



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
REGIÓN DE AYSÉN**

ANÁLISIS Y MODELACIÓN HIDROLÓGICA CUENCA DEL RÍO PALENA

INFORME FINAL

**REALIZADO POR:
CFC INGENIERÍA LIMITADA**

S.I.T. N°388

Santiago, Diciembre 2015

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Sr. Alberto Undurraga Vicuña

Director General de Aguas
Sr. Carlos Estévez Valencia

Dirección Regional de Aguas – Región de Aysén
Sra. Giovanna Gómez

Inspector Fiscal
Sr. Héctor Cortés Gaete

Inspector Fiscal (S)
Sr. Jorge O'kuinghttons Villena

CFC Ingeniería Limitada

Jefe de Proyecto Sr. Alex García
Ingeniero Civil Hidráulico

Profesionales:

Ingeniero Civil Alex García
Ingeniero Forestal Patricio Rutherford
Ingeniero Civil Rodrigo Camino

RESUMEN

La cuenca del río Palena es una cuenca binacional donde poco más de la mitad de su superficie se ubica en Chile, que además tiene la característica de ser una cuenca interregional, compartida por la Región de los Lagos y la Región de Aysén.

Debido al incremento en las solicitudes de derechos de aprovechamiento en la cuenca que buscan aprovechar las condiciones aptas para generación, la importancia turística de la cuenca debido a la naturaleza prístina que constituyen sus lagos y ríos, al desarrollo de asentamientos junto al cauce principal y los emprendimientos económicos fuertemente relacionados con la acuicultura, han hecho necesario que la Autoridad cuente con un estudio para determinar la oferta hídrica. Éste debe contar con un nivel de precisión adecuado de modo tal que la decisión que se adopte respecto a su asignación responda de la mejor manera posible a los escenarios que se puedan presentar en la cuenca.

Por lo tanto, este estudio se orienta a investigar y modelar cuencas con distintos regímenes hidrológicos, asociándolos a fenómenos meteorológicos, de regulación y condiciones geomorfológicas, permitiendo con ello realizar estimaciones de caudales en cuencas menores sin control fluviométricos con un mayor nivel de precisión.

El presente informe ha sido elaborado por CFC Ingeniería Limitada para dar cumplimiento a las Condiciones Técnicas de Contratación elaboradas por la Dirección General de Aguas (DGA) de la Región de Aysén, que tienen por finalidad ejecutar un estudio que permita determinar un método de estimación de caudales medios mensuales y máximos instantáneos adecuado para la cuenca del río Palena y tributarios sin información fluviométrica, para la correcta administración del recurso hídrico.

Este documento corresponde al informe final del proyecto. Se sintetizaron antecedentes meteorológicos, hidrológicos, geomorfológicos y edafológicos en la cuenca del río Palena. Se caracterizó la geometría del lago Risopatrón con las relaciones nivel del lago, superficie y volumen; y finalmente se definieron los principales factores que condicionan los caudales en las cuencas de los ríos Correntoso, Melimoyu y Risopatrón, en las proximidades del desagüe del lago Risopatrón y en el sector ante junta con río Palena. Se modeló la cuenca a escala mensual y diaria a partir de los datos hidro-meteorológicos disponibles, información hidrológica levantada en terreno en tres campañas de aforos con generación de curvas de descarga, y de los parámetros morfométricos calculados, que caracterizan tanto las cuencas de interés como las cuencas asociadas a estaciones fluviométricas. Se presentan las ecuaciones gobernantes de la producción de escorrentía en la cuenca que permiten obtener caudales medios mensuales y máximos instantáneos a partir de la precipitación mensual y diaria, respectivamente.

Se estimaron caudales medios mensuales para las cuencas de los ríos Correntoso, Melimoyu y Risopatrón, en las proximidades del desagüe del lago Risopatrón y en el sector ante junta con río Palena. Si bien a escala global de la cuenca del Palena las ecuaciones tienen muy buen ajuste estadístico ($R^2=0,99$), a escala de cuenca pequeña los ajustes bajan a ($R^2>0,8$). La verificación de las ecuaciones mensuales para los meses (incompletos) en que se monitorearon las cuencas de interés indican un buen ajuste para octubre y un mal ajuste para septiembre.

De acuerdo a los resultados a nivel mensual, se recomienda implementar una estación en el desagüe de la cuenca del Palena. De esta manera, teniendo datos en el cierre de la cuenca, se podría estimar el caudal específico generado en la superficie pluvial de la cuenca, como la resta de dichos caudales y los datos en la estación Palena bajo Rosselot. En consecuencia, se podría estimar adecuadamente el comportamiento de subcuencas, como lo son las cuencas de interés estudiadas en este proyecto.

Respecto a la modelación de caudales máximos instantáneos, debido a la alta correlación de los peaks de caudal con los peaks de lluvia, se modeló la respuesta de la cuenca ante eventos de precipitación. Para esto se utilizaron tres métodos: (1) precipitación diaria respecto a caudal diario (observado) para todos los días registrados; (2) precipitación durante eventos de precipitación respecto a caudal ($Pd-Qd$) y precipitación respecto a caudal efectivo ($Pd-Qe$), (3) precipitación máxima del evento de lluvia respecto a caudal máximo de la crecida ($Px-Qx$). Para Correntoso, los dos primeros métodos se ajustaron correctamente ($R^2=0.8$), para Melimoyu fue el método $Pd-Qe$ ($R^2=0.22$), para Risopatrón fue el $Pd-Qd$, y por último para el desagüe del Lago Risopatrón fue el $Pd-Qe$ ($R^2=0.95$).

Toda la información recopilada y levantada en terreno ha sido sistematizada e implementada de forma ordenada en un sistema de información geográfico SIG para ser utilizada en el software ArcGIS 10.x o superior. Esto es, un modelo de elevación digital, la red hidrográfica, las cuencas y subcuencas delimitadas, ubicación de las nuevas estaciones, puntos de aforo y levantamiento batimétrico del lago Risopatrón.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVOS	3
2.1	OBJETIVO GENERAL	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3.	CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DEL PALENA.....	4
4.	ANTECEDENTES	6
4.1	ANTECEDENTES RECOPIADOS	6
4.2	LÍMITE DE CUENCA Y SUBCUENCAS DE INTERÉS	9
4.2.1	CUENCA RÍO CORRENTOSO	10
4.2.2	CUENCA RÍO MELIMOYU.....	11
4.2.3	CUENCA DESAGÜE LAGO RISOPATRÓN.....	12
4.2.4	CUENCA RÍO RISOPATRÓN ANTES DE JUNTA CON PALENA	13
4.3	FLUVIOMETRÍA	15
4.3.1	PALENA BAJO JUNTA ROSSELOT.....	17
4.3.2	PALENA EN LA FRONTERA.....	18
4.3.3	RÍO TIGRE EN LA FRONTERA.....	19
4.4	PLUVIOMETRÍA Y TEMPERATURAS EXTREMAS.....	20
4.5	USOS DE SUELO Y EDAFOLOGÍA	25
5.	LEVANTAMIENTO INFORMACIÓN EN TERRENO.....	26
5.1	CURVAS DE DESCARGA EN CUENCAS DE INTERÉS	27
5.2	HIDROGRAMAS Y PLUVIOGRAMAS EN CUENCAS DE INTERÉS.....	28
5.3	CARACTERIZACIÓN BATIMÉTRICA DEL LAGO RISOPATRÓN	31
6.	MODELACIÓN HIDROLÓGICA	35
6.1	MODELACIÓN CAUDALES MEDIOS MENSUALES.....	38
6.1.1	CUENCA RÍO CORRENTOSO	43
6.1.2	CUENCA RÍO MELIMOYU.....	45
6.1.3	CUENCA DEAGÜE LAGO RISOPATRÓN	46
6.1.4	CUENCA RÍO RISOPATRÓN	48
6.2	MODELACIÓN CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS	50
6.2.1	CUENCA RÍO CORRENTOSO	50
6.2.2	CUENCA RÍO MELIMOYU.....	52
6.2.3	CUENCA DESAGÜE LAGO RISOPATRÓN.....	53
6.2.4	CUENCA RÍO RISOPATRÓN	55
6.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	56

6.4. COMPARACIÓN CON OTROS MÉTODOS	57
7. BASE DE DATOS SIG	59
8. CONCLUSIONES.....	60
9. RECOMENDACIONES	62
ANEXO 1: FICHAS RESUMEN DE LOS ANTECEDENTES REVISADOS	63
ANEXO 2: FLUVIOMETRÍA.....	75
Anexo 2.1. DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN.....	76
Anexo 2.2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA	79
Anexo 2.3. TENDENCIAS FLUVIOMÉTRICAS.....	81
Anexo 2.4. CAUDAL MEDIO ANUAL	81
Anexo 2.5. DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES	82
Anexo 2.6. CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL.....	84
Anexo 2.7. CURVA DE DURACIÓN	88
ANEXO 3: PLUVIOMETRÍA	89
Anexo 3.1. DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN.....	90
Anexo 3.2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA	91
Anexo 3.3. TENDENCIAS PLUVIOMÉTRICAS.....	93
Anexo 3.4. PRECIPITACIÓN ANUAL	93
Anexo 3.5. ORIGEN DE LAS PRECIPITACIONES SEGÚN OROGRAFÍA.....	94
Anexo 3.6. DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES	95
Anexo 3.7. CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL.....	99
ANEXO 4: TEMPERATURAS EXTREMAS.....	106
Anexo 4.1. TEMPERATURAS MÍNIMAS.....	108
Anexo 4.2. TEMPERATURAS MÁXIMAS	109
Anexo 4.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN	110
ANEXO 5. PASO A PASO PLANILLA EXCEL MODELADOR PALENA	112
ANEXO 6. FOTOGRAFÍAS DE EQUIPOS.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca Río Palena.....	5
Figura 2. Cuenca Río Palena y subcuencas de interés.....	9
Figura 3. Modelo de elevación digital cuenca del río Correntoso.....	10
Figura 4. . Modelo de elevación digital cuenca del río Melimoyu.....	11
Figura 5. Modelo de elevación digital cuenca del desagüe del Lago Risopatrón.....	12
Figura 6. Evidencia de deslizamientos en el Lago Risopatrón.....	13
Figura 7. Modelo de elevación digital cuenca del río Risopatrón antes de junta con Palena.(Coordenadas UTM según Datum WGS84. Huso 18)	14
Figura 8. Ubicación estaciones fluviométricas.....	15
Figura 9. Modelo de elevación digital cuenca del río Palena bajo junta con río Rosselot.	17
Figura 10. Hidrograma río Palena bajo junta con río Rosselot, a escala diaria.....	17
Figura 11. Modelo de elevación digital cuenca del río Palena en la frontera.....	18
Figura 12. Hidrograma río Palena en la frontera, a escala mensual.....	18
Figura 13. Modelo de elevación digital cuenca del río Tigre en la frontera.....	19
Figura 14. Hidrograma río Tigre en la frontera, a escala diaria.....	19
Figura 15. Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Palena.....	20
Figura 16. Pluviograma estación Bordalit.....	22
Figura 17. Pluviograma estación La Junta.....	22
Figura 18. Pluviograma estación Lago Verde.....	22
Figura 19. Pluviograma estación Marin Balmaceda.....	23
Figura 20. Pluviograma estación Palena.....	23
Figura 21. Pluviograma estación Puerto Puyuhuapi.....	23
Figura 22. Pluviograma estación Río Frío.....	24
Figura 23. Mapa de usos de suelo en la cuenca del río Palena.....	25
Figura 24. Curvas de descarga: (a) río Correntoso y (b) río Melimoyu.....	28
Figura 25. Curvas de descarga: (a) río Risopatrón y (b) desagüe del Lago Risopatrón.	28
Figura 26. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del río Correntoso.....	29
Figura 27. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del río Melimoyu.....	29
Figura 28. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del río Risopatrón.....	30
Figura 29. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del desagüe del Lago Risopatrón.....	30
Figura 30. Isobatas Lago Risopatrón. Curvas cada 10m.....	32
Figura 31: Curva hipsométrica de superficie vs cota del lago Risopatrón	33
Figura 32: Curva hipsométrica de volumen vs cota del Lago Risopatrón.....	33
Figura 33. Levantamiento contorno Lago Risopatrón.....	34
Figura 34. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del río Palena bajo junta con Rosselot, con la estación pluviométrica La Junta.....	36
Figura 35. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del río Palena en la frontera, con la estación pluviométrica Palena.....	36

Figura 36. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del río Tigre en la frontera, con la estación pluviométrica Palena.	37
Figura 37. Comparación de caudales transpuestos.....	38
Figura 38. Correlación de caudales simulados versus caudales medios mensuales medidos para la cuenca del río Cisnes, independiente del mes del año.....	40
Figura 39. Correlación de caudales simulados versus caudales medidos, para los meses de (a) Enero y (b) Febrero.....	41
Figura 40. Correlación de caudales simulados versus caudales medidos, para los meses de (a) Marzo y (b) Abril.	41
Figura 41. Correlación de caudales simulados versus caudales medidos, para los meses de (a) Mayo y(b) Junio.....	42
Figura 42. Correlación de caudales simulados versus caudales medidos, para los meses de (a) Julio y (b) Agosto.	42
Figura 43. Correlación de caudales simulados versus caudales medidos, para los meses de (a) Septiembre y (b) Octubre.	43
Figura 44. Correlación de caudales simulados versus caudales medidos, para los meses de (a) Noviembre y (b) Diciembre.	43
Figura 45. Caudales medios mensuales estimados para la cuenca del río Correntoso.	44
Figura 46. Caudales medios mensuales estimados para la cuenca del río Melimoyu... ..	45
Figura 47. Caudales medios mensuales estimados para la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.....	47
Figura 48. Caudales medios mensuales estimados para la cuenca del río Risopatrón.	48
Figura 49. Relación entre caudal diario y precipitación en cuenca del río Correntoso.	50
Figura 50. (a) Relación entre la precipitación diaria y caudal diario debido a eventos de precipitación, (b) Relación entre precipitación y caudal efectivo debido a eventos de precipitación, en la cuenca del río Correntoso.	51
Figura 51. Relación entre precipitación máxima de un evento de lluvia y caudal máximo generado, en cuenca del río Correntoso.	51
Figura 52. Relación entre caudal diario y precipitación en cuenca del río Melimoyu. ..	52
Figura 53. (a) Relación entre la precipitación diaria y caudal diario debido a eventos de precipitación, (b) Relación entre precipitación y caudal efectivo debido a eventos de precipitación, en la cuenca del río Melimoyu.	52
Figura 54. Relación entre precipitación máxima de un evento de lluvia y caudal máximo generado, en cuenca del río Melimoyu.	53
Figura 55. Relación entre caudal diario y precipitación en cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.....	53
Figura 56. (a) Relación entre la precipitación diaria y caudal diario debido a eventos de precipitación, (b) Relación entre precipitación y caudal efectivo debido a eventos de precipitación, en la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.	54
Figura 57. Relación entre precipitación máxima de un evento de lluvia y caudal máximo generado, en cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.	54
Figura 58. Relación entre caudal diario y precipitación en cuenca del río Risopatrón. .	55

Figura 59. (a) Relación entre la precipitación diaria y caudal diario debido a eventos de precipitación, (b) Relación entre precipitación y caudal efectivo debido a eventos de precipitación, en la cuenca del río Risopatrón.	55
Figura 60. Relación entre precipitación máxima de un evento de lluvia y caudal máximo generado, en cuenca del río Risopatrón.	56
Figura 61. Análisis de consistencia estación Palena bajo junta Rosselot y Río Tigre en la frontera.....	79
Figura 62. Análisis de consistencia estación Palena en la frontera y Palena bajo río Tigre.....	80
Figura 63. Análisis de consistencia estación Río Figueroa antes de desembocadura Lago Rosselot y Río Rosselot antes de junta con Palena.	80
Figura 64. Curva de variación estacional en la estación Palena en la frontera.	84
Figura 65. Curva de variación estacional, estación Río Tigre en la frontera.	85
Figura 66. Curva de variación estacional en la estación Palena bajo junta Rosselot. ..	86
Figura 67. Curva de duración para la estación Palena bajo junta con Rosselot y la estación Valle Río Tigre.....	88
Figura 68. Análisis de consistencia estación Bordalit y La Junta.	91
Figura 69. Análisis de consistencia estación Lago Verde y Marin Balmaceda.....	92
Figura 70. Análisis de consistencia estación Palena y Puyuhuapi.	92
Figura 71. Análisis de consistencia estación valle río Frio.	92
Figura 72. Precipitación media anual (mm) versus altitud de la estación (m.s.n.m.)..	94
Figura 73. Curva de variación estacional en la estación Bordalit.	99
Figura 74. Curva de variación estacional en la estación La Junta.	100
Figura 75. Curva de variación estacional en la estación Lago Verde.	101
Figura 76. Curva de variación estacional para la estación Marin Balmaceda.	102
Figura 77. Curva de variación estacional para la estación Palena.....	103
Figura 78. Curva de variación estacional para la estación Puerto Puyuhuapi.....	104
Figura 79. Curva de variación estacional para la estación Valle Río Frio.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación cuencas de interés.	9
Tabla 2. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Palena.	10
Tabla 3. Parámetros morfométricos cuenca río Correntoso.....	10
Tabla 4. Parámetros morfométricos cuenca río Melimoyu.....	11
Tabla 5. Parámetros morfométricos cuenca del desagüe del Lago Risopatrón.	12
Tabla 6. Parámetros morfométricos cuenca del río Risopatrón antes de junta con Palena.....	14
Tabla 7. Ubicación de las estaciones fluviométricas en la cuenca del Río Palena.....	15
Tabla 8. Disponibilidad de datos fluviométricos mensuales por estación.	16
Tabla 9. Disponibilidad de datos fluviométricos diarios por estación.....	16
Tabla 10. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Palena bajo junta con río Rosselot.	17
Tabla 11. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Palena en la frontera.	18
Tabla 12. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Tigre en la frontera.	19
Tabla 13. Ubicación de las estaciones pluviométricas en la zona de estudio.	20
Tabla 14. Disponibilidad de datos pluviométricos mensuales por estación.....	21
Tabla 15. Disponibilidad de datos pluviométricos diarios por estación.	21
Tabla 16. Disponibilidad de datos meteorológicos diarios por estación.	21
Tabla 17. Usos de suelo en la cuenca del río Palena.....	25
Tabla 18. Ubicación equipos instalados y actividades desarrolladas	26
Tabla 19. Aforos de caudal en cuencas de interés.....	27
Tabla 20. Ecuación de la curva de descarga para cuencas de interés.	28
Tabla 21. Valores de los coeficientes de la ecuación que modela el comportamiento mensual de caudales en la cuenca del río Palena, independiente del mes.	39
Tabla 22. Valores de los coeficientes de las ecuaciones mensuales que modelan el comportamiento de caudales en la cuenca del río Palena.	40
Tabla 23. Caudales medios mensuales y su varianza para la cuenca del río Correntoso.	44
Tabla 24. ANOVA caudales medios mensuales en la cuenca del río Correntoso.	44
Tabla 25. ANOVA entre pares de meses en la cuenca del río Correntoso.....	45
Tabla 26. Caudales medios mensuales y su varianza para la cuenca del río Melimoyu.	46
Tabla 27. ANOVA caudales medios mensuales en la cuenca del río Melimoyu.	46
Tabla 28. ANOVA entre pares de meses en la cuenca del río Melimoyu.....	46
Tabla 29. Caudales medios mensuales y su varianza para la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.	47
Tabla 30. ANOVA caudales medios mensuales en la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.....	47
Tabla 31. ANOVA entre pares de meses en la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.	48

Tabla 32. Caudales medios mensuales y su varianza para la cuenca del río Risopatrón.	49
Tabla 33. ANOVA caudales medios mensuales en la cuenca del río Risopatrón.....	49
Tabla 34. ANOVA entre pares de meses en la cuenca del río Risopatrón.	49
Tabla 35. Comparación de caudales medidos con observados en cuenca de río Correntoso.....	56
Tabla 36. Modelos hidrológicos comúnmente utilizados.	58
Tabla 37. Ubicación de las estaciones fluviométricas en la cuenca del Río Palena.	76
Tabla 38. Disponibilidad de datos fluviométricos por estación, a escala mensual.....	77
Tabla 39. Estaciones fluviométricas utilizadas en el análisis.	77
Tabla 40. Disponibilidad de datos fluviométricos diarios por estación.	78
Tabla 41. Patrón con el que se realizó el análisis de consistencia por estación fluviométrica.	79
Tabla 42. Caudal medio anual en las estaciones fluviométricas.	81
Tabla 43. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Palena en la Frontera.	82
Tabla 44. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Río Tigre en la Frontera.	83
Tabla 45. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Palena bajo junta Rosselot.	83
Tabla 46. Curva de variación estacional en la estación Palena en la frontera.	85
Tabla 47. Caudal medio mensual en la estación Palena en la frontera.	85
Tabla 48. Curva de variación estacional para la estación Río Tigre en la frontera.	86
Tabla 49. Caudal medio mensual en la estación Río Tigre en la frontera.	86
Tabla 50. Curva de variación estacional para la estación Palena bajo junta con Rosselot.	87
Tabla 51. Caudal medio mensual en la estación Palena bajo junta con Rosselot.....	87
Tabla 52. Caudales medios diarios asociados a probabilidad de excedencia.....	88
Tabla 53. Disponibilidad de datos pluviométricos por estación, a escala mensual.	90
Tabla 54. Disponibilidad de datos pluviométricos por estación, a escala diaria.	90
Tabla 55. Patrón con el que se realizó el análisis de consistencia por estación pluviométrica.	91
Tabla 56. Tendencia estación Palena.	93
Tabla 57. Precipitación anual en estaciones pluviométricas.	93
Tabla 58. Precipitación media anual versus altitud y distancia a la costa.	94
Tabla 59. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Bordalit.....	95
Tabla 60. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación La Junta.....	96
Tabla 61. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Lago Verde.	96
Tabla 62. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Marin Balmaceda.	97
Tabla 63. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Palena.	97
Tabla 64. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Puerto Puyuhuapi.	98

Tabla 65. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Valle Río Frío. .	98
Tabla 66. Curva de variación estacional en la estación Bordalit.	99
Tabla 67. Precipitación media mensual en la estación Bordalit.	99
Tabla 68. Curva de variación estacional en la estación La Junta.	100
Tabla 69. Precipitación media mensual en la estación La Junta.	100
Tabla 70. Curva de variación estacional en la estación Lago Verde.	101
Tabla 71. Precipitación media mensual en la estación Lago Verde.	101
Tabla 72. Curva de variación estacional en la estación Marin Balmaceda.	102
Tabla 73. Precipitación media mensual en la estación Marin Balmaceda.	102
Tabla 74. Curva de variación estacional en la estación Palena.	103
Tabla 75. Precipitación media mensual en la estación Palena.....	103
Tabla 76. Curva de variación estacional en la estación Puerto Puyuhuapi.....	104
Tabla 77. Precipitación media mensual en la estación Puerto Puyuhuapi.....	104
Tabla 78. Curva de variación estacional en la estación Valle Río Frío.....	105
Tabla 79. Precipitación media mensual para la estación Valle Río Frío.	105
Tabla 80. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio.	107
Tabla 81. Disponibilidad de datos meteorológicos por estación, a escala diaria.	107
Tabla 82. Disponibilidad de datos diarios de temperaturas extremas por estación meteorológica.	107
Tabla 83. Temperaturas mínimas diarias en la Estación La Junta.....	108
Tabla 84. Temperaturas mínimas diarias en la Estación Lago Verde.....	108
Tabla 85. Temperaturas mínimas diarias en la Estación Puyuhuapi.....	108
Tabla 86. Temperaturas máximas diarias en la Estación La Junta.....	109
Tabla 87. Temperaturas máximas diarias en la Estación Lago Verde.....	109
Tabla 88. Temperaturas máximas diarias en la Estación Puyuhuapi.	109
Tabla 89. Evapotranspiración potencial diaria en Estación La Junta.	110
Tabla 90. Evapotranspiración potencial diaria en Estación Lago Verde.....	111
Tabla 91. Evapotranspiración potencial diaria en Estación Puyuhuapi.....	111

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Palena, ubicada en la provincia de Palena en la Región de los Lagos y en la Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, se encuentra sometida a gran presión en el uso del recurso hídrico debido a una solicitud en trámite para un proyecto hidroeléctrico en el sector aguas abajo de la junta del Río Palena con el Río Rosselot, y otras aguas arriba de ese punto, en el sector de Figueroa, que buscan aprovechar las condiciones aptas para generación. Adicionalmente, el río y sus lagos forman un destino turístico debido a su naturaleza prístina, y a la pesca de salmónidos. Junto al curso principal del Río Palena, se han desarrollado asentamientos y existen localidades asociadas al desarrollo de emprendimientos económicos como son las estancias, y otros relacionados fuertemente con las actividades de acuicultura y la prestación de servicios.

Lo anterior hizo necesario que la Autoridad cuente con un estudio para determinar la oferta hídrica con un nivel de precisión adecuado, de modo tal que la decisión que se adopte respecto a su asignación responda de la mejor manera posible a los escenarios que se puedan presentar en la cuenca.

El objetivo general del estudio es determinar un método de estimación de caudales medios mensuales y máximos instantáneos adecuado para la cuenca del río Palena y tributarios sin información fluviométrica como son las cuencas de los ríos Correntoso, río Melimoyu, río Risopatrón en el desagüe del Lago Risopatrón y Risopatrón antes de su junta con el río Palena.

Al momento de establecer un uso específico para los recursos hídricos dentro de un sector geográfico se requiere conocer la oferta hídrica del sector. Generalmente, esto se obtiene de la estadística de caudales disponible en la red hídrica. Sin embargo, no en todos los cauces se tienen estaciones fluviométricas que proporcionen información, por lo que se hace necesario estimarlos a través de modelos, que relacionan funcional y numéricamente las distintas fases del agua y las características del entorno geográfico en el cual ellas existen. Si bien existen modelos precipitación-escorrentía que permiten estimar caudales, ellos han sido generados para sectores geográficos distintos a los que se presentan en el territorio de la región de Aysén.

La situación antes descrita es común para gran parte del territorio nacional; donde hay información, pero no suficiente considerando la extensión territorial que abarca, que incluyen los efectos combinados de distintos regímenes hidrológicos. Otro elemento importante es la existencia de cuencas menores en las cuales es posible indicar regímenes asociados a cuerpos de agua, como lagos, lagunas y zonas de mallines, que generan fenómenos de regulación que afectan directamente cualquier estimación de caudales.

De acuerdo a esto, se hace necesario disponer de métodos que permitan generar información adecuada que refleje la interacción de los diferentes elementos que condicionan los regímenes de caudales que existen en los distintos sectores de la cuenca, a partir de la escasa información disponible.

El presente informe corresponde al informe final del Estudio "Análisis y modelación hidrológica cuenca del río Palena" que estudia los recursos hídricos disponibles en la cuenca del río Palena para la administración del recurso hídrico, solicitado por el Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas de la Región de Aysén, y que ha sido elaborado por la empresa Camino Farfán y Carrera Ingeniería Ltda.

Se presentan los resultados de la recopilación, revisión, síntesis y análisis de antecedentes meteorológicos, hidrológicos, geomorfológicos y edafológicos en la cuenca del río Palena. Se caracteriza la cuenca, las subcuencas de interés (asociadas a los ríos Correntoso, Melimoyu, Risopatrón, en el desagüe del lago Risopatrón y en el sector antes de la junta con el río Palena) y aquellas para las que se tienen datos, entregando los parámetros morfométricos que las caracterizan. La caracterización hidrológica del río Palena en los distintos puntos de control se realizó en base a registros histórico, a escala mensual y diaria. Se caracterizan las precipitaciones, temperaturas extremas, evapotranspiración potencial y caudales, exponiendo la disponibilidad de datos, las curvas de variación estacional y la curva de duración para caudales. Esta información se obtuvo de los registros oficiales existentes para la zona. Además, se analizan los factores que podrían determinar la hidrología en cada una de las cuencas de estudio.

Teniendo como antecedente la disponibilidad y calidad de la información en el área de estudio, se define el modelo conceptual que caracteriza la hidrología de la zona de estudio, y se plantean los modelos cuantitativos asociados, que permiten estimar los caudales, a escala mensual y diaria, en la zona de estudio. Cada uno de estos modelos es explicado en detalle, destacando entre sus limitaciones, la variabilidad intrínseca de los datos.

Se expone, como resultado de la modelación hidrológica escala mensual y diaria, la ecuación gobernante de la producción de escorrentía en la cuenca en ambas escalas. Por último, se estiman caudales medios mensuales para las cuencas de los ríos Correntoso, Melimoyu y Risopatrón, en las proximidades del desagüe del lago Risopatrón y en el sector ante junta con río Palena; y se definen las mejores relaciones de precipitación con caudal máximo a escala diaria.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar un método de estimación de caudales medios mensuales y máximos instantáneos adecuado para la cuenca del río Palena y tributarios sin información fluviométrica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sintetizar antecedentes meteorológicos, hidrológicos, geomorfológicos y edafológicos en la cuenca del río Palena.
- Caracterizar la geometría del lago Risopatrón con las relaciones nivel del lago, superficie y volumen.
- Definir los principales factores que condicionan los caudales en las cuencas de los ríos Correntoso, Melimoyu y Risopatrón, en las proximidades del desagüe del lago Risopatrón y en el sector ante junta con río Palena.
- Definir métodos hidrológicos para estimación de caudales medios mensuales y diarios en las cuencas de los ríos Correntoso, Melimoyu y Risopatrón, en desagüe del lago Risopatrón y aguas abajo, ante junta río Palena.
- Interpretar y resumir antecedentes paleohistóricos de la cuenca del río Palena y variaciones de superficie y volumen del lago Risopatrón.

3. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DEL PALENA

La cuenca del río Palena es una cuenca binacional donde el 55% de su superficie se ubica en Chile y el 45% en Argentina, y se extiende entre los paralelos 43°16'-44°36' Latitud Sur. En general, la cuenca presenta condiciones ecológicas y ambientales particulares, con reducida intervención antrópica debido a su ubicación relativamente aislada, con un importante foco turístico en torno a las áreas de protección y conservación (SNASPE e inmuebles fiscales). Además, tiene la característica de ser una cuenca interregional, compartida por las regiones de Los Lagos y la región de Aysén.

La cuenca del río Palena cubre una superficie total de 13.850km²(Figura 1)y deslinda con las cuencas de los ríos Tecka y Senguer, afluentes del Chubut, por el este; la cuenca del río Yelcho por el norte; las cuencas costeras de los ríos Corcovado, Tic Toc y Rodríguez por el noroeste; las cuencas costeras de entre el río Palena y el río Cisnes por el Suroeste y río Cisnes por el sur.

El río Palenase origina en el extremo oriental del lago llamado Palena en Chile y General Paz o Vintter en Argentina, y fluye por unos 35 km en territorio argentino con el nombre de Carrileufú y luego recorre unos 130 km por territorio Chileno. Se desarrolla en las zonas andina y subandina oriental en la vertiente Atlántica. Se dirige rumbo noreste en sus primeros 24 km, donde alcanza el punto más oriental de su trayectoria, girando luego hacia el norte por 10 km, para luego voltear al noroeste e ingresar nuevamente a territorio chileno donde se le denomina río Palena. Desemboca en el océano Pacífico en la Rada Palena, en el golfo Corcovado, en la localidad de Raúl Marín Balmaceda.

En Argentina su afluente más importante es el río Hielo, donde cambia de nombre a Palena. Justo en la frontera, por la ribera sur, recibe el aporte del río Encuentro. En Chile, sus principales afluentes son los ríos Tigre o Salto, Frío, Tranquilo, Rosselot, Risopatrón, Dinamarca y Melimoyu El río Rosselot hace un aporte importante a la cuenca del río Palena, este aporte se realiza en la localidad de La Junta. El río Rosselot drena una gran hoya hidrográfica que incluye el lago Rosselot, lago Verde, río Figueroa y río Pico proveniente de Argentina.

El régimen hidrológico del río Palena es nivo pluvial a pluvionival con un caudal medio anual de 860 m³/s en su desembocadura. Tiene particular relevancia el efecto de las precipitaciones en primavera y verano en la generación de escorrentía, que puede presentar aumentos de caudal de consideración tanto a nivel estacional como diario.

Fisiografía

Entre los 42° y 47° Lat. Sur (Isla Chiloé a Península de Taitao) están presentes las típicas fajas longitudinales del país, pero parcialmente sumergidas. La Cordillera de la Costa se manifiesta en islas y archipiélagos, la Depresión Intermedia está completamente cubierta por el mar, y la Cordillera de Los Andes alcanza alturas de poco más de 2.000 m.s.n.m. La fuerte acción modeladora de la última glaciación, en que los ventisqueros andinos llegaron hasta el mar abierto desde el sur de Chiloé, se refleja en el complejo sistema de canales y fiordos.

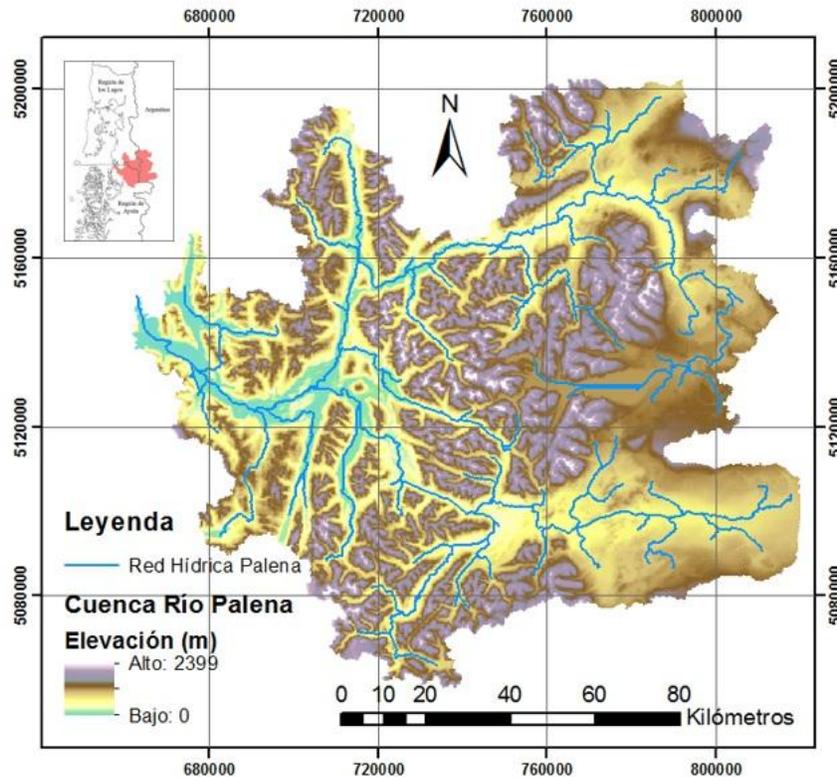


Figura 1. Cuenca Río Palena.
(Coordenadas UTM según Datum WGS84. Huso 18)

Hidrogeología

La zona comprendida entre los 42° y 56° Latitud Sur corresponde a la zona más lluviosa del país; sin, embargo, es la más pobre en cuanto a acuíferos, puesto que afloran las rocas metamórficas y plutónicas del Paleozoico y Mesozoico, impermeables y carentes de permeabilidad secundaria. Sólo existen localmente algunos pozos construidos en lugares con pequeñas acumulaciones de depósitos glacio-fluviales cuaternarios no consolidados, que alumbran aguas de buena calidad. Estos depósitos no consolidados se presentan especialmente en la zona transandina (46° a 47° Lat. Sur), donde Chile alcanza a abarcar una pequeña porción de la pampa patagónica esteparia.

El sistema de referencia del informe es Coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 18.

4. ANTECEDENTES

4.1 ANTECEDENTES RECOPIRADOS

Para la elaboración del presente estudio se consultaron los siguientes antecedentes:

Ref. 1 Balance Hídrico de Chile, Dirección General de Aguas, 1987.

Este estudio generó información necesaria para el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO, que buscaba realizar el balance hídrico mundial. A través del análisis crítico de las redes hidrométricas se estudió el diseño de los diferentes elementos que conforman el sistema hidrométrico nacional, se consideraron mediciones de caudales, de acumulación nival, de calidad de aguas y sedimentos, de niveles de pozos y de distintas variables hidrometeorológicas, glaciológicas y limnológicas.

Ref. 2 La economía del cambio climático en Chile, CEPAL, Gobierno de Chile, 2012.

Este informe se enmarca en un esfuerzo del Gobierno de Chile y la CEPAL para contribuir a la disminución del fenómeno de calentamiento global y a la protección de la naturaleza. En este sentido, se entiende que el aumento de la temperatura, la conservación del medio ambiente y el desarrollo energético, tienen hoy una relación explícita. El objetivo de la investigación es analizar el efecto económico que puede tener el cambio climático en Chile para un horizonte de 100 años. Particularmente, se evalúan los impactos potenciales del cambio climático, se estudian las opciones de adaptación, se analizan las proyecciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y las opciones de mitigación para el país. Los resultados son obtenidos con base en dos escenarios de emisión de GEI hasta el año 2100. El primer escenario (A2) plantea un uso intensivo de combustibles fósiles, que producen un aumento de concentraciones de GEI en la atmósfera con valores muy superiores a los actuales, mientras que en el segundo escenario (B2) habría una menor concentración de GEI, y por ende, un menor nivel de impacto asociado al calentamiento global.

Ref. 3 Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario y de los recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de cambio climático, CONAMA, MINAGRI-AGRIMED, 2008

El estudio busca proveer información necesaria para comprender los alcances del cambio climático en términos de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario para mediados del presente siglo (2040 - 2070), con base a dos escenarios previstos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). A2 corresponde al escenario donde se tiene un aumento de gases de efecto invernadero (GEI) el cual se acelera a fines de siglo, mientras que en el escenario B2 los GEI aumentan de forma sostenida, pero no muy acentuadamente.

Ref. 4 Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos, DARH.DGA. 2008

Este manual busca: (1) mantener actualizados los criterios que utiliza la Dirección General de Aguas en el ámbito de la Administración de Recursos Hídricos, debido a las modificaciones introducidas al Código de Aguas en la Ley 20.017 de 2005 y 20.099 de 2006, y (2) mejorar la capacidad de respuesta de la Dirección General de Aguas, frente al tratamiento de los problemas relacionados con la Administración de Recursos Hídricos, con el objetivo de responder adecuadamente a las solicitudes y requerimientos de la población.

Ref. 5 Análisis de los Efectos de los Cambios Climáticos Globales sobre los regímenes de caudales en las cuencas Andinas de Chile Central, tesis de título ingeniero civil U. de Chile Sebastián Molina Flores, 2007.

En el trabajo fueron analizados los caudales medios mensuales de nueve cuencas entre la IV y VIII región. Las series de tiempo fueron rellenadas y corregidas, obteniéndose series de entre 40 y 65 años de extensión, y que abarcan hasta el año hidrológico 2004/05. El objetivo principal fue realizar un análisis estadístico del comportamiento de la curva de escorrentía que presentan las principales cuencas andinas de Chile central, con el fin de encontrar posibles tendencias en su comportamiento en el largo plazo, que puedan atribuirse al cambio climático global.

Ref. 6 Balance hídrico nacional. XI región, por REG Ricardo Edwards G. Ingenieros Consultores para el Departamento de Hidrología, DGA 1984.

El informe busca establecer el balance hidrológico a nivel de cuenca para la XI región para el periodo 1951 - 1980, y a través de él obtener una evaluación de los principales parámetros hidrometeorológicos que intervienen en un balance (isotermas, isoyetas, evapotranspiración, entre otros).

Ref. 7 Informe Técnico N°7, caudales de reserva cuenca del río Palena, División de Estudios y Planificación, DGA 2009.

El informe propone criterios técnicos y la metodología para definir el caudal de reserva con fines de conservación ambiental y desarrollo local de la cuenca del río Palena, mediante la denegación parcial de solicitudes no consuntivas debido a circunstancias excepcionales y de interés nacional.

Ref. 8 Análisis de metodología y determinación de caudales de reserva turísticos por Aquaterra Ingenieros para la división de Estudios y Planificación, DGA 2010.

Este informe busca analizar y determinar caudales de reserva para abastecimiento de la población en el caso de no existir otros medios para obtener el agua, además de la administración de derechos no consuntivos y usos asociados a circunstancias excepcionales y de interés nacional. Entendiendo como áreas de interés nacional a aquellas prioritarias para el desarrollo nacional y/o regional, en las cuales la dotación o

suministro del recurso hídrico adquiere una importancia ya sea directa o indirecta como factor que contribuye al desarrollo de la actividad o sector.

Ref. 9 Línea base hidrológica presentada por el proyecto hidroeléctrico Aysén, en su estudio de impacto ambiental.

Este documento expone información relevante para la evaluación del "Proyecto Hidroeléctrico Aysén", que contempla obras en las comunas de Cochrane, Tortel y O'Higgins, en la Región de Aysén. El proyecto consiste en la construcción y operación del Complejo Hidroeléctrico Aysén compuesto por cinco centrales de generación ubicadas en los ríos Baker y Pascua. Se exponen los criterios ambientales utilizados en el diseño del proyecto, la descripción general del proyecto, incluyendo la justificación y ubicación geográfica, partes y obras, montos de inversión y derechos de aprovechamientos de agua; descripción de las etapas de construcción y operación del proyecto, de las emisiones y descargas al ambiente, entre otras.

Ref. 10 Informe Preliminar Determinación del Potencial Hidroeléctrico XI Región y Provincia de Palena X Región, Dirección General de Aguas, 2007.

El documento corresponde a un informe preliminar realizado por la Dirección General de Aguas, DGA del MOP, específicamente por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos, DARH, que da cuenta de la disponibilidad del recurso hídrico superficial disponible en tramos que se definen en las cuencas de estudio de la XI región y en la Provincia de Palena en la X Región, para potenciales aprovechamientos hidroeléctricos.

Ref. 11 Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad Cuenca del Río Aysén, Cade-Idepe – DGA, 2004.

El informe pretende cuantificar la escorrentía superficial y la calidad del agua para el Río Cisnes y sus principales afluentes. Los caudales seleccionados para el estudio fueron el Río Cisnes, Río Grande, Río Moro y Estero Ventisquero.

Para cada una de estas referencias se generó una ficha resumen que indica los aspectos más relevantes de acuerdo con el objetivo general de éste estudio. Ellas constituyen el Anexo I del presente informe y del archivo digital.

Adicionalmente, se revisaron los antecedentes que se exponen a continuación (sin ficha).

Ref. 12 Cartografía Digital ARCVIEW, DGA.

Ref. 13 Cartografía Digital Software Google Earth.

Ref. 14 Manual de Carreteras. Volumen 2 y 3. Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas, 2014.

Toda la información expuesta en este capítulo, se encuentran en el Anexo I del archivo digital.

