumpla la condición señalada, con una T_{ma} de 15 [°C] una P_{ma} de 267 [mm]. Verificando los resultados de la relación P/L en las subcuencas analizadas en este estudio, se aprecia que las estaciones que presentan valores más próximos a $P/L = \sqrt{0.1}$ (0.32) son las de la cuenca del río Elqui, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7-3 Subcuencas con escorrentía media anual cercana a 0 con modelo Turc

Subcuenca	P/L	Es (Turc) [mm]
Estero Derecho en Alcohuaz	0.49	10.3
Río Cochiguaz en El Peñón	0.50	11.1
Río Toro antes junta río La Laguna	0.66	22.3
Embalse Laguna	0.84	36.6

Fuente: Elaboración propia

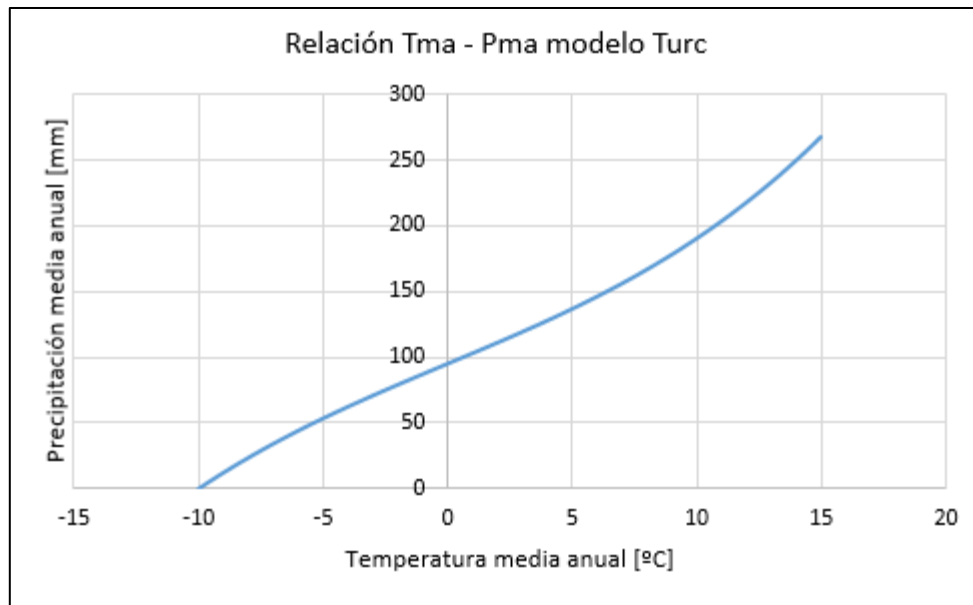


Figura 7-1 Diagrama X-Y para evaluación de método de Turc
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7-2 se muestra el gráfico XY para el modelo de Turc, que no es más que la comparación entre la escorrentía media anual medida vs la escorrentía media anual estimada con el modelo. En rojo se muestra la pendiente 1 es a 1, que representa la igualdad entre ambas escorrentías, mientras que en azul la recta de mejor ajuste. En este caso, la dispersión existente de los datos analizados no es tan grande, por lo cual se puede concluir que el modelo se ajusta de buena forma a las escorrentías medidas. Así también, como puede apreciarse, en promedio el modelo de Turc sobreestima levemente el valor de escorrentía media anual de las subcuencas analizadas.

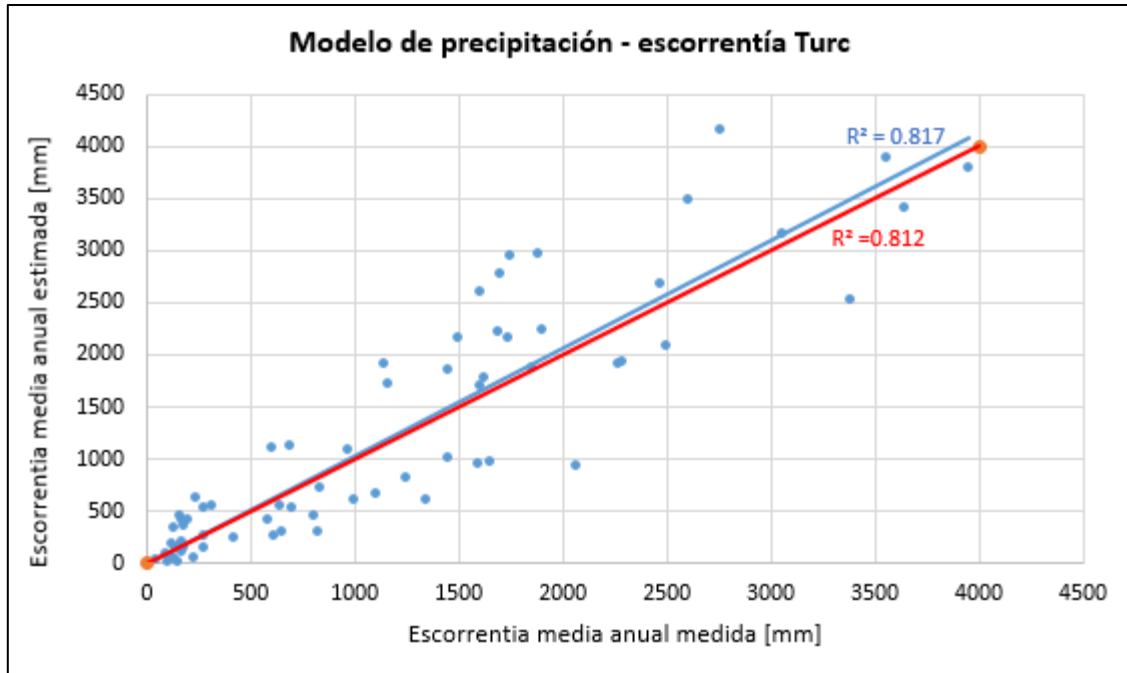


Figura 7-2 Diagrama X-Y para evaluación de método de Turc
Fuente: Elaboración propia

7.2.2 Modelo precipitación-escorrentía de Coutagne

El modelo precipitación – escorrentía de Coutagne y sus relaciones fueron presentadas en el punto 3.3.2 de este documento. Como allí se expuso, el modelo define el déficit (D) y por consiguiente la escorrentía media anual mediante la utilización de las variables hidrometeorológicas de precipitación media anual y temperatura media anual según sea el caso.

El valor de escorrentía media anual obtenido mediante este modelo puede apreciarse en la siguiente tabla:

Tabla 7-4 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Coutagne

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	102.6	27.2	73.0
		Río Cochiguaz en el Peñón	157.1	28.3	82.0
		Río Toro antes junta Río La Laguna	52.2	51.5	1.0
		Embalse Laguna	137.4	106.4	23.0
Sub Promedio			44.8		
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	143.2	142.3	1.0
		Río Chalinga en La Palmilla	161.4	169.1	5.0
		Río Choapa en Cuncumén	282.9	152.5	46.0
Sub Promedio			17.3		

Tabla 7-4 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Coutagne (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	204.5	395.6	93.0
		Río Sobrante en Piñadero	166.3	431.8	160.0
Sub Promedio			126.5		
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	137.1	317.1	131.0
Sub Promedio			131.0		
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278.6	533.7	92.0
		Río Juncal en Juncal	842.7	783.5	7.0
		Río Colorado en Colorado	245.0	655.1	167.0
		Estero Pocuro en el Sifón	181.1	142.2	21.0
Sub Promedio			71.8		
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	180.0	327.5	81.9
		Estero Arrayán en La Montosa	170.0	402.7	136.9
		Río Volcán en Queltehues	320.0	592.7	85.2
		Estero Puangue en Boquerón	230.0	74.8	67.5
		Canal Colina en Peldehue	420.0	219.9	47.6
		Río Maipo en San Alfonso	810.0	456.7	43.6
		Río Mapocho en Los Almendros	830.0	273.1	67.1
Sub Promedio			75.7		
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	970.0	1118.0	15.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1600.0	961.0	40.0
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1455.0	1041.0	28.0
Sub Promedio			27.7		
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1658.0	993.0	40.0
Sub Promedio			40.0		
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1703.0	2847.0	67.0
		Río Claro en los Queñes	1739.0	2208.0	27.0
		Río Colorado en junta con Palos	1612.0	2672.0	66.0
		Río Palos en junta con Colorado	1903.0	2285.0	20.0
Sub Promedio			45.0		
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2504.0	2124.0	15.0
		Río Achibueno en los Peñascos	1631.0	1797.0	10.0
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1690.0	2259.0	34.0
Sub Promedio			19.7		
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	1751.0	2990.0	71.0
		Río Ñuble en la Punilla	1888.0	3010.0	59.0
		Río Diguillín en San Lorenzo	2471.0	2714.0	10.0
Sub Promedio			46.7		
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1855.0	1899.0	2.0
		Río Mulchén en Mulchén	1254.0	820.0	35.0
		Río Bureo en Mulchén	2071.0	937.0	55.0
Sub Promedio			30.7		

Tabla 7-4 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Coutagne (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1503.0	2199.0	46.0
		Río Cautín en Rariruca	2270.0	1943.0	14.0
		Río Huichahue en Faja 24000	1149.0	1940.0	69.0
Sub Promedio					43.0
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3061.0	3198.0	4.0
		Río Trancura en Curarrehue	2607.0	3530.0	35.0
		Río Liucura en Liucura	2764.0	4186.0	51.0
Sub Promedio					30.0
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3647.0	3462.4	5.0
		Río Cruces en Rucaco	1458.1	1884.5	29.0
		Río Iñaque en Máfil	1166.6	1740.6	49.0
		Río Collileufú en Los Lagos	1604.4	1721.3	7.0
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2292.0	1955.6	15.0
Sub Promedio					21.0
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3559.9	3931.2	10.0
		Río Nilahue en Mayay	3952.0	3831.7	3.0
		Río Coihueco antes junta Pichicope	3387.7	2559.2	24.0
		Río Damas en Tacamo	692.4	1132.1	63.0
		Río Forrahue en Aromos	603.6	1106.4	83.0
Sub Promedio					36.6
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1110.8	680.7	39.0
		Río Cisnes antes junta Río Moro	591.4	410.2	31.0
Sub Promedio					35.0
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	615.4	239.4	6.0
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1001.6	616.3	38.0
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	653.9	302.8	54.0
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1350.2	610.2	55.0
Sub Promedio					38.3
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	171.1	122.8	28.0
		Río Las Chinas en Cerro Guido	281.1	287.7	2.0
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	95.2	90.6	6.0
Sub Promedio					12.0
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	650.1	568.9	13.0
		Río San Juan en Desembocadura	704.2	531.0	25.0
Sub Promedio					19.0
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.2	180.5	43.0
		Río Oro en Bahía San Felipe	178.3	190.4	7.0
Sub Promedio					25.0
Promedio					43.0

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que el modelo de Coutagne se ajusta de manera aceptable a las cuencas del país analizadas en este estudio, lográndose un error relativo promedio de 43%. Este valor se ve malogrado por el alto error obtenido en la cuenca del río Petorca, del río La Ligua, del río Aconcagua y del río Maipo, las cuales alcanzan un error relativo promedio de 127%, 131%, 72% y 76% respectivamente. Estimando el error sin considerar estas cuencas, la magnitud se reduce a un 32%. Así también, se observa que el modelo se comporta de mejor manera en el sur de Chile, lo que queda de manifiesto al considerar solo las cuencas desde la IX a la XII región, con lo cual el error relativo promedio disminuye a un 29%.

Analizando la expresión del modelo de Coutagne, se ha determinado las condiciones para las cuales la escorrentía media anual E_s es nula (Caso 2). Esto puede observarse en la Figura 7-3, donde los puntos corresponden a los valores $T_{ma} - P_{ma}$ de las subcuencas estudiadas en esta memoria de título, mientras que la recta azul y el área bajo la misma responde a escorrentía cero. Como puede apreciarse, ninguna subcuenca cumple las condiciones para presentar escorrentía media anual nula, ya que todos los puntos se ubican en el área sobre la recta. Aun así, hay algunas estaciones que se acercan bastante a esta situación, como se muestra en la Tabla 7-5.

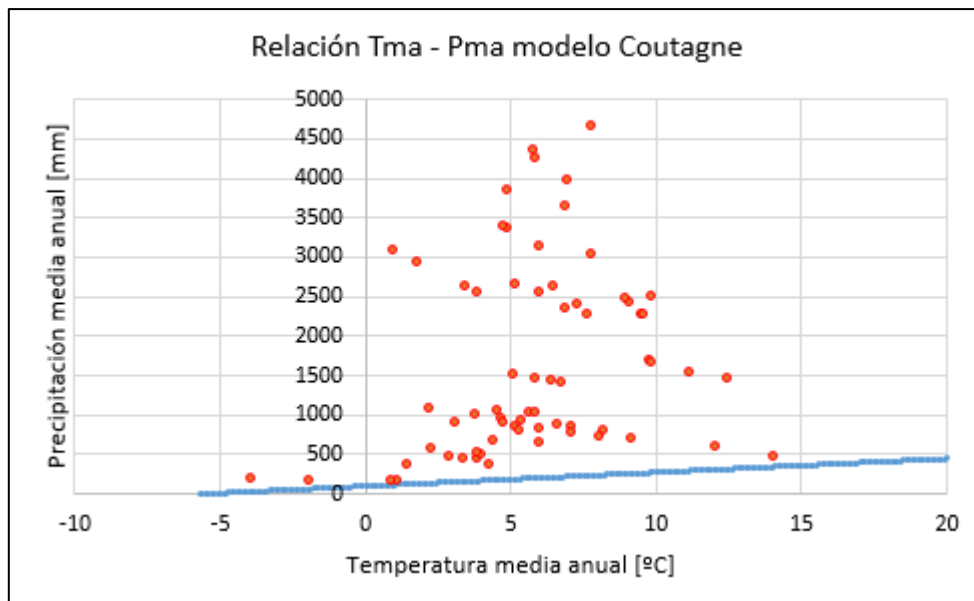


Figura 7-3 Relación Pma – Tma para escorrentía media anual nula Modelo Coutagne
Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-5 Subcuencas con escorrentía media anual cercana a 0 con modelo Coutagne

Subcuenca	Es (Coutagne) [mm]
Estero Derecho en Alcohuaz	27.2
Río Cochiguaz en El Peñón	28.3
Río Toro antes junta río La Laguna	51.5
Embalse Laguna	106.4
Estero Puangue en Boquerón	74.8

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7-4 se muestra el grafico XY para el modelo en cuestión. Al comparar la línea de pendiente 1 es a 1 que representa la igualdad entre la escorrentía media anual medida y estimada (línea roja) con la recta de mejor ajuste (línea azul), se aprecia que el modelo de Coutagne sobreestima levemente la escorrentía media anual promedio de las cuencas estudiadas. Así también, a partir del grado de correlación obtenido (R^2 superior a 0.8) para el total de las hoyas hidrográficas analizadas, se puede concluir que existe un nivel de similitud aceptable entre lo medido y lo simulado con el modelo, existiendo como es lógico subcuencas que se alejan de la tendencia, como por ejemplo río Liucura en Liucura, río Bureo en Mulchén, río Sauce antes junta río Ñuble, entre otros.

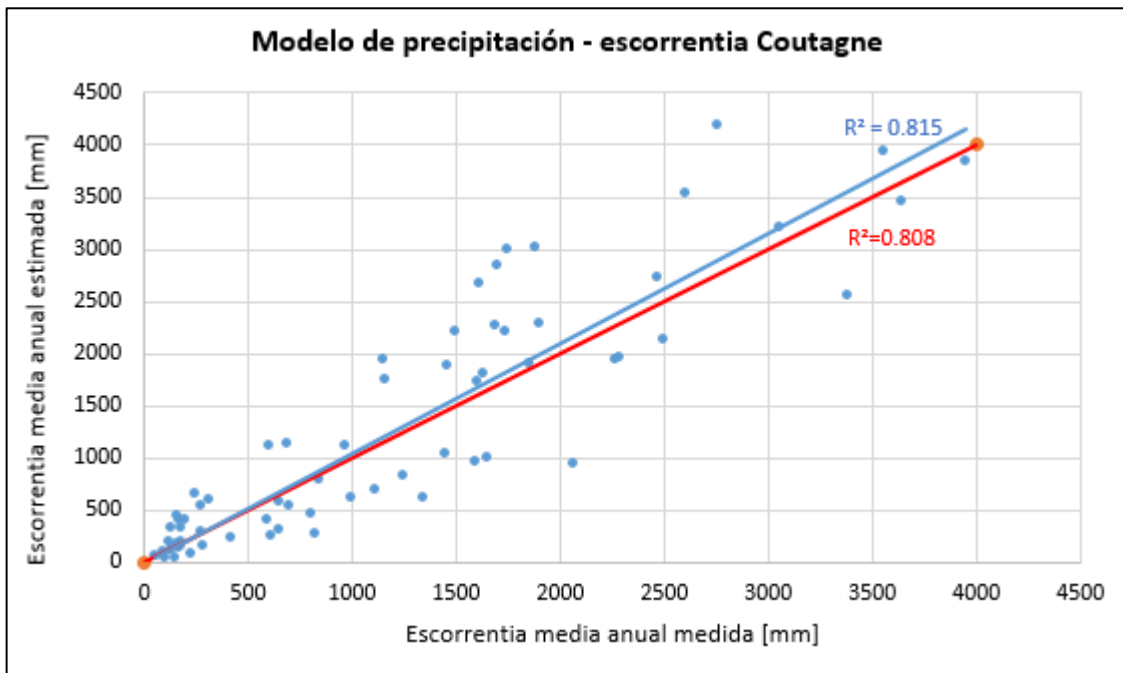


Figura 7-4 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Coutagne

Fuente: Elaboración propia

7.2.3 Modelo precipitación-escorrentía Turc-Pike

El modelo precipitación – escorrentía de Turc – Pike fue presentado en el punto 3.3.3. Este método, a diferencia de los modelos de Turc y Coutagne considera como variable determinante en el cálculo del déficit hidrológico (D) de la cuenca a la evapotranspiración potencial media anual, en reemplazo de la temperatura media anual. Los resultados obtenidos para las subcuencas analizadas en este estudio son los mostrados en la Tabla 7-6.

Tabla 7-6 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc - Pike

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	102.6	1.4	99.0
		Río Cochiguaz en el Peñón	157.1	1.4	99.0
		Río Toro antes junta Río La Laguna	52.2	1.8	97.0
		Embalse Laguna	137.4	2.1	98.0
Sub Promedio					98.3
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	143.2	62.7	56.0
		Río Chalinga en La Palmilla	161.4	73.2	55.0
		Río Choapa en Cuncumén	282.9	66.5	77.0
Sub Promedio					62.7
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	204.5	459.4	125.0
		Río Sobrante en Piñadero	166.3	503.9	203.0
Sub Promedio					164.0
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	137.1	356.9	160.0
Sub Promedio					160.0
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278.6	633.1	127.0
		Río Juncal en Juncal	842.7	990.7	18.0
		Río Colorado en Colorado	245.0	802.4	228.0
		Estero Pocuro en el Sifón	181.1	118.1	35.0
Sub Promedio					102.0
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	180.0	197.7	9.8
		Estero Arrayán en La Montosa	170.0	240.2	41.3
		Río Volcán en Queltehues	320.0	352.6	10.2
		Estero Puangue en Boquerón	230.0	33.2	85.5
		Canal Colina en Peldehue	420.0	129.6	69.1
		Río Maipo en San Alfonso	810.0	269.3	66.8
		Río Mapocho en Los Almendros	830.0	164.2	80.2
Sub Promedio					51.9
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	970.0	654.0	33.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1600.0	573.0	64.0
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1455.0	616.0	58.0
Sub Promedio					51.7
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1658.0	911.0	45.0
Sub Promedio					45.0

Tabla 7-6 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc – Pike (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1703.0	2285.0	34.0
		Río Claro en los Queñes	1739.0	1701.0	2.0
		Río Colorado en junta con Palos	1612.0	2124.0	32.0
		Río Palos en junta con Colorado	1903.0	1770.0	7.0
Sub Promedio					18.8
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2504.0	1811.0	28.0
		Río Achibueno en los Peñascos	1631.0	1474.0	10.0
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1690.0	1953.0	16.0
Sub Promedio					18.0
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	1751.0	2474.0	41.0
		Río Ñuble en la Punilla	1888.0	2492.0	32.0
		Río Diguillín en San Lorenzo	2471.0	2235.0	10.0
Sub Promedio					27.7
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1855.0	1698.0	8.0
		Río Mulchén en Mulchén	1254.0	628.0	50.0
		Río Bureo en Mulchén	2071.0	777.0	62.0
Sub Promedio					40.0
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1503.0	1852.0	23.0
		Río Cautín en Rariruca	2270.0	1603.0	29.0
		Río Huichahue en Faja 24000	1149.0	1673.0	46.0
Sub Promedio					32.7
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3061.0	2953.0	4.0
		Río Trancura en Curarrehue	2607.0	3222.0	24.0
		Río Liucura en Liucura	2764.0	3888.0	41.0
Sub Promedio					23.0
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3647.0	3385.7	7.0
		Río Cruces en Rucaco	1458.1	1688.2	16.0
		Río Iñaque en Máfil	1166.6	1526.9	31.0
		Río Collileufú en Los Lagos	1604.4	1505.4	6.0
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2292.0	1768.9	23.0
Sub Promedio					16.6
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3559.9	3607.0	1.0
		Río Nilahue en Mayay	3952.0	3510.1	11.0
		Río Coihueco antes junta Pichicope	3387.7	2277.5	33.0
		Río Damas en Tacamo	692.4	939.2	36.0
		Río Forrahue en Aromos	603.6	916.4	52.0
Sub Promedio					26.6
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1110.8	426.9	62.0
		Río Cisnes antes junta Río Moro	591.4	237.6	60.0
Sub Promedio					61.0

Tabla 7-6 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc – Pike (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	615.4	118.1	81.0
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1001.6	376.7	62.0
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	653.9	132.6	80.0
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1350.2	376.9	72.0
Sub Promedio					73.8
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	171.1	47.1	72.0
		Río Las Chinas en Cerro Guido	281.1	152.4	46.0
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	95.2	49.0	49.0
Sub Promedio					55.7
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	650.1	429.1	34.0
		Río San Juan en Desembocadura	704.2	401.8	43.0
Sub Promedio					38.5
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.2	96.9	23.0
		Río Oro en Bahía San Felipe	178.3	102.3	43.0
Sub Promedio					33.0
Promedio					52.0

Fuente: Elaboración propia

El error relativo promedio obtenido mediante la utilización del modelo Turc – Pike es igual al 52%, valor que no es aceptable para un estudio de esta índole. La cuenca del río Elqui, río Petorca, río La Ligua, río Aconcagua y río Aysén son las que arrojan el error más alto, alcanzando un 98%, 164%, 160%, 102% y 74% respectivamente. Quitando estas cuencas del análisis, el error se reduce a un 36%. Por otra parte, se aprecia que el modelo Turc- Pike tiene un buen comportamiento entre la VII y XIV región, tramo para el cual error obtenido es de un 25%.

A diferencia del modelo Turc y Coutagne, el modelo Turc-Pike solo puede presentar escorrentía media anual cero cuando la precipitación media anual es cero, lo cual es lógico ya que en un lugar donde no precipita no puede haber movimiento de agua al menos naturalmente.

El diagrama XY obtenido para el modelo Turc – Pike es presentado en la Figura 7-5. Como se observa, hay una mayor dispersión de los datos que en los dos modelos anteriores (Turc y Coutagne), lo cual se ve reflejado también en el grado de correlación obtenido. Siguiendo con el análisis, al comparar la recta de pendiente 1 es a 1 (línea roja) con la línea azul (recta de mejor ajuste), se esclarece que el modelo de Turc – Pike subestima la escorrentía media anual promedio de las cuencas estudiadas.

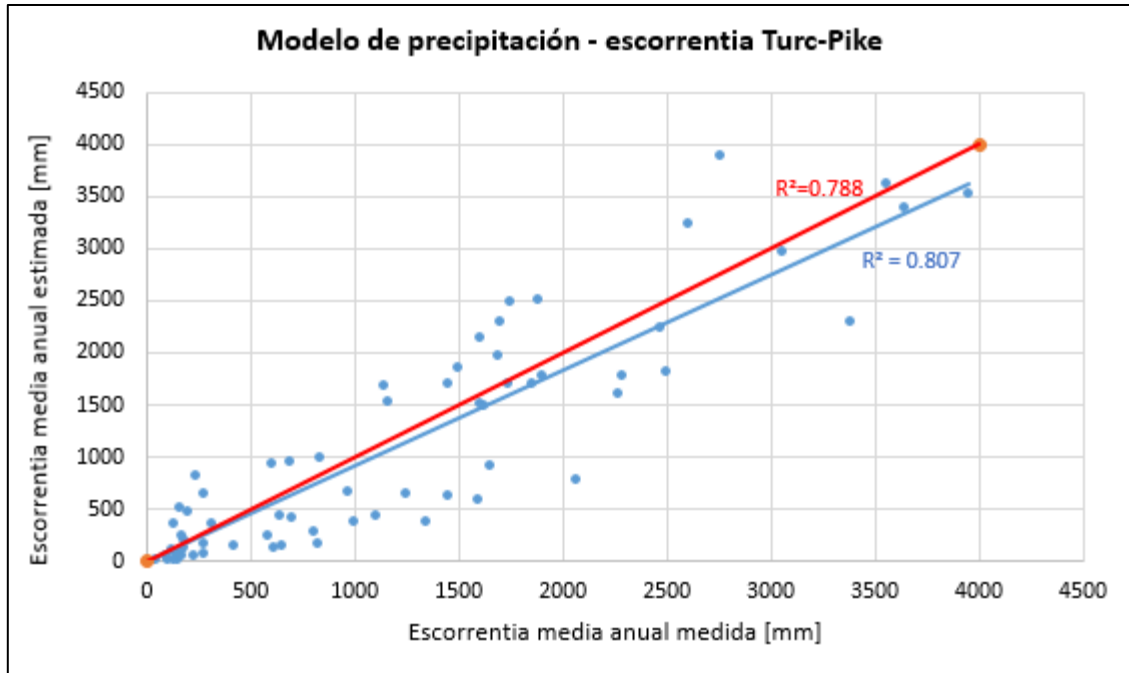


Figura 7-5 Diagrama X-Y para evaluación de modelo Turc-Pike
Fuente: Elaboración propia

7.2.4 Modelo precipitación-escorrentía de Grunsky

El modelo de Grunsky fue detallado en el punto 3.3.4 de este documento. Como allí se expuso, este modelo considera que la escorrentía media anual depende únicamente de la precipitación media anual. En la Tabla 7-7 se presentan los resultados obtenidos en las subcuencas en estudio mediante la aplicación de este método.

Tabla 7-7 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Grunsky

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	102.6	10.4	89.9
		Río Cochiguaz en el Peñón	157.1	10.5	93.3
		Río Toro antes junta Río La Laguna	52.2	11.1	78.8
		Embalse Laguna	137.4	11.5	91.6
Sub Promedio					88.4
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	143.2	76.8	46.3
		Río Chalinga en La Palmilla	161.4	81.4	49.6
		Río Choapa en Cuncumén	282.9	77.9	72.5
Sub Promedio					56.1
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	204.5	283.4	38.6
		Río Sobrante en Piñadero	166.3	298.5	79.5
Sub Promedio					59.1

Tabla 7-7 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Grunsky (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	137.1	247.2	80.3
Sub Promedio					80.3
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278.6	340.3	22.2
		Río Juncal en Juncal	842.7	450.1	46.6
		Río Colorado en Colorado	245.0	391.7	59.9
		Estero Pocuro en el Sifón	181.1	141.8	21.7
Sub Promedio					37.6
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	180.0	235.0	30.6
		Estero Arrayán en La Montosa	170.0	264.2	55.4
		Río Volcán en Queltehues	320.0	324.9	1.5
		Estero Puangue en Boquerón	230.0	83.0	63.9
		Canal Colina en Peldehue	420.0	183.7	56.3
		Río Maipo en San Alfonso	810.0	281.4	65.3
		Río Mapocho en Los Almendros	830.0	211.2	74.5
Sub Promedio					49.6
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	970.0	871.0	10.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1600.0	774.0	52.0
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1455.0	824.0	43.0
Sub Promedio					35.0
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1658.0	793.0	52.0
Sub Promedio					52.0
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1703.0	2455.0	44.0
		Río Claro en los Queñes	1739.0	1919.0	10.0
		Río Colorado en junta con Palos	1612.0	2308.0	43.0
		Río Palos en junta con Colorado	1903.0	1983.0	4.0
Sub Promedio					25.3
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2504.0	1908.0	24.0
		Río Achibueno en los Peñascos	1631.0	1643.0	1.0
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1690.0	2017.0	19.0
Sub Promedio					14.7
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	1751.0	2736.0	56.0
		Río Ñuble en la Punilla	1888.0	2754.0	46.0
		Río Diguillín en San Lorenzo	2471.0	2498.0	1.0
Sub Promedio					34.3
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1855.0	1717.0	7.0
		Río Mulchén en Mulchén	1254.0	832.0	34.0
		Río Bureo en Mulchén	2071.0	904.0	56.0
Sub Promedio					32.3
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1503.0	2003.0	33.0
		Río Cautín en Rariruca	2270.0	1773.0	22.0
		Río Huichahue en Faja 24000	1149.0	1863.0	62.0
Sub Promedio					39.0

Tabla 7-7 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Grunsky (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3061.0	3014.0	2.0
		Río Trancura en Curarrehue	2607.0	3350.0	29.0
		Río Liucura en Liucura	2764.0	4034.0	46.0
Sub Promedio					25.7
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3647.0	3210.1	12.0
		Río Cruces en Rucaco	1458.1	1779.4	22.0
		Río Ññaque en Máfil	1166.6	1649.0	41.0
		Río Collileufú en Los Lagos	1604.4	1631.5	2.0
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2292.0	1843.9	19.0
Sub Promedio					19.2
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3559.9	3708.7	4.0
		Río Nilahue en Mayay	3952.0	3614.2	9.0
		Río Coihueco antes junta Pichicope	3387.7	2406.0	29.0
		Río Damas en Tacamo	692.4	1051.1	52.0
		Río Forrahue en Aromos	603.6	1026.7	70.0
Sub Promedio					32.8
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1110.8	434.5	61.0
		Río Cisnes antes junta Río Moro	591.4	253.2	57.0
Sub Promedio					59.0
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	615.4	157.4	74.0
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1001.6	413.7	59.0
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	653.9	172.2	74.0
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1350.2	414.7	69.0
Sub Promedio					69.0
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	171.1	49.4	71.0
		Río Las Chinas en Cerro Guido	281.1	128.8	54.0
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	95.2	51.0	47.0
Sub Promedio					57.3
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	650.1	348.4	46.0
		Río San Juan en Desembocadura	704.2	324.4	54.0
Sub Promedio					50.0
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.2	98.1	22.0
		Río Oro en Bahía San Felipe	178.3	102.6	42.0
Sub Promedio					32.0
Promedio					43.3

Fuente: Elaboración propia

El error relativo promedio obtenido al utilizar el modelo precipitación – escorrentía de Grunsky es del 43%, lo que permite concluir que en general el modelo no se ajusta de manera idónea a las cuencas del país. Realizando un análisis más acabado de la información, se observa que el modelo entrega valores de error relativo promedio superiores a 50% para las cuencas ubicadas entre la IV

y VI región, y entre la XI y la XII región, exceptuando la cuenca de Tierra del Fuego. Sólo considerando las cuencas ubicadas entre la VII y la XIV región, el error relativo promedio se reduce a un 28%.

De forma similar al modelo Turc – Pike, la expresión del modelo de Grunsky refleja que en una cuenca solo se puede producir escorrentía media anual nula cuando la precipitación es 0.

En la Figura 7-6 se presenta el grafico XY obtenido para el modelo de Grunsky, que no es más que la comparación entre la escorrentía media anual medida y la escorrentía media anual estimada. Se observa dispersión alrededor de la curva XY, acorde al error relativo promedio obtenido, comentado en el párrafo anterior. Por otra parte, considerando la recta azul y roja, que corresponde a línea de pendiente 1:1 y la de mejor ajuste respectivamente, se concluye que el modelo de Grunsky subestima mínimamente la escorrentía media anual promedio de las cuencas en estudio.

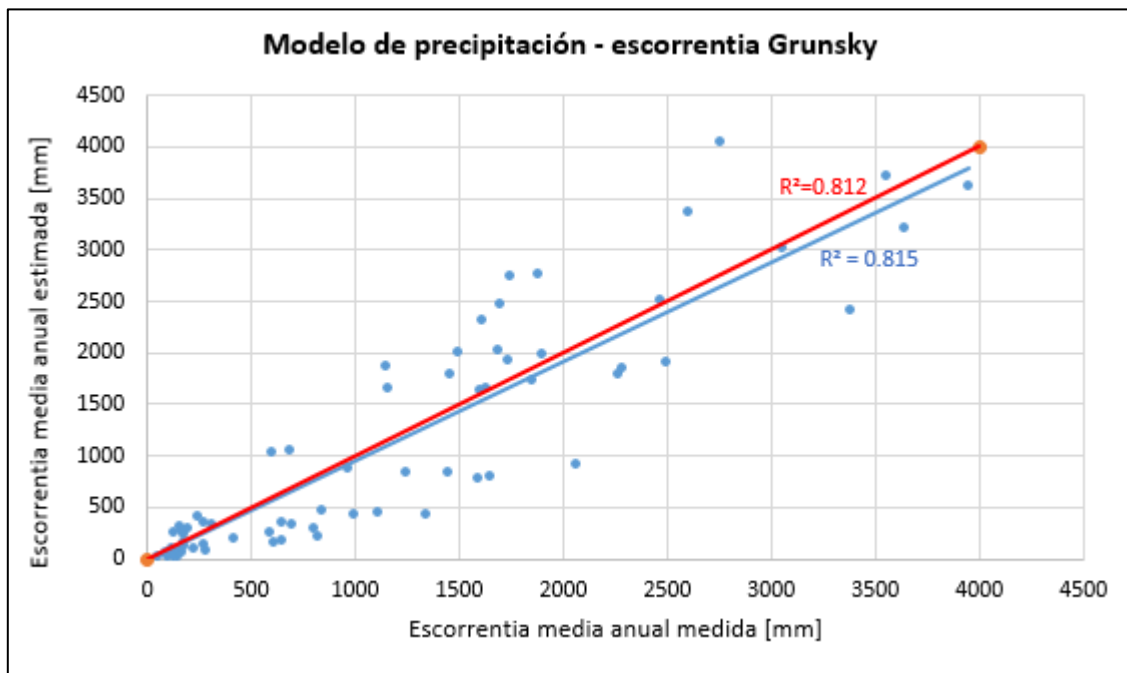


Figura 7-6 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Grunsky
Fuente: Elaboración propia

7.2.5 Modelo precipitación-escorrentía de Peñuelas

El modelo precipitación – escorrentía de Peñuelas y sus relaciones fueron expuestas en el punto 3.3.5 de este estudio. Este modelo, de forma similar al modelo de Grunsky, plantea que la

escorrentía media anual depende únicamente de la variable precipitación media anual. Aplicando este método a las subcuencas estudiadas se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 7-8 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Peñuelas

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	102.6	12.9	87.4
		Río Cochiguaz en el Peñón	157.1	13.1	91.7
		Río Toro antes junta Río La Laguna	52.2	13.8	73.5
		Embalse Laguna	137.4	14.4	89.5
Sub Promedio					85.5
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	143.2	96.1	32.9
		Río Chalinga en La Palmilla	161.4	101.7	37.0
		Río Choapa en Cuncumén	282.9	97.4	65.6
Sub Promedio					45.2
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	204.5	354.3	73.3
		Río Sobrante en Piñadero	166.3	373.1	124.4
Sub Promedio					98.9
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	137.1	309.0	125.4
Sub Promedio					125.4
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278.6	425.4	52.7
		Río Juncal en Juncal	842.7	560.7	33.5
		Río Colorado en Colorado	245.0	489.6	99.9
		Estero Pocuro en el Sifón	181.1	177.3	2.1
Sub Promedio					47.1
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	180.0	293.8	63.2
		Estero Arrayán en La Montosa	170.0	330.2	94.3
		Río Volcán en Queltehues	320.0	406.1	26.9
		Estero Puangue en Boquerón	230.0	103.7	54.9
		Canal Colina en Peldehue	420.0	229.6	45.3
		Río Maipo en San Alfonso	810.0	351.7	56.6
		Río Mapocho en Los Almendros	830.0	264.0	68.2
Sub Promedio					58.5
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	970.0	996.0	3.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1600.0	899.0	44.0
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1455.0	949.0	35.0
Sub Promedio					27.3
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1658.0	918.0	45.0
Sub Promedio					45.0
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1703.0	2580.0	51.0
		Río Claro en los Queñes	1739.0	2044.0	18.0
		Río Colorado en junta con Palos	1612.0	2433.0	51.0
		Río Palos en junta con Colorado	1903.0	2108.0	11.0
Sub Promedio					32.8

Tabla 7-8 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Peñuelas (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2504.0	2033.0	19.0
		Río Achibueno en los Peñascos	1631.0	1768.0	8.0
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1690.0	2142.0	27.0
Sub Promedio					18.0
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	1751.0	2861.0	63.0
		Río Ñuble en la Punilla	1888.0	2879.0	53.0
		Río Diguillín en San Lorenzo	2471.0	2623.0	6.0
Sub Promedio					40.7
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1855.0	1842.0	1.0
		Río Mulchén en Mulchén	1254.0	957.0	24.0
		Río Bureo en Mulchén	2071.0	1029.0	50.0
Sub Promedio					25.0
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1503.0	2128.0	42.0
		Río Cautín en Rariruca	2270.0	1898.0	16.0
		Río Huichahue en Faja 24000	1149.0	1987.0	73.0
Sub Promedio					43.7
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3061.0	3139.0	3.0
		Río Trancura en Curarrehue	2607.0	3139.0	33.0
		Río Liucura en Liucura	2764.0	3475.0	50.0
Sub Promedio					28.7
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3647.0	3335.1	9.0
		Río Cruces en Rucaco	1458.1	1904.4	31.0
		Río Iñaque en Máfil	1166.6	1774.0	52.0
		Río Collileufú en Los Lagos	1604.4	1756.5	9.0
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2292.0	1968.9	14.0
Sub Promedio					23.0
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3559.9	3833.7	8.0
		Río Nilahue en Mayay	3952.0	3739.2	5.0
		Río Coihueco antes junta Pichicope	3387.7	2531.0	25.0
		Río Damas en Tacamo	692.4	1176.1	70.0
		Río Forrahue en Aromos	603.6	1151.7	91.0
Sub Promedio					39.8
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1110.8	542.3	51.0
		Río Cisnes antes junta Río Moro	591.4	316.5	46.0
Sub Promedio					48.5
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	615.4	196.7	68.0
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1001.6	517.0	48.0
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	653.9	215.2	67.0
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1350.2	518.2	62.0
Sub Promedio					61.3
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	171.1	61.7	64.0
		Río Las Chinas en Cerro Guido	281.1	161.0	43.0
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	95.2	63.7	34.0
Sub Promedio					47.0

Tabla 7-8 Resultados obtenidos para cada subcuenca utilizando el modelo de Peñuelas (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	650.1	435.4	33.0
		Río San Juan en Desembocadura	704.2	405.5	42.0
Sub Promedio					37.5
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.2	122.6	3.0
		Río Oro en Bahía San Felipe	178.3	128.2	28.0
Sub Promedio					15.5
Promedio					45.2

Fuente: Elaboración propia

Con la aplicación del modelo de Peñuelas a las subcuencas estudiadas se obtuvo un error relativo promedio del 45%, concluyéndose que a nivel general el ajuste del modelo a las cuencas del país no es bueno. Realizando un análisis más detallado, se observa que sólo 5 de las 21 cuencas en estudio entregaron un error superior al 50%, siendo estas la cuenca del río Elqui, del río Petorca, del río La Ligua, del río Maipo y del río Aysén. Quitando estas cuencas del análisis, el error disminuye a un 34%, el cual es un valor aceptable.

El modelo de Peñuelas, al igual que el modelo de Grunsky y el modelo de Turc – Pike, solo se produce escorrentía cuando precipita sobre la cuenca, a menos que de alguna manera artificial se entregue caudal al sistema.

Observando el grafico XY para este modelo, mostrado en la Figura 7-7, se aprecia que existe una dispersión no menor de los datos en torno a la curva XY. Por otra parte, de forma distinta a lo que ocurre con el resto de los modelos, con el método de Peñuelas existe concordancia entre la línea de pendiente 1 es a 1 (recta roja) y la de mejor ajuste (recta azul), lo cual quiere decir que solo para este grupo de subcuencas la recta de pendiente 1:1 representa fielmente la escorrentía media anual.

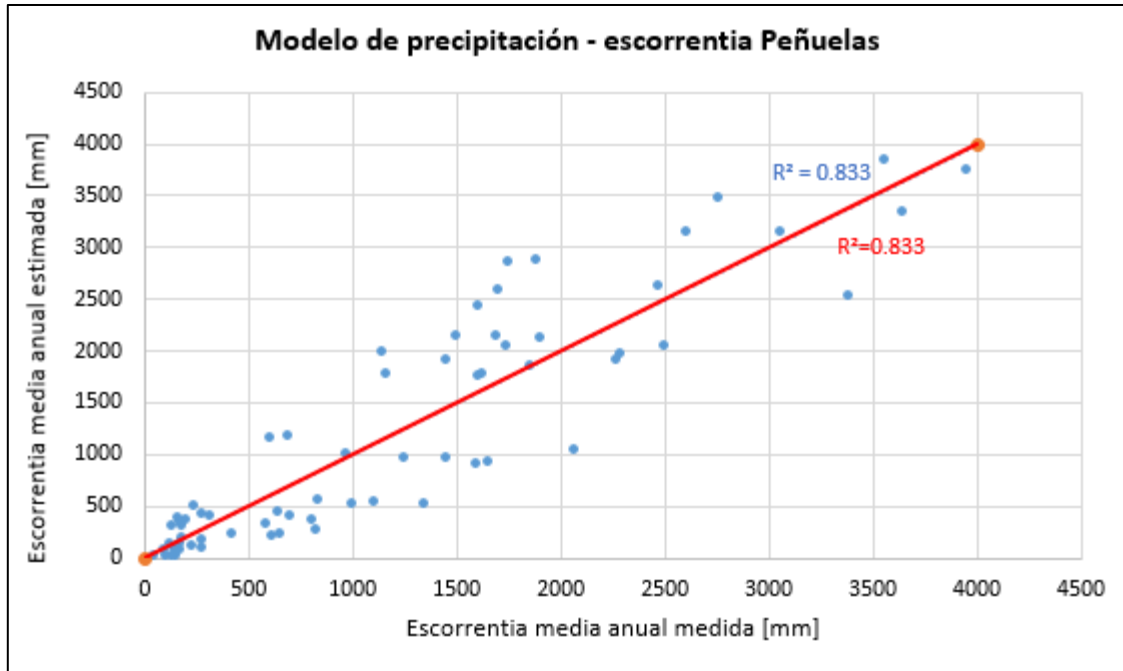


Figura 7-7 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Peñuelas
Fuente: Elaboración propia

7.2.6 Síntesis de los resultados obtenidos

En este punto se entrega una síntesis de los resultados obtenidos con cada uno de los modelos precipitación – escorrentía utilizados para la determinación de la escorrentía media anual en cada una de las subcuencas consideradas. A partir de estos se concluye lo siguiente:

- El error relativo promedio obtenido al evaluar cada uno de los modelos precipitación – escorrentía estudiados fue de un 46% para Turc, 43% para Coutagne, 52% para Turc-Pike, 43% para Grunsky y 45% para Peñuelas.
- Acorde a lo obtenido, a nivel general los modelos de Coutagne y Grunsky son los que entregan una mejor estimación, sin embargo, el error es alto y con ello los métodos poco confiables. Esta situación se acrecienta para el modelo de Turc, Turc-Pike y Peñuelas. Es requerido realizar ajustes a las relaciones utilizadas de tal manera de minimizar el error y que los modelos entreguen resultados satisfactorios.
- Se observa que determinados modelos se comportan de mejor manera para ciertas regiones, lo cual es lógico considerando la variabilidad de climas existentes en nuestro país y que los modelos estudiados consideran variables hidrometeorológicas distintas

para sus estimaciones, ya sea precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración potencial media anual. A raíz de esto, resulta adecuado realizar un análisis por zonas de tal manera de obtener resultados satisfactorios.

- El error relativo promedio obtenido con los modelos precipitación – escorrentía se puede justificar principalmente por el origen de estos mismos, debido a que fueron determinados en otros países, con condiciones climáticas distintas al nuestro. Otro factor es la gran variabilidad climática existente en nuestro territorio, lo cual produce grandes errores en ciertas cuencas y más bajos en otras. Así también, la incertidumbre de los registros de las variables utilizadas (ya sea la medición, relleno y homogeneización) y de las metodologías usadas para el cálculo de cada una de ellas contribuyen al aumento del error.

En la Tabla 7-9 se presenta un resumen con los resultados obtenidos por cada modelo.

Tabla 7-9 Resumen de escorrentías medias anuales estimadas por los métodos precipitación-escorrentía estudiados

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]				
				Turc	Coutagne	Turc-Pike	Grunsky	Peñuelas
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	102.6	10.3	27.2	1.4	10.4	12.9
		Río Cochiguaz en el Peñón	157.1	11.1	28.3	1.4	10.5	13.1
		Río Toro antes junta Río La Laguna	52.2	22.3	51.5	1.8	11.1	13.8
		Embalse Laguna	137.4	36.6	106.4	2.1	11.5	14.4
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	143.2	135.4	142.3	62.7	76.8	96.1
		Río Chalinga en La Palmilla	161.4	157.5	169.1	73.2	81.4	101.7
		Río Choapa en Cuncumén	282.9	143.8	152.5	66.5	77.9	97.4
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	204.5	409.6	395.6	459.4	283.4	354.3
		Río Sobrante en Piñadero	166.3	439.0	431.8	503.9	298.5	373.1
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	137.1	337.9	317.1	356.9	247.2	309.0
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278.6	519.6	533.7	633.1	340.3	425.4
		Río Juncal en Juncal	842.7	721.8	783.5	990.7	450.1	560.7
		Río Colorado en Colorado	245.0	617.0	655.1	802.4	391.7	489.6
		Estero Pocuro en el Sifón	181.1	130.9	142.2	118.1	141.8	177.3
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	180.0	344.2	327.5	197.7	235.0	293.8
		Estero Arrayán en La Montosa	170.0	406.9	402.7	240.2	264.2	330.2
		Río Volcán en Queltehues	320.0	549.2	592.7	352.6	324.9	406.1
		Estero Puangue en Boquerón	230.0	44.8	74.8	33.2	83.0	103.7
		Canal Colina en Peldehue	420.0	232.6	219.9	129.6	183.7	229.6
		Río Maipo en San Alfonso	810.0	446.9	456.7	269.3	281.4	351.7
		Río Mapocho en Los Almendros	830.0	291.4	273.1	164.2	211.2	264.0
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	970.0	1078.0	1118.0	654.0	871.0	996.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1600.0	938.0	961.0	573.0	774.0	899.0
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1455.0	1009.0	1041.0	616.0	824.0	949.0
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1658.0	966.0	993.0	911.0	793.0	918.0

Tabla 7-9 Resumen de escorrentías medias anuales estimadas por los métodos precipitación-escorrentía estudiados (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]				
				Turc	Coutagne	Turc-Pike	Grunsky	Peñuelas
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1703.0	2758.0	2847.0	2285.0	2455.0	2580.0
		Río Claro en los Queñes	1739.0	2148.0	2208.0	1701.0	1919.0	2044.0
		Río Colorado en junta con Palos	1612.0	2591.0	2672.0	2124.0	2308.0	2433.0
		Río Palos en junta con Colorado	1903.0	2222.0	2285.0	1770.0	1983.0	2108.0
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2504.0	2080.0	2124.0	1811.0	1908.0	2033.0
		Río Achibueno en los Peñascos	1631.0	1763.0	1797.0	1474.0	1643.0	1768.0
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1690.0	2209.0	2259.0	1953.0	2017.0	2142.0
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	1751.0	2936.0	2990.0	2474.0	2736.0	2861.0
		Río Ñuble en la Punilla	1888.0	2956.0	3010.0	2492.0	2754.0	2879.0
		Río Diguillín en San Lorenzo	2471.0	2668.0	2714.0	2235.0	2498.0	2623.0
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1855.0	1861.0	1899.0	1698.0	1717.0	1842.0
		Río Mulchén en Mulchén	1254.0	813.0	820.0	628.0	832.0	957.0
		Río Bureo en Mulchén	2071.0	926.0	937.0	777.0	904.0	1029.0
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1503.0	2158.0	2199.0	1852.0	2003.0	2128.0
		Río Cautín en Rariruca	2270.0	1906.0	1943.0	1603.0	1773.0	1898.0
		Río Huichahue en Faja 24000	1149.0	1905.0	1940.0	1673.0	1863.0	1987.0
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3061.0	3154.0	3198.0	2953.0	3014.0	3139.0
		Río Trancura en Curarrehue	2607.0	3486.0	3530.0	3222.0	3350.0	3139.0
		Río Liucura en Liucura	2764.0	4143.0	4186.0	3888.0	4034.0	3475.0
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3647.0	3408.1	3462.4	3385.7	3210.1	3335.1
		Río Cruces en Rucaco	1458.1	1851.3	1884.5	1688.2	1779.4	1904.4
		Río Lñaque en Máfil	1166.6	1709.1	1740.6	1526.9	1649.0	1774.0
		Río Collileufu en Los Lagos	1604.4	1689.9	1721.3	1505.4	1631.5	1756.5
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2292.0	1921.8	1955.6	1768.9	1843.9	1968.9

Tabla 7-9 Resumen de escorrentías medias anuales estimadas por los métodos precipitación-escorrentía estudiados (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]				
				Turc	Coutagne	Turc-Pike	Grunsky	Peñuelas
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3559.9	3881.6	3931.2	3607.0	3708.7	3833.7
		Río Nilahue en Mayay	3952.0	3782.9	3831.7	3510.1	3614.2	3739.2
		Río Coihueco antes junta Pichicope	3387.7	2520.1	2559.2	2277.5	2406.0	2531.0
		Río Damas en Tacamo	692.4	1113.8	1132.1	939.2	1051.1	1176.1
		Río Forrahue en Aromos	603.6	1089.0	1106.4	916.4	1026.7	1151.7
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1110.8	649.7	680.7	426.9	434.5	542.3
		Río Cisnes antes junta Río Moro	591.4	406.1	410.2	237.6	253.2	316.5
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	615.4	248.8	239.4	118.1	157.4	196.7
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1001.6	599.9	616.3	376.7	413.7	517.0
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	653.9	300.0	302.8	132.6	172.2	215.2
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1350.2	596.1	610.2	376.9	414.7	518.2
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	171.1	102.2	122.8	47.1	49.4	61.7
		Río Las Chinas en Cerro Guido	281.1	260.5	287.7	152.4	128.8	161.0
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	95.2	79.0	90.6	49.0	51.0	63.7
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	650.1	544.9	568.9	429.1	348.4	435.4
		Río San Juan en Desembocadura	704.2	511.3	531.0	401.8	324.4	405.5
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.2	176.3	180.5	96.9	98.1	122.6
		Río Oro en Bahía San Felipe	178.3	186.0	190.4	102.3	102.6	128.2

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 8: Evaluación de los modelos precipitación – escorrentía con metodología alternativa

Considerando que los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los modelos precipitación-escorrentía a las subcuencas en estudio no son satisfactorios, se procede a realizar el cálculo siguiendo una metodología distinta, de tal manera de determinar si este nuevo procedimiento genera mejoras en la estimación y con ellos resultados más confiables.

