

**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

Estimación de Caudales Cuenca río Palena

**REALIZADO POR:
DEP-DGA**

S.D.T. N°390

Santiago, Diciembre 2016

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GENERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3. METODOLOGÍA	5
4. ANTECEDENTES	5
4.1 ANTECEDENTES RECOPIADOS	5
4.2 LÍMITE DE CUENCA Y SUBCUENCAS DE INTERÉS	6
4.3 FLUVIOMETRÍA	9
4.4 PLUVIOMETRÍA Y TEMPERATURAS EXTREMAS	10
4.5 USOS DE SUELO Y EDAFOLOGÍA	11
5. LEVANTAMIENTO INFORMACIÓN EN TERRENO.....	12
5.1 CURVAS DE DESCARGA EN SUBCUENCAS DE INTERÉS	13
5.2 HIDROGRAMAS Y PLUVIOGRAMAS EN SUBCUENCAS DE INTERÉS	15
6. MODELACIÓN HIDROLÓGICA.....	17
6.1 MODELACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES	18
6.1.1 CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN CUENCAS DE INTERÉS	20
6.2 MODELACIÓN CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS	24
6.2.1 CUENCA RÍO CORRENTOSO	25
6.2.2 CUENCA RÍO MELIMOYU.....	26
6.2.3 CUENCA DESAGÜE LAGO RISOPATRÓN	28
6.2.4 CUENCA RÍO RISOPATRÓN	30
6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
7. CONCLUSIONES	33
8. RECOMENDACIONES.....	34

1. INTRODUCCIÓN

Como parte de la Iniciativa de Inversión "ANÁLISIS Y MODELACIÓN HIDROLÓGICA CUENCA DEL RIO PALENA" código BIP N° 30291423-0, y siendo, la División de Estudios y Planificación de la DGA contraparte técnica del Estudio del mismo nombre, desarrollado por CFC Ingeniería Limitada para la DGA Regional de Aysén, es que, a través de este Informe Técnico se pretende sintetizar lo realizado y presentar sus resultados y conclusiones.

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. Adicionalmente, el río y sus lagos forman un destino turístico debido a su naturaleza prístina, y a la pesca de salmónidos.

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.

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 información disponible.

A continuación, se presentan los resultados de la recopilación, revisión, síntesis y análisis de antecedentes meteorológicos, hidrológicos, geomorfológicos y edafológicos en la cuenca del río Palena del estudio desarrollado por CFC Ingeniería Limitada para la DGA Regional. Además, 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 de cada una de ellas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo del Estudio fue 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.
- Definir los principales factores que condicionan los caudales en las subcuencas 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 antes junta río Palena.
- Interpretar y resumir antecedentes paleohistóricos de la cuenca del río Palena y variaciones de superficie y volumen del lago Risopatrón.

3. METODOLOGÍA

La caracterización hidrológica del río Palena en los distintos puntos de control se realizó en base a registros históricos, 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.

El Estudio presenta, 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.

4. ANTECEDENTES

4.1 ANTECEDENTES RECOPIADOS

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

- | | |
|--------|--|
| Ref. 1 | Balance Hídrico de Chile, Dirección General de Aguas, 1987. |
| Ref. 2 | La economía del cambio climático en Chile, CEPAL, Gobierno de Chile, 2012. |
| 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 |
| Ref. 4 | Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos, DARH.DGA. 2008 |
| 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. |
| Ref. 6 | Balance hídrico nacional. XI región, por REG Ricardo Edwards G. Ingenieros Consultores para el Departamento de Hidrología, DGA 1984. |
| Ref. 7 | Informe Técnico N°7, caudales de reserva cuenca del río Palena, División de Estudios y Planificación, DGA 2009. |
| Ref. 8 | Análisis de metodología y determinación de caudales de reserva turísticos por Aquaterra Ingenieros para la división de Estudios y Planificación, DGA 2010. |

- Ref. 9 Línea base hidrológica presentada por el proyecto hidroeléctrico Aysén, en su estudio de impacto ambiental.
- Ref. 10 Informe Preliminar Determinación del Potencial Hidroeléctrico XI Región y Provincia de Palena X Región, Dirección General de Aguas, 2007.
- Ref. 11 Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad Cuenca del Río Aysén, Cade-Idepe – DGA, 2004.
- 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.

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, y la obtención de sus respectivos parámetros morfométricos, 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 ArcGIS 10.1. Las cuencas delimitadas constituyen la base para la modelación hidrológica y su punto de cierre se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Ubicación de puntos de cierre cuencas de interés.