4.2 LÍMITE DE CUENCA Y SUBCUENCAS DE INTERÉS

La delimitación de la cuenca y las subcuencas de interés, asociadas a los ríos Correntoso, Melimoyu, y en el Risopatrón antes de junta con Palena, y en el desagüe del Lago Risopatrón, fue realizada a partir del modelo de elevación (DEM) ASTER GDEM World Elevation Data (1.5 *arc-second Resolution*) de 32 metros de resolución espacial, utilizando algoritmos del tipo *watershed delimitation* disponibles en ArcGIS 10.1, como se muestra en la Figura 2. Las cuencas delimitadas constituyen la base para la modelación hidrológica y su punto de cierre se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Ubicación cuencas de interés.

Nombre	Este (m)	Norte (m)
Río Correntoso	5128656	677871
Río Melimoyu	5128356	678110
Río Risopatrón en desagüe Lago Risopatrón	5103541	700556
Río Risopatrón antes de junta río Palena	5122959	695092

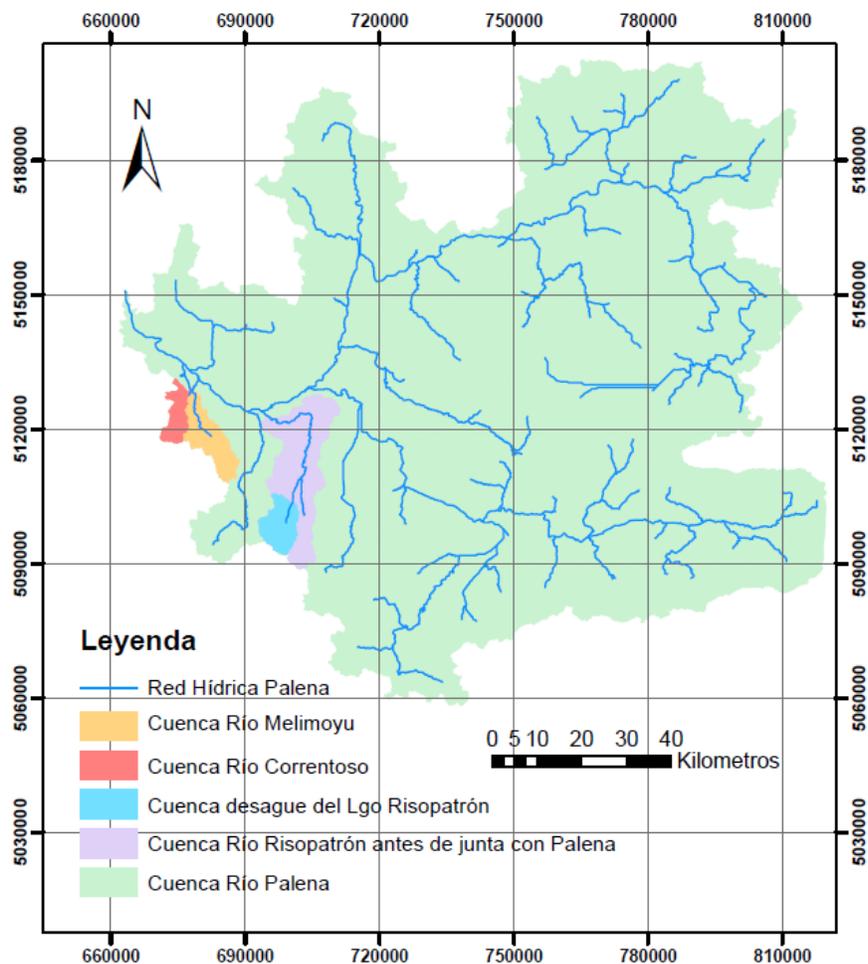


Figura 2. Cuenca Río Palena y subcuencas de interés.
(Coordenadas UTM según Datum WGS84. Huso 18)

Los parámetros morfométricos de la cuenca y de las subcuencas de interés, asociadas a los ríos Correntoso, Melimoyu, y en el Risopatrón antes de junta con Palena, y en el desagüe del Lago Risopatrón se estimaron a partir de la delimitación de cuencas, utilizando herramientas del tipo ArcSWAT 10.1 (*Soil and water assessment tool*), extensión de ArcGIS 10.1. Los parámetros morfométricos estimados para la cuenca fueron: área, pendiente media, elevación media, mínima y máxima; y para los cauces: longitud total y pendiente media se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Palena.

	Área (km ²)	Pendiente media de la cuenca	Elevación (m)	Elevación mínima (m)	Elevación máxima (m)	Longitud total de cauces (km)	Pendiente prom. cauces
Cuenca General de Palena	13850.33	38.07	895.03	0.00	2398.00	1708.59	1.05

4.2.1 CUENCA RÍO CORRENTOSO

Dentro de los factores que se espera que condicionen la hidrología de la cuenca del río Correntoso están: la orografía, debido a que gran parte de la cuenca pertenece a las faldas del volcán Melimoyu (2400 m.s.n.m.), ubicado al sur-oeste de la cuenca; y subsecuentemente a la pendiente media de la cuenca. La ausencia de almacenamientos y, la relación entre el área y la escasa red drenaje, hace esperar respuestas levemente desplazadas a los eventos de lluvia y con peaks concentrados.

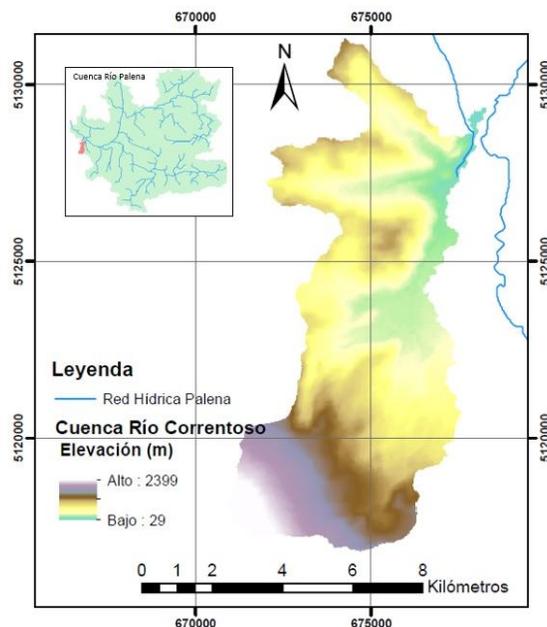


Figura 3. Modelo de elevación digital cuenca del río Correntoso. (Coordenadas UTM según Datum WGS84. Huso 18)

Tabla 3. Parámetros morfométricos cuenca río Correntoso.

Cuenca de interés	Área (km ²)	Pendiente media de la cuenca	Elevación (m)	Elevación mínima (m)	Elevación máxima (m)	Longitud total de cauces (km)	Pendiente prom. cauces
Correntoso	70.71	50.16	697.60	17.00	2386.00	9.52	0.70

4.2.2 CUENCA RÍO MELIMOYU

Dentro de los factores que se espera que condicionen la hidrología de la cuenca del río Melimoyu están: el almacenamiento, debido a que el río Melimoyu se origina en el extremo nor-oeste del lago Melimoyu (15.92 km de longitud) y fluye en la misma dirección por unos 5 km donde se le une el río Correntoso, para finalmente tributar al Palena. Por otra parte, la orografía con la presencia de las faldas del volcán Melimoyu (2400 m.s.n.m.) en el oeste de la cuenca, también son un factor de influencia.

Debido a la presencia de almacenamientos, y al aporte del río Correntoso en el desarrollo medio del río se espera que el Melimoyu en su parte superior tenga un régimen regulado por los almacenamientos, y que en su parte baja tenga régimen hidrológico que se asemeje al del río Correntoso (peaks concentrados).

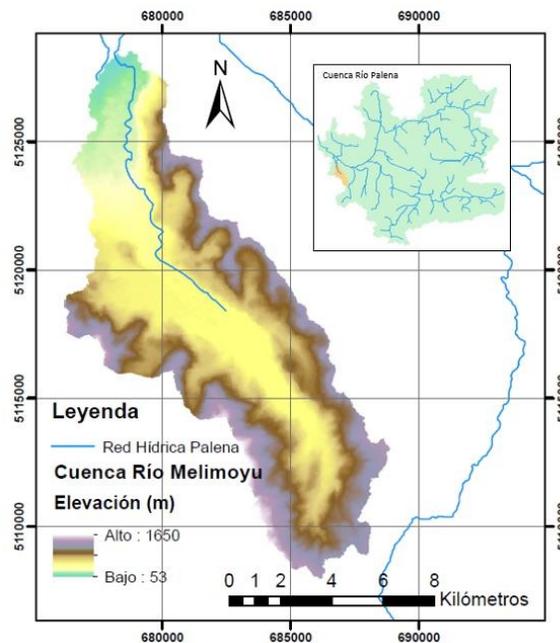


Figura 4. . Modelo de elevación digital cuenca del río Melimoyu.
(Coordenadas UTM según Datum WGS84. Huso 18)

Tabla 4. Parámetros morfométricos cuenca río Melimoyu.

Cuenca de interés	Área (km ²)	Pendiente media de la cuenca	Elevación (m)	Elevación mínima (m)	Elevación máxima (m)	Longitud total de cauces (km)	Pendiente prom. cauces
Melimoyu	107.68	40.86	723.47	53.00	1653.00	14.25	2.91

4.2.3 CUENCA DESAGÜE LAGO RISOPATRÓN

El factor que condiciona la hidrología de la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón es la presencia del lago. En efecto, los cuerpos lénticos, como lagos y lagunas, tienen un efecto regulador de las crecidas, condicionando la hidrología aguas abajo.

Debido a que el lago es principalmente alimentado por las precipitaciones, sin afluentes de importancia, y aunque presenta una morfología relativamente alargada (aproximadamente 11 km), se espera que la hidrología de la cuenca sea regulada.

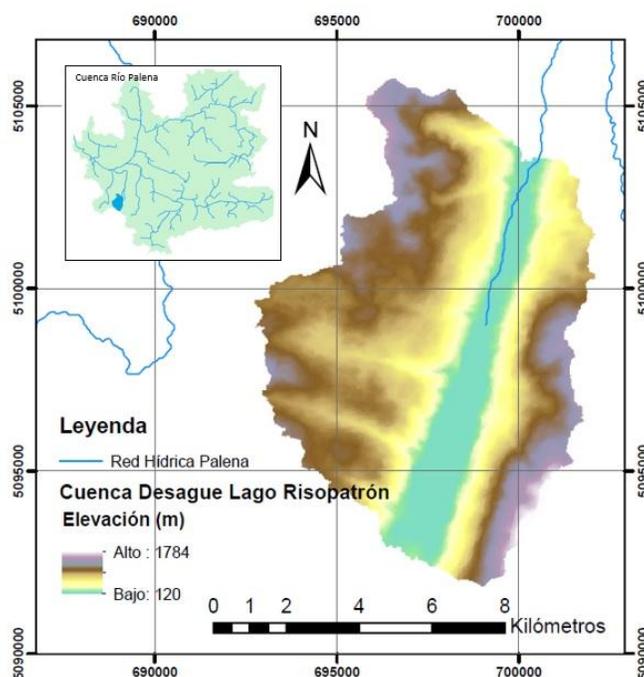


Figura 5. Modelo de elevación digital cuenca del desagüe del Lago Risopatrón. (Coordenadas UTM según Datum WGS84. Huso 18)

Tabla 5. Parámetros morfométricos cuenca del desagüe del Lago Risopatrón.

Cuenca de interés	Área (km ²)	Pendiente media de la cuenca	Elevación (m)	Elevación mínima (m)	Elevación máxima (m)	Longitud total de cauces (km)	Pendiente prom. cauces
Desagüe del lago Risopatrón	81.29	44.44	736.06	120.00	1784.00	5.33	0.09

El lago se caracteriza por el color negro de sus aguas y sus orillas cubiertas de una densa capa de bosque nativo virgen. La morfología abrupta y la forma en "V" del valle que contiene a este lago es la razón de su origen, de sus bordes cortados y en forma de farellones. El lago Risopatrón probablemente se formó debido a grandes deslizamientos sucesivos, de la ladera oeste del valle, generando una barrera maciza

que impidió el flujo normal del cauce. La gran pendiente de la ladera oeste hace evidente hasta hoy la presencia de estos deslizamientos, como se observa en la Figura 6 (indicados con fechas blancas).



Figura 6. Evidencia de deslizamientos en el Lago Risopatrón.

Fuente: Google Earth, 2015.

4.2.4 CUENCA RÍO RISOPATRÓN ANTES DE JUNTA CON PALENA

Dentro de los factores que se espera que condicionen la hidrología de la cuenca del río Risopatrón antes de la junta con el río Palena están: el almacenamiento, debido a que el río Risopatrón se origina en el extremo norte del lago con el mismo nombre (aprox. 11 km de longitud) y fluye en la misma dirección por unos 10 km donde se le une el río César, para finalmente tributar al Palena en la localidad de La Junta. Por otra parte, la orografía con la presencia de morfología abrupta constituye un valle con sección transversal en "V" en gran parte de su extensión, que también es un factor de influencia.

Debido a la presencia del Lago Risopatrón, a la morfología del valle, y a los aportes menores que realiza el río César en su confluencia respecto a los caudales que portea el río Risopatrón, se espera que su régimen hidrológico sea regulado, con respuestas levemente desplazadas a los eventos de lluvia.

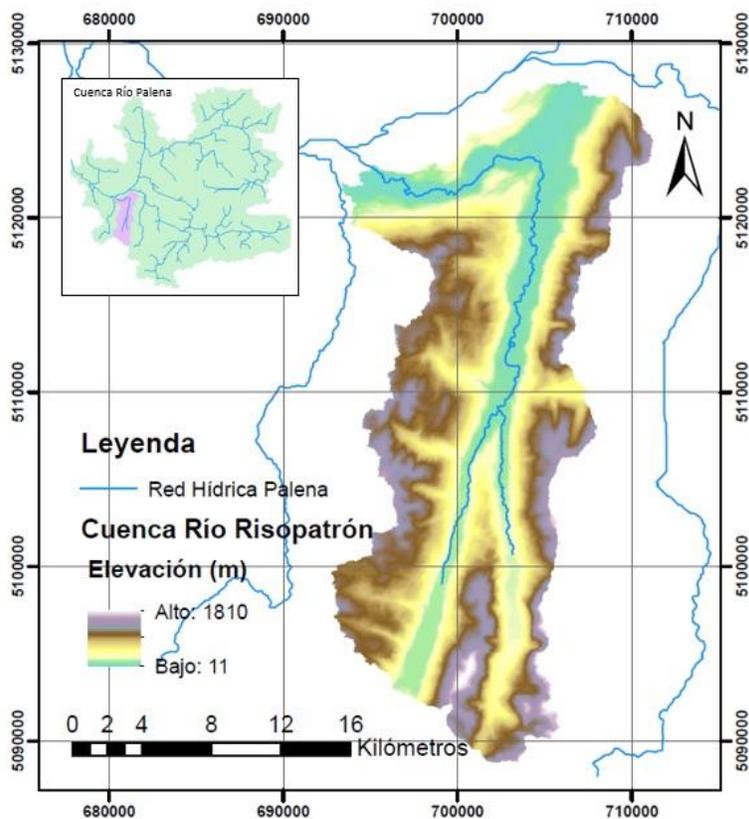


Figura 7. Modelo de elevación digital cuenca del río Risopatrón antes de junta con Palena. (Coordenadas UTM según Datum WGS84. Huso 18)

Tabla 6. Parámetros morfométricos cuenca del río Risopatrón antes de junta con Palena.

Cuenca de interés	Área (km ²)	Pendiente media de la cuenca	Elevación (m)	Elevación mínima (m)	Elevación máxima (m)	Longitud total de cauces (km)	Pendiente prom. cauces
Risopatrón en junta con el Palena	391.73	44.38	626.14	11.00	1810.00	56.29	0.38

4.3 FLUVIOMETRÍA

Toda la información expuesta en este capítulo, se encuentran en el Anexo II del archivo digital.

En base a la información de la red hidrométrica de la Dirección General de Aguas (DGA) y su Banco Nacional de Aguas (BNA), se identificaron las estaciones fluviométricas ubicadas en la cuenca de estudio, entre ellas se encontraron estaciones ENDESA, como se muestra en Tabla 7.

Tabla 7. Ubicación de las estaciones fluviométricas en la cuenca del Río Palena.

Nombre	ID	Este	Norte	Vigencia	Periodo
Río Palena bajo junta Rosselot	E1	702.896	5.126.924	Vigente	1999-2015
Palena en la frontera	E2	760.587	5.163.264	Suspendida	1981-2015
Río Tigre en la frontera	E3	763.641	5.155.993	Suspendida	1981-2012

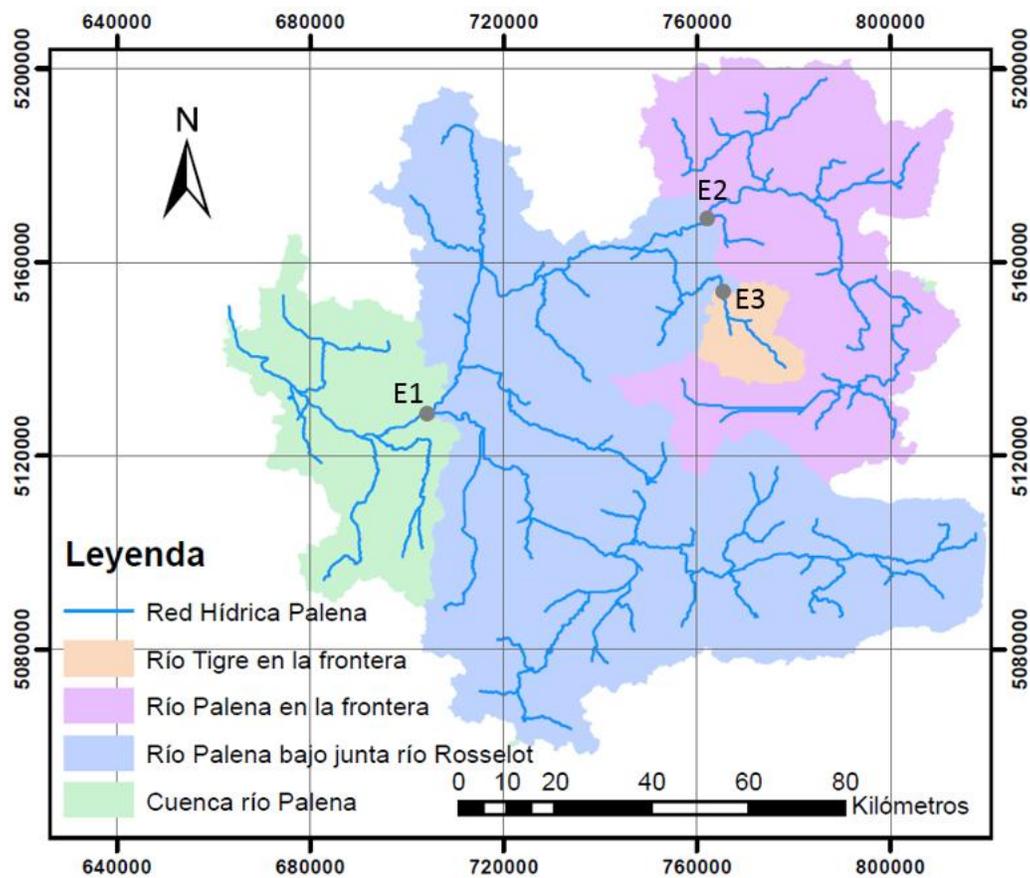


Figura 8. Ubicación estaciones fluviométricas.
(Coordenadas UTM según Datum WGS84. Huso 18)

Para cada una de las estaciones se recopilaron registros históricos de caudales medios mensuales y horarios, de estos últimos se extrajeron los caudales máximos, mínimo y promedio diario.

La DGA cuenta sólo con tres estaciones fluviométricas vigentes ubicadas en el interior de la cuenca, dos de ellas (Palena en la frontera y Río Tigre en la frontera), coinciden con las que tenía ENDESA por lo que se generaron series de tiempo largas para trabajar con toda la información disponible.

La estadística asociada supera los 20 años de datos. En la Tabla 8 y Tabla 9 se indica la disponibilidad de datos mensuales y diarios, respectivamente. Para la estadística mensual, se consideraron únicamente los meses con más de 20 días de datos.

En general, la extensión de las estadísticas fluviométricas mensuales es de buena calidad.

Tabla 8. Disponibilidad de datos fluviométricos mensuales por estación.

Estaciones fluviométricas	Periodo	Datos mensuales
Palena bajo junta Rosselot	Agosto, 1999 - Agosto, 2015 (1986-1999 vacío)	164
Río Palena en la frontera	Enero, 1981 - Marzo, 2015 (1986-1999 vacío)	189
Río Tigre en la frontera	Abril, 1981 - Marzo, 2012 (1986-1999 vacío)	176

Tabla 9. Disponibilidad de datos fluviométricos diarios por estación.

Estaciones fluviométricas	Periodo	Datos diarios
Palena bajo junta Rosselot	13/06/1999 - 10/09/2015	5443
Río Tigre en la frontera	12/07/2001 - 13/04/2015	4550

Para cada una de las estaciones se definió su cuenca aportante y se estimaron los parámetros morfológicos que las caracterizan, utilizando herramientas del tipo ArcSWAT 10.1 (*Soil and water assessment tool*), extensión de ArcGIS 10.1. Los parámetros morfométricos estimados para la cuenca fueron: área, pendiente media, elevación media, mínima y máxima.

4.3.1 PALENA BAJO JUNTA ROSSELOT

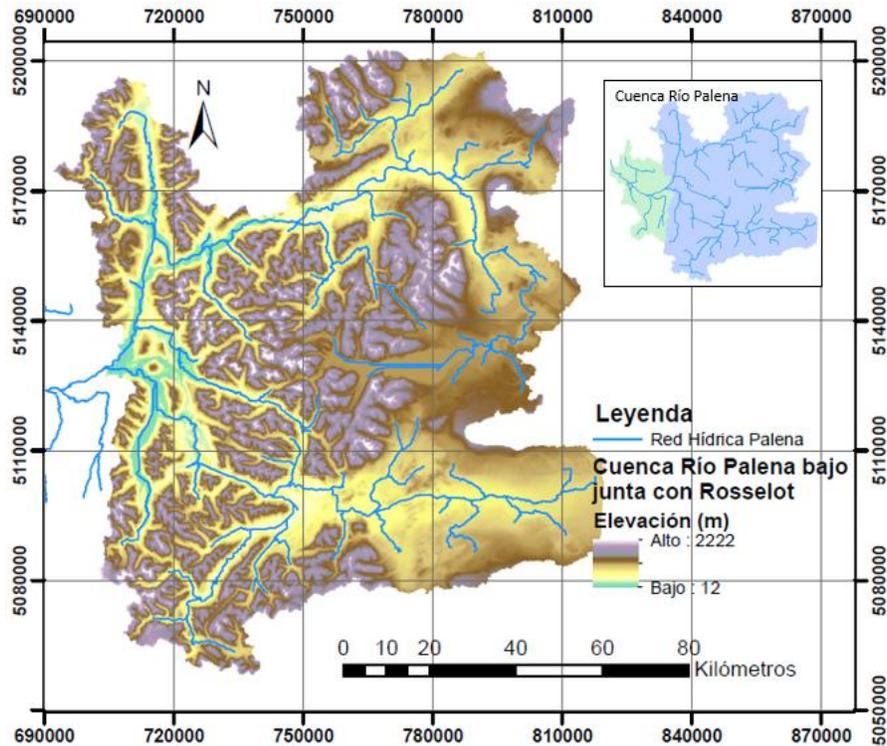


Figura 9. Modelo de elevación digital cuenca del río Palena bajo junta con río Rossetot.

Tabla 10. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Palena bajo junta con río Rossetot.

Estación fluviométrica	Área (km ²)	Pendiente media de la cuenca	Elevación (m)	Elevación mínima (m)	Elevación máxima (m)
Río Palena bajo junta Rossetot	11907.04	37.13	945.30	12.00	2222.00

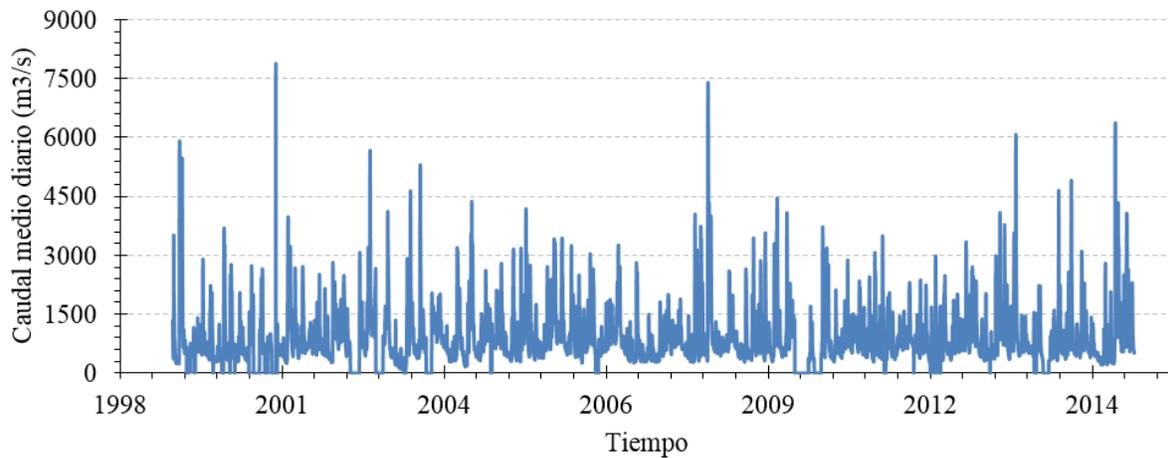


Figura 10. Hidrograma río Palena bajo junta con río Rossetot, a escala diaria.

4.3.2 PALENA EN LA FRONTERA

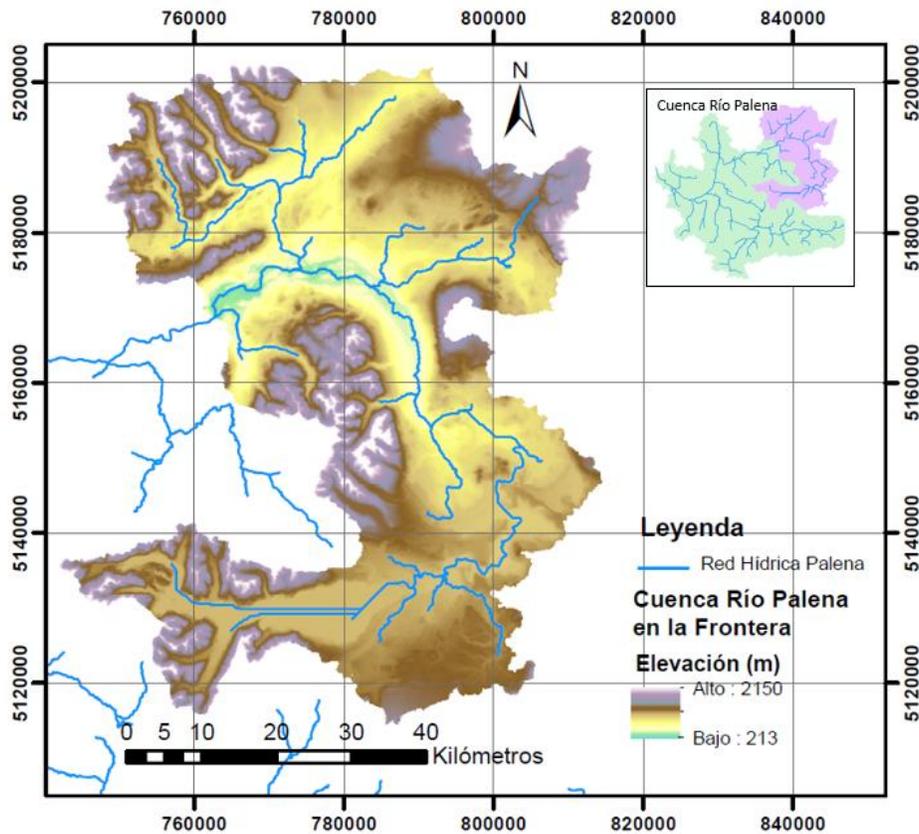


Figura 11. Modelo de elevación digital cuenca del río Palena en la frontera.

Tabla 11. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Palena en la frontera.

Estación fluviométrica	Área (km ²)	Pendiente media de la cuenca	Elevación (m)	Elevación mínima (m)	Elevación máxima (m)
Río Palena en la frontera	3597.66	24.53	1018.05	213.00	2150.00

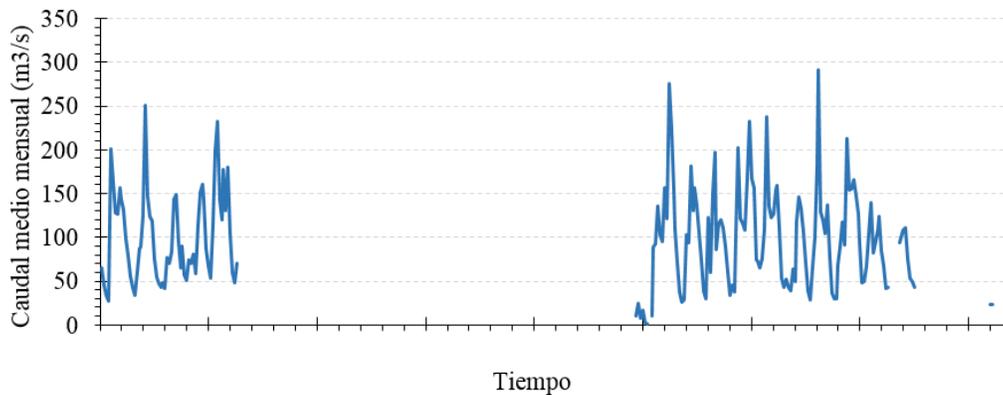


Figura 12. Hidrograma río Palena en la frontera, a escala mensual.

4.3.3 RÍO TIGRE EN LA FRONTERA

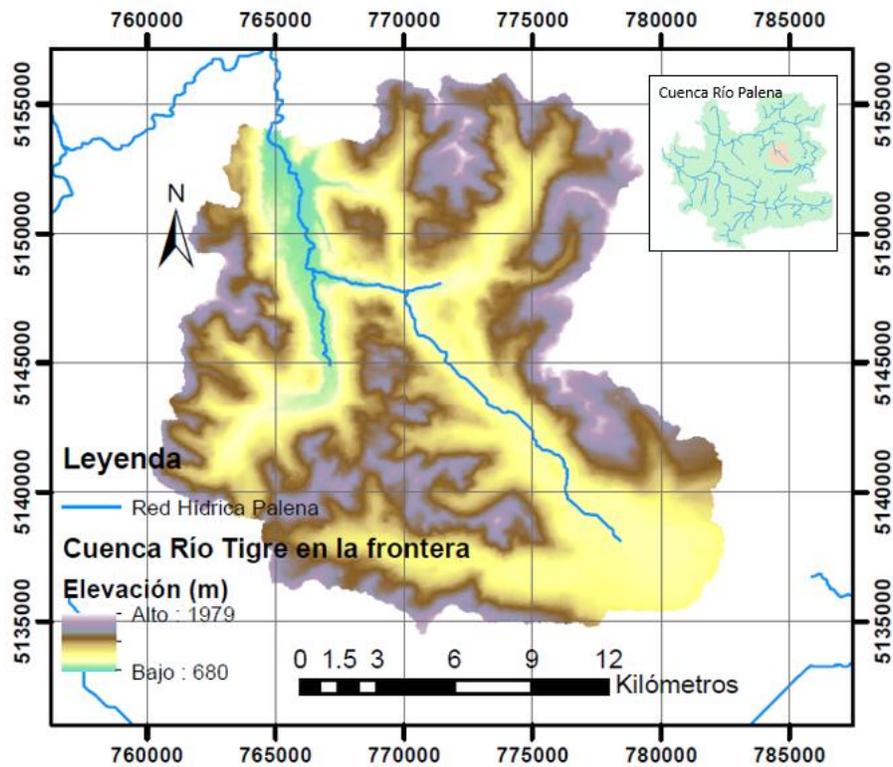


Figura 13. Modelo de elevación digital cuenca del río Tigre en la frontera.

Tabla 12. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Tigre en la frontera.

Estación fluviométrica	Área (km ²)	Pendiente media de la cuenca	Elevación (m)	Elevación mínima (m)	Elevación máxima (m)
Río Tigre en la frontera	325.96	39.93	1243.52	680.00	1979.00

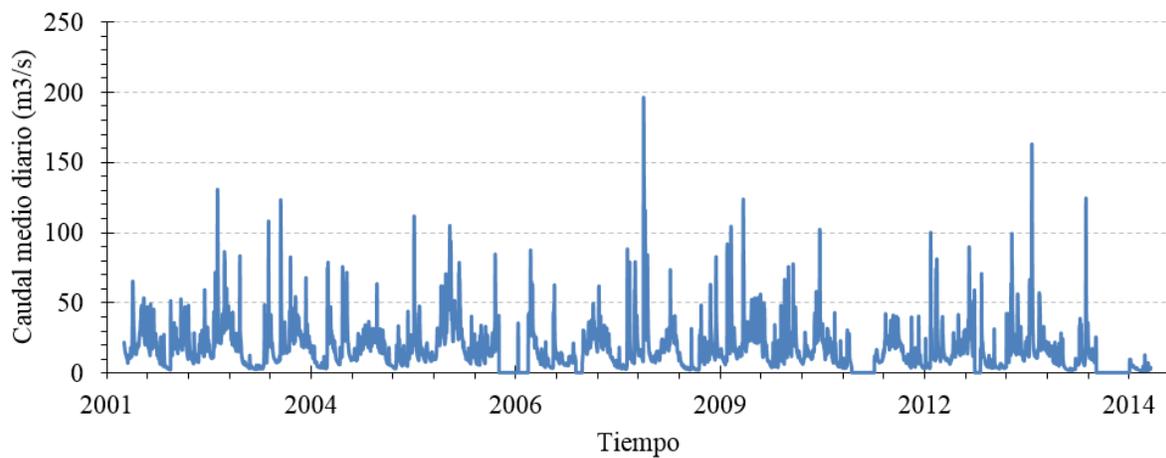


Figura 14. Hidrograma río Tigre en la frontera, a escala diaria.

4.4 PLUVIOMETRÍA Y TEMPERATURAS EXTREMAS

Toda la información expuesta en este capítulo, se encuentran en el Anexo III y IV del archivo digital.

En base a la información de la red hidrométrica de la Dirección General de Aguas (DGA) y su Banco Nacional de Aguas (BNA), se identificaron las estaciones meteorológicas asociadas a la zona de estudio, como se muestran en la Tabla 13 y Figura 15. Para ellas se recopilieron antecedentes de precipitación y temperaturas extremas, correspondientes a los registros históricos de precipitaciones medias mensuales y diarias de las estaciones.

Tabla 13. Ubicación de las estaciones pluviométricas en la zona de estudio.

COBNA	Estación pluviométrica	Este	Norte	Altitud	Vigencia	Periodo
11023001-K	Valle Río Frio	715423	5181345	215	Vigente	2000-2014
10704001-3	Palena	759682	5166477	275	Vigente	2000-2015
11043001-9	Marin Balmaceda	665387	5145516	10	Vigente	1993-2015
11041001-8	La Junta	709856	5125361	45	Vigente	1981-2015
11034001-K	Bordalit	714396	5117045	90	Vigente	1993-2013
11031001-3	Lago Verde	752894	5097228	350	Vigente	1993-2012
11120001-7	Puerto Puyuhuapi	694983	5085746	10	Vigente	1981-2015

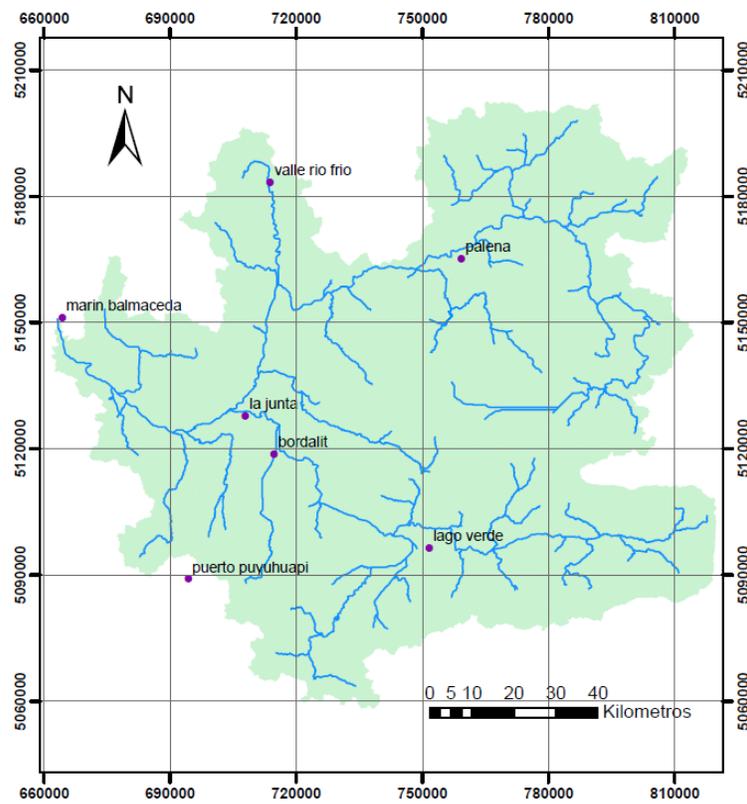


Figura 15. Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Palena.
(Coordenadas UTM según Datum WGS84. Huso 18)

Los datos disponibles a escala mensual y diaria para cada estación se muestran en las Tabla 14 y Tabla 15, respectivamente. Para la estadística mensual, consideraron únicamente los meses con más de 20 días de datos.

Tabla 14. Disponibilidad de datos pluviométricos mensuales por estación.

Estaciones pluviométricas	Periodo	Datos mensuales
Bordalit	Enero, 1994 - Enero, 2013	215
La Junta	Enero, 1981 - Junio, 2015	360
Lago Verde	Mayo, 1993 - Agosto, 2012	158
Marin Balmaceda	Agosto, 1993 - Abril, 2015	195
Palena	Julio, 2000 - Julio, 2015	176
Puyuhuapi	Enero, 1981 - Junio, 2015	381
Río Frío	Julio, 2000 - Junio, 2015	179

Tabla 15. Disponibilidad de datos pluviométricos diarios por estación.

Estaciones pluviométricas	Periodo	Datos diarios
Bordalit	01/06/1999 - 02/01/2008	3136
La Junta	01/06/1999 - 30/06/2015	5097
Lago Verde	01/06/1999 - 01/09/2014	4887
Marin Balmaceda	01/06/1999 - 31/03/2015	4394
Palena	02/09/2000 - 01/05/2015	5274
Puerto Puyuhuapi	01/06/1999 - 01/05/2015	5720
Río Frío	01/07/2000 - 30/04/2015	5369

También se identificaron entre las estaciones meteorológicas aquellas que tuvieran datos de temperatura y evaporación dentro de la cuenca del río Palena, en la base a la información de la red hidrométrica de la DGA (BNA), las que se exponen en la Tabla 16.

Tabla 16. Disponibilidad de datos meteorológicos diarios por estación.

Estaciones meteorológicas	Periodo	Datos diarios
La Junta	16/07/2001 - 31/12/2011	3594
Lago Verde	01/06/1999 - 24/08/2012	3992
Puerto Puyuhuapi	01/06/1999 - 30/09/2013	5155

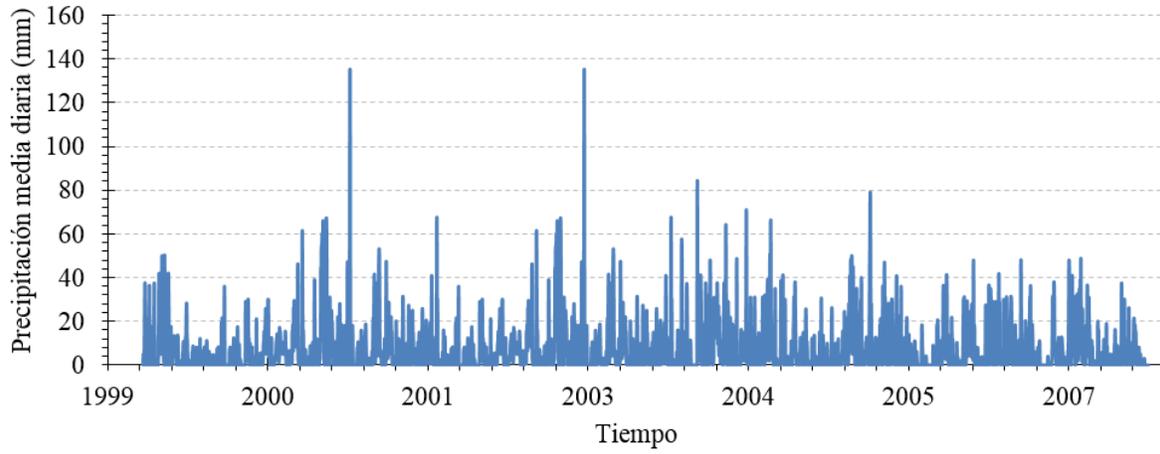


Figura 16. Pluviograma estación Bordalit.

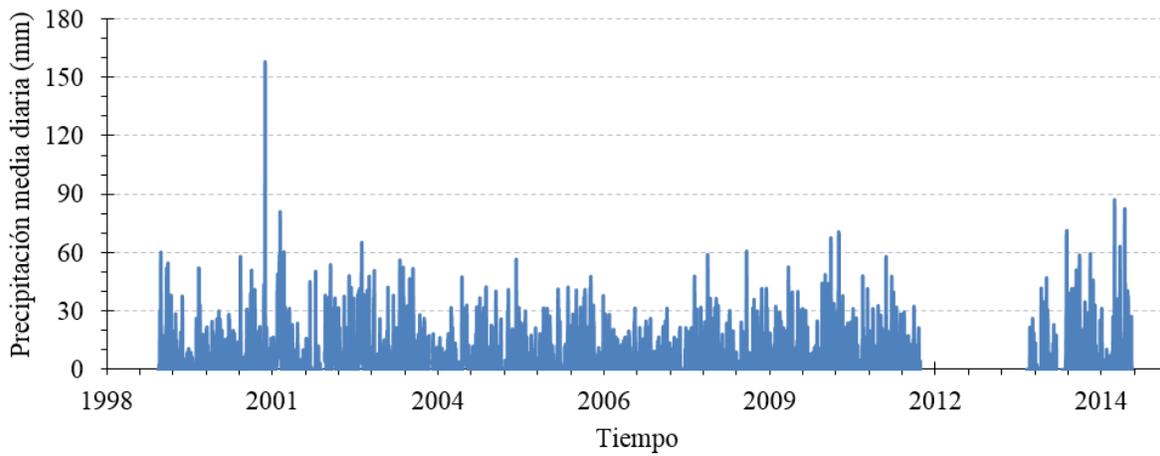


Figura 17. Pluviograma estación La Junta.