En el presente capítulo se presenta entonces la metodología alternativa mencionada, la cual no fue utilizada en las cuatro memorias de título en las que se basa este estudio, junto con los resultados obtenidos para cada modelo y cada subcuenca.

8.1 Metodología aplicada

De forma similar al procedimiento utilizado para la determinación de la escorrentía media anual mediante los modelos precipitación – escorrentía, cuyos resultados fueron presentados en el capítulo anterior, se calcula la misma variable pero efectuando el procedimiento por banda hipsométrica.

El método consiste en definir la escorrentía para cada banda de la curva hipsométrica. Para esto, la curva hipsométrica de cada subcuenca analizada es dividida en un número de intervalos estándar, para los cuales se define una cota representativa. Luego, recurriendo a relaciones del tipo variable – altura se obtienen las variables hidrometeorológicas precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración potencial media anual para cada banda, para posteriormente, determinar la escorrentía media anual con el modelo en cuestión. Después, usando el área de cada una de éstas como factor de ponderación, se procede a obtener la escorrentía media anual en la hoya hidrográfica analizada. En la Tabla 8-1 se muestra un ejemplo de la metodología utilizada, en este caso en la estación estero Derecho en Alcohuaz para el modelo de Grunsky.

En el caso particular de las cuencas del río Cisnes, río Aysén y río Serrano, la variable precipitación media anual para cada banda será obtenida mediante la metodología precipitación - coordenada UTM Este. Situación similar es la que acontece en la cuenca del río Valdivia y del río Bueno, en donde es la variable evapotranspiración potencial media anual la que es determinada mediante una relación evapotranspiración potencial – coordenada UTM Este.

Tabla 8-1 Ejemplo de metodología alternativa utilizada en estación Estero Derecho en Alcohuaz

Cota Inicial [m]	Cota Final [m]	Cota Media [m]	A Acum [km ²]	A Interv [km ²]	Tma [°C]	ETPma [mm]	Pma [mm]	Modelo Grunsky	
								Es [mm]	Es*Ai [mm*km ²]
1971	2509	2239.8	41.5	41.5	9.5	1514.4	136.3	7.4	308.4
2509	2946	2727.2	83	41.5	6.4	1408.9	146.1	8.5	354.3
2946	3248	3096.7	124.5	41.5	4	1328.9	153.5	9.4	391.1
3248	3497	3372.2	166	41.5	2.2	1269.3	159.1	10.1	420.2
3497	3670	3583.5	207.5	41.5	0.9	1223.5	163.3	10.7	442.7
3670	3823	3746.4	249	41.5	-0.2	1188.3	166.6	11.1	460.7
3823	3926	3874.5	290.5	41.5	-1	1160.5	169.2	11.5	475.2
3926	4031	3978.8	332	41.5	-1.7	1138.0	171.3	11.7	487.1
4031	4172	4000	373.5	41.5	-2.5	1111.3	171.7	11.8	489.4
4172	5400	4000	415.1	41.6	-6.9	963.2	171.7	11.8	490.6
								ΣEs*As	4319.7
								Es [mm]	10.41

Fuente: Elaboración propia

8.2 Resultados obtenidos

8.2.1 Modelo precipitación – escorrentía de Turc

El modelo precipitación – escorrentía de Turc fue detallado previamente en el punto 3.3.1. Los resultados obtenidos mediante el nuevo procedimiento descrito se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8-2 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	18.3	10.3	102.6	82.2
		Río Cochiguaz en el Peñón	17.5	11.1	157.1	88.8
		Río Toro antes junta Río La Laguna	37.5	22.3	52.2	28.2
		Embalse Laguna	42.1	36.6	137.4	69.3
Sub Promedio						67.1
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	146.2	135.4	143.2	2.1
		Río Chalinga en La Palmilla	169.1	157.5	161.4	4.7
		Río Choapa en Cuncumén	162.0	143.8	282.9	42.7
Sub Promedio						16.5
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	417.9	409.6	204.5	104.4
		Río Sobrante en Piñadero	451.2	439.0	166.3	171.4
Sub Promedio						137.9
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	373.7	337.9	137.1	172.6
Sub Promedio						172.6

**Tabla 8-2 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc
(Continuación)**

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	542.8	519.6	278.6	94.8
		Río Juncal en Juncal	738.1	721.8	842.7	12.4
		Río Colorado en Colorado	631.4	617.0	245.0	157.7
		Estero Pocuro en el Sifón	158.5	130.9	181.1	12.5
Sub Promedio					69.4	
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	355.9	344.2	180.0	97.7
		Estero Arrayán en La Montosa	416.0	406.9	170.0	144.7
		Río Volcán en Queltehues	552.2	549.2	320.0	72.6
		Estero Puangue en Boquerón	45.6	44.8	230.0	80.2
		Canal Colina en Peldehue	244.5	232.6	420.0	41.8
		Río Maipo en San Alfonso	452.1	446.9	810.0	44.2
		Río Mapocho en Los Almendros	301.1	291.4	830.0	63.7
Sub Promedio					77.8	
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	1077.7	1078.0	970.0	11.1
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	937.5	938.0	1600.0	41.4
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1009.3	1009.0	1455.0	30.6
Sub Promedio					27.7	
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	967.4	966.0	1658.0	41.7
Sub Promedio					41.7	
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	2757.4	2758.0	1703.0	61.9
		Río Claro en los Queñes	2147.5	2148.0	1739.0	23.5
		Río Colorado en junta con Palos	2589.5	2591.0	1612.0	60.6
		Río Palos en junta con Colorado	2217.4	2222.0	1903.0	16.5
Sub Promedio					40.6	
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2077.9	2080.0	2504.0	17.0
		Río Achibueno en los Peñascos	1758.3	1763.0	1631.0	7.8
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	2200.4	2209.0	1690.0	30.2
Sub Promedio					18.3	
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	2934.6	2936.0	1751.0	67.6
		Río Ñuble en la Punilla	2953.3	2956.0	1888.0	56.4
		Río Diguillín en San Lorenzo	3777.4	2668.0	2471.0	52.9
Sub Promedio					59.0	
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1859.0	1861.0	1855.0	0.2
		Río Mulchén en Mulchén	813.0	813.0	1254.0	35.2
		Río Bureo en Mulchén	925.0	926.0	2071.0	55.3
Sub Promedio					30.2	
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	2160.5	2158.0	1503.0	43.7
		Río Cautín en Rariruca	1905.4	1906.0	2270.0	16.1
		Río Huichahue en Faja 24000	1908.8	1905.0	1149.0	66.1
Sub Promedio					42.0	

Tabla 8-2 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3150.9	3154.0	3061.0	2.9
		Río Trancura en Curarrehue	3483.2	3486.0	2607.0	33.6
		Río Liucura en Liucura	4218.8	4143.0	2764.0	52.6
Sub Promedio						29.7
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3406.9	3408.1	3647.0	6.6
		Río Cruces en Rucaco	1850.7	1851.3	1458.1	26.9
		Río Ñaïque en Máfil	1709.9	1709.1	1166.6	46.6
		Río Collileufú en Los Lagos	1691.1	1689.9	1604.4	5.4
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	1922.6	1921.8	2292.0	16.1
Sub Promedio						20.3
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3880.0	3881.6	3559.9	9.0
		Río Nilahue en Mayay	3780.4	3782.9	3952.0	4.3
		Río Coihueco antes junta Pichicope	2520.7	2520.1	3387.7	25.6
		Río Damas en Tacamo	1114.6	1113.8	692.4	61.0
		Río Forrahue en Aromos	1088.9	1089.0	603.6	80.4
Sub Promedio						36.1
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	673.5	649.7	1110.8	39.4
		Río Cisnes antes junta Río Moro	382.4	406.1	591.4	35.3
Sub Promedio						37.4
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	254.2	248.8	615.4	58.7
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	657.3	599.9	1001.6	34.4
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	302.8	300.0	653.9	53.7
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	641.7	596.1	1350.2	52.5
Sub Promedio						49.8
XII	Río Serrano	Río Bagueles en Cerro Guido	109.9	102.2	171.1	35.8
		Río Las Chinas en Cerro Guido	250.5	260.5	281.1	10.9
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	79.0	79.0	95.2	17.0
Sub Promedio						21.2
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	551.1	544.9	650.1	15.2
		Río San Juan en Desembocadura	518.8	511.3	704.2	26.3
Sub Promedio						20.8
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	181.6	176.3	126.2	44.0
		Río Oro en Bahía San Felipe	195.7	186.0	178.3	9.8
Sub Promedio						26.9
Promedio						46.7

Fuente: Elaboración propia

Considerando el total de las subcuencas analizadas, se obtiene un error promedio igual a 47%, el cual que es muy similar al obtenido siguiendo el procedimiento normal que fue de 46%. Las cuencas

de la V región y la del río Maipo son las que presentan un mayor porcentaje de error, correspondiente a un 104% (Petorca, La Ligua y Aconcagua) y 78% respectivamente. Así también, hay seis cuencas con un error relativo superior al 50%, que son las anteriormente mencionadas más la cuenca del río Elqui y la cuenca del río Itata. Se observa que el modelo se comporta de buena manera en las cuencas del sur del país, de hecho, al sólo considerar las hoyas hidrográficas ubicadas entre la IX y XII región, el error se ve reducido a un 32%.

El grafico XY para el modelo de Turc se muestra en la Figura 8-1. Como allí puede observarse, los datos presentan clara dispersión alrededor de la línea roja (pendiente 1 es a 1). En esta misma gráfica, la línea azul representa la recta de mejor ajuste, observándose que varias subcuencas se alejan bastante de la tendencia. Por otra parte, a partir de la pendiente de las dos rectas presentadas, se puede concluir que el modelo sobrestima la escorrentía media anual promedio del grupo de subcuencas analizadas.

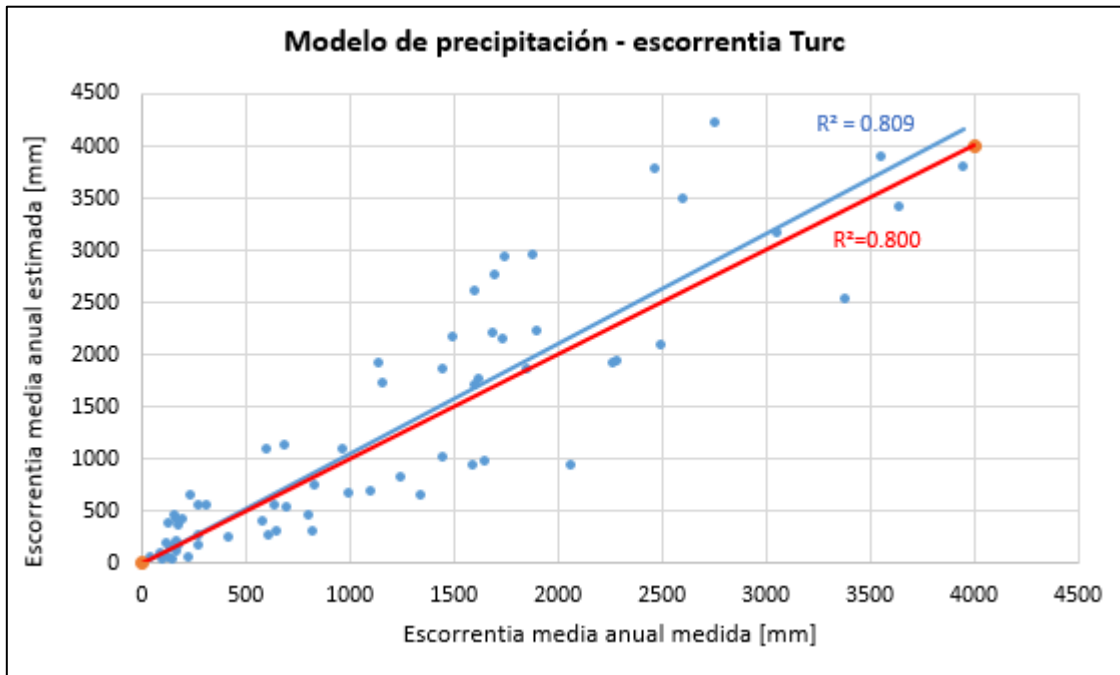


Figura 8-1 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Turc mediante procedimiento por banda hipsométrica
Fuente: Elaboración propia

8.2.2 Modelo precipitación – escorrentía de Coutagne

El modelo precipitación – escorrentía de Coutagne fue presentado en el punto 3.3.2 de este documento. En la Tabla 8-3 puede observarse la escorrentía media anual estimada para cada subcuenca en estudio.

Tabla 8-3 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Coutagne

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuz	46.2	27.2	102.6	54.9
		Río Cochiguaz en el Peñón	44.6	28.3	157.1	71.6
		Río Toro antes junta Río La Laguna	95.3	51.5	52.2	82.6
		Embalse Laguna	130.4	106.4	137.4	5.1
Sub Promedio					53.5	
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	169.8	142.3	143.2	18.6
		Río Chalinga en La Palmilla	205.2	169.1	161.4	27.1
		Río Choapa en Cuncumén	196.0	152.5	282.9	30.7
Sub Promedio					25.5	
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	421.5	395.6	204.5	106.1
		Río Sobrante en Piñadero	464.1	431.8	166.3	179.2
Sub Promedio					142.7	
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	385.3	317.1	137.1	181.0
Sub Promedio					181.0	
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	579.7	533.7	278.6	108.1
		Río Juncal en Juncal	794.7	783.5	842.7	5.7
		Río Colorado en Colorado	679.2	655.1	245.0	177.3
		Estero Pocuro en el Sifón	170.2	142.2	181.1	6.0
Sub Promedio					74.3	
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	364.7	327.5	180.0	102.6
		Estero Arrayán en La Montosa	431.7	402.7	170.0	154.0
		Río Volcán en Queltehues	596.5	592.7	320.0	86.4
		Estero Puangue en Boquerón	75.2	74.8	230.0	67.3
		Canal Colina en Peldehue	241.9	219.9	420.0	42.4
		Río Maipo en San Alfonso	470.8	456.7	810.0	41.9
		Río Mapocho en Los Almendros	300.7	273.1	830.0	63.8
Sub Promedio					79.8	
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	1120.4	1118.0	970.0	15.5
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	962.9	961.0	1600.0	39.8
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1045.4	1041.0	1455.0	28.2
Sub Promedio					27.8	
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	999.8	993.0	1658.0	39.7
Sub Promedio					39.7	

Tabla 8-3 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Coutagne (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	2846.9	2847.0	1703.0	67.2
		Río Claro en los Queñes	2209.5	2208.0	1739.0	27.1
		Río Colorado en junta con Palos	2671.5	2672.0	1612.0	65.7
		Río Palos en junta con Colorado	2282.9	2285.0	1903.0	20.0
Sub Promedio						45.0
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2125.3	2124.0	2504.0	15.1
		Río Achibueno en los Peñascos	1797.6	1797.0	1631.0	10.2
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	2252.6	2259.0	1690.0	33.3
Sub Promedio						19.5
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	2990.8	2990.0	1751.0	70.8
		Río Ñuble en la Punilla	3011.0	3010.0	1888.0	59.5
		Río Diguillín en San Lorenzo	3863.9	2714.0	2471.0	56.4
Sub Promedio						62.2
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1898.5	1899.0	1855.0	2.3
		Río Mulchén en Mulchén	819.9	820.0	1254.0	34.6
		Río Bureo en Mulchén	936.9	937.0	2071.0	54.8
Sub Promedio						30.6
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	2203.2	2199.0	1503.0	46.6
		Río Cautín en Rariruca	1941.9	1943.0	2270.0	14.5
		Río Huichahue en Faja 24000	1940.7	1940.0	1149.0	68.9
Sub Promedio						43.3
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3195.7	3198.0	3061.0	4.4
		Río Trancura en Curarrehue	3530.2	3530.0	2607.0	35.4
		Río Liucura en Liucura	4263.9	4186.0	2764.0	54.3
Sub Promedio						31.4
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3462.8	3462.4	3647.0	5.1
		Río Cruces en Rucaco	1883.7	1884.5	1458.1	29.2
		Río Ñaquel en Máfil	1741.2	1740.6	1166.6	49.2
		Río Collileufú en Los Lagos	1722.2	1721.3	1604.4	7.3
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	1956.4	1955.6	2292.0	14.6
Sub Promedio						21.1
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3930.2	3931.2	3559.9	10.4
		Río Nilahue en Mayay	3830.7	3831.7	3952.0	3.1
		Río Coihueco antes junta Pichicope	2558.7	2559.2	3387.7	24.5
		Río Damas en Tacamo	1132.0	1132.1	692.4	63.5
		Río Forrahue en Aromos	1106.1	1106.4	603.6	83.2
Sub Promedio						36.9
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	704.5	680.7	1110.8	36.6
		Río Cisnes antes junta Río Moro	394.7	410.2	591.4	33.3
Sub Promedio						34.9

Tabla 8-3 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Coutagne (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	251.0	239.4	615.4	59.2
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	676.0	616.3	1001.6	32.5
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	316.4	302.8	653.9	51.6
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	657.5	610.2	1350.2	51.3
Sub Promedio					48.7	
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	139.7	122.8	171.1	18.4
		Río Las Chinas en Cerro Guido	282.5	287.7	281.1	0.5
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	90.4	90.6	95.2	5.0
Sub Promedio					8.0	
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	573.6	568.9	650.1	11.8
		Río San Juan en Desembocadura	538.4	531.0	704.2	23.5
Sub Promedio					17.7	
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	190.0	180.5	126.2	50.6
		Río Oro en Bahía San Felipe	209.3	190.4	178.3	17.4
Sub Promedio					34.0	
Promedio					47.1	

Fuente: Elaboración propia

El error promedio de todas las cuencas analizadas en este estudio con el modelo de Coutagne, siguiendo la metodología por banda hipsométrica, es de un 47%. Como puede observarse en la Tabla 8-3, la escorrentía media anual estimada mediante la nueva metodología es bastante similar a la obtenida utilizando el procedimiento normal. Al igual que en el modelo de Turc, la cuenca del río Petorca, La Ligua, Aconcagua y Maipo son las que presentan un mayor error, igual a 143%, 181%, 74% y 80% respectivamente. De la misma manera, son seis las cuencas con un error mayor al 50%, que son las ya mencionadas más la cuenca del río Elqui y el río Itata. Considerando que de estas seis cuencas todas se encuentran ya sea en la región metropolitana o hacia el norte, se concluye que el modelo de Coutagne se ajusta de mejor manera en las cuencas del sur de Chile, lo que se corrobora con los números, ya que al considerar sólo las cuencas entre la IX y XII región, el error se reduce a un 31%.

El gráfico XY del modelo de Coutagne, que relaciona la escorrentía media anual medida y estimada, es presentado en la siguiente figura:

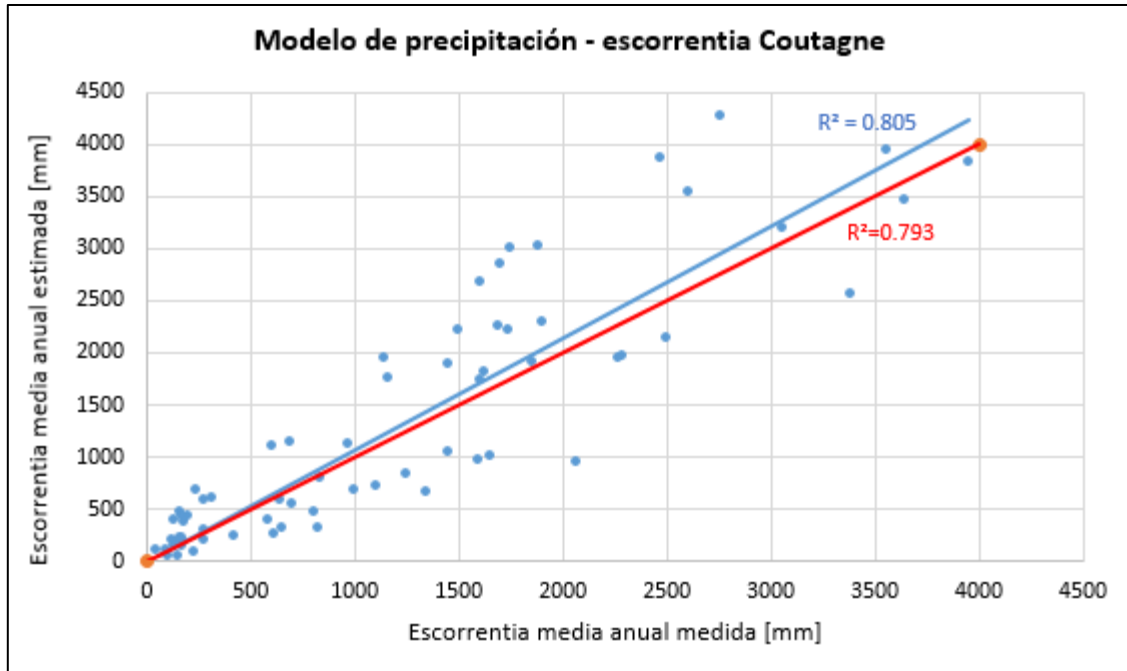


Figura 8-2 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Coutagne mediante procedimiento por banda hipsométrica
Fuente: Elaboración propia

Se observa una notoria dispersión de los datos alrededor de la curva XY (línea roja de pendiente 1 es a 1), la cual va en aumento a medida que los caudales son más altos. Así también, el modelo de Coutagne sobreestima el valor de escorrentía media anual promedio de las cuencas, ya que la recta de mejor ajuste (línea azul) tiene una pendiente mayor que 1.

8.2.3 Modelo precipitación – escorrentía de Turc-Pike

El modelo precipitación – escorrentía de Turc – Pike fue expuesto en el punto 3.3.3 de este estudio. Los resultados obtenidos mediante la aplicación de este modelo con la metodología antes descrita se presentan en la Tabla 8-4.

Tabla 8-4 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc - Pike

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	1.5	1.4	102.6	98.5
		Río Cochiguaz en el Peñón	1.5	1.4	157.1	99.0
		Río Toro antes junta Río La Laguna	1.9	1.8	52.2	96.3
		Embalse Laguna	2.3	2.1	137.4	98.4
Sub Promedio					98.1	
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	70.9	62.7	143.2	50.5
		Río Chalinga en La Palmilla	82.6	73.2	161.4	48.8
		Río Choapa en Cuncumén	80.6	66.5	282.9	71.5
Sub Promedio					56.9	
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	489.7	459.4	204.5	139.5
		Río Sobrante en Piñadero	549.3	503.9	166.3	230.4
Sub Promedio					185.0	
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	446.2	356.9	137.1	225.5
Sub Promedio					225.5	
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	641.8	633.1	278.6	130.4
		Río Juncal en Juncal	870.0	990.7	842.7	3.2
		Río Colorado en Colorado	750.3	802.4	245.0	206.3
		Estero Pocuro en el Sifón	167.8	118.1	181.1	7.3
Sub Promedio					86.8	
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	217.9	197.7	180.0	21.1
		Estero Arrayán en La Montosa	259.7	240.2	170.0	52.8
		Río Volcán en Queltehues	365.5	352.6	320.0	14.2
		Estero Puangue en Boquerón	33.6	33.2	230.0	85.4
		Canal Colina en Peldehue	141.3	129.6	420.0	66.4
		Río Maipo en San Alfonso	284.6	269.3	810.0	64.9
		Río Mapocho en Los Almendros	177.8	164.2	830.0	78.6
Sub Promedio					54.7	
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	663.8	654.0	970.0	31.6
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	579.5	573.0	1600.0	63.8
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	624.4	616.0	1455.0	57.1
Sub Promedio					50.8	
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	931.1	911.0	1658.0	43.8
Sub Promedio					43.8	
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	2290.8	2285.0	1703.0	34.5
		Río Claro en los Queñes	1720.7	1701.0	1739.0	1.1
		Río Colorado en junta con Palos	2136.8	2124.0	1612.0	32.6
		Río Palos en junta con Colorado	1787.2	1770.0	1903.0	6.1
Sub Promedio					18.6	
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	1821.8	1811.0	2504.0	27.2
		Río Achibueno en los Peñascos	1505.2	1474.0	1631.0	7.7
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1954.3	1953.0	1690.0	15.6
Sub Promedio					16.9	

**Tabla 8-4 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc – Pike
(Continuación)**

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	2477.2	2474.0	1751.0	41.5
		Río Ñuble en la Punilla	2498.1	2492.0	1888.0	32.3
		Río Diguillín en San Lorenzo	3304.1	2235.0	2471.0	33.7
Sub Promedio						35.8
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1704.7	1698.0	1855.0	8.1
		Río Mulchén en Mulchén	641.3	628.0	1254.0	48.9
		Río Bureo en Mulchén	806.5	777.0	2071.0	61.1
Sub Promedio						39.3
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1866.4	1852.0	1503.0	24.2
		Río Cautín en Rariruca	1615.9	1603.0	2270.0	28.8
		Río Huichahue en Faja 24000	1687.4	1673.0	1149.0	46.9
Sub Promedio						33.3
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	2956.3	2953.0	3061.0	3.4
		Río Trancura en Curarrehue	3223.2	3222.0	2607.0	23.6
		Río Liucura en Liucura	3967.2	3888.0	2764.0	43.5
Sub Promedio						23.5
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3386.8	3385.7	3647.0	7.1
		Río Cruces en Rucaco	1692.2	1688.2	1458.1	16.0
		Río Ñaquete en Máfil	1531.3	1526.9	1166.6	31.3
		Río Collileufu en Los Lagos	1508.3	1505.4	1604.4	6.0
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	1772.3	1768.9	2292.0	22.7
Sub Promedio						16.6
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3612.0	3607.0	3559.9	1.5
		Río Nilahue en Mayay	3517.7	3510.1	3952.0	11.0
		Río Coihueco antes junta Pichicope	2285.5	2277.5	3387.7	32.5
		Río Damas en Tacamo	941.2	939.2	692.4	35.9
		Río Forrahue en Aromos	916.9	916.4	603.6	51.9
Sub Promedio						26.6
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	454.2	426.9	1110.8	59.1
		Río Cisnes antes junta Río Moro	256.1	237.6	591.4	56.7
Sub Promedio						57.9
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	126.4	118.1	615.4	79.5
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	436.4	376.7	1001.6	56.4
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	137.3	132.6	653.9	79.0
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	453.7	376.9	1350.2	66.4
Sub Promedio						70.3
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	47.4	47.1	171.1	72.3
		Río Las Chinas en Cerro Guido	142.4	152.4	281.1	49.4
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	50.1	49.0	95.2	47.4
Sub Promedio						56.4

Tabla 8-4 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Turc – Pike (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	436.8	429.1	650.1	32.8
		Río San Juan en Desembocadura	410.9	401.8	704.2	41.7
Sub Promedio						37.2
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	100.9	96.9	126.2	20.0
		Río Oro en Bahía San Felipe	109.9	102.3	178.3	38.3
Sub Promedio						29.2
Promedio						52.5

Fuente: Elaboración propia

Mediante la aplicación del modelo precipitación – escorrentía de Turc – Pike utilizando la metodología por banda hipsométrica, se obtuvo un error relativo promedio al considerar todas las cuencas igual a 53%, similar a la metodología tradicional que entregó un error promedio de 52%. La cuenca del río Petorca y del río La Ligua son las presentan una mayor dispersión, entregando un error relativo de 185% y 226% respectivamente. Se observa que desde la cuenca del río Cachapoal hacia el norte, todas las cuencas presentan un error superior al 50%, situación que también se da para la XI región. Considerando las hoyas hidrográficas ubicadas al sur de la cuenca del río Cachapoal, exceptuando las de la XI región, el error relativo promedio disminuye a un 31%.

En la Figura 8-3 se muestra el diagrama XY para este modelo. En esta se aprecia que existe una clara dispersión de los datos frente a la recta de mejor ajuste (línea azul) y la recta de pendiente 1 es a 1 (línea roja). Como puede observarse, en base al promedio de las subcuenas analizadas en este estudio, y a diferencia del modelo de Turc y Coutagne, el modelo de Turc – Pike tiende a subestimar la escorrentía media anual.

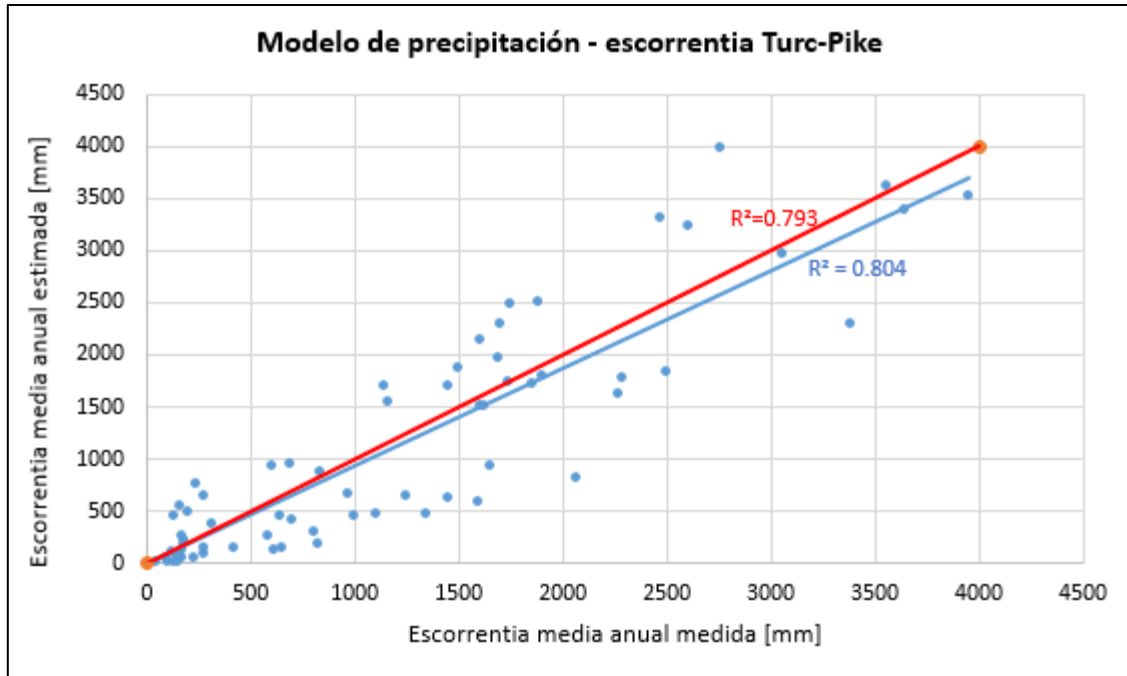


Figura 8-3 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Turc-Pike mediante procedimiento por banda hipsométrica
Fuente: Elaboración propia

8.2.4 Modelo precipitación – escorrentía de Grunsky

El modelo precipitación – escorrentía de Grunsky fue explicado en el punto 3.3.4 de este documento. Los resultados obtenidos mediante su aplicación son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 8-5 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Grunsky

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	10.4	10.4	102.6	89.9
		Río Cochiguaz en el Peñón	10.5	10.5	157.1	93.3
		Río Toro antes junta Río La Laguna	11.1	11.1	52.2	78.8
		Embalse Laguna	11.5	11.5	137.4	91.6
Sub Promedio						88.4
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	76.7	76.8	143.2	46.4
		Río Chalinga en La Palmilla	82.2	81.4	161.4	49.1
		Río Choapa en Cuncumén	79.1	77.9	282.9	72.0
Sub Promedio						55.8
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	289.5	283.4	204.5	41.6
		Río Sobrante en Piñadero	308.4	298.5	166.3	85.5
Sub Promedio						63.6
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	266.8	247.2	137.1	94.6
Sub Promedio						94.6

Tabla 8-5 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Grunsky (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	362.9	340.3	278.6	30.3
		Río Juncal en Juncal	475.8	450.1	842.7	43.5
		Río Colorado en Colorado	407.7	391.7	245.0	66.4
		Estero Pocuro en el Sifón	151.2	141.8	181.1	16.5
Sub Promedio					39.2	
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	241.7	235.0	180.0	34.3
		Estero Arrayán en La Montosa	270.6	264.2	170.0	59.2
		Río Volcán en Queltehues	327.7	324.9	320.0	2.4
		Estero Puangue en Boquerón	83.2	83.0	230.0	63.8
		Canal Colina en Peldehue	188.0	183.7	420.0	55.2
		Río Maipo en San Alfonso	285.7	281.4	810.0	64.7
		Río Mapocho en Los Almendros	216.1	211.2	830.0	74.0
Sub Promedio					50.5	
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	872.7	871.0	970.0	10.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	776.2	774.0	1600.0	51.5
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	826.3	824.0	1455.0	43.2
Sub Promedio					34.9	
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	797.1	793.0	1658.0	51.9
Sub Promedio					51.9	
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	2455.0	2455.0	1703.0	44.2
		Río Claro en los Queñes	1919.8	1919.0	1739.0	10.4
		Río Colorado en junta con Palos	2308.1	2308.0	1612.0	43.2
		Río Palos en junta con Colorado	1981.4	1983.0	1903.0	4.1
Sub Promedio					25.5	
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	1909.1	1908.0	2504.0	23.8
		Río Achibueno en los Peñascos	1643.3	1643.0	1631.0	0.8
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	2012.4	2017.0	1690.0	19.1
Sub Promedio					14.5	
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	2736.6	2736.0	1751.0	56.3
		Río Ñuble en la Punilla	2754.7	2754.0	1888.0	45.9
		Río Diguillín en San Lorenzo	3492.1	2498.0	2471.0	41.3
Sub Promedio					47.8	
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1715.9	1717.0	1855.0	7.5
		Río Mulchén en Mulchén	831.4	832.0	1254.0	33.7
		Río Bureo en Mulchén	904.2	904.0	2071.0	56.3
Sub Promedio					32.5	
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	2006.1	2003.0	1503.0	33.5
		Río Cautín en Rariruca	1773.8	1773.0	2270.0	21.9
		Río Huichahue en Faja 24000	1862.7	1863.0	1149.0	62.1
Sub Promedio					39.1	

Tabla 8-5 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Grunsky (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3013.3	3014.0	3061.0	1.6
		Río Trancura en Curarrehue	3350.3	3350.0	2607.0	28.5
		Río Liucura en Liucura	4111.6	4034.0	2764.0	48.8
Sub Promedio					26.3	
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3210.1	3210.1	3647.0	12.0
		Río Cruces en Rucaco	1779.4	1779.4	1458.1	22.0
		Río Inaque en Mafil	1649.0	1649.0	1166.6	41.3
		Río Collileufu en Los Lagos	1631.5	1631.5	1604.4	1.7
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	1843.9	1843.9	2292.0	19.5
Sub Promedio					19.3	
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3708.7	3708.7	3559.9	4.2
		Río Nilahue en Mayay	3614.2	3614.2	3952.0	8.5
		Río Coihueco antes junta Pichicope	2406.0	2406.0	3387.7	29.0
		Río Damas en Tacamo	1051.1	1051.1	692.4	51.8
		Río Forrahue en Aromos	1026.7	1026.7	603.6	70.1
Sub Promedio					32.7	
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	465.4	434.5	1110.8	58.1
		Río Cisnes antes junta Río Moro	275.9	253.2	591.4	53.4
Sub Promedio					55.7	
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	168.0	157.4	615.4	72.7
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	479.6	413.7	1001.6	52.1
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	175.7	172.2	653.9	73.1
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	498.1	414.7	1350.2	63.1
Sub Promedio					65.3	
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	49.4	49.4	171.1	71.1
		Río Las Chinas en Cerro Guido	121.5	128.8	281.1	56.8
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	51.7	51.0	95.2	45.8
Sub Promedio					57.9	
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	364.2	348.4	650.1	44.0
		Río San Juan en Desembocadura	341.6	324.4	704.2	51.5
Sub Promedio					47.7	
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	100.9	98.1	126.2	20.0
		Río Oro en Bahía San Felipe	108.1	102.6	178.3	39.3
Sub Promedio					29.7	
Promedio					44.1	

Fuente: Elaboración propia

Al evaluar el modelo precipitación – escorrentía de Grunsky utilizando el procedimiento por banda hipsométrica, se obtienen resultados bastante similares a los que entrega el procedimiento normal.

El error promedio obtenido al contabilizar el total de las subcuencas estudiadas es de un 44%, siendo la cuenca del río La Ligua la que entrega el error más alto, igual a 95%. A diferencia de lo que ocurre con el modelo de Turc, Coutagne y Turc – Pike, el error es más uniforme a lo largo del país, no presentándose grandes diferencias entre lo obtenido para la zona norte, centro y sur.

En la Figura 8-4 se presenta el diagrama XY del modelo de Grunsky, en el que se observa una clara dispersión de los datos, concordante con el nivel de error relativo obtenido para las subcuencas en estudio. Así también, se observa que en promedio considerando la totalidad de las subcuencas analizadas, el modelo subestima mínimamente la escorrentía media anual.

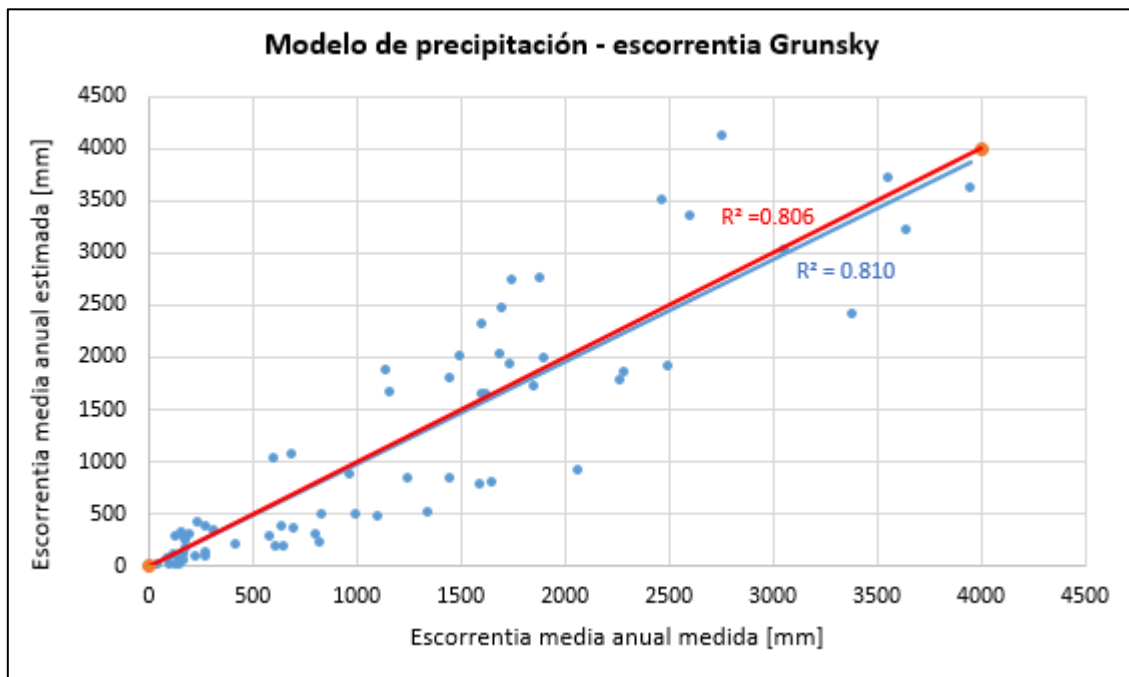


Figura 8-4 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Grunsky mediante procedimiento por banda hipsométrica
Fuente: Elaboración propia

8.2.5 Modelo precipitación – escorrentía de Peñuelas

El modelo precipitación – escorrentía de Peñuelas fue detallado en el punto 3.3.5 de este estudio. En la Tabla 8-6 se presentan los resultados obtenidos para cada subcuenca.

Tabla 8-6 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Peñuelas

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	13.0	12.9	102.6	87.3
		Río Cochiguaz en el Peñón	13.2	13.1	157.1	91.6
		Río Toro antes junta Río La Laguna	13.9	13.8	52.2	73.4
		Embalse Laguna	14.4	14.4	137.4	89.5
Sub Promedio						85.5
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	95.9	96.1	143.2	33.0
		Río Chalinga en La Palmilla	102.8	101.7	161.4	36.3
		Río Choapa en Cuncumén	98.9	97.4	282.9	65.0
Sub Promedio						44.8
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	361.8	354.3	204.5	76.9
		Río Sobrante en Piñadero	384.8	373.1	166.3	131.4
Sub Promedio						104.2
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	332.3	309.0	137.1	142.4
Sub Promedio						142.4
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	447.0	425.4	278.6	60.4
		Río Juncal en Juncal	580.7	560.7	842.7	31.1
		Río Colorado en Colorado	502.7	489.6	245.0	105.2
		Estero Pocuro en el Sifón	189.1	177.3	181.1	4.4
Sub Promedio						50.3
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	302.1	293.8	180.0	67.9
		Estero Arrayán en La Montosa	338.3	330.2	170.0	99.0
		Río Volcán en Queltehues	409.6	406.1	320.0	28.0
		Estero Puangue en Boquerón	104.0	103.7	230.0	54.8
		Canal Colina en Peldehue	235.1	229.6	420.0	44.0
		Río Maipo en San Alfonso	357.2	351.7	810.0	55.9
		Río Mapocho en Los Almendros	270.1	264.0	830.0	67.5
Sub Promedio						59.6
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	996.8	996.0	970.0	2.8
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	899.4	899.0	1600.0	43.8
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	949.0	949.0	1455.0	34.8
Sub Promedio						27.1
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	918.6	918.0	1658.0	44.6
Sub Promedio						44.6
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	2580.0	2580.0	1703.0	51.5
		Río Claro en los Queñes	2044.8	2044.0	1739.0	17.6
		Río Colorado en junta con Palos	2433.1	2433.0	1612.0	50.9
		Río Palos en junta con Colorado	2106.4	2108.0	1903.0	10.7
Sub Promedio						32.7
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2034.1	2033.0	2504.0	18.8
		Río Achibueno en los Peñascos	1768.3	1768.0	1631.0	8.4
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	2137.4	2142.0	1690.0	26.5
Sub Promedio						17.9

Tabla 8-6 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Peñuelas (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	2861.6	2861.0	1751.0	63.4
		Río Ñuble en la Punilla	2879.7	2879.0	1888.0	52.5
		Río Diguillín en San Lorenzo	3617.1	2623.0	2471.0	46.4
Sub Promedio					54.1	
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1840.9	1842.0	1855.0	0.8
		Río Mulchén en Mulchén	956.4	957.0	1254.0	23.7
		Río Bureo en Mulchén	1029.2	1029.0	2071.0	50.3
Sub Promedio					24.9	
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	2131.1	2128.0	1503.0	41.8
		Río Cautín en Rariruca	1898.8	1898.0	2270.0	16.4
		Río Huichahue en Faja 24000	1987.7	1987.0	1149.0	73.0
Sub Promedio					43.7	
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3138.3	3139.0	3061.0	2.5
		Río Trancura en Curarrehue	3475.3	3139.0	2607.0	33.3
		Río Liucura en Liucura	4236.6	3475.0	2764.0	53.3
Sub Promedio					29.7	
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3335.1	3335.1	3647.0	8.6
		Río Cruces en Rucaco	1904.4	1904.4	1458.1	30.6
		Río Ññaque en Máfil	1774.0	1774.0	1166.6	52.1
		Río Collileufu en Los Lagos	1756.5	1756.5	1604.4	9.5
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	1968.9	1968.9	2292.0	14.1
Sub Promedio					23.0	
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3833.7	3833.7	3559.9	7.7
		Río Nilahue en Mayay	3739.2	3739.2	3952.0	5.4
		Río Coihueco antes junta Pichicope	2531.0	2531.0	3387.7	25.3
		Río Damas en Tacamo	1176.1	1176.1	692.4	69.9
		Río Forrahue en Aromos	1151.7	1151.7	603.6	90.8
Sub Promedio					39.8	
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	570.6	542.3	1110.8	48.6
		Río Cisnes antes junta Río Moro	332.5	316.5	591.4	43.8
Sub Promedio					46.2	
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	209.6	196.7	615.4	65.9
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	578.4	517.0	1001.6	42.3
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	219.7	215.2	653.9	66.4
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	578.4	518.2	1350.2	57.2
Sub Promedio					57.9	
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	61.7	61.7	171.1	63.9
		Río Las Chinas en Cerro Guido	151.9	161.0	281.1	46.0
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	64.6	63.7	95.2	32.2
Sub Promedio					47.4	

Tabla 8-6 Resultados obtenidos mediante análisis por banda para cada subcuenca utilizando el modelo de Peñuelas (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Es [mm]		Em [mm]	Error [%]
			Proced por banda	Proced normal		
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	449.9	435.4	650.1	30.8
		Río San Juan en Desembocadura	421.7	405.5	704.2	40.1
Sub Promedio						35.4
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.1	122.6	126.2	0.0
		Río Oro en Bahía San Felipe	135.2	128.2	178.3	24.2
Sub Promedio						12.1
Promedio						46.1

Fuente: Elaboración propia

Mediante la aplicación del modelo precipitación – escorrentía de Peñuelas, se ha obtenido un error relativo promedio total igual al 46%, similar a la metodología tradicional. La cuenca del río La Ligua es la que entrega el error más alto, un 142%. Quitando del análisis la cuenca del río Petorca y del río La Ligua, para este modelo el error relativo se distribuye uniformemente a lo largo del país, no apreciándose grandes diferencias entre las regiones del norte, centro o sur.

En la siguiente figura se muestra el diagrama XY para el modelo precipitación – escorrentía de Peñuelas. Al igual que con los modelos presentados anteriormente, existe una evidente dispersión de los datos. Respecto a si el modelo subestima o sobreestima la escorrentía media anual promedio de las cuencas analizadas, a partir de la pendiente de la recta de mejor ajuste (línea azul) se determina que hay una sobreestimación de la variable mencionada.

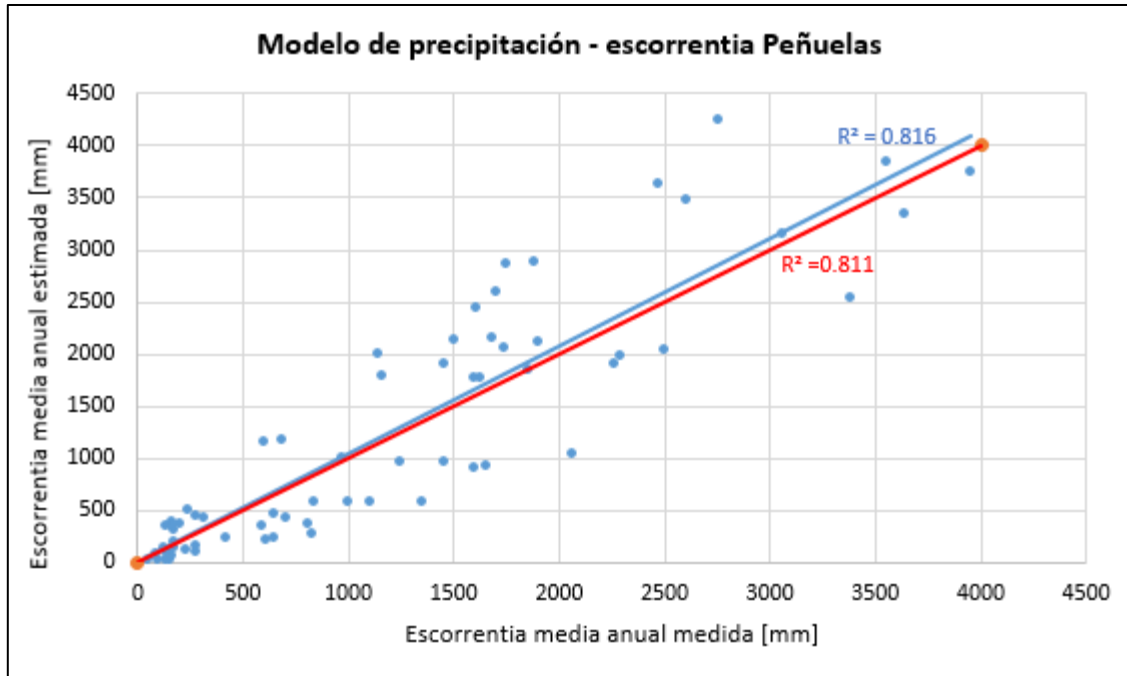


Figura 8-5 Diagrama X-Y para evaluación de modelo de Peñuelas mediante procedimiento por banda hipsométrica
Fuente: Elaboración propia

8.2.6 Síntesis de los resultados obtenidos

En este punto se entrega un resumen de los resultados obtenidos con la metodología por banda hipsométrica con cada uno de los modelos precipitación – escorrentía estudiados, utilizados para la determinación de la escorrentía media anual en cada una de las subcuencas consideradas. A raíz de los valores obtenidos se concluye lo siguiente:

- El error relativo promedio obtenido al evaluar cada uno de los modelos precipitación – escorrentía estudiados fue de un 47% para Turc, 47% para Coutagne, 53% para Turc-Pike, 44% para Grunsky y 46% para Peñuelas.
- Acorde a lo obtenido, a nivel general el modelo de Grunsky es el que entrega una mejor estimación, sin embargo, el error es alto y a la vez no satisfactorio, esta situación se acrecienta para el modelo de Turc, Coutagne, Turc-Pike y Peñuelas.
- El error relativo obtenido utilizando la metodología por banda hipsométrica es bastante similar al que resulta mediante el procedimiento normal, los cuales fueron de 46%, 43%, 52%, 43% y 45% para el modelo de Turc, Coutagne, Turc-Pike, Grunsky y Peñuelas

respectivamente. A partir de esto se concluye que el procedimiento por banda hipsométrica no genera mejoras en la estimación de la escorrentía media anual, la cual es indiferente al modo o procedimiento utilizado para su obtención.