Nombre	Este (m)	Norte (m)
Río Correntoso	677.871	5.128.656
Río Melimoyu	678.110	5.128.356
Río Risopatrón en desagüe Lago Risopatrón	700.556	5.103.541
Río Risopatrón antes de junta río Palena	695.092	5.122.959

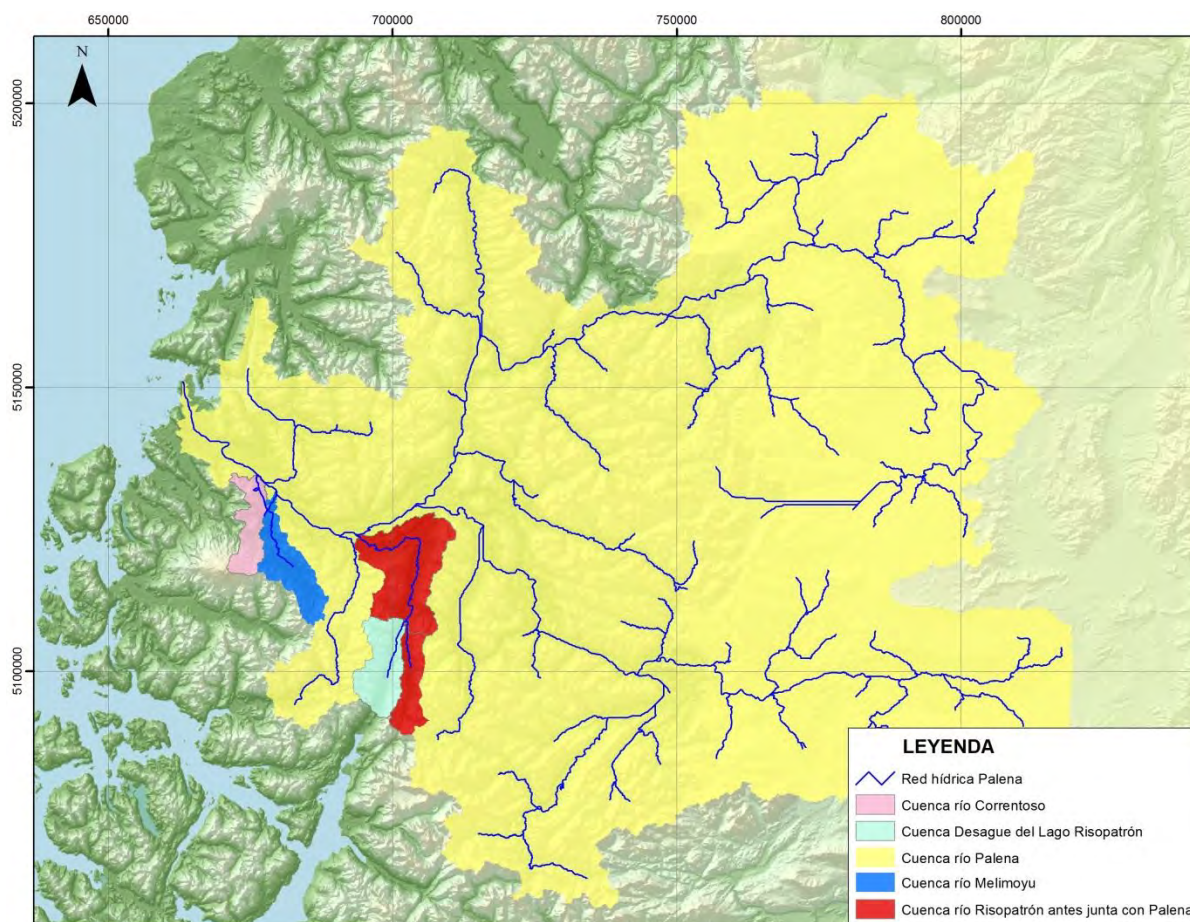


Figura 1. Cuenca Río Palena y subcuencas de interés.
(Coordenadas UTM, Datum WGS84. Huso 18)

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 cuencas de interés.

Subcuenca	Área (km ²)	Pendiente media	Elevación (m)	Elevación mínima (m)	Elevación máxima (m)
Río Correntoso	70,71	50,16	697,60	17	2.386
Río Melimoyu	107,68	40,86	723,47	53	1.653
Río Risopatrón en junta río Palena	391,73	44,38	626,14	11	1.810
Desagüe del Lago Risopatrón	81,29	44,44	736,06	120	1.784

Cuenca del 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.

Cuenca del 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).

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.

Cuenca río Risopatrón antes de junta con río 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.

4.3 FLUVIOMETRÍA

En base a la información de la red hidrométrica de la Dirección General de Aguas (DGA) se identificaron las estaciones fluviométricas ubicadas en la cuenca de estudio, entre ellas se encontraron estaciones ENDESA, como se muestra en la Tabla 3 y Figura 2.