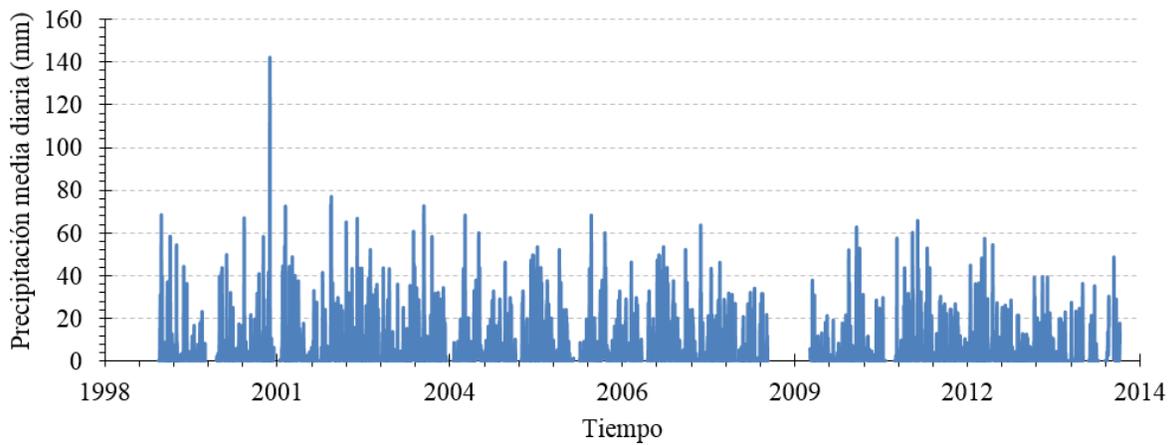


Figura 18. Pluviograma estación Lago Verde.

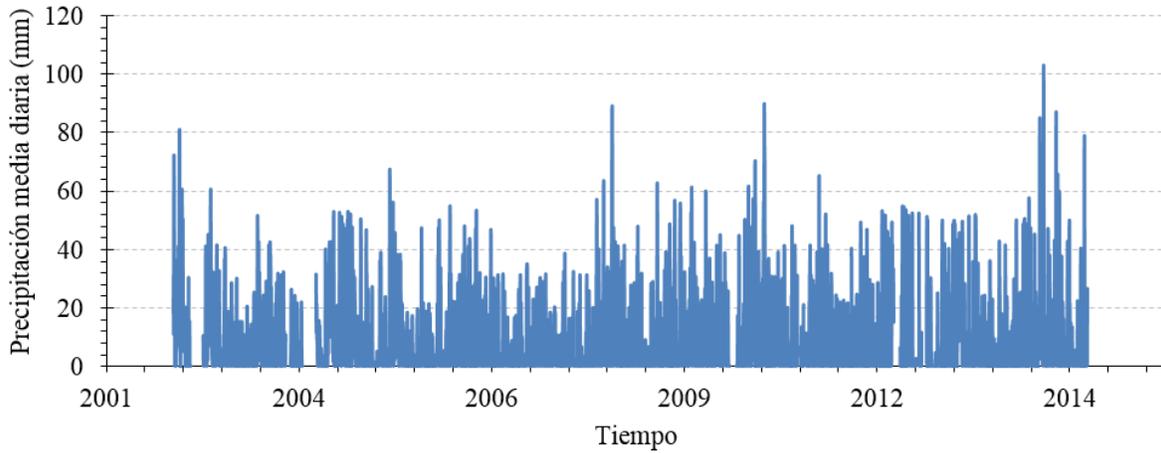


Figura 19. Pluviograma estación Marin Balmaceda.

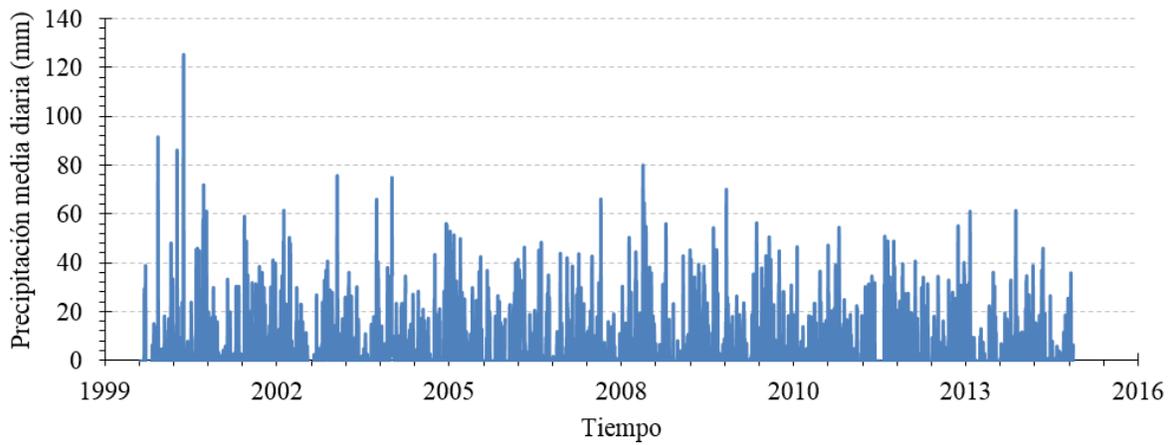


Figura 20. Pluviograma estación Palena.

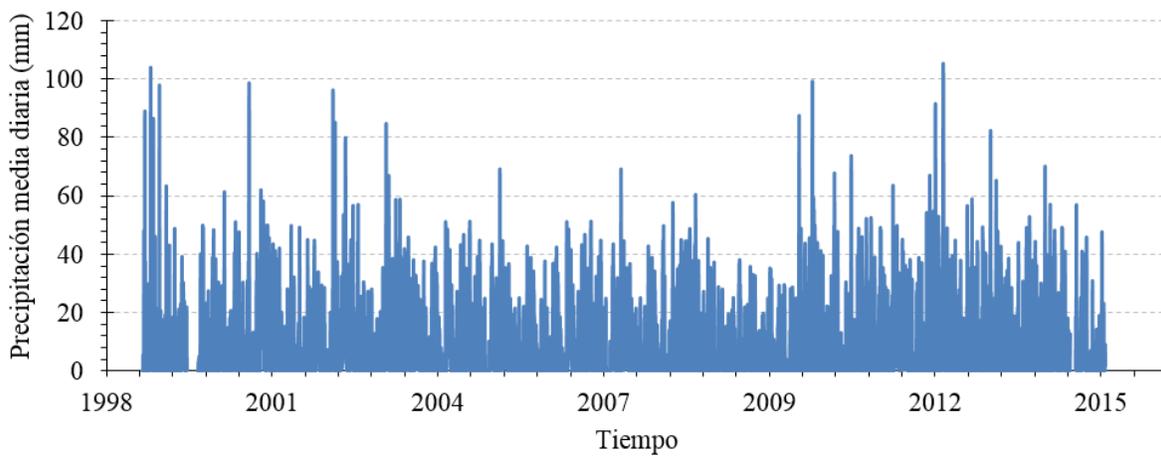


Figura 21. Pluviograma estación Puerto Puyuhuapi.

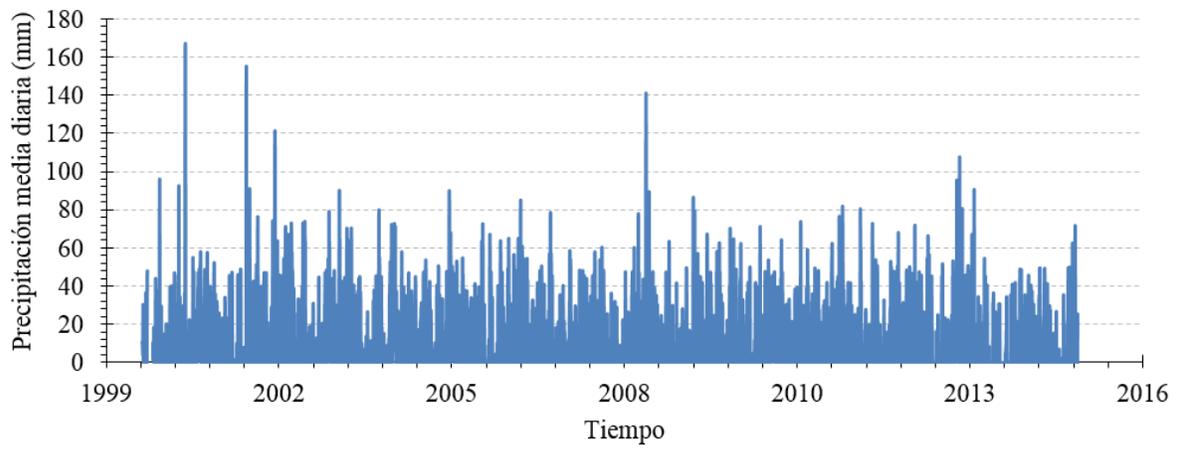


Figura 22. Pluviograma estación Río Frío.

4.5 USOS DE SUELO Y EDAFOLOGÍA

Los usos de suelo de la cuenca del Palena son fundamentalmente de bosque nativo con cerca del 60%. Los principales tipos forestales son Lengua, Siempreverde y Coigüe de Magallanes. Otros usos relevantes son las nieves (17%), terrenos sobre el límite de la vegetación (8%) y matorral (7%). Cerca del 30% de la cuenca (lado chileno) se encuentra bajo protección oficial (Tabla 17 y Figura 23). Por un lado, gracias al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) con los Parques Nacionales Corcovado y Queulat y las Reservas Nacionales Lago Rosselot y Lago Palena; y por otro lado, por el Ministerio de Bienes Nacionales (MBN) con los Inmuebles Fiscales destinado a la Conservación de la Biodiversidad Río Frío y Palena Costa.

Tabla 17. Usos de suelo en la cuenca del río Palena.

Uso de suelo	Porcentaje de la cuenca (%)	Uso de suelo	Porcentaje de la cuenca (%)
Bosques	59.91	Derrumbes sin vegetación	0.41
Nieves	16.88	Estepa	0.37
Terrenos sobre el límite de la vegetación	7.92	Sin cobertura aerofotogramétrica	0.32
Matorral	7.49	Otros terrenos sin vegetación	0.30
Lagos, lagunas	2.64	Cajas de río	0.27
Praderas perennes	1.34	Playas y dunas	0.10
Afloramientos rocosos	1.21	Glaciares	0.09
Terrenos húmedos	0.73	Zonas urbanas	0.02

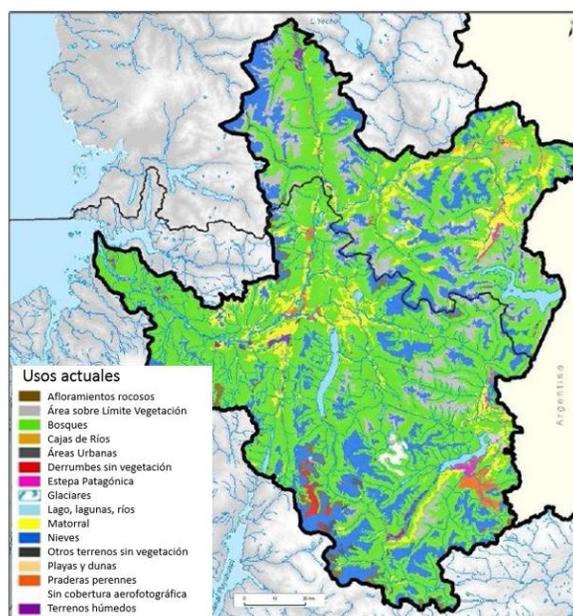


Figura 23. Mapa de usos de suelo en la cuenca del río Palena.
Fuente: Caudales de reserva del río Palena (DGA, 2009)

5. LEVANTAMIENTO INFORMACIÓN EN TERRENO

En el anexo VII se encuentran los registros de los aforos y cálculos realizados para obtener los resultados que aquí se presentan.

Se realizaron tres campañas de terreno que permitieron reconocer características de las subcuencas de interés, ubicar puntos de monitoreo fluviométrico e instalar instrumental hidrometeorológico.

Las estaciones fluviométricas instaladas consistieron en una regla limnimétrica y el desarrollo de una batería de cinco aforos en cada una. Además de las reglas limnimétricas, se instaló un evaporímetro tipo A, y temporalmente se instaló un pluviómetro y un sensor de nivel en la salida del lago Risopatrón. Tanto el registro de precipitación como de nivel de la laguna, tienen una frecuencia de medición cada 15 minutos.

Debido a que los aforos no corresponden a registros continuos ni diarios, se coordinó que un observador registrara diariamente los niveles de las reglas en Correntoso, Melimoyu y Risopatrón antes de junta con Palena. Estas observaciones se tienen desde el 11 de Septiembre al 18 de Octubre de 2015. Luego de generar una curva de descarga para cada estación, los datos observados fueron transformados a un hidrograma a escala diaria durante el periodo de monitoreo.

En la Tabla 18 se indican las coordenadas de los equipos instalados y los aforos realizados.

Tabla 18. Ubicación equipos instalados y actividades desarrolladas

Coordenada UTM, Datum WGS84, Huso 18			Cota (m)
Puntos de interés	Este (m)	Norte (m)	Datum WGS84
Regla limnimétrica río Correntoso	677.908,04	512.868,6	35.018
Regla limnimétrica río Melimoyu	678.354,04	5.129.026,01	30.286
Regla limnimétrica río Risopatrón antes de junta con Palena	695.044,4	5.122.992,91	23.245
Regla limnimétrica en desagüe Lago Risopatrón	700.541,3	5.103.510,4	134.802
Regla limnimétrica en cabecera de Lago Risopatrón	700.481,9	5.103.381,4	134.795

5.1 CURVAS DE DESCARGA EN CUENCAS DE INTERÉS

La batería de cinco aforos realizada en cada cuenca de interés se indica en la Tabla 19. Los puntos de aforo fueron seleccionados de manera tal que cumplieren con las directrices de la Organización Meteorológica Mundial y la DGA; esto es, instalando un punto de referencia en las cercanías de la regla para recuperar registro de niveles en caso de pérdida y realizando aforos según las buenas prácticas hidrométricas. Los aforos fueron realizados por vadeo, desde bote o desde puente, dependiendo de las condiciones del flujo, accesibilidad y de seguridad de operación. Se utilizó un correntómetro marca Gurley modelo 622 conectado a un dispositivo AquaCalc para realizar el registro y cálculo de caudales.

Tabla 19. Aforos de caudal en cuencas de interés.

N°	Río	Fecha	Hora inicio	Regla (m)	Caudal (m ³ /s)
1	Correntoso	10-09-15	16:00	0.12	5.25
2	Correntoso	13-09-15	10:30	0.08	4.83
3	Correntoso	15-09-15	10:00	0.18	6.53
4	Correntoso	02-10-15	9:58	0.05	3.56
5	Correntoso	18-10-15	15:55	0	3.757
1	Melimoyu	11-09-15	11:30	0.3	12
2	Melimoyu	13-09-15	11:55	0.29	11.5
3	Melimoyu	15-09-15	11:30	0.28	10.1
4	Melimoyu	02-10-15	11:05	0.32	14.34
5	Melimoyu	18-10-15	14:10	0.28	6.69
1	Risopatrón antes de junta con Palena	10-09-15	18:20	0.4	21.9
2	Risopatrón antes de junta con Palena	13-09-15	13:30	0.34	20.9
3	Risopatrón antes de junta con Palena	15-09-15	12:50	0.34	19.7
4	Risopatrón antes de junta con Palena	02-10-15	14:05	0.48	27.51
5	Risopatrón antes de junta con Palena	18-10-15	17:45	0.4	33.28
1	Risopatrón en desagüe del Lago Risopatrón	11-09-15	14:20	0.5	3.25
2	Risopatrón en desagüe del Lago Risopatrón	13-09-15	17:30	0.45	2.74
3	Risopatrón en desagüe del Lago Risopatrón	15-09-15	18:40	0.41	2.53
4	Risopatrón en desagüe del Lago Risopatrón	02-10-15	17:30	0.47	2.99
5	Risopatrón en desagüe del Lago Risopatrón	18-10-15	10:52	0.48	2.315

Para la generación de las curvas de descarga se aplicaron diferentes ecuaciones y se adoptó el polinomio de mejor de ajuste (R^2) a los datos medidos (Tabla 20). El rango de validez de estas ecuaciones queda acotado al rango entre el 75% del menor caudal y 125% del mayor caudal aforado. Se observa un buen ajuste para todas las estaciones analizadas en la zona cercana a los aforos (Figura 24 y Figura 25); sin embargo, la extrapolación a caudales altos puede estar asociada a errores de consideración y debe ser considerada con cautela.

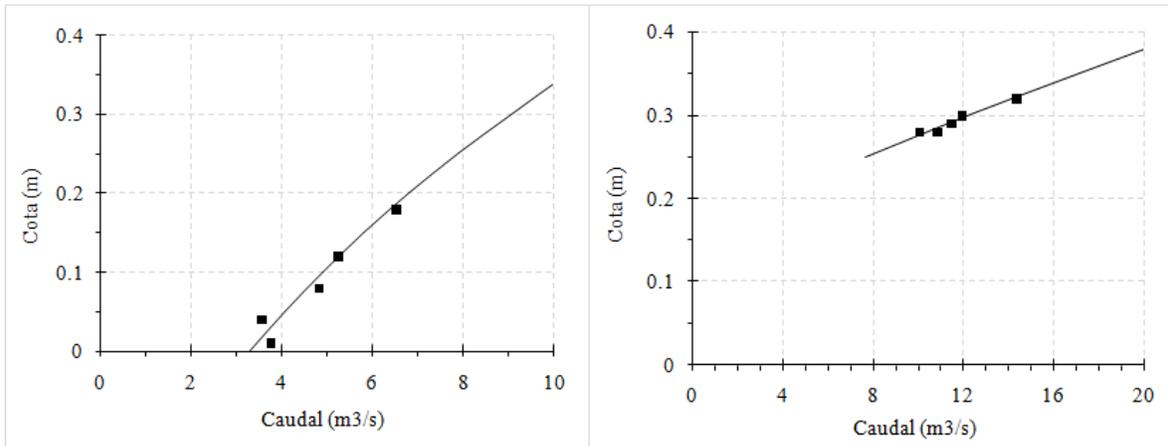


Figura 24. Curvas de descarga: (a) río Correntoso y (b) río Melimoyu.

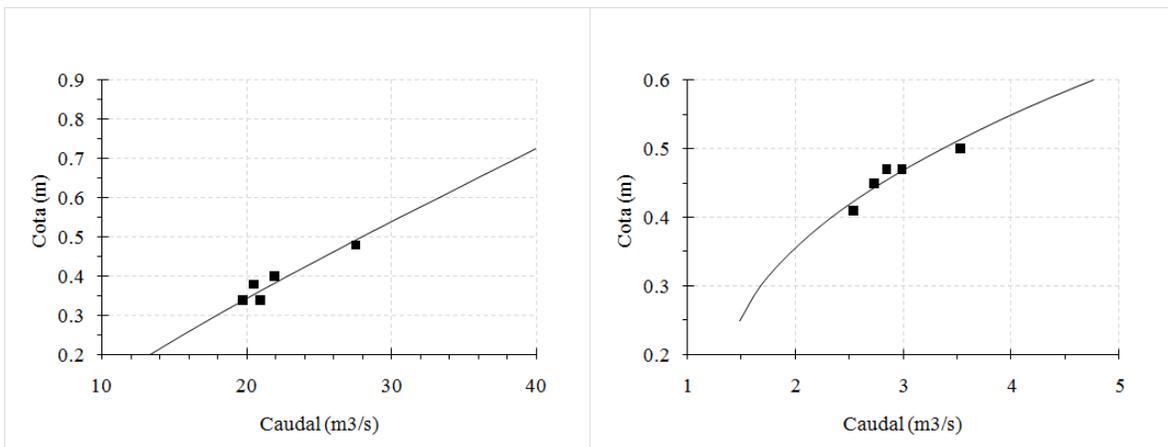


Figura 25. Curvas de descarga: (a) río Risopatrón y (b) desagüe del Lago Risopatrón.

Tabla 20. Ecuación de la curva de descarga para cuencas de interés.

Cuenca de interés	Curva de descarga	Rango de validez (m)
Río Correntoso	$Q = 15.147 \cdot H^2 + 14.699 \cdot H + 3.2813$	0.00 - 0.26
Río Melimoyu	$Q = 34.563 \cdot H^2 + 73.936 \cdot H - 13.003$	0.25 - 0.36
Río Risopatrón	$Q = -14.349 \cdot H^3 + 29.196 \cdot H^2 + 33.88 \cdot H + 5.524$	0.23 - 0.62
Desagüe Lago Risopatrón	$Q = 0.212 \cdot H^3 + 18.171 \cdot H^2 - 6.1969 \cdot H + 1.8973$	0.34 - 0.58

5.2 HIDROGRAMAS Y PLUVIOGRAMAS EN CUENCAS DE INTERÉS

A partir de la curva de descarga de cada cuenca de interés, y los datos diarios observados en las reglas limnimétricas, se construyó el hidrograma en las cuencas de interés durante el periodo de observación, tal como se indica entre la Figura 26 y Figura 29. El pluviograma corresponde a los datos medidos por el pluviógrafo a orillas del lago Risopatrón. Esta correlación se consideró adecuada dada la proximidad de las

cuenas y a que los eventos de precipitación en esta zona ocurren sobre áreas extensas.

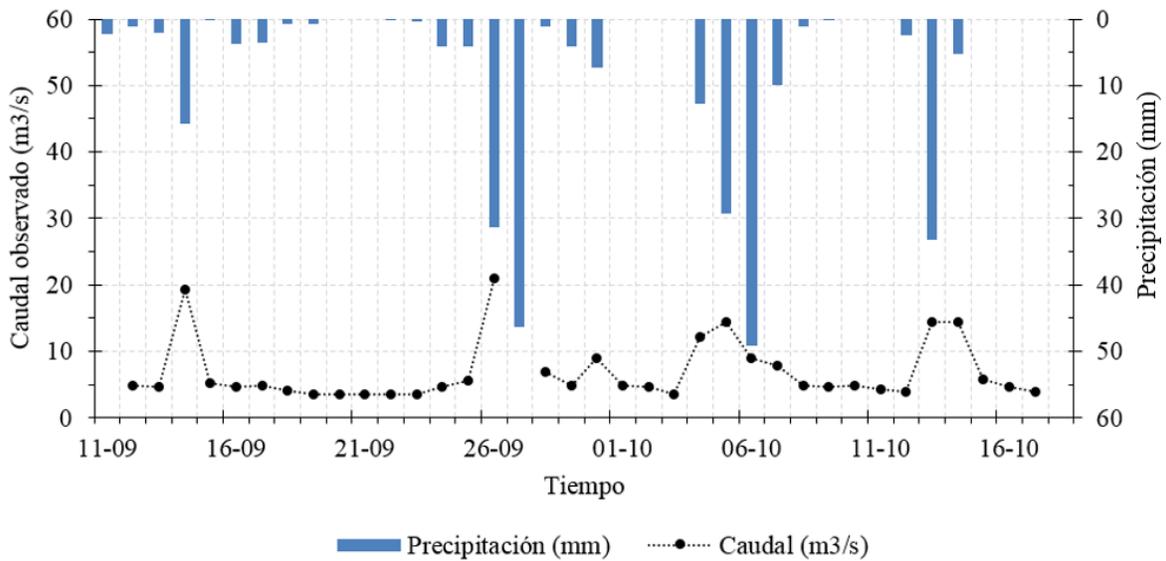


Figura 26. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del río Correntoso.

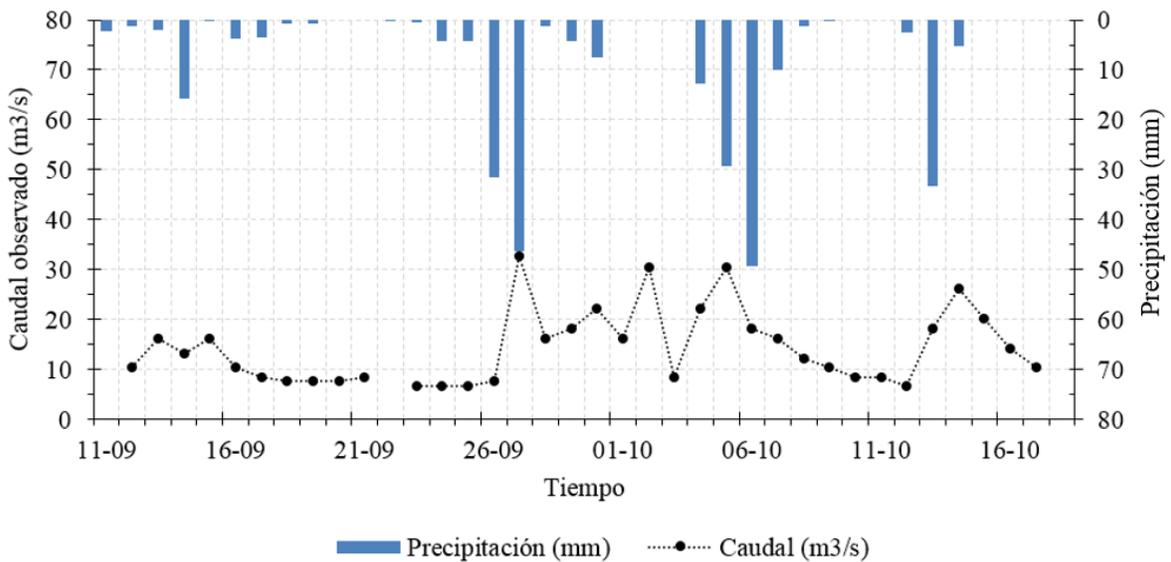


Figura 27. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del río Melimoyu.

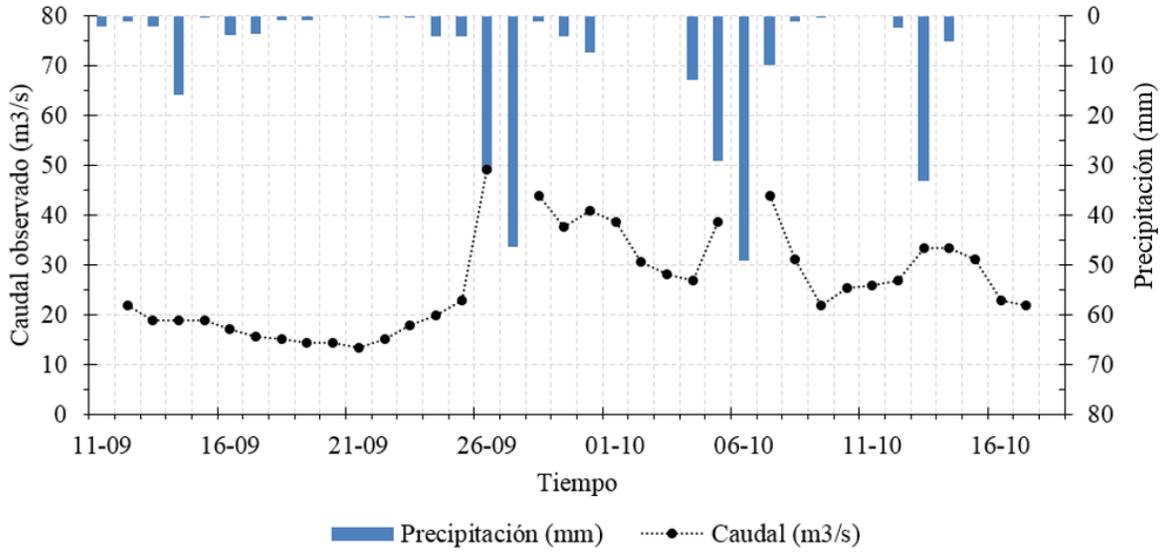


Figura 28. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del río Risopatrón.

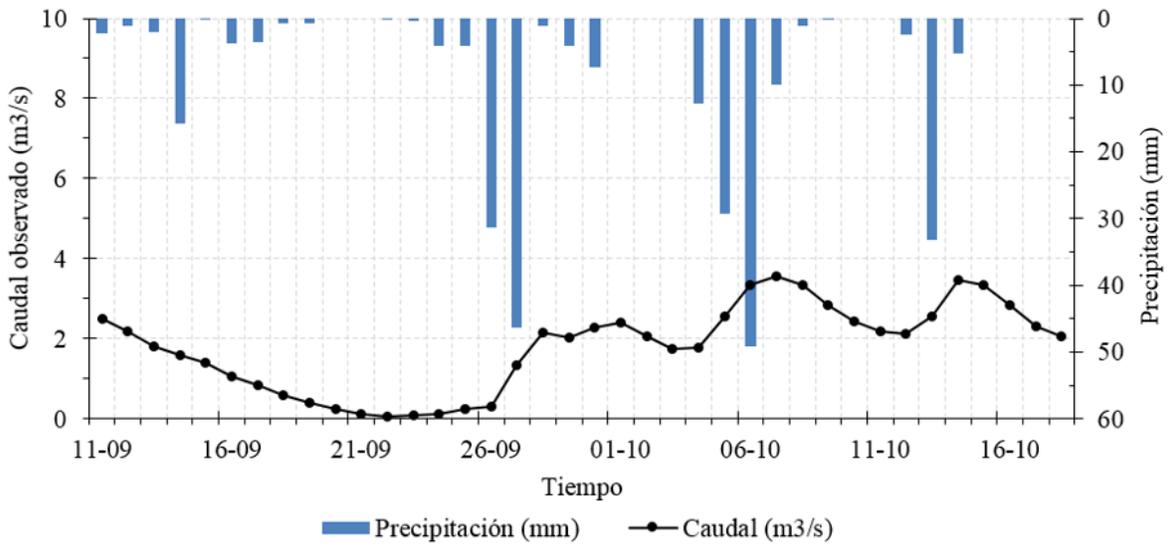


Figura 29. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del desagüe del Lago Risopatrón.

5.3 CARACTERIZACIÓN BATIMÉTRICA DEL LAGO RISOPATRÓN

Se realizó un levantamiento batimétrico del Lago Risopatrón para determinar el volumen almacenado y su efecto regulador en el régimen hidrológico del sector. Para el levantamiento se utilizó una ecosonda conectada a un GPS multifrecuencia y capacidad de trabajo en tiempo real (RTK) marca Spectra Precision, modelo EPOCH 50 de alta precisión. Se realizó en coordenadas locales, que serán ajustadas a las cotas de las estaciones DGA y a las coordenadas Sirgas.

El levantamiento cubrió toda la superficie del lago con puntos tomados desde el pelo de agua en todo su contorno y la zona profunda. A partir de esto se generó un plano con curvas de nivel cada 10 m (Figura 30). Se consideró este espaciamiento entre curvas para presentar con claridad la batimetría del lago y en una escala adecuada. En efecto, considerar curvas de nivel cada 5m o menos, para la proporción largo-ancho y considerando que la mayor profundidad es de 155 m, generaría un plano muy cargado de líneas y de difícil interpretación. A partir del plano con las curvas de nivel se generaron las curvas de área-cota (Figura 31) y volumen-cota (Figura 32).

Fotografías satelitales de Google Earth permitieron ajustar los puntos en los márgenes del lago, de esta forma, y con los modelos de elevación digital de la zona se extrapoló el levantamiento hasta niveles de oscilación normales del lago (Figura 33).

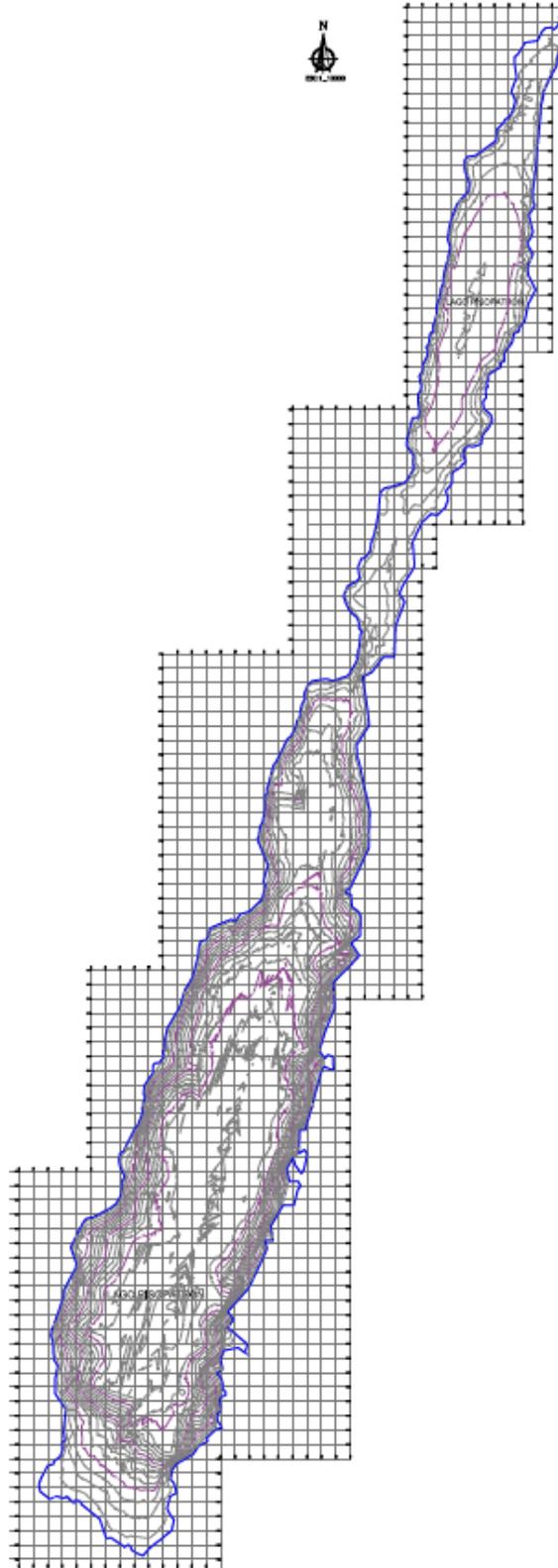


Figura 30. Isobatas Lago Risopatrón. Curvas cada 10m.

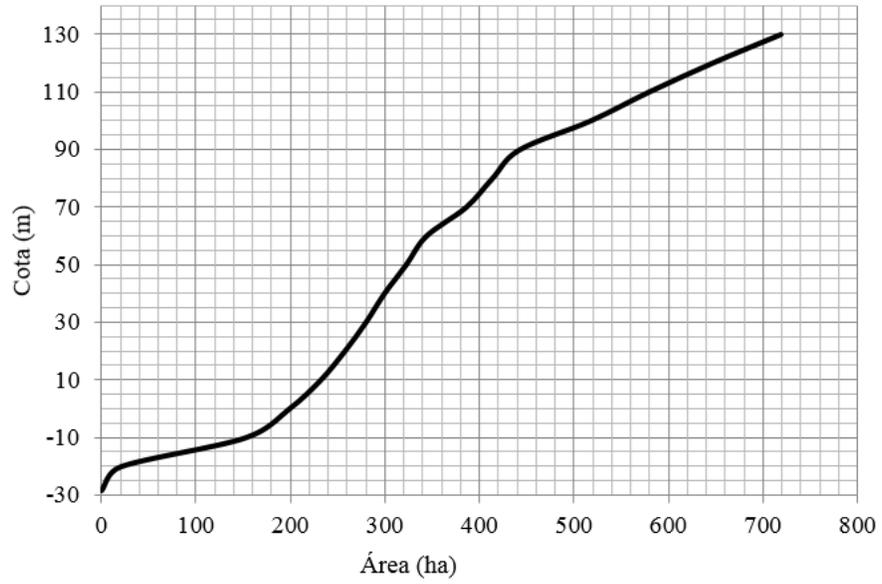


Figura 31: Curva hipsométrica de superficie vs cota del lago Risopatrón

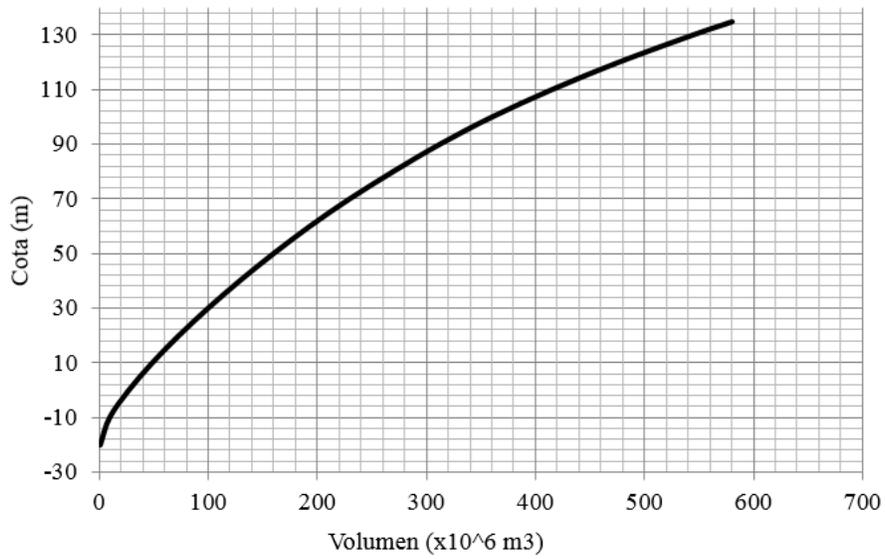


Figura 32: Curva hipsométrica de volumen vs cota del Lago Risopatrón

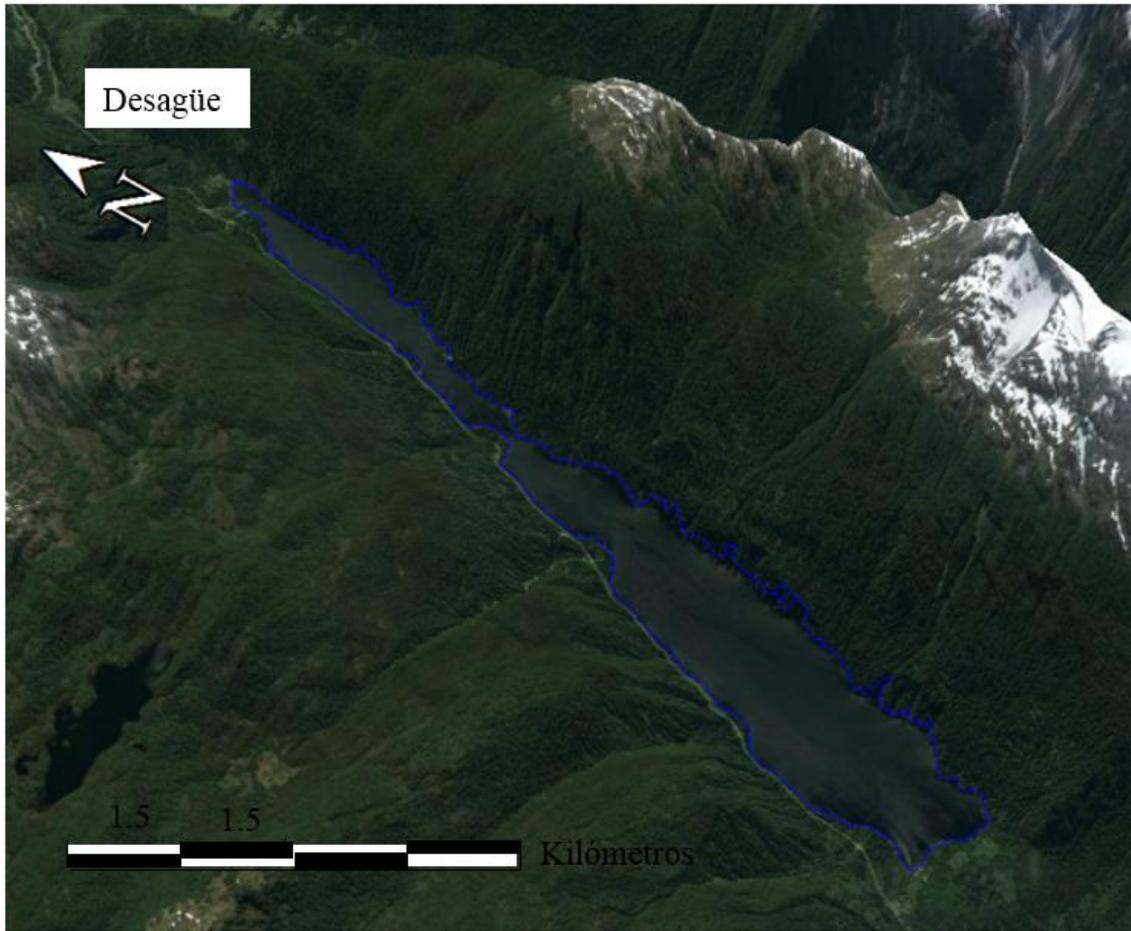


Figura 33. Levantamiento contorno Lago Risopatrón.

6. MODELACIÓN HIDROLÓGICA

En general, el escurrimiento de una cuenca es el resultado de dos grupos de factores: aquellos que dependen del clima y aquellos que representan la geomorfología de la cuenca.

Los factores climatológicos incluyen los efectos de la lluvia, nieve y evapotranspiración, y generalmente, exhiben un comportamiento estacional. En la precipitación en forma de lluvia es necesario considerar la intensidad, magnitud (total de agua caída), duración, distribución en el tiempo, distribución espacial y probabilidad de ocurrencia de la tormenta. En el caso de la nieve, adicionalmente a los anteriores, hay que incluir elementos tales como densidad del manto, acumulación y reflectividad. En la evaporación influyen factores climatológicos (temperatura, humedad, radiación solar y viento), estado de crecimiento de los cultivos y tipos de vegetación.

Entre los factores morfológicos de la cuenca se distinguen aquellos que son característicos de la cuenca y los que representan el sistema hidrográfico. La cuenca afecta el origen y comportamiento de los escurrimientos generados en ella, a través de la geometría (tamaño, forma, pendiente, densidad de drenaje, distribución de alturas) y a través de la distribución espacial de factores físicos, tales como los usos de suelo, condiciones de infiltración, tipos de suelo, características geológicas, etc.

Estos elementos tienen variaciones tanto en el espacio como en el tiempo y, por consiguiente, no es trivial la definición de relaciones simples que permitan estimar el escurrimiento con precisión si sólo se consideran algunos de los factores relevantes. Sería erróneo basar el análisis hidrológico de la cuenca del río Palena en aproximaciones distribuidas de este tipo, esto es, considerando toda la cuenca, debido a la escasa disponibilidad de datos distribuidos espacialmente.

Todos los estudios revisados en la etapa anterior, utilizan métodos para estimación de caudales con base en la fórmula racional, en función del área y precipitación, principalmente. Debido a esto se evaluó la correlación de caudales con precipitación, resultando ser poco representativa para la cuenca. Este resultado era esperable debido a la complejidad del sistema evaluado, gran tamaño de la cuenca, diferencia en los regímenes de caudales de las subcuencas, presencia de almacenamientos, entre otros. Como se observa en la Figura 34, Figura 35 y Figura 36, la generación de escorrentía en ninguna de las subcuencas con datos es explicada únicamente por la precipitación (los gráficos fueron construidos para las subcuencas con más de 8 años de datos para cada mes).