- Se aprecia que algunos modelos se comportan de mejor manera en determinadas zonas del país que en otras. En ese sentido, se observa que el modelo de Turc, Coutagne y Turc-Pike se ajustan de mejor forma en las regiones del sur de Chile, principalmente entre la IX a la XII región, mientras que los modelos de Grunsky y Peñuelas tienen un comportamiento más bien uniforme a lo largo del país.
- El error relativo promedio y las diferencias obtenidas a lo largo del país en la estimación de la escorrentía media anual radican principalmente en la variabilidad climática de nuestro país, junto con el hecho de que los modelos estudiados utilizan variables hidrometeorológicas distintas para su obtención. Por otra parte, los modelos de Grunsky y Peñuelas fueron concebidos para cuencas pluviales, mientras que las cuencas consideradas en estudio son del tipo nivo pluvial. Además, se debe considerar que los modelos precipitación – escorrentía fueron concebidos en otros países, con climas diferentes a los de Chile.

En la Tabla 8-7 se presenta un resumen con los resultados obtenidos por cada modelo.

Tabla 8-7 Resumen de escorrentías medias anuales estimadas mediante el procedimiento por banda hipsométrica por los métodos precipitación-escorrentía estudiados

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]				
				Turc	Coutagne	Turc-Pike	Grunsky	Peñuelas
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	102.6	18.3	46.2	1.5	10.4	13.0
		Río Cochiguaz en el Peñón	157.1	17.5	44.6	1.5	10.5	13.2
		Río Toro antes junta Río La Laguna	52.2	37.5	95.3	1.9	11.1	13.9
		Embalse Laguna	137.4	42.1	130.4	2.3	11.5	14.4
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	143.2	146.2	169.8	70.9	76.7	95.9
		Río Chalinga en La Palmilla	161.4	169.1	205.2	82.6	82.2	102.8
		Río Choapa en Cuncumén	282.9	162.0	196.0	80.6	79.1	98.9
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	204.5	417.9	421.5	489.7	289.5	361.8
		Río Sobrante en Piñadero	166.3	451.2	464.1	549.3	308.4	384.8
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	137.1	373.7	385.3	446.2	266.8	332.3
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278.6	542.8	579.7	641.8	362.9	447.0
		Río Juncal en Juncal	842.7	738.1	794.7	870.0	475.8	580.7
		Río Colorado en Colorado	245.0	631.4	679.2	750.3	407.7	502.7
		Estero Pocuro en el Sifón	181.1	158.5	170.2	167.8	151.2	189.1
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca	180.0	355.9	364.7	217.9	241.7	302.1
		Estero Arrayán en La Montosa	170.0	416.0	431.7	259.7	270.6	338.3
		Río Volcán en Queltehues	320.0	552.2	596.5	365.5	327.7	409.6
		Estero Puangue en Boquerón	230.0	45.6	75.2	33.6	83.2	104.0
		Canal Colina en Peldehue	420.0	244.5	241.9	141.3	188.0	235.1
		Río Maipo en San Alfonso	810.0	452.1	470.8	284.6	285.7	357.2
		Río Mapocho en Los Almendros	830.0	301.1	300.7	177.8	216.1	270.1
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	970.0	1077.7	1120.4	663.8	872.7	996.8
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1600.0	937.5	962.9	579.5	776.2	899.4
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1455.0	1009.3	1045.4	624.4	826.3	949.0
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1658.0	967.4	999.8	931.1	797.1	918.6

Tabla 8-7 Resumen de escorrentías medias anuales estimadas mediante el procedimiento por banda hipsométrica por los métodos precipitación-escorrentía estudiados
(Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]				
				Turc	Coutagne	Turc-Pike	Grunsky	Peñuelas
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1703.0	2757.4	2846.9	2290.8	2455.0	2580.0
		Río Claro en los Queñes	1739.0	2147.5	2209.5	1720.7	1919.8	2044.8
		Río Colorado en junta con Palos	1612.0	2589.5	2671.5	2136.8	2308.1	2433.1
		Río Palos en junta con Colorado	1903.0	2217.4	2282.9	1787.2	1981.4	2106.4
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2504.0	2077.9	2125.3	1821.8	1909.1	2034.1
		Río Achibueno en los Peñascos	1631.0	1758.3	1797.6	1505.2	1643.3	1768.3
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1690.0	2200.4	2252.6	1954.3	2012.4	2137.4
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	1751.0	2934.6	2990.8	2477.2	2736.6	2861.6
		Río Ñuble en la Punilla	1888.0	2953.3	3011.0	2498.1	2754.7	2879.7
		Río Diguillín en San Lorenzo	2471.0	3777.4	3863.9	3304.1	3492.1	3617.1
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1855.0	1859.0	1898.5	1704.7	1715.9	1840.9
		Río Mulchén en Mulchén	1254.0	813.0	819.9	641.3	831.4	956.4
		Río Bureo en Mulchén	2071.0	925.0	936.9	806.5	904.2	1029.2
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1503.0	2160.5	2203.2	1866.4	2006.1	2131.1
		Río Cautín en Rariruca	2270.0	1905.4	1941.9	1615.9	1773.8	1898.8
		Río Huichahue en Faja 24000	1149.0	1908.8	1940.7	1687.4	1862.7	1987.7
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3061.0	3150.9	3195.7	2956.3	3013.3	3138.3
		Río Trancura en Curarrehue	2607.0	3483.2	3530.2	3223.2	3350.3	3475.3
		Río Liucura en Liucura	2764.0	4218.8	4263.9	3967.2	4111.6	4236.6
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3647.0	3406.9	3462.8	3386.8	3210.1	3335.1
		Río Cruces en Rucaco	1458.1	1850.7	1883.7	1692.2	1779.4	1904.4
		Río Iñaque en Máfil	1166.6	1709.9	1741.2	1531.3	1649.0	1774.0
		Río Collileufú en Los Lagos	1604.4	1691.1	1722.2	1508.3	1631.5	1756.5
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2292.0	1922.6	1956.4	1772.3	1843.9	1968.9

Tabla 8-7 Resumen de escorrentías medias anuales estimadas mediante el procedimiento por banda hipsométrica por los métodos precipitación-escorrentía estudiados
(Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]				
				Turc	Coutagne	Turc-Pike	Grunsky	Peñuelas
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3559.9	3880.0	3930.2	3612.0	3708.7	3833.7
		Río Nilahue en Mayay	3952.0	3780.4	3830.7	3517.7	3614.2	3739.2
		Río Coihueco antes junta Pichicope	3387.7	2520.7	2558.7	2285.5	2406.0	2531.0
		Río Damas en Tacamo	692.4	1114.6	1132.0	941.2	1051.1	1176.1
		Río Forrahue en Aromos	603.6	1088.9	1106.1	916.9	1026.7	1151.7
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1110.8	673.5	704.5	454.2	465.4	570.6
		Río Cisnes antes junta Río Moro	591.4	382.4	394.7	256.1	275.9	332.5
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	615.4	254.2	251.0	126.4	168.0	209.6
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1001.6	657.3	676.0	436.4	479.6	578.4
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	653.9	302.8	316.4	137.3	175.7	219.7
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1350.2	641.7	657.5	453.7	498.1	578.4
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	171.1	109.9	139.7	47.4	49.4	61.7
		Río Las Chinas en Cerro Guido	281.1	250.5	282.5	142.4	121.5	151.9
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	95.2	79.0	90.4	50.1	51.7	64.6
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	650.1	551.1	573.6	436.8	364.2	449.9
		Río San Juan en Desembocadura	704.2	518.8	538.4	410.9	341.6	421.7
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.2	181.6	190.0	100.9	100.9	126.1
		Río Oro en Bahía San Felipe	178.3	195.7	209.3	109.9	108.1	135.2

Fuente: Elaboración propia

ETAPA III

Capítulo 9: Ajuste de los modelos precipitación – escorrentía por grupos según regiones

Considerando que los resultados obtenidos en el capítulo 7 y 8 con la aplicación de los modelos precipitación – escorrentía de Turc, Coutagne, Turc – Pike, Grunsky y Peñuelas no son satisfactorios, en términos del error relativo obtenido, es necesario efectuar un ajuste a las expresiones utilizadas, de tal manera de reducir el error relativo obtenido, propiciando estimaciones más confiables.

En este capítulo se presenta el ajuste de los modelos precipitación – escorrentía estudiados dividiendo la muestra total de subcuencas en grupos, de tal manera de determinar que cuencas se comportan de forma similar y reducen el error relativo al mínimo posible.

Cabe consignar que en las memorias de título precedentes a esta y mencionadas en el punto 2.3, se efectuaron ajustes a las subcuencas analizadas en cada una de ellas, sin embargo, no se efectuaron análisis segmentados por regiones, sino simplemente se consideraba el total de la muestra, por lo cual, los resultados aquí obtenidos, como es lógico, difieren de los presentados en esos estudios.

9.1 Metodología aplicada

La metodología a aplicar para efectuar el ajuste, que como se señaló antes, resulta necesario considerando los resultados obtenidos en la evaluación de los modelos precipitación – escorrentía a las subcuencas estudiadas, está condicionada por lo siguiente:

- La estructura original de las expresiones de cada modelo utilizado se mantendrá. Esto se debe a que las relaciones de cada uno de los modelos fue definida en base a la ecuación del balance hídrico. Acorde a esto, solo serán ajustados los coeficientes que acompañan a las variables hidrometeorológicas, ya sea la precipitación media anual, temperatura media anual o evapotranspiración media anual. En algunas ocasiones, el grado del polinomio que define el factor calórico en el modelo de Turc y Turc-Pike, será aumentado o disminuido, como así también el valor de λ en el modelo de Coutagne.
- Los coeficientes y polinomios de los modelos según corresponda, serán ajustados bajo definido rango de acción, de tal manera de generar expresiones realistas en el intento de

reducir el error relativo, que en este caso es el parámetro a minimizar. En particular, el factor calórico utilizado en el modelo de Turc y en el modelo Turc – Pike será limitado a un máximo de dos veces su valor original, esto para cada subcuenca. Por otro lado, el coeficiente que acompaña a la variable precipitación media anual en los modelos de Grunsky y Peñuelas, cuyo valor original es 0.4 y 0.5 respectivamente, será restringido al rango 0.30 – 0.75. Una situación similar es la que ocurre con los modelos de Turc y Turc-Pike, para los cuales el factor que acompaña a la precipitación media anual y el coeficiente 0.9 y 1.0 respectivamente ubicado en el denominador son condicionados a un rango entre 0.3 y 1.0. En el caso del modelo Coutagne, el factor λ es limitado a máximo el doble de su valor original, en cada subcuenca.

El ajuste se efectuará minimizando el parámetro error relativo promedio obtenido para cada grupo de cuencas, según la división efectuada, la cual se presenta en el punto 9.2. La elección de los coeficientes óptimos para cada grupo de cuencas y cada modelo, restringida por las condiciones detalladas en el párrafo anterior, se efectúa valiéndonos de la herramienta Solver del software Microsoft Excel, la cual es frecuentemente utilizada cuando se trata de ajustar u optimizar situaciones o problemas.

Así entonces, los coeficientes idóneos de cada modelo de tal manera de cumplir con el objetivo establecido se obtienen siguiendo los siguientes pasos:

- a) Se crea una tabla que contenga en tres distintas columnas las variables hidrometeorológicas precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración media anual.
- b) En una nueva columna, se coloca la escorrentía media anual medida para cada subcuenca en estudio.
- c) Se crean nuevas columnas, con los coeficientes de cada modelo, que posteriormente serán iterados para definir los valores óptimos. Considerando que cada modelo tiene una cantidad de parámetros distintos para la obtención de la escorrentía, el número de columnas es variable.
- d) En una columna nueva, se define la escorrentía media anual estimada en función de los coeficientes definidos en las columnas anteriores.
- e) En una nueva columna, se define el error relativo de cada subcuenca, esto mediante la siguiente expresión:

$$E_{relativo} = \frac{|E_{s,medida} - E_{s,estimada}|}{E_{s,medida}} \cdot 100$$

Donde,

$E_{s,medida}$: Escorrentía media anual medida de cada subcuenca, en [mm];

$E_{s,estimada}$: Escorrentía media anual estimada por cada modelo para cada subcuenca, en [mm];

$E_{relativo}$: Error relativo obtenido para cada subcuenca, en [%].

- f) Se determina el error relativo promedio de las subcuencas analizadas en esa tabla (se hace un análisis segmentado como se mencionó anteriormente, no considerando el total de las subcuencas analizadas en este estudio). Este valor corresponde a la celda objetivo.
- g) Se procede a minimizar la celda objetivo mediante la herramienta Solver, iterando los coeficientes del modelo en estudio en ese momento, definidos en las columnas anteriores. En esta misma aplicación se establecen las restricciones descritas anteriormente, buscando obtener expresiones realistas. La iteración comienza con el valor original de los coeficientes. El proceso se repite hasta obtener una solución óptima estable, partiendo cada nueva iteración con los parámetros o coeficientes obtenidos en la anterior.

La solución obtenida en el punto g) corresponde entonces a la versión ajustada del modelo.

La herramienta “Buscar objetivo”, que también se puede encontrar en Microsoft Excel, permite iterar una variable hasta que la celda objetivo alcance el valor deseado, sin embargo, presenta desventajas frente a “Solver” en términos de que no se pueden definir restricciones a las variables, presentando limitaciones también cuando se desconoce el valor numérico de la celda objetivo, como por ejemplo en este caso que se busca el valor mínimo de una función el cual a priori es desconocido.

9.2 Configuraciones utilizadas

Como se observó en el Capítulo 7: Evaluación de los Modelos Precipitación-Escorrentía con metodología original, el error relativo promedio obtenido a nivel país por cada modelo es alto e insatisfactorio. A raíz de esto, se decidió que era necesario ajustar las expresiones de los métodos

utilizados, como así también realizar análisis segmentados, considerando grupos de regiones con climas similares en busca de definir la mejor configuración, es decir, agrupar las regiones de forma idónea de tal manera de reducir el error relativo al mínimo.

Se ha trabajado con cuatro configuraciones, las cuales se basan más bien en una división por latitud, considerando que la variabilidad climática es mayor en ese sentido que por longitud, quizás exceptuando algunas de las cuencas del sur del país, como por ejemplo la del río Aysén, para la cual existe una gran diferencia en el clima en dirección este – oeste y con ello una gran diferencia en las variables hidrometeorológicas que la representan. Dicho esto, se muestran a continuación las distribuciones de regiones estudiadas:

- Configuración N°1: IV, V y RM región
VI, VII, VIII y IX región
X, XIV, XI y XII región
- Configuración N°2: IV, V, RM y VI región
VII, VIII y IX región
X, XIV, XI y XII región
- Configuración N°3: IV región
V y RM región
VI, VII, VIII y IX región
X, XIV, XI y XII región
- Configuración N°4: IV región
V, RM y VI región
VII, VIII y IX región
X, XIV, XI y XII región

Se procede entonces con el ajuste de los modelos precipitación – escorrentía mediante la metodología presentada en 9.1, a cada una de las configuraciones descritas.

9.3 Ajuste de los modelos precipitación – escorrentía estudiados

El ajuste de los modelos precipitación – escorrentía se efectúa para cada una de las configuraciones definidas en 9.2.

9.3.1 Lineamientos del ajuste a los modelos precipitación – escorrentía estudiados

Se presentan las consideraciones y la estructura del ajuste a los modelos de Turc, Coutagne, Turc-Pike, Grunsky y Peñuelas.

9.3.1.1 Modelo de Turc ajustado

El modelo de Turc fue detallado en el punto 3.3.1 de este estudio. Como ahí puede observarse, en este modelo la escorrentía media anual es estimada a partir de la resta entre la precipitación media anual y el déficit hidrológico (D). El déficit hidrológico depende de las variables precipitación media anual y la temperatura media anual. De tal manera de ajustar este modelo se considera su estructura de la siguiente forma:

$$E_s = P - D$$

$$D = \frac{Y \cdot P}{\sqrt{Z + \left(\frac{Y \cdot P}{L}\right)^2}}$$

$$L = A + B \cdot T + C \cdot T^2 + F \cdot T^3$$

Donde:

E_s : Escorrentía media anual, en [mm];

P : Precipitación media anual, en [mm];

D : Deficit hidrológico, en [mm];

L : Factor calórico de polinomio grado n;

T : Temperatura media anual, en [°C];

Y, Z, A, B, C, F : Coeficientes ajustados.

Como puede observarse, el déficit hidrológico (D) se encuentra condicionada por los coeficientes Z y Y. El primero de ellos se ubica en el denominador, dentro de la raíz cuadrada y evita que se generen valores de déficit mayores que la precipitación (P), lo que provocaría que se generen escorrentías negativas, lo cual lógicamente se escapa de la realidad. Este coeficiente ha sido

restringido a $0.3 \leq Z \leq 1.0$. Por otra parte, el coeficiente Y se ubica en el numerador, condicionando a la variable (P). Este valor se encuentra restringido a $0.3 \leq Y \leq 1.0$.

En cuanto a lo que es el factor calórico (L), se propone un polinomio de grado máximo 3, que como se observa es función de la temperatura (T). La razón de esto radica en que para un polinomio mayor que 3, la reducción del error es mínima y es un proceso más tedioso, considerando la cantidad de subcuencas analizadas y el aumento en los parámetros a ajustar.

9.3.1.2 Modelo de Coutagne ajustado

El modelo de Coutagne fue detallado en el punto 3.3.2 de este documento. De forma similar al modelo de Turc, en el modelo de Coutagne el déficit hidrológico juega un papel importante, como así también la variable λ , la cual depende de la temperatura media anual [$^{\circ}\text{C}$]. El modelo de Coutagne propone tres casos, según el valor de la variable λ frente a la precipitación media anual. Para las cuencas analizadas en este estudio, se ha trabajado con el caso 1 y el caso 3. El caso 2 no se ha considerado, ya que plantea una igualdad entre el déficit hidrológico y la precipitación media anual, con lo cual, la esorrentía media anual sería nula, situación que no acontece en ninguna de las subcuencas analizadas en este estudio.

La estructura utilizada del modelo Coutagne es la siguiente:

$$E_s = P - D$$

$$\lambda = \frac{1}{A + B \cdot T + C \cdot T^2 + F \cdot T^3}$$

Caso 1 $si \quad \frac{1}{8 \cdot \lambda} \leq P \leq \frac{1}{2 \cdot \lambda}$

$$D = Y \cdot P - \lambda \cdot (Y \cdot P)^2$$

Caso 3 $si \quad \frac{1}{2 \cdot \lambda} \leq P$

$$D = G + H \cdot T$$

Donde,

E_s : Escorrentía media anual estimada mediante el modelo, en [mm];

P : Precipitación media anual, en [mm];

D : Déficit hidrológico, en [mm];

λ : Parámetro helio térmico, dependiente de la temperatura media anual;

T : Temperatura media anual, en [°C];

A, B, C, F, G, H : Coeficientes ajustados.

Los límites entre los casos 1, 2 y 3 no está dentro de los alcances de este estudio, por lo cual se ha trabajado con la división original.

Para la obtención de la variable λ , se estableció un polinomio de grado máximo 3, según lo observado en las memorias de título precedentes de esta, para las cuales un aumento en el grado del polinomio generaba una mínima disminución del error. Cabe consignar, que el valor de λ se ha acotada inferiormente a un mínimo que corresponde a la mitad del valor original de la variable. Para el caso 1, el déficit hidrológico (D) depende directamente de la precipitación media anual (P) y la variable λ . El coeficiente Y que condiciona a P se encuentra acotado a un valor máximo de 1. Por otra parte, para el caso 3, el déficit hidrológico (D) depende únicamente de la temperatura media anual (T). Para el valor de D en este caso, se ha establecido un polinomio de grado 2 máximo y además ha sido limitado a un máximo de 2 veces su valor original.

9.3.1.3 Modelo de Turc-Pike ajustado

El modelo Turc-Pike fue detallado en el punto 3.3.3. de este estudio. Este modelo es una variación al modelo de Turc, en el sentido de que se respeta la estructura propuesta por Turc pero el factor calórico es función de la variable evapotranspiración potencial media anual. Así entonces, se considera la siguiente estructura para el ajuste:

$$E_s = P - D$$

$$D = \frac{Y \cdot P}{\sqrt{Z + \left(\frac{Y \cdot P}{L}\right)^2}}$$

$$L = A + B \cdot ETP + C \cdot ETP^2 + F \cdot ETP^3$$

Donde:

E_s : Escorrentía media anual, en [mm];

P : Precipitación media anual, en [mm];

D : Deficit hidrológico, en [mm];

L : Factor calórico de polinomio grado n ;

ETP : Temperatura media anual, en [°C];

Y, Z, A, B, C, F : Coeficientes ajustados.

Como puede observarse, en este caso el déficit hidrológico (D) depende de la precipitación media anual (P) y la evapotranspiración potencial media anual (ETP). Para el factor calórico (L), se ha considerado un polinomio de grado 3 máximo, debido a que la disminución del error es mínima al aumentar el grado de L . Así también, su valor se ha acotado a un máximo de 2 veces su valor original. Por otra parte, el coeficiente Y , que acompaña a P y que, por ende, indica que solo una parte de la precipitación aporta a la escorrentía, ha sido condicionado a un valor de $0.3 \leq Y \leq 1.0$, misma situación que el coeficiente Z , el cual evita que se obtengan escorrentías negativas, lo cual es totalmente ficticio.

9.3.1.4 Modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado

El modelo precipitación - escorrentía de Grunsky y Peñuelas fueron detallados en el punto 3.3.4 y 3.3.5 de este documento. Estos modelos dependen únicamente de la variable precipitación media anual (P). Su estructura tiene la siguiente forma:

$$E_s = A \cdot P^2 \quad \text{para } P \leq B \text{ [m]}$$

$$E_s = P - A \cdot B^2 \quad \text{para } P > B$$

Donde,

E_s : Escorrentía media anual estimada con el modelo, en [mm];

P : Precipitación media anual, en [mm];

A, B : Coeficientes de ajuste.

Como se observa, los coeficientes a ajustar en estos modelos son A y B . El primero de ellos ataca directamente a la variable precipitación media anual (P). Este valor será limitado al intervalo $0.3 \leq A \leq 0.7$. Cuando P supera al parámetro B , el excedente de precipitación se manifiesta directamente como escorrentía. Este coeficiente también es ajustado, restringiéndolo al rango $0.75 \leq B \leq 1.50$.

9.3.2 Resultados obtenidos mediante el ajuste de los modelos estudiados

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir del ajuste a los modelos precipitación – escorrentía para cada configuración.

9.3.2.1 Resultados para configuración N°1

En la Tabla 9-1, Tabla 9-2, Tabla 9-3, Tabla 9-4 y Tabla 9-5 se muestran los resultados obtenidos para el modelo precipitación – escorrentía de Turc, Coutagne, Turc – Pike, Grunsky y Peñuelas respectivamente.

Tabla 9-1 Resultados del ajuste para Configuración N°1 Modelo de Turc

Modelo Turc Regiones IV, V, RM							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	69.0
Grado 1	362.1	84.3	-	-	0.82	0.92	46.9
Grado 2	533.5	43.2	2.23	-	0.73	1.00	51.7
Grado 3	600	50	0	0.1	0.73	1.00	50.6
Modelo Turc Regiones VI, VII, VIII, IX							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	33.9
Grado 1	596.7	52.2	-	-	0.36	1.00	27.2
Grado 2	603.1	45.8	1.21	-	0.33	0.87	27.2
Grado 3	600	50	0.0002	0.1	0.36	1.00	27.2
Modelo Turc Regiones X, XIV, XI, XII							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	31.8
Grado 1	61.8	110.8	-	-	0.67	0.63	26.9
Grado 2	72.8	101.1	0.95	-	0.69	0.67	26.8
Grado 3	61.8	110.6	0	0.05	0.66	0.63	26.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-2 Resultados del ajuste para Configuración N°1 Modelo de Coutagne

Modelo Coutagne Regiones IV, V, RM Caso 1						
Grado Pol λ	A	B	C	F	Y	Error [%]
Original	800	140	0	0	1.00	64.8
1	1363.4	296.8	-	-	0.98	43.9
2	639	161.6	13.2	-	1.00	60.1
3	1357.8	296.9	0.01	0.0008	0.94	44.1
Modelo Coutagne Regiones VI, VII, VIII, IX Caso 3						
Grado Pol D	G	H	I	J	Error [%]	
Original	200	35	0	-	35.5	
1	652	0	-	-	30.2	
2	0	0	9.3	-	41.4	
3	0	0	0	0.1	43.3	
Modelo Coutagne Regiones X, XIV, XI, XII Caso 3						
Grado Pol D	G	H	I	J	Error [%]	
Original	200	35	0	-	33.6	
1	92.8	58.3	-	-	30.9	
2	135.9	23.9	6.4	-	28.3	
3	0	0	0	0.1	43.3	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-3 Resultados del ajuste para Configuración N°1 Modelo de Turc Pike

Modelo Turc Pike Regiones IV, V, RM							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	87.5
Grado 1	0	2	-	-	0.71	1.00	55.2
Grado 2	0	0	0.0016	-	0.69	1.00	86.0
Grado 3	0	0	0	0.00000132	0.78	1.00	109.6
Modelo Turc Pike Regiones VI, VII, VIII, IX							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	30.3
Grado 1	0	2	-	-	0.35	1.00	23.3
Grado 2	116.2	0.86	0.001	-	0.35	0.95	23.4
Grado 3	0	0	0	0.000001911	0.35	0.95	24.2
Modelo Turc Pike Regiones X, XIV, XI, XII							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	40.9
Grado 1	0	0.88	-	-	0.78	1.00	32.8
Grado 2	0	0	0.0015	-	0.75	1.00	31.9
Grado 3	0	0	0	0.000001986	0.77	1.00	30.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-4 Resultados del ajuste para Configuración N°1 Modelo de Grunsky

Modelo Grunsky Regiones IV, V, RM			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.4	1.25	58.0
Ajuste	0.3	0.99	50.3
Modelo Grunsky Regiones VI, VII, VIII, IX			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.40	1.25	30.3
Ajuste	0.45	1.25	30.1
Modelo Grunsky Regiones X, XIV, XI, XII			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.40	1.25	43.1
Ajuste	0.70	1.19	23.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-5 Resultados del ajuste para Configuración N°1 Modelo de Peñuelas

Modelo Peñuelas Regiones IV, V, RM			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.5	1	66.6
Ajuste	0.3	0.99	50.3
Modelo Peñuelas Regiones VI, VII, VIII, IX			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.50	1	31.5
Ajuste	0.45	1.25	30.1
Modelo Peñuelas Regiones X, XIV, XI, XII			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.50	1.00	39.2
Ajuste	0.70	1.19	23.6

Fuente: Elaboración propia

En base a la regionalización de la configuración N°1, la cual considera el análisis desde IV a RM región, VI a IX región y X a XII región, se aprecia lo siguiente:

- Para el análisis de las regiones IV a RM el modelo precipitación – esorrentía de Coutagne es el que mejor se comporta, entregando un error relativo igual a 44%. Para las regiones VI a IX fue el modelo de Turc – Pike el que arrojó un menor error relativo, el cual es igual a 23%. Por último, para el análisis de las regiones X a XII, los modelos de Grunsky y Peñuelas fueron los que se ajustan de mejor forma, obteniéndose un error relativo de un 24%.
- Para los modelos de Turc y Turc - Pike, no siempre un aumento de grado del polinomio L del factor calórico trajo consigo una reducción del error relativo. Así también, algo similar

ocurre con el modelo de Coutagne, ya al aumentar el grado del polinomio λ y D según se trabaje con el caso 1 o 3, el error no necesariamente se reducía. Las razones de esto pueden radicar en las restricciones esgrimidas para las constantes del modelo, las cuales fueron detalladas en puntos anteriores.

En la siguiente tabla se muestra el error relativo asociado a cada subcuenca estudiada, considerando los modelos ajustados que minimizaban esta variable, siguiendo la regionalización de la Configuración N°1.

Tabla 9-6 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°1

CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	102.6	18.6	81.8
	Río Cochiguaz en el Peñón	157.1	19.3	87.7
	Río Toro antes junta Río La Laguna	52.2	36.8	29.5
	Embalse Laguna	137.4	137.4	0.0
Sub Promedio				49.8
Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	143.2	83.1	41.9
	Río Chalinga en La Palmilla	161.4	98.4	39.0
	Río Choapa en Cuncumén	282.9	89.0	68.6
Sub Promedio				49.8
Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	204.5	215.4	5.4
	Río Sobrante en Piñadero	166.3	234.5	41.1
Sub Promedio				23.3
Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	137.1	174.2	27.1
Sub Promedio				27.1
Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278.6	296.0	6.2
	Río Juncal en Juncal	842.7	556.2	34.0
	Río Colorado en Colorado	245.0	396.6	61.9
	Estero Pocuro en el Sifón	181.1	82.9	54.2
Sub Promedio				32.8
Río Maipo	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	180.0	180.1	0.0
	Estero Arrayan en La Montosa	170.0	220.0	29.4
	Río Volcán en Queltehues	320.0	360.6	12.7
	Estero Puangue en Boquerón	230.0	46.9	79.6
	Canal Colina Peldehue	420.0	123.5	70.6
	Río Maipo en San Alfonso	810.0	251.0	69.0
	Río Mapocho en Los Almendros	830.0	151.4	81.8
Sub Promedio				49.0
Promedio IV,V,RM				43.9

Tabla 9-6 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°1 (Continuación)

CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	970.0	982.8	1.3
	Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1600.0	917.0	42.7
	Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1455.0	950.9	34.6
Sub Promedio				26.2
Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1658.0	961.7	42.0
Sub Promedio				42.0
Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1703.0	2170.1	27.4
	Río Claro en los Queñes	1739.0	1739.0	0.0
	Río Colorado en junta con Palos	1612.0	2048.3	27.1
	Río Palos en junta con Colorado	1903.0	1788.5	6.0
Sub Promedio				15.1
Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2504.0	1761.8	29.6
	Río Achibueno en los Peñascos	1631.0	1541.7	5.5
	Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1690.0	1858.8	10.0
Sub Promedio				15.0
Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	1751.0	2360.9	34.8
	Río Ñuble en la Punilla	1888.0	2375.5	25.8
	Río Diguillín en San Lorenzo	2471.0	2172.8	12.1
Sub Promedio				24.2
Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1855.0	1636.5	11.8
	Río Mulchén en Mulchén	1254.0	956.7	23.7
	Río Bureo en Mulchén	2071.0	1011.8	51.1
Sub Promedio				28.9
Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1503.0	1819.9	21.1
	Río Cautín en Rariruca	2270.0	1638.8	27.8
	Río Huichahue en Faja 24000	1149.0	1702.1	48.1
Sub Promedio				32.3
Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3061.0	2690.9	12.1
	Río Trancura en Curarrehue	2607.0	2937.3	12.7
	Río Liucura en Liucura	2764.0	3523.4	27.5
Sub Promedio				17.4
Promedio VI,VII,VIII,IX				23.3
Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3647.0	2851.4	21.8
	Río Cruces en Rucaco	1458.1	1420.7	2.6
	Río Iñaque en Máfil	1166.6	1290.3	10.6
	Río Collileufú en Los Lagos	1604.4	1272.8	20.7
	Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2292.0	1485.2	35.2
Sub Promedio				18.2

Tabla 9-6 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°1 (Continuación)

CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3559.9	3350.0	5.9
	Río Nilahue en Mayay	3952.0	3255.5	17.6
	Río Coihueco antes junta Pichicope	3387.7	2047.3	39.6
	Río Damas en Tacamo	692.4	692.4	0.0
	Río Forrahue en Aromos	603.6	668.0	10.7
Sub Promedio				14.8
Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1110.8	760.5	31.5
	Río Cisnes antes junta Río Moro	591.4	443.2	25.1
Sub Promedio				28.3
Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	615.4	275.5	55.2
	Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1001.6	724.0	27.7
	Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	653.9	301.2	53.9
	Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1350.2	725.7	46.3
Sub Promedio				45.8
Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	171.1	86.4	49.5
	Río Las Chinas en Cerro Guido	281.1	225.4	19.8
	Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	95.2	89.2	6.4
Sub Promedio				25.2
Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	650.1	609.6	6.2
	Río San Juan en Desembocadura	704.2	567.8	19.4
Sub Promedio				12.8
Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.2	171.7	36.1
	Río Oro en Bahía San Felipe	178.3	179.4	0.6
Sub Promedio				18.3
Promedio X,XIV,XI,XII				24.2

Fuente: Elaboración propia

9.3.2.2 Resultados para configuración N°2

En la Tabla 9-7, Tabla 9-8, Tabla 9-9, Tabla 9-10 y Tabla 9-11 se presentan los resultados del análisis del modelo ajustado de Turc, Coutagne, Turc – Pike, Grunsky y Peñuelas siguiendo la distribución de la configuración N°2.

Tabla 9-7 Resultados del ajuste para Configuración N°2 Modelo de Turc

Modelo Turc Regiones IV, V, RM, VI							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	69.0
Grado 1	552.4	61.5	-	-	0.46	0.40	49.4
Grado 2	316.8	76.5	0.96	-	0.77	0.73	47.6
Grado 3	345.7	79.5	0	0.04	0.84	1.00	47.3
Modelo Turc Regiones VII, VIII, IX							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	34.4
Grado 1	596.7	52.2	-	-	0.45	1.00	26.5
Grado 2	601.9	47.3	0.97	-	0.44	1.00	26.5
Grado 3	600.8	48.8	0.43	0.055	0.44	1.00	26.5
Modelo Turc Regiones X, XIV, XI, XII							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	31.8
Grado 1	61.8	110.8	-	-	0.67	0.63	26.9
Grado 2	72.8	101.1	0.95	-	0.69	0.67	26.8
Grado 3	61.8	110.6	0	0.05	0.66	0.63	26.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-8 Resultados del ajuste para Configuración N°2 Modelo de Coutagne

Modelo Coutagne Regiones IV, V, RM, VI Caso 1						
Grado Pol λ	A	B	C	F	Y	Error [%]
Original	800	140	0	0	1.00	64.8
1	1363.5	296.8	-	-	0.98	44.8
2	1353.9	295.4	0.15	-	0.96	44.9
3						
Modelo Coutagne Regiones VII, VIII, IX Caso 3						
Grado Pol D	G	H	I	J	Error [%]	
Original	200	35	0	-	36.4	
1	433.6	36.4	-	-	30.8	
2	0	0	8.2	-	43.8	
Modelo Coutagne Regiones X, XIV, XI, XII Caso 3						
Grado Pol D	G	H	I	J	Error [%]	
Original	200	35	0	-	33.6	
1	92.8	58.3	-	-	30.9	
2	135.9	23.9	6.4	-	28.3	
3	0	0	0	0.1	43.3	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-9 Resultados del ajuste para Configuración N°2 Modelo de Turc Pike

Modelo Turc Pike Regiones IV, V, RM, VI							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	81.5
Grado 1	0	2	-	-	0.71	1.00	55.7
Grado 2	0	0	0.0016	-	0.69	1.00	80.3
Grado 3							
Modelo Turc Pike Regiones VII, VIII, IX							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	26.2
Grado 1	0	2	-	-	0.48	1.00	21.5
Grado 2	0	0	0.002	-	0.41	1.00	22.4
Grado 3							
Modelo Turc Pike Regiones X, XIV, XI, XII							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	40.9
Grado 1	0	0.88	-	-	0.78	1.00	32.8
Grado 2	0	0	0.0015	-	0.75	1.00	31.9
Grado 3							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-10 Resultados del ajuste para Configuración N°2 Modelo de Grunsky

Modelo Grunsky Regiones IV, V, RM, VI			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.4	1.25	55.0
Ajuste	0.3	1	46.6
Modelo Grunsky Regiones VII, VIII, IX			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.40	1.25	28.4
Ajuste	0.53	1.46	24.2
Modelo Grunsky Regiones X, XIV, XI, XII			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.40	1.25	43.1
Ajuste	0.70	1.19	23.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-11 Resultados del ajuste para Configuración N°2 Modelo de Peñuelas

Modelo Peñuelas Regiones IV, V, RM, VI			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.5	1	61.0
Ajuste	0.3	1	46.6
Modelo Peñuelas Regiones VII, VIII, IX			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.50	1	31.5
Ajuste	0.53	1.46	24.2
Modelo Peñuelas Regiones X, XIV, XI, XII			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.50	1.00	39.2
Ajuste	0.70	1.19	23.6

Fuente: Elaboración propia

A partir de lo obtenido, para la configuración N°2 se puede establecer lo siguiente:

- El análisis para las regiones IV a VI evidenció que el modelo de mejor ajuste para esa zona es el modelo de Coutagne, con un error relativo del 45%. Para el ajuste de las regiones VII a IX, el modelo de mejor comportamiento fue el modelo Turc – Pike con un 22%. Finalmente, para las regiones X y XII fueron los ajustes a los modelos de Grunsky y Peñuelas los que entregan una mejor estimación, equivalente a un 24%.
- Para los modelos precipitación – escorrentía de Turc y Turc - Pike, el aumento de grado en el polinomio L no genera necesariamente una reducción en el error relativo. De manera similar, para el modelo de Coutagne, un aumento de grado del polinomio λ y D según se trabaje con el caso 1 o 3, por lo general no provoca una reducción del error relativo. Las razones de esto pueden radicar en las restricciones esgrimidas para las constantes del modelo, las cuales fueron detalladas en puntos anteriores.

En la Tabla 9-12 se presenta el error relativo de cada subcuenca analizada, considerando los modelos ajustados que minimizaban esta variable, a partir de la regionalización de la Configuración N°2.

Tabla 9-12 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°2

CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	102.6	18.6	81.9
	Río Cochiguaz en el Peñón	157.1	19.3	87.7
	Río Toro antes junta Río La Laguna	52.2	36.8	29.6
	Embalse Laguna	137.4	137.4	0.0
Sub Promedio				49.8
Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	143.2	83.1	42.0
	Río Chalinga en La Palmilla	161.4	98.4	39.1
	Río Choapa en Cuncumén	282.9	88.9	68.6
Sub Promedio				49.9
Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	204.5	215.4	5.3
	Río Sobrante en Piñadero	166.3	234.5	41.0
Sub Promedio				23.2
Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	137.1	174.2	27.1
Sub Promedio				27.1
Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278.6	295.9	6.2
	Río Juncal en Juncal	842.7	556.2	34.0
	Río Colorado en Colorado	245.0	396.6	61.9
	Estero Pocuro en el Sifón	181.1	82.9	54.2
Sub Promedio				39.1
Río Maipo	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	180.0	180.0	0.0
	Estero Arrayan en La Montosa	170.0	219.9	29.4
	Río Volcán en Queltehues	320.0	360.6	12.7
	Estero Puangue en Boquerón	230.0	46.9	79.6
	Canal Colina Peldehue	420.0	123.5	70.6
	Río Maipo en San Alfonso	810.0	250.9	69.0
	Río Mapocho en Los Almendros	830.0	151.3	81.8
Sub Promedio				49.0
Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	970.0	776.9	19.9
	Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1600.0	585.1	63.4
	Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1455.0	674.6	53.6
Sub Promedio				45.7
Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1658.0	621.2	62.5
Sub Promedio				62.5
Promedio IV,V,RM,VI				44.8
Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1703.0	1975.8	16.0
	Río Claro en los Queñes	1739.0	1531.1	12.0
	Río Colorado en junta con Palos	1612.0	1848.4	14.7
	Río Palos en junta con Colorado	1903.0	1581.1	16.9
Sub Promedio				14.9
Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2504.0	1582.9	36.8
	Río Achibueno en los Peñascos	1631.0	1347.5	17.4
	Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1690.0	1690.0	0.0
Sub Promedio				18.1

Tabla 9-12 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°2 (Continuación)

CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	1751.0	2143.1	22.4
	Río Ñuble en la Punilla	1888.0	2158.0	14.3
	Río Diguillín en San Lorenzo	2471.0	1952.8	21.0
Sub Promedio				19.2
Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1855.0	1477.7	20.3
	Río Mulchén en Mulchén	1254.0	792.0	36.8
	Río Bureo en Mulchén	2071.0	849.4	59.0
Sub Promedio				38.7
Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1503.0	1627.4	8.3
	Río Cautín en Rariruca	2270.0	1442.4	36.5
	Río Huichahue en Faja 24000	1149.0	1500.8	30.6
Sub Promedio				25.1
Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3061.0	2544.5	16.9
	Río Trancura en Curarrehue	2607.0	2776.1	6.5
	Río Liucura en Liucura	2764.0	3374.3	22.1
Sub Promedio				15.1
Promedio VII,VIII,IX				21.5
Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3647.0	2851.4	21.8
	Río Cruces en Rucaco	1458.1	1420.7	2.6
	Río Ñaquel en Máfil	1166.6	1290.3	10.6
	Río Collileufú en Los Lagos	1604.4	1272.8	20.7
	Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2292.0	1485.2	35.2
Sub Promedio				18.2
Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3559.9	3350.0	5.9
	Río Nilahue en Mayay	3952.0	3255.5	17.6
	Río Coihueco antes junta Pichicope	3387.7	2047.3	39.6
	Río Damas en Tacamo	692.4	692.4	0.0
	Río Forrahue en Aromos	603.6	668.0	10.7
Sub Promedio				14.8
Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1110.8	760.5	31.5
	Río Cisnes antes junta Río Moro	591.4	443.2	25.1
Sub Promedio				28.3
Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	615.4	275.5	55.2
	Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1001.6	724.0	27.7
	Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	653.9	301.2	53.9
	Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1350.2	725.7	46.3
Sub Promedio				45.8
Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	171.1	86.4	49.5
	Río Las Chinas en Cerro Guido	281.1	225.4	19.8
	Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	95.2	89.2	6.4
Sub Promedio				25.2

Tabla 9-12 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°2 (Continuación)

CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	650.1	609.6	6.2
	Río San Juan en Desembocadura	704.2	567.8	19.4
Sub Promedio				12.8
Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.2	171.7	36.1
	Río Oro en Bahía San Felipe	178.3	179.4	0.6
Sub Promedio				18.3
Promedio X,XIV,XI,XII				23.6

Fuente: Elaboración propia

9.3.2.3 Resultados para configuración N°3

En la Tabla 9-13, Tabla 9-14, Tabla 9-15, Tabla 9-16 y Tabla 9-17 se presentan los resultados obtenidos para los modelos precipitación – escorrentía en estudio, según la agrupación de regiones especificada para la configuración N°3, correspondiente a IV región, V a RM región, VI a IX región y X a XII región.

Tabla 9-13 Resultados del ajuste para Configuración N°3 Modelo de Turc

Modelo Turc Regiones IV							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	53.0
Grado 1	416.7	98.2	-	-	0.7	0.98	26.8
Grado 2	409	51.2	12.47	-	0.71	1.00	33.2
Grado 3	416.6	97.1	0	0.07	0.67	0.90	26.7
Modelo Turc Regiones V, RM							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	87.7
Grado 1	581.9	56.18	-	-	0.84	0.71	40.5
Grado 2	604.4	46.01	1.125	-	0.98	0.98	40.7
Grado 3	584.1	55.43	0	0.012	0.87	0.76	40.5
Modelo Turc Regiones VI, VII, VIII, IX							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	33.9
Grado 1	596.7	52.2	-	-	0.36	1.00	27.2
Grado 2	603.1	45.8	1.21	-	0.33	0.87	27.2
Grado 3	600	50	0.0002	0.1	0.36	1.00	27.2
Modelo Turc Regiones X, XIV, XI, XII							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	31.8
Grado 1	61.8	110.8	-	-	0.67	0.63	26.9
Grado 2	72.8	101.1	0.95	-	0.69	0.67	26.8
Grado 3	61.8	110.6	0	0.05	0.66	0.63	26.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-14 Resultados del ajuste para Configuración N°3 Modelo de Coutagne

Modelo Coutagne Regiones IV Caso 1						
Grado Pol λ	A	B	C	F	Y	Error [%]
Original	800	140	0	0	1.00	32.2
1	1371.8	307.6	-	-	0.76	26.9
2	882.3	176.5	0.0018	-	0.90	28.6
3	875.3	153.8	37.72	5.75	0.79	33.5
Modelo Coutagne Regiones V, RM Caso 3						
Grado Pol D	G	H	I	J	Error [%]	
Original	200	35	0	-	102.2	
1	455.4	0	-	-	78.7	
2	0	0	2.29	-	175.5	
3						
Modelo Coutagne Regiones VI, VII, VIII, IX Caso 3						
Grado Pol D	G	H	I	J	Error [%]	
Original	200	35	0	-	35.5	
1	652	0	-	-	30.2	
2	0	0	9.3	-	41.4	
3	0	0	0	0.1	43.3	
Modelo Coutagne Regiones X, XIV, XI, XII Caso 3						
Grado Pol D	G	H	I	J	Error [%]	
Original	200	35	0	-	33.6	
1	92.8	58.3	-	-	30.9	
2	135.9	23.9	6.4	-	28.3	
3	0	0	0	0.1	43.3	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-15 Resultados del ajuste para Configuración N°3 Modelo de Turc Pike

Modelo Turc Pike Regiones IV							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	82.9
Grado 1	0	1.17	-	-	0.69	1.00	33.2
Grado 2	0	0.93	0.00087	-	0.67	1.00	33.0
Modelo Turc Pike Regiones V, RM							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	89.9
Grado 1	0	2	-	-	0.82	1.00	57.8
Grado 2	0	0	0.0018	-	0.86	1.00	103.2
Modelo Turc Pike Regiones VI, VII, VIII, IX							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	30.3
Grado 1	0	2	-	-	0.35	1.00	23.3
Grado 2	116.2	0.86	0.001	-	0.35	0.95	23.4
Grado 3	0	0	0	0.000001911	0.35	0.95	24.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-15 Resultados del ajuste para Configuración N°3 Modelo de Turc Pike (Continuación)

Modelo Turc Pike Regiones X, XIV, XI, XII							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	40.9
Grado 1	0	0.88	-	-	0.78	1.00	32.8
Grado 2	0	0	0.0015	-	0.75	1.00	31.9
Grado 3	0	0	0	0.000001986	0.77	1.00	30.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-16 Resultados del ajuste para Configuración N°3 Modelo de Grunsky

Modelo Grunsky Regiones IV			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.4	1.25	74.6
Ajuste	0.7	1	55.5
Modelo Grunsky Regiones V, RM			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.4	1.25	49.7
Ajuste	0.3	0.99	35.0
Modelo Grunsky Regiones VI, VII, VIII, IX			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.40	1.25	30.3
Ajuste	0.45	1.25	30.1
Modelo Grunsky Regiones X, XIV, XI, XII			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.40	1.25	43.1
Ajuste	0.70	1.19	23.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-17 Resultados del ajuste para Configuración N°3 Modelo de Peñuelas

Modelo Peñuelas Regiones IV			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.5	1	68.2
Ajuste	0.7	1	55.5
Modelo Peñuelas Regiones V, RM			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.5	1	65.8
Ajuste	0.3	0.99	35.0
Modelo Peñuelas Regiones VI, VII, VIII, IX			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.50	1	31.5
Ajuste	0.45	1.25	30.1
Modelo Peñuelas Regiones X, XIV, XI, XII			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.50	1.00	39.2
Ajuste	0.70	1.19	23.6

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos, para la distribución de regiones considerada por la configuración N°3 se observa lo siguiente:

- Para el análisis de la IV región se obtuvo que el ajuste del modelo de Turc es el que mayormente reduce el error relativo, obteniéndose un valor del 27%. Para el análisis de las regiones V a RM, son el modelo de Grunsky y Peñuelas los que entregan un error relativo menor, igual a 35%. Luego, para las regiones VI a IX, el modelo que menor error entrega es el Turc – Pike, con un error del 23%. En cuanto a las regiones X a XII, los modelos que ofrecen una mejor estimación son el modelo de Grunsky y el modelo de Peñuelas, los cuales entregan un error igual a 24%.

En la Tabla 9-18 se muestran los valores obtenidos para cada subcuenca en estudio, en base a los modelos ajustados que reducen el error relativo para cada zona siguiendo la regionalización de la Configuración N°3.