Tabla 3. 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

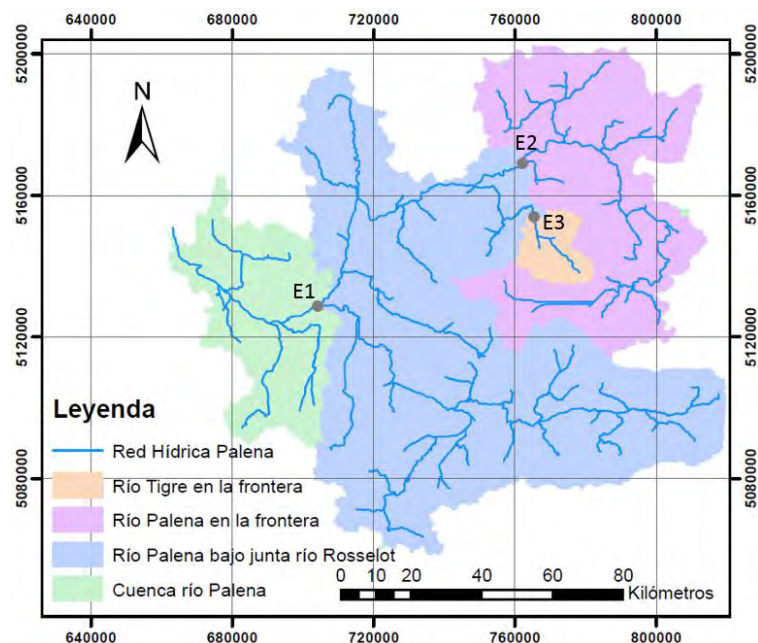


Figura 2. Ubicación estaciones fluviométricas.
(UTM, Datum WGS84. Huso 18)

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.

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.

Tabla 4. Parámetros morfométricos cuencas asociadas a estaciones fluviométricas.

Estaciones fluviométricas	Área (km ²)	Pendiente media de la cuenca	Elevación (m)	Elevación mínima (m)	Elevación máxima (m)
Río Palena bajo junta Rosselot	11907.04	37.13	945.30	12.00	2222.00
Río Tigre en la frontera	325.96	39.93	1243.52	680.00	1979.00
Río Palena en la frontera	3597.66	24.53	1018.05	213.00	2150.00

4.4 PLUVIOMETRÍA Y TEMPERATURAS EXTREMAS

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 5 y Figura 3. Para ellas se recopilamos antecedentes de precipitación y temperaturas extremas, correspondientes a los registros históricos de precipitaciones medias mensuales y diarias de las estaciones.

Tabla 5. Ubicación de las estaciones pluviométricas en la zona de estudio.