Sin embargo, debido a que se dispone de datos para tres subcuencas asociadas a estaciones fluviométricas DGA y ENDESA con distintos regímenes de caudal, caracterización morfométrica de cada una de ellas e información pluviométrica, se

trabajó con relaciones basadas en el método precipitación- escorrentía incorporando otros procesos físicos relevantes en la generación de escorrentía en la cuenca.

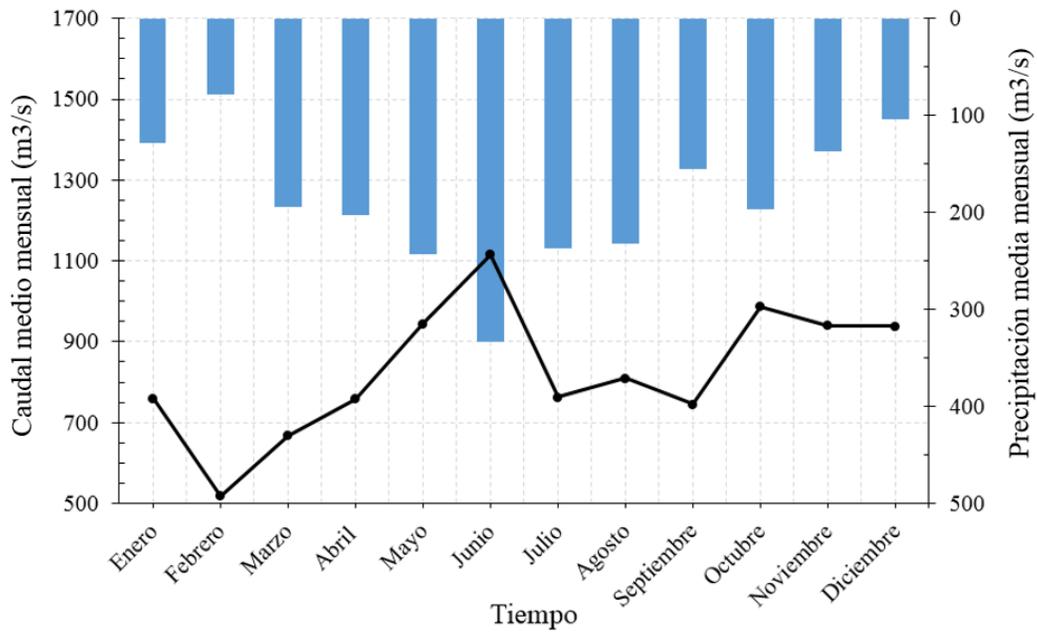


Figura 34. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del río Palena bajo junta con Rossetot, con la estación pluviométrica La Junta.

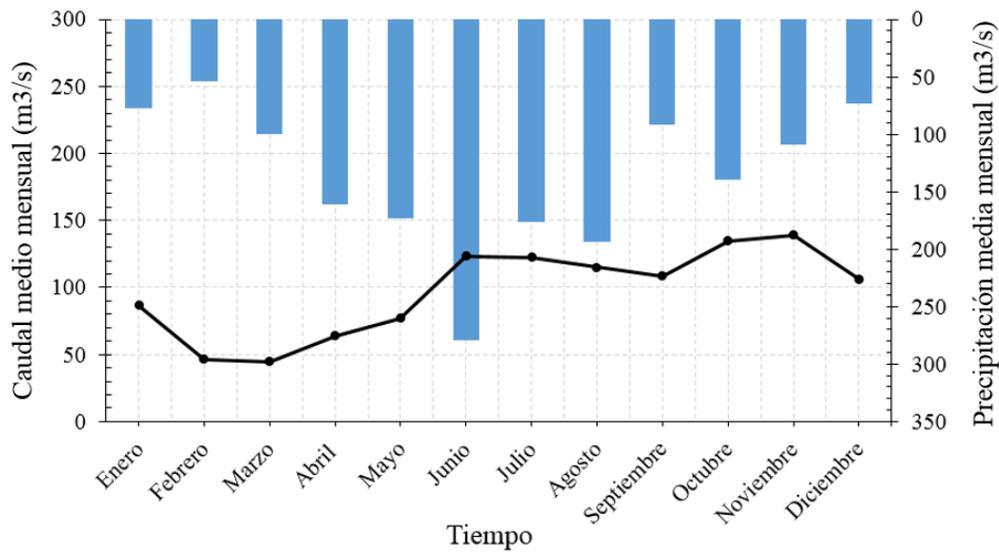


Figura 35. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del río Palena en la frontera, con la estación pluviométrica Palena.

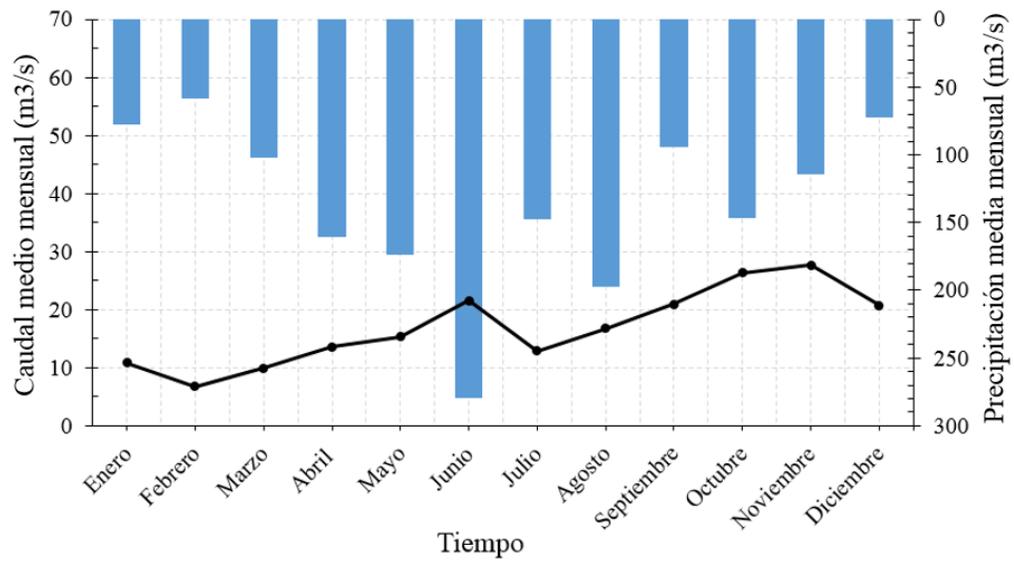


Figura 36. Hidrograma y pluviograma en la cuenca del río Tigre en la frontera, con la estación pluviométrica Palena.

6.1 MODELACIÓN CAUDALES MEDIOS MENSUALES

Toda la información expuesta en este capítulo, se encuentran en el Anexo V del archivo digital.

Como primera aproximación a la modelación se aplicó el método de transposición de caudales para las cuencas de interés. A modo de análisis, para la cuenca del río Correntoso se estimaron los caudales traspuestos a partir de la estadística disponible en la cuenca asociada a las estaciones fluviométricas del río Palena en la Frontera, río Tigre en la Frontera y río Palena bajo junta con Rosselot. A este análisis, se agregaron los caudales traspuestos de la cuenca baja del río Palena, definida como los datos en Palena bajo Rosselot, disminuida con los registros de las dos estaciones fronterizas (lo mismo con la superficie de la cuenca). Este análisis se realizó para comparar cuán diferentes son los caudales específicos en las diferentes cuencas.

La Figura 37 evidencia la diferencia entre los caudales específicos generados en las diferentes cuencas, que se explican por los distintos factores de producción de escorrentía que predominan en la cuenca a partir de la cual se realizó la transposición. Si bien los datos no son continuos, y constituyen meses en los que se encontraban registros para todas las estaciones, se muestra unidos por una línea para evidenciar que el caudal específico de la cuenca baja del Palena es mayor a las demás. Luego le siguen la cuenca de Palena bajo junta Rosselot, Palena en la frontera, y por último, con menor caudal específico Tigre en la frontera (con régimen predominantemente nival).

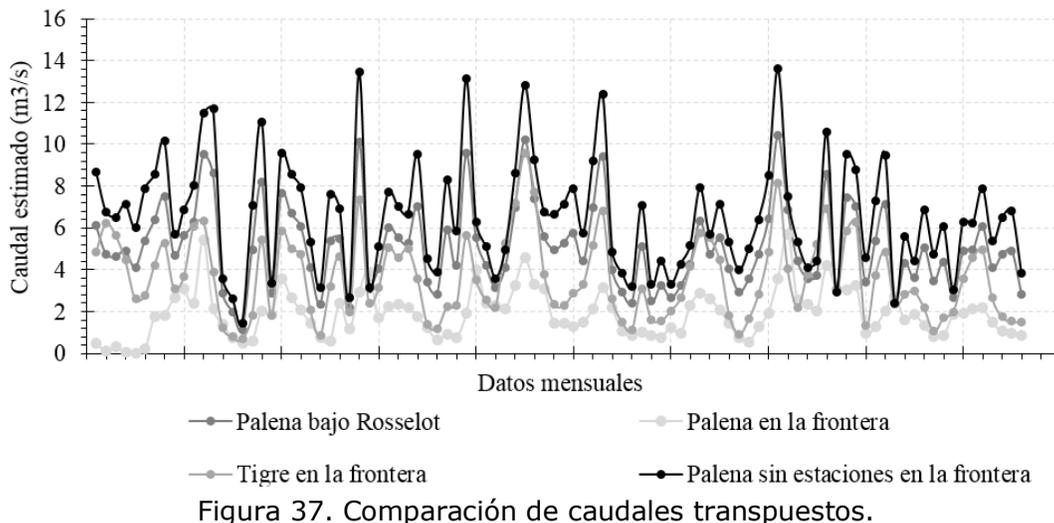


Figura 37. Comparación de caudales traspuestos.

Sin embargo, y a pesar que las cuencas de interés son pluviales, no se asegura que los factores que originan los caudales específicos en Palena en la parte baja sean los mismos que para las cuencas de interés debido a que esta superficie sigue teniendo una componente nival.

En consecuencia, se buscó una única relación que caracterice el comportamiento hidrológico en la cuenca del Palena. Para ello, se ajustó una relación a partir de los parámetros morfométricos: área (km²), pendiente media y elevación media (m) de la cuenca, y datos de precipitación mensual y caudal medio mensual para todas las cuencas asociadas a estaciones fluviométricas. También se consideró un coeficiente independiente que busca incorporar el aporte nival y otros fenómenos que no son descritos por las variables conocidas en la cuenca de estudio. Se utilizó la estadística disponible de la cuenca Palena bajo Rosselot junto con los datos de precipitación de la estación La Junta, la cuenca del río Palena en la frontera y del río Tigre en la frontera, estas últimas con los datos de precipitación de la estación Palena. Las estaciones pluviométricas asociadas se definieron de acuerdo a la proximidad con la cuenca caracterizada.

La relación propuesta está definida por:

$$Q_{men} = a * A^b * P_{men}^c * S^d * H^e + f$$

Donde:

Q_{men}: Caudal medio mensual (m³/s)

A: Superficie de la cuenca (km²).

P_{men}: Precipitación mensual (mm).

S: Pendiente media de la cuenca (%).

H: Elevación media de la cuenca.

a, b, c, d, e, f: coeficientes.

Considerando los pares de datos que caracterizan las 3 subcuencas asociadas a estaciones fluviométricas en la cuenca del río Palena, se calibraron los coeficientes según se indica en la *Tabla 21*.

Tabla 21. Valores de los coeficientes de la ecuación que modela el comportamiento mensual de caudales en la cuenca del río Palena, independiente del mes.

Parámetro del modelo						
a	b	c	d	e	f	R2
5.514*10(-6)	1.2876	30.3138*10(-2)	1.3422	50.0088*10(-3)	9.127	0.84

Para analizar la correlación de los datos simulados con los datos medidos, se procedió a estimar los caudales medios mensuales a partir de los datos disponibles. Luego, los caudales estimados con la relación propuesta se compararon con los caudales medidos en cada subcuenca, teniendo un ajuste de 0.84, como se muestra en Figura 38.

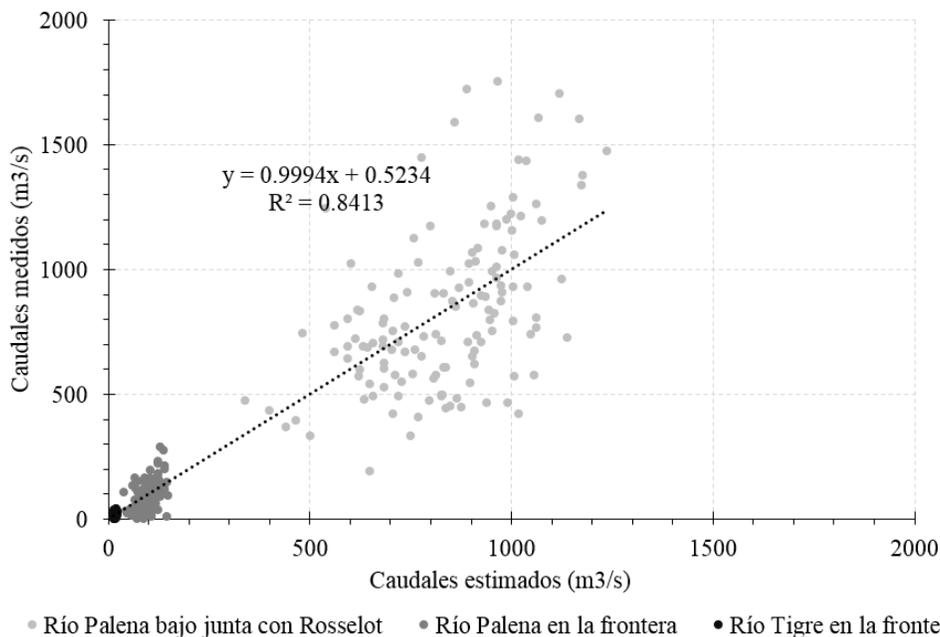


Figura 38. Correlación de caudales simulados versus caudales medios mensuales medidos para la cuenca del río Cisnes, independiente del mes del año.

Luego, y debido a que la jerarquía de los fenómenos que controlan la generación de escorrentía varía mes a mes, se calibraron los coeficientes con datos subdivididos por mes. En la Tabla 22 se presentan los coeficientes que definen la ecuación gobernante de producción de caudales por mes. En el Anexo V se encuentra el manual de uso de la planilla de cálculo desarrollada para el cálculo de parámetros.

Tabla 22. Valores de los coeficientes de las ecuaciones mensuales que modelan el comportamiento de caudales en la cuenca del río Palena.

Mes	Parámetro del modelo						R2
	a	b	c	d	e	f	
Enero	32.018*10(-4)	59.6437*10(-2)	1.0172	9.4352*10(-5)	0	24.7885	0.99
Febrero	3.1269*10(-5)	98.6801*10(-2)	1.0133	4.9485*10(-5)	14.5059*10(-2)	18.1373	0.99
Marzo	3.4092*10(-5)	89.9626*10(-2)	1.0119	4.9486*10(-5)	25.5735*10(-2)	8.6099	0.99
Abril	23.462*10(-5)	73.7163*10(-2)	99.4892*10(-2)	34.3822*10(-2)	33.6695*10(-3)	1.6859*10(-7)	0.99
Mayo	2.5616*10(-5)	1.109	1.0203	4.952*10(-5)	0	22.345	0.99
Junio	16.431*10(-5)	81.6409*10(-2)	1.0078	3.6303*10(-5)	14.3824*10(-2)	12.6916	0.99
Julio	15.516*10(-5)	88.2718*10(-2)	1.0242	3.6298*10(-5)	40.7799*10(-3)	36.4099	0.98
Agosto	70.2863*10(-3)	53.7799*10(-2)	98.7128*10(-2)	0	0	2.6679*10(-9)	0.99
Septiembre	3.3633*10(-5)	1.2653	18.4726*10(-2)	1.082	29.5012*10(-3)	14.1197	0.94
Octubre	5.2512*10(-5)	1.023	25.9797*10(-2)	1.5389	38.5191*10(-3)	0	0.94
Noviembre	5.5566*10(-5)	98.7334*10(-2)	35.5075*10(-2)	1.4904	39.1559*10(-3)	0	0.86
Diciembre	1.5429*10(-5)	1.0697	18.8037*10(-2)	1.9417	20.5574*10(-3)	0	0.85

Finalmente para analizar la correlación de los datos simulados con los datos medidos, subdivididos por mes se procedió a estimar los caudales medios mensuales a partir de los datos disponibles, como se muestra en las siguientes figuras.

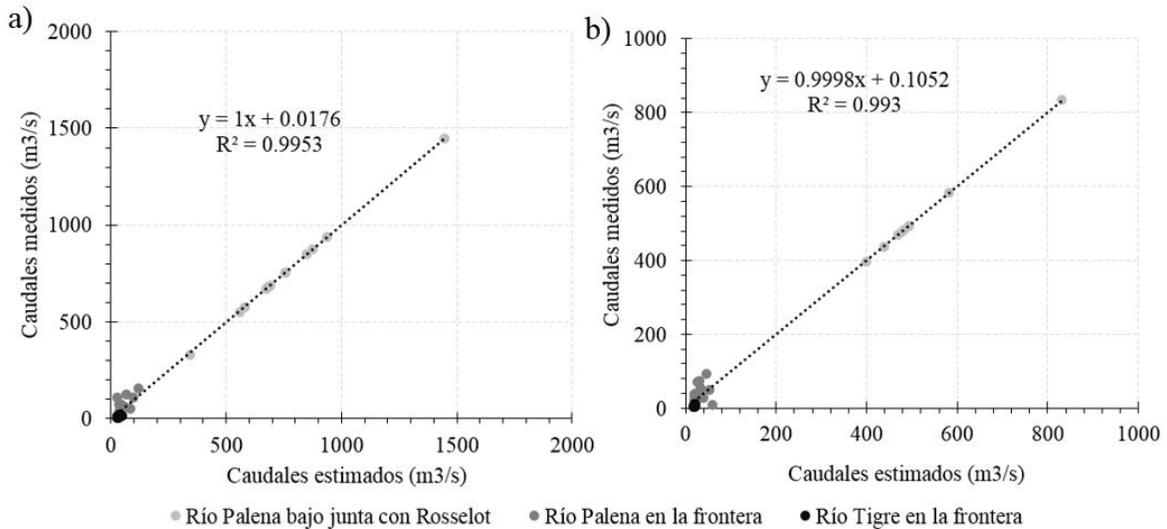


Figura 39. Correlación de caudales simulados versus caudales medidos, para los meses de (a) Enero y (b) Febrero.

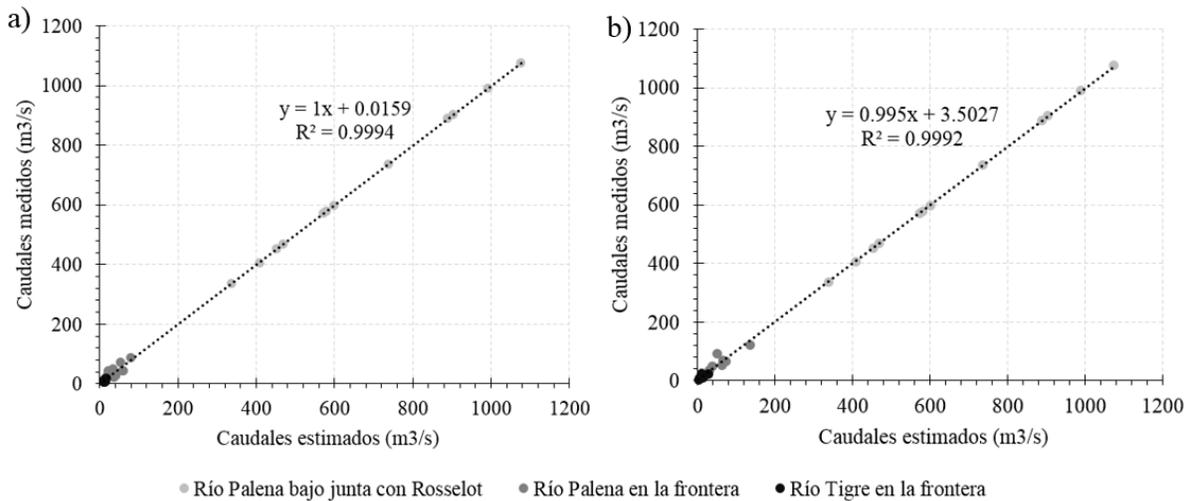


Figura 40. Correlación de caudales simulados versus caudales medidos, para los meses de (a) Marzo y (b) Abril.

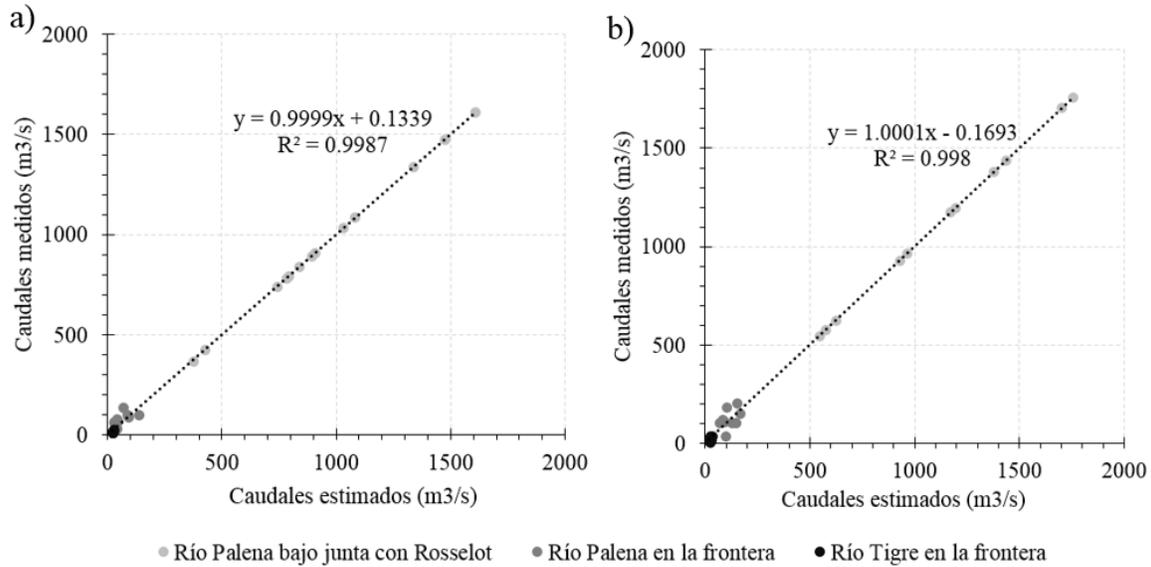


Figura 41. Correlación de caudales simulados versus caudales medidos, para los meses de (a) Mayo y (b) Junio.

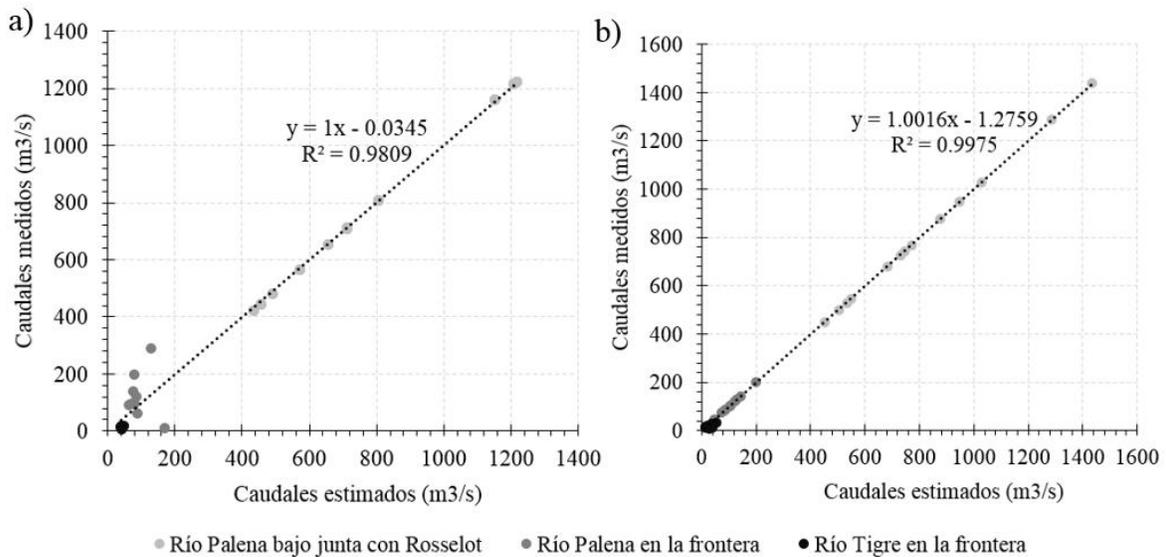


Figura 42. Correlación de caudales simulados versus caudales medidos, para los meses de (a) Julio y (b) Agosto.

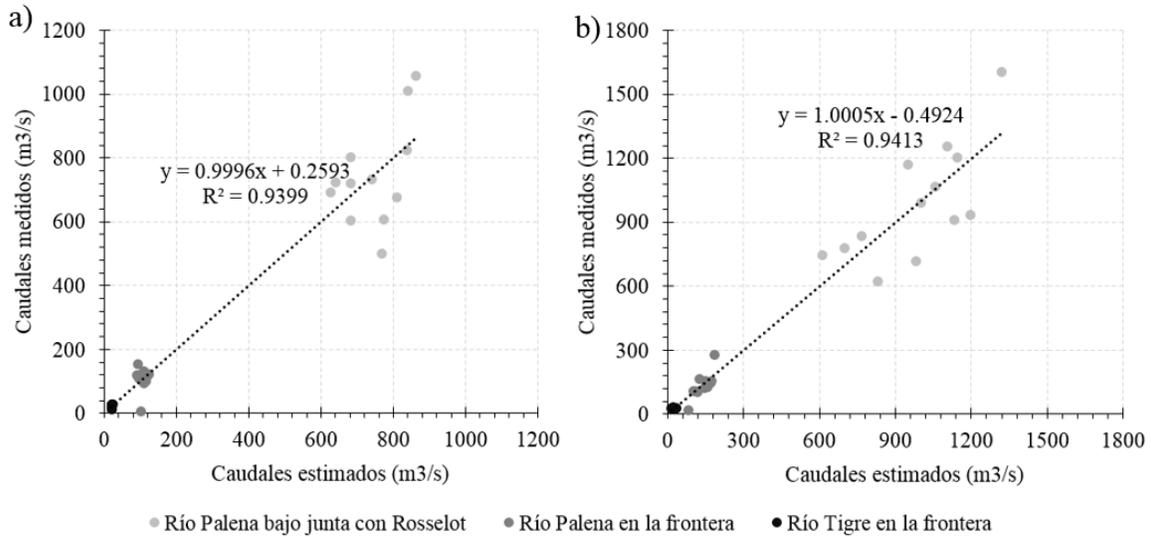


Figura 43. Correlación de caudales simulados versus caudales medidos, para los meses de (a) Septiembre y (b) Octubre.

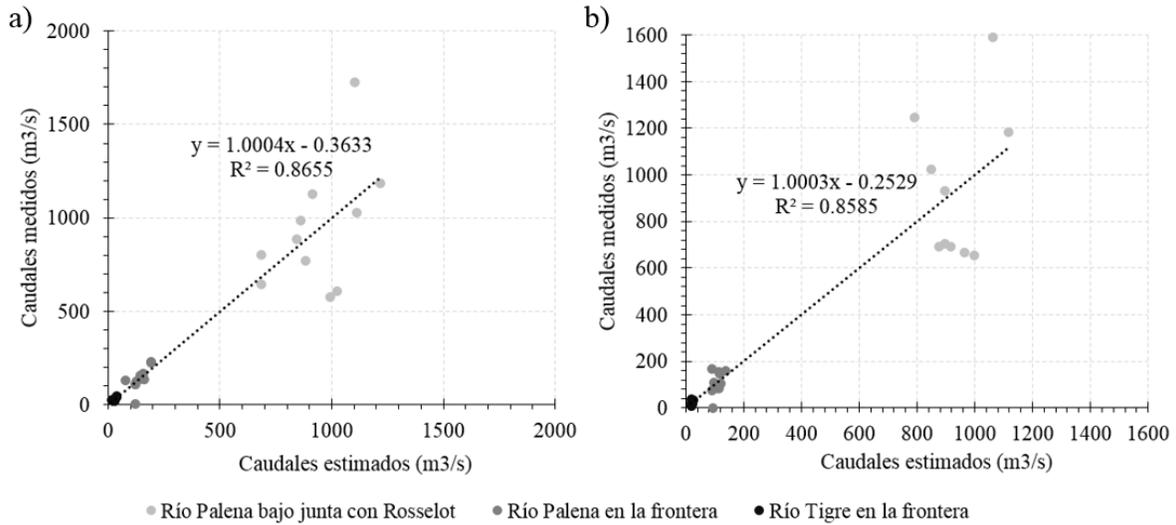


Figura 44. Correlación de caudales simulados versus caudales medidos, para los meses de (a) Noviembre y (b) Diciembre.

6.1.1 CUENCA RÍO CORRENTOSO

Se estimaron los caudales medios mensuales del río Correntoso a partir de la ecuación gobernante de la producción de caudales en la cuenca del Palena, subdividida por mes, utilizando la estadística de precipitación mensual disponible en la estación Marin Balmaceda, debido a su proximidad.

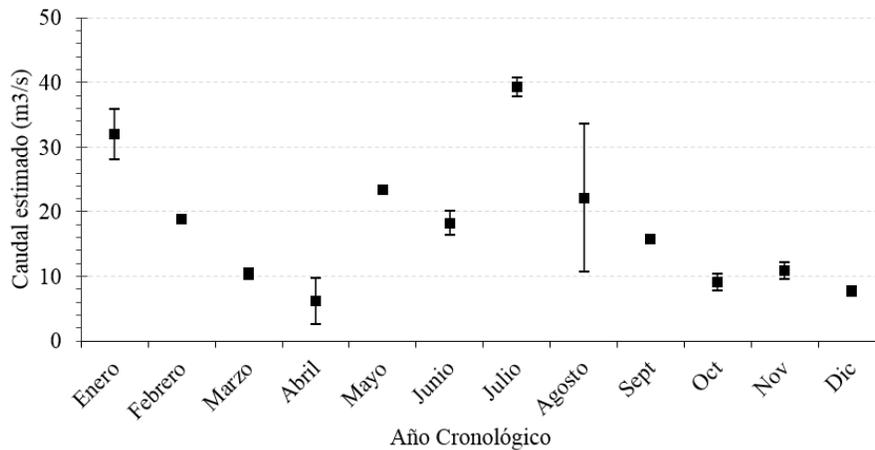


Figura 45. Caudales medios mensuales estimados para la cuenca del río Correntoso.

En la Tabla 23 se presenta la disponibilidad de datos mensual en la estación pluviométrica, los caudales medios mensuales obtenidos y la varianza asociada a los datos. Se analizó la varianza de todos los datos (Tabla 24) indicando que existe una variación significativa entre ellos; como es de esperarse, esta varianza es mayor entre meses que dentro de los datos de un mismo mes. Por último, para identificar donde existe la mayor varianza, se analizó la varianza entre pares de meses; los resultados son presentados en la Tabla 25.

Tabla 23. Caudales medios mensuales y su varianza para la cuenca del río Correntoso.

Mes	Datos	Promedio	Varianza
Enero	13	31,41	18,58
Febrero	11	18,91	0,33
Marzo	10	10,40	0,57
Abril	11	6,21	13,20
Mayo	13	23,44	0,40
Junio	12	18,27	3,43
Julio	10	39,31	1,97
Agosto	11	22,16	130,33
Septiembre	13	15,74	0,02
Octubre	13	9,12	1,51
Noviembre	11	10,87	1,79
Diciembre	12	7,69	0,56

Tabla 24. ANOVA caudales medios mensuales en la cuenca del río Correntoso.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor P	Valor crítico para F
Entre grupos	12.489,29	11	1135,39	82,11	1,74*10(-52)	1,86
Dentro de los gru	1.769,86	128	13,82			
Total	14.259,15	139				

Tabla 25. ANOVA entre pares de meses en la cuenca del río Correntoso.

	Valor P	Diferencia significativa
Enero-Febrero	$2,981 \cdot 10^{-9}$	Sí
Febrero-Marzo	$3,475 \cdot 10^{-17}$	Sí
Marzo-Abril	0,002	Sí
Abril-Mayo	$4,550 \cdot 10^{-14}$	Sí
Mayo-Junio	$2,029 \cdot 10^{-9}$	Sí
Junio-Julio	$5,802 \cdot 10^{-18}$	Sí
Julio-Agosto	0,0001	Sí
Agosto-Sept	0,054	No
Sept.-Oct.	$4,085 \cdot 10^{-16}$	Sí
Oct.-Nov.	0,003	Sí
Nov.-Dic.	$5,310 \cdot 10^{-7}$	Sí
Dic.-Enero	$1,923 \cdot 10^{-15}$	Sí

6.1.2 CUENCA RÍO MELIMOYU

Se estimaron los caudales medios mensuales del río Melimoyu a partir de la ecuación gobernante de la producción de caudales en la cuenca del Palena, subdividida por mes, utilizando la estadística de precipitación mensual disponible en la estación Marin Balmaceda, debido a la proximidad de ésta con la cuenca.

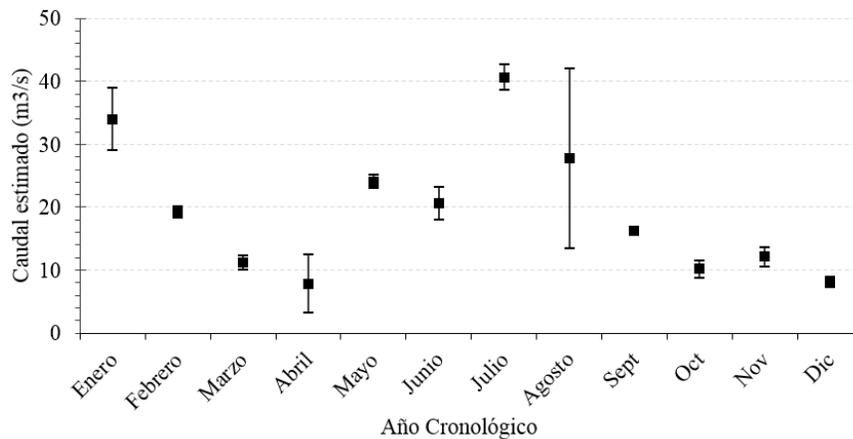


Figura 46. Caudales medios mensuales estimados para la cuenca del río Melimoyu.

En la Tabla 26 se presenta la disponibilidad de datos mensual en la estación pluviométrica, los caudales medios mensuales obtenidos y la varianza asociada a los datos. Se analizó la varianza de todos los datos (Tabla 27) indicando que existe una variación significativa entre ellos; como es de esperarse, esta varianza es mayor entre meses que dentro de los datos de un mismo mes. Por último, para identificar donde existe la mayor varianza, se analizó la varianza entre pares de meses; los resultados son presentados en la Tabla 28.

Tabla 26. Caudales medios mensuales y su varianza para la cuenca del río Melimoyu.

Mes	Datos	Promedio	Varianza
Enero	13	34,02	24,56
Febrero	11	19,32	0,78
Marzo	10	11,25	1,25
Abril	11	7,90	21,36
Mayo	13	24,09	1,03
Junio	12	20,60	6,89
Julio	10	40,63	4,15
Agosto	11	27,78	204,88
Septiembre	13	16,34	0,03
Octubre	13	10,25	1,90
Noviembre	11	12,14	2,23
Diciembre	12	8,10	0,62

Tabla 27. ANOVA caudales medios mensuales en la cuenca del río Melimoyu.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor P	Valor crítico para F
Entre grupos	13.801,20	11	1.254,65	58,29	$1,96 \cdot 10^{-44}$	1,86
Dentro de los grupos	2.754,67	128	21,52			
Total	16.555,88	139				

Tabla 28. ANOVA entre pares de meses en la cuenca del río Melimoyu.

	Valor P	Diferencia significativa
Enero-Febrero	$2,192 \cdot 10^{-9}$	Sí
Febrero-Marzo	$1,455 \cdot 10^{-13}$	Sí
Marzo-Abril	0,037	Sí
Abril-Mayo	$2,342 \cdot 10^{-11}$	Sí
Mayo-Junio	0,0001	Sí
Junio-Julio	$1,491 \cdot 10^{-14}$	Sí
Julio-Agosto	0,011	Sí
Agosto-Sept	0,008	Sí
Sept.-Oct.	$3,737 \cdot 10^{-14}$	Sí
Oct.-Nov.	0,003	Sí
Nov.-Dic.	$5,467 \cdot 10^{-8}$	Sí
Dic.-Enero	$5,491 \cdot 10^{-15}$	Sí

6.1.3 CUENCA DE AGÜE LAGO RISOPATRÓN

Se estimaron los caudales medios mensuales en la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón a partir de la ecuación gobernante de la producción de caudales en la cuenca del Palena, subdividida por mes, utilizando la estadística de precipitación mensual disponible en la estación Puerto Puyuhuapi, debido a la proximidad de ésta con la cuenca.

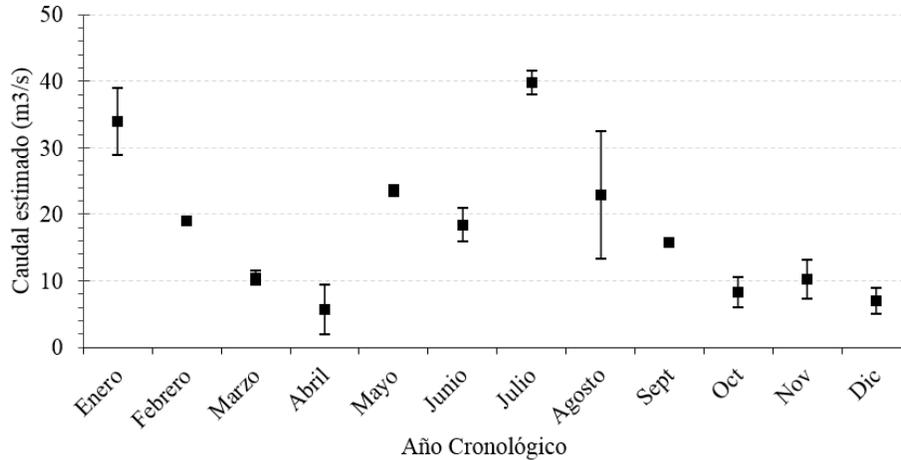


Figura 47. Caudales medios mensuales estimados para la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.

En la Tabla 29 se presenta la disponibilidad de datos mensual en la estación pluviométrica, los caudales medios mensuales obtenidos y la varianza asociada a los datos. Se analizó la varianza de todos los datos (Tabla 30) indicando que existe una variación significativa entre ellos; como es de esperarse, esta varianza es mayor entre meses que dentro de los datos de un mismo mes. Por último, para identificar donde existe la mayor varianza, se analizó la varianza entre pares de meses; los resultados son presentados en la Tabla 31.

Tabla 29. Caudales medios mensuales y su varianza para la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.

Mes	Cuenta	Promedio	Varianza
Enero	32	35,08	18,13
Febrero	32	19,15	0,34
Marzo	30	10,81	0,73
Abril	28	7,08	6,96
Mayo	31	23,72	0,42
Junio	32	18,97	3,22
Julio	32	40,15	2,17
Agosto	33	24,35	92,32
Septiembre	32	15,89	0,02
Octubre	33	8,83	1,16
Noviembre	33	10,85	2,48
Diciembre	33	7,45	0,86

Tabla 30. ANOVA caudales medios mensuales en la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor P	Valor crítico para F
Entre grupos	40.467,29	11	3.678,84	334,15	2,92*10(-184)	1,81
Dentro de los grupos	4.062,45	369	11,00			
Total	44.529,74	380				

Tabla 31. ANOVA entre pares de meses en la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.

	Valor P	Diferencia significativa
Enero-Febrero	$7,846 \cdot 10^{-30}$	Sí
Febrero-Marzo	$7,949 \cdot 10^{-48}$	Sí
Marzo-Abril	$9,484 \cdot 10^{-10}$	Sí
Abril-Mayo	$1,562 \cdot 10^{-39}$	Sí
Mayo-Junio	$1,614 \cdot 10^{-20}$	Sí
Junio-Julio	$1,283 \cdot 10^{-52}$	Sí
Julio-Agosto	$2,989 \cdot 10^{-13}$	Sí
Agosto-Sept	$5,310 \cdot 10^{-6}$	Sí
Sept.-Oct.	$3,231 \cdot 10^{-44}$	Sí
Oct.-Nov.	$7,076 \cdot 10^{-8}$	Sí
Nov.-Dic.	$7,432 \cdot 10^{-16}$	Sí
Dic.-Enero	$5,156 \cdot 10^{-44}$	Sí

6.1.4 CUENCA RÍO RISOPATRÓN

Se estimaron los caudales medios mensuales en la cuenca del río Risopatrón a partir de la ecuación gobernante de la producción de caudales en la cuenca del Palena, subdividida por mes, utilizando la estadística de precipitación mensual disponible en la estación La Junta, debido a la proximidad de ésta con la cuenca. En general se utilizaron 30 datos mensuales, por lo que los resultados pueden ser menos robustos que los modelados a partir de estaciones con mayor extensión estadística.

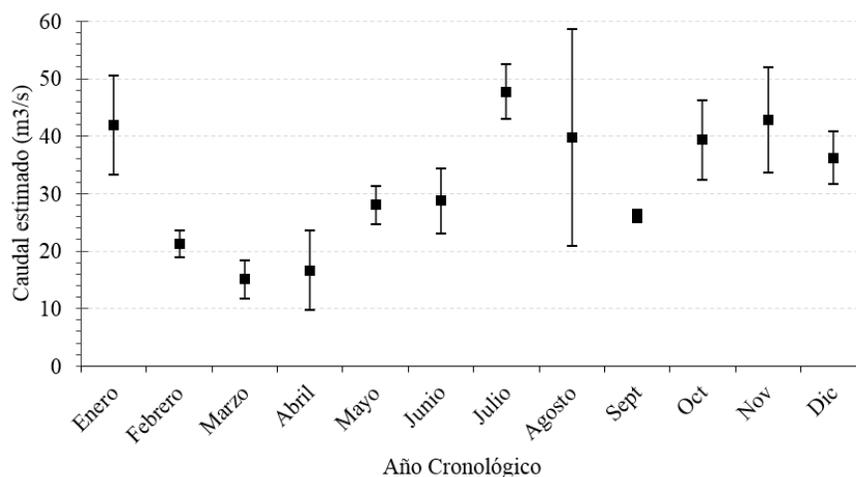


Figura 48. Caudales medios mensuales estimados para la cuenca del río Risopatrón.