Tabla 9-18 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°3

CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	102.6	50.0	51.3
	Río Cochiguaz en el Peñón	157.1	50.5	67.9
	Río Toro antes junta Río La Laguna	52.2	61.4	17.7
	Embalse Laguna	137.4	137.4	0.0
Sub Promedio				34.2
Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	143.2	149.7	4.6
	Río Chalinga en La Palmilla	161.4	161.4	0.0
	Río Choapa en Cuncumén	282.9	153.7	45.7
Sub Promedio				16.7
Promedio IV				26.7
Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	204.5	212.6	3.9
	Río Sobrante en Piñadero	166.3	223.9	34.7
Sub Promedio				19.3
Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	137.1	185.4	35.3
Sub Promedio				35.3
Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278.6	255.2	8.4
	Río Juncal en Juncal	842.7	767.0	9.0
	Río Colorado en Colorado	245.0	293.8	19.9
	Estero Pocuro en el Sifón	181.1	106.4	41.3
Sub Promedio				19.7

Tabla 9-18 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°3 (Continuación)

CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
Río Maipo	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	180.0	176.3	2.1
	Estero Arrayan en La Montosa	170.0	198.1	16.6
	Río Volcán en Queltehues	320.0	243.6	23.9
	Estero Puangue en Boquerón	230.0	62.2	72.9
	Canal Colina Peldehue	420.0	137.7	67.2
	Río Maipo en San Alfonso	810.0	211.0	73.9
	Río Mapocho en Los Almendros	830.0	158.4	80.9
Sub Promedio				48.2
Promedio V,RM				35.0
Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	970.0	982.8	1.3
	Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1600.0	917.0	42.7
	Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1455.0	950.9	34.6
Sub Promedio				26.2
Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1658.0	961.7	42.0
Sub Promedio				42.0
Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1703.0	2170.1	27.4
	Río Claro en los Queñes	1739.0	1739.0	0.0
	Río Colorado en junta con Palos	1612.0	2048.3	27.1
	Río Palos en junta con Colorado	1903.0	1788.5	6.0
Sub Promedio				15.1
Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2504.0	1761.8	29.6
	Río Achibueno en los Peñascos	1631.0	1541.7	5.5
	Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1690.0	1858.8	10.0
Sub Promedio				15.0
Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	1751.0	2360.9	34.8
	Río Ñuble en la Punilla	1888.0	2375.5	25.8
	Río Diguillín en San Lorenzo	2471.0	2172.8	12.1
Sub Promedio				24.2
Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1855.0	1636.5	11.8
	Río Mulchén en Mulchén	1254.0	956.7	23.7
	Río Bureo en Mulchén	2071.0	1011.8	51.1
Sub Promedio				28.9
Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1503.0	1819.9	21.1
	Río Cautín en Rariruca	2270.0	1638.8	27.8
	Río Huichahue en Faja 24000	1149.0	1702.1	48.1
Sub Promedio				32.3
Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3061.0	2690.9	12.1
	Río Trancura en Curarrehue	2607.0	2937.3	12.7
	Río Liucura en Liucura	2764.0	3523.4	27.5
Sub Promedio				17.4
Promedio VI,VII,VIII,IX				23.3

Tabla 9-18 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°3 (Continuación)

CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3647.0	2851.4	21.8
	Río Cruces en Rucaco	1458.1	1420.7	2.6
	Río Iñaque en Máfil	1166.6	1290.3	10.6
	Río Collileufú en Los Lagos	1604.4	1272.8	20.7
	Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2292.0	1485.2	35.2
Sub Promedio				18.2
Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3559.9	3350.0	5.9
	Río Nilahue en Mayay	3952.0	3255.5	17.6
	Río Coihueco antes junta Pichicope	3387.7	2047.3	39.6
	Río Damas en Tacamo	692.4	692.4	0.0
	Río Forrahue en Aromos	603.6	668.0	10.7
Sub Promedio				14.8
Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1110.8	760.5	31.5
	Río Cisnes antes junta Río Moro	591.4	443.2	25.1
Sub Promedio				28.3
Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	615.4	275.5	55.2
	Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1001.6	724.0	27.7
	Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	653.9	301.2	53.9
	Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1350.2	725.7	46.3
Sub Promedio				45.8
Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	171.1	86.4	49.5
	Río Las Chinas en Cerro Guido	281.1	225.4	19.8
	Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	95.2	89.2	6.4
Sub Promedio				25.2
Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	650.1	609.6	6.2
	Río San Juan en Desembocadura	704.2	567.8	19.4
Sub Promedio				12.8
Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.2	171.7	36.1
	Río Oro en Bahía San Felipe	178.3	179.4	0.6
Sub Promedio				18.3
Promedio X,XIV,XI,XII				23.6

Fuente: Elaboración propia

9.3.2.4 Resultados para configuración N°4

Los resultados obtenidos para el análisis de los modelos precipitación – escorrentía ajustados de Turc, Coutagne, Turc – Pike, Grunsky y Peñuelas se muestran en la Tabla 9-19, Tabla 9-20, Tabla 9-21, Tabla 9-22 y Tabla 9-23 respectivamente.

Tabla 9-19 Resultados del ajuste para Configuración N°4 Modelo de Turc

Modelo Turc Regiones IV							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	53.0
Grado 1	416.7	98.2	-	-	0.7	0.98	26.8
Grado 2	409	51.2	12.47	-	0.71	1.00	33.2
Grado 3	416.6	97.1	0	0.07	0.67	0.90	26.7
Modelo Turc Regiones V, RM, VI							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	75.2
Grado 1	596.4	52.1	-	-	0.86	0.73	42.7
Grado 2	604.3	46.1	1.11	-	0.85	0.73	42.8
Grado 3	600.0	50.0	0	0.10	0.92	0.86	47.3
Modelo Turc Regiones VII, VIII, IX							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	34.4
Grado 1	596.7	52.2	-	-	0.45	1.00	26.5
Grado 2	601.9	47.3	0.97	-	0.44	1.00	26.5
Grado 3	600.8	48.8	0.43	0.055	0.44	1.00	26.5
Modelo Turc Regiones X, XIV, XI, XII							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	31.8
Grado 1	61.8	110.8	-	-	0.67	0.63	26.9
Grado 2	72.8	101.1	0.95	-	0.69	0.67	26.8
Grado 3	61.8	110.6	0	0.05	0.66	0.63	26.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-20 Resultados del ajuste para Configuración N°4 Modelo de Coutagne

Modelo Coutagne Regiones IV Caso 1						
Grado Pol λ	A	B	C	F	Y	Error [%]
Original	800	140	0	0	1.00	32.2
1	1371.8	307.6	-	-	0.76	26.9
2	882.3	176.5	0.0018	-	0.90	28.6
3	875.3	153.8	37.72	5.75	0.79	33.5
Modelo Coutagne Regiones V, RM, VI Caso 1						
Grado Pol λ	A	B	C	F	Y	Error [%]
Original	800	140	0	0	1.00	77.4
1	1363.5	296.8	-	-	0.98	41.6
2	1353.9	295.4	0.147	-	0.96	41.6
3	1646.4	257.7	0.587	0.0031	1.00	41.7
Modelo Coutagne Regiones VII, VIII, IX Caso 3						
Grado Pol D	G	H	I	J	Error [%]	
Original	200	35	0	-	36.4	
1	433.6	36.4	-	-	30.8	
2	0	0	8.2	-	43.8	

Tabla 9-20 Resultados del ajuste para Configuración N°4 Modelo de Coutagne (Continuación)

Modelo Coutagne Regiones X, XIV, XI, XII Caso 3					
Grado Pol D	G	H	I	J	Error [%]
Original	200	35	0	-	33.6
1	92.8	58.3	-	-	30.9
2	135.9	23.9	6.4	-	28.3
3	0	0	0	0.1	43.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-21 Resultados del ajuste para Configuración N°4 Modelo de Turc Pike

Modelo Turc Pike Regiones IV							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	82.9
Grado 1	0	1.17	-	-	0.69	1.00	33.2
Grado 2	0	0.93	0.00087	-	0.67	1.00	33.0
Grado 3							
Modelo Turc Pike Regiones V, RM, VI							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	81.0
Grado 1	0	2	-	-	0.82	1.00	59.5
Grado 2	0	0	0.0018	-	0.82	1.00	93.9
Grado 3	0	0	0	0.00000158	1.00	1.00	120.6
Modelo Turc Pike Regiones VII, VIII, IX							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	26.2
Grado 1	0	2	-	-	0.48	1.00	21.5
Grado 2	0	0	0.002	-	0.41	1.00	22.4
Grado 3							
Modelo Turc Pike Regiones X, XIV, XI, XII							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1	0	0	1.00	1.00	40.9
Grado 1	0	0.88	-	-	0.78	1.00	32.8
Grado 2	0	0	0.0015	-	0.75	1.00	31.9
Grado 3	0	0	0	0.000001986	0.77	1.00	30.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-22 Resultados del ajuste para Configuración N°4 Modelo de Grunsky

Modelo Grunsky Regiones IV			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.4	1.25	74.6
Ajuste	0.7	1	55.5
Modelo Grunsky Regiones V, RM, VI			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.4	1.25	47.4
Ajuste	0.3	0.99	33.2
Modelo Grunsky Regiones VII, VIII, IX			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.40	1.25	28.4
Ajuste	0.53	1.46	24.2
Modelo Grunsky Regiones X, XIV, XI, XII			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.40	1.25	43.1
Ajuste	0.70	1.19	23.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9-23 Resultados del ajuste para Configuración N°4 Modelo de Peñuelas

Modelo Peñuelas Regiones IV			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.5	1	68.2
Ajuste	0.7	1	55.5
Modelo Peñuelas Regiones V, RM, VI			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.5	1	61.0
Ajuste	0.3	0.99	33.2
Modelo Peñuelas Regiones VII, VIII, IX			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.50	1	31.5
Ajuste	0.53	1.46	24.2
Modelo Peñuelas Regiones X, XIV, XI, XII			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.50	1.00	39.2
Ajuste	0.70	1.19	23.6

Fuente: Elaboración propia

Según lo observado en las tablas precedentes, para la configuración N°4 se concluye lo siguiente:

- Para el análisis de la IV región, el modelo de Turc es el que entrega el menor error relativo igual a un 27%. En el caso del análisis de las regiones V a VI, el modelo de Grunsky y el de Peñuelas reducen el error relativo hasta un 33%, siendo la mejor estimación para esta zona. En cuanto al análisis de las regiones VII a IX, el error más bajo se obtiene utilizando

el modelo Turc – Pike, el cual arroja un valor del 22%. Finalmente, para las regiones X a XII, al igual que lo obtenido para la configuración N° 1, 2 y 3, el modelo de Grunsky y de Peñuelas son los que mejor se comportan, entregando un error relativo del 24%.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la Configuración N°4, mediante la utilización de los modelos ajustados que minimizan el error, descritos anteriormente.

Tabla 9-24 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°4

CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	102.6	50.0	51.3
	Río Cochiguaz en el Peñón	157.1	50.5	67.9
	Río Toro antes junta Río La Laguna	52.2	61.4	17.7
	Embalse Laguna	137.4	137.4	0.0
Sub Promedio				34.2
Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	143.2	149.7	4.6
	Río Chalinga en La Palmilla	161.4	161.4	0.0
	Río Choapa en Cuncumén	282.9	153.7	45.7
Sub Promedio				16.7
Promedio IV				26.7
Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	204.5	212.6	3.9
	Río Sobrante en Piñadero	166.3	223.9	34.7
Sub Promedio				19.3
Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	137.1	185.4	35.3
Sub Promedio				35.3
Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278.6	255.2	8.4
	Río Juncal en Juncal	842.7	767.0	9.0
	Río Colorado en Colorado	245.0	293.8	19.9
	Estero Pocuro en el Sifón	181.1	106.4	41.3
Sub Promedio				19.7
Río Maipo	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	180.0	176.3	2.1
	Estero Arrayán en La Montosa	170.0	198.1	16.6
	Río Volcán en Queltehues	320.0	243.6	23.9
	Estero Puangue en Boquerón	230.0	62.2	72.9
	Canal Colina Peldehue	420.0	137.7	67.2
	Río Maipo en San Alfonso	810.0	211.0	73.9
	Río Mapocho en Los Almendros	830.0	158.4	80.9
Sub Promedio				48.2
Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	970.0	1202.2	23.9
	Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1600.0	1105.2	30.9
	Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1455.0	1155.2	20.6
Sub Promedio				25.2
Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1658.0	1124.2	32.2
Sub Promedio				32.2
Promedio V,RM,IV				33.2

Tabla 9-24 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°4 (Continuación)

CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1703.0	1975.8	16.0
	Río Claro en los Queñes	1739.0	1531.1	12.0
	Río Colorado en junta con Palos	1612.0	1848.4	14.7
	Río Palos en junta con Colorado	1903.0	1581.1	16.9
Sub Promedio				14.9
Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2504.0	1582.9	36.8
	Río Achibueno en los Peñascos	1631.0	1347.5	17.4
	Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1690.0	1690.0	0.0
Sub Promedio				18.1
Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	1751.0	2143.1	22.4
	Río Ñuble en la Punilla	1888.0	2158.0	14.3
	Río Diguillín en San Lorenzo	2471.0	1952.8	21.0
Sub Promedio				19.2
Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1855.0	1477.7	20.3
	Río Mulchén en Mulchén	1254.0	792.0	36.8
	Río Bureo en Mulchén	2071.0	849.4	59.0
Sub Promedio				38.7
Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1503.0	1627.4	8.3
	Río Cautín en Rariruca	2270.0	1442.4	36.5
	Río Huichahue en Faja 24000	1149.0	1500.8	30.6
Sub Promedio				25.1
Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3061.0	2544.5	16.9
	Río Trancura en Curarrehue	2607.0	2776.1	6.5
	Río Liucura en Liucura	2764.0	3374.3	22.1
Sub Promedio				15.1
Promedio VII,VIII,IX				21.5
Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3647.0	2851.4	21.8
	Río Cruces en Rucaco	1458.1	1420.7	2.6
	Río Ñaquel en Máfil	1166.6	1290.3	10.6
	Río Collileufú en Los Lagos	1604.4	1272.8	20.7
	Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2292.0	1485.2	35.2
Sub Promedio				18.2
Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3559.9	3350.0	5.9
	Río Nilahue en Mayay	3952.0	3255.5	17.6
	Río Coihueco antes junta Pichicope	3387.7	2047.3	39.6
	Río Damas en Tacamo	692.4	692.4	0.0
	Río Forrahue en Aromos	603.6	668.0	10.7
Sub Promedio				14.8
Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1110.8	760.5	31.5
	Río Cisnes antes junta Río Moro	591.4	443.2	25.1
Sub Promedio				28.3

Tabla 9-24 Resumen resultados obtenidos mediante ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para Configuración N°4 (Continuación)

CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	615.4	275.5	55.2
	Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1001.6	724.0	27.7
	Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	653.9	301.2	53.9
	Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1350.2	725.7	46.3
Sub Promedio				45.8
Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	171.1	86.4	49.5
	Río Las Chinas en Cerro Guido	281.1	225.4	19.8
	Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	95.2	89.2	6.4
Sub Promedio				25.2
Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	650.1	609.6	6.2
	Río San Juan en Desembocadura	704.2	567.8	19.4
Sub Promedio				12.8
Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.2	171.7	36.1
	Río Oro en Bahía San Felipe	178.3	179.4	0.6
Sub Promedio				18.3
Promedio X,XIV,XI,XII				23.6

Fuente: Elaboración propia

9.3.3 Análisis de los resultados obtenidos

A partir de lo obtenido con el ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para cada una de las configuraciones, es la Configuración N°4 la que emerge entregando mejores resultados y, por lo tanto, la regionalización recomendada para la posterior estimación de la escorrentía media anual.

9.3.3.1 Modelos precipitación – escorrentía a utilizar para cada región

Los modelos ajustados utilizados para la determinación de la escorrentía media anual para cada zona contemplada por la Configuración N°4 son los siguientes:

- IV región

Tabla 9-25 Modelo de Turc ajustado propuesto para la IV región

Modelo Propuesto para IV región	
Turc Original	Turc Ajustado
$E_s = P - D$ $D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$ $L = 300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^3$	$E_s = P - D$ $D = \frac{0.67 \cdot P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{0.67 \cdot P}{L}\right)^2}}$ $L = 416.6 + 97.1 \cdot T + 0.07 \cdot T^3$

Fuente: Elaboración propia

- V, RM y VI región

Tabla 9-26 Modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado propuesto para la V, RM y VI región

Modelo Propuesto para V, RM y VI región	
Grunsky Original	Grunsky y Peñuelas Ajustado
$si P \leq 1.25 [m] \quad E_s = 0.4 \cdot P^2$ $si P > 1.25 [m] \quad E_s = P - 0.625$	$si P \leq 0.99 [m] \quad E_s = 0.3 \cdot P^2$ $si P > 0.99 [m] \quad E_s = P - 0.294$
Peñuelas Original $si P \leq 1 [m] \quad E_s = 0.5 \cdot P^2$ $si P > 1 [m] \quad E_s = P - 0.5$	

Fuente: Elaboración propia

- VII, VIII y IX región

Tabla 9-27 Modelo de Turc – Pike ajustado propuesto para la VII, VIII y IX región

Modelo Propuesto para VII, VIII y IX región	
Turc – Pike Original	Turc – Pike Ajustado
$E_s = P - D$ $D = \frac{P}{\sqrt{1 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$ $L = ETP$	$E_s = P - D$ $D = \frac{0.48 \cdot P}{\sqrt{1 + \left(\frac{0.48 \cdot P}{L}\right)^2}}$ $L = 2 \cdot ETP$

Fuente: Elaboración propia

- X, XIV, XI Y XII región

Tabla 9-28 Modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado propuesto para la X, XIV, XI y XII región

Modelo Propuesto para X, XIV, XI y XII región	
Grunsky Original	Grunsky y Peñuelas Ajustado
$si P \leq 1.25 [m] \quad E_s = 0.4 \cdot P^2$ $si P > 1.25 [m] \quad E_s = P - 0.625$	$si P \leq 1.19 [m] \quad E_s = 0.7 \cdot P^2$ $si P > 1.19 [m] \quad E_s = P - 0.984$
Peñuelas Original $si P \leq 1 [m] \quad E_s = 0.5 \cdot P^2$ $si P > 1 [m] \quad E_s = P - 0.5$	

Fuente: Elaboración propia

Se ha procedido a analizar bajo qué condiciones de precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración media anual se obtiene escorrentía media anual nula en las cuencas estudiadas, lo cual dependerá lógicamente del modelo asociado. Desarrollando algebraicamente cada una de las cuatro expresiones, esto es, modelo Turc ajustado para IV región, modelo Grunsky y Peñuelas ajustado para V, RM y VI región, modelo Turc – Pike ajustado para VII, VIII y IX región y finalmente Grunsky y Peñuelas ajustado para X, XIV, XI y XII región, se han obtenido las siguientes condiciones para cada uno de ellos.

Tabla 9-29 Condiciones para escorrentía nula en modelos ajustados división por latitud

Región	Condición para $E_s = 0$
IV	$P = 0 ; P = i L$
V, RM, VI	$P = 0$
VII, VIII, IX	$P = 0 ; P = i \sqrt{3.34} L$
X, XIV, XI, XII	$P = 0$

Fuente: Elaboración propia

Como se desprende de la tabla anterior, la única condición real y no imaginaria que genera escorrentía media anual nula en los modelos ajustados, es que no exista precipitación sobre las cuencas.

9.3.3.2 Análisis de sensibilidad de los modelos ajustados propuestos

Se efectuó el análisis de sensibilidad para los modelos ajustados presentados en el punto anterior, obteniéndose los resultados detallados a continuación.

- IV región

Tabla 9-30 Análisis de sensibilidad modelo de Turc ajustado para IV región

Variación [%]	Δ error relativo A [%]	Δ error relativo B [%]	Δ error relativo F [%]	Δ error relativo Y [%]	Δ error relativo Z [%]
-20%	5.31	4.81	0.08	7.06	5.86
-15%	3.07	3.93	0.06	5.20	3.74
-10%	4.10	2.85	0.04	3.40	1.93
-5%	2.74	1.54	0.02	1.67	0.27
0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5%	1.46	2.14	0.02	1.69	0.80
10%	2.68	3.55	0.04	4.65	1.55
15%	3.64	1.97	0.06	9.06	2.27
20%	4.39	2.07	0.08	13.98	2.95

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9-30 se muestran los resultados del análisis de sensibilidad para el modelo de Turc ajustado, propuesto para la estimación de la escorrentía media anual en la IV región. Como puede observarse, es el parámetro Y el que tiene una mayor preponderancia dentro del modelo, ya que su variación provoca un cambio mayor en los resultados que los que provocarían el resto de sus parámetros. En la Figura 9-1 se presenta gráficamente el análisis de sensibilidad descrito.

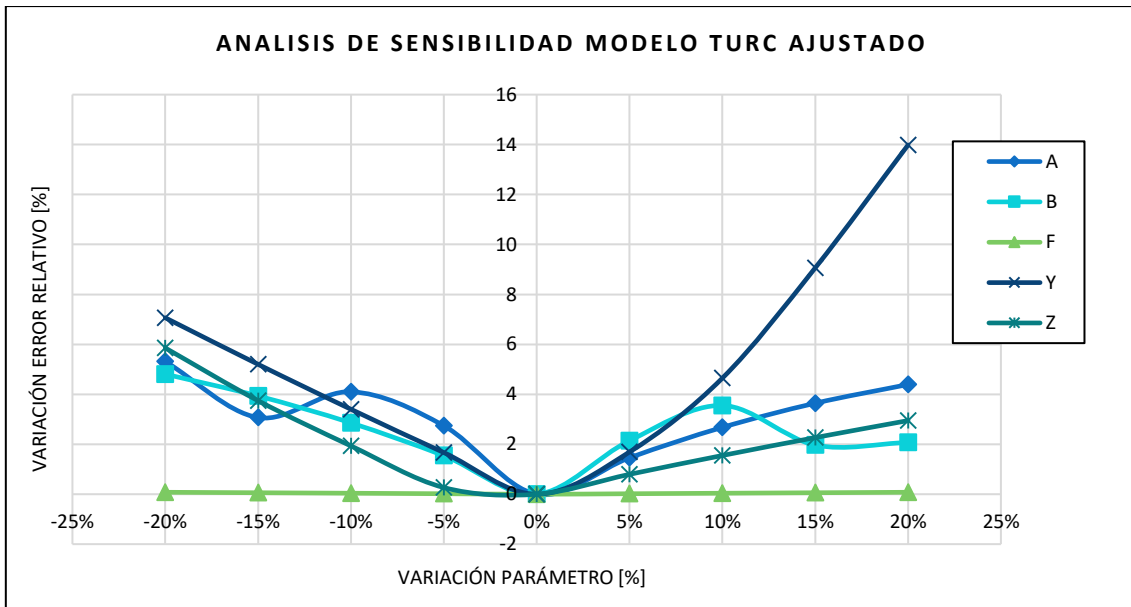


Figura 9-1 Análisis de sensibilidad modelo de Turc ajustado para IV región
Fuente: Elaboración propia

- V, RM y VI región

En la Tabla 9-31 se presenta el análisis de sensibilidad para el modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado, el cual será utilizado para la obtención de la escorrentía media anual de las cuencas de las regiones V, RM y VI.

Tabla 9-31 Análisis de sensibilidad modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado para V, RM y VI región

Variación [%]	Δ error relativo A [%]	Δ error relativo Z [%]
-20%	0.39	62.83
-15%	-0.62	48.95
-10%	-0.63	22.00
-5%	-0.53	9.44
0%	0.00	0.00
5%	0.98	0.35
10%	2.29	3.13
15%	4.01	3.30
20%	5.74	3.47

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, una variación negativa del parámetro A genera una reducción del error relativo en un bajo porcentaje. La razón de no adoptar un valor más bajo para A radica en la restricción impuesta para este parámetro, la cual fue descrita en un punto anterior. Por otro lado, se aprecia que para una variación negativa de los parámetros, es Z la que tiene una mayor importancia, entregando un Δ error relativo bastante alto. Situación distinta ocurre para variaciones positivas de los parámetros, siendo en este caso A el que otorga una mayor diferencia en el error relativo, aunque esta vez bastante bajo. En la Figura 9-2 se muestra gráficamente lo recientemente detallado.

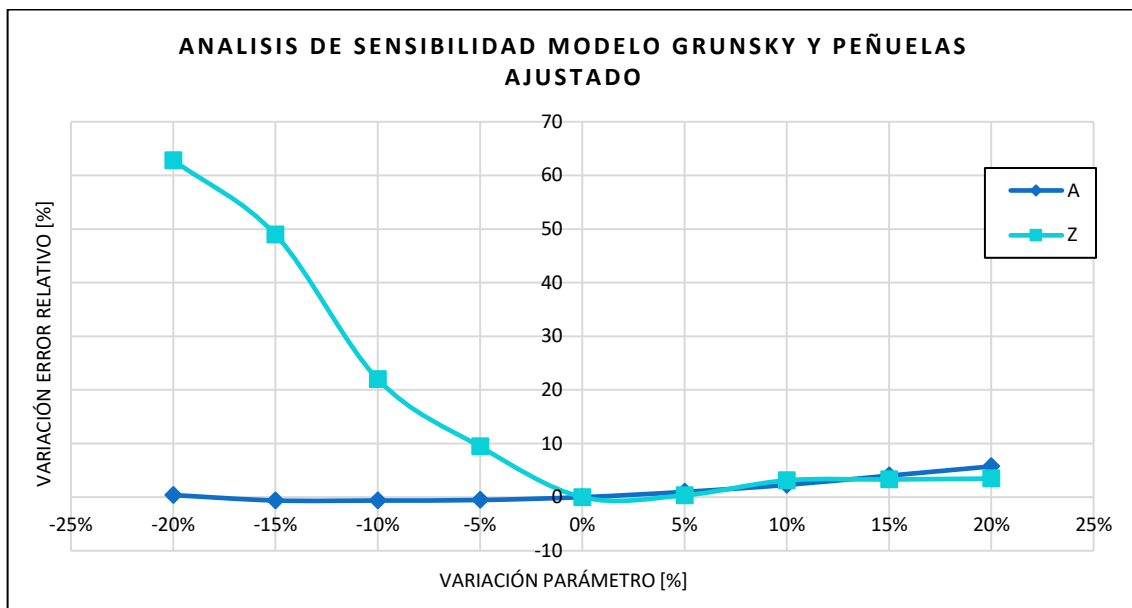


Figura 9-2 Análisis de sensibilidad modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado para V, RM y VI región
Fuente: Elaboración propia

- VII, VIII y IX región

Se ha realizado el análisis de sensibilidad para el modelo Turc – Pike ajustado, el cual será utilizado para la determinación de la escorrentía media anual de cuencas ubicadas en las regiones VII, VIII y IX. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9-32 Análisis de sensibilidad modelo de Turc - Pike ajustado para VII, VIII y IX región

Variación [%]	Δ error relativo B [%]	Δ error relativo Y [%]	Δ error relativo Z [%]
-20%	1.19	0.17	0.38
-15%	0.87	0.10	0.27
-10%	0.56	0.05	0.17
-5%	0.27	0.02	0.08
0%	0.00	0.00	0.00
5%	-0.13	0.16	0.01
10%	-0.26	0.32	0.01
15%	-0.38	0.49	0.02
20%	-0.49	0.66	0.04

Fuente: Elaboración propia

A partir de lo obtenido se tiene que para variaciones negativas de los parámetros, es B la de mayor preponderancia, en términos del Δ error relativo. No se muestran los resultados para variaciones positivas del parámetro B, ya que sobrepasa la restricción impuesta al modelo. Más allá de eso, para variaciones positivas de cada uno de los parámetros, es Y la que genera un mayor cambio en el error relativo.

En la Figura 9-3 se muestra el análisis de sensibilidad para el modelo de Turc – Pike ajustado.

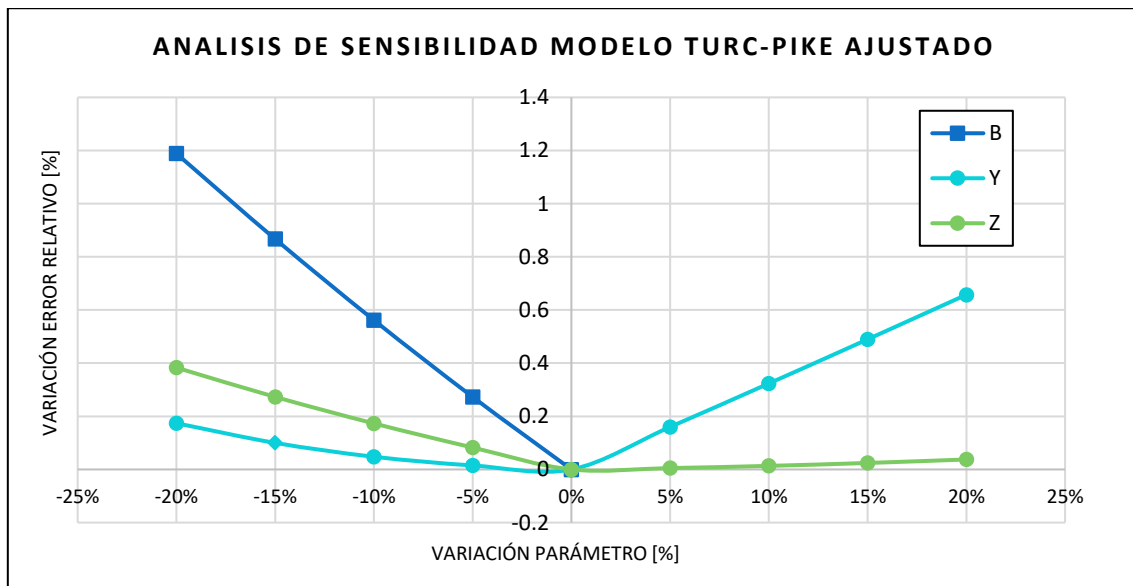


Figura 9-3 Análisis de sensibilidad modelo de Turc - Pike ajustado para VII, VIII y IX región

Fuente: Elaboración propia

- X, XIV, XI y XII región

En la Tabla 9-33 se muestra el análisis de sensibilidad efectuado al modelo de Grunsky y de Peñuelas ajustados. Este modelo es utilizado para la obtención de la escorrentía media anual en las cuencas de la X, XIV, XI y XII región.

Tabla 9-33 Análisis de sensibilidad modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado para X, XIV, XI y XII región

Variación [%]	Δ error relativo A [%]	Δ error relativo Z [%]
-20%	8.13	7.98
-15%	6.03	7.71
-10%	3.93	1.79
-5%	1.82	0.81
0%	0.00	0.00
5%	-0.75	1.30
10%	-0.48	4.26
15%	0.46	7.54
20%	1.60	10.96

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse, para variaciones negativas tanto para el parámetro A como para Z se obtienen deltas de error relativo similares, alternando la importancia de cada uno dependiendo de la magnitud de la variación. Por otro lado, para variaciones positivas claramente es el parámetro Z el que predomina en la determinación del error relativo. En la siguiente figura se presenta el análisis descrito. No se han presentado los valores para incrementos positivos de A ya que exceden el límite en las restricciones impuestas al modelo.

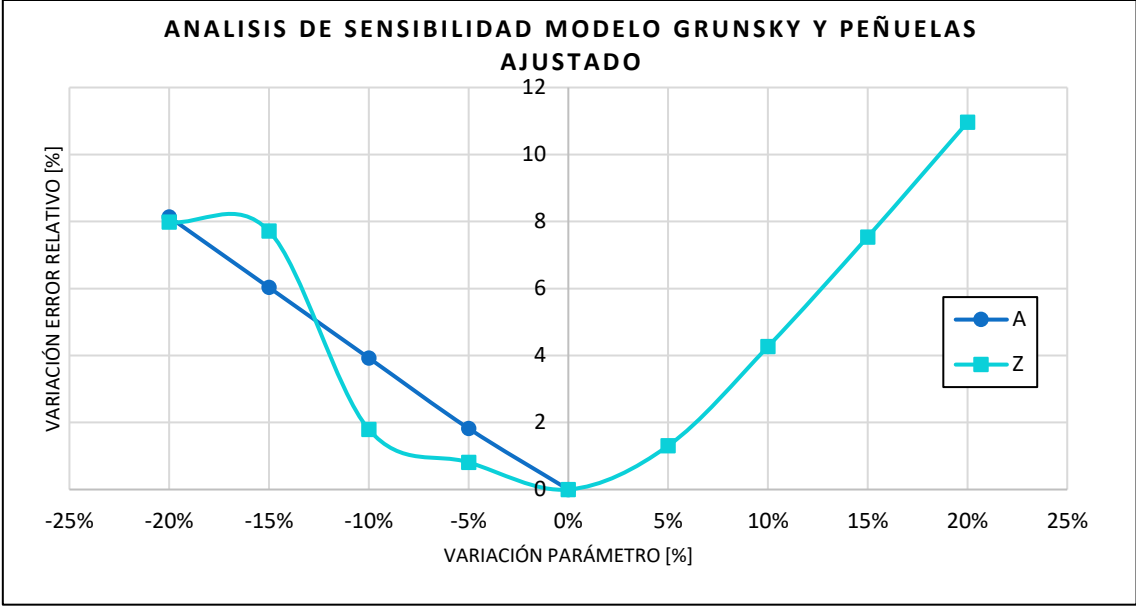


Figura 9-4 Análisis de sensibilidad modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado para X, XIV, XI y XII región
Fuente: Elaboración propia

Capítulo 10: Ajuste de modelos precipitación – escorrentía para división entregada por el Método Cluster

Buscando minimizar el error relativo obtenido en el capítulo anterior, para cada subcuenca analizada en este estudio, se presenta el Método Cluster, conocido también como Análisis de Conglomerados, el cual es una técnica estadística multivariable, que en este caso nos entregará una división de las subcuencas consideradas en base a las variables precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración potencial media anual. Así entonces, en este capítulo se presentan los resultados del ajuste de los modelos precipitación – escorrentía a los grupos de subcuencas obtenidos mediante el método descrito.

Debe mencionarse además que la aplicación de esta herramienta de análisis es nueva, considerando que en las memorias de título precedentes no fue utilizada.

10.1 Metodología utilizada

De forma alternativa a la regionalización considerada en el Capítulo 9: Ajuste de los modelos precipitación – escorrentía por grupos según regiones, en donde se utilizaron 4 configuraciones distintas, se ha procedido a utilizar la técnica del Análisis Cluster, el cual será explicado más adelante, mediante el cual se obtienen grupos de subcuencas con características similares, en términos de las variables precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración potencial media anual. Posteriormente, se procede al ajuste de los modelos precipitación – escorrentía utilizados en este estudio, es decir el modelo de Turc, Coutagne, Turc – Pike, Grunsky y Peñuelas, a cada uno de los grupos de subcuencas obtenidos con el método Cluster. Este ajuste se efectuará de la misma manera que en el capítulo anterior, minimizando el parámetro error relativo promedio obtenido para cada grupo de subcuencas. La elección de los coeficientes óptimos para cada grupo de cuencas y cada modelo, restringida por las condiciones detalladas en el punto 9.1, se efectúa valiéndonos de la herramienta Solver del software Microsoft Excel, la cual es frecuentemente utilizada cuando se trata de ajustar u optimizar situaciones o problemas.

Así entonces, los coeficientes idóneos de cada modelo de tal manera de cumplir con el objetivo establecido se obtienen siguiendo los siguientes pasos:

- a) Se crea una tabla que contenga en tres distintas columnas, las variables hidrometeorológicas precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración media anual.
- b) En una nueva columna, se coloca la escorrentía media anual medida para cada subcuenca en estudio.
- c) Se crean nuevas columnas, con los coeficientes de cada modelo, que posteriormente serán iterados para definir los valores óptimos. Considerando que cada modelo tiene una cantidad de parámetros distintos para la obtención de la escorrentía, el número de columnas es variable.
- d) En una columna nueva, se define la escorrentía media anual estimada en función de los coeficientes definidos en las columnas anteriores.
- e) En una nueva columna, se define el error relativo de cada subcuenca, esto mediante las siguientes expresiones:

$$E_{relativo} = \frac{|E_{s,medida} - E_{s,estimada}|}{E_{s,medida}} \cdot 100$$

Donde,

$E_{s,medida}$: Escorrentía media anual medida de cada subcuenca, en [mm];

$E_{s,estimada}$: Escorrentía media anual estimada por cada modelo para cada subcuenca, en [mm];

$E_{relativo}$: Error relativo obtenido para cada subcuenca, en [%].

- f) Se determina el error relativo promedio de las subcuencas analizadas en esa tabla (se hace un análisis segmentado como se mencionó anteriormente, no considerando el total de las subcuencas analizadas en este estudio). Este valor corresponde a la celda objetivo.
- g) Se procede a minimizar la celda objetivo mediante la herramienta Solver, iterando los coeficientes del modelo en estudio en ese momento, definidos en las columnas anteriores. En esta misma aplicación se establecen las restricciones descritas anteriormente, buscando obtener expresiones realistas. La iteración comienza con el valor original de los coeficientes. El proceso se repite hasta obtener una solución óptima estable, partiendo cada nueva iteración con los parámetros o coeficientes obtenidos en la anterior.

La solución obtenida en el punto g) corresponde entonces a la versión ajustada del modelo.

10.2 Método Cluster

El Análisis Cluster o también nombrado como Análisis de Conglomerados, corresponde a una técnica multivariable estadística que busca dividir una muestra en diferentes grupos, cuyos elementos poseen características similares entre si y muy diferentes al resto de los grupos, las cuales son difíciles de determinar a simple vista.

El Análisis Cluster efectúa una representación abstracta de la nube de puntos original, específicamente crea un dendrograma¹ a partir de una matriz de distancias, la cual cuantifica las distancias entre los individuos dentro de la nube de puntos original. Existen muchas maneras de determinar estas distancias, sin embargo, la más utilizada por largo es la euclídiana, la cual realiza el cálculo considerando una línea recta entre los puntos en el espacio. Por ejemplo, en un espacio n-dimensional, la distancia euclidiana entre dos puntos $P=(p_1, p_2, \dots, p_n)$ y $Q=(q_1, q_2, \dots, q_n)$ queda definida por la siguiente expresión:

$$d(P, Q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2}$$

De esta manera entonces se obtiene la matriz de distancias, la cual será una matriz cuadrada, simétrica y con la diagonal principal con ceros. A partir de esta matriz se agrupan los dos puntos diferentes de menor distancia. Nace así una nueva interrogante, la cual es como calcular la distancia entre un punto y un grupo de puntos. Algunos de estos criterios son el del mínimo, el del máximo y el de la media. Resuelta esta incógnita se tendrá el dendrograma listo, resolviendo así entonces el problema.

¹ Es un tipo de representación gráfica o diagrama de datos en forma de árbol que organiza los datos de subcategorías que se van dividiendo en otros hasta llegar al nivel de detalle deseado.

10.3 División entregada por el método Cluster

Como se explicó en el punto anterior, mediante el método Cluster se generaron grupos de subcuencas con características similares, basándose en las variables precipitación media anual, evapotranspiración potencial media anual y temperatura media anual. En este caso se obtuvieron 5 grupos, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 10-1 Grupo N°1 obtenido del Análisis Cluster

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	160.9	1.1	1230.6
		Río Cochiguaz en el Peñón	161.7	0.9	1224.0
		Río Toro antes junta Río La Laguna	166.3	-1.9	1131.3
		Embalse Laguna	169.9	-3.9	1063.6
RM	Río Maipo	Estero Puangue en Boquerón	455.5	14.1	1125.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-2 Grupo N°2 obtenido del Análisis Cluster

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	438.3	3.9	728.6
		Río Chalinga en La Palmilla	451.0	2.9	691.8
		Río Choapa en Cuncumén	441.3	3.4	710.3
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	841.7	7.1	429.1
		Río Sobrante en Piñadero	863.9	6.6	396.0
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	786.2	8.2	512.4
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	922.4	5.4	304.7
		Río Juncal en Juncal	1060.7	2.2	70.2
		Río Colorado en Colorado	989.5	3.8	190.6
		Estero Pocuro en el Sifón	595.4	12.1	798.4
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	766.5	7.1	848.7
		Estero Arrayan en La Montosa	812.7	6.0	806.5
		Río Volcán en Queltehues	901.2	3.1	691.5
		Canal Colina Peldehue	677.6	9.2	931.6
		Río Maipo en San Alfonso	838.7	5.2	775.5
		Río Mapocho en Los Almendros	726.7	8.1	888.6
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1042.3	4.6	762.4
		Río Cisnes antes junta Río Moro	795.7	5.3	783.0
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	627.3	6.0	871.6
		Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1017.0	5.7	824.1
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	656.0	4.4	868.5
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1018.2	5.9	825.6
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	351.3	1.5	608.6
		Río Las Chinas en Cerro Guido	567.4	2.3	608.6
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	356.9	4.3	608.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-2 Grupo N°2 obtenido del Análisis Cluster (Continuación)

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	933.2	4.7	599.0
		Río San Juan en Desembocadura	900.6	4.8	599.0
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	495.2	4.0	670.2
		Río Oro en Bahía San Felipe	506.3	3.9	670.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-3 Grupo N°3 obtenido del Análisis Cluster

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	1496.0	5.1	1019.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1399.0	6.8	1023.0
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1449.0	5.9	1018.0
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1418.0	6.4	544.0
VIII	Río BioBio	Río Mulchén en Mulchén	1457.0	12.5	1008.0
		Río Bureo en Mulchén	1529.0	11.2	864.0
XIV	Río Bueno	Río Damas en Tacamo	1676.1	9.8	820.4
		Río Forrahue en Aromos	1651.7	9.9	821.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-4 Grupo N°4 obtenido del Análisis Cluster

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	3080.0	1.0	823.0
		Río Claro en los Queñes	2544.0	3.9	893.0
		Río Colorado en junta con Palos	2933.0	1.8	842.0
		Río Palos en junta con Colorado	2608.0	3.5	885.0
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2533.0	6.0	753.0
		Río Achibueno en los Peñascos	2268.0	7.7	847.0
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	2642.0	5.2	714.0
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	3361.0	4.9	920.0
		Río Ñuble en la Punilla	3379.0	4.8	919.0
		Río Diguillín en San Lorenzo	3123.0	6.0	926.0
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	2342.0	6.9	669.0
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	2628.0	6.5	812.0
		Río Cautín en Rariruca	2398.0	7.3	844.0
		Río Huichahue en Faja 24000	2487.0	9.9	862.0
X	Río Valdivia	Río Cruces en Rucaco	2404.4	9.1	750.3
		Río Iñaque en Máfil	2274.0	9.5	791.0
		Río Collileufú en Los Lagos	2256.5	9.6	796.5
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2468.9	9.0	730.0
XIV	Río Bueno	Río Coihueco antes junta Pichicope	3031.0	7.8	777.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-5 Grupo N° 5 obtenido del Análisis Cluster

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3639.0	6.9	699.0
		Río Trancura en Curarrehue	3975.0	7.0	767.0
		Río Liucura en Liucura	4659.0	7.8	782.0
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3835.1	4.9	452.5
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	4333.7	5.8	737.1
		Río Nilahue en Mayay	4239.2	5.9	740.1

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse, existe un patrón diferenciador claro entre grupos que se basa en la precipitación media anual, ya que como puede apreciarse la precipitación de las subcuencas del grupo N°1 varía entre 0 y 500 mm, la del grupo N°2 predominantemente entre 500 y 1000 mm, la del grupo N°3 entre 1000 y 2000 mm, el grupo N°4 entre 2000 y 3500 mm y finalmente las del grupo N°5 entre 3500 mm hacia arriba. Por otra parte, para la variable temperatura media anual y evapotranspiración potencial media anual no se distinguen patrones o diferencias que hagan que determinada subcuenca pertenezca a un grupo u otro. A partir de esto se puede concluir que la variable más predominante en la matriz de distancias y en la división efectuada por el método es la precipitación media anual.

Si bien la división efectuada por el Análisis Cluster parece ser exacta en términos de la precipitación media anual, hay algunas subcuencas que no encajan en la separación por rangos de precipitación descrita en el párrafo anterior. Por ejemplo, la estación río Baguales en Cerro Guido, perteneciente al grupo N°2 contempla un valor de la variable mencionada igual a 351.3 [mm], por lo cual según la división especificada debería recaer en el grupo N°1. Esta situación se repite para un grupo pequeño de subcuencas. Considerando esta discrepancia, se ha decidido cambiar de grupo a las subcuencas que presentan esta condición, privilegiando la división en grupos de las subcuencas según lo siguiente:

- Grupo N°1: $0 < P \leq 500$ [mm]
- Grupo N°2: 500 [mm] $< P \leq 1000$ [mm]
- Grupo N°3: 1000 [mm] $< P \leq 2000$ [mm]
- Grupo N°4: 2000 [mm] $< P \leq 3500$ [mm]
- Grupo N°5: 3500 [mm] $< P \leq 5000$ [mm]

Posteriormente, corrigiendo los grupos según lo indicado, se tiene lo siguiente:

Tabla 10-6 Grupo N°1 corregido del Análisis Cluster

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	160.9	1.1	1230.6
		Río Cochiguaz en el Peñón	161.7	0.9	1224.0
		Río Toro antes junta Río La Laguna	166.3	-1.9	1131.3
		Embalse Laguna	169.9	-3.9	1063.6
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	438.3	3.9	728.6
		Río Chalinga en La Palmilla	451.0	2.9	691.8
		Río Choapa en Cuncumén	441.3	3.4	710.3
RM	Río Maipo	Estero Puangue en Boquerón	455.5	14.1	1125.9
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	351.3	1.5	608.6
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	356.9	4.3	608.6
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	495.2	4.0	670.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-7 Grupo N°2 corregido del Análisis Cluster

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	841.7	7.1	429.1
		Río Sobrante en Piñadero	863.9	6.6	396.0
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	786.2	8.2	512.4
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	922.4	5.4	304.7
		Río Colorado en Colorado	989.5	3.8	190.6
		Estero Pocuro en el Sifón	595.4	12.1	798.4
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	766.5	7.1	848.7
		Estero Arrayan en La Montosa	812.7	6.0	806.5
		Río Volcán en Queltehues	901.2	3.1	691.5
		Canal Colina Peldehue	677.6	9.2	931.6
		Río Maipo en San Alfonso	838.7	5.2	775.5
		Río Mapocho en Los Almendros	726.7	8.1	888.6
XI	Río Cisnes	Río Cisnes antes junta Río Moro	795.7	5.3	783.0
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	627.3	6.0	871.6
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	656.0	4.4	868.5
XII	Río Serrano	Río Las Chinas en Cerro Guido	567.4	2.3	608.6
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	933.2	4.7	599.0
		Río San Juan en Desembocadura	900.6	4.8	599.0
XII	Tierra del Fuego	Río Oro en Bahía San Felipe	506.3	3.9	670.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-8 Grupo N°3 corregido del Análisis Cluster

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
V	Río Aconcagua	Río Juncal en Juncal	1060.7	2.2	70.2
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	1496.0	5.1	1019.0
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1399.0	6.8	1023.0
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1449.0	5.9	1018.0
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1418.0	6.4	544.0
VIII	Río BioBio	Río Mulchén en Mulchén	1457.0	12.5	1008.0
		Río Bureo en Mulchén	1529.0	11.2	864.0
XIV	Río Bueno	Río Damas en Tacamo	1676.1	9.8	820.4
		Río Forrahue en Aromos	1651.7	9.9	821.1
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1042.3	4.6	762.4
XI	Río Aysén	Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1017.0	5.7	824.1
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1018.2	5.9	825.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-9 Grupo N°4 corregido del Análisis Cluster

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	3080.0	1.0	823.0
		Río Claro en los Queñes	2544.0	3.9	893.0
		Río Colorado en junta con Palos	2933.0	1.8	842.0
		Río Palos en junta con Colorado	2608.0	3.5	885.0
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2533.0	6.0	753.0
		Río Achibueno en los Peñascos	2268.0	7.7	847.0
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	2642.0	5.2	714.0
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	3361.0	4.9	920.0
		Río Ñuble en la Punilla	3379.0	4.8	919.0
		Río Diguillín en San Lorenzo	3123.0	6.0	926.0
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	2342.0	6.9	669.0
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	2628.0	6.5	812.0
		Río Cautín en Rariruca	2398.0	7.3	844.0
		Río Huichahue en Faja 24000	2487.0	9.9	862.0
X	Río Valdivia	Río Cruces en Rucaco	2404.4	9.1	750.3
		Río Iñaque en Máfil	2274.0	9.5	791.0
		Río Collileufú en Los Lagos	2256.5	9.6	796.5
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2468.9	9.0	730.0
XIV	Río Bueno	Río Coihueco antes junta Pichicope	3031.0	7.8	777.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-10 Grupo N°5 corregido del Análisis Cluster

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Pma [mm]	Tma [°C]	Etpma [mm]
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3639.0	6.9	699.0
		Río Trancura en Curarrehue	3975.0	7.0	767.0
		Río Liucura en Liucura	4659.0	7.8	782.0
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3835.1	4.9	452.5
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	4333.7	5.8	737.1
		Río Nilahue en Mayay	4239.2	5.9	740.1

Fuente: Elaboración propia

De aquí en más, se trabajará con los grupos corregidos presentados en la Tabla 10-6, Tabla 10-7, Tabla 10-8, Tabla 10-9 y Tabla 10-10.

10.4 Ajuste de modelos precipitación - escorrentía

Efectuada la división y habiendo corregido los grupos presentados en el punto anterior, se procede al ajuste de los modelos precipitación – escorrentía de Turc, Coutagne, Turc – Pike, Grunsky y Peñuelas para cada uno de estos. La metodología utilizada es la misma que se usó en el ajuste de los modelos en el capítulo anterior presentada en el punto 10.1.

10.4.1 Resultados del ajuste para el grupo N°1 corregido

10.4.1.1 Resultados del ajuste para cada modelo

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del ajuste de los modelos precipitación – escorrentía para el grupo N°1 corregido obtenido a partir del Análisis Cluster. En la Tabla 10-11, Tabla 10-12, Tabla 10-13, Tabla 10-14 y Tabla 10-15 se muestran los resultados para el modelo de Turc, Coutagne, Turc – Pike, Grunsky y Peñuelas.

Tabla 10-11 Resultados del grupo N°1 corregido para el modelo de Turc

Modelo Turc – Grupo N°1 corregido							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	49.8
Grado 1	369.8	86.2	-	-	0.74	1.00	28.6
Grado 2	576.4	51.1	1.45	-	0.71	1.00	32.9
Grado 3	347.1	79.8	0.00	0.04	0.75	1.00	28.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-12 Resultados del grupo N°1 corregido para el modelo de Coutagne

Modelo Coutagne – Grupo N°1 corregido						
Grado Pol λ	A	B	C	F	Y	Error
Original	800.0	140.0	0	0	1.00	33.5
1	1163.2	252.3	-	-	0.81	28.8
2	730.4	175.4	9.74	-	0.90	31.6
3	902.5	211.8	7.38	0.07	0.84	29.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-13 Resultados del grupo N°1 corregido para el modelo de Turc - Pike

Modelo Turc Pike – Grupo N°1 corregido							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error
Original	0	1.0	0	0	1.00	1.00	82.9
Grado 1	0	2.0	-	-	0.69	1.00	33.7
Grado 2	0	0.0	0.0016	-	0.69	1.00	34.5
Grado 3	0	0.0	0.0	0.00000132	1.00	1.00	63.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-14 Resultados del grupo N°1 corregido para el modelo de Grunsky

Modelo Grunsky – Grupo N°1 corregido			
Grado	A	B	Error
Original	0.40	1.25	66.0
Ajuste	0.70	1.00	47.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-15 Resultados del grupo N°1 corregido para el modelo de Peñuelas

Modelo Peñuelas – Grupo N°1 corregido			
Grado	A	B	Error
Original	0.50	1.00	57.5
Ajuste	0.70	1.00	47.0

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en las tablas precedentes, para el grupo N°1 corregido el menor error relativo se obtiene utilizando el ajuste al modelo de Turc, mediante el cual se obtiene un 29%. Para el resto de los modelos, el ajuste arrojó un error del 29% para Coutagne, 34% para Turc – Pike y 47% tanto para Grunsky como para Peñuelas. A partir de lo expuesto, se decidió utilizar el modelo de Turc ajustado para obtener la escorrentía media anual de las subcuencas pertenecientes al grupo N°1 corregido.

10.4.1.2 Análisis del ajuste propuesto

Como se explicó en el punto anterior, se ha utilizado el modelo de Turc ajustado para la obtención de la escurrentía media anual de las subcuencas pertenecientes a este grupo, es decir, que contemplan una precipitación media anual entre 0 y 500 mm.