CODBNA	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

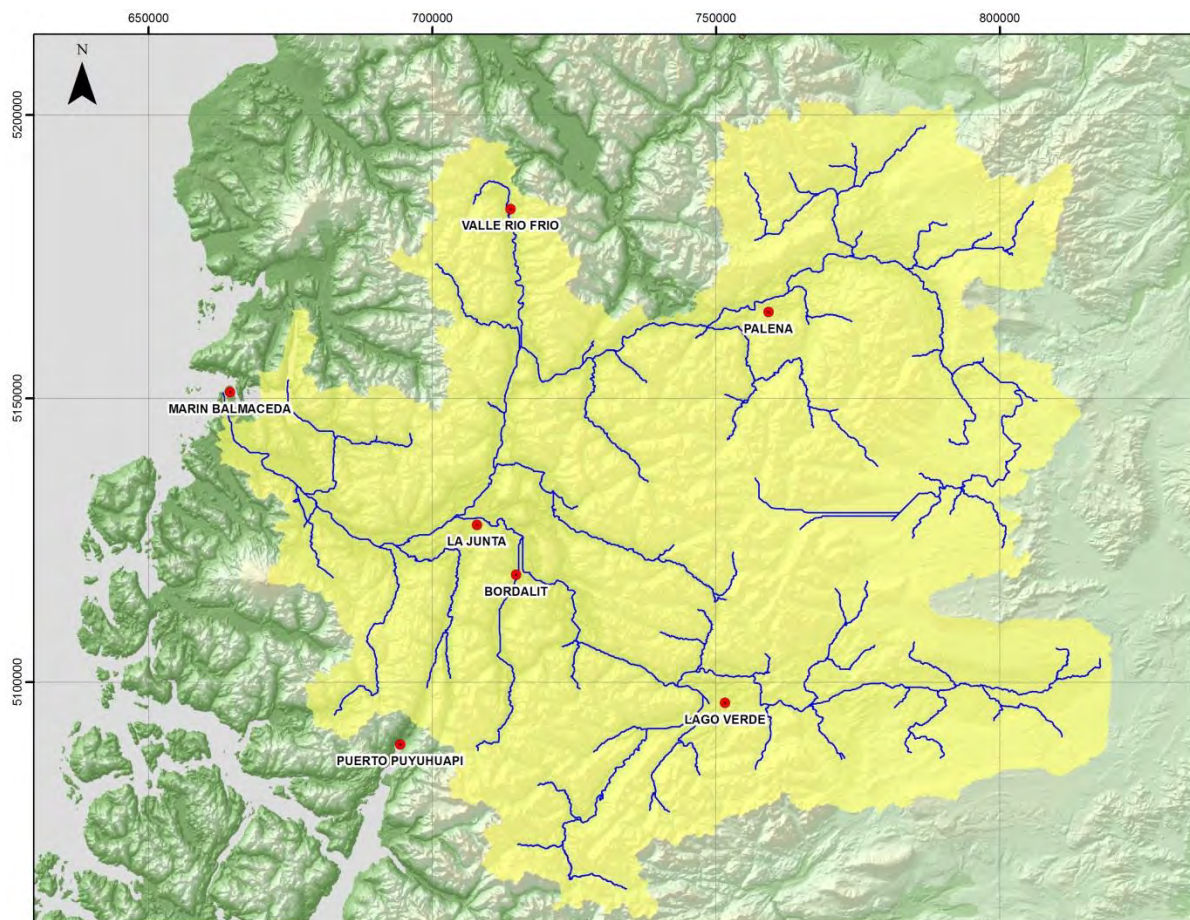


Figura 3. Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Palena.
(UTM, Datum WGS84. Huso 18)

4.5 USOS DE SUELO Y EDAFOLOGÍA

Los usos de suelo de la cuenca del Palena son fundamentalmente de bosque nativo, los que alcanzan 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. 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.

5. LEVANTAMIENTO INFORMACIÓN EN TERRENO

El estudio incluyó 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. (ver Tabla 6 y Figura 4).

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.

Tabla 6. Ubicación equipos instalados.

Coordenada UTM, Datum WGS84, Huso 18			
Puntos de interés	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Regla limnimétrica río Correntoso	677.902,04	5.128.686,00	35,02
Regla limnimétrica río Melimoyu	678.354,04	5.129.026,01	30,29
Regla limnimétrica río Risopatrón antes de junta con Palena	695.044,40	5.122.922,91	23,25
Regla limnimétrica en desagüe Lago Risopatrón	700.541,30	5.103.510,40	134,80
Regla limnimétrica en cabecera de Lago Risopatrón	700.481,90	5.103.381,4	134,80

[illegible]

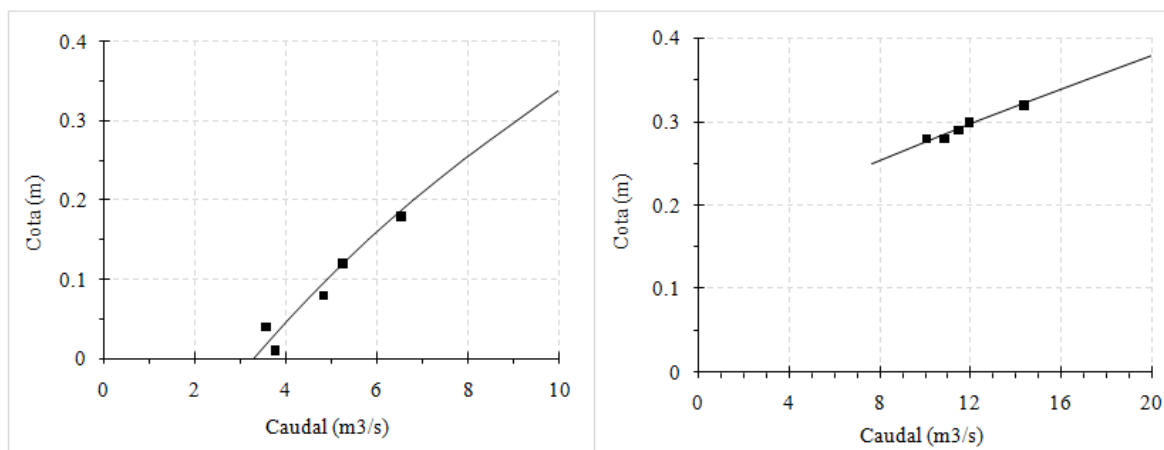


Figura 5. Curvas de descarga: (a) río Correntoso y (b) río Melimoyu.