En la Tabla 32 se presenta la disponibilidad de datos mensual en la estación pluviométrica, los caudales medios mensuales obtenidos y la varianza asociada a los datos. Se analizó la varianza de todos los datos (Tabla 33), indicando que existe una

variación significativa entre ellos; como es de esperarse, esta varianza es mayor entre meses que dentro de los datos de un mismo mes. Por último, para identificar donde existe la mayor varianza, se analizó la varianza entre pares de meses; los resultados son presentados en la Tabla 34.

Tabla 32. Caudales medios mensuales y su varianza para la cuenca del río Risopatrón.

Mes	Datos	Promedio	Varianza
Enero	30	41,90	73,58
Febrero	30	21,31	5,32
Marzo	31	15,08	10,76
Abril	29	16,68	48,09
Mayo	30	28,04	11,39
Junio	30	28,74	31,54
Julio	29	47,76	23,43
Agosto	28	39,74	354,68
Septiembre	30	26,12	1,34
Octubre	32	39,35	48,17
Noviembre	29	42,77	84,11
Diciembre	31	36,21	21,06

Tabla 33. ANOVA caudales medios mensuales en la cuenca del río Risopatrón.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor P	Valor crítico para F
Entre grupos	38.397,87	11	3.490,71	60,69	$5,32 \cdot 10^{-74}$	1,81
Dentro de los grupos	19.955,89	347	57,50			
Total	58.353,77	358				

Tabla 34. ANOVA entre pares de meses en la cuenca del río Risopatrón.

	Valor P	Diferencia significativa
Enero-Febrero	$2,203 \cdot 10^{-18}$	Sí
Febrero-Marzo	$6,340 \cdot 10^{-12}$	Sí
Marzo-Abril	0,252	No
Abril-Mayo	$5,888 \cdot 10^{-11}$	Sí
Mayo-Junio	0,557	No
Junio-Julio	$5,677 \cdot 10^{-20}$	Sí
Julio-Agosto	0,030	Sí
Agosto-Sept	0,0002	Sí
Sept.-Oct.	$6,737 \cdot 10^{-15}$	Sí
Oct.-Nov.	0,104	No
Nov.-Dic.	0,0007	Sí
Dic.-Enero	0,001	Sí

6.2 MODELACIÓN CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS

Toda la información expuesta en este capítulo, se encuentran en el Anexo VI del archivo digital.

Se evaluaron tres métodos de ajuste entre precipitación y esorrentía para las cuencas de interés:

1. El primero considera el caudal diario (observado) y la precipitación total diaria de todos los días de registro.
2. El segundo considera sólo los días con eventos de precipitación. Se evaluó por un lado la precipitación y el caudal de los días en que ocurrieron eventos de precipitación (relación Pd-Qd); y por otro lado se evaluaron los caudales efectivos asociados a los eventos de precipitación (relación Pd-Qe). Se definió como caudal efectivo al caudal observado menos el caudal del día anterior al inicio del evento de tormenta. En ambos casos se seleccionaron eventos de a lo menos tres días, con el objetivo de correlacionar correctamente la influencia de la precipitación en el régimen de caudales, y garantizar la predominancia de las precipitaciones como factor explicativo. Del análisis se tiene que eventos de precipitación de un día, menores a 3.5 mm no tienen incidencia en el caudal medio diario.
3. El tercer método considera la máxima precipitación diaria en un evento de tormenta y el caudal máximo asociado a ese evento (Px-Qx). Esta alternativa sólo se presenta referencialmente y no como herramienta de cálculo por la escasa cantidad de datos útiles para realizar análisis

6.2.1 CUENCA RÍO CORRENTOSO

a) Caudal diario respecto a precipitación diaria.

Se graficó la precipitación media diaria con los caudales medios, como se muestra en la Figura 49.

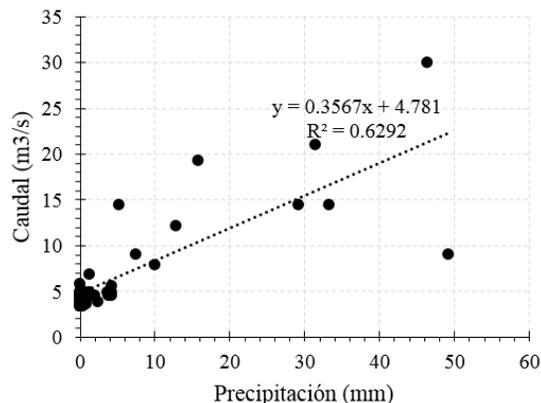


Figura 49. Relación entre caudal diario y precipitación en cuenca del río Correntoso.

b) Caudal diario de crecida respecto a precipitación diaria.

La Figura 50.a indica la relación entre precipitación diaria con los caudales diarios por evento, y la Figura 50.b indica la precipitación diaria con los caudales efectivos generados por el evento de lluvia, esto es, disminuidos con el caudal al inicio de la crecida.

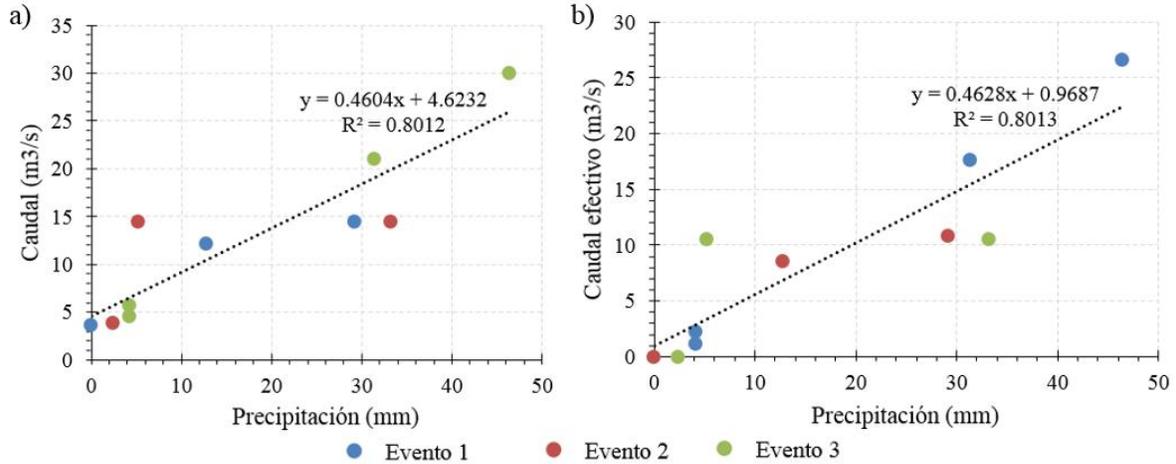


Figura 50. (a) Relación entre la precipitación diaria y caudal diario debido a eventos de precipitación, (b) Relación entre precipitación y caudal efectivo debido a eventos de precipitación, en la cuenca del río Correntoso.

c) Caudal máximo respecto a precipitación máxima diaria registrada durante el evento (de tres días o más).

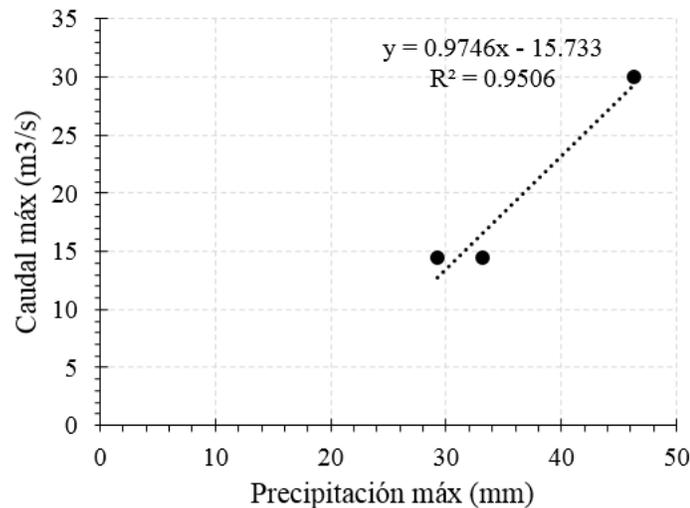


Figura 51. Relación entre precipitación máxima de un evento de lluvia y caudal máximo generado, en cuenca del río Correntoso.

6.2.2 CUENCA RÍO MELIMOYU

a) Caudal diario respecto a precipitación diaria.

Se graficó la precipitación media diaria con los caudales medios, como se muestra en la Figura 52.

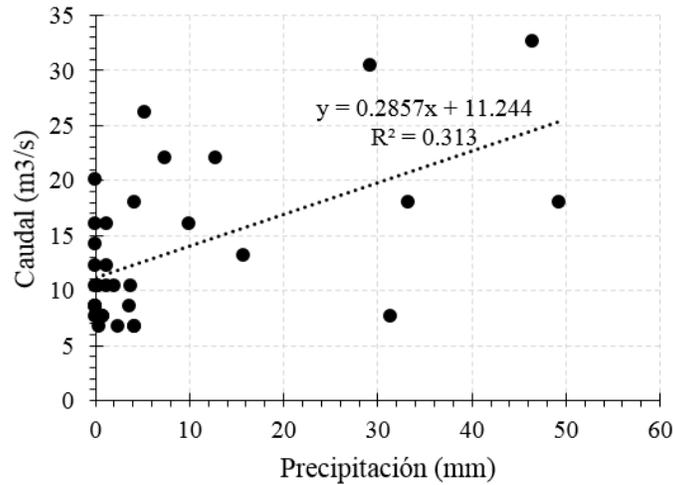


Figura 52. Relación entre caudal diario y precipitación en cuenca del río Melimoyu.

b) Caudal diario de crecida respecto a precipitación diaria.

La Figura 50.a indica la relación entre precipitación diaria con los caudales diarios por evento, y la Figura 53.b indica la precipitación diaria con los caudales efectivos generados por el evento de lluvia, esto es, disminuidos con el caudal al inicio de la crecida.

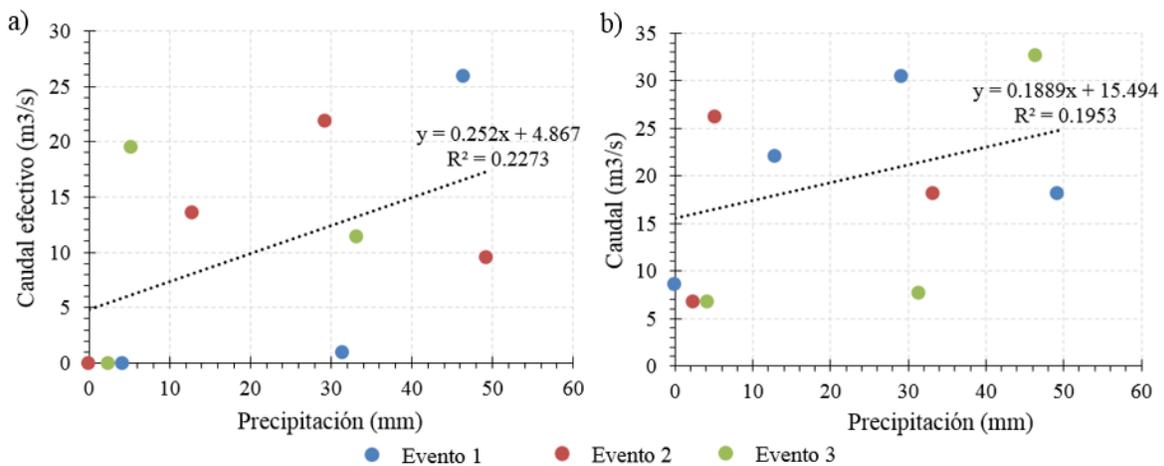


Figura 53. (a) Relación entre la precipitación diaria y caudal diario debido a eventos de precipitación, (b) Relación entre precipitación y caudal efectivo debido a eventos de precipitación, en la cuenca del río Melimoyu.

c) Caudal máximo respecto a precipitación máxima diaria registrada durante el evento (de tres días o más).

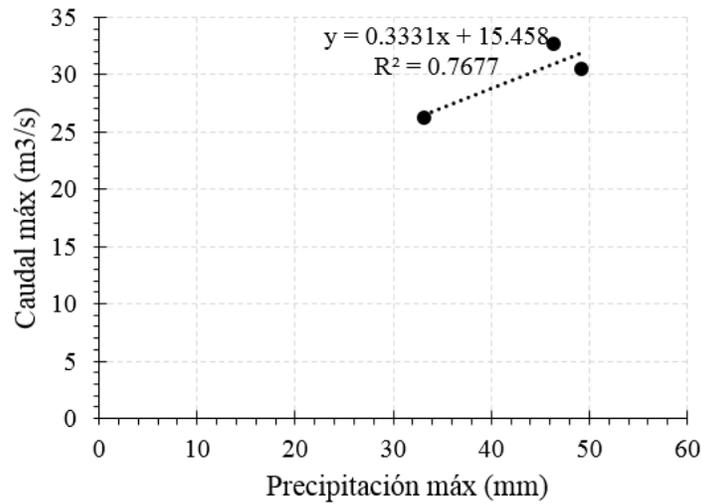


Figura 54. Relación entre precipitación máxima de un evento de lluvia y caudal máximo generado, en cuenca del río Melimoyu.

6.2.3 CUENCA DESAGÜE LAGO RISOPATRÓN

Del análisis de los datos se tiene que la respuesta del Lago Risopatrón está desfasada en un día a eventos de precipitación. El posterior análisis considera este hecho.

a) Caudal diario respecto a precipitación diaria.

Se graficó la precipitación media diaria con los caudales medios, como se muestra en la Figura 55.

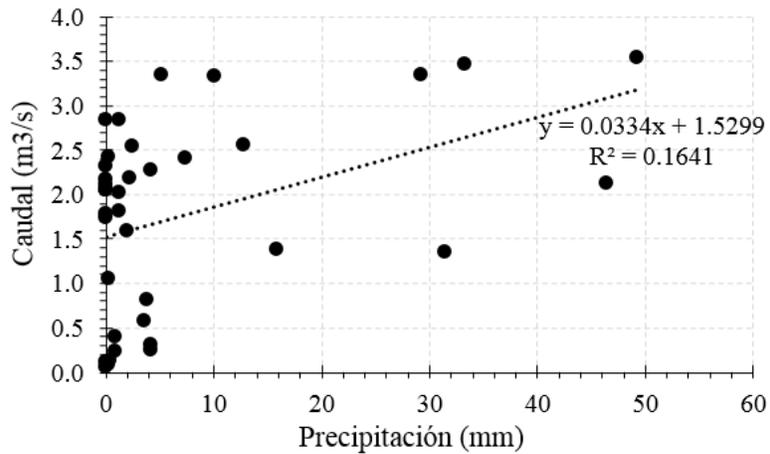


Figura 55. Relación entre caudal diario y precipitación en cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.

b) Caudal diario de crecida respecto a precipitación diaria.

La Figura 56.a indica la relación entre precipitación diaria con los caudales diarios por evento, y la Figura 56.b indica la precipitación diaria con los caudales efectivos generados por el evento de lluvia, esto es, disminuidos con el caudal al inicio de la crecida.

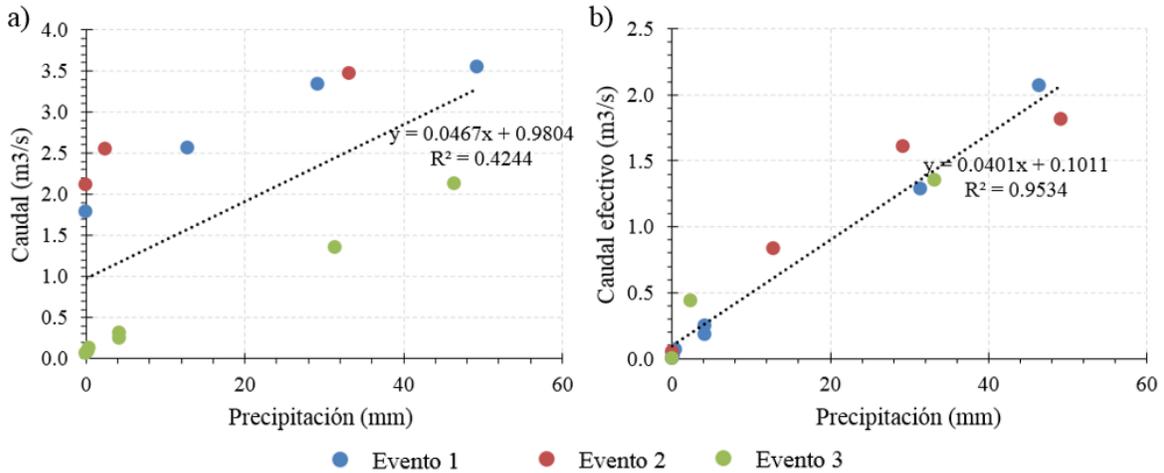


Figura 56. (a) Relación entre la precipitación diaria y caudal diario debido a eventos de precipitación, (b) Relación entre precipitación y caudal efectivo debido a eventos de precipitación, en la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.

c) Caudal máximo respecto a precipitación máxima diaria registrada durante el evento (de tres días o más).

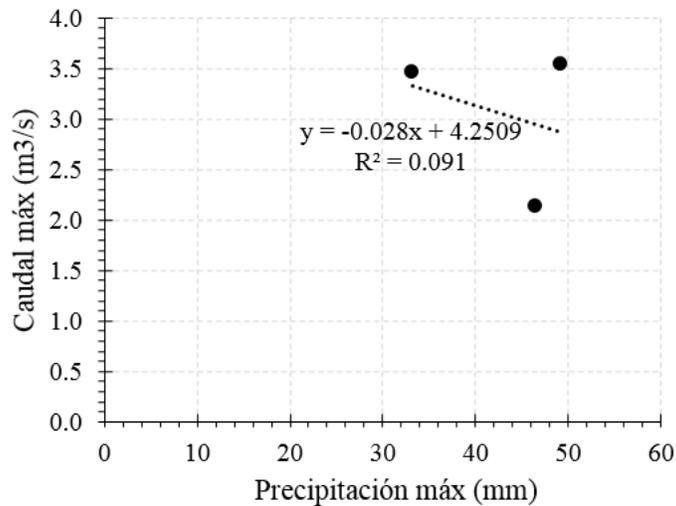


Figura 57. Relación entre precipitación máxima de un evento de lluvia y caudal máximo generado, en cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.

6.2.4 CUENCA RÍO RISOPATRÓN

a) Caudal diario respecto a precipitación diaria.

Se graficó la precipitación media diaria con los caudales medios, como se muestra en la Figura 58.

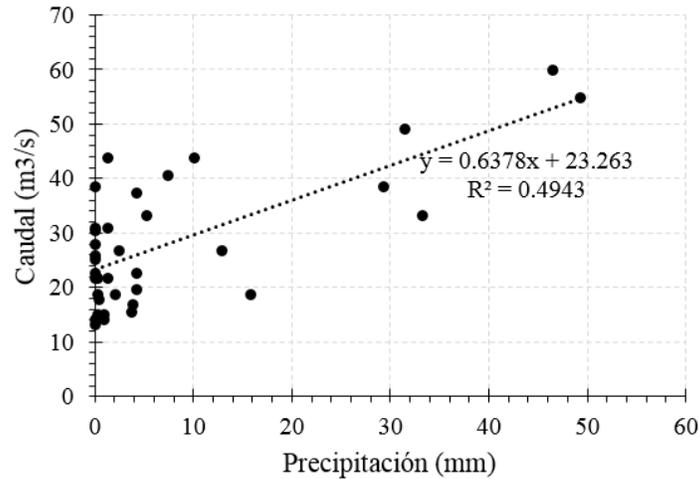


Figura 58. Relación entre caudal diario y precipitación en cuenca del río Risopatrón.

b) Caudal diario de crecida respecto a precipitación diaria.

La Figura 59.a indica la relación entre precipitación diaria con los caudales diarios por evento, y la Figura 59.b indica la precipitación diaria con los caudales efectivos generados por el evento de lluvia, esto es, disminuidos con el caudal al inicio de la crecida.

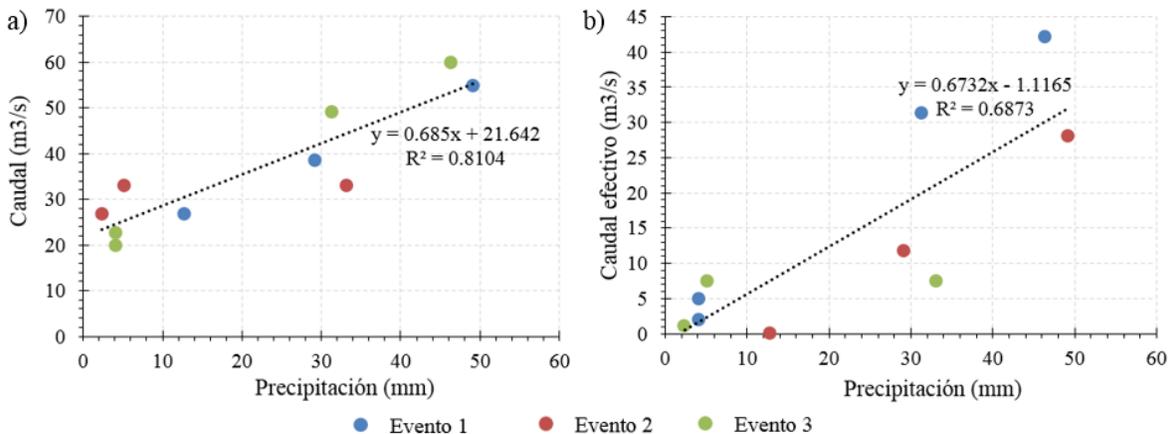


Figura 59. (a) Relación entre la precipitación diaria y caudal diario debido a eventos de precipitación, (b) Relación entre precipitación y caudal efectivo debido a eventos de precipitación, en la cuenca del río Risopatrón.

b) Caudal máximo respecto a precipitación máxima diaria registrada durante el evento (de tres días o más).

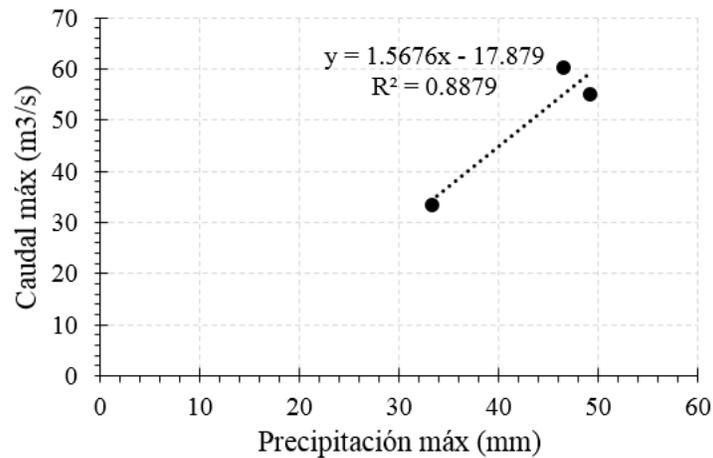


Figura 60. Relación entre precipitación máxima de un evento de lluvia y caudal máximo generado, en cuenca del río Risopatrón.

Toda la información expuesta en este capítulo, se encuentran en el Anexo III del archivo digital.

6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Respecto a los caudales mensuales, la ecuación que caracteriza la producción de escurrimiento en la cuenca del Palena tiene un buen ajuste para todos los meses ($R^2 > 0.85$). Esta ecuación fue evaluada sobre los datos medidos en la campaña de terreno con resultados disímiles para septiembre y octubre, como se muestra en Tabla 35. Este resultado se debe en parte a la variabilidad intrínseca de los caudales generados en cuencas pequeñas, debido a la ausencia de un único factor explicativo del régimen de caudales que ellas presentan, y adicionalmente a que el registro no abarca los meses completos.

Tabla 35. Comparación de caudales medidos con observados en cuenca de río Correntoso.

	Precipitación medida (mm)	Caudal (m³/s)	
		Observado	Estimado
Septiembre (20días)	130	7.72	16.1
Octubre (18días)	143.4	7.18	8.8

A pesar de esto, lo más adecuado es modelar con la información disponible de todas las cuencas, ya que todas tienen distintos regímenes de caudales; Tigre en la frontera es nival, Palena en la frontera es nivo-pluvial y Palena bajo Rosselot es pluvio-nival.

Incorporar las diferentes cuencas garantiza incluir en la modelación los distintos procesos de producción de escorrentía presentes en la cuenca del Palena. Por el contrario, si se hubiese utilizado sólo los datos de las cuencas de Palena y Tigre, ambos en la frontera, habría predominado la producción nival en la ecuación.

De acuerdo a esto, se recomienda implementar una estación en el desagüe de la cuenca del Palena. De esta manera, teniendo datos en el cierre de la cuenca, se podría estimar el caudal específico generado en la superficie pluvial de la cuenca, como la resta de dichos caudales y los datos en la estación Palena bajo Rosselot. En consecuencia, se podría estimar adecuadamente el comportamiento de subcuencas, como lo son las cuencas de interés estudiadas en este proyecto.

Fue posible modelar caudales diarios en las cuencas de interés, debido a la disponibilidad de datos diarios de caudal en las estaciones instaladas y sub-horarios de precipitación en las orillas del Lago Risopatrón, generados en este mismo estudio. Si bien el procedimiento de cálculo arrojó buenos resultados, los valores estimados no corresponden necesariamente a máximos instantáneos, sino que al valor observado por una persona en un momento particular de cada día de registro. Para tener un modelo predictivo de caudales máximos instantáneos más refinados se recomienda generar registros continuos de caudal y precipitación en las cuencas de interés y desarrollar un enfoque similar al presentado en este informe. Esto permitiría estimar con exactitud el tiempo de viaje en la cuenca, y con esto evaluar la respuesta de ella.

6.4. COMPARACIÓN CON OTROS MÉTODOS

Con la potencia y rapidez de los sistemas informáticos modernos, con los avances de la investigación matemática, sobre todo con el dominio de la estadística y de la investigación operacional, los modelos matemáticos han llegado a ser una herramienta esencial para la administración de los recursos hídricos.

El concepto modelo se define como la representación simplificada de un sistema complejo, ya sea bajo una forma física o matemática, en la cual las respuestas originadas por una serie de solicitudes externas son difícilmente previsibles a causa precisamente de un gran número de factores explicativos. El grado de conocimiento de los datos de entrada para la modelación da cuenta del índice de fiabilidad de la respuesta y de la capacidad de predicción del modelo.

Dentro de este contexto, el conocimiento de las relaciones precipitación-escorrentía se fundamenta principalmente en la extensa literatura que existe, donde los resultados arrojados por los diferentes estudios encontrados en la literatura, distan mucho unos de otros (Pizarro y Torres, 1998). Estas diferencias nacen debido a la existencia de diversos tipos de modelos matemáticos que se enfocan en resolver principalmente uno

que otro proceso, y dan origen a los modelos directos (determinísticos, físicos o estocásticos), o modelos indirectos, de relaciones más complejas (empíricos, simulación).

Visto desde otro enfoque, los modelos matemáticos utilizados en la evaluación de recursos hídricos son de tres tipos: agregados, distribuidos y cuasi-distribuidos. Cada uno de ellos tiene su propia particularidad; los primeros, son aquellos que consideran la cuenca en forma global, es decir, a nivel macro. Los segundos, son modelos que todavía están siendo utilizados en el ámbito de investigación y éstos se caracterizan porque discretizan la cuenca en celdas homogéneas (a nivel micro), asumiendo una variabilidad espacial de las variables de entrada y salida, y de los parámetros considerados. Por último, se encuentran los modelos intermedios a los dos anteriores, los cuasi-distribuidos, que en esencia, resultan de combinar un modelo agregado muchas veces, tantas como subcuencas se divida la zona de estudio.

El modelo que se llevó a cabo es de tipo directo y agregado, debido a que modela a partir de la información disponible en la cuenca, e incorpora todos los datos disponibles simultáneamente.

En general, todos los modelos que representan relaciones precipitación-escorrentía en un contexto físico, en su formulación matemática, limitan que la precipitación sea mayor que la escorrentía. Estos modelos presentan las expresiones matemáticas, expuestas en la Tabla 36

Tabla 36. Modelos hidrológicos comúnmente utilizados.

Modelo	Ecuación	Restricción
Budyko	$Q=P*\exp(-ETP/P)$	
Coutagne	$Q=(P-E)*S/31536000$	
Grunsky	$Q=(0.4*P^2)*S/31536000$	$P \leq 1.25m$
	$Q=(P-Emáx)*S/31536000$	$P > 1.25m$
Peñuelas	$Q=(0.5*P^2)*S/31536000$	$P \leq 1.00m$
	$Q=(P-Emáx)*S/31536000$	$P > 1.00m$
Pizarro	$Q=P*(1-\exp(-P/ETP))$	
Turc	$Q=(P-E)*S/31536000$	
Turc-Pike	$Q=P-(P/(1+(P/ETP)^2)^{0.5})$	

El estudio de estos modelos en Chile, se justifica por que han sido propuestos y aplicados en algunos casos, en especial los modelos de Coutagne, Grunsky, Peñuelas y Turc, e incluso la Ley de riego los ha recomendado. Sin embargo, las particulares características de la cuenca requieren el diseño de un modelo propio para ella, o de otra forma, se debiesen recalcular los coeficientes de las ecuaciones, debido a que en su mayoría fueron diseñados y calibrados para otras condiciones. A esto se suma la ausencia de información meteorológica y fluviométrica en la cuenca limita su uso.

7. BASE DE DATOS SIG

Toda la información recopilada y levantada en terreno ha sido sistematizada e implementada de forma ordenada en un sistema de información geográfico SIG para ser utilizada en el software ArcGIS 10.x o superior.

El modelo SIG contiene las siguientes capas:

- Modelo de elevación digital a partir del cual se definió la cuenca.
- Red hidrográfica de la cuenca, indicando los nombres de cada uno de los ríos principales.
- Cuenca del río Palena delimitada así como también las subcuencas de interés y las subcuencas asociadas a estaciones fluviométricas, con sus respectivos modelos de elevación digital.
- Además, para la cuenca y las subcuencas, se identifica el punto de cierre y se indican los parámetros morfométricos que la caracterizan (área, pendiente media, elevación mínima, máxima y promedio). En el caso de cuencas asociadas a estaciones fluviométricas, se indican sus coordenadas, altitud, vigencia, tipos de datos disponibles y periodos asociados a ellos. La misma información se encuentra disponible para las estaciones meteorológicas.
- Puntos donde se realizaron los aforos, indicando cuando fueron realizados y la curva de descarga obtenida.
- Levantamiento batimétrico del Lago Risopatrón.
- Y por último, también se encuentran disponibles las fotos tomadas en las campañas a terreno.

La información indicada se encuentra disponible en forma de metadatos, y considera como sistema de referencia el sistema de coordenadas UTM según Datum WGS84.

8. CONCLUSIONES

Conforme a lo dispuesto en la propuesta técnica, correspondiente a la licitación "Análisis y modelación hidrológica de la cuenca del río Palena", se han analizado los antecedentes y se han modelados las cuencas de los ríos Correntoso, Melimoyu y Risopatrón, en las proximidades del desagüe del lago Risopatrón y en el sector ante junta con río Palena, a escala diaria y mensual.

Respecto a la recopilación y análisis de antecedentes, se revisó y sistematizó la información existente de la región y de las cuencas de interés, concentrada en diversos servicios públicos a nivel central y regional, por ejemplo: Dirección de Obras Hidráulicas, Dirección General de Aguas, Servicio de Evaluación Ambiental, Gobernación Provincial, Intendencia Región de Aysén, Empresas de energía de la región, entre otros. Para todos los antecedentes revisados, se generó una ficha resumen que permite evaluar rápidamente su relevancia para este (u otro) estudio. Se consideró la información disponible de todas las estaciones pluviométricas (Bordalít, La Junta, Marin Balmaceda, Palena, Valle río Frío, Lago Verde y Puerto Puyuhuapi) y fluviométricas (DGA: Río Tigre en la Frontera, Río Palena bajo junta Rosselot, Palena en la frontera; ENDESA: Palena en la frontera, Río Tigre en la frontera) presentes en la cuenca.

A partir de modelos de elevación digital (ASTER DEM de 30 m. de resolución), se delimitaron tanto las cuencas de interés como las subcuencas asociadas a estaciones fluviométricas. Para ellas, se estimaron los parámetros morfométricos que las caracterizan.

De acuerdo a la información disponible, se modelaron las cuencas de interés a escala mensual y diaria. Respecto a la modelación mensual, se determinó una ecuación que caracteriza los fenómenos gobernantes de la producción de escorrentía en la cuenca del río Palena, con un buen ajuste para el promedio de los datos, todos los meses ($R^2 > 0.99$). Dicha ecuación fue aplicada para cada una de las cuencas de interés, obtenido los caudales medios mensuales para ellas. Se observó que no estima adecuadamente el fenómeno en cuencas de interés (menores). A pesar de esto, se debía modelar con la información disponible de todas las cuencas, ya que todas tienen distintos regímenes de caudales e incorporar las diferentes cuencas garantiza incluir en la modelación los distintos procesos de producción de escorrentía presentes en la cuenca del Palena.

De acuerdo a los resultados a nivel mensual, se recomienda implementar una estación fluviométrica en el desagüe de la cuenca del Palena. De esta manera, teniendo datos en el cierre de la cuenca, se podría estimar el caudal específico generado en la superficie pluvial de la cuenca, como la resta de dichos caudales y los datos en la estación Palena bajo Rosselot. En consecuencia, se podría estimar adecuadamente el

comportamiento de subcuencas, como lo son las cuencas de interés estudiadas en este proyecto.

Respecto a la modelación de caudales máximos instantáneos, debido a la alta correlación de los peaks de caudal con los peaks de lluvia, se modeló la respuesta de la cuenca ante eventos de precipitación. Para esto, se evaluaron tres métodos:

(1) precipitación media diaria respecto a caudal medio diario en un evento (Pd-Qd),
(2) precipitación media diaria respecto a caudal efectivo diario en un evento (Pd-Qe),
(3) precipitación máxima del evento de lluvia respecto a caudal máximo de la crecida (Px-Qx). Para Correntoso, los dos primeros métodos se ajustaron correctamente ($R^2=0.8$), para Melimoyu fue el método Pd-Qe ($R^2=0.22$), para Risopatrón fue el Pd-Qd, y por último para el desagüe del Lago Risopatrón fue el Pd-Qe ($R^2=0.95$).

De este estudio se generaron los siguientes productos:

- Cinco estaciones limnimétricas instaladas, georreferenciadas, y con su primera curva de descarga en la cuatro cuencas de interés.
- Batimetría Lago Risopatrón.
- Ecuación gobernante de la producción de escurrimiento mensual para toda la cuenca, implementada en una planilla Excel.
- Ecuación gobernante de la producción de escurrimiento diario en las cuencas de interés.
- Plataforma SIG con toda la información recopilada y generada.

9. RECOMENDACIONES

Conforme a lo observado en el desarrollo del informe, se identifican recomendaciones prioritarias y secundarias, todas ellas condiciones mínimas para la caracterización del cuenca del río Palena basada en datos reales.

Algunas recomendaciones prioritarias:

- Mantener vigentes las estaciones fluviométricas con mayor información disponible, Palena en la frontera y Tigre en la frontera. Principalmente Palena en la frontera, debido a que: (1) refleja la hidrología de la parte alta de la cuenca y, (2) da cuenta de la extracción y usos que se le dan al recurso hídrico en el territorio Argentino (es una cuenca binacional).
- Instalar una estación en la desembocadura del río Palena.

Ambas recomendaciones responden a que para estudiar regímenes de caudales requiere además de información agrupada (es decir, ubicaciones representativas que congregan información de subcuencas), también calidad de información, evaluada únicamente a través de bases de datos extensas. Tener una estación en el cierre de la cuenca del río Palena permitirá, además de conocer la disponibilidad de caudal general en la cuenca, desagregar la información. Esto es, restando la disponibilidad de caudales en otra estación permitirá caracterizar otras subcuencas aguas abajo, por ejemplo, restando la estación río Palena bajo junta río Rosselot, permitirá caracterizar la parte baja de la cuenca.

Algunas recomendaciones secundarias:

- Instalar una estación aguas arriba de la estación Palena bajo junta río Rosselot, ya sea en el río Palena o en el río Rosselot, esto permitirá desagregar la información de este importante tributario.
- Si se instala una estación fluviométrica en desembocadura, esta debería tener registros continuos. Basados en la caracterización ya realizada, se pueden hacer algunas suposiciones para modelar la cuenca a otras escalas de tiempo.
- Medir otros tipos de variables en las estaciones pluviométricas disponibles, velocidad del viento, temperatura, entre otros; esto permitirá caracterizar el manto nivoso.

Se recomienda actualizar el balance hidrológico regional porque existe más información disponible, tanto en extensión como en número de estaciones a pesar que aún no es suficiente para modelar correctamente cuencas pequeñas debido a la generalización de las relaciones, esto es, datos ampliamente distribuidos no pueden caracterizar condiciones sitio-específicas. Se sugiere validar los caudales estimados (a partir de interpolación de isolíneas) en cuencas sin información fluviométrica con la ecuación propuesta en este estudio, debido al buen ajuste que tiene a la información disponible.

ANEXO 1: FICHAS RESUMEN DE LOS ANTECEDENTES REVISADOS



ANÁLISIS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL RÍO PALENA, REGIÓN DE AYSÉN ESTUDIOS REVISADOS



TIPO DE DOCUMENTO	ESTUDIO
TÍTULO	Balance Hídrico Nacional (1988)
AUTOR	Dirección General de Aguas (DGA)
AUTOR CORPORATIVO	Dirección General de Aguas (DGA)
FUNTE PUBLICACIÓN	Catálogo Bibliográfico de la Dirección General de Aguas (DGA)
REGIÓN	
PROVINCIA	
CUENCA	
ÁREA DE ESTUDIO	Territorio chileno
RESUMEN	
<p>Este estudio generó información necesaria para el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO, que buscaba realizar el balance hídrico mundial. A través del análisis crítico de las redes hidrométricas se estudió el diseño de los diferentes elementos que conforman el sistema hidrométrico nacional, se consideraron mediciones de caudales, de acumulación nival, de calidad de aguas y sedimentos, de niveles de pozos y de distintas variables hidrometeorológicas, glaciológicas y limnológicas.</p>	
INFORMACIÓN RELEVANTE PARA EL ESTUDIO DEL RÍO PALENA	<p>Del desarrollo de este informe se desprende el estudio: Balance Hídrico Nacional para la X y XI regiones, realizado por Edwards G e Ingenieros (REG), entre otros estudios detallados para diferentes regiones del país.</p> <p><u>Balance hídrico:</u> Se consideraron como componentes de la ecuación: precipitaciones, caudales superficiales y subterráneos, evaporación desde superficies de agua libre y evapotranspiración real. El periodo de análisis corresponde al periodo comprendido entre los años 1951-198.</p> <p><u>Precipitaciones:</u> A las estadísticas pluviométricas existentes se les realizó análisis de consistencia, correcciones cuando era necesario, y extensión estadística para que se tuviera información completa en el periodo. La distribución latitudinal de precipitaciones entrega un mínimo en las proximidades de los 25°30' de Lat., valores prácticamente nulos en la costa y del orden de los 100 mm en la Cordillera de los Andes. El máximo se registra a los 47° Lat. con 7000 mm/año.</p> <p><u>Caudales:</u> La estadísticas hidrométricas fueron procesadas en forma equivalente a las de precipitación. Se observa un amplio rango de variación para una misma latitud, debido al mayor rendimiento que tienen las cuencas de alta montaña respecto a los valles, a los efectos locales debido a la compleja orografía del país y en el carácter trasandino de algunas cuencas de la Zona Austral.</p> <p><u>Temperaturas:</u> Considerando la variabilidad interanual que presentan las temperaturas, no fue necesario elaborar una estadística de longitud similar a la del periodo de estudio. Se generaron isolinéas en escala 1:1.000.000. Las variaciones de la temperaturas con la altitud, muestran una diferencia de 12°C entre el extremo norte (18° Lat.) y el extremo sur (56° Lat.).</p> <p><u>Evaporación:</u> Se utilizaron las estadísticas de evaporación controladas en tanques evaporimétricos. Se generaron isolinéas en escala 1:1.000.000. Las máximas se observan en el Desierto de Atacama, con valores del orden de 3000mm/año, y hacia el sur existe una tendencia descendente, hasta alcanzar en Punta Arenas un valor de 650 mm/año.</p>



**ANÁLISIS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
DEL RÍO PALENA, REGIÓN DE AYSÉN
ESTUDIOS REVISADOS**



TIPO DE DOCUMENTO	ESTUDIO
TÍTULO	La Economía del Cambio Climático en Chile (2012)
AUTOR	Centro de Cambio Global, Pontificia Universidad Católica, y colaboradores
AUTOR CORPORATIVO	CEPAL y Ministerio de Medio Ambiente de Chile
FUNTE PUBLICACIÓN	Catálogo Bibliográfico de la Dirección General de Aguas (DGA)
REGIÓN	
PROVINCIA	
CUENCA	
ÁREA DE ESTUDIO	Territorio Chileno

RESUMEN

El presente informe se enmarca en un esfuerzo del Gobierno de Chile y la CEPAL para contribuir a la disminución del fenómeno de calentamiento global y a la protección de la naturaleza. En este sentido, se entiende que el aumento de la temperatura, la conservación del medio ambiente y el desarrollo energético, tienen hoy una relación explícita. El objetivo de la investigación es analizar el efecto económico que puede tener el cambio climático en Chile para un horizonte de 100 años. Particularmente, se evalúan los impactos potenciales del cambio climático, se estudian las opciones de adaptación, se analizan las proyecciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y las opciones de mitigación para el país. Los resultados son obtenidos con base en dos escenarios de emisión de GEI hasta el año 2100. El primer escenario (A2) plantea un uso intensivo de combustibles fósiles, que producen un aumento de concentraciones de GEI en la atmósfera con valores muy superiores a los actuales, mientras que en el segundo escenario (B2) habría una menor concentración de GEI, y por ende, un menor nivel de impacto asociado al calentamiento global.

INFORMACIÓN RELEVANTE PARA EL ESTUDIO DEL RÍO PALENA

El estudio presenta mapas e información desglosada de variaciones en temperatura, precipitaciones y escorrentía superficial, la cual puede ser relevante para el desarrollo del proyecto.

Precipitaciones: Se estimó para las zonas de estudio, con base en el escenario A2, una disminución de entre 5 y 10% para los dos primeros periodos (2010 - 2039 y 2040 - 2069) de análisis, y entre un 10 y 20% para el periodo final. Según el escenario B2, la zona de estudio pertenecería a una zona de transición en la variación de precipitaciones, razón por la cual no se espera que haya grandes cambios con respecto a la situación actual.

Caudales: Consecuentemente del análisis precipitaciones, en términos generales no se observa una tendencia clara en la variación de caudales para la zona de estudio, pues esta corresponde a una zona de transición, donde es esperada una disminución de caudales entre los paralelos 30°S y 42°S en conjunto de una disminución importante en el hielo acumulado en los glaciares, situación contraria a la estimada para el extremo sur del país.