La estructura del modelo de Turc ajustado es la siguiente:

Tabla 10-16 Modelo precipitación – escurrentía propuesto para Grupo N°1

Modelo Propuesto para Grupo N°1 corregido	
Turc Original	Turc Ajustado
$E_s = P - D$ $D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$ $L = 300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^3$	$E_s = P - D$ $D = \frac{0.75 \cdot P}{\sqrt{1.0 + \left(\frac{0.75 \cdot P}{L}\right)^2}}$ $L = 369.8 + 86.2 \cdot T$

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10-17 se muestra la escurrentía media anual obtenida con el modelo de Turc ajustado junto con el error relativo asociado, para cada subcuenca perteneciente al grupo N°1.

Tabla 10-17 Resultados obtenidos para cada subcuenca del grupo N°1 corregido

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
IV	Río Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	102.6	45.5	55.7
		Río Cochiguaz en el Peñón	157.1	46.1	70.7
		Río Toro antes junta Río La Laguna	52.2	60.3	15.6
		Embalse Laguna	137.4	137.4	0.0
IV	Río Choapa	Río Illapel en Las Burras	143.2	143.2	0.0
		Río Chalinga en La Palmilla	161.4	157.1	2.7
		Río Choapa en Cuncumén	282.9	148.1	47.7
RM	Río Maipo	Estero Puangue en Boquerón	230.0	125.5	45.4
XII	Río Serrano	Río Baguales en Cerro Guido	171.1	120.6	29.5
		Río Chorrillos tres pasos ruta N° 9	95.2	108.0	13.4
XII	Tierra del Fuego	Río Oscar en Bahía San Felipe	126.2	168.9	33.8
				Promedio	28.6

Fuente: Elaboración propia

El mayor error se concentra en la cuenca del río Elqui, alcanzándose un valor del 71% para la subcuenca del río Cochiguaz en el Peñón. Por otra parte, solo dos subcuencas igualan o superan el 50% de error, ambas pertenecientes a la cuenca del río Elqui. Aun así, el error relativo promedio para este grupo no alcanza el 30%, por lo cual se puede considerar de cierta forma confiable.

10.4.1.3 *Análisis de sensibilidad del ajuste propuesto*

A continuación se presenta el análisis de sensibilidad para el modelo de Turc ajustado. En la Tabla 10-18 y Figura 10-1 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 10-18 Variación de parámetros y error relativo para modelo Turc ajustado para Grupo N°1 corregido

Variación [%]	Δ error relativo A [%]	Δ error relativo B [%]	Δ error relativo Y [%]	Δ error relativo Z [%]
-20%	3.41	3.00	7.40	5.03
-15%	2.62	2.27	5.31	2.77
-10%	2.90	1.62	3.32	1.11
-5%	1.59	0.83	1.41	0.54
0%	0.00	0.00	0.00	0.00
5%	0.84	1.28	1.03	0.45
10%	1.59	2.66	3.71	1.28
15%	2.22	1.92	7.75	2.07
20%	2.74	1.19	12.70	2.82

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla y en la figura, el parámetro de mayor influencia en el modelo ajustado de Turc es Y, el cual influye directamente en la variable precipitación media anual. Tanto es así que para una variación del 20% de este parámetro provoca un aumento del error relativo en un 12.7%.

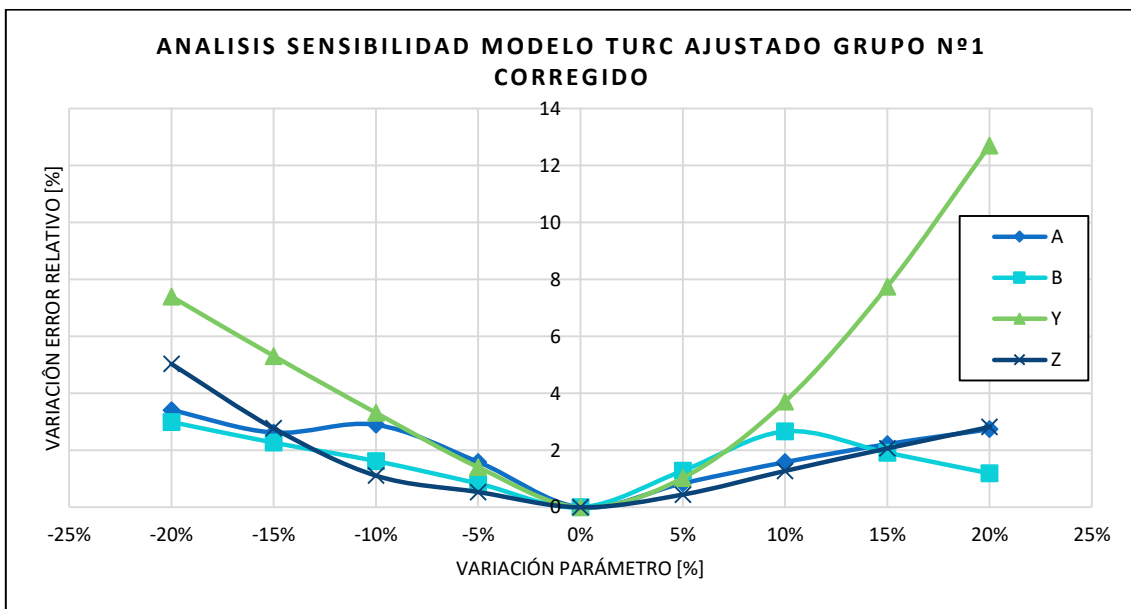


Figura 10-1 Análisis de sensibilidad para modelo de Turc ajustado para Grupo N°1 corregido

Fuente: Elaboración propia

10.4.2 Resultados del ajuste para el grupo N°2 corregido

10.4.2.1 Resultados del ajuste para cada modelo

En la Tabla 10-19, Tabla 10-20, Tabla 10-21, Tabla 10-22 y Tabla 10-23 se muestran los resultados obtenidos para el grupo N°2 corregido mediante el modelo de Turc, Coutagne, Turc-Pike, Grunsky y Peñuelas respectivamente.

Tabla 10-19 Resultados del grupo N°2 corregido para el modelo de Turc

Modelo Turc – Grupo N°2 corregido							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	70.2
Grado 1	575.0	57.5	-	-	0.83	0.70	46.4
Grado 2	567.3	58.3	0.13	-	0.84	0.72	46.4
Grado 3	596.7	51.0	0.14	0.05	0.85	0.73	46.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-20 Resultados del grupo N°2 corregido para el modelo de Coutagne

Modelo Coutagne – Grupo N°2 corregido						
Grado Pol λ	A	B	C	F	Y	Error
Original	800.0	140.0	0	0	1.00	72.0
1	1600.0	280.0	-	-	0.99	44.5
2	0.0	0.0	53.65	-	0.50	98.0
3	0.0	0.0	0.00	23.33	0.50	87.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-21 Resultados del grupo N°2 corregido para el modelo de Turc - Pike

Modelo Turc Pike – Grupo N°2 corregido							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error
Original	0	1.0	0	0	1.00	1.00	81.1
Grado 1	0	2.0	-	-	0.78	1.00	61.4
Grado 2	0	0.0	0.0021	-	0.73	1.00	84.5
Grado 3							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-22 Resultados del grupo N°2 corregido para el modelo de Grunsky

Modelo Grunsky – Grupo N°2 corregido			
Grado	A	B	Error
Original	0.40	1.25	52.0
Ajuste	0.31	1.01	46.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-23 Resultados del grupo N°2 corregido para el modelo de Peñuelas

Modelo Peñuelas – Grupo N°2 corregido			
Grado	A	B	Error
Original	0.50	1.00	61.1
Ajuste	0.31	1.01	46.5

Fuente: Elaboración propia

Como puede apreciarse, el ajuste del modelo de Turc entrega un error relativo igual a 46%, el modelo de Coutagne un 45%, el modelo de Turc – Pike un 61%, el modelo de Grunsky un 47% y el modelo de Peñuelas un 47%. A pesar que el modelo de Coutagne es el que mejor se ajusta al grupo de subcuencas, el resto de modelos tiene un comportamiento similar, exceptuando Turc – Pike cuyo error es mucho mayor.

10.4.2.2 Análisis del ajuste propuesto

Con base en los resultados obtenidos y a partir de lo que se explicó en el punto anterior, para la obtención de la escorrentía media anual de las subcuencas pertenecientes al grupo N°2 corregido se ha decidido utilizar el modelo de Coutagne ajustado, el cual se muestra en la Tabla 10-24. Este modelo es válido para subcuencas con precipitación media anual entre 500 y 1000 mm.

Tabla 10-24 Modelo precipitación – escorrentía propuesto para Grupo N°2 corregido

Modelo Propuesto para Grupo N°2 corregido	
Coutagne Original	Coutagne Ajustado
$E_s = P - D$	$E_s = P - D$
$D = P - \lambda \cdot P^2$	$D = 0.99 \cdot P - \lambda \cdot (0.99 \cdot P)^2$
$\lambda = \frac{1}{800 + 140 \cdot T}$	$\lambda = \frac{1}{1600 + 280 \cdot T}$

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se presenta la escorrentía media anual obtenida con el modelo en cuestión, para cada subcuenca del grupo N°2 corregido.

Tabla 10-25 Resultados obtenidos para cada subcuenca del grupo N°2 corregido

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
V	Río Petorca	Río Pedernal en Tejada	204.5	204.5	0.0
		Río Sobrante en Piñadero	166.3	222.4	33.8
V	Río La Ligua	Río Alicahue en Colliguay	137.1	165.6	20.8
V	Río Aconcagua	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278.6	279.3	0.3
		Río Colorado en Colorado	245.0	370.0	51.0
		Estero Pocuro en el Sifón	181.1	77.9	57.0
RM	Río Maipo	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	180.0	170.3	5.4
		Estero Arrayan en La Montosa	170.0	207.5	22.1
		Río Volcán en Queltehues	320.0	332.8	4.0
		Canal Colina Peldehue	420.0	116.8	72.2
		Río Maipo en San Alfonso	810.0	235.9	70.9
		Río Mapocho en Los Almendros	830.0	143.3	82.7
XI	Río Cisnes	Río Cisnes antes junta Río Moro	591.4	211.1	64.3
XI	Río Aysén	Río Ñirehuao en Villa Mañihuales	615.4	125.8	79.6
		Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo	653.9	157.2	76.0
XII	Río Serrano	Río Las Chinas en Cerro Guido	281.1	147.7	47.5
XII	Península de Brunswick	Río Tres Brazos antes BT. Sendos	650.1	303.7	53.3
		Río San Juan en Desembocadura	704.2	280.8	60.1
XII	Tierra del Fuego	Río Oro en Bahía San Felipe	178.3	100.0	43.9
				Promedio	44.5

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla, las subcuencas que entregan un mayor error pertenecen a la cuenca del río Maipo y la del río Aysén. El error relativo promedio de este grupo es de 45%, el cual no es satisfactorio y, por ende, no confiable.

10.4.2.3 *Análisis de sensibilidad del ajuste propuesto*

En la siguiente tabla y figura se muestra el análisis de sensibilidad efectuado al modelo de Coutagne ajustado, utilizado para la obtención de la escorrentía media anual para las subcuencas pertenecientes al grupo N°2 corregido.

Tabla 10-26 Variación de parámetros y error relativo para modelo Coutagne ajustado para Grupo N°2 corregido

Variación [%]	Δ error relativo A [%]	Δ error relativo B [%]	Δ error relativo Y [%]
-20%	2.34	2.49	6.90
-15%	1.55	1.67	4.83
-10%	0.94	0.90	2.90
-5%	0.46	0.44	1.10
0%	0.00	0.00	0.00
5%	0.01	0.06	1.51
10%	0.26	0.14	4.69
15%	0.58	0.32	9.49
20%	0.88	0.55	14.99

Fuente: Elaboración propia

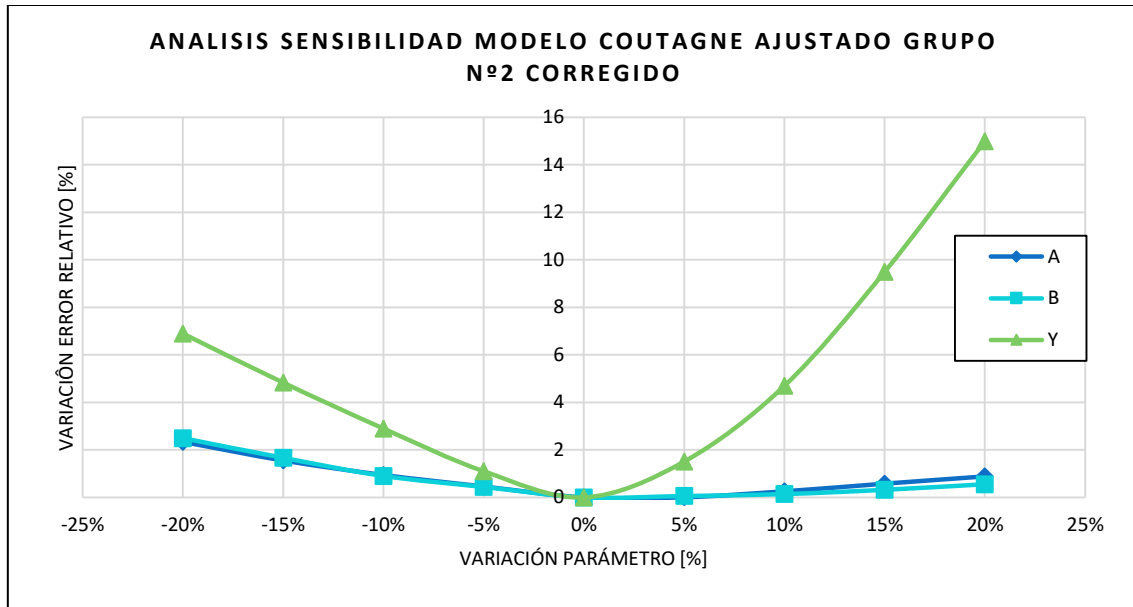


Figura 10-2 Análisis de sensibilidad para modelo de Coutagne ajustado para Grupo N°2 corregido

Fuente: Elaboración propia

De la información presentada se desprende que el parámetro Y es el de mayor influencia para el modelo en cuestión, superando ampliamente a A y B que definen a λ . Esto da a entender que la precipitación cubre un papel predominante dentro del modelo, ya que Y afecta directamente en esta.

10.4.3 Resultados del ajuste del grupo N°3 corregido

10.4.3.1 Resultados del ajuste para cada modelo

De la misma manera a como se procedió con el grupo N°1 y N°2 corregido, se obtuvo el error relativo para el grupo N°3 corregido utilizando el modelo de Turc, Coutagne, Turc – Pike, Grunsky y Peñuelas, cuyos resultados se muestran en la Tabla 10-27, Tabla 10-28, Tabla 10-29, Tabla 10-30 y Tabla 10-31 respectivamente.

Tabla 10-27 Resultados del grupo N°3 corregido para el modelo de Turc

Modelo Turc – Grupo N°3 corregido							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	42.3
Grado 1	0	16.4	-	-	1.00	1.00	39.0
Grado 2	0	0	9.09	-	0.71	1.00	37.6
Grado 3	0	0	0	0.73	0.54	1.00	36.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-28 Resultados del grupo N°3 corregido para el modelo de Coutagne

Modelo Coutagne – Grupo N°3 corregido					
Grado Pol D	G	H	I	J	Error [%]
Original	200	35	0	-	41.5
1	189.0	1.12	-	-	39.4
2	95.4	0	0.69	-	39.0
3					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-29 Resultados del grupo N°3 corregido para el modelo de Turc - Pike

Modelo Turc Pike – Grupo N°3 corregido							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1.0	0	0	1.00	1.00	51.1
Grado 1	0	0.20	-	-	1.00	1.00	40.7
Grado 2	0	0.0	0.0019	-	1.00	1.00	58.1
Grado 3							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-30 Resultados del grupo N°3 corregido para el modelo de Grunsky

Modelo Grunsky – Grupo N°3 corregido			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.40	1.25	50.4
Ajuste	0.35	0.76	39.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-31 Resultados del grupo N°3 corregido para el modelo de Peñuelas

Modelo Peñuelas – Grupo N°3 corregido			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.50	1.00	46.3
Ajuste	0.36	0.76	39.4

Fuente: Elaboración propia

Así entonces, con el ajuste del modelo de Turc se obtuvo un error relativo igual a 36%, Coutagne un 39%, Turc – Pike un 41%, Grunsky 39% y Peñuelas 39%. En este caso, todos los modelos entregan un error similar.

Considerando que es el que mejor se ajusta a la muestra, se define el modelo de Turc ajustado como el idóneo para la determinación de la escorrentía media anual de cada subcuenca.

10.4.3.2 Análisis del ajuste propuesto

En la Tabla 10-32 se presenta el modelo de Turc ajustado, propuesto para la obtención de la escorrentía media anual del grupo N°3 corregido, según lo detallado en el punto anterior. Este modelo es válido para subcuencas que contemplen una precipitación media anual entre 1000 y 2000 mm.

Tabla 10-32 Modelo precipitación – escorrentía propuesto para Grupo N°3 corregido

Modelo Propuesto para Grupo N°3 corregido	
Turc Original	Turc Ajustado
$E_s = P - D$ $D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$ $L = 300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^3$	$E_s = P - D$ $D = \frac{0.54 \cdot P}{\sqrt{1.0 + \left(\frac{0.54 \cdot P}{L}\right)^2}}$ $L = 0.73 \cdot T^3$

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra la escorrentía media anual obtenida con el modelo de Turc ajustado para cada subcuenca en análisis, junto con el error relativo asociado.

Tabla 10-33 Resultados obtenidos para cada subcuenca del grupo N°3 corregido

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
V	Río Aconcagua	Río Juncal en Juncal	842.7	1052.9	24.9
VI	Río Cachapoal	Río Pangal en Pangal	970	1400.2	44.4
		Río Cortaderal ante junta Río Cachapoal	1600	1180.3	26.2
		Río Cachapoal 5 km abajo junta Cortaderal	1455	1299.4	10.7
VI	Río Tinguiririca	Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre	1658	1233.1	25.6
VIII	Río Biobio	Río Mulchén en Mulchén	1254	772.3	38.4
		Río Bureo en Mulchén	2071	889.4	57.1
XIV	Río Bueno	Río Damas en Tacamo	692.4	1131.5	63.4
		Río Forrahue en Aromos	603.6	1099.7	82.2
XI	Río Cisnes	Río Moro antes junta Río Cisnes	1110.8	972.1	12.5
XI	Río Aysén	Río Emperador Guillermo antes Junta Mañihuales	1001.6	886.3	11.5
		Río Mañihuales antes junta Río Simpson	1350.2	874.1	35.3
				Promedio	36.0

Fuente: Elaboración propia

El error relativo en este grupo es por lo general bajo, solo encontrándose subcuencas que superan el 50% de error en la cuenca del río Biobío y del río Bueno. El error relativo promedio es igual a 36%, el cual no se considera satisfactorio para los fines de este estudio.

10.4.3.3 *Análisis de sensibilidad del ajuste propuesto*

En la Tabla 10-36 se presenta el análisis de sensibilidad para el modelo de Turc ajustado utilizado para determinar la escorrentía media anual de las hojas hidrográficas pertenecientes al grupo N°3 corregido. Así también, los resultados obtenidos pueden visualizarse en la Figura 10-3.

Tabla 10-34 Variación de parámetros y error relativo para modelo Turc ajustado para Grupo N°3 corregido

Variación [%]	Δ error relativo F [%]	Δ error relativo Y [%]	Δ error relativo Z [%]
-20%	0.60	0.12	0.03
-15%	0.43	0.06	0.02
-10%	0.28	0.03	0.01
-5%	0.13	0.01	0.00
0%	0.00	0.00	0.00
5%	-0.12	0.01	0.00
10%	-0.23	0.02	0.01
15%	-0.32	0.05	0.01
20%	-0.41	0.08	0.02

Fuente: Elaboración propia

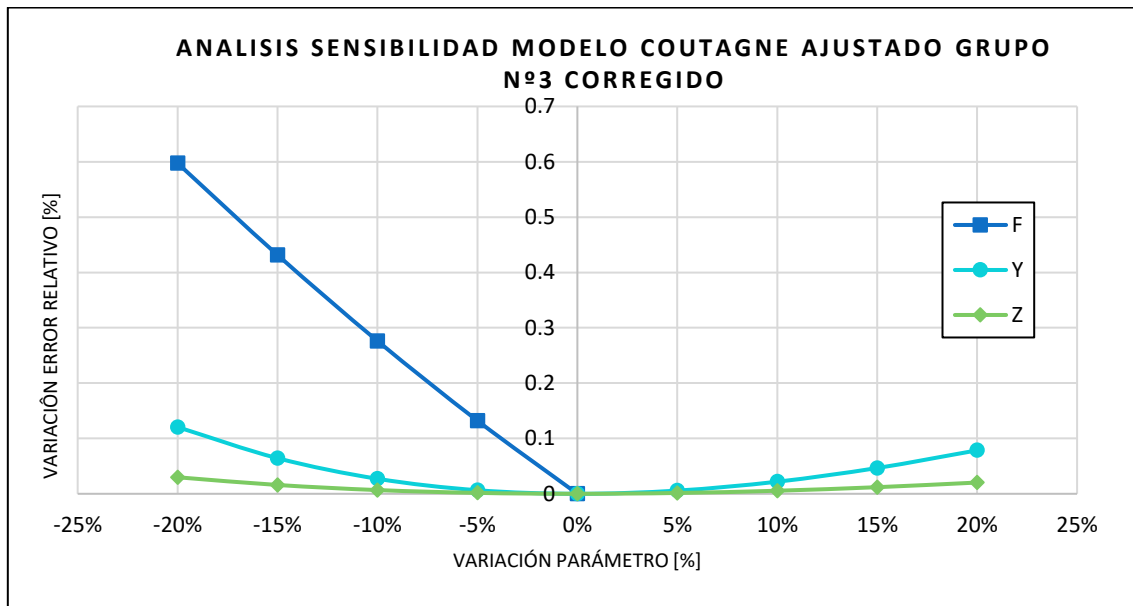


Figura 10-3 Análisis de sensibilidad para modelo de Turc ajustado para Grupo N°3 corregido

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la figura, el parámetro F genera una diferencia en el error relativo mucho mayor que Y y Z, aunque bajo. La razón de esto radica en el hecho de que el factor calórico L depende exclusivamente del parámetro F. Por otra parte, no se muestra la variación del error relativo al

asumir incrementos positivos del parámetro F, ya que el límite impuesto a F en este modelo se vería sobrepasado.

10.4.4 Resultados del ajuste del grupo N°4 corregido

10.4.4.1 Resultados del ajuste para cada modelo

En la Tabla 10-35, Tabla 10-36, Tabla 10-37, Tabla 10-38 y Tabla 10-39 se presentan los resultados obtenidos para el grupo N°4 corregido, a partir del ajuste de los modelos de Turc, Coutagne, Turc – Pike, Grunsky y Peñuelas respectivamente.

Tabla 10-35 Resultados del grupo N°4 corregido para el modelo de Turc

Modelo Turc – Grupo N°4 corregido							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	31.5
Grado 1	605.5	44.57	-	-	1.00	0.80	23.2
Grado 2	605.6	42.88	1.60	-	0.72	1.00	23.2
Grado 3	610.2	39.8	0.03	0.05	1.00	0.85	23.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-36 Resultados del grupo N°4 corregido para el modelo de Coutagne

Modelo Coutagne – Grupo N°4 corregido					
Grado Pol D	G	H	I	J	Error [%]
Original	200	35	0	-	33.5
1	411.2	58.8	-	-	25.0
2	199.8	32.7	5.42	-	28.4
3					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-37 Resultados del grupo N°4 corregido para el modelo de Turc - Pike

Modelo Turc Pike – Grupo N°4 corregido							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1.0	0	0	1.00	1.00	22.0
Grado 1	0	2	-	-	0.51	1.00	19.8
Grado 2	0	0.0	0.0022	-	0.63	1.00	19.3
Grado 3							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-38 Resultados del grupo N°4 corregido para el modelo de Grunsky

Modelo Grunsky – Grupo N°4 corregido			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.40	1.25	25.6
Ajuste	0.42	1.50	21.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-39 Resultados del grupo N°4 corregido para el modelo de Peñuelas

Modelo Peñuelas – Grupo 4 corregido			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.50	1.00	30.0
Ajuste	0.42	1.50	21.8

Fuente: Elaboración propia

Para el modelo de Turc se ha obtenido un error equivalente a 23%, para el modelo de Coutagne un 25%, para el modelo de Turc – Pike un 19%, para el modelo de Grunsky un 22% y finalmente para el modelo de Peñuelas un 22%. Así entonces, si bien todos los modelos entregan un error bajo que entrega cierta confiabilidad, la mejor opción es considerar el modelo de Turc – Pike.

10.4.4.2 Análisis del ajuste propuesto

En la Tabla 10-40 se presenta el modelo Turc – Pike ajustado, correspondiente al modelo propuesto para la estimación de la escorrentía media anual de las subcuencas pertenecientes al grupo 4. El modelo es válido para hojas hidrográficas cuya precipitación media anual oscile entre los 2000 y 3500 mm.

Tabla 10-40 Modelo precipitación – escorrentía propuesto para Grupo N°4 corregido

Modelo Propuesto para Grupo N°4 corregido	
Turc – Pike Original	Turc – Pike Ajustado
$E_s = P - D$ $D = \frac{P}{\sqrt{1 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$ $L = ETP$	$E_s = P - D$ $D = \frac{0.63 \cdot P}{\sqrt{1 + \left(\frac{0.63 \cdot P}{L}\right)^2}}$ $L = 0.0022 \cdot ETP^3$

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10-41 se presentan los valores obtenidos para cada una de las subcuencas pertenecientes al grupo N°4 corregido, utilizando el modelo de Turc – Pike ajustado.

Tabla 10-41 Resultados obtenidos para cada subcuenca del grupo N°4 corregido

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
VII	Río Mataquito	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	1703.0	1914.0	12.4
		Río Claro en los Queñes	1739.0	1373.9	21.0
		Río Colorado en junta con Palos	1612.0	1756.4	9.0
		Río Palos en junta con Colorado	1903.0	1432.5	24.7
VII	Río Maule	Río Longaví en el Castillo	2504.0	1563.3	37.6
		Río Achibueno en los Peñascos	1631.0	1220.5	25.2
		Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	1690.0	1725.1	2.1
VIII	Río Itata	Río Sauce ante junta con Ñuble	1751.0	1980.3	13.1
		Río Ñuble en la Punilla	1888.0	1996.9	5.8
		Río Diguillín en San Lorenzo	2471.0	1777.7	28.1
VIII	Río Biobío	Río Lonquimay antes junta río Biobío	1855.0	1534.7	17.3
IX	Río Imperial	Río Blanco en Curacautín	1503.0	1550.7	3.2
		Río Cautín en Rariruca	2270.0	1322.9	41.7
		Río Huichahue en Faja 24000	1149.0	1368.8	19.1
X	Río Valdivia	Río Cruces en Rucaco	1458.1	1458.1	0.0
		Río Iñaque en Máfil	1166.6	1293.3	10.9
		Río Collileufu en Los Lagos	1604.4	1272.4	20.7
		Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	2292.0	1545.4	32.6
XIV	Río Bueno	Río Coihueco antes junta Pichicope	3387.7	1954.2	42.3
				Promedio	19.3

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia, ninguna subcuenca alcanza o supera el 50% de error y el promedio se encuentra bajo el 20%, por lo cual la aplicación del modelo de Turc – Pike para este grupo se manifiesta como la idónea.

10.4.4.3 Análisis de sensibilidad del ajuste propuesto

En la Tabla 10-42 se muestran los resultados del análisis de sensibilidad realizado al modelo de Turc – Pike ajustado, mediante el cual se ha calculado la escorrentía media anual de las subcuencas pertenecientes al grupo N°4 corregido. Así también, de manera gráfica los resultados obtenidos pueden visualizarse en la Figura 10-4.

Tabla 10-42 Variación de parámetros y error relativo para modelo Turc - Pike ajustado para Grupo N°4 corregido

Variación [%]	Δ error relativo C [%]	Δ error relativo Y [%]	Δ error relativo Z [%]
-20%	1.25	0.64	0.04
-15%	0.91	0.45	0.02
-10%	0.59	0.28	0.01
-5%	0.29	0.13	0.00
0%	0.00	0.00	0.00
5%	-0.07	0.01	0.06
10%	0.09	0.02	0.12
15%	0.38	0.14	0.18
20%	0.82	0.33	0.24

Fuente: Elaboración propia

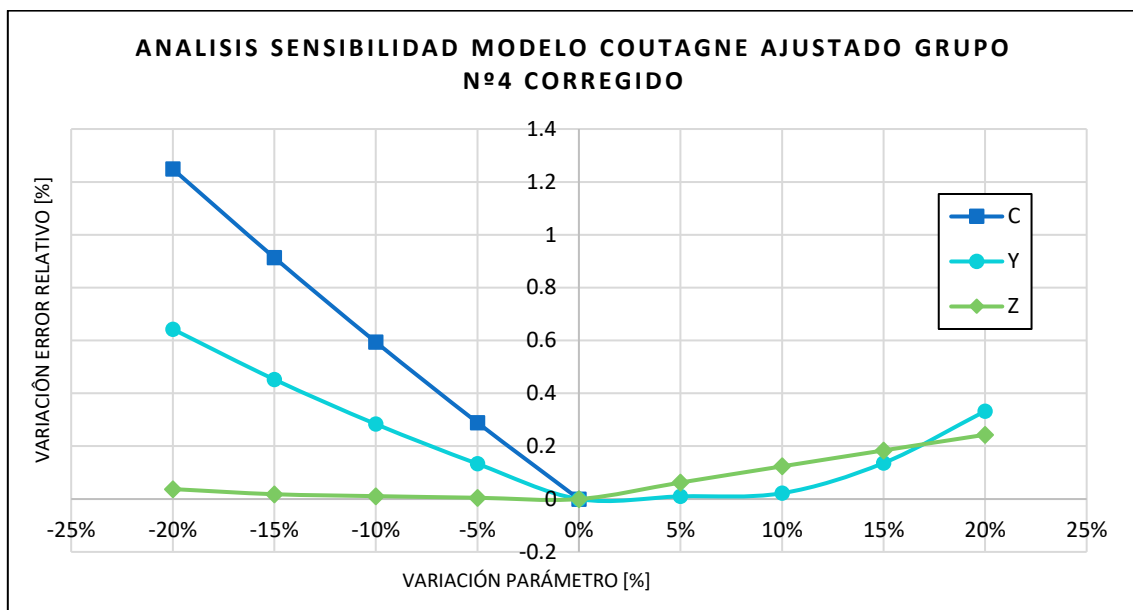


Figura 10-4 Análisis de sensibilidad para modelo de Turc - Pike ajustado para Grupo N°4 corregido

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse en la figura, el parámetro C es el de mayor preponderancia en términos del cambio en el error relativo de las subcuencas pertenecientes a este grupo al variar su valor. Una de las razones que puede explicar esta situación es el hecho de que el factor calórico L depende únicamente de este parámetro. De todas formas, la variación en el error al modificar el valor de C es bajo. Como se aprecia, no se presenta en el gráfico la situación cuando C es incrementado, ya que se supera el límite definido en las restricciones impuestas al modelo, las cuales fueron detalladas en capítulos previos.

10.4.5 Resultados del ajuste para el grupo N°5 corregido

10.4.5.1 Resultados del ajuste para cada modelo

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos para el grupo N°5 corregido, mediante el ajuste del modelo de Turc, Coutagne, Turc – Pike, Grunsky y Peñuelas respectivamente.

Tabla 10-43 Resultados del grupo N°5 corregido para el modelo de Turc

Modelo Turc – Grupo N°5 corregido							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	300	25	0	0.05	1.00	0.90	17.7
Grado 1	0	133.0	-	-	1.00	0.30	14.1
Grado 2	0	0	17.1	-	1.00	0.30	13.1
Grado 3	0	0	0	2.19	1.00	0.30	12.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-44 Resultados del grupo N°5 corregido para el modelo de Coutagne

Modelo Coutagne – Grupo N°5 corregido					
Grado Pol D	G	H	I	J	Error [%]
Original	200	35	0	-	18.3
1	0	121.3	-	-	14.4
2	0	0	15.6	-	13.6
3					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-45 Resultados del grupo N°5 corregido para el modelo de Turc - Pike

Modelo Turc Pike – Grupo N°5 corregido							
Grado Pol L	A	B	C	F	Y	Z	Error [%]
Original	0	1.0	0	0	1.00	1.00	14.6
Grado 1	0	1.1	-	-	1.0	1.00	14.3
Grado 2	0	0.0	0.0015	-	1.00	1.00	12.8
Grado 3							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-46 Resultados del grupo N°5 corregido para el modelo de Grunsky

Modelo Grunsky – Grupo N°5 corregido			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.40	1.25	16.8
Ajuste	0.42	1.36	16.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-47 Resultados del grupo N°5 corregido para el modelo de Peñuelas

Modelo Peñuelas – Grupo N°5 corregido			
Grado	A	B	Error [%]
Original	0.5	1.00	18.0
Ajuste	0.42	1.36	16.4

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, para el modelo de Turc se obtuvo un error relativo del 13%, Coutagne un 14%, Turc – Pike 13%, Grunsky 16% y Peñuelas 16%. Se concluye que el error es bajo, por lo cual la utilización de cualquiera de los métodos mencionados es una alternativa confiable.

10.4.5.2 Análisis del ajuste escogido

Considerando que es el modelo que entrega un menor error relativo para las subcuencas estudiadas, se ha utilizado el modelo de Turc ajustado para la obtención de la escorrentía media anual de las hojas hidrográficas pertenecientes al grupo N°5 corregido. Estas hojas deben contemplar una precipitación media anual igual o superior a 3500 mm. En la siguiente tabla se muestra el modelo propuesto:

Tabla 10-48 Modelo precipitación – escorrentía propuesto para Grupo N°5 corregido

Modelo Propuesto para Grupo N°5 corregido	
Turc Original	Turc Ajustado
$E_s = P - D$ $D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$ $L = 300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^3$	$E_s = P - D$ $D = \frac{P}{\sqrt{0.3 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$ $L = 2.19 \cdot T^3$

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos mediante la aplicación del modelo propuesto se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10-49 Resultados obtenidos para cada subcuenca del grupo N°5 corregido

REGION	CUENCA	ESTACION FLUVIOMETRICA	Em [mm]	Es [mm]	Error [%]
IX	Río Toltén	Río Allipén en Melipeuco	3061.0	2925.0	4.4
		Río Trancura en Curarrehue	2607.0	3229.1	23.9
		Río Liucura en Liucura	2764.0	3629.2	31.3
X	Río Valdivia	Río Liquiñe en Liquiñe	3647.0	3578.1	1.9
XIV	Río Bueno	Río Caunahue camino a Llifén	3559.9	3907.8	9.8
		Río Nilahue en Mayay	3952.0	3791.0	4.1
				Promedio	12.6

Fuente: Elaboración propia

Como puede visualizarse, el error relativo obtenido con el modelo elegido es bastante bajo, siendo el máximo un 31% para la subcuenca río Liucura en Liucura. El error promedio obtenido es de un 13%, por lo cual el modelo de Turc ajustado se considera confiable para la estimación de la escorrentía de subcuencas con las características del grupo N°5 corregido.

10.4.5.3 Análisis de sensibilidad del ajuste propuesto

Se realizó el análisis de sensibilidad para el modelo de Turc ajustado, utilizado para la obtención de la escorrentía media anual de las subcuencas pertenecientes al grupo N°5 corregido. Estos resultados son mostrados en la Tabla 10-50.

Tabla 10-50 Variación de parámetros y error relativo para modelo Turc ajustado para Grupo N°5 corregido

Variación [%]	Δ error relativo F [%]	Δ error relativo Y [%]	Δ error relativo Z [%]
-20%	1.25	0.03	-0.01
-15%	0.89	0.02	-0.01
-10%	0.59	0.01	0.00
-5%	0.30	0.01	0.00
0%	0.00	0.00	0.00
5%	-0.30	0.00	0.00
10%	-0.59	-0.01	0.00
15%	-0.89	-0.01	0.01
20%	-1.18	-0.01	0.01

Fuente: Elaboración propia

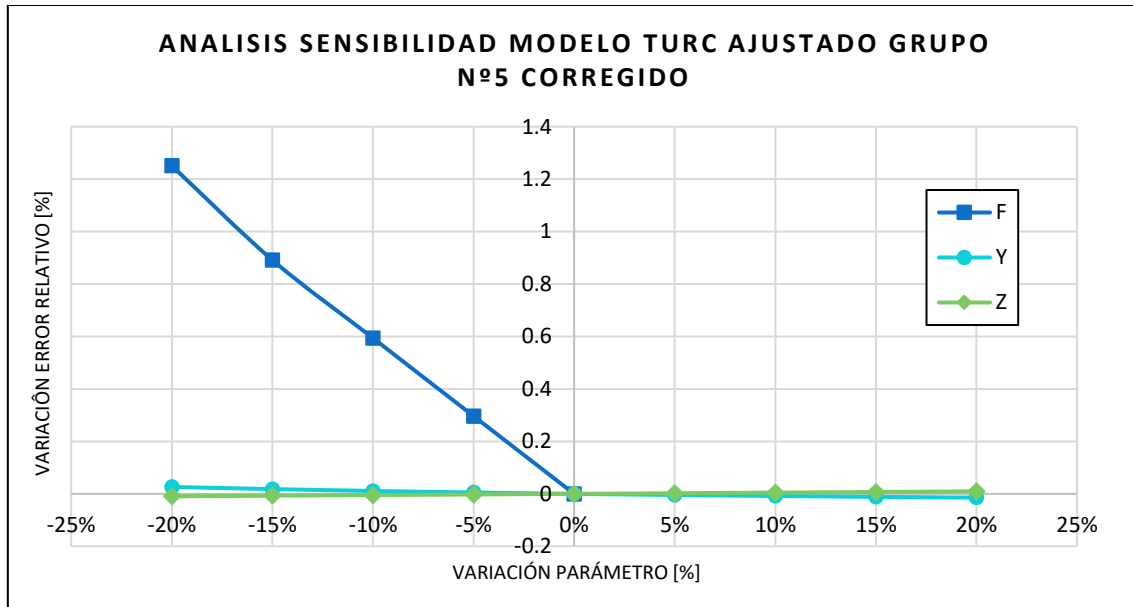


Figura 10-5 Análisis de sensibilidad para modelo de Turc ajustado para Grupo N°5 corregido

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la figura anterior, el parámetro que produce un mayor impacto en el error relativo es el F, aunque su variación no produce un cambio importante. De esto se desprende que el cambio que produce la variación de los parámetros Y y Z en el error relativa es mínima.

10.5 Análisis de los resultados en los límites de cada grupo

Considerando la segmentación de la muestra total de subcuencas en base al valor de la variable precipitación media anual, se hace necesario estudiar el comportamiento de las expresiones utilizadas para cada grupo en el borde, es decir en el límite de cada uno de estos.

10.5.1 Análisis en el límite grupo N°1 – grupo N°2 corregidos

Se efectuó el análisis en el límite de los grupos N°1 y N°2 corregidos, correspondiente a una precipitación media anual de 500 [mm].

Para el grupo N°1 corregido, el cual considera las subcuencas con precipitación media anual menor a 500 [mm], es el modelo de Turc ajustado el de mejor comportamiento. Por otra parte, para el grupo N°2 corregido, para el cual la precipitación media anual varía entre 500 y 1000 [mm], el

modelo de Coutagne (45% de error relativo promedio) y el modelo de Turc (46% de error relativo promedio) son los de mejor comportamiento. Los modelos mencionados dependen de la precipitación media anual como también de la temperatura media anual. Para el análisis en cuestión, la primera variable mencionada ya fue definida, mientras que la temperatura media anual es variable asumiendo valores dentro del rango observado en cada grupo.

En la Tabla 10-51 se muestran los resultados obtenidos para el análisis efectuado. Como se observa, los resultados son bastante disimiles.

Tabla 10-51 Análisis en el límite de grupo N°1 y grupo N°2 corregidos

P [mm]	T [°C]	Es [mm]		
		Grupo N°1	Grupo N°2 Coutagne	Grupo N°2 Turc
500	4	167.9	95.1	77.7
500	5	160.4	86.7	70.0
500	6	154.6	79.7	63.4
500	7	150.1	73.8	57.7
500	8	146.5	68.8	52.7

Fuente: Elaboración propia

10.5.2 Análisis en el límite grupo N°2 – grupo N°3 corregidos

Se realizó el análisis en el límite de los grupos N°2 y N°3 corregidos, correspondiente a una precipitación media anual de 1000 [mm].

El grupo N°2 corregido considera las subcuencas con precipitación media anual (P) mayor a 500 [mm] y menor que 1000 [mm], mientras que el grupo N°3 corregido a las que presentan P mayor a 1000 [mm] y menor que 2000 [mm]. Para el grupo N°2 son los modelos de Coutagne y Turc los que entregan una mejor estimación de la escorrentía media anual. En cuanto al grupo N°3 es el modelo de Turc ajustado el de mejor comportamiento. Para el análisis realizado en este punto, el valor de P se fijó en 1000 [mm], mientras que la T es variable.

En la siguiente tabla se presenta el análisis efectuado para el grupo N°2 y grupo N°3 corregidos.

Tabla 10-52 Análisis en el límite del grupo N°2 y grupo N°3 corregidos

P [mm]	T [°C]	Es [mm]		
		Grupo N°2 Coutagne	Grupo N°2 Turc	Grupo N°3 Turc
1000	4	370.3	374.9	953.5
1000	5	336.7	349.1	910.0
1000	6	308.8	325.4	848.6
1000	7	285.3	303.7	772.8
1000	8	265.2	283.8	692.7

Fuente: Elaboración propia

Como puede apreciarse, lo obtenido para el grupo N°3 corregido es más de dos veces superior a la estimación para el grupo N°2 corregido.

10.5.3 Análisis en el límite grupo N°3 – grupo N°4 corregidos

El análisis en punto límite de los grupos N°3 y N°4 corregidos considera una precipitación media anual (P) igual a 2000 [mm].

Como se ha indicado en puntos anteriores, el grupo N°3 corregido engloba las subcuencas estudiadas con una P que varía entre los 1000 y los 2000 milímetros. Por su parte, el grupo N°4 corregido considera las hoyas hidrográficas con P entre los 2000 y 3500 [mm].

Para el grupo N°3 corregido, el modelo que mejor estimación de la escorrentía media anual entrega es Turc ajustado, mientras que para el grupo 4 es el modelo Turc – Pike ajustado el que reduce el error relativo promedio. Considerando que son dos modelos que utilizan variables diferentes (temperatura y evapotranspiración potencial) en su expresión, se utilizarán valores dentro del rango de lo medido para las subcuencas en cuestión, de tal manera de llevar a cabo el cálculo de la escorrentía en el límite.

En la Tabla 10-53 se muestran los resultados del análisis efectuado. Se observa una gran disparidad entre lo obtenido para el grupo N°3 frente a la estimación con los modelos Turc – Pike y Turc para el grupo N°4 corregido.

Tabla 10-53 Análisis en el límite del grupo N°3 y grupo N°4 corregidos

P [mm]	T [°C]	ETP [mm]	Es [mm]		
			Grupo N°3 Turc	Grupo N°4 Turc - Pike	Grupo N°4 Turc
2000	4	700	1953.3	1034.6	1260.2
2000	5	750	1909.1	925.1	1223.1
2000	6	800	1844.0	819.0	1186.7
2000	7	850	1756.1	717.8	1151.0
2000	8	900	1646.8	623.0	1116.1

Fuente: Elaboración propia

10.5.4 Análisis en el límite grupo N°4 – grupo N°5 corregidos

Por último, se efectuó el análisis para el grupo N°4 y grupo N°5 corregidos, cuya condición limite se genera con una precipitación media anual igual a 3500 [mm].

Para el grupo N°4 corregido es el modelo de Turc – Pike el que entrega estimaciones más confiables en términos del error relativo obtenido. Por otra parte, para el grupo N°5 corregido los modelos de Turc ajustado y Turc – Pike ajustado entregan valores similares, siendo las mejores alternativas para estas subcuencas.

Para el análisis en cuestión, se consideraron valores de temperatura y de evapotranspiración potencial dentro de los rangos observados en cada grupo. Así entonces, se obtuvo lo mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 10-54 Análisis en el límite del grupo N°4 y grupo N°5 corregidos

P [mm]	T [°C]	ETP [mm]	Es [mm]		
			Grupo N°4 Turc - Pike	Grupo N°4 Turc	Grupo N°5 Turc
3500	4	700	2463.0	2731.4	3359.9
3500	5	750	2323.4	2689.5	3226.5
3500	6	800	2179.9	2647.9	3028.3
3500	7	850	2033.8	2606.5	2754.0
3500	8	900	1886.9	2565.5	2395.6

Fuente: Elaboración propia

Existe bastante contraste entre la estimación de la escorrentía media anual para el grupo N°4 y el grupo N°5 corregido.

Capítulo 11: Conclusiones y Recomendaciones

Acorde a los análisis y cálculos efectuados en este estudio, y siguiendo los objetivos tanto generales como específicos planteados en un inicio para esta memoria de título, se establece lo siguiente:

- Los análisis efectuados consideran la utilización de 67 subcuencas ubicadas a lo largo del país, todas ellas asociadas a estaciones fluviométricas pertenecientes a la Dirección General de Aguas. La selección de estas subcuencas fue realizada en cuatro memorias de título precedentes a esta, enumeradas a continuación; “Análisis de los modelos precipitación – escorrentía para cuencas nivo-pluviales de la 3ª, 4ª y 5ª región de Chile” – Leandro Ramírez (Universidad de Valparaíso), “Análisis de los modelos precipitación – escorrentía para las regiones VI, VII, VIII y IX de Chile” – Matías Wulff (Universidad Técnica Federico Santa María), “Análisis de los modelos precipitación – escorrentía para las regiones XIV, X, XI y XII de Chile” – Jorge Pavez (Universidad Técnica Federico Santa María) y “Análisis de los modelos precipitación – escorrentía para la cuenca nivo-pluvial de la región Metropolitana de Chile” – Estrella Estirado (Universidad de Cantabria). Debido a las restricciones impuestas en la selección de las subcuencas en cada uno de estos estudios, importantes ríos quedaron fuera del análisis.
- A partir de la evaluación de los modelos precipitación – escorrentía a las 67 subcuencas consideradas en este estudio, se obtuvo un error relativo promedio total de 46% para el modelo de Turc, 43% para Coutagne, 52% para Turc - Pike, 43% para Grunsky y 45% para Peñuelas. El error se concentra principalmente en las cuencas del río Elqui, río Petorca, río La Ligua, río Aconcagua y río Maipo, como se demuestra al restar estas hojas hidrográficas del análisis. Así también, observando los resultados por zonas, se minimizan los errores obtenidos. No obstante, los resultados obtenidos se consideran insatisfactorios y no confiables, por lo que se hace necesario modificar los modelos precipitación – escorrentía mediante algún ajuste.
- A partir de lo obtenido al efectuar la estimación de la escorrentía con los modelos analizados en este estudio, se puede concluir que para el grupo de subcuencas estudiadas existe semejanza en cuanto a los resultados obtenidos con los métodos que se basan en la precipitación (Grunsky y Peñuelas) y los métodos cuyo déficit hidrológico depende de la temperatura (Turc y Coutagne), no así los que dependen de la evapotranspiración potencial (Turc – Pike), para el cual el error relativo promedio calculado es más elevado.

Aun así, como se dijo en el párrafo anterior, ninguno de los modelos en su condición original genera confianza debido a su alto error.

- Las razones del por qué el error es más elevado en las cuencas de la IV región, V región y Metropolitana pueden ser variadas, dentro de las cuales podría considerarse el hecho de que la precipitación media anual en estas es baja (menor a 1000 mm) o también que nacen en la parte alta de la cordillera de Los Andes, a sabiendas de que este cordón montañoso presenta su punto más elevado en el Aconcagua. Aun así, para realizar estas aseveraciones se necesitarían estudios más acuciosos que respalden estas hipótesis, ya que definir esta situación no se encuentra dentro de los alcances de este estudio.
- Se realizó el ajuste de los modelos precipitación – escorrentía en base a distintas regionalizaciones, nombradas en este estudio como configuraciones. La configuración N°1 consideró el análisis por grupo de las regiones IV a RM, VI a IX y X a XII. La configuración N° 2 de las regiones IV a VI, VII a IX, X a XII. La configuración N° 3 de las regiones IV, V a RM, VI a IX y X a XII. Finalmente, la configuración N° 4 contempla a la IV, V a VI, VII a IX y X a XII regiones. La mejor estimación la entrega la configuración N° 4, para la cual se tiene un 27% de error relativo con el modelo de Turc ajustado para la IV región, un 33% con Grunsky – Peñuelas ajustado en la V a VI región, un 22% con el modelo Turc – Pike ajustado para la VII a IX región y un 24% para Grunsky – Peñuelas ajustado en las regiones X a XII. Con esta misma configuración, con los modelos considerados para cada grupo de regiones en su versión original, los errores fueron de 53% con Turc para la IV región, 47% - 61% para el modelo Grunsky – Peñuelas en las regiones V a VI, 26% para Turc – Pike entre la VII y IX región y 43% - 39% con Grunsky – Peñuelas en las regiones X a XII. A raíz de esto, se puede concluir que el error relativo disminuye considerablemente en algunos casos. Así también, se aprecia que existe una importante disparidad en los resultados en el norte y centro del país, considerando que se debió trabajar con la IV región aparte de la V y Metropolitana y separadas también de las regiones VII a IX, debido al alto error relativo obtenido. Por otro lado, se observa el buen ajuste que presenta el modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado, considerando que es la mejor alternativa para las regiones V a VI y X a XII. De lo anterior también puede desprenderse que la precipitación juega un papel preponderante en la obtención de la escorrentía, por sobre lo que es la temperatura y la evapotranspiración potencial.