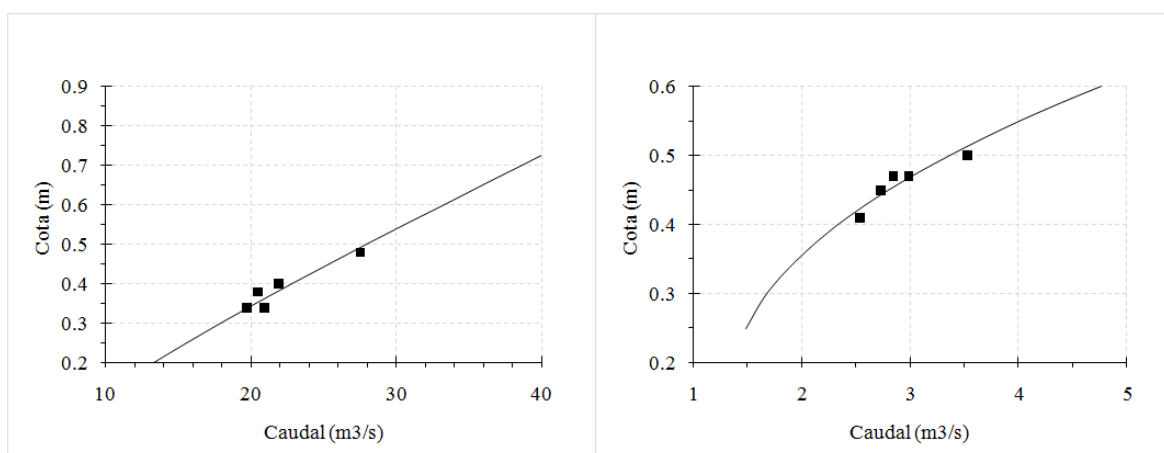


Figura 6. Curvas de descarga: (a) río Risopatrón y (b) desagüe del Lago Risopatrón.

Tabla 7. 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 SUBCUENCAS DE INTERÉS

A partir de la curva de descarga de cada subcuenca 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. 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 cuencas y a que los eventos de precipitación en esta zona ocurren sobre áreas extensas.

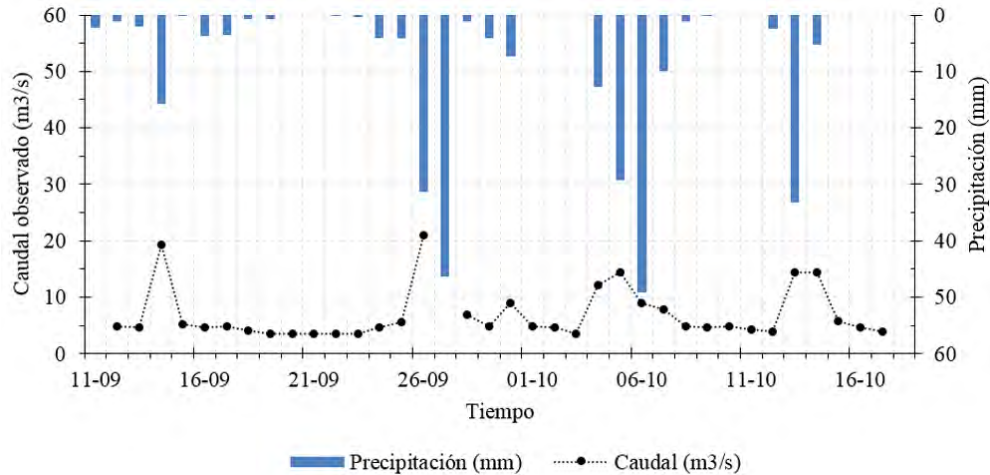


Figura 7. Hidrograma en la cuenca del río Correntoso.