Modelación: Los impactos se han evaluado sobre la base de proyecciones climáticas, temperatura y precipitación, tomadas de los resultados del modelo de clima global de la Oficina Meteorológica de Inglaterra (modelo HadCM3), considerando dos escenarios de emisión de GEI, severo y el más leve.

Uso de suelos: No hay proyecciones para la zona de estudio, sin embargo, considerando la región de Los Lagos como la más cercana se tienen las siguientes variaciones para el segundo y tercer periodo respectivamente: cultivos, aumento de 2.2 y 2.9 veces, frutales, aumento de 1.5 veces en promedio, praderas naturales, disminución de un 10% en promedio, forestales, aumento de 1.13 y 1.35 respectivamente para cada periodo.



ANÁLISIS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL RÍO PALENA, REGIÓN DE AYSÉN ESTUDIOS REVISADOS



TIPO DE DOCUMENTO	ESTUDIO
TÍTULO	Análisis de Vulnerabilidad del Sector Silvoagropecuario, Recursos Hídricos y Edáficos de Chile frente a Escenarios de Cambio Climático (2008)
AUTOR	AGRIMED, Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile
AUTOR CORPORATIVO	Comisión de Nacional de Medio Ambiente, Ministerio de Agricultura
FUNTE PUBLICACIÓN	SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental
REGIÓN	
PROVINCIA	
CUENCA	
ÁREA DE ESTUDIO	Territorio Chileno
RESUMEN	
<p>El estudio busca proveer información necesaria para comprender los alcances del cambio climático en términos de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario para mediados del presente siglo (2040 - 2070), con base a dos escenarios previstos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). A2 corresponde al escenario donde se tiene un aumento de gases de efecto invernadero (GEI) el cual se acelera a fines de siglo, mientras que en el escenario B2 los GEI aumentan de forma sostenida, pero no muy acentuadamente.</p>	
INFORMACIÓN RELEVANTE PARA EL ESTUDIO DEL RÍO PALENA	<p>Para analizar la vulnerabilidad es necesario analizar distintos factores climáticos, pues dentro de los fenómenos naturales que más amenazan la producción agrícola se encuentran las sequías, las heladas y los cambios climáticos.</p> <p><u>Precipitaciones:</u> Se consideró una malla agroclimática digital con puntos equidistantes cada 2 a 5 minutos en latitud y longitud (Santibáñez, 1990). Cada punto contiene información sobre temperaturas, precipitación, radiación solar, evapotranspiración, humedad relativa y heladas a nivel mensual. Estos datos están basados en promedios de registros de entre 10 y 30 años.</p> <p><u>Evapotranspiración:</u> La evapotranspiración es evaluada para los cultivos de interés agrícola con base a datos actuales y la proyección de la evapotranspiración real para el año 2040 bajo el escenario A2.</p> <p><u>Modelación:</u> Se generaron escenarios aplicando el modelo de circulación global de la atmósfera y océanos HADCM3 y el modelo de downscaling PRECIS, el cual permitió obtener información con resolución espacial de 25 por 25 kilómetros para todo el territorio chileno. Se elaboraron tres escenarios: línea base, que comprende el período entre los años 1960 y 1990; A2 (escenario severo) y B2 (escenario moderado), ambos para el período 2071 a 2100. Para evaluar el comportamiento de los cultivos frente a las variaciones del clima, se utilizó el modelo SIMPROC (Simulador de la Productividad de Cultivos, desarrollado por el centro AGRIMED). El modelo simula el crecimiento y producción de los cultivos, integrando los principales procesos eco-fisiológicos y su regulación climática.</p>



ANÁLISIS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL RÍO PALENA, REGIÓN DE AYSÉN ESTUDIOS REVISADOS



TIPO DE DOCUMENTO	MANUAL
TÍTULO	Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos (2008)
AUTOR	AGRIMED, Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile
AUTOR CORPORATIVO	Dirección General de Aguas (DGA)
FUNTE PUBLICACIÓN	Catálogo Bibliográfico de la Dirección General de Aguas (DGA)
REGIÓN	
PROVINCIA	
CUENCA	
ÁREA DE ESTUDIO	Territorio Chileno
RESUMEN	
<p>Este manual busca: (1) mantener actualizados los criterios que utiliza la Dirección General de Aguas en el ámbito de la Administración de Recursos Hídricos, debido a las modificaciones introducidas al Código de Aguas en la Ley 20.017 de 2005 y 20.099 de 2006, y (2) mejorar la capacidad de respuesta de la Dirección General de Aguas, frente al tratamiento de los problemas relacionados con la Administración de Recursos Hídricos, con el objetivo de responder adecuadamente a las solicitudes y requerimientos de la población.</p>	
INFORMACIÓN RELEVANTE PARA EL ESTUDIO DEL RÍO PALENA	<p>En el documento se exponen generalidades del contexto que insta la generación de este tipo de manuales, se detallan procedimientos de gestión y responsabilidades involucradas, organización de labores y manejo de la información, como también el procedimiento general de tramitación de solicitudes. Respecto a aguas superficiales, explica cómo se constituye un derecho de aprovechamiento y cómo se puede trasladar el ejercicio de estos derechos. Respecto a aguas subterráneas, explica cómo se constituye un derecho de aprovechamiento, cómo se puede cambiar un punto de captación, normativa respecto a exploraciones y limitaciones de éstas.</p> <p>En otros capítulos se detalla información respecto a: regularización de derechos de aprovechamiento, remates de derechos de agua y exploraciones, aprobación de proyectos, solicitudes varias, organizaciones de usuarios y pago de patentes por no uso.</p> <p>No existe información relevante respecto a los objetivos del estudio en curso.</p>



ANÁLISIS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL RÍO PALENA, REGIÓN DE AYSÉN ESTUDIOS REVISADOS



TIPO DE DOCUMENTO	MEMORIA DE TÍTULO
TÍTULO	Análisis de los efectos de los cambios climáticos globales sobre regímenes de caudales en las cuencas andinas de Chile (2007)
AUTOR	Sebastián Eduardo Molina Flores
AUTOR CORPORATIVO	Universidad de Chile
FUNTE PUBLICACIÓN	Base de datos de tesis de la Universidad de Chile (tesis.uchile.cl)
REGIÓN	De la IV a la VIII regiones.
PROVINCIA	
CUENCA	De los ríos Elqui, Limarí, Choapa, Aconcagua, Maipo, Rapel, Mataquito, Maule y Biobío.
ÁREA DE ESTUDIO	De la IV a la VIII regiones.
RESUMEN	
En el trabajo fueron analizados los caudales medios mensuales de nueve cuencas entre la IV y VIII región. Las series de tiempo fueron rellenadas y corregidas, obteniéndose series de entre 40 y 65 años de extensión, y que abarcan hasta el año hidrológico 2004/05. El objetivo principal fue realizar un análisis estadístico del comportamiento de la curva de escorrentía que presentan las principales cuencas andinas de Chile central, con el fin de encontrar posibles tendencias en su comportamiento en el largo plazo, que puedan atribuirse al cambio climático global.	
INFORMACIÓN RELEVANTE PARA EL ESTUDIO DEL RÍO PALENA	<p>Si bien el presente informe no analiza las zonas en donde se encuentran las cuencas de interés para el presente proyecto. Se exponen las metodologías y fuentes para la obtención de caudales y precipitaciones.</p> <p><u>Precipitaciones:</u> Como base se consideró la tesis de Juan Quintana Arena, desarrollada para el Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile en el año 2004. En dicha tesis se llevó a cabo, entre otras cosas, un análisis estadístico de la variación de la precipitación en el período 1900-2000, para la zona geográfica comprendida entre los 30° y 54° de Latitud Sur, esto es, entre las ciudades de La Serena y Punta Arenas aproximadamente. Es decir, incluye la zona de interés para el presente proyecto y del documento en cuestión, situación por la cual sus resultados y conclusiones fueron consideradas como válidas y podrían ser una fuente de información para las cuencas de interés.</p> <p><u>Caudales:</u> Se calcularon las tendencias lineales en el largo plazo que se desprendieran de dichas series, para distintos períodos de tiempo. Además se analizó la evolución temporal de dichas tendencias, así como también las mayores tendencias decadales (de aumento y disminución de caudal) a lo largo de las series. Todos estos análisis se desarrollaron a nivel anual y estacional. Finalmente se llevó a cabo un análisis comparativo entre las tendencias en el largo plazo calculadas para las precipitaciones y las temperaturas obtenidas en estudios previos, con las calculadas para la escorrentía en este trabajo. Esto con el fin de asociar las tendencias de las tres variables con un cambio climático en la Zona Central del país. Por otra parte, en cuanto al aporte por deshielo, se tomó como base Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, en la Universidad de Chile de Pablo Marínez (1993), "Simulación de caudales de deshielo en cuencas pluvionivales: aplicación a la cuenca alta del río Mapocho", mediante un modelo programado en FORTRAN.</p> <p><u>Modelación:</u> La información detallada de las cuencas fue resumida de distintos estudios desarrollados por Cade-Idepe para el MOP en el año 2004.</p>



ANÁLISIS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL RÍO PALENA, REGIÓN DE AYSÉN ESTUDIOS REVISADOS



TIPO DE DOCUMENTO	INFORME FINAL
TÍTULO	Balance Hidrológico Nacional XI Región (1984)
AUTOR	Ricardo Edwards G - Ingenieros Consultores Asociados LTDA.
AUTOR CORPORATIVO	Dirección General de Aguas (DGA)
FUNTE PUBLICACIÓN	Catálogo Bibliográfico de la Dirección General de Aguas (DGA)
REGIÓN	Región de Aysén
PROVINCIA	
CUENCA	De los ríos Cisnes, Aysén, Baker, Bravo y Pascua, y zonas costeras.
ÁREA DE ESTUDIO	XI región
RESUMEN	
El informe busca establecer el balance hidrológico a nivel de cuenca para la XI región para el periodo 1951 - 1980, y a través de él obtener una evaluación de los principales parámetros hidrometeorológicos que intervienen en un balance (isotermas, isoyetas, evapotranspiración, entre otros)	
INFORMACIÓN RELEVANTE PARA EL ESTUDIO DEL RÍO PALENA	<p><u>Balance hídrico:</u> Se consideraron como componentes de la ecuación: precipitaciones, caudales superficiales y subterráneos, evaporación desde superficies de agua libre y evapotranspiración real. El periodo de tiempo utilizado fue el año, sin embargo fue desglosado estacionalmente en dos periodos. La escala espacial de análisis fue la cuenca.</p> <p><u>Precipitaciones:</u> A las estadísticas pluviométricas existentes se les realizó análisis de consistencia, correcciones cuando era necesario, y extensión estadística para que se tuviera información completa en el periodo. Se generaron isoyetas anuales promedio en escala 1:1.500.000.</p> <p><u>Caudales:</u> El análisis de la consistencia y homogeneización del conjunto de estadísticas registradas en las estaciones fluviométricas fue realizado a través del método de las curvas doble acumuladas (CDA). Se generaron isolíneas de escorrentía media anual (en mm) en escala 1:1.500.000.</p> <p><u>Temperatura:</u> Considerando la variabilidad interanual que presentan las temperaturas, no fue necesario elaborar una estadística de longitud similar a la del periodo de estudio. Se generaron isotermas media anuales en escala 1:1.500.000.</p> <p><u>Evapotranspiración:</u> La evapotranspiración real (ETR) se estimó mediante la fórmula de TURC (1955) debido a la escasa información disponible en la región, los cuales sólo se utilizaron como valores de referencia. Si bien la región posee la mayor superficie de lagos del país, aún así su superficie es despreciable frente al área evaporante restante, por esta razón se concentraron en estimar la ETR. Se generaron isolíneas media anuales en escala 1:1.500.000.</p>



ANÁLISIS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL RÍO PALENA, REGIÓN DE AYSÉN ESTUDIOS REVISADOS



TIPO DE DOCUMENTO	INFORME FINAL
TÍTULO	Reserva del río Palena para la conservación ambiental y el desarrollo local de la cuenca (2009)
AUTOR	División de estudios y planificación de la Dirección General de Aguas
AUTOR CORPORATIVO	Dirección General de Aguas (DGA)
FUNTE PUBLICACIÓN	Catálogo Bibliográfico de la Dirección General de Aguas (DGA)
REGIÓN	X y XI regiones
PROVINCIA	
CUENCA	
ÁREA DE ESTUDIO	X y XI regiones
RESUMEN	
El informe propone criterios técnicos y la metodología para definir el caudal de reserva con fines de conservación ambiental y desarrollo local de la cuenca del río Palena, mediante la denegación parcial de solicitudes no consuntivas debido a circunstancias excepcionales y de interés nacional.	
INFORMACIÓN RELEVANTE PARA EL ESTUDIO DEL RÍO PALENA	<p>Teniendo en consideración la baja cantidad de derechos otorgados a la fecha, las zonas protegidas en la cuenca y el potencial turístico entre otros factores, el informe propone la definición de caudales ecológicos para la cuenca, con lo cual es necesario conocer los niveles actuales de escorrentía superficial. De esta manera, fueron estudiados los datos de las estaciones presentes y extrapolación para puntos de solicitudes, precipitación y uso de suelos.</p> <p><u>Precipitaciones:</u> Se analiza que a partir de los resultados existentes para el país en cuanto a comportamiento de precipitaciones en situación de clima futuro, indican la posibilidad de un descenso de hasta un 70% de las precipitaciones para el período diciembre – febrero con un aumento de las temperaturas para el mismo período de hasta 5 grados (U. Chile, 2006). En lo que respecta a la cuenca del río Palena, el cambio descrito podría afectarla por la baja de los aportes nivales y precipitación directa, lo que implicaría un descenso de los caudales del río, afectando gravemente el equilibrio ecológico de la cuenca.</p> <p><u>Caudales:</u> Se presentan los datos vigentes y en trámite sobre derechos consuntivos y no consuntivos de la cuenca del río Palena, además de un análisis descriptivo de las consecuencias respecto a la constitución y ejercicio de las solicitudes de uso no consuntivo en la cuenca. Se muestran los datos de caudal medio, promedio mensual y rendimiento de las estaciones fluviométricas de la cuenca. En cuanto a las zonas donde no existe información, se realizaron ajustes de caudal específico y precipitación media con base en las subcuencas existentes. Con base en lo anterior se presenta la metodología y las estimaciones de caudal para los puntos de las solicitudes, además de la probabilidad de excedencia. Finalmente se presenta un procedimiento para técnico para definir el caudal de reserva en base a la ley vigente, conservación ambiental y disponibilidad de caudales para constituir derechos de aprovechamiento de aguas.</p>



**ANÁLISIS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
DEL RÍO PALENA, REGIÓN DE AYSÉN
ESTUDIOS REVISADOS**



TIPO DE DOCUMENTO	INFORME FINAL
TÍTULO	Análisis de metodología y determinación de caudales de reserva turísticos (2010)
AUTOR	Aquaterra Ingenieros Limitada
AUTOR CORPORATIVO	Ministerio de Obras Públicas (MOP) y Dirección General de Aguas (DGA)
FUNTE PUBLICACIÓN	Catálogo Bibliográfico de la Dirección General de Aguas (DGA)
REGIÓN	IV, X, XI y XII regiones.
PROVINCIA	
CUENCA	De los ríos Cochiguaz, Puelo, Futaleufú, Simpson, Baker y Serrano.
ÁREA DE ESTUDIO	IV, X, XI y XII regiones, con alcances nacionales
RESUMEN	
<p>Este informe busca analizar y determinar caudales de reserva para abastecimiento de la población en el caso de no existir otros medios para obtener el agua, además de la administración de derechos no consuntivos y usos asociados a circunstancias excepcionales y de interés nacional. Entendiendo como áreas de interés nacional a aquellas prioritarias para el desarrollo nacional y/o regional, en las cuales la dotación o suministro del recurso hídrico adquiere una importancia ya sea directa o indirecta como factor que contribuye al desarrollo de la actividad o sector.</p>	
INFORMACIÓN RELEVANTE PARA EL ESTUDIO DEL RÍO PALENA	<p>Se estudió la hidrología de los Ríos Cochiguaz, Puelo, Futaleufú, Simpson, Baker y Serrano, poniendo especial énfasis en las zonas con actividad turística aledañas. Se realizó una consulta pública acerca de los usos actuales y potenciales de los ríos en turismo, especialmente con organismos públicos, como: DGA, SERNATUR, CONAF, GORE, CORFO, CONAMA, entre otros.</p> <p><u>Precipitaciones:</u> Se recopiló información de las estaciones pluviométricas cercanas a cada una de las cuencas y estimaron precipitaciones medias mensuales para cada una de ellas.</p> <p><u>Caudales:</u> Se recopiló información de las estaciones fluviométricas presentes en la cuenca. Se procedió a corregir y rellenar estaciones. Se hizo un análisis de frecuencia para los datos (mensuales y anuales) de cada una de las estaciones involucradas, también se generaron las curvas de variación estacional y curva de duración. Además, se generaron caudales medios mensuales y anuales en puntos de interés, basados en la metodología de transposición de cuencas, y por último, se determinaron caudales ecológicos. Se expone la metodología empleada, resultados obtenidos y algunas recomendaciones.</p> <p><u>Modelación:</u> Se caracterizó mediante modelos digitales de elevación cada una de las cuencas. Se identificaron tramos de interés, donde se estudió el comportamiento del eje hidráulico. Se expone metodología de cálculo en software HEC-RAS, condiciones de borde y calibración del modelo hidráulico, donde se integró los usos o actividades encontradas para cada zona, así como el análisis hidrológico, previamente realizado. Por último se analizó el comportamiento del eje hidráulico en función de las actividades en contacto directo e indirecto con los ríos.</p> <p><u>Sistema de información geográfica:</u> Se generó una plataforma computacional que agrupó antecedentes y resultados.</p>



**ANÁLISIS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
DEL RÍO PALENA, REGIÓN DE AYSÉN
ESTUDIOS REVISADOS**



TIPO DE DOCUMENTO	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
TÍTULO	Proyecto Hidroeléctrico Aysén
AUTOR	Centrales Hidroeléctricas de Aysén S.A
AUTOR CORPORATIVO	Centrales Hidroeléctricas de Aysén S.A
FUNTE PUBLICACIÓN	Catálogo Bibliográfico de la Dirección General de Aguas (DGA)
REGIÓN	Región de Aysén
PROVINCIA	Capitán Prat
CUENCA	De los ríos Pascua y Baker
ÁREA DE ESTUDIO	Región de Aysén
RESUMEN	
<p>Este documento expone información relevante para la evaluación del "Proyecto Hidroeléctrico Aysén", que contempla obras en las comunas de Cochrane, Tortel y O'Higgins, en la Región de Aysén. El proyecto consiste en la construcción y operación del Complejo Hidroeléctrico Aysén compuesto por cinco centrales de generación ubicadas en los ríos Baker y Pascua. Se exponen los criterios ambientales utilizados en el diseño del proyecto, la descripción general del proyecto, incluyendo la justificación y ubicación geográfica, partes y obras, montos de inversión y derechos de aprovechamientos de agua; descripción de las etapas de construcción y operación del proyecto, de las emisiones y descargas al ambiente, entre otras.</p>	
INFORMACIÓN RELEVANTE PARA EL ESTUDIO DEL RÍO PALENA	<p>Se generó información nueva para la región de Aysén: Estudios de vegetación y flora terrestre (Universidad Austral), estudios de fauna terrestre (Universidad de Concepción), estudio de Flora y Fauna Acuática, Calidad del Agua y Caudal Ecológico (Centro de Ecología Aplicada), estudio de Suelos, Clima, Meteorología, Hidrología, Hidrogeología, Geología y Geomorfología (Universidad de Chile), estudio de oceanografía, flora y fauna marina y estuarina (Universidad de Valparaíso), estudio de paisaje, planificación territorial y áreas protegidas (Universidad Central), estudios de áreas de riesgos (Universidad de Chile), estudio de población, aspectos socioeconómicos, calidad de vida y actividades turísticas (Pontificia Universidad Católica de Chile), estudio de tenencia de la tierra, infraestructura y equipamiento (Pontificia Universidad Católica de Chile), estudio de patrimonio cultural (Universidad Bolivariana).</p> <p><u>Pluviometría:</u> Las precipitaciones superan los 3.000 mm anuales en las estaciones costeras y gradiente pluviométrico este-oeste.</p> <p><u>Caudales:</u> Los caudales medios mensuales para el río Baker describen un régimen pluvio-nivo-glacial. Los caudales medios mensuales con un 50% de probabilidad de excedencia son: 641,2 m³/s, 947,1 m³/s y 33,8 m³/s, para el sector Baker 1, Baker 2 y Del Salto.</p> <p><u>Temperaturas:</u> Se caracteriza por valores medios anuales que oscilan entre los 6 y 9° C, con máximas entre los periodos diciembre-enero y junio-julio. Estos valores superan los 10° C en localidades ubicadas al interior.</p> <p><u>Clima:</u> Se distinguen: clima templado frío de costa occidental con máximo invernal de lluvias, clima continental trasandino con degeneración esteparia, clima frío de altura o de hielos, y clima de estepa frío.</p> <p><u>Edafología:</u> Se distinguen las siguientes unidades geomorfológicas de origen glaciofluvial: barras, llanuras de inundación, terrazas, planicies, abanicos aluviales, morrenas, till.</p>



ANÁLISIS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL RÍO PALENA, REGIÓN DE AYSÉN ESTUDIOS REVISADOS



TIPO DE DOCUMENTO	INFORME PRELIMINAR
TÍTULO	Determinación del potencial hidroeléctrico XI Región y provincia de Palena X Región (2007).
AUTOR	Departamento Administración de Recursos Hídricos
AUTOR CORPORATIVO	Dirección General de Aguas (DGA)
FUNTE PUBLICACIÓN	Dirección General de Aguas (documentos.dga.cl)
REGIÓN	XI y X regiones
PROVINCIA	
CUENCA	
ÁREA DE ESTUDIO	XI y X regiones
RESUMEN	
El documento corresponde a un informe preliminar realizado por la Dirección General de Aguas, DGA del MOP, específicamente por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos, DARH, que da cuenta de la disponibilidad del recurso hídrico superficial disponible en tramos que se definen en las cuencas de estudio de la XI región y en la Provincia de Palena en la X Región, para potenciales aprovechamientos hidroeléctricos.	
INFORMACIÓN RELEVANTE PARA EL ESTUDIO DEL RÍO PALENA	<p>Dentro de las cuencas analizadas están las del Río Palena y Cisnes, de las cuales se hizo énfasis en estimar los caudales mensuales junto con probabilidades de excedencia, además de un balance hidrológico para cada cuenca.</p> <p><u>Precipitaciones:</u> No se presenta información relevante.</p> <p><u>Caudales:</u> El balance hidrológico se realizó considerando los listados de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales entregadas por las Direcciones Regionales de Aguas, con lo cual se determina la densidad de derechos y solicitudes definiendo los puntos importantes a estudiar en la cuenca, definidos como puntos de control, que son aquellos donde aguas abajo de dicho punto existe un tramo considerable libre de derechos. La transposición de caudales a los puntos de control se realizó con las curvas de variación estacional, obtenidas del análisis estadístico de los caudales medios mensuales, de las estaciones fluviométricas de la cuenca para ambos ríos.</p> <p><u>Modelación:</u> El balance hidrológico se realizó con el programa SIG-ERHs, Sistema de Información Geográfica para Evaluación de Recursos Hídricos Superficiales, desarrollado por la DGA, como herramienta de análisis hidrológico.</p> <p><u>Sistema de información geográfica:</u> Por medio del Sistema de Información Geográfica del DARH se contó con información cartográfica digital, cuya escala es de 1:50.000.</p>



ANÁLISIS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL RÍO PALENA, REGIÓN DE AYSÉN ESTUDIOS REVISADOS



TIPO DE DOCUMENTO	INFORME PRELIMINAR
TÍTULO	Determinación del potencial hidroeléctrico XI Región y provincia de Palena X Región (2007).
AUTOR	Departamento Administración de Recursos Hídricos
AUTOR CORPORATIVO	Dirección General de Aguas (DGA)
FUNTE PUBLICACIÓN	Dirección General de Aguas (documentos.dga.cl)
REGIÓN	XI y X regiones
PROVINCIA	
CUENCA	
ÁREA DE ESTUDIO	XI y X regiones
RESUMEN	
El documento corresponde a un informe preliminar realizado por la Dirección General de Aguas, DGA del MOP, específicamente por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos, DARH, que da cuenta de la disponibilidad del recurso hídrico superficial disponible en tramos que se definen en las cuencas de estudio de la XI región y en la Provincia de Palena en la X Región, para potenciales aprovechamientos hidroeléctricos.	
INFORMACIÓN RELEVANTE PARA EL ESTUDIO DEL RÍO PALENA	<p>Dentro de las cuencas analizadas están las del Río Palena y Cisnes, de las cuales se hizo énfasis en estimar los caudales mensuales junto con probabilidades de excedencia, además de un balance hidrológico para cada cuenca.</p> <p><u>Precipitaciones:</u> No se presenta información relevante.</p> <p><u>Caudales:</u> El balance hidrológico se realizó considerando los listados de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales entregadas por las Direcciones Regionales de Aguas, con lo cual se determina la densidad de derechos y solicitudes definiendo los puntos importantes a estudiar en la cuenca, definidos como puntos de control, que son aquellos donde aguas abajo de dicho punto existe un tramo considerable libre de derechos. La transposición de caudales a los puntos de control se realizó con las curvas de variación estacional, obtenidas del análisis estadístico de los caudales medios mensuales, de las estaciones fluviométricas de la cuenca para ambos ríos.</p> <p><u>Modelación:</u> El balance hidrológico se realizó con el programa SIG-ERHs, Sistema de Información Geográfica para Evaluación de Recursos Hídricos Superficiales, desarrollado por la DGA, como herramienta de análisis hidrológico.</p> <p><u>Sistema de información geográfica:</u> Por medio del Sistema de Información Geográfica del DARH se contó con información cartográfica digital, cuya escala es de 1:50.000.</p>

ANEXO 2: FLUVIOMETRÍA

Anexo 2.1. DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

La DGA cuenta sólo con tres estaciones fluviométricas vigentes ubicadas en el interior de la cuenca, y la estadística asociada no supera los 15 años de datos (Tabla 37). También, se cuenta con el registro histórico de otras tres estaciones suspendidas, con estadísticas de corta duración (menos de 7 años). Además de la información de la DGA, se cuenta con registros fluviométricos históricos de siete estaciones que pertenecían a Endesa, de las cuales Palena en la frontera y Río Tigre en la frontera fueron continuadas por la DGA, y las demás están descontinuadas.

Al igual que para los análisis anteriores, se identificaron las estaciones fluviométricas ubicadas dentro de la cuenca del río Palena, en base a la información de la red hidrométrica de la Dirección General de Aguas (DGA) y su Banco Nacional de Aguas (BNA); entre ellas se encontraron estaciones ENDESA. Para ellas se recopilaron registros históricos de caudales medios mensuales según se indica en la Tabla 38. No se exponen los datos de la estación Palena en la frontera de la DGA. Para la estadística mensual, se consideraron únicamente los meses con más de 20 días de datos.

Tabla 37. Ubicación de las estaciones fluviométricas en la cuenca del Río Palena.

CODBNA	ID	Nombre	Este (m)	Norte (m)	Vigencia	Periodo
11020003-K	E1	Río Encuentro después de confluencia con E.López	765863	5167514	Suspendida	1959-1964
11020002-1	E2	Río Encuentro antes junta Estero López	766278	5165911	Suspendida	1959-1965
11020001-3	E3	Estero López antes de junta con el Río Encuentro	765724	5152167	Suspendida	1959-1966
11020004-8	E4	Río Tigre en la frontera	763641	5155993	Vigente	2001-2012
11040001-2	E5	Río Palena bajo junta Rosselot	702896	5126924	Vigente	1999-2015
Endesa	E6	Palena en la frontera	760587	5163264	Suspendida	1965-1985
Endesa	E7	Río Tigre en la frontera	763641	5155993	Suspendida	1981-1985
Endesa	E8	Palena bajo junta con Río Tigre	749523	5165874	Suspendida	1992-2002
Endesa	E9	Río Figueroa en desagüe de Lago Rosselot	717800	5118551	Suspendida	1979-1991
Endesa	E10	Río Palena en cota 25 msnm	696123	5123850	Suspendida	1954-1981
Endesa	E11	Rosselot antes de junta con Palena	708675	5129068	Suspendida	1954-1981
Endesa	E12	Río Figueroa en cota 150 msnm	724699	5115115	Suspendida	1954-1981

Tabla 38. Disponibilidad de datos fluviométricos por estación, a escala mensual.

		Datos fluviométricos, a escala mensual.											
		Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
DGA	Estero Lopez	6	6	6	6	5	6	7	7	6	4	5	5
	Río Encuentro antes	6	6	6	6	5	6	7	7	7	5	6	6
	Río Encuentro después	5	6	6	6	6	5	6	6	5	5	6	6
	Río Palena bajo junta Rosselot	14	14	14	14	12	13	12	14	12	13	15	14
	Río Tigre en la frontera	9	9	10	11	11	11	9	9	9	8	10	10
ENDESA	Palena en la frontera	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	22
	Río Tigre en la frontera	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
	Palena bajo junta con Río Tigre	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	Río Figueroa en desagüe de Lago Rosselot	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Río Palena en cota 25 msnm	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	Rosselot antes de junta con Palena	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Río Figueroa en cota 150 msnm	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27

El análisis hidrológico de la cuenca que se presenta a continuación no utilizará la totalidad de las estaciones presentadas. Las estaciones suspendidas de Estero López, Río Encuentro antes de río Moro y río Encuentro después de confluencia no serán consideradas en el estudio debido a la escasa disponibilidad de datos y a que sus cuencas de drenaje son pequeñas y poco relevantes respecto al tamaño de la cuenca del Palena. Tampoco serán consideradas las estaciones de Endesa Río Palena en Cota 25 msnm y Río Figueroa en Cota 150 msnm, ya que corresponden a datos rellenados a partir de la estación Rosselot Antes Junta Palena. Por otra parte, los datos de las estaciones Palena en la Frontera de la DGA y Endesa, al igual que para la estación Río Tigre en la Frontera, serán agrupados en una sola estación. Finalmente la información de caudales que se utilizará está agrupada en 6 estaciones, como se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39. Estaciones fluviométricas utilizadas en el análisis.

Nombre	Este (m)	Norte (m)	Vigencia	Periodo
Río Palena bajo junta Rosselot	702896	5126924	Vigente	1999-2015
Palena en la frontera	760587	5163264	Suspendida	1965-1985
Río Tigre en la frontera	763641	5155993	Suspendida	1981-1985, 2001-2012
Palena bajo junta con Río Tigre	749523	5165874	Suspendida	1992-2002
Río Figueroa en desagüe de Lago Rosselot	717800	5118551	Suspendida	1979-1991
Rosselot antes de junta con Palena	708675	5129068	Suspendida	1954-1981

Si bien la estadística de las estaciones fluviométricas consideradas para el análisis hidrológico a escala diaria no cuenta con 25 años de información hidrológica completa (Tabla 40), se considera que la existente es suficiente para efectuar una correcta caracterización hidrológica de la zona. Sería erróneo basar el análisis hidrológico de la cuenca del río Palena en otras aproximaciones o estimaciones indirectas de caudales debido a que la cuenca es importante por su tamaño, ubicación y tipos de cauces que alberga, haciendo éste un sistema complejo de estudiar. Por lo tanto, se considerarán sólo los datos registrados en las estaciones indicadas previamente.

Tabla 40. Disponibilidad de datos fluviométricos diarios por estación.

Estación	Días	Periodo
Palena bajo junta con Rosselot	5249	Junio, 1999 - Sept, 2015
Tigre en Frontera	3604	Julio, 2001 - Marzo, 2012

Anexo 2.2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA

Para cada una de las estaciones fluviométricas se realizó un análisis de consistencia, para determinar si existen errores de medición o cambios tecnológicos, que requirieran la corrección de los datos. El análisis se llevó a cabo con los caudales mensuales de los años de registro, para ello se consideró únicamente meses con más de 20 días de datos, y años con más de 10 meses de datos. Se graficaron los datos de cada estación analizada con los datos el patrón utilizado para llevar a cabo el análisis (Tabla 41).

El análisis de consistencia se realiza comparando los datos acumulados de la estación analizada, con los datos acumulados de un patrón. El patrón de comparación se compone por las estaciones que se ubican en la zona de estudio y que tienen datos para el mismo periodo de tiempo (periodo en el que se realiza el análisis). El patrón se definió como la suma de los datos de las estaciones que lo componen.

De acuerdo con el análisis realizado, se concluye que no es necesario realizar corrección de los datos.

Tabla 41. Patrón con el que se realizó el análisis de consistencia por estación fluviométrica.

Estación fluviométrica	Patrón análisis de consistencia
Palena bajo junta con Rosselot	Río Tigre
Río Tigre en la frontera	Palena bajo junta con Rosselot
Palena en la frontera	Palena bajo río tigre
Palena bajo río Tigre	Palena en la frontera
Río Figueroa en desagüe Lago Rosselot	Palena en la frontera, Palena bajo Tigre, Rosselot antes de Palena
Rosselot antes junta con Palena	Palena en la frontera, Río Tigre en la frontera, Palena bajo Tigre

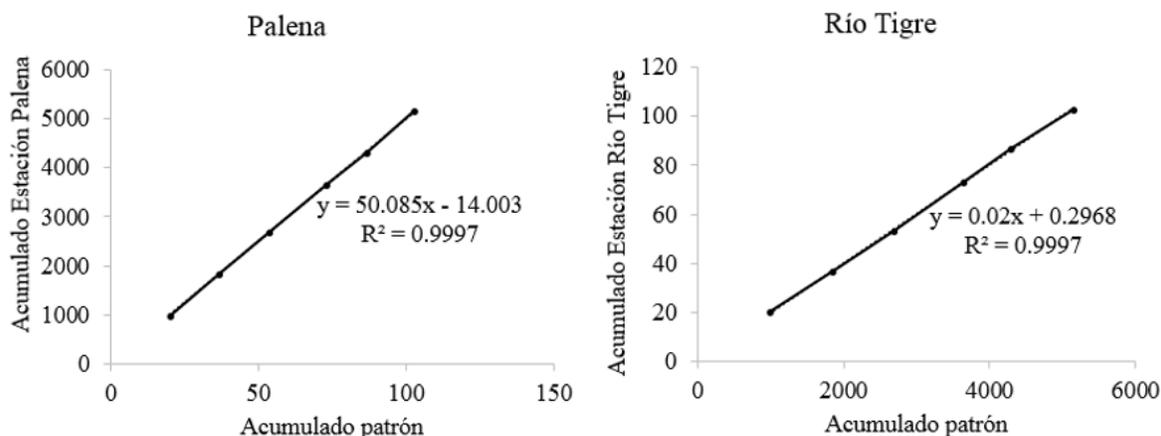


Figura 61. Análisis de consistencia estación Palena bajo junta Rosselot y Río Tigre en la frontera.

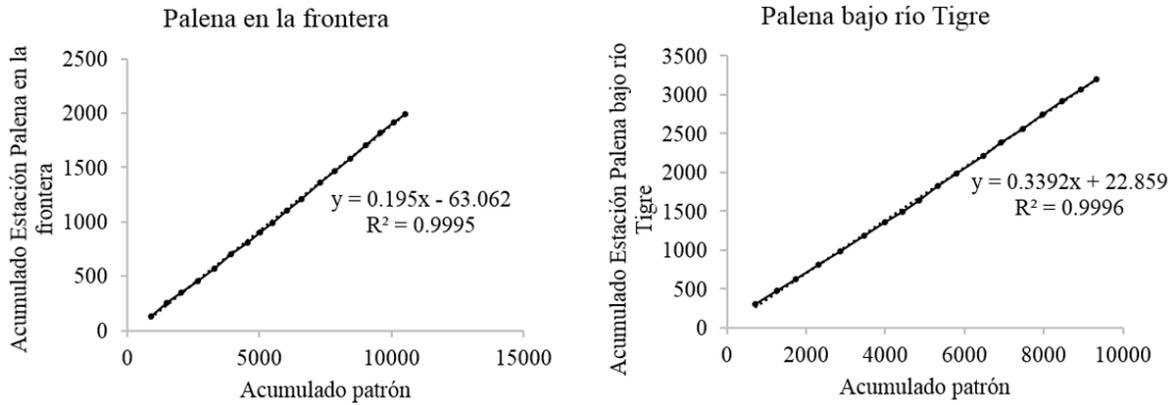


Figura 62. Análisis de consistencia estación Palena en la frontera y Palena bajo río Tigre.

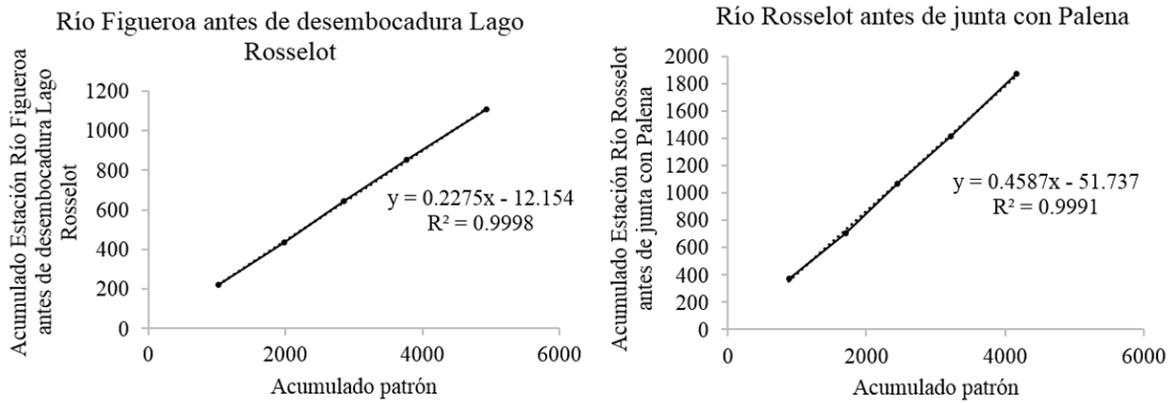


Figura 63. Análisis de consistencia estación Río Figueroa antes de desembocadura Lago Rosselot y Río Rosselot antes de junta con Palena.

Anexo 2.3. TENDENCIAS FLUVIOMÉTRICAS

Se graficó la estadística de datos fluviométricos diarios, como se muestra en las siguientes figuras, y se hizo una regresión lineal de ellos respecto al tiempo para analizar la presencia de tendencias de disminución o aumento de caudales en el tiempo. A la regresión lineal encontrada, se le aplicó un test ANOVA para determinar la validez estadística de ella. Se consideró un nivel de confianza del 95% para considerarla estadísticamente significativa, dicho de otra forma, si el nivel de significancia es menor a 0.05 se tiene que la regresión no es significativa, y por tanto, no existe tendencia. En el Anexo IV, se exponen los resultados de este análisis. Se concluye que ninguna de las estaciones fluviométricas con disponibilidad de datos diarios tiene una tendencia fluviométrica significativa.

Anexo 2.4. CAUDAL MEDIO ANUAL

A partir de la estadística disponible de datos mensuales en las estaciones fluviométricas presentes en la zona de estudio, se estimó el caudal medio anual. Para ello se consideraron meses con más de 20 días de datos, y años con al menos 10 meses de datos. Los resultados expuestos en la Tabla 42, muestran la caudal medio anual, caudal medio mínimo y máximo.

Tabla 42. Caudal medio anual en las estaciones fluviométricas.

Estación Fluviométrica	Caudal medio anual (m ³ /s)		
	Promedio	Mínimo	Máximo
Palena en la frontera	110.28	77.18	158.29
Tigre en la frontera	16.29	8.30	20.22
Palena bajo junta Rosselot	859.05	658.73	996.40

Anexo 2.5. DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES

A la estadística extendida de caudales medios mensuales se le ajustan las distribuciones más usadas en hidrología en Chile: Normal, Lognormal de 2 y 3 parámetros, y General de valores extremos o Gumbel.

Se escoge la distribución que según los criterios de Kolmogorov-Smirnov y de Chi-cuadrado, simultáneamente tengan la mejor bondad de ajuste. La elección se realiza considerando el ranking de ajustes que genera el programa, siendo 1 la mejor y 4 la peor; se escoge aquella que presenta el menor promedio entre ambos rankings. En el caso de haber dos o más sumas iguales, se elegirá la que a inspección visual sea la más cercana a la frecuencia de los datos.

En las Tablas siguientes, se muestra la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos mensuales de cada una de las estaciones fluviométricas, con los respectivos estadísticos de Kolmogorov-Smirnov y de Chi-cuadrado.

Tabla 43. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Palena en la Frontera.

	Distribución	Estadísticos		Parámetros
		Kolmogorov-Smirnov	Chi-Cuadrado	
Enero	Valores extremos	0.09212	0.12996	$k=-0.01795$; $\tau=27.326$; $\mu=73.055$
Febrero	Valores extremos	0.09302	3.0861	$k=-0.30986$; $\tau=24.387$; $\mu=53.346$
Marzo	LogNormal	0.07057	1.4948	$\tau=0.45327$; $\mu=3.9608$
Abril	LogNormal	0.07057	1.4948	$\tau=0.45327$; $\mu=3.9608$
Mayo	Valores extremos	0.6904	4.2561	$k=0.08892$; $\tau=32.265$; $\mu=73.498$
Junio	LogNormal	0.06892	0.63986	$\tau=0.5359$; $\mu=4.737$
Julio	Valores extremos	0.06132	0.50836	$k=-0.07679$; $\tau=48.245$; $\mu=107.98$
Agosto	LogNormal 3P	0.12806	0.90136	$\tau=0.05345$; $\mu=6.8079$; $\gamma=-775.22$
Sept	Valores extremos	0.1002	3.0429	$k=-0.21036$; $\tau=37.488$; $\mu=114.54$
Octubre	LogNormal 3P	0.13445	8.6308	$\tau=0.04173$; $\mu=6.8613$; $\gamma=-817.23$
Noviembre	Valores extremos	0.11384	2.9458	$k=-0.3004$; $\tau=39.443$; $\mu=133.16$
Diciembre	LogNormal 3P	0.06379	4.6113	$\tau=0.02615$; $\mu=7.2108$; $\gamma=-1235.1$

Tabla 44. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Río Tigre en la Frontera.