- De acuerdo a la configuración y modelo definido para cada grupo de subcuencas, se aprecian ciertas discrepancias dentro de cada uno de ellos, relacionados a la diferencia en el error relativo promedio obtenido. En el análisis de las cuencas de la IV región, se observa un error mucho mayor en la cuenca del río Elqui, para la cual las escorrentías obtenidas con el modelo de Turc ajustado son más grandes que las medidas. Se aprecia también que la precipitación en la cuenca del río Elqui es menor que la del río Choapa. Esto puede explicarse por la zona de transición en la que se emplaza la IV región, considerando el clima estepárico predominante en las regiones más al norte y el clima mediterráneo presenta desde la V a la VIII región. Para el análisis de las subcuencas ubicadas entre la V y VI región se obtuvo que la cuenca del río Maipo entrega un error relativo mayor, a pesar que muestra un nivel de precipitaciones similar a las subcuencas del río Aconcagua, siendo esta variable la determinante considerando que se utiliza el modelo de Grunsky – Peñuelas. En cuanto al grupo de cuencas ubicadas entre la VII y IX región, para las cuales se ha definido el modelo Turc – Pike como la mejor alternativa, se observa un nivel de precipitaciones mayor para las cuencas de la IX región, lo que demuestra la diferencia en el clima de esta zona, correspondiente al clima marítimo lluvioso. Por otra parte, la magnitud de evapotranspiración potencial anual para las subcuencas de este grupo es bastante similar, siendo finalmente la cuenca del río Biobío la que arroja un error más alto. Por último, para las hoyas hidrográficas pertenecientes a las regiones X a XIV se aprecia un error relativo promedio bastante distinto para la cuenca del río Aysén. Si bien la magnitud de precipitación media anual para sus subcuencas es cercano a la de las cuencas del río Cisnes y Península de Brunswick, la escorrentía media anual medida es mucho mayor lo que provoca el alto error. La cuenca del río Serrano y Tierra del Fuego presentan precipitaciones y escorrentías mucho menores al resto, lo que se explica con el clima estepárico reinante en aquellas zonas.
- Se recurrió al método del Análisis Cluster, correspondiente a un técnica estadística multivariable mediante la cual se dividió la muestra total que contempla 67 subcuencas en 5 grupos con características similares entre sí. Esta división se efectúa analizando la similitud de las subcuencas en base a la magnitud de las variables precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración potencial media anual. A partir de estos resultados, se desprende que la precipitación media anual juega un papel preponderante en la discriminación, al observarse que la división obtenida considera diferencias claras en las magnitudes de precipitación entre grupos, siendo los valores de

evapotranspiración potencial y temperatura bastantes similares para cada uno de ellos. Es así como para el grupo N°1 las subcuencas estudiadas presentan una precipitación entre 161 y 456 [mm], para el grupo N°2 entre 351 y 1061 [mm], para el grupo N°3 entre 1399 y 1676 [mm], para el grupo N°4 entre 2257 y 3379 [mm] y para el grupo N°5 entre 3639 y 4659 [mm]. De tal manera de normalizar los límites de cada grupo, se ha corregido la distribución de las cuencas, estableciéndose que las hoyas hidrográficas que presentan una precipitación media anual entre 0 y 500 [m] pertenecen al grupo N°1 corregido, entre 500 y 1000 [m] al grupo N°2 corregido, entre 1000 y 2000 [mm] al grupo N°3 corregido, entre 2000 y 3500 [mm] para el grupo N°4 corregido y mayor a 3500 [mm] para el grupo N°5 corregido.

- Posteriormente, se realizó el ajuste de los modelos precipitación – escorrentía utilizados en este estudio para cada uno de estos grupos corregidos, obteniéndose para el grupo N°1 corregido que el modelo que minimiza el error relativo promedio es el de Turc, con un valor del 29%, para el grupo N°2 corregido el modelo de Coutagne con un 45%, para el grupo N°3 corregido el modelo de Turc con un 36%, para el grupo N°4 corregido Turc – Pike con un 19% y finalmente el modelo de Turc con un 13% para el grupo N°5 corregido.
- El análisis de las condiciones en los límites de cada grupo no arrojó buenos resultados, considerando que se obtuvieron valores muy disímiles al estimar la escorrentía media anual mediante las expresiones de cada uno de ellos. Las razones radican principalmente, en el criterio de selección de los grupos, dándole mayor relevancia a la precipitación media anual, menospreciándose el efecto de la temperatura media anual y de la evapotranspiración media anual.
- A raíz de los resultados obtenidos mediante las dos metodologías utilizadas, esto es el análisis efectuado según la división por latitud y el análisis por la división efectuada mediante el método Cluster, se recomienda la utilización de las expresiones obtenidas para la división por latitud. Si bien los resultados obtenidos con la segmentación definida por el método Cluster posteriormente corregida son satisfactorios, exceptuando quizás los del grupo N°2 corregido, las condiciones en los límites de cada uno de ellos es bastante distinto según la expresión que utilice. Así entonces, los modelos recomendados son los siguientes:

IV región

Tabla 11-1 Modelo de Turc ajustado propuesto para la IV región

Modelo Propuesto para IV región	
Turc Original	Turc Ajustado
$E_s = P - D$ $D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$ $L = 300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^3$	$E_s = P - D$ $D = \frac{0.67 \cdot P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{0.67 \cdot P}{L}\right)^2}}$ $L = 416.6 + 97.1 \cdot T + 0.07 \cdot T^3$

Fuente: Elaboración propia

V, RM y VI región

Tabla 11-2 Modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado propuesto para la V, RM y VI región

Modelo Propuesto para V, RM y VI región	
Grunsky Original	Grunsky y Peñuelas Ajustado
$\text{si } P \leq 1.25 [m] \quad E_s = 0.4 \cdot P^2$ $\text{si } P > 1.25 [m] \quad E_s = P - 0.625$	$\text{si } P \leq 0.99 [m] \quad E_s = 0.3 \cdot P^2$ $\text{si } P > 0.99 [m] \quad E_s = P - 0.294$
Peñuelas Original $\text{si } P \leq 1 [m] \quad E_s = 0.5 \cdot P^2$ $\text{si } P > 1 [m] \quad E_s = P - 0.5$	

Fuente: Elaboración propia

VII, VIII y IX región

Tabla 11-3 Modelo de Turc – Pike ajustado propuesto para la VII, VIII y IX región

Modelo Propuesto para Grupo 4	
Turc – Pike Original	Turc – Pike Ajustado
$E_s = P - D$ $D = \frac{P}{\sqrt{1 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$ $L = ETP$	$E_s = P - D$ $D = \frac{0.48 \cdot P}{\sqrt{1 + \left(\frac{0.48 \cdot P}{L}\right)^2}}$ $L = 2 \cdot ETP$

Fuente: Elaboración propia

X, XIV, XI Y XII región

Tabla 11-4 Modelo de Grunsky y Peñuelas ajustado propuesto para la VII, VIII y IX región

Modelo Propuesto para V, RM y VI región	
Grunsky Original	Grunsky y Peñuelas Ajustado
$si P \leq 1.25 [m] \quad E_s = 0.4 \cdot P^2$ $si P > 1.25 [m] \quad E_s = P - 0.625$	$si P \leq 1.19 [m] \quad E_s = 0.7 \cdot P^2$ $si P > 1.19 [m] \quad E_s = P - 0.984$
Peñuelas Original $si P \leq 1 [m] \quad E_s = 0.5 \cdot P^2$ $si P > 1 [m] \quad E_s = P - 0.5$	

Fuente: Elaboración propia

- Se debe dejar en claro que los ajustes efectuados y los modelos recomendados deben ser utilizados como estimaciones preliminares. Estos métodos representan una buena herramienta a utilizar siempre que sea en conjunto con el criterio y experiencia del profesional, debido a que son de fácil aplicación y el error que entregan se considera aceptable en términos hidrológicos. No se recomienda considerar las estimaciones de escorrentía obtenidas con estos métodos como definitivas.

Capítulo 12: Bibliografía y Referencias

- [1] AGUILAR Gallardo, Guillermo Héctor. Evaluación de Recursos Hídricos de la cuenca del río Aysén. Tesis (Ing. Civil en Obras Civiles). Valparaíso. UTFSM. Departamento de Obras Civiles, 2006. 121 h.
- [2] ANDERBERG, M.R. Cluster Analysis for Applications. New York Academic Press, 1973, 376 p.
- [3] COUTAGNE, A. Quelques considerations sur le pouvoir évaporant de l'atmosphère, le deficit d'écoulement effectif et le déficit d'écoulement maximum. La Houille Blanche, (3); 360-374, 1954.
- [4] CHOW, Ven Te. Hidrología Aplicada, McGraw Hill, 1994. 584 p.
- [5] ESPILDORA, Basilio. Elementos de Hidrología, Centro de Recursos Hidráulicos Universidad de Chile, 1975. 450 p.
- [6] ESTIRADO Díaz, Estrella. Análisis de los modelos precipitación – escorrentía para la cuenca nivo-pluvial de la región Metropolitana de Chile. Tesis (Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos). Cantabria. Universidad de Cantabria. Escuela de Ingeniería Civil, 2014. 241 h.
- [7] GRUNSKY, Carl Ewald. Rain and runoff near San Francisco, California. Trans. American Society of Civil Engineers, (61); 496-543, 1908.
- [8] OLIVARES Thiele, Christian Ignacio. Análisis de los modelos precipitación – escorrentía para las regiones XV, I, II y III de Chile. Tesis (Ing. Civil en Obras Civiles). Valparaíso. UTFSM. Departamento de Obras Civiles, 2014. 252 h.
- [9] PAVEZ Pérez, Jorge Eduardo. Análisis de los modelos precipitación – escorrentía para cuencas nivo-pluviales de la X, XI, XII y XIV región de Chile. Tesis (Ing. Civil en Obras Civiles). Valparaíso. UTFSM. Departamento de Obras Civiles, 2015. 286 h.
- [10] PIKE, J.G. The estimation of annual runoff from meteorological data in a tropical climate. Journal of Hydrology, Amsterdam, (2): 116-123, 1964.

- [11] RAMIREZ Perretti, Leandro Edder. Análisis de los modelos de precipitación – escorrentía para cuencas nivo-pluviales de la III, IV y V región de Chile. Tesis (Ing. Civil). Valparaíso. Universidad de Valparaíso. Departamento de Ingeniería Civil, 2013. 223 h.
- [12] STOWHAS Borghetti, Ludwig. Fundamentos de Hidrología Aplicada, Editorial USM, 2016. 307 p.
- [13] TURC, Lucien. Le bilan d'eau des sols: relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. Annales Agronomiques, (5): 491-569, 1954.
- [14] WULFF Rodríguez, Matías Arturo. Análisis de los modelos de precipitación – escorrentía para cuencas nivo-pluviales de la VI, VII, VIII y IX región de Chile. Tesis (Ing. Civil en Obras Civiles). Valparaíso. UTFSM. Departamento de Obras Civiles, 2014. 211 h.

ANEXOS

ANEXO 1

“Estaciones meteorológicas utilizadas en la obtención de la precipitación media anual”

1. Cuenca del río Elqui

Tabla A1- 1. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Elqui

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Elqui	Pisco Elqui	355931	6666412
	Fdo. Los Nichos	355486	6663573
	La Ortiga	357132	6658422
	Cochiguaz	364495	6664334
	La Laguna Embalse	399475	6657844
	Juntas	394208	6682885
	Hurtado	336666	6647851
	Rivadavia	349128	6682332
	Huanta	366029	6696897

Fuente: Memoria de título Leandro Ramírez, Dirección General de Aguas

2. Cuenca del río Choapa

Tabla A1- 2. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Choapa

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Choapa	Huintil Hda.	311721	6505482
	Illapel DGA	292038	6496449
	Hda. San Agustín	326260	6487776
	Salamanca	313536	6482348
	Cuncumen	347285	6465408
	La Tranquilla	341818	6469053
	Coirón	332337	6468687
	El Soldado	374984	6457684

Fuente: Memoria de título Leandro Ramírez, Dirección General de Aguas

3. Cuenca del río Petorca – Cuenca río Ligua – Cuenca río Aconcagua

Tabla A1- 3. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Petorca – río Ligua – río Aconcagua

Cuenca	Estacion	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Petorca - Ligua - Aconcagua	Frutillar Alto	308356	6440015
	Hda. El Sobrante	331696	6432727
	Hda. Chalaco	331671	6437440
	Hda. Pedernal	329914	6448500
	Lagunitas	381006	6403434
	Mina Cerro Negro	324332	6392644
	Adm. Hda. Alicahue	334836	6420056
	La Mostaza Hda. Alicahue	341744	6411542
	Los Andes	350039	6365647
	Riecillos	373073	6356081
	Vilcuya	362066	6362865
	Resguardo Los Patos	351463	6402788
	San Felipe	338207	6375042

Fuente: Memoria de título Leandro Ramírez, Dirección General de Aguas

4. Cuenca del río Maipo

Tabla A1- 4. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Maipo

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Maipo	Carmen de las Rosas	300539	6262028
	El Vergel	321507	6268531
	Huechun Embalse	331638	6337407
	Ibacache Alto	287838	6292823
	Los Panguiles	311499	6297875
	Bocatoma Maitenes	382640	6288742
	Melipilla	295875	6270745
	Rincon de Los Valles	335869	6352790
	San Gabriel	385038	6260893
	San Jose Reten	374305	6276992
	Fundo Marruecos	331136	6285852

Fuente: Memoria de título Estrella Estirado, Dirección General de Aguas

5. Cuenca del río Cachapoal – Cuenca del río Tinguiririca

Tabla A1- 5. Estaciones pluviométricas DMC utilizadas cuenca río Cachapoal – río Tinguiririca

Cuenca	Estacion	Coordenadas Geográficas	
		Latitud Sur	Longitud Oeste
Río Cachapoal - Río Tinguiririca	Navidad	33°57'	71°50'
	Machalí	34°12'	70°40'
	Coya	34°12'	70°33'
	Estrella	34°12'	71°40'
	C. Pangal	34°15'	70°20'
	Parrón	34°16'	70°40'
	B. Pangal	34°16'	70°20'
	B. Cachapoal	34°16'	70°28'
	Las Arañas	34°42'	71°15'
	Chimbarongo	34°43'	71°03'
	P. Negro	34°40'	70°53'
	Tinguiririca	34°43'	70°49'

Fuente: Memoria de título Matías Wulff, Dirección Meteorológica de Chile

6. Cuenca del río Mataquito

Tabla A1- 6. Estaciones pluviométricas DMC utilizadas cuenca río Mataquito

Cuenca	Estación	Coordenadas Geográficas	
		Latitud Sur	Longitud Oeste
Río Mataquito	Teno	34°52'	71°10'
	El Romeral	34°58'	71°05'
	Queñes	35°01'	70°49'
	San Javier	35°36'	71°24'

Fuente: Memoria de título Matías Wulff, Dirección Meteorológica de Chile

Tabla A1- 7. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Mataquito

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Mataquito	El Manzano	324900	6129371
	Santa Susana	313854	6134553
	Potrero Grande	308992	6104610
	El Guindo	288401	6095517
	Vilches Altos	310749	6058931

Fuente: Memoria de título Matías Wulff, Dirección General de Aguas

7. Cuenca del río Maule

Tabla A1- 8. Estaciones pluviométricas DMC utilizadas cuenca río Maule

Cuenca	Estación	Coordenadas Geográficas	
		Latitud Sur	Longitud Oeste
Río Maule	Linares	35°50'	71°36'
	Achibueno	36°05'	71°23'
	Bullileo	36°17'	71°25'
	Digua	36°20'	71°24'

Fuente: Memoria de título Matías Wulff, Dirección Meteorológica de Chile

Tabla A1- 9. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Maule

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Maule	Hornillo	308881	6028740
	Vilches Altos	310749	6058931

Fuente: Memoria de título Matías Wulff, Dirección General de Aguas

8. Cuenca del río Itata

Tabla A1- 10. Estaciones pluviométricas DMC utilizadas cuenca río Itata

Cuenca	Estación	Coordenadas Geográficas	
		Latitud Sur	Longitud Oeste
Río Itata	San Carlos	36°25'	71°55'
	San Fabián	36°34'	71°36'
	Pemuco	36°58'	72°07'
	Cabrero	37°01'	72°24'
	Bulnes	36°45'	72°19'
	Diguillín	36°52'	71°38'

Fuente: Memoria de título Matías Wulff, Dirección Meteorológica de Chile

Tabla A1- 11. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Itata

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Itata	Las Trancas	276232	5911642
	Fundo Atacalco	269709	5911037
	San Lorenzo	270381	5910006

Fuente: Memoria de título Matías Wulff, Dirección General de Aguas

9. Cuenca del río Biobío

Tabla A1- 12. Estaciones pluviométricas DMC utilizadas cuenca río Biobío

Cuenca	Estación	Coordenadas Geográficas	
		Latitud Sur	Longitud Oeste
Río Biobío	Colonia Gregorio	37°32'	71°51'
	Villicura Retén	37°33'	71°55'
	Santa Bárbara	37°40'	72°02'
	Mulchén Sendos	37°43'	72°15'
	Selva Oscura	38°21'	72°11'
	Galvarino Hospital	38°24'	72°47'
	Curacautín Sendos	38°26'	71°54'
	Lautaro Sendos	38°31'	72°26'

Fuente: Memoria de título Matías Wulff, Dirección Meteorológica de Chile

Tabla A1- 13. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Biobío

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Biobío	Malcalhueillo	275123	5738490
	Lonquimay	292633	5741398

Fuente: Memoria de título Matías Wulff, Dirección General de Aguas

10. Cuenca del río Imperial

Tabla A1- 14. Estaciones pluviométricas DMC utilizadas cuenca río Imperial

Cuenca	Estación	Coordenadas Geográficas	
		Latitud Sur	Longitud Oeste
Río Imperial (Blanco - Cautín)	Curacautín Sendos	38°26'	71°54'
	Selva Oscura	38°21'	72°11'
	Lautaro Sendos	38°31'	72°26'
	Galvarino Hospital	38°24'	72°47'

Fuente: Memoria de título Matías Wulff, Dirección Meteorológica de Chile

Tabla A1- 15. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Imperial

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Imperial Río Toltén (Allipén)	Quecheregua	234219	5678315
	Los Laureles	222458	5682571
	Pueblo Nuevo	190601	5708720
	Tricauco	278503	5696346

Fuente: Memoria de título Matías Wulff, Dirección General de Aguas

11. Cuenca del río Toltén

Tabla A1- 16. Estaciones pluviométricas DMC utilizadas cuenca río Toltén

Cuenca	Estación	Coordenadas Geográficas	
		Latitud Sur	Longitud Oeste
Río Toltén	Quilentue	39°21'	72°07'
	Flor de Lago	39°09'	72°07'

Fuente: Memoria de título Jorge Pavez, Dirección General de Aguas

Tabla A1- 17. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Toltén

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Imperial Río Toltén (Allipén)	Quecheregua	234219	5678315
	Los Laureles	222458	5682571
	Pueblo Nuevo	190601	5708720
	Tricauco	278503	5696346

Fuente: Memoria de título Jorge Pavez, Dirección General de Aguas

12. Cuenca del río Valdivia

Tabla A1- 18. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Valdivia

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Valdivia	Huichaco	178957	5597606
	Lago Riñihue	203606	5591338
	Liquiñe	255485	5597606
	Llancahue	142301	5579479
	Loncoche	186060	5635462
	Pirihueico en Pirihueico	267509	5565826

Fuente: Memoria de título Jorge Pavez, Dirección General de Aguas

13. Cuenca del río Bueno

Tabla A1- 19. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Bueno

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Bueno	Adolfo Matthei	152205	5498458
	El Llolly	191318	5558140
	Fresia	129622	5434465
	Futacuhuin	209249	5485922
	Lago Ranco	205010	5530886
	Venecia	122559	5540990

Fuente: Memoria de título Jorge Pavez, Dirección General de Aguas

14. Cuenca del río Cisnes

Tabla A1- 20. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Cisnes

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Cisnes	Cisnes Medio	240877	5048678
	Puerto Cisnes	208270	5040330
	Puerto Puyuhuapi	215942	5085746
	Río Cisnes	316432	5069917
	La Tapera	287781	5052396

Fuente: Memoria de título Jorge Pavez, Dirección General de Aguas

15. Cuenca del río Aysén

Tabla A1- 21. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Aysén

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Aysén	Coyhaique (Escuela Agrícola)	263490	4948470
	El Balseo	226841	4965929
	Ñirehuao	287277	4983059
	Puerto Aysén	210218	4965526
	Puerto Chacabuco	201338	4957997
	Villa Mañihuales	252449	4992609
	Villa Ortega	266275	4971040

Fuente: Memoria de título Jorge Pavez, Dirección General de Aguas

16. Cuenca del río Serrano

Tabla A1- 22. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca río Serrano

Cuenca	Estacion	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Río Serrano	Casas Viejas	269699	4267002
	Cerro Castillo	267659	4315647
	Cerro Guido	265550	4355808
	Puerto Natales	259643	4262509
	Torres del Paine	222586	4321857

Fuente: Memoria de título Jorge Pavez, Dirección General de Aguas

17. Península de Brunswick

Tabla A1- 23. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca Península de Brunswick

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Península de Brunswick	Lago Parrillar	350233	4080244
	Laguna Lynch	366150	4105116
	Las Minas	367162	4109504
	Punta Arenas	374178	4112012
	San Gregorio	427232	4175072

Fuente: Memoria de título Jorge Pavez, Dirección General de Aguas

18. Tierra del Fuego

Tabla A1- 24. Estaciones pluviométricas DGA utilizadas cuenca Tierra del Fuego

Cuenca	Estación	Coordenadas UTM WGS84 Huso 19	
		UTM E [m]	UTM N [m]
Tierra del Fuego	Cerro Sombrero	480044	4152212
	Onaissin en Maria Cristina	481969	4093354
	Pampa Huanaco	512906	4010578
	Russfin	487323	4042875
	San Sebastián	522349	4091541
	Sección río Grande	507388	4028051

Fuente: Memoria de título Jorge Pavez, Dirección General de Aguas

ANEXO 2

“Curvas hipsométricas de las subcuencas estudiadas”

1. Cuenca del río Elqui

Tabla A2- 25. Curva hipsométrica Estero Derecho en Alcohuaz

Altura [m]	Area [km2]	% Area
1970	0	0.00
2000	9	2.17
2200	18.6	4.48
2400	32.1	7.73
2600	49.4	11.90
2800	66.9	16.12
3000	89.1	21.46
3200	116.7	28.11
3400	146.4	35.27
3600	187.2	45.10
3800	244.3	58.85
4000	325.7	78.46
4200	385.1	92.77
4400	402.2	96.89
4600	407.8	98.24
4800	411.4	99.11
5000	413.5	99.61
5200	414.4	99.83
5400	415.1	100.00

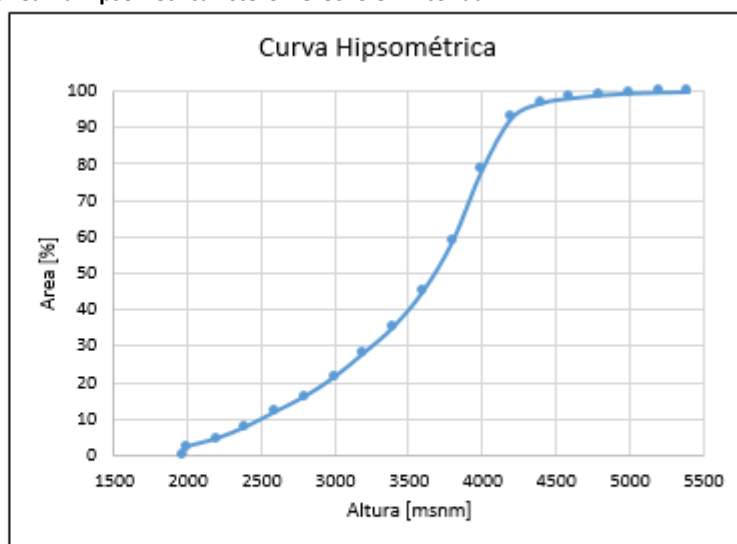


Tabla A2- 26. Curva hipsométrica Río Cochiguaz en El Peñón

Altura [m]	Area [km2]	% Area
1360	0	0.00
1600	0.3	0.05
1800	4	0.67
2000	11.9	2.00
2200	22.7	3.82
2400	35.2	5.92
2600	50.7	8.53
2800	69.5	11.69
3000	107.4	18.06
3200	143.9	24.20
3400	186.1	31.29
3600	238.8	40.15
3800	313.8	52.77
4000	434.7	73.10
4200	520.7	87.56
4400	556	93.49
4600	593.8	99.85
4800	594.7	100.00

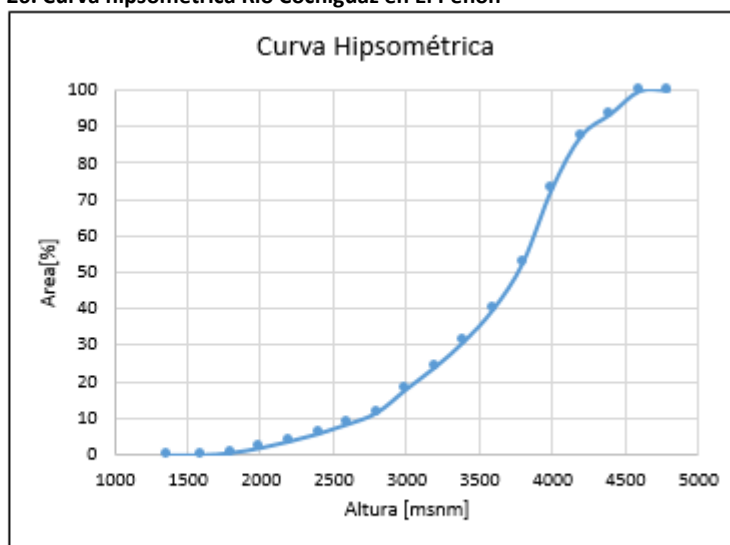


Tabla A2- 27. Curva hipsométrica Río Toro antes junta Río La Laguna

Altura [m]	Area [km2]	% Area
2090	0	0.00
2200	0.4	0.09
2400	2.2	0.52
2600	6.8	1.60
2800	17.2	4.06
3000	30.3	7.15
3200	51.6	12.17
3400	75.1	17.71
3600	103.6	24.43
3800	145.2	34.25
4000	187.8	44.29
4200	245.3	57.85
4400	319.5	75.35
4600	359.2	84.72
4800	396.5	93.51
5000	410.5	96.82
5200	417.6	98.49
5400	420.1	99.08
5600	420.9	99.27
5800	422.2	99.58
6000	424	100.00

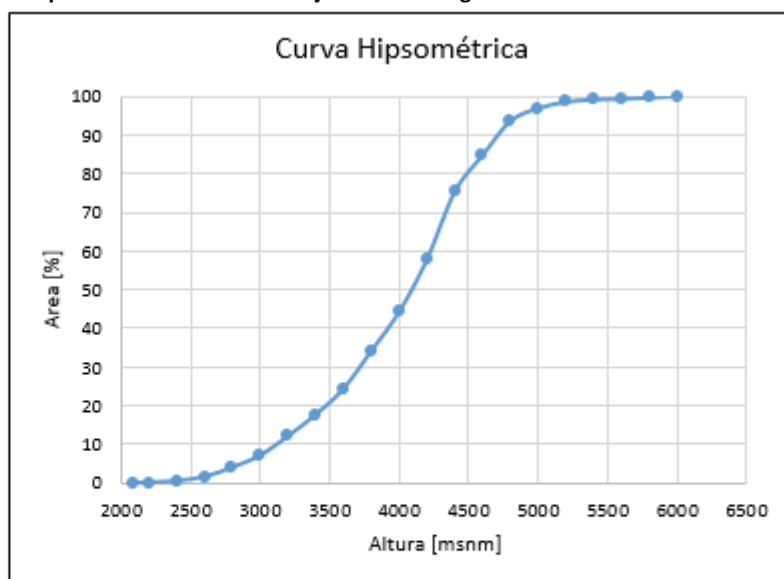
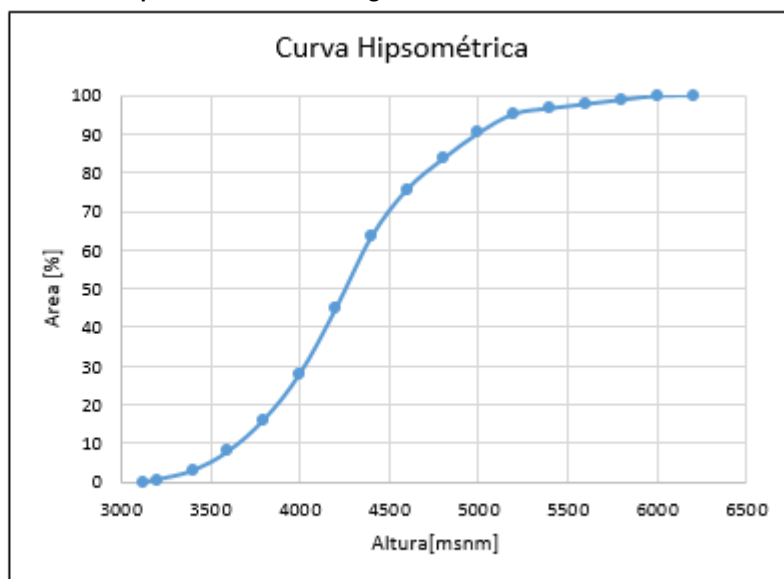


Tabla A2- 28. Curva hipsométrica Embalse Laguna

Altura [m]	Area [km2]	% Area
3130	0	0.00
3200	3.1	0.59
3400	15	2.87
3600	41.5	7.95
3800	84.2	16.13
4000	145.9	27.96
4200	233.3	44.70
4400	330.6	63.35
4600	394.8	75.65
4800	435.8	83.50
5000	471.1	90.27
5200	497	95.23
5400	504.4	96.65
5600	510.2	97.76
5800	516	98.87
6000	521.3	99.89
6200	521.9	100.00



2. Cuenca del río Choapa

Tabla A2- 29. Curva hipsométrica Río Illapel en Las Burras

Altura [m]	Area [km2]	% Area
1080	0	0.00
1200	0.8	0.13
1400	5.6	0.91
1600	16.4	2.65
1800	29	4.69
2000	43.1	6.97
2200	59.7	9.65
2400	79.9	12.92
2600	107.2	17.34
2800	148.2	23.97
3000	202.2	32.70
3200	273.1	44.16
3400	368	59.51
3600	486.4	78.65
3800	589	95.25
4000	615	99.45
4200	618.4	100.00

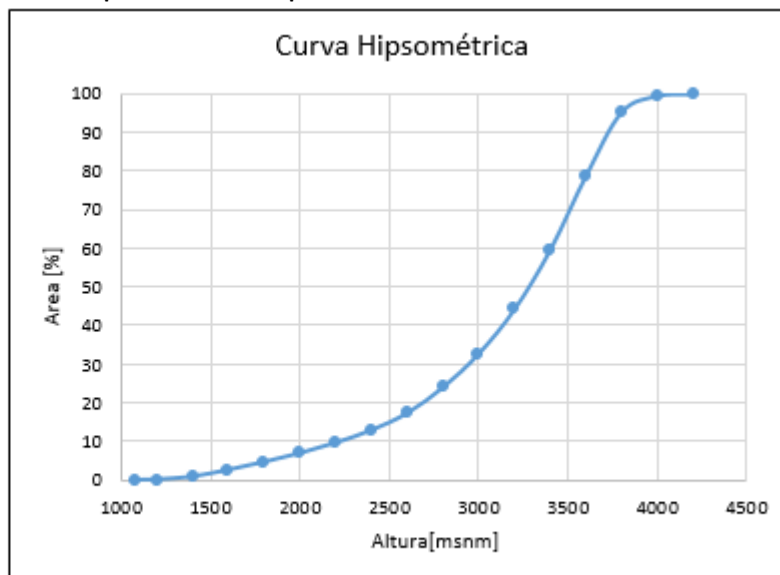


Tabla A2- 30. Curva hipsométrica Río Chalinga en La Palmilla

Altura [m]	Area [km2]	% Area
1430	0	0.00
1600	0.6	0.29
1800	1.1	0.53
2000	4.8	2.33
2200	10.3	4.99
2400	18.5	8.96
2600	29	14.05
2800	40.7	19.72
3000	54.2	26.26
3200	70.6	34.21
3400	94.9	45.98
3600	134.3	65.07
3800	178.1	86.29
4000	198.9	96.37
4200	206.4	100.00

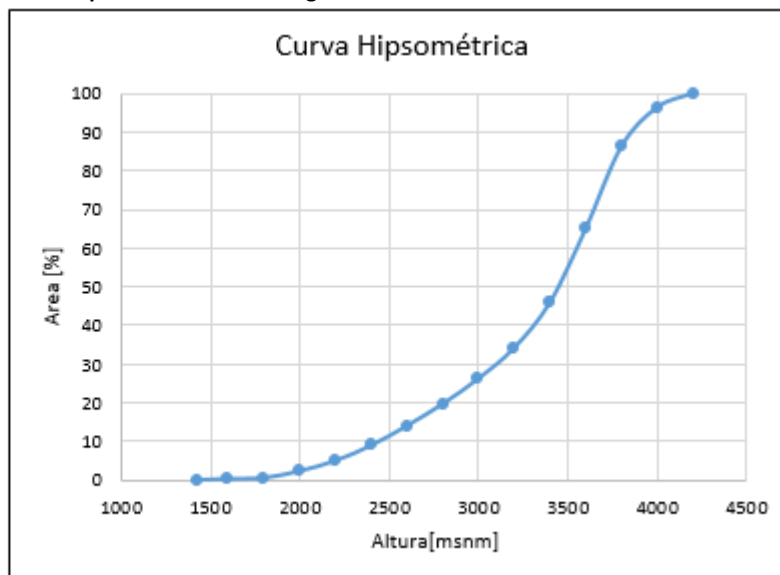
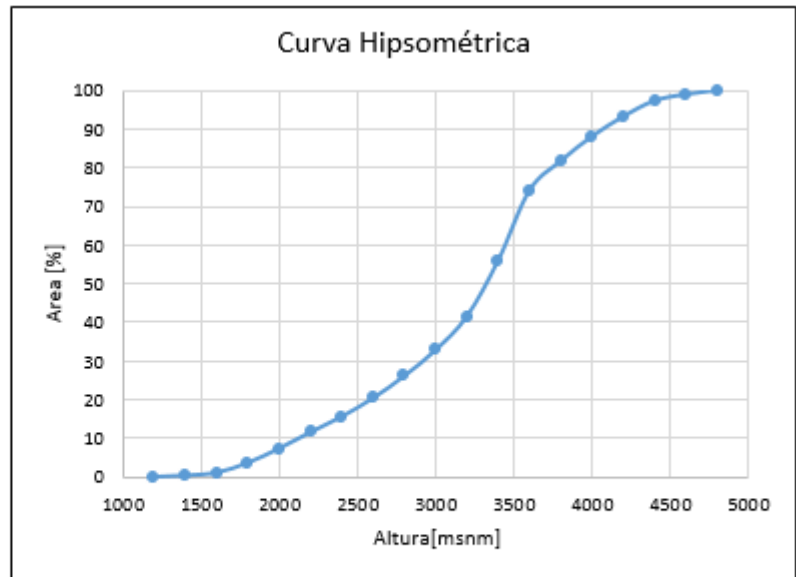


Tabla A2- 31. Curva hipsométrica Río Choapa en Cuncumén

Altura [m]	Area [km2]	% Area
1200	0	0.00
1400	3.9	0.34
1600	12.2	1.08
1800	41.5	3.66
2000	83.6	7.38
2200	131.1	11.57
2400	176.7	15.59
2600	231	20.38
2800	295.8	26.10
3000	371.9	32.81
3200	470.6	41.52
3400	634.4	55.97
3600	839.7	74.08
3800	926	81.69
4000	998.1	88.05
4200	1056.6	93.22
4400	1102.6	97.27
4600	1121.5	98.94
4800	1133.5	100.00



3. Cuenca del río Aconcagua

Tabla A2- 32. Curva hipsométrica Río Pedernal en Tejada

Altura [m]	Area [km2]	% Area
1600	0	0.00
1800	0.5	0.83
2000	3.5	5.82
2200	9.6	15.97
2400	17	28.29
2600	26.9	44.76
2800	40.7	67.72
3000	52.6	87.52
3200	57.2	95.17
3400	60.1	100.00

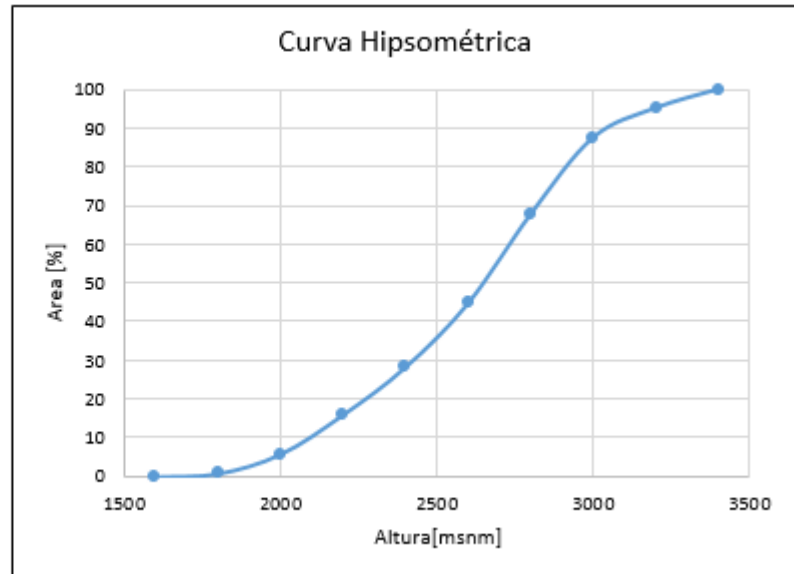


Tabla A2- 33. Curva hipsométrica Río Sobrante en Piñadero

Altura [m]	Area [km2]	% Area
1400	0	0.00
1600	2.3	1.05
1800	7.4	3.39
2000	16.3	7.46
2200	34	15.55
2400	59.2	27.08
2600	93.3	42.68
2800	129.6	59.29
3000	158.6	72.55
3200	185.8	85.00
3400	207.6	94.97
3600	218.6	100.00

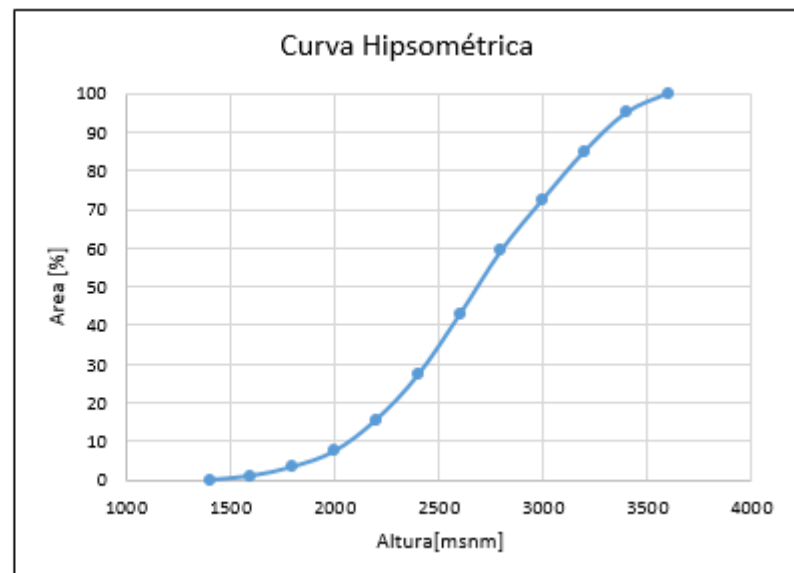


Tabla A2- 34. Curva hipsométrica Río Alicahue en Colliguay

Altura [m]	Área [km2]	% Área
780	0	0.00
1000	0.4	0.12
1200	6.9	2.01
1400	20.9	6.09
1600	37.7	10.99
1800	62	18.08
2000	90.7	26.44
2200	125.8	36.68
2400	163.3	47.61
2600	198.4	57.84
2800	239.6	69.85
3000	264.6	77.14
3200	290.8	84.78
3400	318.4	92.83
3600	336.7	98.16
3800	343	100.00

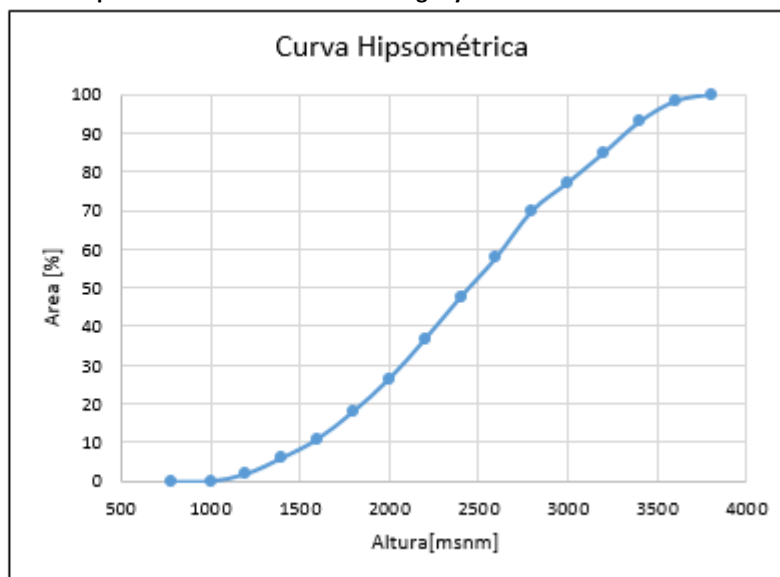


Tabla A2- 35. Curva hipsométrica Río Putaendo en Resguardo Los Patos

Altura [m]	Área [km2]	% Área
1220	0	0.00
1400	14.1	1.47
1600	45.4	4.72
1800	89.4	9.30
2000	140.1	14.57
2200	205.2	21.35
2400	276	28.71
2600	358.4	37.28
2800	438	45.56
3000	519.1	54.00
3200	592	61.58
3400	681.1	70.85
3600	771.8	80.29
3800	888.5	92.43
4000	924.8	96.20
4200	949	98.72
4400	961.3	100.00

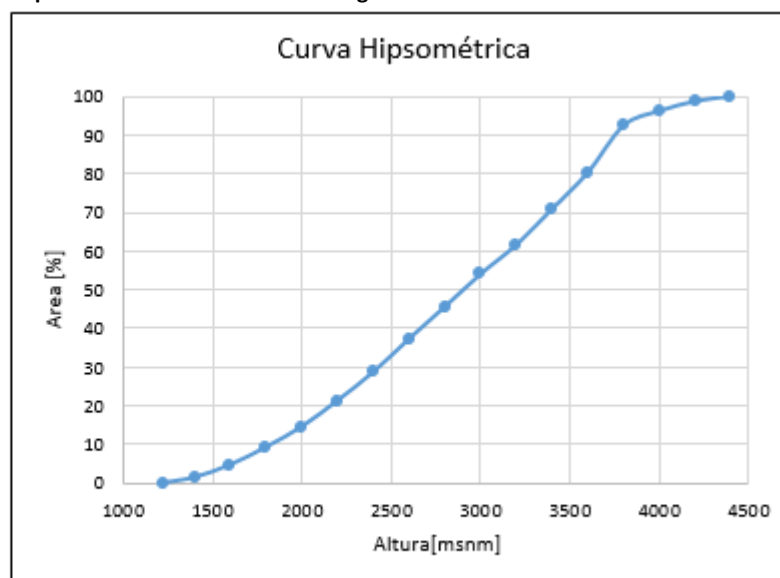


Tabla A2- 36. Curva hipsométrica Río Juncal en Juncal

Altura [m]	Área [km ²]	% Área
1800	0	0.00
2000	0.1	0.04
2200	0.5	0.22
2400	9.8	4.35
2600	20.9	9.28
2800	39.6	17.58
3000	62.2	27.62
3200	94.6	42.01
3400	124.4	55.24
3600	153.9	68.34
3800	181.8	80.73
4000	198.3	88.06
4200	213	94.58
4400	217.8	96.71
4600	221.3	98.27
4800	223.2	99.11
5000	225	99.91
5200	225.2	100.00

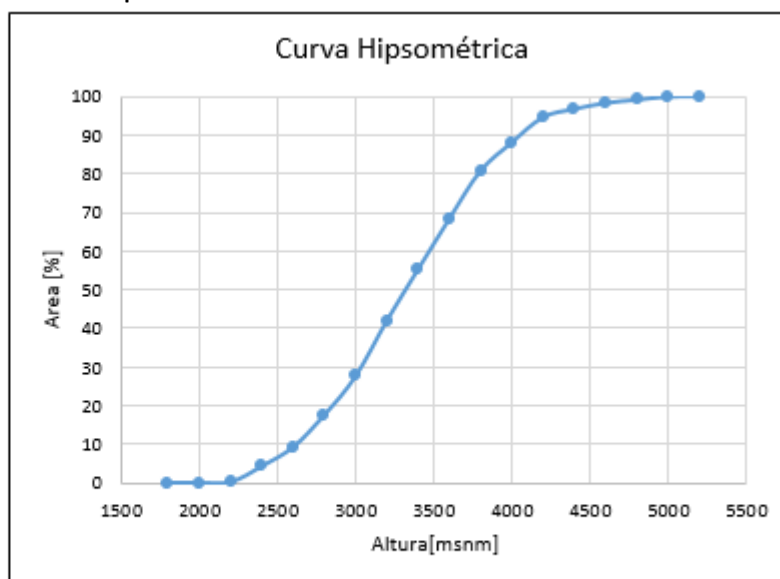


Tabla A2- 37. Curva hipsométrica Río Colorado en Colorado

Altura [m]	Área [km ²]	% Área
1100	0	0.00
1200	1.2	0.14
1400	5.9	0.69
1600	13.6	1.60
1800	25.3	2.98
2000	43.8	5.16
2200	72.6	8.55
2400	109.6	12.91
2600	155.7	18.33
2800	219.1	25.80
3000	294.8	34.72
3200	446.8	52.61
3400	646.7	76.15
3600	731.2	86.10
3800	744.2	87.64
4000	795.9	93.72
4200	831.4	97.90
4400	847.3	99.78
4600	848.5	99.92
4800	849.2	100.00

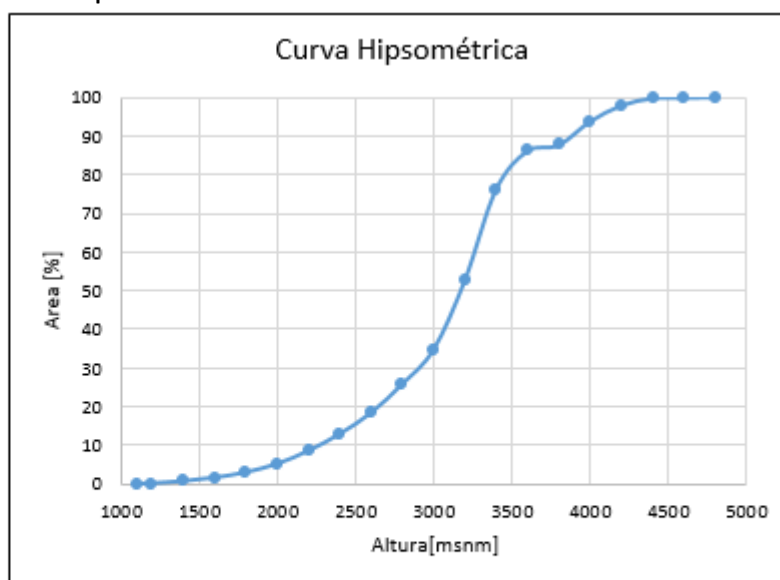
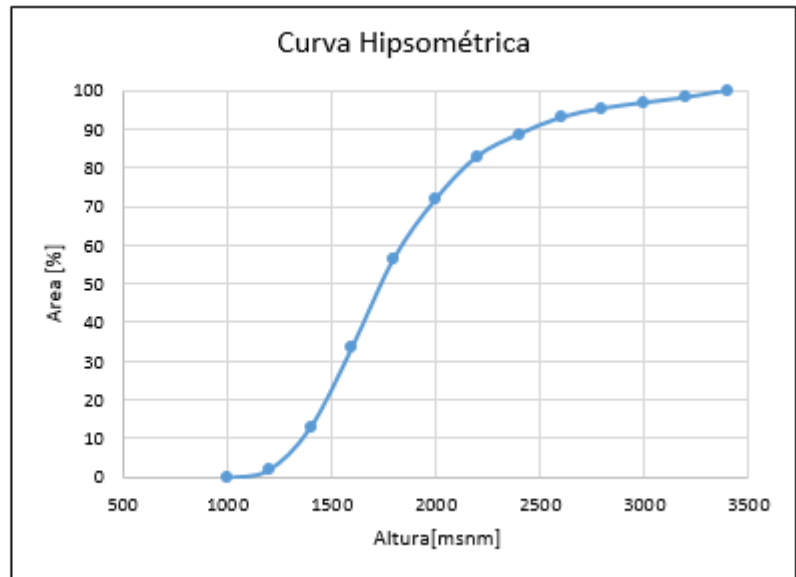


Tabla A2- 38. Curva hipsométrica Estero Pocuro en El Sifón

Altura [m]	Area [km2]	% Area
1000	0	0.00
1200	3.4	1.99
1400	21.9	12.80
1600	57.2	33.43
1800	96.5	56.40
2000	122.7	71.71
2200	141.8	82.88
2400	151.6	88.60
2600	159	92.93
2800	163.1	95.32
3000	165.6	96.79
3200	167.9	98.13
3400	171.1	100.00



4. Cuenca del río Maipo

Tabla A2- 39. Curva hipsométrica Estero Yerba Loca antes junta San Francisco

Altura [m]	Área [km ²]	% Área
1350.0	0.0	0.00
1807.4	11.8	6.36
1976.1	26.0	13.99
2118.9	41.1	22.14
2264.3	53.8	29.01
2406.7	68.0	36.64
2552.8	78.4	42.24
2713.0	88.3	47.58
2853.1	94.9	51.15
2996.7	105.7	57.00
3148.1	115.2	62.09
3302.0	127.0	68.45
3450.2	135.9	73.28
3590.7	147.7	79.64
3724.8	157.7	84.99
3890.8	164.3	88.55
4036.6	169.9	91.60
4179.0	173.7	93.64
4329.4	179.4	96.69
4480.5	183.2	98.73
4621.3	185.5	100.00