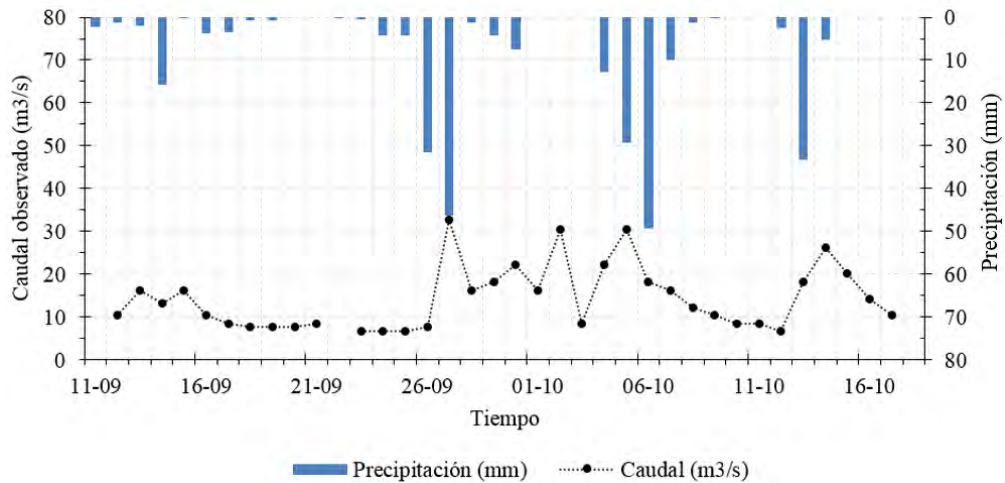


Figura 8. Hidrograma en la cuenca del río Melimoyu.

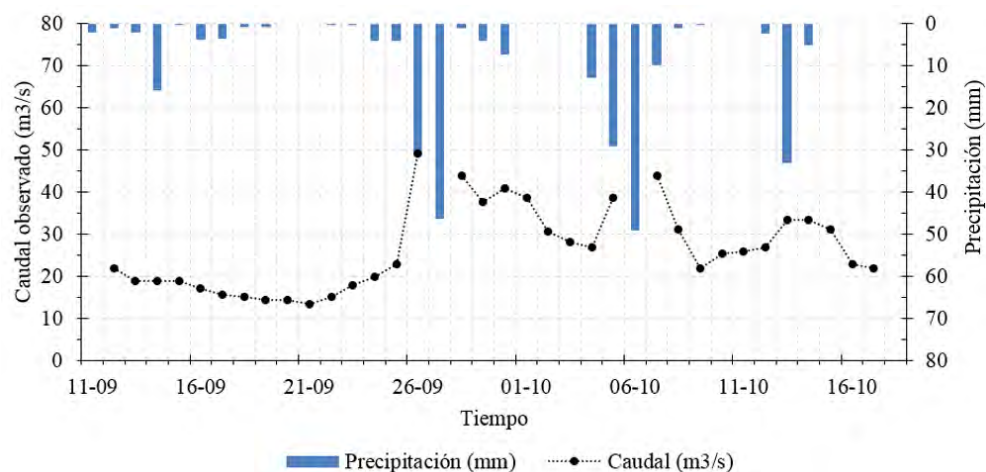


Figura 9. Hidrograma en la cuenca del río Risopatrón.

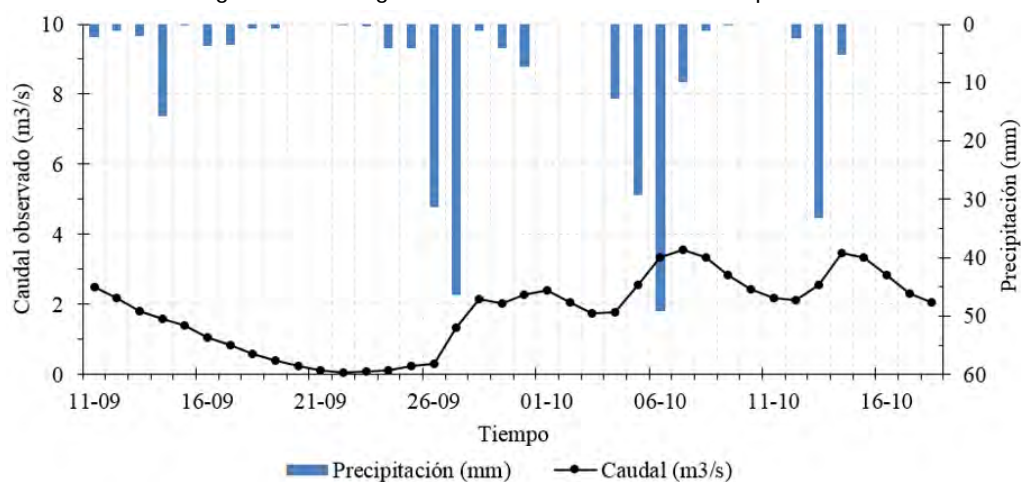


Figura 10. Hidrograma en la cuenca del desagüe del Lago Risopatrón.

Cabe señalar que las subcuencas de interés corresponden a cauces que son tributarios del río Palena, de ahí su importancia. En el siguiente capítulo se realizará la Modelación Hidrológica para cada Subcuenca de interés (ver **Figura 1**), estas son:

- Subcuenca río Correntoso
- Subcuenca río Melimoyu
- Subcuenca río Risopatrón
- Subcuenca Desagüe del 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. 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.

Sin embargo, debido a que se dispone de datos para tres subcuencas asociadas a estaciones fluviométricas DGA y ENDESA (ver **Figura 2**) 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.