	Distribución	Estadísticos		Parámetros
		Kolmogorov-Smirnov	Chi-Cuadrado	
Enero	Valores extremos	0.15677	4.2883	$k=-0.07138$; $\tau=65.961$; $\mu=66.294$
Febrero	Valores extremos	0.16053	1.3447	$k=-0.18415$; $\tau=48.792$; $\mu=48.502$
Marzo	Valores extremos	0.10691	4.5018	$k=-0.05016$; $\tau=44.1666$; $\mu=48.881$
Abril	Valores extremos	0.10691	4.5018	$k=-0.05016$; $\tau=44.166$; $\mu=48.881$
Mayo	Valores extremos	0.12878	1.0986	$k=0.2414$; $\tau=73.719$; $\mu=74.644$
Junio	Valores extremos	0.09926	1.617	$k=0.2369$; $\tau=92.295$; $\mu=90.197$
Julio	Valores extremos	0.15949	1.9619	$k=-0.24843$; $\tau=100.1$; $\mu=107.93$
Agosto	Valores extremos	0.14597	1.1671	$k=-0.26819$; $\tau=96.034$; $\mu=106.67$
Sept	Valores extremos	0.17455	2.0278	$k=-0.36724$; $\tau=98.168$; $\mu=118.25$
Octubre	Valores extremos	0.17808	1.232	$k=-0.54282$; $\tau=96.259$; $\mu=134.78$
Noviembre	Valores extremos	0.15877	1.326	$k=-0.48073$; $\tau=110.06$; $\mu=144.27$
Diciembre	Valores extremos	0.10691	4.5018	$k=-0.05016$; $\tau=44.166$; $\mu=48.881$

Tabla 45. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Palena bajo junta Rosselot

	Distribución	Estadísticos		Parámetros
		Kolmogorov-Smirnov	Chi-Cuadrado	
Enero	Valores extremos	0.1108	0.30034	$k=0.10236$; $\tau=247.63$; $\mu=623.15$
Febrero	LogNormal 3P	0.08367	0.12837	$\tau=1.4992$; $\mu=5.0941$; $\gamma=415.99$
Marzo	Normal	0.1194	5.62E-04	$\tau=181.17$; $\mu=733.55$
Abril	Normal	0.1194	5.61E-04	$\tau=181.17$; $\mu=733.55$
Mayo	Valores extremos	0.07596	4.44E-06	$k=-0.02872$; $\tau=258.58$; $\mu=758.83$
Junio	Valores extremos	0.10091	0.00529	$k=-0.18284$; $\tau=227.55$; $\mu=758.58$
Julio	LogNormal 3P	0.09341	0.22485	$\tau=0.61088$; $\mu=5.8505$; $\gamma=436.41$
Agosto	LogNormal 3P	0.08588	0.06146	$\tau=0.20209$; $\mu=7.5515$; $\gamma=-1053.5$
Sept	LogNormal	0.14078	0.44527	$\tau=0.36702$; $\mu=6.6608$
Octubre	LogNormal 3P	0.09979	0.31945	$\tau=0.09076$; $\mu=8.1164$; $\gamma=-2447.6$
Noviembre	Valores extremos	0.06787	0.06276	$k=0.11091$; $\tau=240.57$; $\mu=673.86$
Diciembre	LogNormal 3P	0.11788	5.33E-06	$\tau=0.40142$; $\mu=6.4658$; $\gamma=129.17$

Anexo 2.6. CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL

Se determinaron los caudales medios mensuales, identificando mínimos, máximos y desviación estándar (D.E). Se definen las curvas de variación estacional para diferentes probabilidades de excedencia a partir de la estadística histórica disponible de datos mensuales (definidos con más de 20 días de datos) sin rellenar para las estaciones fluviométricas con mayor información disponible para el análisis: Río Palena en la Frontera, Río Tigre en la Frontera, Palena bajo Rosselot. Las estadísticas analizadas en el caso de la estación Palena en la Frontera y Río Tigre en la Frontera, corresponden a la unión de los datos de las estaciones DGA y ENDESA con el mismo nombre. Las siguientes figuras y tablas, corresponden a las curvas de variación estacional estimadas a partir de las distribuciones de probabilidad definidas en el Anexo 4.5, utilizando el programa SMADA.

Como se aprecia en la Figura 64, el río Palena en la frontera presenta sus mayores caudales medios mensuales en el periodo mayo-agosto (debido a las precipitaciones y a los deshielos cordilleranos remanentes) y enero-marzo (debido a deshielos cordilleranos), mostrando peaks semejantes. La cuenca asociada tiene un régimen pluvio-nival. En el caso de la cuenca asociada a la estación fluviométrica del río Tigre en la frontera (Figura 65), se observa una importante componente pluvial en la escorrentía, debido a que los caudales máximos se observan en el periodo mayo-agosto, correspondiente a eventos de precipitación. Por último, para la estación Palena bajo junta con Rosselot (Figura 66) se observa un régimen pluvio-nival debido a que tiene caudales igualmente distribuidos en todas las estaciones del año.

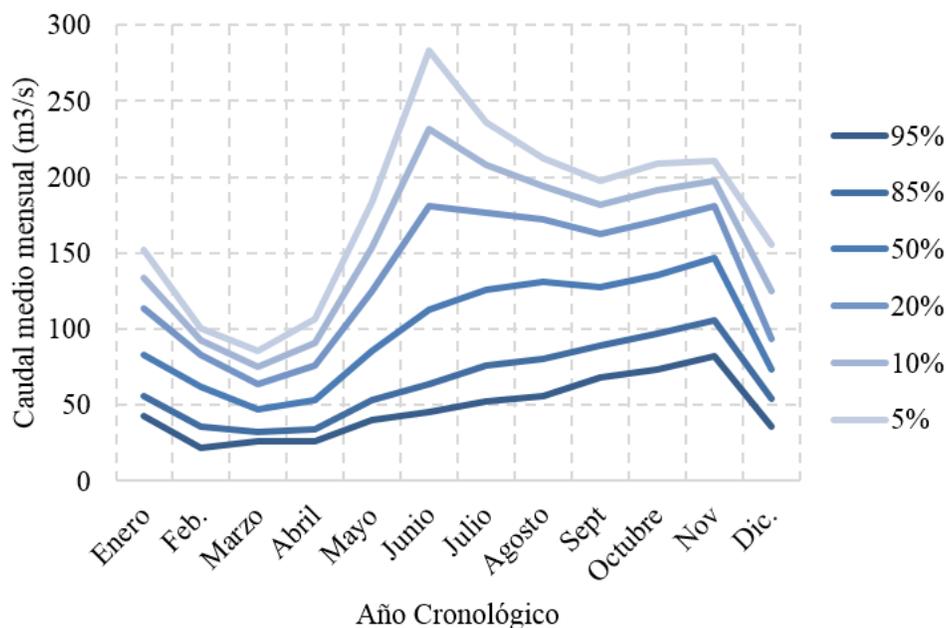


Figura 64. Curva de variación estacional en la estación Palena en la frontera.

Tabla 46. Curva de variación estacional en la estación Palena en la frontera.

Caudal medio mensual (m3/s)												
Pexc (%)	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic.
95	42.77	21.45	25.85	26.34	39.78	45.06	52.72	55.84	68.23	73.41	81.85	35.42
85	55.46	36.03	32.27	34.10	53.42	63.27	76.31	80.16	88.83	96.48	105.30	54.48
50	83.04	61.80	47.08	52.90	85.51	112.96	125.43	130.77	127.78	135.76	146.86	73.14
20	113.50	82.60	63.96	75.57	125.26	180.72	176.34	172.30	162.77	171.45	180.79	93.25
10	133.32	92.85	75.08	91.07	153.88	231.10	207.68	194.19	181.73	191.61	197.66	125.18
5	152.09	100.68	85.71	106.23	183.20	283.11	236.09	212.34	197.30	209.08	210.62	155.12

Tabla 47. Caudal medio mensual en la estación Palena en la frontera.

Caudal medio mensual (m3/s)												
	Ene	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
Prom	88.35	61.53	50.31	57.88	95.22	132.03	132.40	131.05	129.60	138.19	146.63	120.19
Mín.	27.40	9.87	22.78	17.80	28.81	38.68	9.80	25.09	6.92	16.47	2.37	0.38
Máx.	171.00	98.20	105.00	122.00	206.00	447.00	290.71	222.00	251.00	276.00	232.00	174.00
D.E.	33.24	23.51	18.94	25.67	45.15	79.87	56.60	49.12	41.50	40.74	41.94	35.69

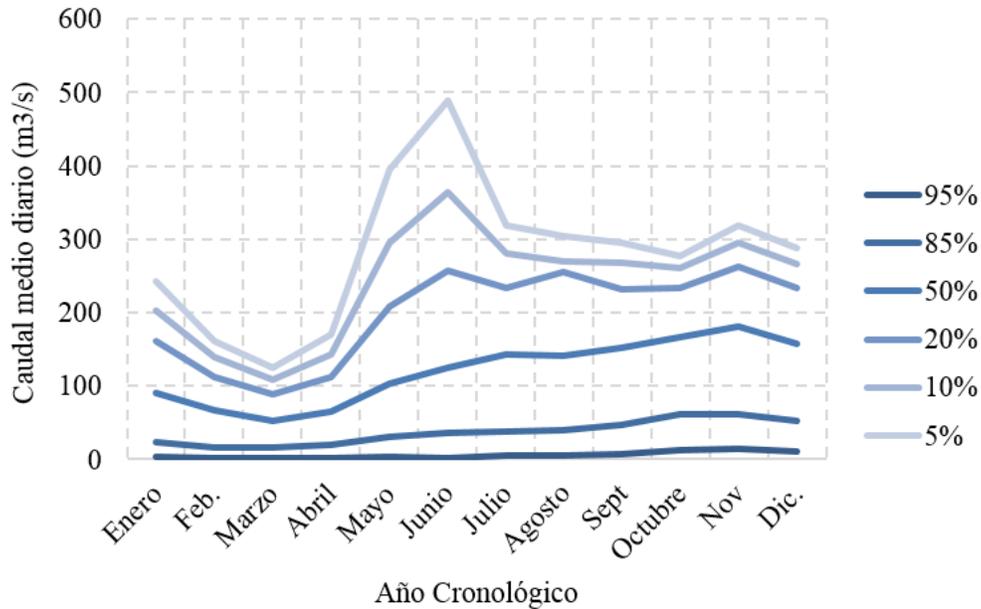


Figura 65. Curva de variación estacional, estación Río Tigre en la frontera.

Tabla 48. Curva de variación estacional para la estación Río Tigre en la frontera.

Caudal medio mensual (m3/s)												
Pexc (%)	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic.
95	3.26	1.04	1.12	1.25	3.67	1.12	4.23	4.58	7.65	12.08	13.89	10.42
85	23.07	15.33	16.42	20.14	30.94	35.31	38.43	39.56	47.37	61.07	61.75	51.33
50	90.17	65.82	52.85	64.93	102.84	125.46	143.04	140.24	151.94	166.70	181.22	157.65
20	160.13	112.46	87.91	112.70	207.79	256.30	233.29	255.28	231.47	233.54	261.89	232.84
10	203.42	138.38	108.11	142.86	294.94	364.49	280.45	268.89	268.56	259.90	295.63	265.64
5	242.81	160.08	125.50	170.74	394.81	488.07	318.11	303.21	295.70	276.87	318.36	288.47

Tabla 49. Caudal medio mensual en la estación Río Tigre en la frontera.

Caudal medio mensual (m3/s)												
	Ene	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
Prom	99.99	69.03	56.11	72.28	140.04	171.38	145.50	141.46	147.77	154.57	170.43	150.03
Mín.	2.61	3.82	3.60	3.12	7.48	7.25	8.47	9.20	13.65	21.05	20.55	6.69
Máx.	312.00	156.00	156.00	197.00	870.00	879.00	378.00	311.00	337.00	278.00	331.00	313.00
D.E.	76.71	50.71	38.59	52.11	153.61	173.39	101.12	95.07	93.69	87.96	101.06	92.20

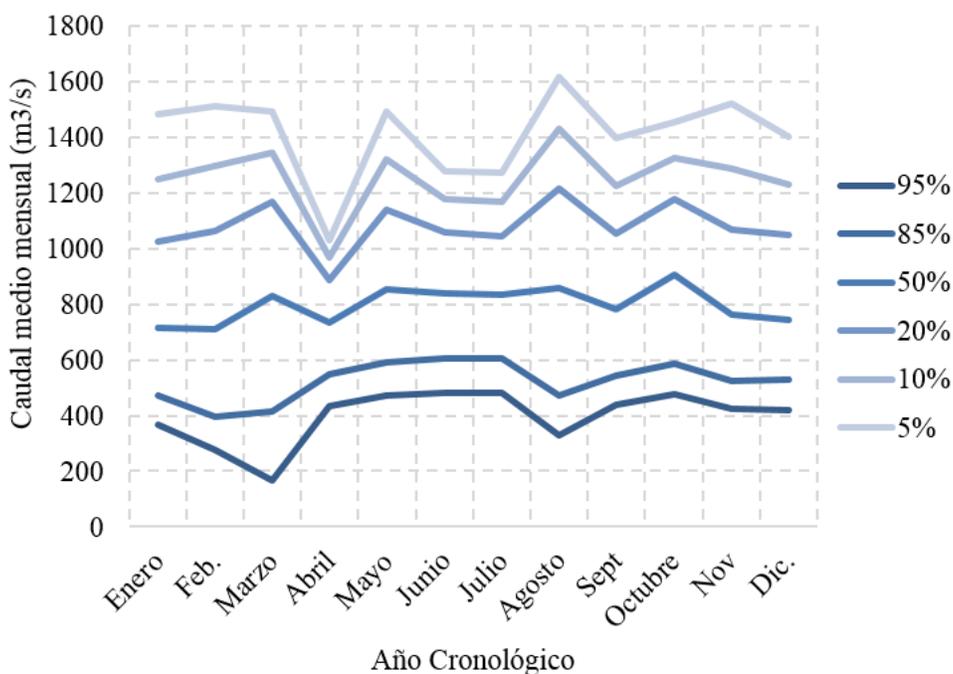


Figura 66. Curva de variación estacional en la estación Palena bajo junta Rosselot.

Tabla 50. Curva de variación estacional para la estación Palena bajo junta con Rosselot.

Caudal medio mensual (m3/s)												
Pexc (%)	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic.
95	366.27	278.13	168.18	435.44	470.51	481.87	482.25	326.84	439.33	475.23	425.47	418.95
85	469.72	395.82	413.49	545.78	591.71	603.96	603.25	473.60	544.10	588.38	525.22	530.28
50	715.54	710.89	830.94	733.55	853.13	839.36	832.09	855.92	782.97	904.43	763.75	744.97
20	1024.50	1064.67	1169.85	885.99	1138.47	1057.16	1045.54	1218.33	1052.14	1178.12	1066.32	1051.36
10	1249.79	1295.32	1347.18	965.76	1322.32	1178.33	1168.28	1429.04	1228.06	1327.75	1288.74	1232.30
5	1482.87	1514.19	1493.58	1031.61	1494.96	1279.88	1275.82	1614.95	1395.26	1454.75	1520.30	1404.44

Tabla 51. Caudal medio mensual en la estación Palena bajo junta con Rosselot.

Caudal medio mensual (m3/s)												
	Ene	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
Prom	793.81	775.69	830.94	733.55	900.93	854.52	849.83	889.35	832.76	915.30	842.16	826.44
Mín.	332.10	423.26	445.10	447.00	477.07	544.17	552.16	192.58	335.71	368.55	395.83	407.00
Máx.	1705.33	1723.87	1755.87	1009.73	1474.94	1230.50	1223.32	1821.55	1449.52	1588.52	1603.16	1607.58
D.E.	351.98	396.37	402.77	181.17	300.80	229.74	242.13	409.74	301.69	317.06	330.25	309.86

Anexo 2.7. CURVA DE DURACIÓN

Para las estaciones Palena bajo junta con Rosselot y Río Tigre en la frontera, se construyó la curva de duración haciendo un análisis de frecuencia de los datos de caudales medios diarios, como se indica en la Tabla 52 y Figura 67.

Tabla 52. Caudales medios diarios asociados a probabilidad de excedencia.

Prob. de excedencia (%)	Palena bajo junta Rosselot	Río Tigre en la frontera
100	47.90	1.40
95	303.00	3.30
90	361.00	4.45
85	411.00	5.83
80	452.00	7.05
75	492.00	8.05
70	530.00	9.16
65	571.00	10.30
60	608.00	11.40
55	650.00	12.80

Prob. de excedencia (%)	Palena bajo junta Rosselot	Río Tigre en la frontera
50	699.00	14.40
45	753.00	16.00
40	805.00	17.60
35	869.00	19.20
30	943.00	20.90
25	1027.00	22.70
20	1135.00	24.80
15	1290.00	27.70
10	1510.00	31.80
5	1951.00	39.40

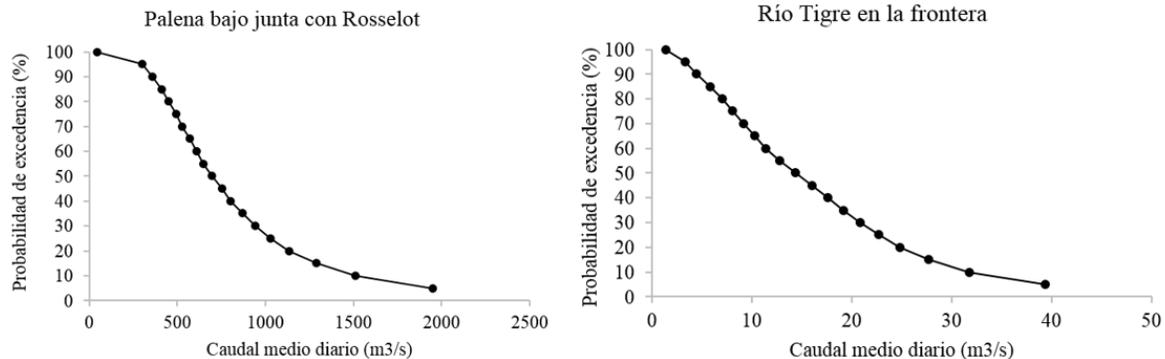


Figura 67. Curva de duración para la estación Palena bajo junta con Rosselot y la estación Valle Río Tigre

ANEXO 3: PLUVIOMETRÍA

Anexo 3.1. DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

Los datos disponibles a escala mensual y diaria para cada estación se muestran en la Tabla 53 y Tabla 54, respectivamente. Para la estadística mensual, consideraron únicamente los meses con más de 20 días de datos.

Tabla 53. Disponibilidad de datos pluviométricos por estación, a escala mensual.

	Datos pluviométricos, a escala mensual.											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Bordalit	19	16	18	18	17	18	18	18	19	18	18	18
La Junta	30	30	31	28	29	30	29	28	30	32	29	31
Lago Verde	15	14	13	12	12	13	12	14	14	13	12	14
Marín Balmaceda	17	15	14	18	15	15	17	17	16	15	15	17
Palena	15	15	15	15	15	14	13	15	15	15	14	15
Puyuhuapi	33	33	33	32	32	30	28	31	32	32	33	32
Río Frío	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	15

Tabla 54. Disponibilidad de datos pluviométricos por estación, a escala diaria.

Est. pluviométrica	Disponibilidad de datos pluviométricos.	
	Días	Periodo
Bordalit	4738	Dic, 1993 - Dic, 2007
La Junta	10863	Enero, 1981 - Marzo, 2015
Lago Verde	5007	Febrero, 1999 - Agosto, 2014
Marín Balmaceda	4394	Abril, 2002 - Marzo, 2015
Palena	5274	Julio, 2000 - Abril, 2015
Puyuhuapi	12103	Enero, 1981 - Abril, 2015
Río Frío	5369	Julio, 2000 - Abril, 2015

Anexo 3.2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA

Para cada una de las estaciones meteorológicas se realizó un análisis de consistencia, para determinar si existían errores de medición o cambios tecnológicos, que requirieran la corrección de los datos. El análisis se llevó a cabo con las precipitaciones medias mensuales, considerando únicamente meses con más de 20 días de datos, y años con más de 10 meses de datos. Se graficaron los datos de cada estación analizada con los datos el patrón utilizado para llevar a cabo el análisis.

El análisis de consistencia se realiza comparando los datos acumulados de la estación analizada, con los datos acumulados de un patrón. El patrón de comparación se compone por las estaciones que se ubican en la zona de estudio y que tienen datos para el mismo periodo de tiempo (periodo en el que se realiza el análisis). El patrón se definió como la suma de los datos de las estaciones que lo componen.

De acuerdo con el análisis realizado, se concluye que no es necesario realizar corrección de los datos.

Tabla 55. Patrón con el que se realizó el análisis de consistencia por estación pluviométrica.

Est. pluviométrica	Patrón análisis de consistencia
Bordalit	La Junta, Palena, Puyuhuapi, Río Frio
La Junta	Bordalit, Palena, Puyuhuapi, Río Frio
Lago Verde	Bordalit, La Junta, Palena, Puyuhuapi, Río Frio
Marin Balmaceda	Bordalit, La Junta, Palena, Puyuhuapi, Río Frio
Palena	Bordalit, La Junta, Puyuhuapi, Río Frio
Puyuhuapi	Bordalit, La Junta, Palena, Río Frio
Río Frío	Bordalit, La Junta, Puyuhuapi, Río Frio

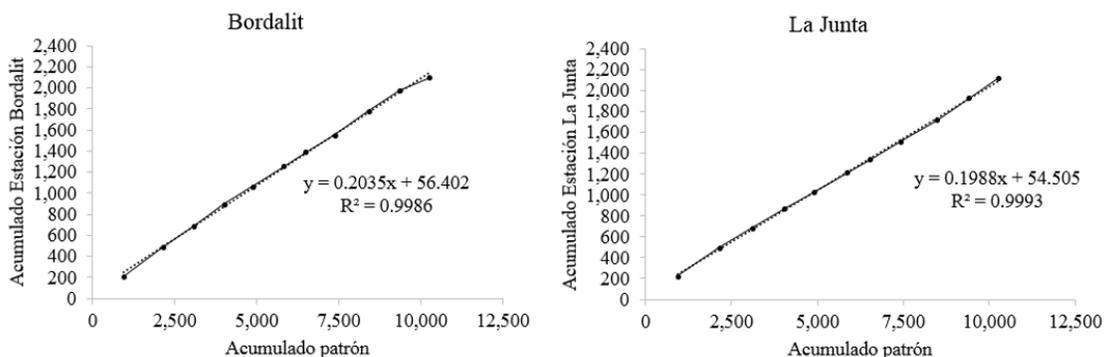


Figura 68. Análisis de consistencia estación Bordalit y La Junta.

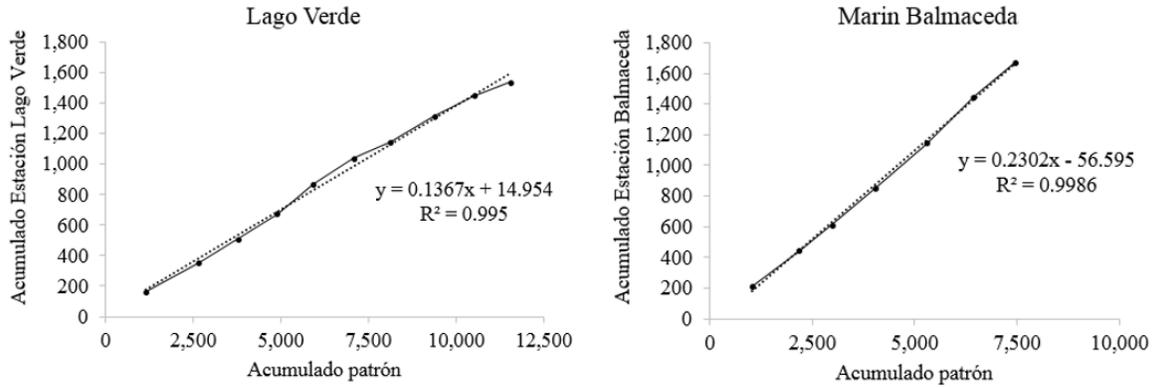


Figura 69. Análisis de consistencia estación Lago Verde y Marin Balmaceda.

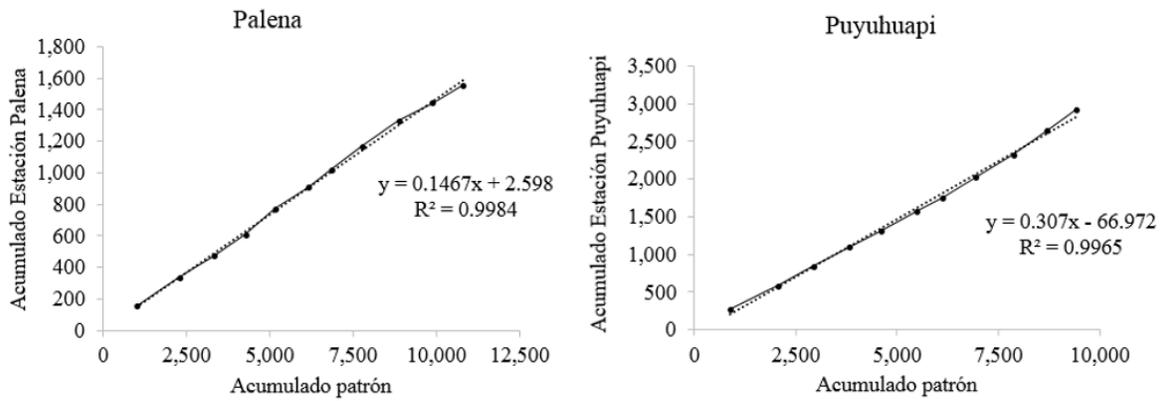


Figura 70. Análisis de consistencia estación Palena y Puyuhuapi.

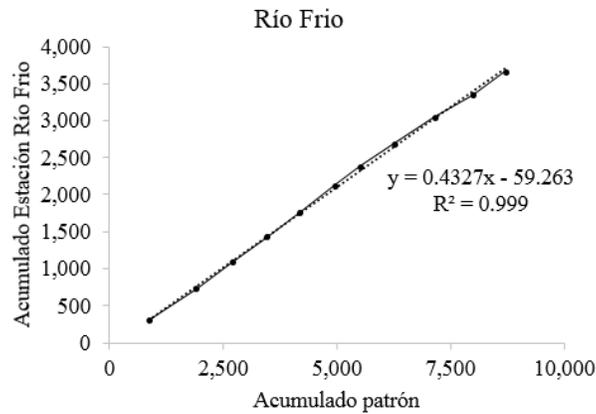


Figura 71. Análisis de consistencia estación valle río Frio.

Anexo 3.3. TENDENCIAS PLUVIOMÉTRICAS

Se graficó la estadística de datos pluviométricos diarios, como se muestra en las siguientes figuras, y se hizo una regresión lineal de ellos respecto al tiempo para analizar la presencia de tendencias de disminución o aumento de precipitaciones en el tiempo. A la regresión lineal encontrada, se le aplicó un test ANOVA para determinar la validez estadística de ella. Se consideró un nivel de confianza del 95% para considerarla estadísticamente significativa, dicho de otra forma, si el nivel de significancia es menor a 0.05 se tiene que la regresión no es significativa, y por tanto, no existe tendencia. En el Anexo II, se exponen los resultados de este análisis. Se concluye que sólo la estación Palena, con disponibilidad de datos diarios, tiene una ligera tendencia pluviométrica significativa.

Tabla 56. Tendencia estación Palena.

Estación pluviométrica	Tendencia pluviométrica	F	Significancia
Palena	Ligero aumento (9.14E-5)	0.022	0.882

Anexo 3.4. PRECIPITACIÓN ANUAL

A partir de la estadística disponible de datos mensuales en las estaciones pluviométricas presentes en la zona de estudio, se estimó la precipitación anual (Tabla 57). Para ello se consideraron meses con más de 20 días de datos, y años con al menos 10 meses de datos. Los resultados expuestos en la Tabla 57, muestran la precipitación anual promedio, la precipitación mínima y máxima anual.

Tabla 57. Precipitación anual en estaciones pluviométricas.

Estación Pluviométrica	Precipitación anual (mm)		
	Promedio	Mínima	Máxima
Bordalit	2545.53	1478.20	4548.80
La Junta	2229.78	1405.50	3015.50
Lago Verde	1685.61	1045.40	2369.00
Marin Balmaceda	2894.79	1759.20	5582.30
Palena	1577.91	1275.20	2081.40
Puyuhuapi	3199.79	1999.80	4321.00
Río Frío	3749.61	2654.50	4966.30

Anexo 3.5. ORIGEN DE LAS PRECIPITACIONES SEGÚN OROGRAFÍA

Se correlacionaron los datos de precipitación media anual y altitud, y precipitación media anual y distancia a la costa, para todas las estaciones, con el objetivo de identificar si la orografía de la cuenca tiene influencia relevante en el origen de las precipitaciones (Tabla 58 y Figura 72).

Tabla 58. Precipitación media anual versus altitud y distancia a la costa.

Estación Pluviométrica	ID	Pp anul promedio (mm)	Altitud (m.s.n.m)	Distancia a la costa (km)
Bordalit	E1	2545.53	90	53
La Junta	E2	2229.78	45	47
Lago Verde	E3	1685.61	350	92
Marin Balmaceda	E4	2894.79	10	0
Palena	E5	1577.91	275	96
Puyuhuapi	E6	3199.79	10	34
Río Frío	E7	3749.61	215	49

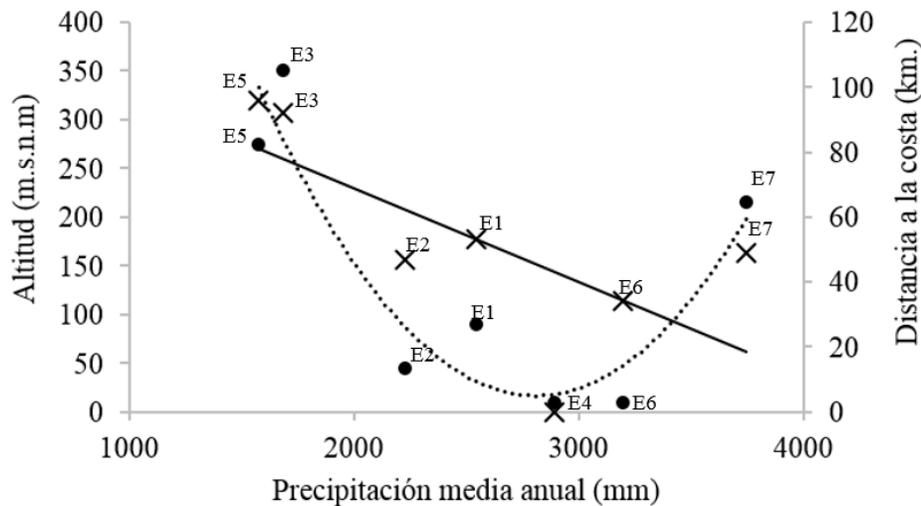


Figura 72. Precipitación media anual (mm) versus altitud de la estación (m.s.n.m.).

El mejor ajuste entre los datos de precipitación media anual (mm) con la altitud de la estación en la cuenca, corresponde a una función polinómica de grado 2, $y = 0.0002x^2 - 1.1669x + 1657.1$, $R^2=0.86$. Y el mejor ajuste con la distancia a la costa (km), corresponde a una función lineal, $y = -0.0289x + 126.78$, $R^2=0.48$. De acuerdo al análisis realizado se concluye que no se puede evaluar la presencia o ausencia del efecto orográfico en el origen de las precipitaciones de la cuenca. Esto debido a la topografía de la cuenca, la ubicación de las estaciones existentes y a la escasez de estaciones.

Anexo 3.6. DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES

A la estadística extendida de precipitación media mensual se le ajustan las distribuciones más usadas en hidrología en Chile: Normal, Lognormal de 2 y 3 parámetros, y General de valores extremos o Gumbel.

Se escoge la distribución que según los criterios de Kolmogorov-Smirnov y de Chi-cuadrado, simultáneamente tengan la mejor bondad de ajuste. La elección se realiza considerando el ranking de ajustes que genera el programa, siendo 1 la mejor y 4 la peor; se escoge aquella que presenta el menor promedio entre ambos rankings. En el caso de haber dos o más sumas menores iguales, se elegirá la que a inspección visual sea la más cercana a la frecuencia de los datos.

En las Tablas siguientes, se muestra la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos mensuales de cada una de las estaciones pluviométricas, con los respectivos estadísticos de Kolmogorov-Smirnov y de Chi-cuadrado.

Tabla 59. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Bordalit.

	Distribución	Estadísticos		Parámetros
		Kolmogorov-Smirnov	Chi-Cuadrado	
Enero	Valores extremos	0.07081	0.17943	$k=-0.09039$ $\sigma=77.27$ $\mu=125.85$
Febrero	Valores extremos	0.09114	0.39371	$k=-0.24915$ $\sigma=74.322$ $\mu=80.617$
Marzo	LogNormal (3P)	0.10253	1.4168	$\sigma=0.58048$ $\mu=4.7371$ $\gamma=22.299$
Abril	LogNormal	0.12193	0.16995	$\sigma=0.46197$ $\mu=5.3863$
Mayo	Valores extremos	0.08136	0.04915	$k=-0.06933$ $\sigma=109.17$ $\mu=200.61$
Junio	Valores extremos	0.0653	1.1003	$k=-0.28467$ $\sigma=130.85$ $\mu=309.55$
Julio	Valores extremos	0.05717	0.51011	$k=0.02359$ $\sigma=86.458$ $\mu=193.87$
Agosto	Valores extremos	0.08439	0.38322	$k=-0.05894$ $\sigma=111.78$ $\mu=217.71$
Septiembre	Valores extremos	0.09929	0.53832	$k=0.05382$ $\sigma=89.893$ $\mu=160.84$
Octubre	LogNormal (3P)	0.06711	0.28327	$\sigma=0.40516$ $\mu=5.5601$ $\gamma=-73.571$
Noviembre	Valores extremos	0.06658	0.34573	$k=0.15264$ $\sigma=75.911$ $\mu=125.31$
Diciembre	LogNormal (3P)	0.08972	0.37453	$\sigma=0.47358$ $\mu=5.3478$ $\gamma=-63.81$

Tabla 60. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación La Junta.

	Distribución	Estadísticos		Parámetros
		Kolmogorov-Smirnov	Chi-Cuadrado	
Enero	LogNormal (3P)	0.09834	2.0524	$\sigma=0.37045$ $\mu=5.1037$ $\gamma=-40.807$
Febrero	Valores extremos	0.08286	0.70119	$k=-0.0628$ $\sigma=66.708$ $\mu=68.445$
Marzo	LogNormal	0.10685	0.76992	$\sigma=0.51937$ $\mu=4.9274$
Abril	Valores extremos	0.05299	0.32227	$k=-0.14951$ $\sigma=74.397$ $\mu=161.21$
Mayo	Valores extremos	0.10216	0.1743	$k=-0.02198$ $\sigma=117.57$ $\mu=192.53$
Junio	Valores extremos	0.11728	0.97329	$k=0.02857$ $\sigma=75.415$ $\mu=236.19$
Julio	LogNormal (3P)	0.09257	0.62522	$\sigma=0.30662$ $\mu=5.8161$ $\gamma=-104.26$
Agosto	Valores extremos	0.10838	4.3997	$k=-0.1123$ $\sigma=102.07$ $\mu=199.67$
Septiembre	Valores extremos	0.11225	0.28953	$k=-0.25917$ $\sigma=76.84$ $\mu=145.22$
Octubre	Valores extremos	0.10997	0.30939	$k=0.13363$ $\sigma=85.233$ $\mu=132.24$
Noviembre	LogNormal	0.08025	0.30985	$\sigma=0.61707$ $\mu=4.9123$
Diciembre	LogNormal (3P)	0.09901	0.00375	$\sigma=0.34248$ $\mu=5.4282$ $\gamma=-96.805$

Tabla 61. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Lago Verde.

	Distribución	Estadísticos		Parámetros
		Kolmogorov-Smirnov	Chi-Cuadrado	
Enero	Normal	0.19116	0.05481	$\sigma=65.323$ $\mu=100.59$
Febrero	Valores extremos	0.10086	0.02286	$k=-0.07987$ $\sigma=41.181$ $\mu=46.702$
Marzo	Valores extremos	0.15317	0.00057412	$k=0.36006$ $\sigma=39.545$ $\mu=60.614$
Abril	LogNormal (3P)	0.17679	0.35104	$\sigma=0.54538$ $\mu=4.9476$ $\gamma=-17.806$
Mayo	Valores extremos	0.07653	0.1432	$k=0.01834$ $\sigma=98.831$ $\mu=154.56$
Junio	Valores extremos	0.11033	0.14639	$k=-0.08822$ $\sigma=82.318$ $\mu=223.05$
Julio	LogNormal (3P)	0.14773	0.41185	$\sigma=0.74221$ $\mu=4.0737$ $\gamma=94.174$
Agosto	Valores extremos	0.11787	1.0361	$k=-0.18456$ $\sigma=93.008$ $\mu=143.1$
Septiembre	LogNormal	0.13256	0.00285	$\sigma=0.72639$ $\mu=4.5048$
Octubre	Valores extremos	0.1533	0.47587	$k=-0.07797$ $\sigma=69.833$ $\mu=90.632$
Noviembre	LogNormal	0.12153	0.20328	$\sigma=0.53327$ $\mu=4.5183$
Diciembre	LogNormal	0.11477	0.08009	$\sigma=0.68074$ $\mu=4.3511$

Tabla 62. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Marin Balmaceda.

	Distribución	Estadísticos		Parámetros
		Kolmogorov-Smirnov	Chi-Cuadrado	
Enero	LogNormal (3P)	0.07952	0.34567	$\sigma=0.31803$ $\mu=5.4482$ $\gamma=-58.519$
Febrero	Valores extremos	0.07141	0.34458	$k=-0.07059$ $\sigma=82.291$ $\mu=95.115$
Marzo	Normal	0.11155	0.27524	$\sigma=100.51$ $\mu=207.17$
Abril	Normal	0.0831	0.4707	$\sigma=115.44$ $\mu=250.38$
Mayo	LogNormal (3P)	0.07632	0.24356	$\sigma=0.54075$ $\mu=5.8475$ $\gamma=-38.177$
Junio	Valores extremos	0.10411	1.2653	$k=0.04278$ $\sigma=109.71$ $\mu=314.51$
Julio	Valores extremos	0.09435	0.30467	$k=-0.10135$ $\sigma=122.66$ $\mu=271.55$
Agosto	Valores extremos	0.10173	1.6305	$k=-0.06776$ $\sigma=132.72$ $\mu=273.8$
Septiembre	Valores extremos	0.08416	0.84743	$k=-0.07969$ $\sigma=101.56$ $\mu=177.54$
Octubre	LogNormal (3P)	0.10163	0.11083	$\sigma=0.60816$ $\mu=5.3291$ $\gamma=9.409$
Noviembre	Normal	0.0831	0.4707	$\sigma=115.44$ $\mu=250.38$
Diciembre	LogNormal (3P)	0.07954	0.69483	$\sigma=0.35758$ $\mu=5.6383$ $\gamma=-103.96$

Tabla 63. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Palena.

	Distribución	Estadísticos		Parámetros
		Kolmogorov-Smirnov	Chi-Cuadrado	
Enero	LogNormal (3P)	0.11133	0.1509	$\sigma=0.53847$ $\mu=4.645$ $\gamma=-36.16$
Febrero	LogNormal (3P)	0.11973	0.08219	$\sigma=0.32547$ $\mu=4.7247$ $\gamma=-60.305$
Marzo	LogNormal (3P)	0.13239	0.3415	$\sigma=0.9537$ $\mu=3.9067$ $\gamma=22.744$
Abril	Valores extremos	0.09817	0.11485	$k=0.10896$ $\sigma=62.434$ $\mu=89.254$
Mayo	LogNormal	0.13802	0.98653	$\sigma=0.72394$ $\mu=5.071$
Junio	LogNormal (3P)	0.11525	0.00128	$\sigma=0.32469$ $\mu=5.3648$ $\gamma=42.413$
Julio	Valores extremos	0.08604	0.13755	$k=0.22441$ $\sigma=52.82$ $\mu=130.79$
Agosto	LogNormal (3P)	0.15186	0.01334	$\sigma=0.19082$ $\mu=6.0898$ $\gamma=-254.41$
Septiembre	LogNormal (3P)	0.10465	0.01994	$\sigma=0.61988$ $\mu=4.5399$ $\gamma=-9.7309$
Octubre	LogNormal (3P)	0.13744	0.72449	$\sigma=0.63211$ $\mu=4.7861$ $\gamma=-25.554$
Noviembre	Valores extremos	0.12929	0.81259	$k=0.16188$ $\sigma=43.03$ $\mu=67.269$
Diciembre	Valores extremos	0.12198	0.09725	$k=0.18034$ $\sigma=35.001$ $\mu=52.104$

Tabla 64. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Puerto Puyuhuapi.

	Distribución	Estadísticos		Parámetros
		Kolmogorov-Smirnov	Chi-Cuadrado	
Enero	Normal	0.09585	0.20093	$\sigma=84.326$ $\mu=212.85$
Febrero	Valores extremos	0.07649	0.30792	$k=-0.19043$ $\sigma=85.418$ $\mu=113.02$
Marzo	Valores extremos	0.12163	2.8713	$k=-0.21202$ $\sigma=82.06$ $\mu=184.9$
Abril	Normal	0.07463	0.31672	$\sigma=101.35$ $\mu=266.25$
Mayo	LogNormal	0.10861	1.8056	$\sigma=0.56134$ $\mu=5.7825$
Junio	LogNormal	0.10168	0.66094	$\sigma=0.28279$ $\mu=5.928$
Julio	Valores extremos	0.13511	3.0435	$k=-0.23802$ $\sigma=124.54$ $\mu=286.85$
Agosto	Valores extremos	0.13137	0.67023	$k=-0.14332$ $\sigma=129.4$ $\mu=298.02$
Septiembre	LogNormal	0.10192	0.46088	$\sigma=0.46392$ $\mu=5.4722$
Octubre	LogNormal	0.08521	0.94556	$\sigma=0.45988$ $\mu=5.5341$
Noviembre	LogNormal	0.08038	3.0974	$\sigma=0.40558$ $\mu=5.4003$
Diciembre	LogNormal (3P)	0.07623	0.02694	$\sigma=0.17751$ $\mu=6.52$ $\gamma=-450.77$

Tabla 65. Distribuciones de probabilidad que caracterizan la estación Valle Río Frío.

	Distribución	Estadísticos		Parámetros
		Kolmogorov-Smirnov	Chi-Cuadrado	
Enero	Valores extremos	0.12647	0.00061231	$k=0.10636$ $\sigma=103.47$ $\mu=135.26$
Febrero	Valores extremos	0.12229	0.04111	$k=0.02061$ $\sigma=81.425$ $\mu=105.89$
Marzo	LogNormal (3P)	0.15222	2.0918	$\sigma=1.0314$ $\mu=4.7718$ $\gamma=58.78$
Abril	Valores extremos	0.11322	0.00253	$k=-0.12963$ $\sigma=140.1$ $\mu=221.39$
Mayo	Valores extremos	0.12476	0.47308	$k=0.15311$ $\sigma=167.51$ $\mu=288.39$
Junio	Valores extremos	0.10592	0.04427	$k=0.0586$ $\sigma=123.61$ $\mu=448.14$
Julio	Valores extremos	0.08469	0.31561	$k=0.18674$ $\sigma=92.04$ $\mu=346.24$
Agosto	Valores extremos	0.1088	0.78982	$k=-0.18682$ $\sigma=153.94$ $\mu=353.95$
Septiembre	LogNormal (3P)	0.0848	0.13867	$\sigma=0.42894$ $\mu=5.8939$ $\gamma=-99.322$
Octubre	Valores extremos	0.11486	0.71843	$k=0.09115$ $\sigma=116.45$ $\mu=210.7$
Noviembre	Valores extremos	0.10146	0.52316	$k=0.02241$ $\sigma=114.82$ $\mu=209.49$
Diciembre	Valores extremos	0.16126	2.709	$k=0.1419$ $\sigma=113.16$ $\mu=158.76$

Anexo 3.7. CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL

Se determinaron las precipitaciones medias mensuales, identificando mínimos, máximos y desviación estándar (D.E). Se definen las curvas de variación estacional para diferentes probabilidades de excedencia para cada estación meteorológica a partir de la estadística histórica disponible para cada una de ellas. Los datos analizados corresponden a la estadística extendida. Las siguientes figuras y tablas, corresponden a las curvas de variación estacional estimadas a partir de las distribuciones de probabilidad definidas en el capítulo 4.3.7, utilizando el software SMADA.