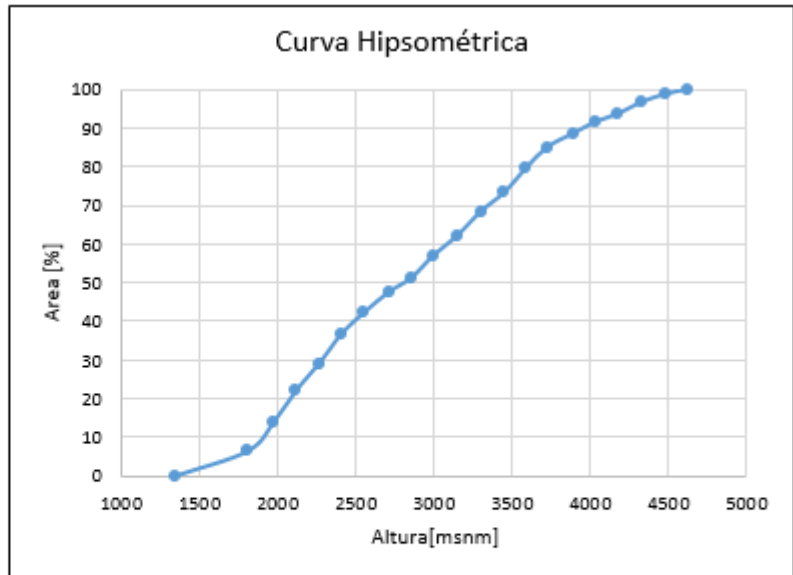


Tabla A2- 40. Curva hipsométrica Estero Arrayán en La Montosa

Altura [m]	Área [km ²]	% Área
880.0	0	0.00
1520.2	2.36	0.74
1712.2	7.08	2.21
1845.4	14.63	4.56
1997.8	25.02	7.79
2144.7	41.07	12.79
2297.4	59.00	18.38
2460.6	82.61	25.74
2599.6	92.99	28.97
2755.3	104.32	32.50
2903.6	119.43	37.21
3051.5	138.31	43.09
3219.7	157.19	48.97
3357.5	184.57	57.50
3506.0	209.11	65.15
3658.6	232.24	72.35
3812.0	250.18	77.94
3968.6	266.23	82.94
4123.9	282.75	88.09
4266.9	310.13	96.62
4423.3	320.99	100.00

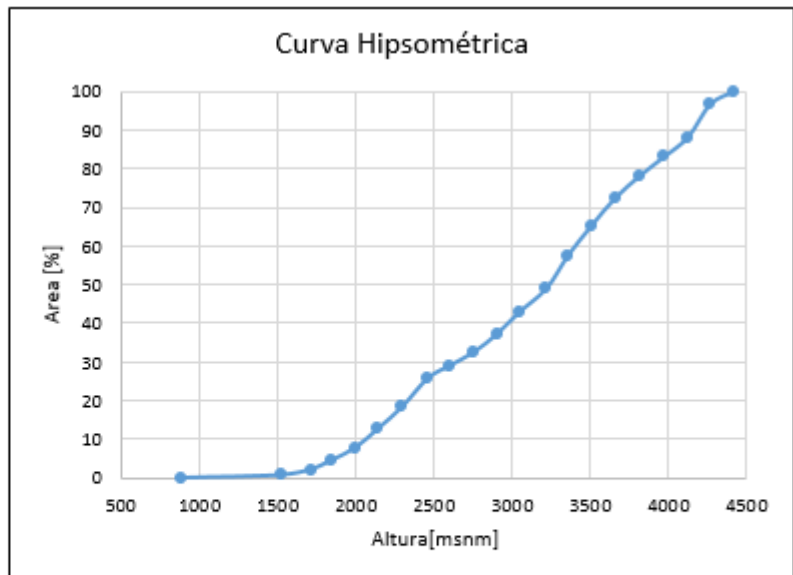


Tabla A2- 41. Curva hipsométrica Río Volcán en Queltehues

Altura [m]	Area [km2]	% Area
1365.0	0	0
2255.0	2.83	0.33
2413.7	7.55	0.89
2542.0	38.24	4.51
2715.7	62.78	7.41
2869.6	93.94	11.08
3019.3	138.78	16.37
3179.0	183.15	21.60
3311.0	238.38	28.12
3480.4	292.66	34.52
3631.3	334.20	39.42
3781.3	371.97	43.88
3946.4	425.31	50.17
4097.9	491.39	57.96
4246.4	559.37	65.98
4409.5	617.90	72.88
4560.8	673.60	79.45
4717.8	722.22	85.19
4868.9	763.76	90.09
5014.9	820.40	96.77
5159.4	847.78	100.00

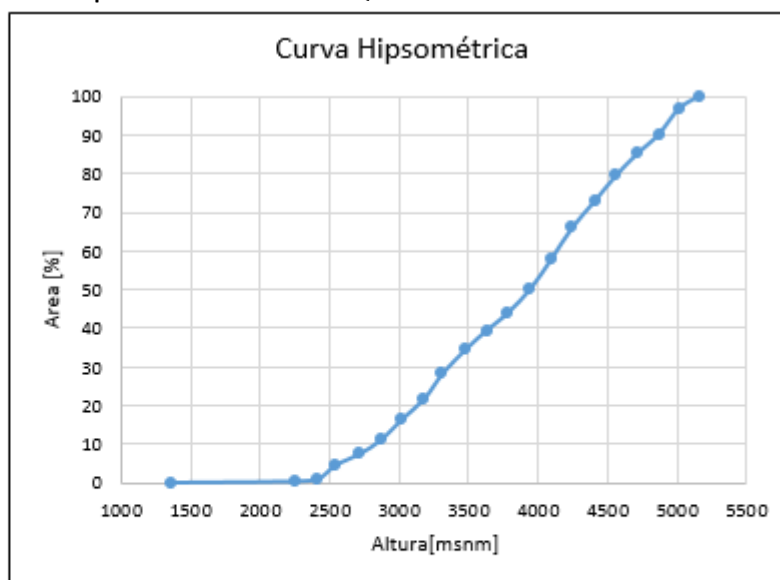


Tabla A2- 42. Curva hipsométrica Estero Puangue en Boquerón

Altura [m]	Area [km2]	% Area
488.0	0.00	0.00
955.0	3.78	3.64
986.7	8.02	7.73
1011.3	10.86	10.45
1032.3	15.58	15.00
1064.1	22.19	21.36
1088.7	28.32	27.27
1117.0	36.35	35.00
1142.1	42.96	41.36
1164.3	50.98	49.03
1194.5	61.84	59.55
1221.4	70.81	68.18
1247.8	80.72	77.73
1275.7	84.02	80.91
1293.4	87.80	84.55
1325.8	92.52	89.09
1355.6	94.88	91.36
1377.9	97.71	94.03
1402.5	99.13	95.45
1430.3	100.54	96.82
1459.6	102.43	98.64
1487.7	103.85	100.00

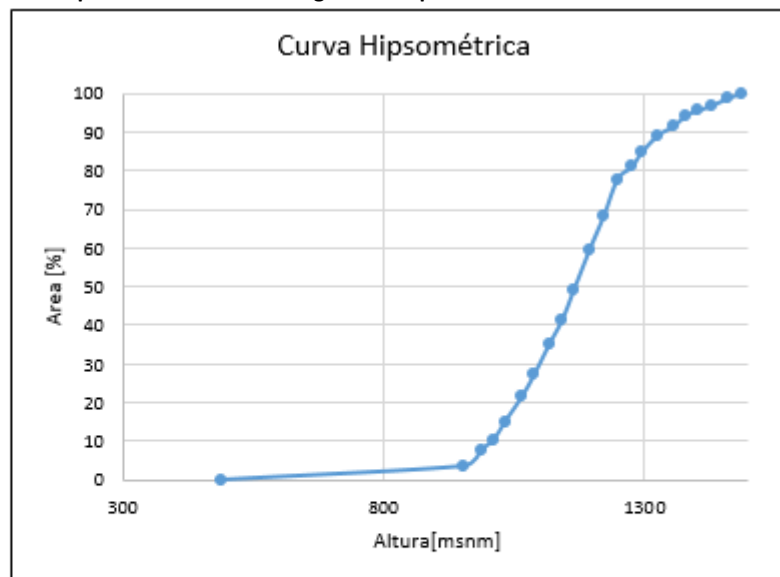


Tabla A2- 43. Curva hipsométrica Canal Colina

Altura [m]	Area [km2]	% Area
860	0	0.00
1100.6	1.89	1.26
1209.8	4.25	2.84
1348.3	7.55	5.05
1479.9	9.91	6.62
1587.5	13.22	8.83
1720.4	18.88	12.62
1842.4	29.74	19.87
1961.3	45.32	30.28
2071.7	53.34	35.65
2200.4	63.25	42.27
2318.9	74.11	49.53
2446.5	82.61	55.21
2568.6	93.94	62.78
2692.4	103.38	69.09
2809.1	109.99	73.50
2927.4	115.65	77.29
3054.1	127.45	85.17
3175.8	136.89	91.48
3291.7	146.33	97.79
3414.2	149.64	100.00

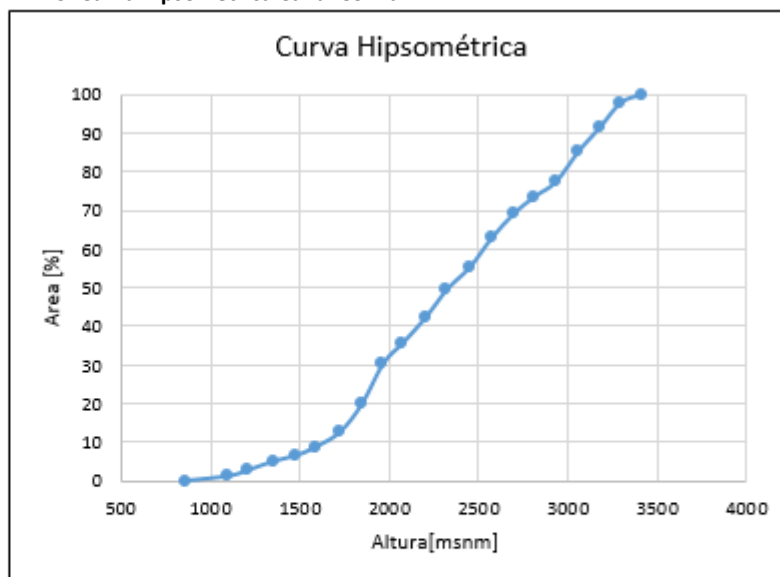


Tabla A2- 44. Curva hipsométrica Río Maipo en San Alfonso

Altura [m]	Area [km2]	% Area
1092	0	0
1610.7	8.02	0.25
1792.1	63.73	1.97
1988.1	126.98	3.93
2196.8	211.47	6.54
2368.0	301.63	9.33
2556.8	469.21	14.51
2757.2	662.27	20.48
2961.6	979.01	30.28
3138.3	1307.55	40.44
3305.2	1741.82	53.88
3514.7	2140.70	66.21
3707.7	2400.79	74.26
3913.6	2607.07	80.64
4098.2	2766.15	85.56
4279.0	2898.32	89.65
4479.6	2987.06	92.39
4673.0	3072.03	95.02
4868.5	3139.53	97.11
5037.3	3217.42	99.52
5232.4	3232.99	100.00

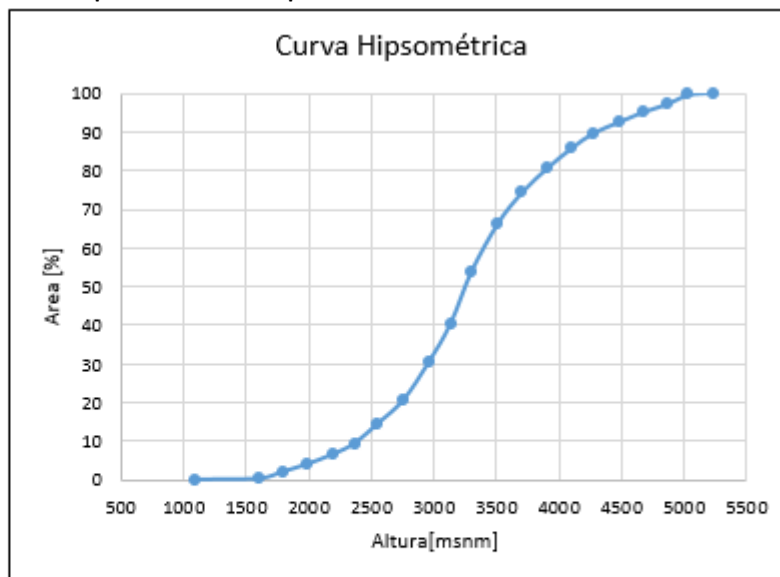
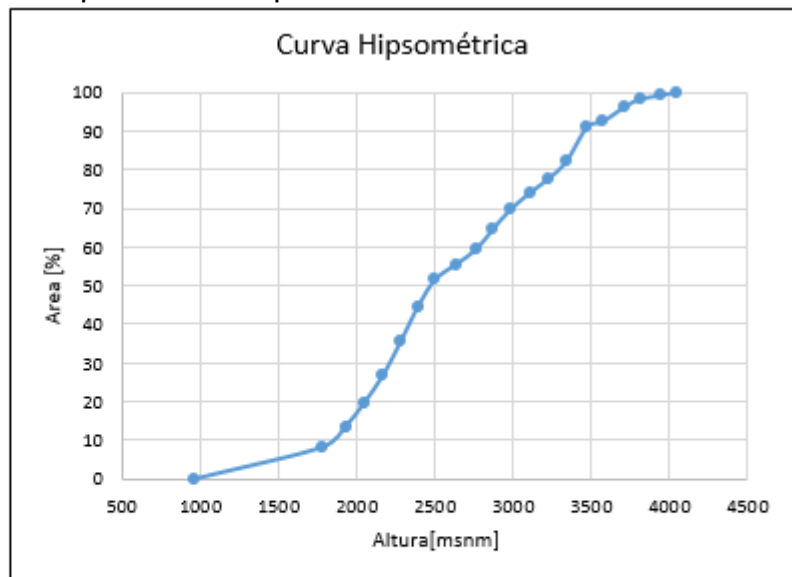


Tabla A2- 45. Curva hipsométrica Río Maipo en Los Almendros

Altura [m]	Area [km2]	% Area
966	0	0.00
1780.0	20.77	8.18
1930.0	34.46	13.57
2045.9	49.56	19.52
2165.7	67.50	26.58
2282.7	90.16	35.50
2394.0	113.29	44.61
2502.5	130.75	51.49
2635.6	140.67	55.39
2766.1	150.58	59.29
2872.4	163.80	64.50
2984.0	176.54	69.52
3106.5	187.40	73.79
3227.2	196.84	77.51
3343.0	208.17	81.97
3476.4	230.83	90.89
3578.4	234.60	92.38
3715.5	244.04	96.10
3814.6	249.24	98.14
3940.4	251.60	99.07
4046.7	253.96	100.00



5. Cuenca del río Cachapoal

Tabla A2- 46. Curva hipsométrica Río Pangal en Pangal

Altura [m]	Area [km2]	% Area
1500	0	0.00
1857	16	3.10
2215	57	11.05
2572	122	23.64
2930	205	39.73
3287	308	59.69
3645	415	80.43
4002	479	92.83
4360	507	98.26
4718	514	99.61
5075	516	100.00

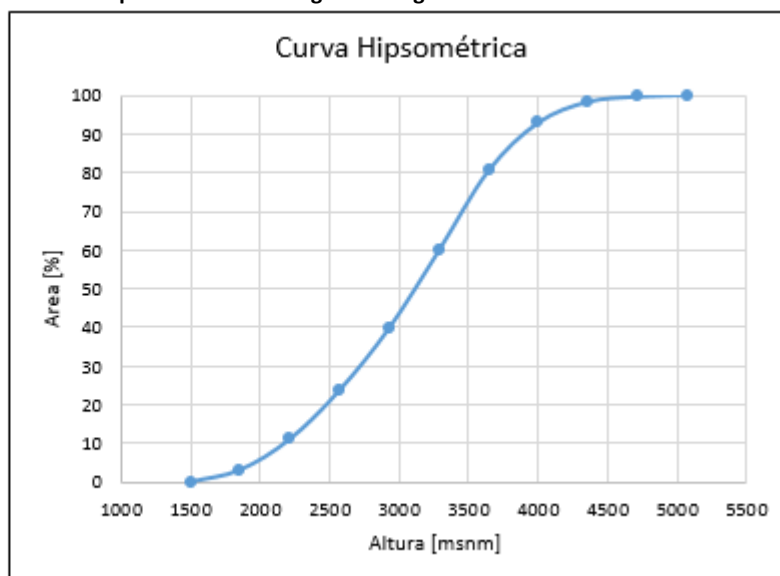


Tabla A2- 47. Curva hipsométrica Río Cortaderal antes junta río Cachapoal

Altura [m]	Area [km2]	% Area
1200	0	0.00
1438	3	0.72
1677	14	3.36
1915	33	7.91
2154	60	14.39
2392	98	23.50
2631	150	35.97
2869	215	51.56
3108	287	68.82
3346	359	86.09
3585	417	100.00

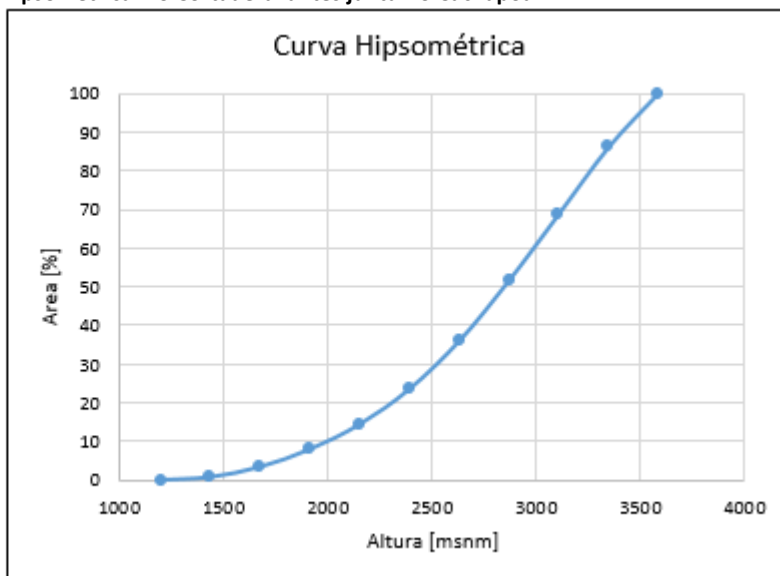
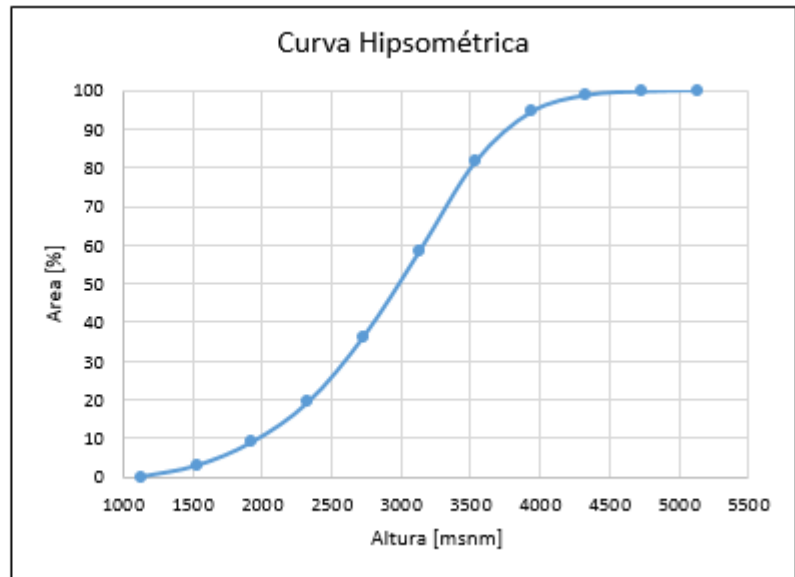


Tabla A2- 48. Curva hipsométrica Río Cachapoal 5 km aguas abajo junta río Cortaderal

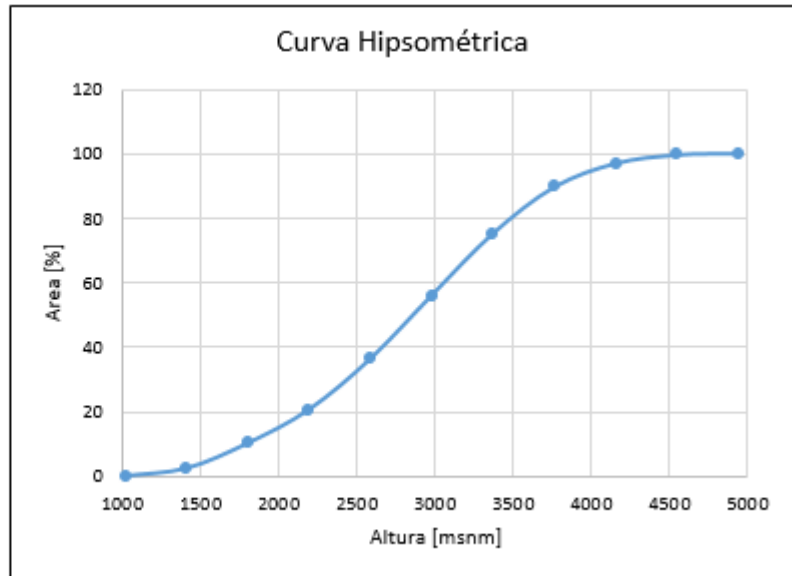
Altura [m]	Area [km2]	% Area
1127	0	0.00
1528	28	2.90
1929	87	9.02
2330	186	19.29
2730	350	36.31
3131	563	58.40
3532	786	81.54
3933	910	94.40
4334	952	98.76
4735	961	99.69
5135	964	100.00



6. Cuenca del río Tinguiririca

Tabla A2- 49. Curva hipsométrica Río Tinguiririca aguas abajo junta Río Azufre

Altura [m]	Area [km2]	% Area
1024	0	0.00
1415	23	2.37
1807	99	10.20
2198	200	20.60
2590	353	36.35
2982	544	56.02
3373	730	75.18
3765	870	89.60
4157	941	96.91
4548	967	99.59
4940	971	100.00



7. Cuenca del río Mataquito

Tabla A2- 50. Curva hipsométrica Río Teno bajo Quebrada Infiernillo

Altura [m]	Area [km2]	% Area
990	0	0.00
1282	8	1.34
1575	37	6.20
1867	87	14.57
2159	167	27.97
2452	286	47.91
2744	445	74.54
3036	557	93.30
3329	591	98.99
3621	596	99.83
3914	597	100.00

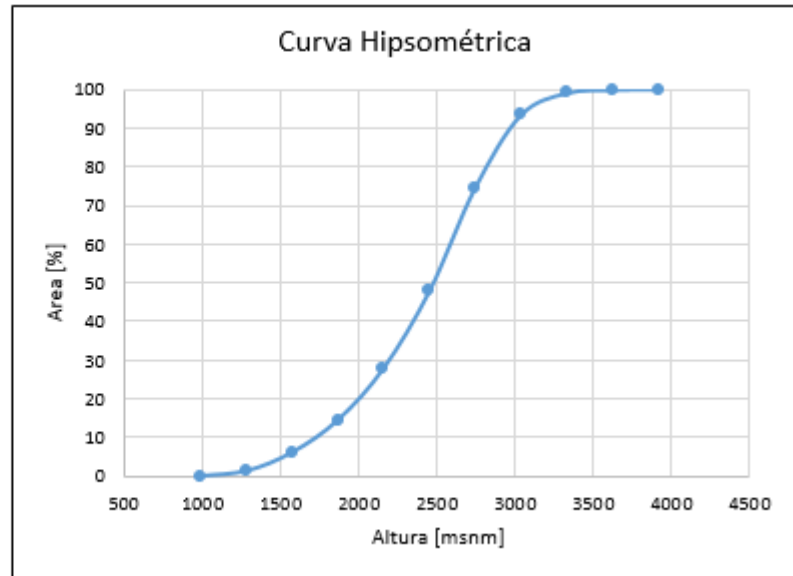


Tabla A2- 51. Curva hipsométrica Río Claro en Los Queñes

Altura [m]	Area [km2]	% Area
900	0	0.00
1214	54	15.25
1528	123	34.75
1842	181	51.13
2156	234	66.10
2470	282	79.66
2784	320	90.40
3098	335	94.63
3412	341	96.33
3726	348	98.31
4040	354	100.00

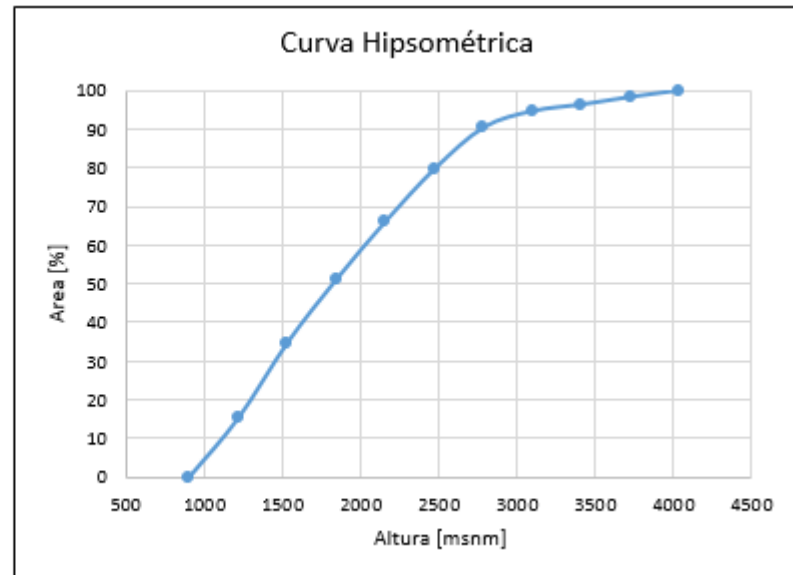


Tabla A2- 52. Curva hipsométrica Río Colorado en junta con Palos

Altura [m]	Área [km2]	% Área
600	0	0.00
946	20	2.29
1291	68	7.80
1637	159	18.23
1982	259	29.70
2328	390	44.72
2673	611	70.07
3019	819	93.92
3364	864	99.08
3710	871	99.89
4056	872	100.00

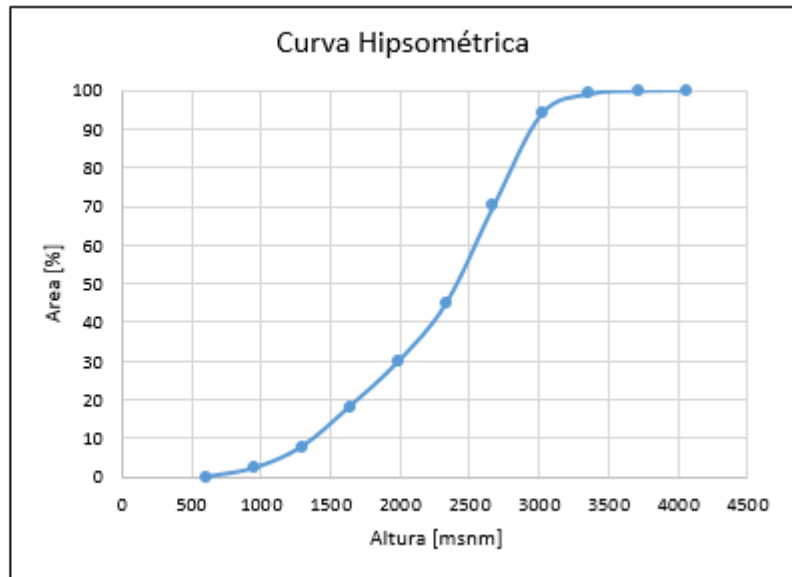
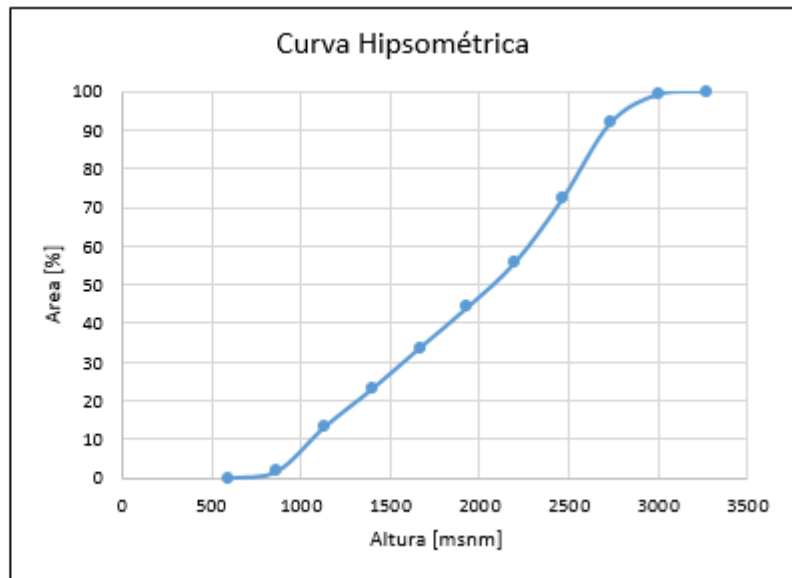


Tabla A2- 53. Curva hipsométrica Río Palos en junta con Colorado

Altura [m]	Área [km2]	% Área
600	0	0.00
867	9	1.84
1133	65	13.29
1400	113	23.11
1667	165	33.74
1933	216	44.17
2200	273	55.83
2467	354	72.39
2733	449	91.82
3000	485	99.18
3267	489	100.00



8. Cuenca del río Maule

Tabla A2- 54. Curva hipsométrica Río Longaví en el Castillo

Altura [m]	Area [km2]	% Area
598	0	0.00
856	25	5.35
1114	70	14.99
1372	149	31.91
1631	268	57.39
1889	372	79.66
2147	429	91.86
2405	454	97.22
2663	463	99.14
2921	466	99.79
3180	467	100.00

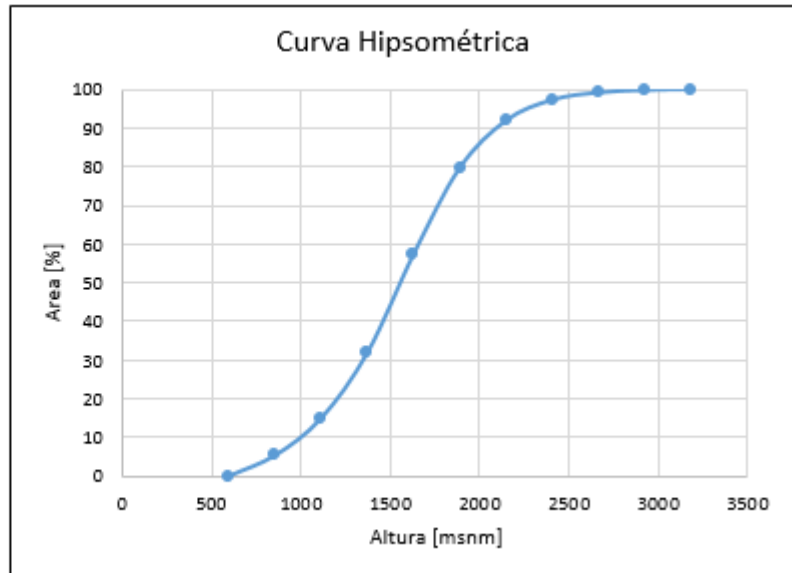


Tabla A2- 55. Curva hipsométrica Río Achibueno en Los Peñascos

Altura [m]	Area [km2]	% Area
230	0	0.00
525	112	11.46
820	333	34.08
1115	471	48.21
1410	583	59.67
1705	693	70.93
2000	817	83.62
2295	923	94.47
2590	964	98.67
2885	976	99.90
3181	977	100.00

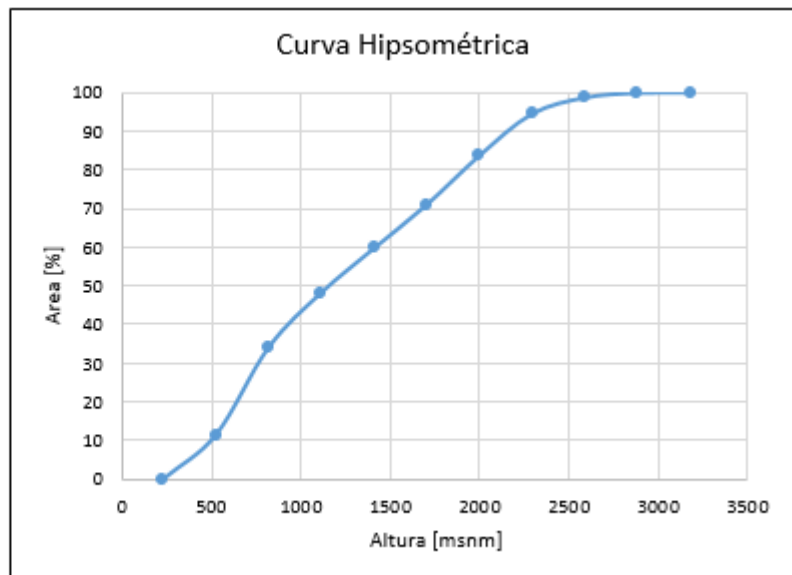
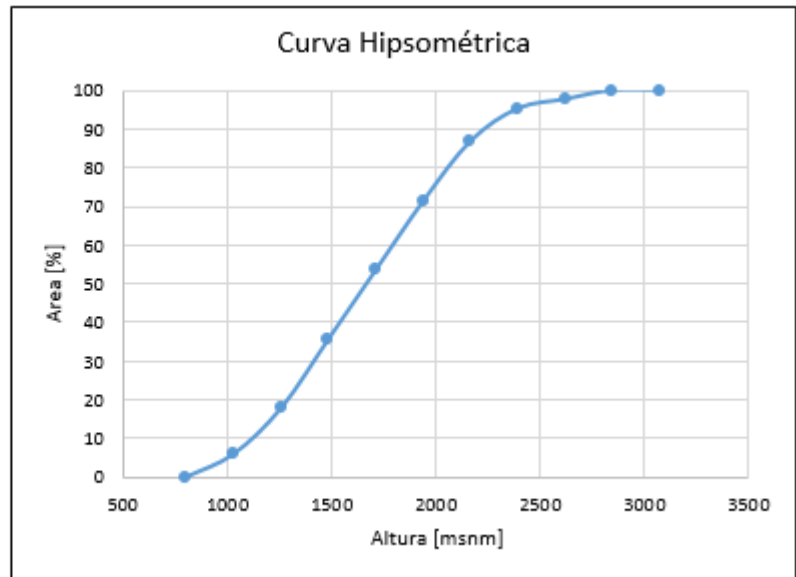


Tabla A2- 56. Curva hipsométrica Río Ancoa antes túnel Canal Melado

Altura [m]	Area [km2]	% Area
800	0	0.00
1027	5	5.95
1255	15	17.86
1482	30	35.71
1709	45	53.57
1937	60	71.43
2164	73	86.90
2391	80	95.24
2619	82	97.62
2846	84	100.00
3074	84	100.00



9. Cuenca del río Itata

Tabla A2- 57. Curva hipsométrica Río Sauce antes junta con Ñuble

Altura [m]	Area [km2]	% Area
620	0	0.00
721	3	0.49
924	18	2.97
1127	56	9.23
1330	140	23.06
1533	268	44.15
1736	403	66.39
1939	523	86.16
2142	585	96.38
2345	604	99.51
2548	607	100.00

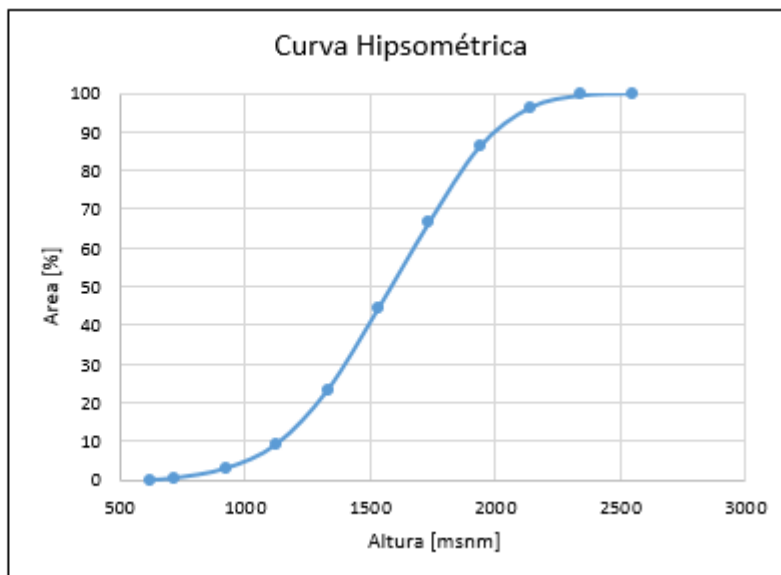


Tabla A2- 58. Curva hipsométrica Río Ñuble en La Punilla

Altura [m]	Area [km2]	% Area
635	0	0.00
889	45	3.58
1143	123	9.78
1397	292	23.21
1650	563	44.75
1904	871	69.24
2158	1105	87.84
2412	1213	96.42
2666	1248	99.21
2920	1255	99.76
3174	1258	100.00

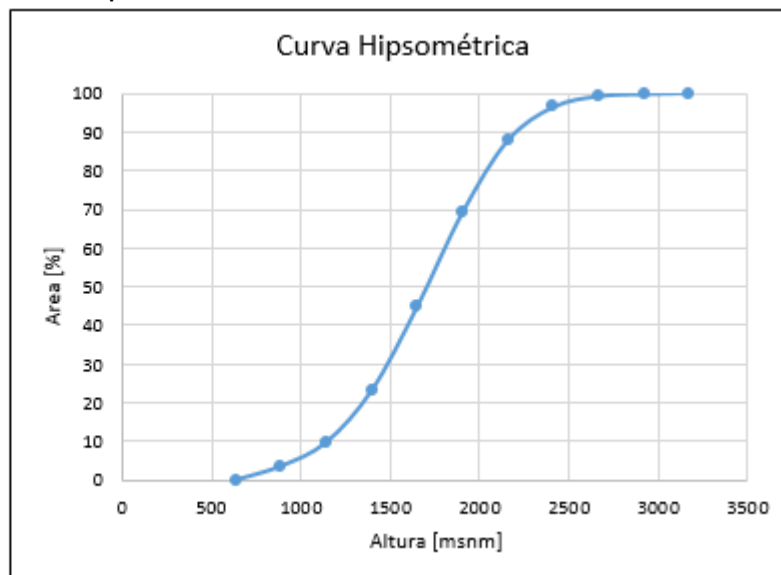
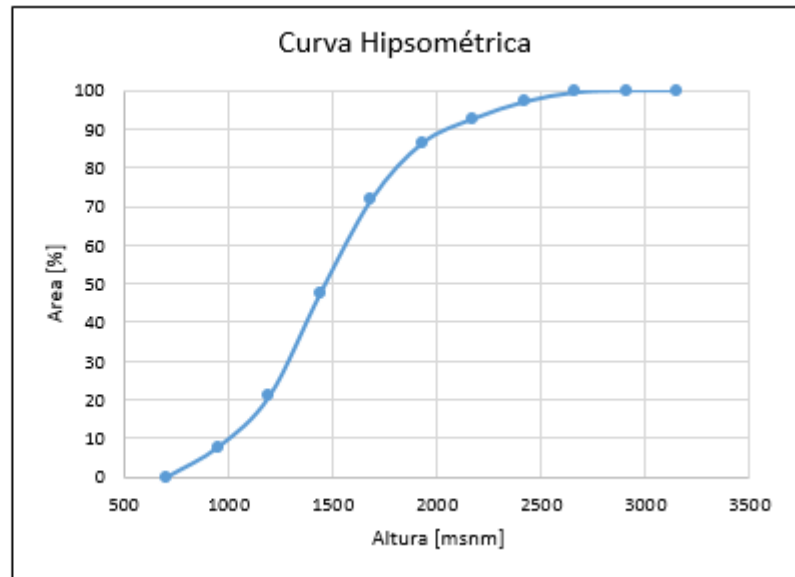


Tabla A2- 59. Curva hipsométrica Río Diguillín en San Lorenzo

Altura [m]	Área [km ²]	% Área
707	0	0.00
952	16	7.77
1196	43	20.87
1441	98	47.57
1686	148	71.84
1930	178	86.41
2175	191	92.72
2420	200	97.09
2664	205	99.51
2909	206	100.00
3154	206	100.00



10. Cuenca del río Biobío

Tabla A2- 60. Curva hipsométrica Río Lonquimay antes junta río Bio Bio

Altura [m]	Area [km2]	% Area
800	0	0.00
972	69	14.78
1144	135	28.91
1316	206	44.11
1488	304	65.10
1660	395	84.58
1832	447	95.72
2004	460	98.50
2176	463	99.14
2348	466	99.79
2520	467	100.00

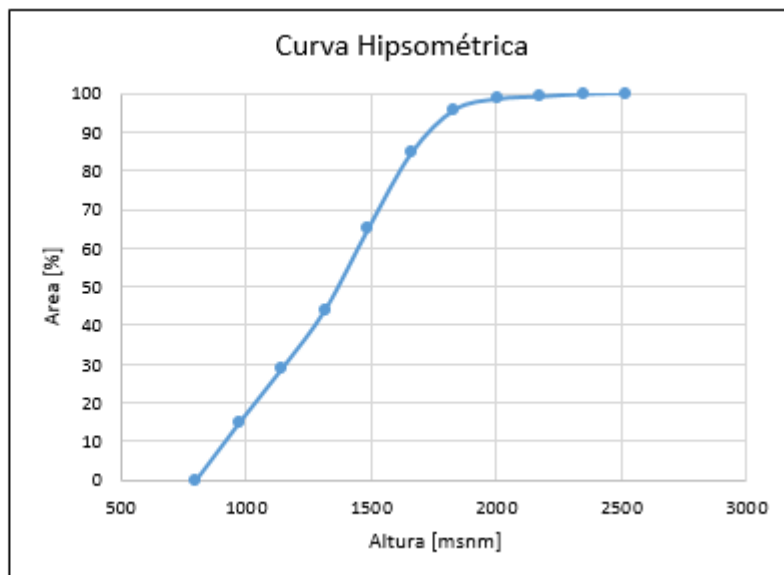


Tabla A2- 61. Curva hipsométrica Río Mulchén en Mulchén

Altura [m]	Area [km2]	% Area
120	0	0.00
257	94	22.49
394	219	52.39
531	290	69.38
667	339	81.10
804	376	89.95
941	395	94.50
1078	406	97.13
1215	413	98.80
1352	418	100.00
1489	418	100.00

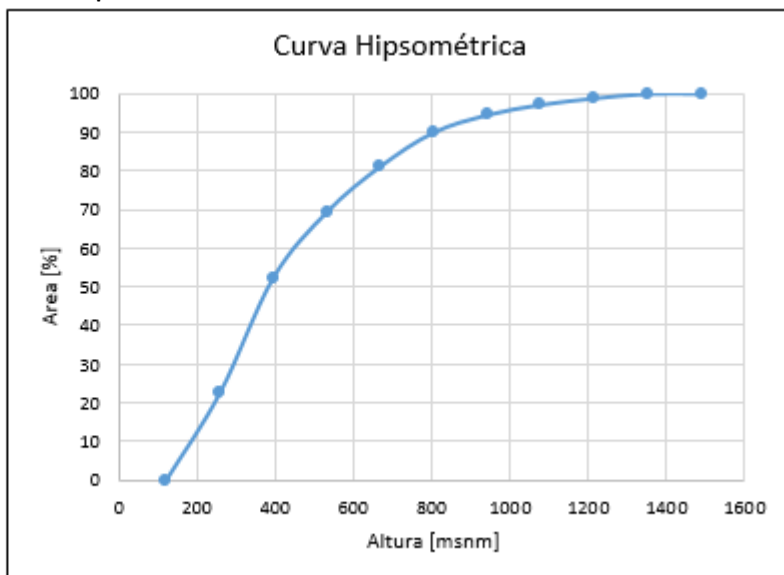
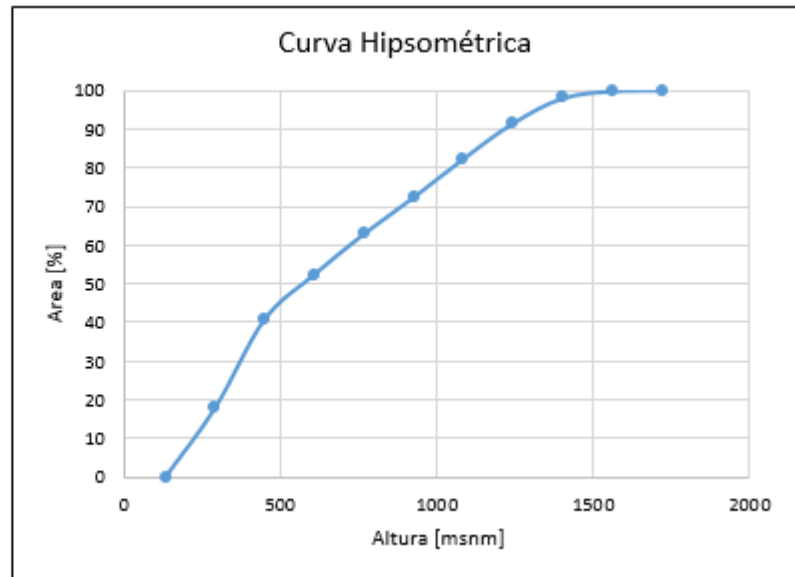


Tabla A2 62. Curva hipsométrica Río Bureo en Mulchén

Altura [m]	Área [km ²]	% Área
133	0	0.00
292	97	17.90
450	221	40.77
609	284	52.40
768	341	62.92
926	392	72.32
1085	446	82.29
1244	496	91.51
1402	531	97.97
1561	541	99.82
1720	542	100.00



11. Cuenca del río Imperial

Tabla A2- 63. Curva hipsométrica Río Blanco en Curacautín

Altura [m]	Area [km2]	% Area
405	0	0.00
646	7	4.19
887	33	19.76
1128	58	34.73
1369	92	55.09
1610	132	79.04
1851	151	90.42
2092	158	94.61
2333	164	98.20
2574	166	99.40
2816	167	100.00

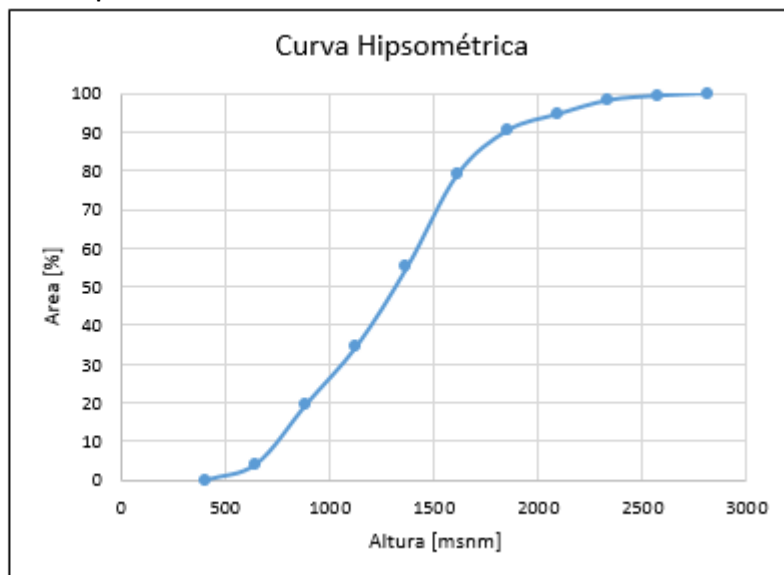


Tabla A2- 64. Curva hipsométrica Río Cautín en Rariruca

Altura [m]	Area [km2]	% Area
425	0	0.00
688	209	16.67
952	446	35.57
1215	730	58.21
1478	989	78.87
1742	1173	93.54
2005	1226	97.77
2268	1243	99.12
2532	1251	99.76
2795	1253	99.92
3059	1254	100.00

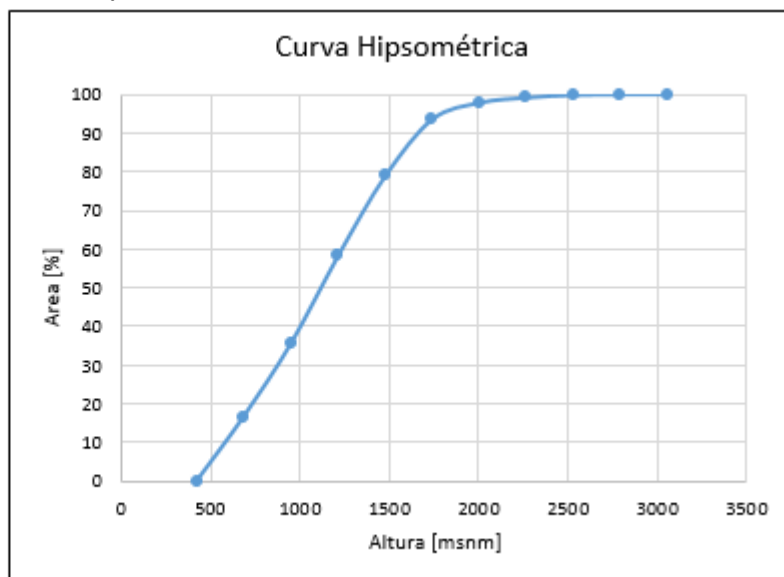
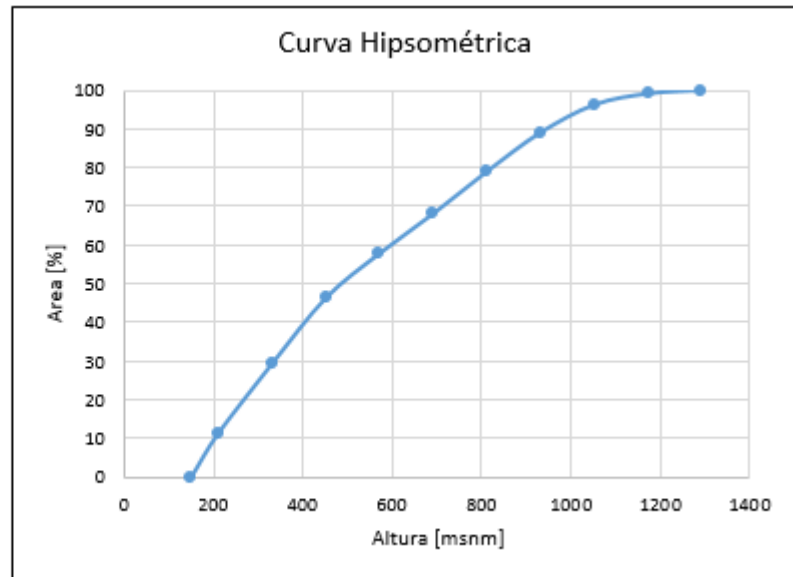