6.1 MODELACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES

Como primera aproximación a la modelación se aplicó el método de transposición de caudales para las subcuencas de interés. A modo de análisis, para la subcuenca del río Correntoso se estimaron los caudales transpuestos 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 transpuestos de la subcuenca 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 11 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).

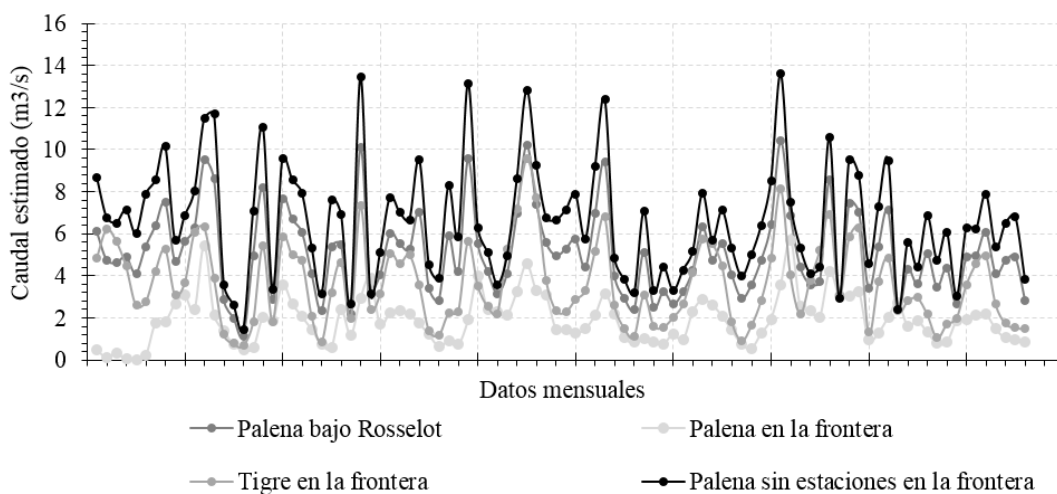


Figura 11. Comparación de caudales transpuestos.

Sin embargo, y a pesar que las subcuencas 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 subcuencas 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 subcuencas 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 subcuenca del río Palena bajo Rosselot, junto con los datos de precipitación de la estación La Junta. La subcuenca del río Palena en La Frontera y del río Tigre en La Frontera, 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, los que se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de los coeficientes de la ecuación que modela el comportamiento mensual de caudales en la cuenca del río Palena, independiente del mes.

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

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, según se indica en la siguiente Tabla, donde también se incluye el Coeficiente de Correlación R².

Tabla 9. Valores de los coeficientes de las ecuaciones mensuales que modelan el comportamiento de caudales en la cuenca del río Palena.

Mes	Párametro 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

6.1.1 CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN SUBCUENCAS DE INTERÉS

Se estimaron los caudales medios mensuales en cada una de las cuencas de interés a partir de la ecuación gobernante de la producción de caudales en la cuenca del Palena, subdividida por mes. Para la cuenca asociada al río Correntoso y al río Melimoyu se utilizó la estadística de precipitación mensual disponible en la estación Marin Balmaceda, para la cuenca asociada al desagüe del río Risopatrón se utilizó la estación Puerto Puyuhuapi, y para la cuenca del río Risopatrón, la estación Palena. Todas ellas escogidas de acuerdo a su proximidad con la cuenca de interés, los valores se muestran en la siguiente Tabla.

A continuación se presenta la disponibilidad de datos mensuales en las estaciones pluviométricas, los caudales medios mensuales obtenidos y la varianza asociada a los datos. Se analizó la varianza de todos los datos 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.

Tabla 10. Caudales medios mensuales y su varianza en cuencas de interés

Mes	Correntoso			Melimoyu			Risopatrón			Desagüe		
	N° de Datos	Promedio	Varianza	N° de Datos	Promedio	Varianza	N° de Datos	Promedio	Varianza	N° de Datos	Promedio	Varianza
Enero	13	31,41	18,58	13	34,02	24,56	30	41,9	73,58	32	35,08	18,13
Febrero	11	18,91	0,33	11	19,32	0,78	30	21,31	5,32	32	19,15	0,34
Marzo	10	10,4	0,57	10	11,25	1,25	31	15,08	10,76	30	10,81	0,73
Abril	11	6,21	13,2	11	7,9	21,36	29	16,68	48,09	28	7,08	6,96
Mayo	13	23,44	0,4	13	24,09	1,03	30	28,04	11,39	31	23,72	0,42
Junio	12	18,27	3,43	12	20,6	6,89	30	28,74	31,54	32	18,97	3,22
Julio	10	39,31	1,97	10	43,63	4,15	29	47,76	23,43	32	40,15	2,17
Agosto	1	22,16	130,33	11	27,78	204,88	28	39,74	354,68	33	24,35	92,32
Septiembre	13	15,74	0,02	13	16,34	0,03	30	26,12	1,34	32	15,89	0,02