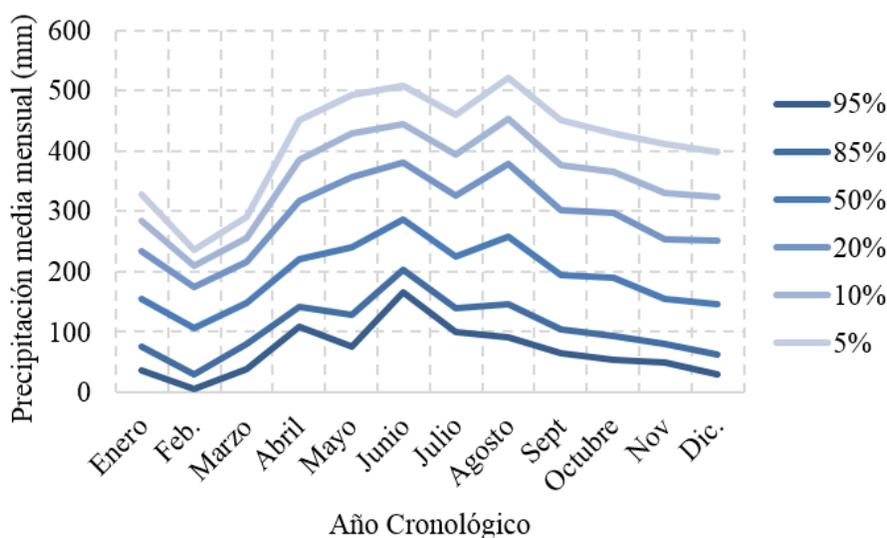


Figura 73. Curva de variación estacional en la estación Bortalit.

Tabla 66. Curva de variación estacional en la estación Bortalit.

Precipitación media mensual (mm)												
Pexc (%)	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic.
95	36.67	5.36	38.15	107.69	76.09	166.17	100.22	90.96	65.08	54.29	48.68	29.58
85	74.90	29.00	80.55	140.34	129.12	202.87	138.92	144.76	104.27	92.81	79.03	63.02
50	153.73	106.68	148.69	220.25	240.14	285.21	225.68	258.27	194.10	190.06	153.88	145.40
20	234.26	173.65	215.65	317.56	356.15	380.35	325.86	378.20	301.25	296.90	253.20	250.20
10	283.19	208.62	255.54	384.57	428.06	444.82	393.68	453.29	375.89	365.55	329.12	324.53
5	327.09	236.52	291.28	450.42	493.60	507.78	459.88	522.24	450.40	430.09	410.63	398.97

Tabla 67. Precipitación media mensual en la estación Bortalit.

BORDALIT												
Pexc (%)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Prom	164.1	108.5	156.2	242.1	256.6	304.4	245.8	276.0	217.8	208.4	182.5	171.2
Mín	23.2	3.0	54.4	88.7	41.1	122.2	102.2	75.0	52.0	25.7	32.8	23.4
Máx	425.2	240.2	314.8	523.4	593.8	663.4	518.1	597.2	643.7	534.0	508.9	632.2
D.E	88.1	73.6	75.3	110.5	125.8	107.5	108.5	129.4	124.8	119.5	115.1	120.4

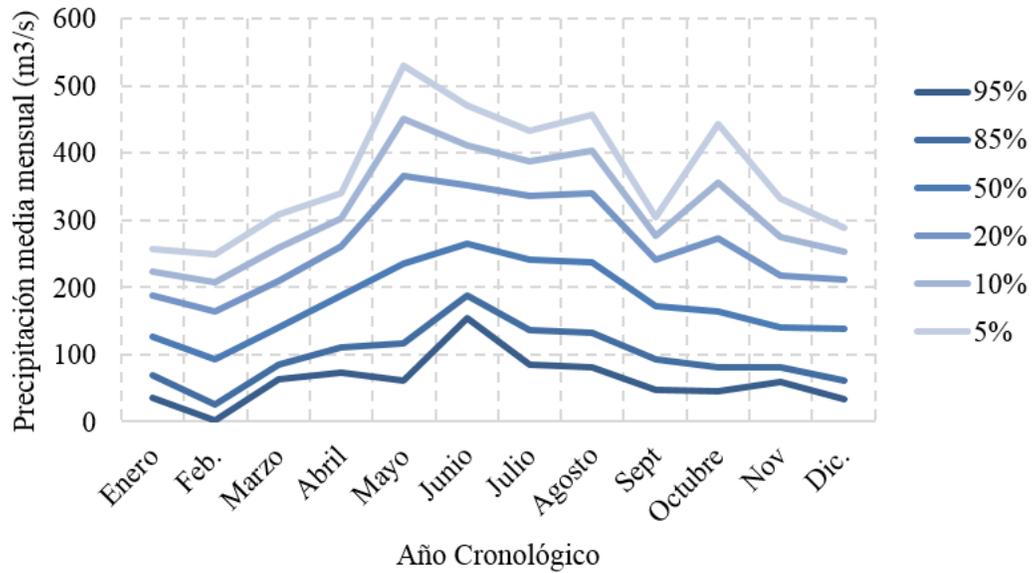


Figura 74. Curva de variación estacional en la estación La Junta.

Tabla 68. Curva de variación estacional en la estación La Junta.

Precipitación media mensual (mm)												
Pexc (%)	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic.
95	35.78	2.56	63.68	72.44	61.92	154.73	85.24	80.40	47.62	45.31	59.28	32.89
85	68.79	24.85	85.26	111.21	116.70	188.35	136.99	131.87	91.69	79.96	81.57	60.49
50	127.26	92.63	140.08	187.78	235.45	263.97	241.5	236.35	172.13	164.22	140.41	138.30
20	187.28	163.95	209.64	261.20	366.00	351.76	335.36	340.59	240.73	273.74	218.23	210.97
10	224.11	208.43	258.87	303.37	450.66	411.47	387.95	402.62	276.22	355.98	274.86	252.80
5	257.74	249.17	308.10	339.58	530.56	469.98	433.29	457.39	304.32	443.06	332.53	289.47

Tabla 69. Precipitación media mensual en la estación La Junta.

LA JUNTA												
Pexc (%)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Prom	135.4	103.0	157.1	194.4	257.9	281.9	247.3	248.3	173.5	194.3	161.1	144.4
Mín	29.7	3.0	53.6	70.5	19.0	121.9	93.6	70.5	51.9	25.7	32.7	25.0
Máx	291.0	242.0	358.7	365.1	606.8	511.6	462.8	470.5	321.1	533.2	414.8	347.1
D.E	67.2	76.0	79.8	79.1	143.3	96.6	107.5	112.2	75.9	127.5	90.6	82.4

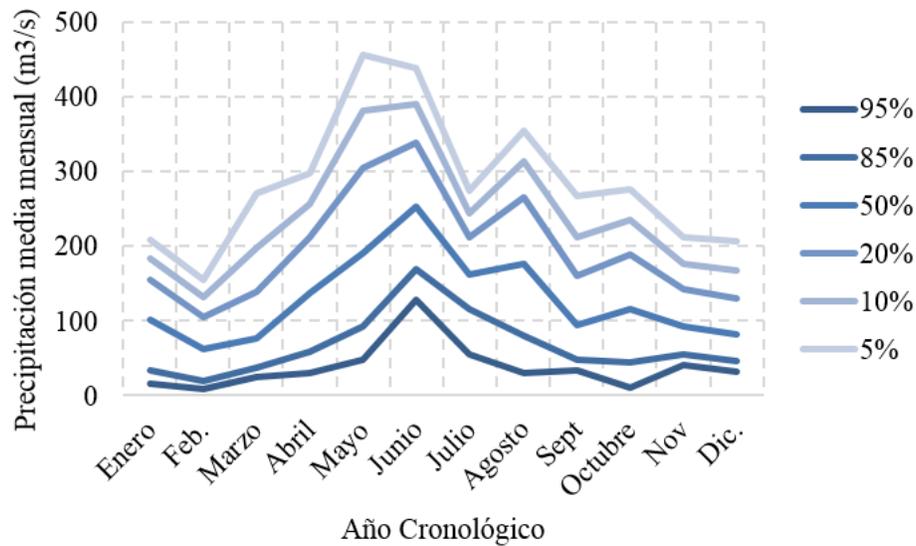


Figura 75. Curva de variación estacional en la estación Lago Verde.

Tabla 70. Curva de variación estacional en la estación Lago Verde.

Precipitación media mensual (mm)												
Pexc (%)	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic.
95	15.46	8.46	24.80	30.85	47.19	128.16	55.62	29.88	32.90	10.59	40.55	32.05
85	32.88	19.64	38.01	57.75	91.64	168.81	115.55	79.86	48.48	44.77	55.10	45.23
50	100.58	61.58	76.08	136.38	190.89	252.77	161.92	176.1	93.77	115.88	92.83	81.28
20	155.55	104.92	139.21	212.45	304.85	338.72	212.44	264.98	160.2	189.50	141.78	130.81
10	184.31	131.52	197.69	257.29	381.62	391.06	244.71	314.35	212.01	234.76	176.95	167.79
5	208.05	155.57	270.19	297.20	456.26	438.10	274.95	355.67	267.2	275.75	212.47	206.08

Tabla 71. Precipitación media mensual en la estación Lago Verde.

LAGO VERDE												
Pexc (%)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Prom	100.6	67.4	105.0	144.3	213.4	263.9	170.4	182.2	114.8	125.9	105.4	95.4
Mín	7.4	4.8	22.3	31.7	41.4	125.7	106.0	35.9	18.0	10.6	39.3	17.1
Máx	254.3	164.7	321.6	345.9	496.0	417.5	316.0	355.1	347.0	312.8	210.0	208.1
D.E	65.3	45.9	84.3	85.7	123.1	91.1	56.5	94.9	81.1	79.5	56.6	58.5

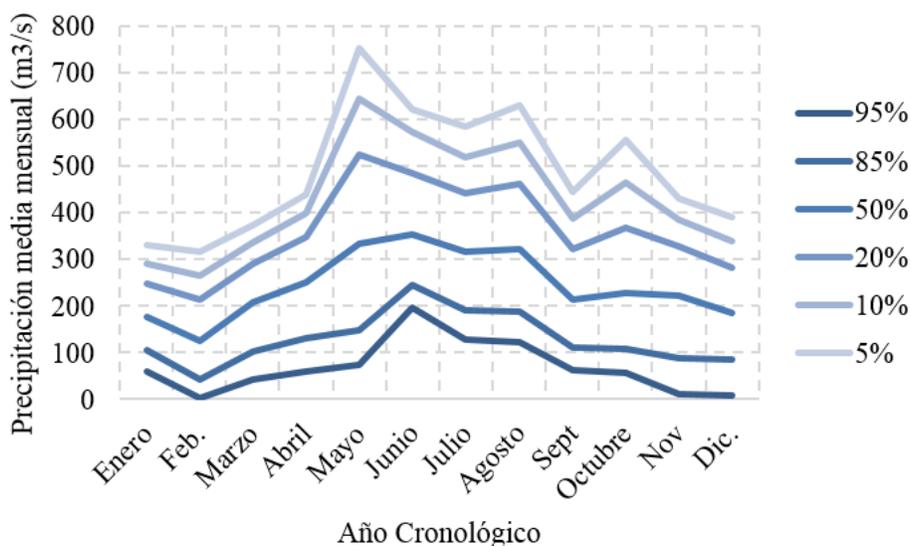


Figura 76. Curva de variación estacional para la estación Marin Balmaceda.

Tabla 72. Curva de variación estacional en la estación Marin Balmaceda.

Precipitación media mensual (mm)												
Pexc (%)	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic.
95	58.27	1.19	41.78	60.43	73.42	196.93	129.11	122.56	61.02	56.24	10.29	7.56
85	106.06	41.20	102.99	130.73	148.20	245.22	190.39	186.93	110.8	107.68	88.34	86.44
50	177.18	124.91	207.17	250.38	333.07	355.02	315.38	321.87	214.25	227.18	221.16	184.57
20	248.23	212.25	291.75	347.51	525.45	484.44	442.25	463.11	321.15	368.64	328.99	280.80
10	291.04	266.33	336.00	398.33	644.59	573.67	518.34	550.79	386.77	464.21	385.41	338.05
5	329.68	315.58	372.54	440.29	754.02	622.00	586.06	630.8	446.11	556.99	431.99	389.30

Tabla 73. Precipitación media mensual en la estación Marin Balmaceda.

MARIN BALMACEDA												
Pexc (%)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Prom	185.8	137.2	207.2	250.4	360.6	382.7	331.1	342.0	228.7	256.9	221.2	195.3
Mín	54.4	4.0	71.2	65.8	69.5	138.0	124.3	102.9	40.0	57.2	43.4	34.8
Máx	386.4	321.3	476.3	626.0	879.2	767.3	578.9	682.3	582.0	707.9	571.8	460.9
D.E	79.7	93.1	100.5	115.4	215.1	143.3	135.5	153.3	117.8	159.6	128.1	108.2

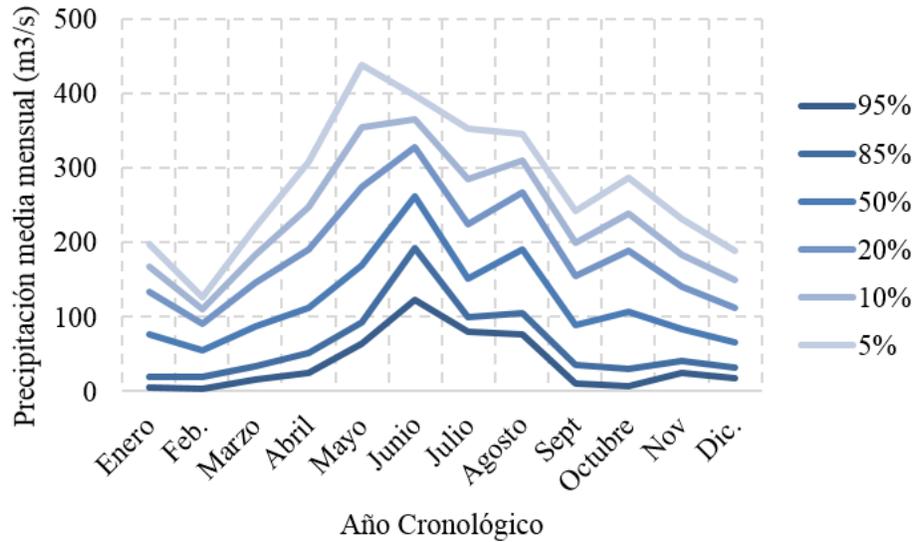


Figura 77. Curva de variación estacional para la estación Palena.

Tabla 74. Curva de variación estacional en la estación Palena.

Precipitación media mensual (mm)												
Pexc (%)	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic.
95	4.81	3.21	16.52	24.72	64.56	123.56	79.48	75.63	10.56	6.24	24.05	17.29
85	19.62	18.46	33.66	50.65	92.08	191.61	99.32	104.52	34.57	29.77	41.11	30.95
50	76.69	55.90	86.30	112.57	168.46	262.24	150.93	191.09	88.75	106.82	83.49	65.34
20	133.26	90.21	145.36	190.95	275.10	327.87	224.92	267.49	154.14	188.42	140.28	112.36
10	167.15	109.70	183.84	248.47	355.59	365.52	285.39	309.78	198.9	239.57	184.08	149.23
5	197.64	126.65	220.35	308.26	439.50	398.45	353.84	345.97	242.73	286.89	231.41	189.65

Tabla 75. Precipitación media mensual en la estación Palena.

PALENA												
Pexc (%)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Prom	83.3	58.4	97.1	132.8	199.6	267.6	176.2	195.0	103.1	119.3	100.2	79.8
Mín	2.8	4.5	29.3	30.0	25.8	150.7	83.0	75.5	17.0	10.0	16.9	23.6
Máx	211.9	139.8	267.5	376.4	469.3	413.5	408.1	375.0	328.3	345.7	233.8	215.8
D.E	63.5	39.1	66.2	88.2	127.0	74.5	87.1	88.0	74.1	91.2	64.3	54.0

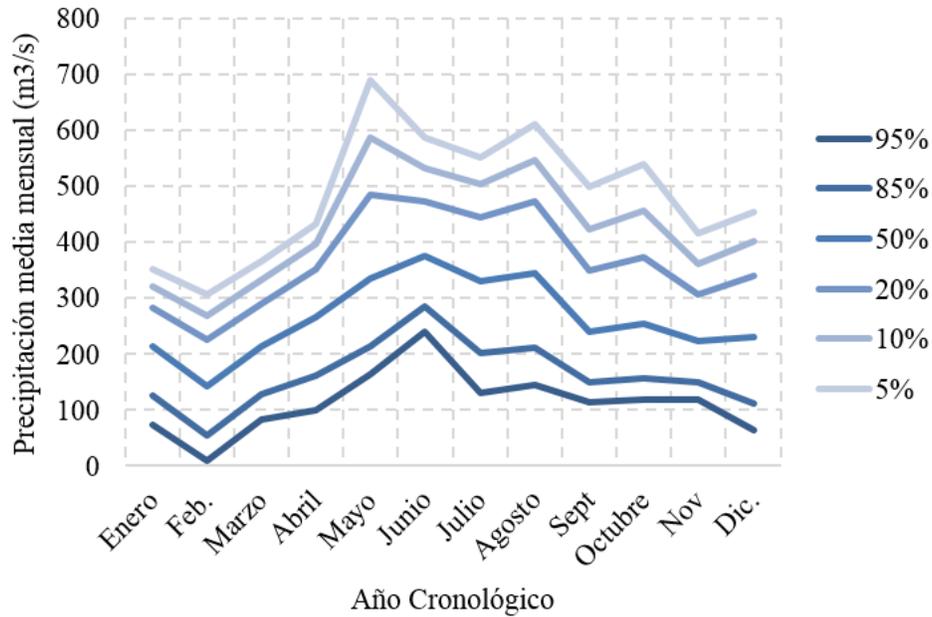


Figura 78. Curva de variación estacional para la estación Puerto Puyuhuapi.

Tabla 76. Curva de variación estacional en la estación Puerto Puyuhuapi.

Precipitación media mensual (mm)												
Pexc (%)	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic.
95	74.09	8.69	83.44	99.48	163.04	241.02	130.56	144.15	114.82	119.01	119.55	63.24
85	125.45	54.83	128.60	161.21	212.92	284.17	200.68	211.22	150.69	157.40	150.55	111.33
50	212.85	143.30	213.88	266.25	335.35	376.11	330.62	344.27	239.33	253.27	222.89	230.97
20	283.80	224.49	290.35	351.52	484.91	472.20	443.96	472.69	348.44	372.66	306.51	339.97
10	320.93	269.33	331.73	396.52	588.12	531.91	503.79	546.89	424.12	456.11	362.10	401.71
5	351.58	306.71	365.67	432.98	689.68	586.85	551.93	610.91	498.82	538.92	415.52	455.25

Tabla 77. Precipitación media mensual en la estación Puerto Puyuhuapi.

PUYUHUAPI												
Pexc (%)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Prom	212.8	148.6	217.8	266.2	369.2	390.1	334.5	356.4	264.4	281.4	239.5	238.6
Mín	57.7	12.9	75.3	87.3	43.1	168.7	130.5	109.9	97.4	89.3	69.3	18.0
Máx	376.2	312.5	364.8	474.0	701.5	648.6	573.4	685.3	615.4	635.7	447.2	560.5
D.E	84.3	87.8	83.4	101.3	169.9	107.5	124.9	141.3	124.2	136.3	94.0	124.4

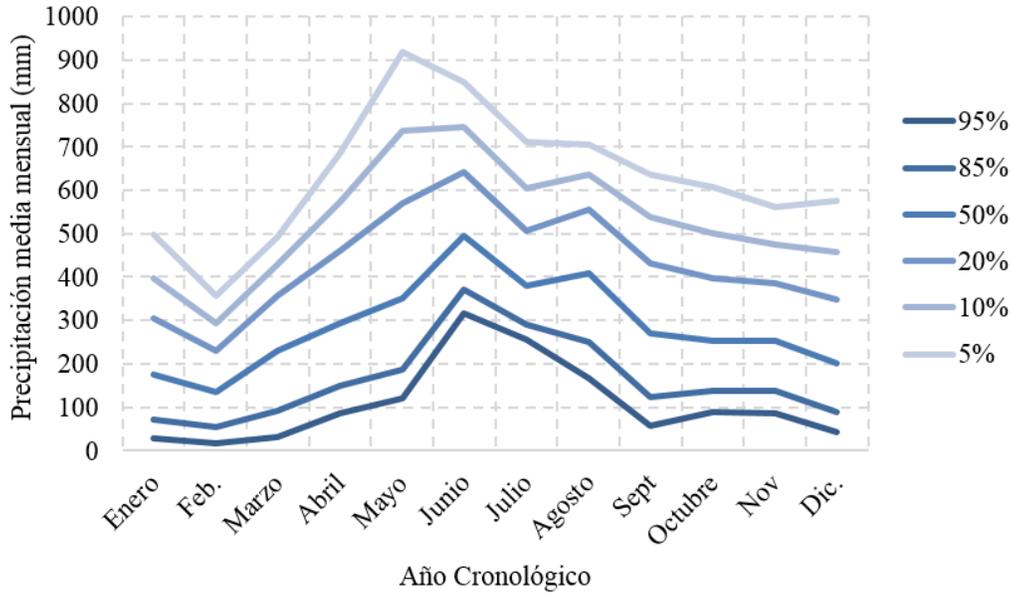


Figura 79. Curva de variación estacional para la estación Valle Río Frío.

Tabla 78. Curva de variación estacional en la estación Valle Río Frío.

Precipitación media mensual (mm)												
Perc (%)	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic.
95	28.16	17.55	32.54	86.60	119.33	316.80	255.01	166.32	56.24	89.15	85.04	43.86
85	71.24	54.09	92.69	150.03	186.27	370.46	290.73	249.21	123.14	138.28	136.49	89.53
50	173.89	135.84	230.39	293.02	351.44	493.90	381.09	408.56	269.55	254.06	251.74	201.27
20	303.47	229.44	356.88	459.50	570.70	641.90	505.47	555.37	432.08	397.82	384.63	347.82
10	398.31	293.44	428.87	573.04	738.37	745.47	603.63	636.74	537.24	501.56	474.50	458.74
5	496.73	355.30	491.53	684.49	918.47	849.21	711.69	704.74	636.54	608.00	562.15	576.87

Tabla 79. Precipitación media mensual para la estación Valle Río Frío.

VALLE RÍO FRÍO												
Perc (%)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Prom	207.1	154.6	239.8	286.2	414.7	527.1	420.0	418.4	298.4	289.4	278.4	242.4
Mín	25.8	25.0	73.4	73.2	57.5	323.9	247.3	184.2	41.6	73.4	84.4	79.1
Máx	559.7	363.0	484.6	554.0	1145.0	884.1	729.5	674.9	801.0	639.0	547.2	557.0
D.E	144.1	100.3	144.0	148.5	254.0	160.0	141.4	156.6	181.9	156.9	141.6	161.1

ANEXO 4: TEMPERATURAS EXTREMAS

Al igual que para el análisis de las precipitaciones, se identificaron entre las estaciones meteorológicas aquellas que tuvieran datos de temperatura y evaporación dentro de la cuenca del río Palena, en la base a la información de la red hidrométrica de la DGA (BNA), las que se exponen en la Tabla 80.

Tanto la información recopilada como los cálculos realizados y los resultados expuestos en este capítulo, se encuentran en el Anexo 4 del archivo digital.

Tabla 80. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio.

CODBNA	Nombre	Este (m)	Norte (m)	Altitud	Vigencia	Periodo
11041001-8	La Junta	709856	5125361	45	Vigente	1981-2015
11031001-3	Lago Verde	752894	5097228	350	Vigente	1993-2012
11120001-7	Puerto Puyuhuapi	694983	5085746	10	Vigente	1981-2015

La disponibilidad de datos diarios de temperaturas extremas en las estaciones meteorológicas: La Junta, Lago Verde y Puyuhuapi, se exponen en la Tabla 81. En la Tabla 82, se expone la distribución de los datos por mes, esto es, cuantos datos diarios se tienen en cada mes.

Tabla 81. Disponibilidad de datos meteorológicos por estación, a escala diaria.

Est. Meteorológica	Datos meteorológicos, a escala diaria.	
	Días	Periodo
La Junta	3622	Julio, 2001 - Dic, 2011
Lago Verde	4132	Febrero, 1999 - Agosto, 2012
Puyuhuapi	9407	Abril, 1986 - Sept, 2013

Tabla 82. Disponibilidad de datos diarios de temperaturas extremas por estación meteorológica.

	Temperaturas extremas, a escala diaria.											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
La Junta	95	96	185	276	177	113	100	146	236	272	220	148
Lago Verde	309	254	338	305	346	297	305	300	342	386	316	355
Puerto Puyuhuapi	774	773	713	660	769	720	837	860	800	834	795	826

Anexo 4.1. TEMPERATURAS MÍNIMAS

Para cada una de las estaciones se estimó el promedio de todos los datos diarios de temperaturas mínimas en cada mes, el mínimo y máximo absoluto de estos datos, y su desviación estándar (D.E), con el objetivo de conocer la variación mensual de las temperaturas mínimas. En las Tablas se exponen los datos para cada una de las estaciones meteorológicas.

Tabla 83. Temperaturas mínimas diarias en la Estación La Junta.

Temperaturas mínimas (°C)													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Prom	8.32	8.11	6.63	5.92	4.91	3.95	3.64	3.83	4.52	4.98	6.22	7.17	5.01
Mín	3.40	3.40	0.00	-3.90	-3.00	-1.60	-3.90	-1.60	-3.00	0.00	1.60	1.70	-1.52
Máx	12.60	12.60	11.70	12.60	10.20	10.40	10.00	10.00	10.00	8.90	11.40	12.60	10.68
D.S	1.81	1.87	2.36	2.60	2.28	1.93	2.22	2.06	2.10	1.90	2.10	2.00	2.13

Tabla 84. Temperaturas mínimas diarias en la Estación Lago Verde.

Temperaturas mínimas (°C)													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Prom	8.03	7.92	5.97	3.69	1.90	0.03	-1.04	-0.18	1.85	3.33	4.84	6.99	2.38
Mín	0.60	-0.60	-4.00	-5.40	-6.40	-11.20	-11.60	-6.80	-5.60	-3.20	-2.80	-0.40	-5.93
Máx	15.60	16.20	14.00	14.20	11.20	8.60	8.60	9.40	8.80	11.60	12.20	15.40	11.11
D.S	3.02	3.25	3.15	3.29	3.54	3.21	3.35	2.98	3.04	3.05	2.95	2.80	3.14

Tabla 85. Temperaturas mínimas diarias en la Estación Puyuhuapi.

Temperaturas mínimas (°C)													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Prom	8.66	8.50	7.11	5.41	4.05	2.92	1.93	2.31	3.27	4.90	6.44	7.72	4.33
Mín	1.00	1.00	-2.00	-2.80	-4.60	-6.80	-6.80	-5.80	-6.40	-3.00	-1.60	0.20	-4.18
Máx	18.00	15.00	14.00	13.00	12.00	13.00	10.40	11.00	10.00	11.00	14.00	16.00	12.27
D.S	2.64	2.66	3.01	3.17	3.26	3.41	3.16	2.89	2.91	2.62	2.68	2.52	2.96

Anexo 4.2. TEMPERATURAS MÁXIMAS

Para cada una de las estaciones se estimó el promedio de todos los datos diarios de temperaturas máximas en cada mes, el mínimo y máximo absoluto de estos datos y su desviación estándar (D.E), con el objetivo de conocer la variación mensual de las temperaturas máximas. En las Tablas se exponen los datos para cada una de las estaciones meteorológicas.

Tabla 86. Temperaturas máximas diarias en la Estación La Junta.

Temperaturas máximas (°C)													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Prom	19.49	20.16	16.43	13.54	11.49	8.93	8.49	9.76	12.22	13.94	16.04	18.07	12.50
Mín	13.00	11.00	6.10	2.00	4.20	3.60	2.40	4.50	7.00	7.70	8.50	10.00	5.54
Máx	32.00	32.00	28.60	21.70	19.60	14.10	16.60	16.10	18.60	25.70	27.60	31.00	21.22
D.S	3.56	4.26	3.56	2.94	2.55	2.00	1.98	2.27	2.17	2.86	3.64	4.34	2.75

Tabla 87. Temperaturas máximas diarias en la Estación Lago Verde.

Temperaturas máximas (°C)													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Prom	19.09	20.37	16.93	13.27	9.79	6.57	5.87	8.05	11.44	13.72	15.64	18.25	11.40
Mín	9.20	8.90	7.40	4.20	0.40	-5.80	-4.00	1.00	1.60	3.60	6.00	7.20	1.58
Máx	35.40	34.60	30.00	22.30	18.20	13.40	14.40	15.80	22.20	26.40	29.40	33.20	21.70
D.S	4.74	5.63	4.03	3.26	3.18	2.74	3.01	2.69	3.40	4.11	4.27	5.46	3.57

Tabla 88. Temperaturas máximas diarias en la Estación Puyuhuapi.

Temperaturas máximas (°C)													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Prom	18.49	18.31	16.07	12.82	10.07	7.48	7.41	8.54	10.93	13.11	15.00	16.61	11.33
Mín	9.80	9.20	7.00	6.50	3.20	-2.50	0.20	2.40	4.00	5.90	6.00	1.40	3.01
Máx	34.00	31.80	28.00	21.80	17.80	15.20	18.00	17.70	23.00	24.00	27.80	29.90	21.69
D.S	3.89	3.98	3.11	2.52	2.42	2.38	2.26	2.17	2.58	2.97	3.25	4.02	2.73

Anexo 4.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN

De acuerdo a la información disponible de temperaturas extremas se determinó la evapotranspiración media diaria utilizando la fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985), que necesita únicamente datos de temperatura y radiación solar.

$$ET_o = 0.0135 * (T_{med} + 17.78) * R_s$$

Donde: ET_o : Evapotranspiración potencial diaria (mm/día).

T_{med} : temperatura media (°C).

R_s : radiación solar incidente (mm/día).

La radiación solar incidente, R_s , se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (la que llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo de no existir esta capa), R_o , se puede leer de tablas en función de la latitud del lugar y del mes. En este estudio, se utilizaron los datos entregados por Allen et al. (1998), en MJ/m²día. Ellos debieron ser multiplicados por 0.408 para convertirlos en mm/día, según recomienda el autor.

De acuerdo, con Samani (2000) la radiación solar incidente se estima según la siguiente fórmula:

$$R_s = 0.408 * R_o * KT * (T_{máx} - T_{mín})^{0.5}$$

Donde: R_s : Radiación solar incidente(mm/día)

R_o : Radiación solar extraterrestre (MJ/m²día)

KT : coeficiente (regiones interiores: 0.162; regiones costeras: 0.19)

$T_{máx}$: Temperatura diaria máxima (°C)

$T_{mín}$: Temperatura diaria mínima (°C)

Al igual que para los datos de temperaturas extremas, para cada una de las estaciones meteorológicas se estimó el promedio de todos los datos diarios de evapotranspiración potencial en cada mes, el mínimo y máximo absoluto de estos datos y su desviación estándar (D.E), con el objetivo de conocer la variación mensual de la evapotranspiración potencial calculada. En las Tablas se exponen los datos para cada una de las estaciones meteorológicas.

Tabla 89. Evapotranspiración potencial diaria en Estación La Junta.

Evapotranspiración potencial diaria (mm/día)													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Prom	3.49	3.03	2.23	1.35	0.83	0.54	0.58	0.96	1.66	2.46	3.13	3.43	1.66
Mín	1.99	1.60	0.99	0.47	0.26	0.19	0.21	0.43	0.68	0.96	1.72	2.16	0.78
Máx	5.37	4.53	3.51	2.26	1.28	0.83	1.09	1.55	2.61	4.64	5.06	5.21	2.72
D.S	0.65	0.65	0.48	0.34	0.18	0.12	0.14	0.23	0.36	0.53	0.70	0.62	0.36

Tabla 90. Evapotranspiración potencial diaria en Estación Lago Verde.

Evapotranspiración potencial diaria (mm/día)													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Prom	3.74	3.37	2.46	1.43	0.80	0.52	0.57	0.93	1.67	2.51	3.29	3.83	1.73
Mín	1.52	1.32	0.76	0.52	0.11	0.11	0.22	0.26	0.26	0.53	1.05	0.50	0.40
Máx	6.60	6.17	4.55	2.35	1.33	0.80	1.02	1.51	3.05	4.80	6.39	7.25	3.17
D.S	1.01	1.00	0.65	0.37	0.19	0.12	0.13	0.21	0.43	0.74	0.97	1.24	0.49

Tabla 91. Evapotranspiración potencial diaria en Estación Puyuhuapi.

Evapotranspiración potencial diaria (mm/día)													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Prom	3.69	3.17	2.24	1.28	0.72	0.47	0.54	0.85	1.51	2.27	2.99	3.47	1.57
Mín	1.16	0.93	0.36	0.33	0.18	0.00	0.00	0.00	0.40	0.51	0.46	0.84	0.30
Máx	7.53	6.17	4.29	2.27	1.37	0.81	1.21	1.72	3.20	4.43	6.06	6.83	3.10
D.S	1.03	0.92	0.59	0.33	0.18	0.12	0.12	0.21	0.37	0.61	0.78	1.01	0.41

ANEXO 5. PASO A PASO PLANILLA EXCEL MODELADOR PALENA

INTRODUCCIÓN

La planilla Excel Modelador Palena corresponde a la automatización de una relación matemática que permite estimar los caudales medios mensuales en cualquier subcuenca de la cuenca del río Palena.

La relación que caracteriza el comportamiento hidrológico en la cuenca del río Palena fue definida a partir de los parámetros morfométricos: área (km²), pendiente media y elevación media (m) de cada una de las subcuencas asociadas a las estaciones fluviométricas, y la estadística disponible hasta octubre del 2016 de la cuenca Palena bajo Rosselot junto con los datos de precipitación de la estación La Junta, la cuenca del río Palena en la frontera y del río Tigre en la frontera, estas últimas con los datos de precipitación de la estación Palena. También se definió un coeficiente independiente que incorporar el aporte nival y otros fenómenos que no son descritos por las variables descritas.

Finalmente la relación que caracteriza la generación de caudales medios mensuales en cualquier subcuenca del río Palena está definida por:

$$Q_{men} = a * A^b * P_{men}^c * S^d * H^e + f$$

Donde:

Q_{men}: Caudal medio mensual (m³/s)

A: Superficie de la subcuenca (km²).

P_{men}: Precipitación mensual de la estación más cerca (mm).

S: Pendiente media de la cuenca (%).

H: Elevación media de la cuenca (m.s.n.m).

a, b, c, d, e, f: coeficientes.

Los coeficientes fueron calibrados mes a mes considerando la información mencionada para las 3 subcuencas asociadas a estaciones fluviométricas en la cuenca del río Palena, debido que la jerarquía de los fenómenos que controlan la generación de escorrentía varía mensualmente.

Coeficientes ecuación de caudales medios mensuales en la cuenca del río Palena.

Mes	Parámetro del modelo						R2
	a	b	c	d	e	f	
Enero	32.018*10(-4)	59.6437*10(-2)	1.0172	9.4352*10(-5)	0	24.7885	0.99
Febrero	3.1269*10(-5)	98.6801*10(-2)	1.0133	4.9485*10(-5)	14.5059*10(-2)	18.1373	0.99
Marzo	3.4092*10(-5)	89.9626*10(-2)	1.0119	4.9486*10(-5)	25.5735*10(-2)	8.6099	0.99
Abril	23.462*10(-5)	73.7163*10(-2)	99.4892*10(-2)	34.3822*10(-2)	33.6695*10(-3)	1.6859*10(-7)	0.99
Mayo	2.5616*10(-5)	1.109	1.0203	4.952*10(-5)	0	22.345	0.99
Junio	16.431*10(-5)	81.6409*10(-2)	1.0078	3.6303*10(-5)	14.3824*10(-2)	12.6916	0.99
Julio	15.516*10(-5)	88.2718*10(-2)	1.0242	3.6298*10(5)	40.7799*10(-3)	36.4099	0.98
Agosto	70.2863*10(-3)	53.7799*10(-2)	98.7128*10(-2)	0	0	2.6679*10(-9)	0.99
Septiembre	3.3633*10(-5)	1.2653	18.4726*10(-2)	1.082	29.5012*10(-3)	14.1197	0.94
Octubre	5.2512*10(-5)	1.023	25.9797*10(-2)	1.5389	38.5191*10(-3)	0	0.94
Noviembre	5.5566*10(-5)	98.7334*10(-2)	35.5075*10(-2)	1.4904	39.1559*10(-3)	0	0.86
Diciembre	1.5429*10(-5)	1.0697	18.8037*10(-2)	1.9417	20.5574*10(-3)	0	0.85

USOS:

1. Estimar caudales medios mensuales en cualquier subcuenca del río Palena.
2. Caracterizar mediante la curva de variación estacional, los caudales de la cuenca de interés.

Importante:

La planilla está compuesta por tres pestañas, (1) Modelador, (2) Datos y (3) Curva de variación estacional.

El operador sólo debe ingresar información en la primera pestaña. Sólo se deben modificar casillas en azul.

MODO DE USO

1. Caracterizar morfológicamente la cuenca de interés: determinar superficie (km²), pendiente media (%) y elevación media (m.s.n.m).
2. Identificar la estación pluviométrica más cercana a la cuenca con disponibilidad de información actualizada. Se debe disponer de precipitación mensual (mm).
3. Ingresar datos en planilla Excel, en casillas de color azul.

Primeras filas corresponden a la caracterización morfométrica de la cuenca.

Código BNA, Altitud, Cuenca, Latitud S, Longitud W y Subcuenca, corresponden únicamente a información importante para ubicar la cuenca. No interfieren en los cálculos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Las casillas en blanco no deben ser manipuladas								
2	Casilla en debe incorporar información requerida								
3									
4									
5	Área (km ²)			Código BNA:				Latitud S :	
6	Pendiente media			Altitud :	msnm			Longitud W :	
7	Elevación (m)			Cuenca :				SubCuenca :	

A partir de la fila 8, corresponde a la caracterización de la precipitación en la cuenca.

Se debe ingresar toda la información disponible de precipitación mensual separada por mes. Esto es, en la primera columna azul la precipitación disponible de todos los enero, en la segunda columna azul la precipitación disponible de todos los febreros, y así sucesivamente hasta completar el año.

	ENERO				FEBRERO				MARZO				
	PP (mm)	Q (m3/s)	Coef	Valor	PP (mm)	Q (m3/s)	Coef	Valor	PP (mm)	Q (m3/s)	Coef	Valor	PP (mm)
10			a	1.8922E-06			a	1.3667E-06			a	1.3667E-06	
11			b	1.09972091			b	1.09972091			b	1.09972091	
12			c	0.39572086			c	0.39572086			c	0.39572086	
13			d	2.10379269			d	2.10379269			d	2.10379269	
14			e	0.01930191			e	0.01930191			e	0.01930191	
15			f	2.67626311			f	2.67626311			f	2.67626311	
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													

VER RESULTADOS

Caudales medios mensuales calculados

La planilla Datos, presenta los caudales medios mensuales calculados ordenados para un mejor análisis. En la fila 58, 59 y 60, presenta la media mensual, desviación estándar y el número de caudales estimados.

1																	
2	Estación :																
3	Código B:	0		Latitud S :	0												
4	Altitud	0 msnm		Longitud W	0												
5	Cuenca	0		SubCuenca :	0												
6																	
7	Dato	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qtotal			
8	1																
9	2																
10	3																
11	4																
12	5																
13	6																
14	7																
15	8																
16	9																
17	10																
18	11																
19	12																
20	13																
21	14																
22	15																
23	16																
24	17																
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N			
46	39																
47	40																
48	41																
49	42																
50	43																
51	44																
52	45																
53	46																
54	47																
55	48																
56	49																
57	50																
58	Media	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
59	Desv.Est.	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
60	n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Curva de variación estacional

Las primeras filas buscan ajustar las distribuciones de probabilidad conocidas, a los datos de caudal estimados.

Para facilitar los cálculos de la distribución de probabilidad que más se ajusta a los datos, la fila 523 de las columnas B hasta la M (incluyéndolas) debe ser arrastrada hasta la fila 530. Aquellas casillas que entreguen #iNUM!, DEBEN ser modificadas por una "X".

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
521	nivel significancia	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
522	Dmax =	#iDIV/0!											
523	NORMAL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
524	LOGNORMAL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
525	GUMBEL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
526	LOGGUMBEL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
527	PEARSON	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	X	X	0.000	X
528	LOGPEARSON	0.000	0.000	0.000	X	0.000	0.000	0.000	X	X	X	X	X
529	GAMMA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
530	LOGGAMMA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Luego, la visualización de la curva de variación estacional se presenta en la fila 542. La fila 543 muestra la distribución de probabilidad que más se ajusta a los datos, y de la fila 545 hasta 563 se muestran los caudales medios mensuales con distintas probabilidades de ocurrencia (A545:A563).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
542		CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL												
543	Distribución	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	
544	Q.Prob.Oc.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
545	5%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
546	10%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
547	15%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
548	20%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
549	25%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
550	30%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
551	35%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
552	40%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
553	45%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
554	50%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
555	55%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
556	60%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
557	65%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
558	70%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
559	75%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
560	80%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
561	85%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
562	90%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!
563	95%	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!

ANEXO 6. FOTOGRAFÍAS DE EQUIPOS

Río Correntoso



Regla Limnimétrica



Aforo N°1



Aforo N°2



Aforo N°3



Aforo N°4



Aforo N°5

Río Melimoyu



Regla Limnimétrica



Aforo N°2



Aforo N°4



Aforo N°5

Río Risopatrón antes de junta con Palena



Regla Limnimétrica



Aforo N°1



Aforo N°2



Aforo N°3



Aforo N°4



Aforo N°5

Río Risopatrón en desahüe Lago Risopatrón



Regla Limnimétrica



Aforo N°1



Aforo N°2



Aforo N°4



Aforo N°5

Lago Risopatrón



Sensor de nivel



Evaporímetro



Pluviómetro