Tabla A2- 65. Curva hipsométrica Río Huichahue en Faja 24000

Altura [m]	Área [km ²]	% Área
150	0	0.00
210	39	11.21
331	102	29.31
451	161	46.26
571	201	57.76
692	237	68.10
812	275	79.02
932	310	89.08
1053	335	96.26
1173	345	99.14
1293	348	100.00



12. Cuenca del río Toltén

Tabla A2- 66. Curva hipsométrica Río Allipén en Melipeuco

Altura [m]	Area [km2]	% Area
450	0	0.00
582	54	7.15
714	89	11.79
846	124	16.42
978	179	23.71
1111	253	33.51
1243	351	46.49
1375	456	60.40
1507	584	77.35
1639	688	91.13
1771	755	100.00

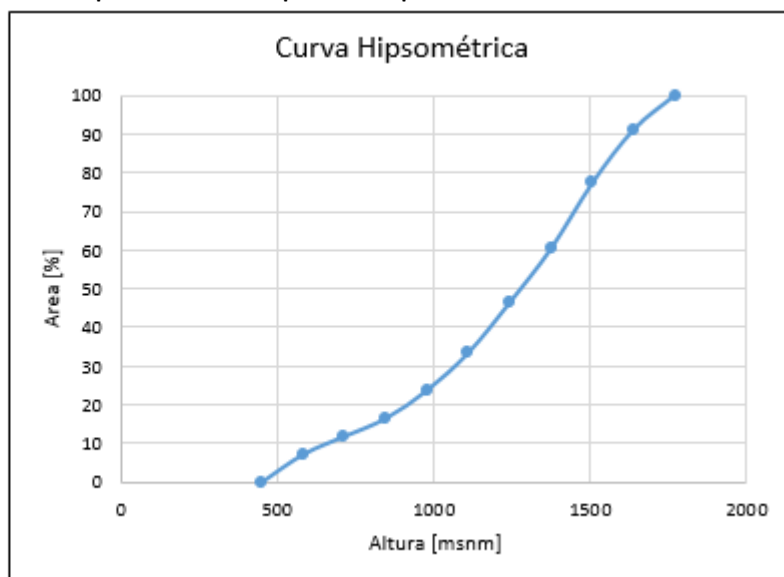


Tabla A2- 67. Curva hipsométrica Río Trancura en Curarrehue

Altura [m]	Area [km2]	% Area
400	0	0.00
732	49	13.69
1064	123	34.36
1396	256	71.51
1728	329	91.90
2060	349	97.49
2392	353	98.60
2724	355	99.16
3056	357	99.72
3388	358	100.00
3720	358	100.00

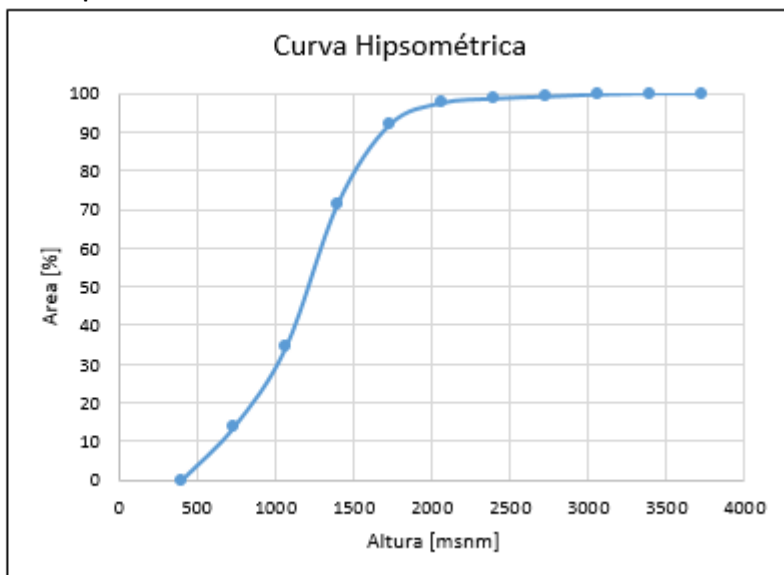
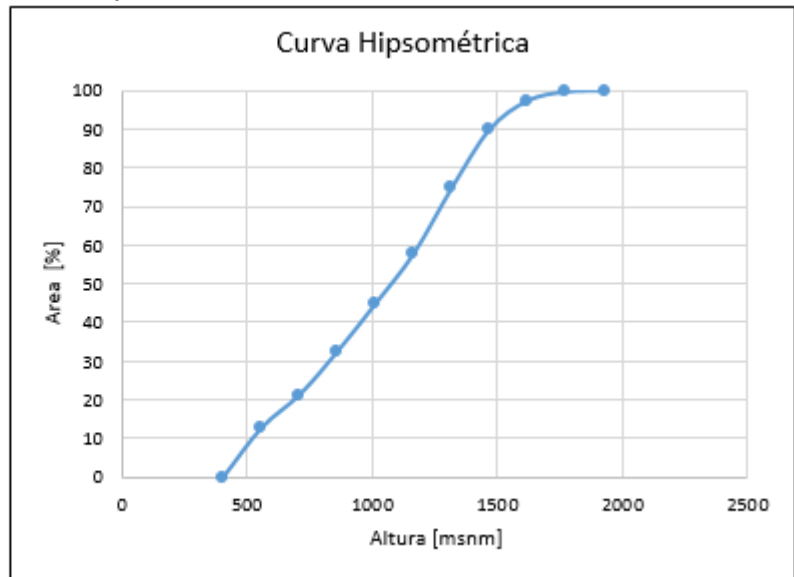


Tabla A2- 68. Curva hipsométrica Río Liucura en Liucura

Altura [m]	Área [km ²]	% Área
402	0	0.00
554	44	12.64
707	74	21.26
859	113	32.47
1011	156	44.83
1164	201	57.76
1316	260	74.71
1468	313	89.94
1621	339	97.41
1773	347	99.71
1926	348	100.00



13. Cuenca del río Valdivia

Tabla A2- 69. Curva hipsométrica Río Liquiñe en Liquiñe

Altura [m]	Area [km2]	% Area
221.9	0	0.00
300	2.23	0.62
500	15.85	4.39
700	47.36	13.12
900	94.14	26.07
1000	125.15	34.66
1100	162.79	45.08
1300	251.71	69.71
1500	316.53	87.66
1700	347.53	96.24
1900	357.92	99.12
2100	360.39	99.80
2300	361.09	100.00
2304.5	361.1	100.00

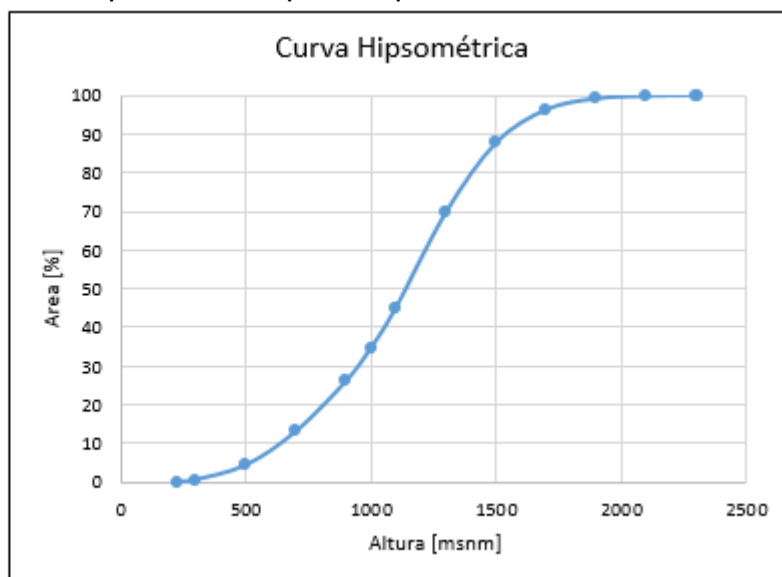


Tabla A2- 70. Curva hipsométrica Río Cruces en Rucaco

Altura [m]	Area [km2]	% Area
16	0	0
50	51.93	2.84
100	180.01	9.85
200	642.02	35.14
300	1217.5	66.64
400	1495.38	81.85
500	1638.77	89.70
600	1734.53	94.95
700	1787.51	97.85
800	1814.91	99.35
900	1824.14	99.85
1000	1826.21	99.96
1100	1826.78	100.00
1150	1826.85	100.00
1169	1826.87	100.00

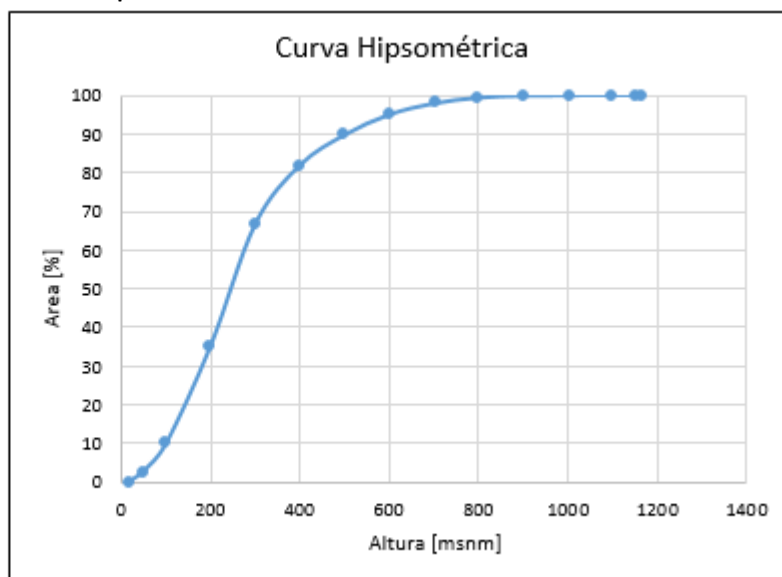


Tabla A2- 71. Curva hipsométrica Río Iñaque en Máfil

Altura [m]	Área [km2]	% Área
15	0	0.00
50	82.25	15.39
100	164.27	30.74
150	248.6	46.52
200	322.78	60.40
250	373.59	69.91
300	417.75	78.17
350	451.17	84.42
400	476.2	89.11
450	495.04	92.63
500	507.75	95.01
550	515.48	96.46
600	521.33	97.55
650	526.3	98.48
700	529.86	99.15
750	532.44	99.63
800	533.91	99.91
858	534.41	100.00

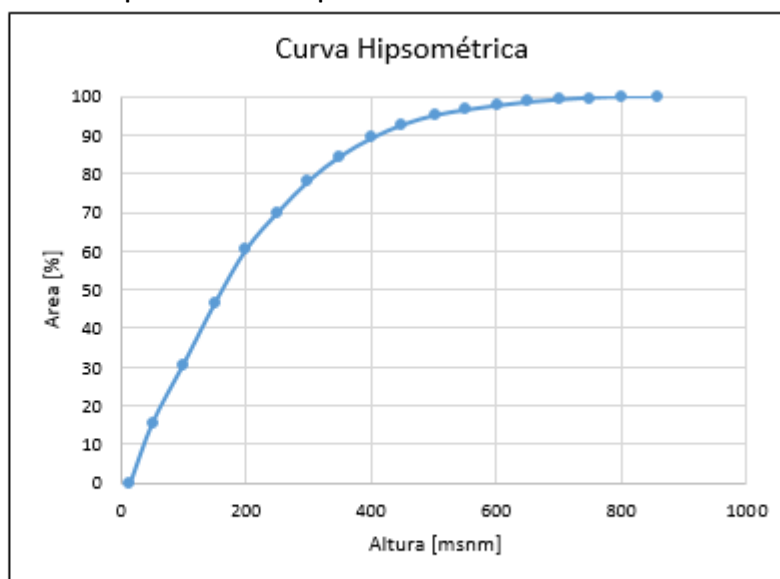


Tabla A2- 72. Curva hipsométrica Río Collileufú en Los Lagos

Altura [m]	Área [km2]	% Área
19	0	0.00
30	2.75	0.44
50	11.57	1.86
100	162.77	26.21
150	281.63	45.34
200	403.63	64.98
250	481.26	77.48
300	528.89	85.15
350	557.22	89.71
400	575.44	92.64
450	590.63	95.09
500	601.42	96.83
550	608.61	97.98
600	615.74	99.13
650	620.14	99.84
700	620.81	99.95
733	621.13	100.00

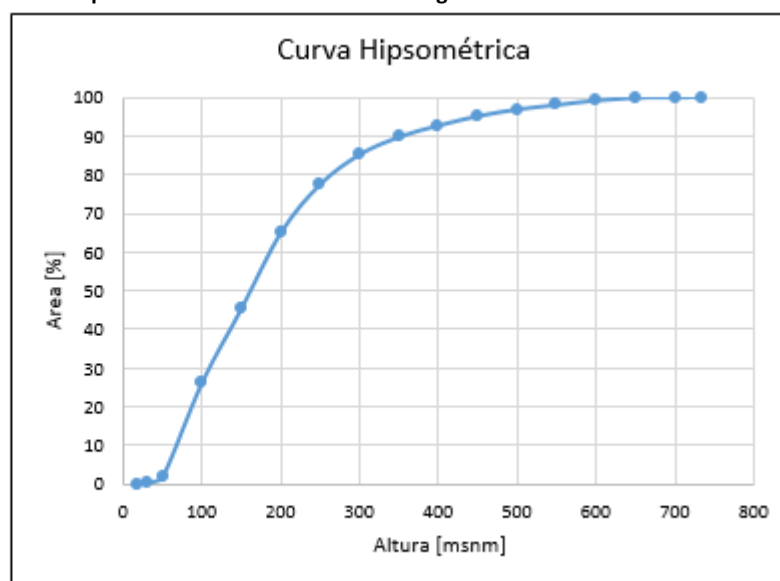
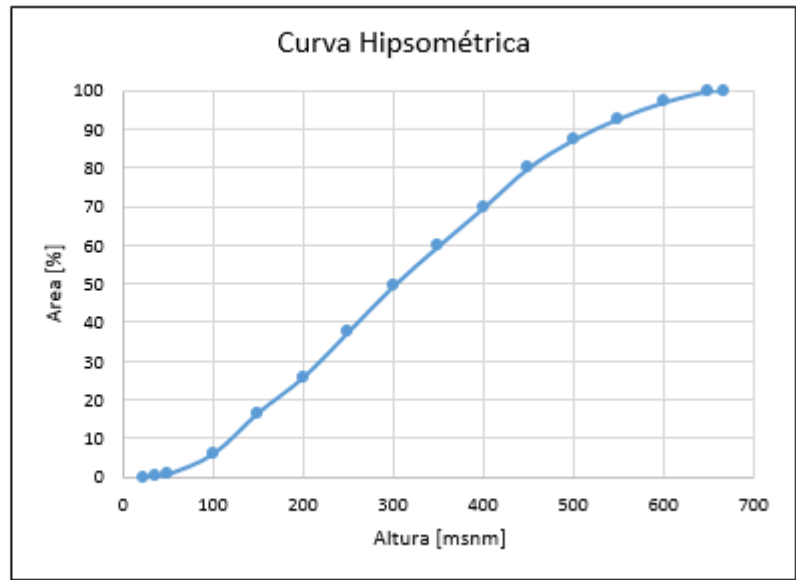


Tabla A2- 73. Curva hipsométrica Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra

Altura [m]	Area [km2]	% Area
23	0	0.00
35	0.33	0.29
50	0.78	0.68
100	6.88	5.96
150	19.2	16.63
200	29.75	25.77
250	43.32	37.53
300	56.98	49.36
350	68.92	59.70
400	80.36	69.61
450	92.29	79.95
500	100.71	87.24
550	107.03	92.71
600	111.92	96.95
650	115.3	99.88
666	115.44	100.00



14. Cuenca del río Bueno

Tabla A2- 74. Curva hipsométrica Río Caunahue camino a Llifén

Altura [m]	Area [km2]	% Area
102	0	0
150	3.87	1.10
200	11.36	3.22
300	20.66	5.85
400	32.82	9.29
500	45.84	12.98
600	64.59	18.29
700	85.66	24.26
800	108.69	30.78
900	139.32	39.46
1000	174.46	49.41
1100	212.83	60.27
1200	255.88	72.46
1300	298.57	84.55
1400	330.81	93.68
1500	348.02	98.56
1600	352.71	99.89
1650	353.1	100.00
1679	353.11	100.00

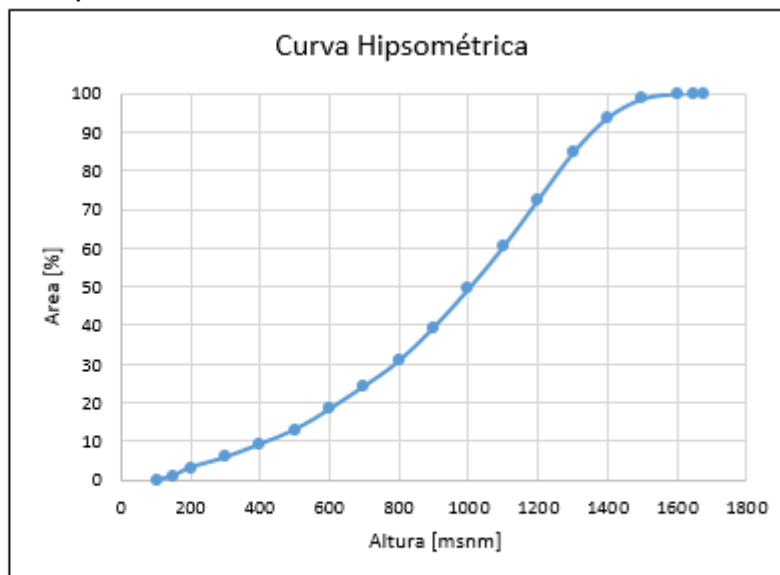


Tabla A2- 75. Curva hipsométrica Río Nilahue en Mayay

Altura [m]	Area [km2]	% Area
127	0	0.00
200	6.05	2.02
300	26.28	8.77
400	44.4	14.81
500	66.95	22.34
600	95.64	31.91
700	116.74	38.95
800	134.31	44.81
900	155.88	52.01
1000	176.09	58.75
1100	190.89	63.69
1200	204.91	68.37
1300	218.49	72.90
1400	234.4	78.21
1500	257.87	86.04
1600	282.55	94.27
1700	292.35	97.54
1800	294.43	98.24
1900	295.56	98.61
2000	298.41	99.56
2100	299.54	99.94
2197	299.72	100.00

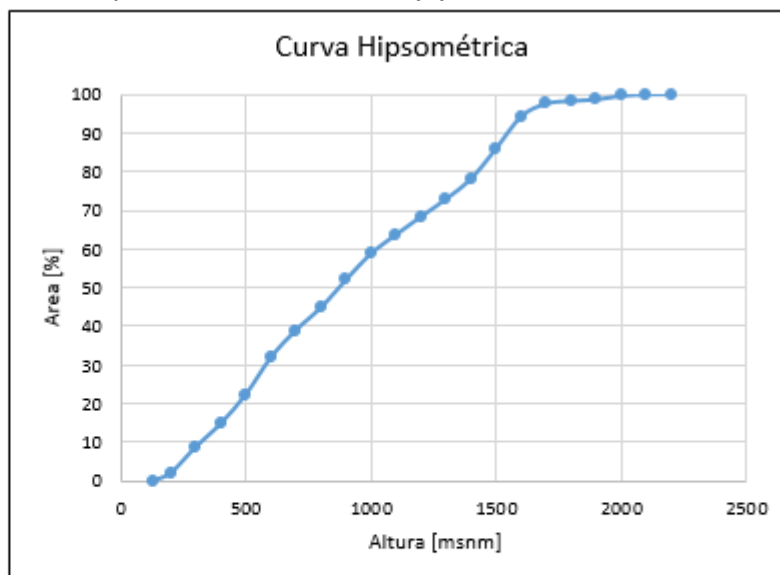


Tabla A2- 76. Curva hipsométrica Río Coihueco antes junta Pichicope

Altura [m]	Área [km ²]	% Área
170	0	0.00
200	6.34	2.13
250	42.67	14.32
300	81.61	27.38
400	122.93	41.24
500	152.81	51.27
600	183.82	61.67
700	209.31	70.22
800	234.21	78.58
900	254.19	85.28
1000	270.4	90.72
1100	282.36	94.73
1200	291.03	97.64
1300	295.81	99.24
1400	297.49	99.81
1500	297.97	99.97
1600	298.06	100.00
1652	298.07	100.00

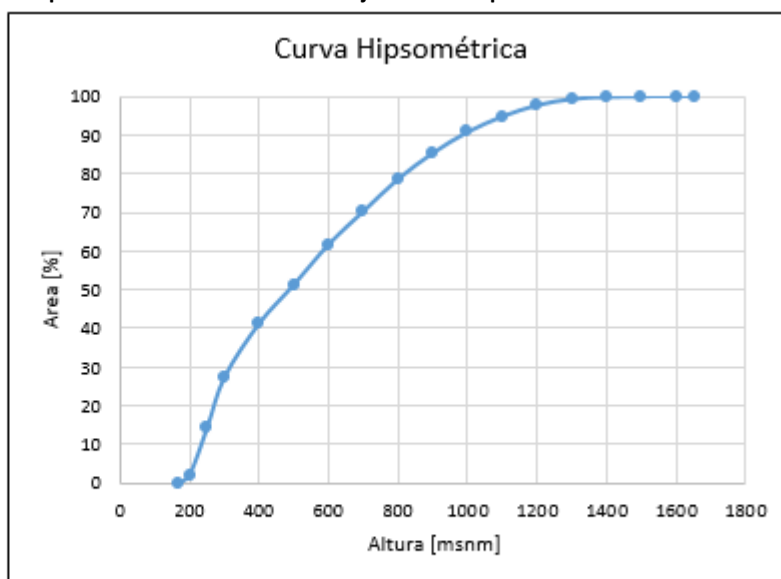


Tabla A2- 77. Curva hipsométrica Río Damas en Tacamo

Altura [m]	Área [km ²]	% Área
49	0	0.00
75	37.04	9.22
100	111.06	27.65
125	177.64	44.22
150	243.95	60.73
175	297.91	74.16
200	347.64	86.54
225	376.42	93.71
250	393.47	97.95
275	400.05	99.59
300	401.55	99.96
317	401.7	100.00

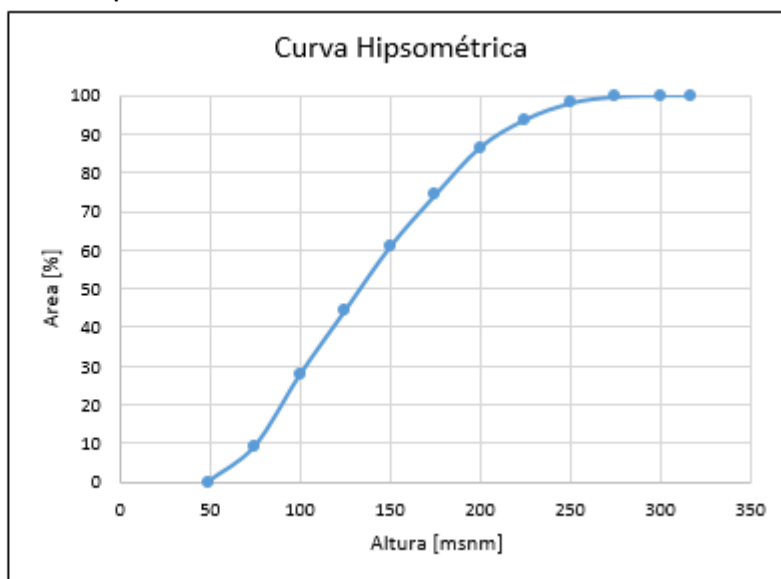
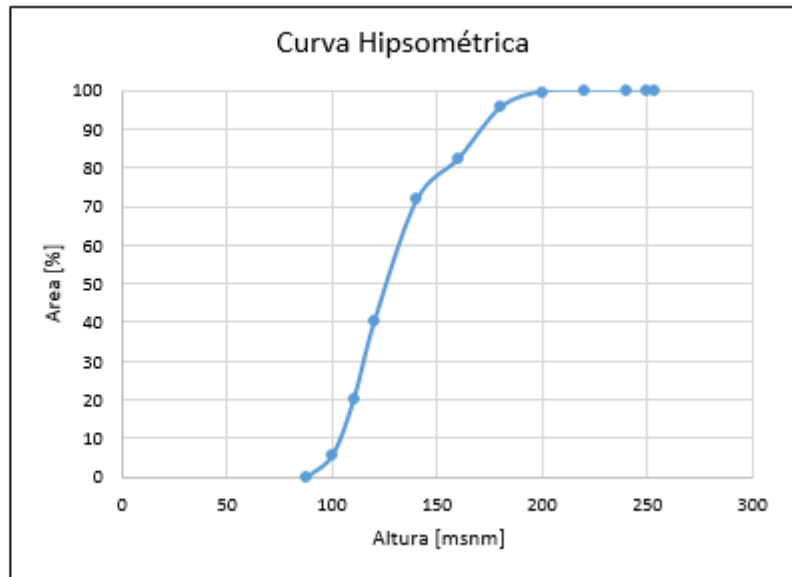


Tabla A2- 78. Curva hipsométrica Río Forrahue en Aromos

Altura [m]	Área [km2]	% Área
88	0	0.00
100	12.01	5.62
110	42.62	19.95
120	86.4	40.43
140	152.69	71.46
160	175.71	82.23
180	203.86	95.40
200	212.74	99.56
220	213.63	99.98
240	213.67	100.00
250	213.68	100.00
253	213.68	100.00



15. Cuenca del río Cisnes

Tabla A2- 79. Curva hipsométrica Río Moro antes junta Río Cisnes

Altura [m]	Area [km2]	% Area
489	0	0.00
500	0.02	0.02
550	0.38	0.29
600	1.17	0.88
700	3.98	2.99
800	10.74	8.07
900	18.04	13.55
1000	26.83	20.15
1100	37.92	28.48
1200	69.27	52.02
1300	89.95	67.56
1400	112.57	84.54
1500	125.38	94.16
1600	129.84	97.51
1700	132.26	99.33
1800	133.06	99.93
1875	133.15	100.00

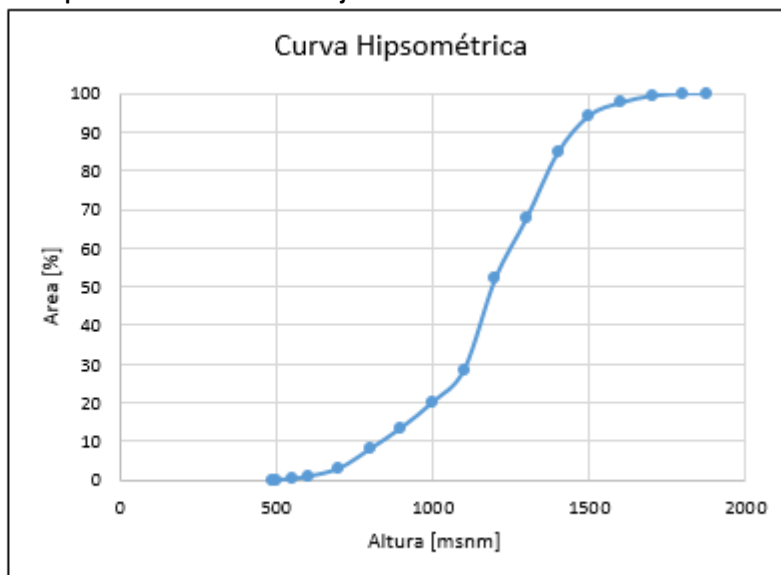
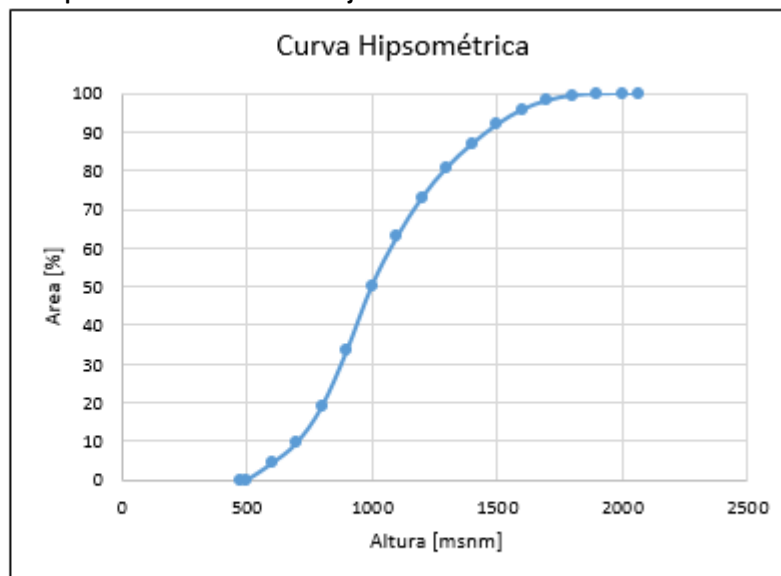


Tabla A2- 80. Curva hipsométrica Río Cisnes antes junta Río Moro

Altura [m]	Area [km2]	% Area
473	0	0.00
500	2.69	0.12
600	97.57	4.35
700	216.89	9.67
800	424.32	18.91
900	748.79	33.37
1000	1125.21	50.15
1100	1408.48	62.77
1200	1637.46	72.98
1300	1813.7	80.83
1400	1949.6	86.89
1500	2062.37	91.92
1600	2148.96	95.78
1700	2202	98.14
1800	2232.05	99.48
1900	2241.84	99.92
2000	2243.61	100.00
2062	2243.72	100.00



16. Cuenca del río Aysén

Tabla A2- 81. Curva hipsométrica Río Ñirehuao en Villa Mañihuales

Altura [m]	Area [km2]	% Area
136	0	0.00
200	4.02	0.22
300	6.66	0.37
400	16.99	0.94
500	92.2	5.12
600	235.83	13.09
700	415.82	23.08
800	714.48	39.65
900	1041.88	57.82
1000	1254.41	69.62
1100	1404.14	77.93
1200	1507.62	83.67
1300	1605	89.07
1400	1690.21	93.80
1500	1750.4	97.14
1600	1787.8	99.22
1700	1797.49	99.76
1800	1800.23	99.91
1900	1801.49	99.98
1980	1801.9	100.00

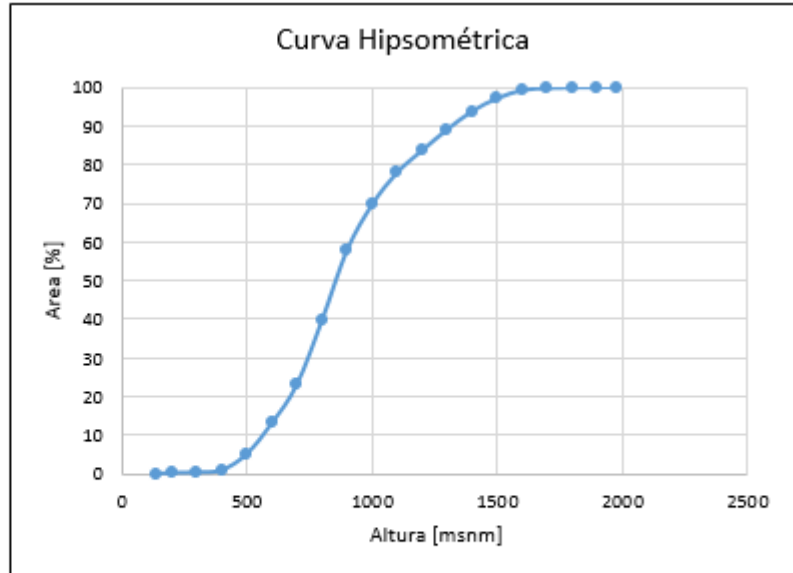


Tabla A2- 82. Curva hipsométrica Río Emperador Guillermo antes junta Mañihuales

Altura [m]	Area [km2]	% Area
143	0	0.00
200	1.68	0.28
300	15.46	2.58
400	33.01	5.50
500	54.71	9.12
600	95.7	15.95
700	149.18	24.86
800	208.71	34.78
900	265.48	44.24
1000	311.51	51.91
1100	372.29	62.04
1200	437.75	72.95
1300	499.7	83.27
1400	548.39	91.38
1500	574.89	95.80
1600	589.51	98.24
1700	596.9	99.47
1800	599.43	99.89
1900	599.92	99.97
1998	600.09	100.00

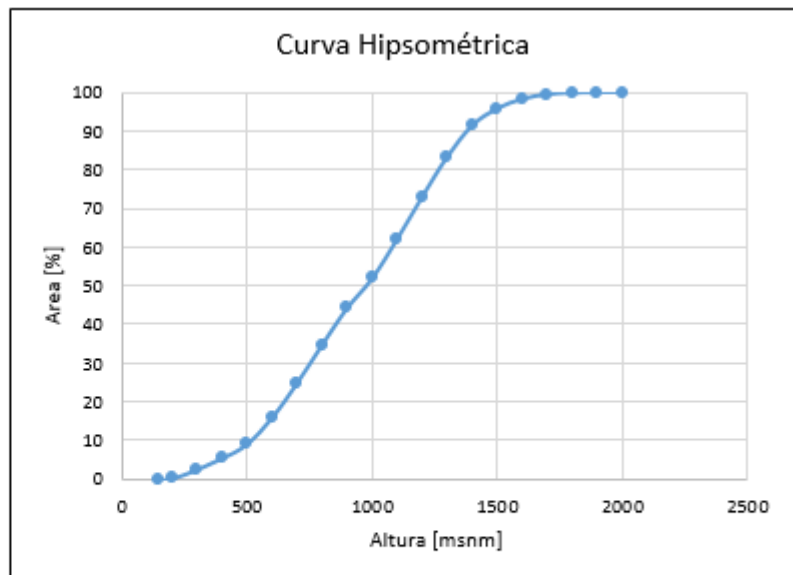


Tabla A2- 83. Curva hipsométrica Río Oscuro en camino Cerro Portezuelo

Altura [m]	Area [km2]	% Area
519	0	0.00
550	0.98	0.93
600	3.19	3.03
700	12.06	11.47
800	23.9	22.73
900	30.8	29.30
1000	35.92	34.17
1100	41.49	39.47
1200	49	46.61
1300	58.15	55.31
1400	66.59	63.34
1500	74.27	70.65
1600	82.11	78.10
1700	91.39	86.93
1800	98.95	94.12
1900	103.85	98.78
2000	105	99.88
2042	105.13	100.00

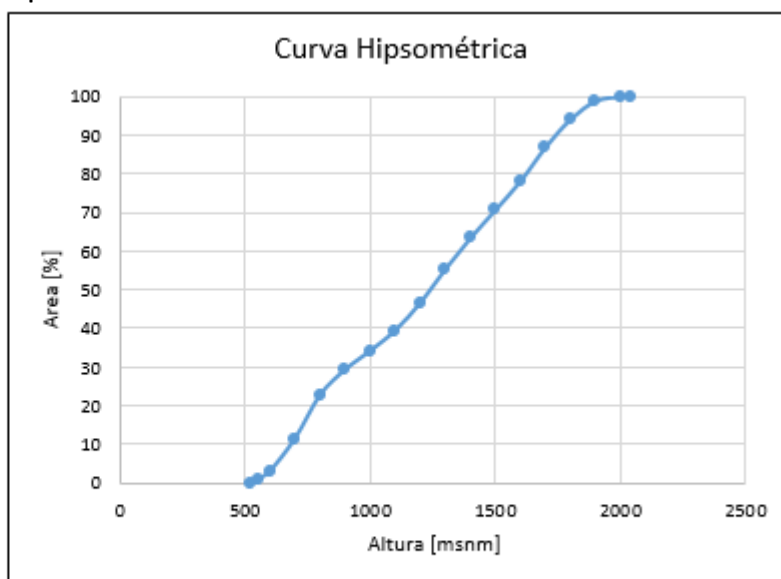
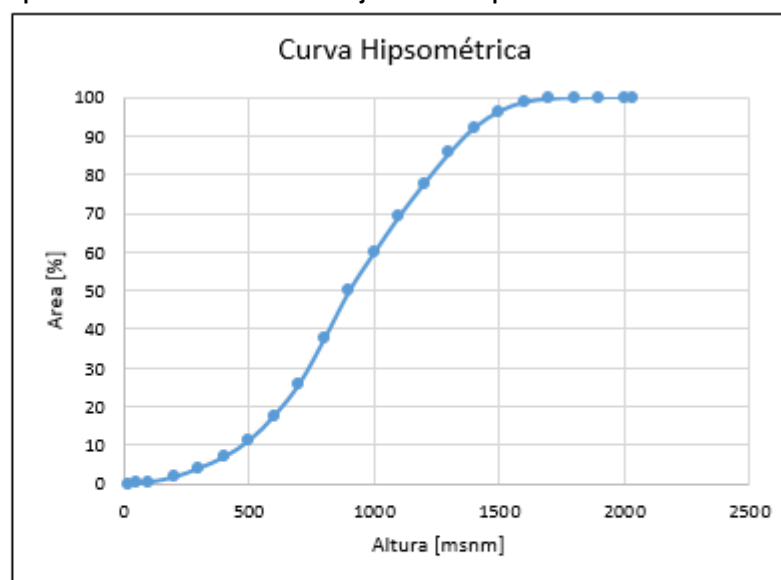


Tabla A2- 84. Curva hipsométrica Río Mañihuales antes junta Río Simpson

Altura [m]	Area [km2]	% Area
18	0	0
50	10.02	0.23
100	18.68	0.43
200	74.41	1.72
300	175.48	4.06
400	301.36	6.97
500	487.85	11.29
600	762.56	17.65
700	1121.45	25.95
800	1622.11	37.54
900	2157.64	49.93
1000	2585.96	59.85
1100	2992.03	69.24
1200	3355.97	77.67
1300	3696.21	85.54
1400	3978.4	92.07
1500	4163.46	96.35
1600	4264.57	98.69
1700	4302.81	99.58
1800	4315.62	99.88
1900	4319.73	99.97
2000	4320.99	100.00
2030	4321.02	100.00



17. Cuenca del río Serrano

Tabla A2- 85. Curva hipsométrica Río Baguales en Cerro Guido

Altura [m]	Área [km ²]	% Área
76	0	0.00
100	5.63	1.03
200	39.26	7.20
300	64.88	11.89
400	90.96	16.68
500	129.58	23.76
600	153.84	28.20
700	183.55	33.65
800	219.98	40.33
900	271.5	49.78
1000	323.84	59.37
1100	387.96	71.13
1200	449.38	82.39
1300	488.02	89.47
1400	511.22	93.73
1500	523.5	95.98
1600	532.36	97.60
1700	539.74	98.95
1800	544.2	99.77
1900	545.32	99.98
2000	545.43	100.00
2037	545.44	100.00

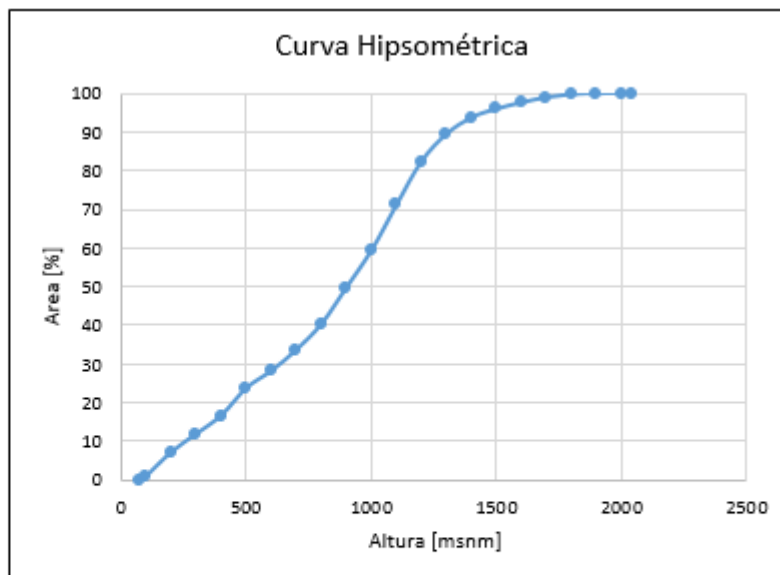


Tabla A2- 86. Curva hipsométrica Río Las Chinas en Cerro Guido

Altura [m]	Área [km ²]	% Área
75	0	0.00
100	22.84	2.57
200	68.23	7.67
300	139.83	15.72
400	215.3	24.20
500	300.12	33.74
600	344.76	38.76
700	403.93	45.41
800	479.93	53.95
900	569.09	63.97
1000	656.12	73.76
1100	735.88	82.72
1200	799.01	89.82
1300	843.07	94.77
1400	872.6	98.09
1500	886.13	99.61
1600	889.49	99.99
1615	889.58	100.00

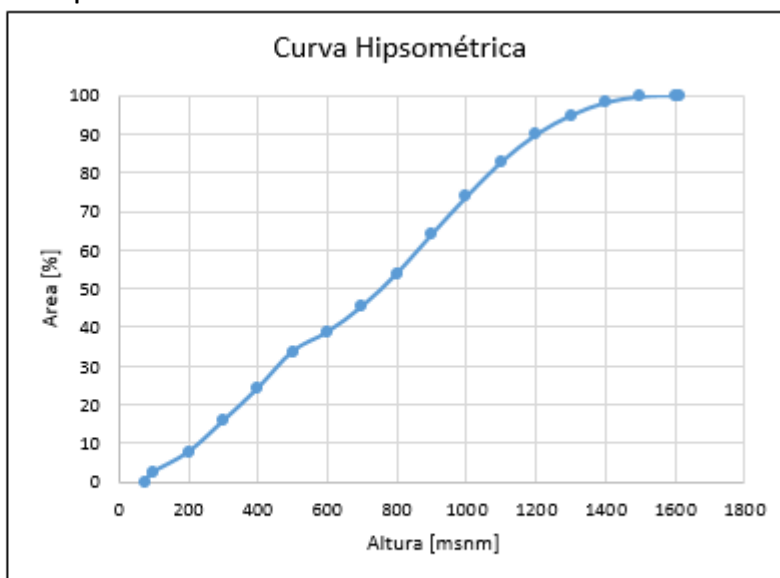
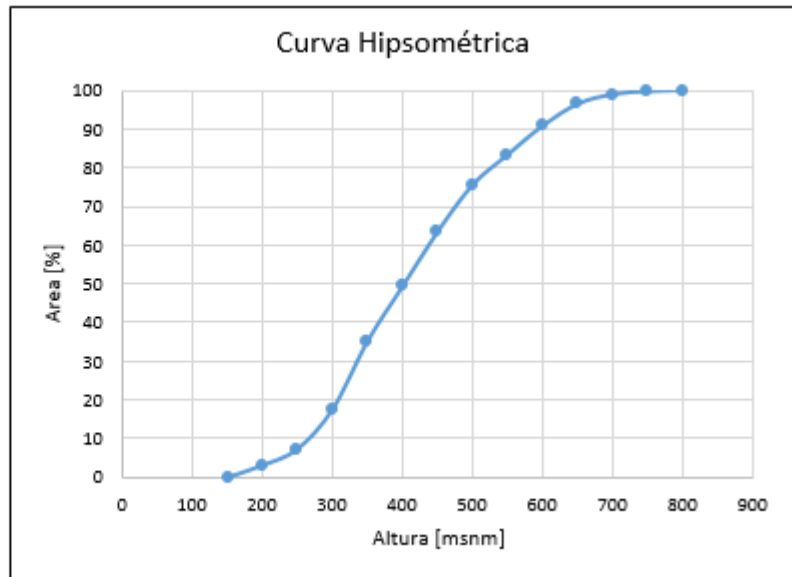


Tabla A2- 87. Curva hipsométrica Río Chorrillos tres pasos ruta N°9

Altura [m]	Área [km2]	% Área
153	0	0.00
200	3.04	2.96
250	7.37	7.18
300	17.95	17.48
350	36.04	35.10
400	50.63	49.31
450	65.11	63.42
500	77.53	75.57
550	85.6	83.37
600	93.26	90.83
650	99.06	96.48
700	101.62	98.98
750	102.4	99.74
801	102.67	100.00



18. Cuenca de Península de Brunswick

Tabla A2- 88. Curva hipsométrica Río Tres Brazos antes BT. Sendos

Altura [m]	Area [km2]	% Area
45	0	0.00
100	3	2.93
150	8.26	8.07
200	14.04	13.72
250	21.94	21.43
300	33.21	32.44
350	46.89	45.81
400	61.04	59.63
450	77.09	75.31
500	87.79	85.77
550	94.6	92.42
600	98.15	95.89
650	100.22	97.91
700	101.58	99.24
750	102.1	99.75
833	102.36	100.00

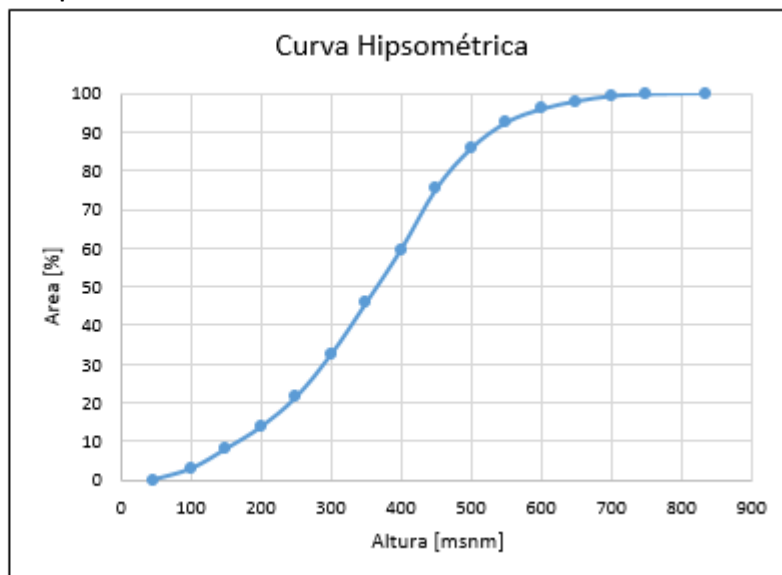
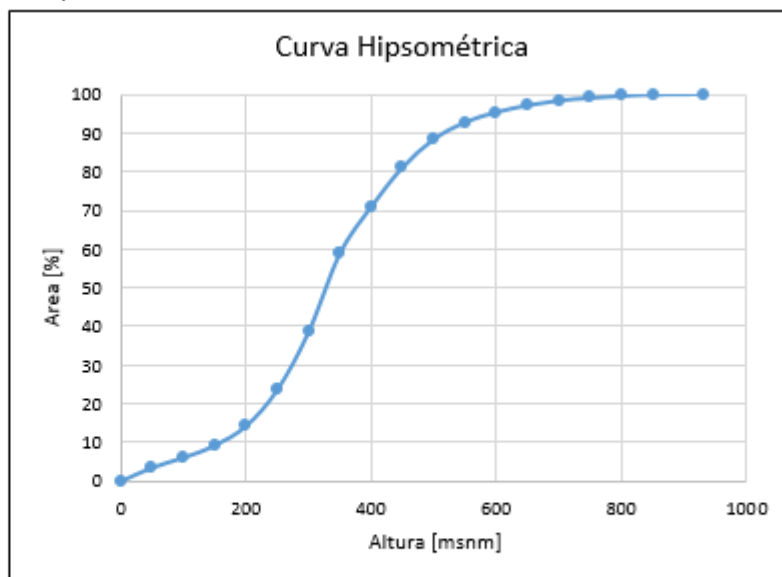


Tabla A2- 89. Curva hipsométrica Río San Juan en Desembocadura

Altura [m]	Area [km2]	% Area
2	0	0.00
50	29.07	3.39
100	51.03	5.95
150	78.18	9.12
200	121.3	14.14
250	201.56	23.50
300	329.85	38.46
350	503.7	58.74
400	607.09	70.79
450	694.65	81.00
500	757.19	88.29
550	795.05	92.71
600	817.25	95.30
650	832.75	97.10
700	843.13	98.32
750	849.14	99.02
800	853.48	99.52
850	856.5	99.87
931	857.58	100.00



19. Cuenca de Tierra del Fuego

Tabla A2- 90. Curva hipsométrica Río Oscar en Bahía San Felipe

Altura [m]	Area [km2]	% Area
10	0	0.00
50	16.36	3.19
100	55.95	10.92
150	76.91	15.01
200	110.49	21.56
250	178.46	34.83
300	278.2	54.29
350	422.57	82.47
400	498.38	97.26
450	511.9	99.90
500	512.31	99.98
550	512.39	100.00
560	512.4	100.00

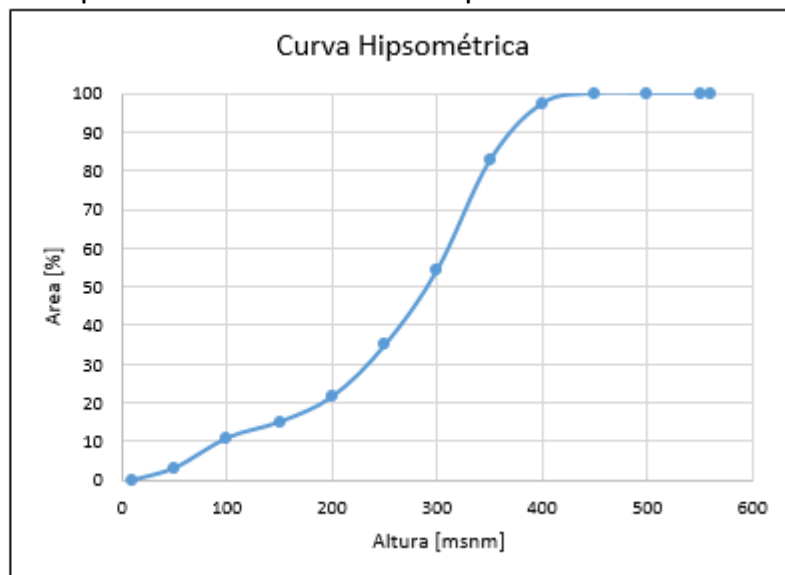


Tabla A2- 91. Curva hipsométrica Río Oro en Bahía San Felipe

Altura [m]	Area [km2]	% Area
4	0	0.00
50	33.39	5.77
100	80.71	13.95
150	119.64	20.68
200	171.46	29.64
250	235.93	40.79
300	319.45	55.23
350	384.93	66.55
400	454.03	78.50
450	509.75	88.13
500	545.48	94.31
550	576.56	99.68
600	578.19	99.96
650	578.31	99.98
701	578.4	100.00