	Correntoso			Melimoyu			Risopatrón			Desagüe		
Mes	N° de Datos	Promedio	Varianza	N° de Datos	Promedio	Varianza	N° de Datos	Promedio	Varianza	N° de Datos	Promedio	Varianza
Octubre	13	9,12	1,51	13	10,25	1,9	32	39,35	48,17	33	8,83	1,16
Noviembre	11	10,87	1,79	11	12,14	2,23	29	42,77	84,11	33	10,85	2,48
Diciembre	12	7,69	0,56	12	8,1	0,62	31	36,21	21,06	33	7,45	0,86

Es importante señalar que al realizar un análisis estadístico, uno de los parámetros más utilizados y analizados es el ANOVA.

El ANOVA de un factor es una técnica estadística que señala si dos variables (una independiente y otra dependiente) están relacionadas en base a si las medias de la variable dependiente son diferentes en las categorías o grupos de la variable independiente. Es decir, señala si las medias entre dos o más grupos son similares o diferentes.

Al aplicar ANOVA de un factor se calcula un estadístico o test denominado F y su significación. El cálculo del estadístico F es algo complejo de entender, pero lo que hace es dividir la variación entre los grupos por la variación dentro de los grupos. Si las medias entre los grupos varían mucho y la media dentro de un grupo varía poco, es decir, los grupos son heterogéneos entre ellos y similares internamente, el valor de F será más alto, y por tanto, las variables estarán relacionadas.

A continuación se presentan los gráficos y tablas con el ANOVA para cada cuenca analizada:

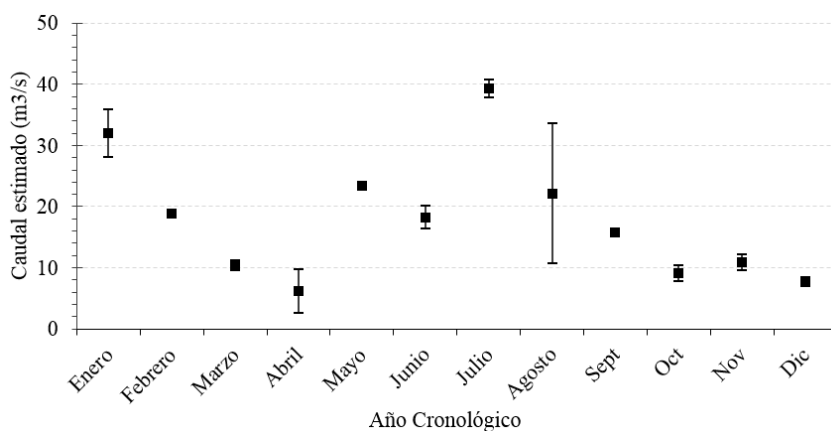


Figura 12. Caudales medios mensuales estimados para la cuenca del río Correntoso.

Tabla 11. 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 grupos	1.769,86	128	13,82			
Total	14.259,15	139				

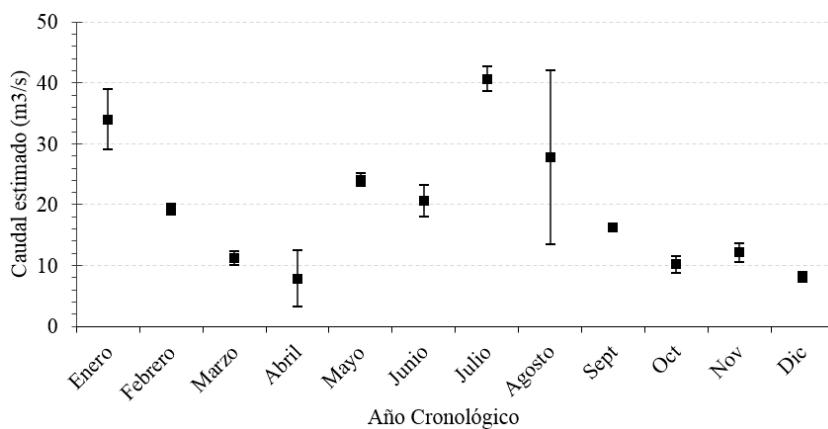


Figura 13. Caudales medios mensuales estimados para la cuenca del río Melimoyu.

Tabla 12. 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*10 ⁽⁻⁴⁴⁾	1,86
Dentro de los grupos	2.754,67	128	21,52			
Total	16.555,88	139				

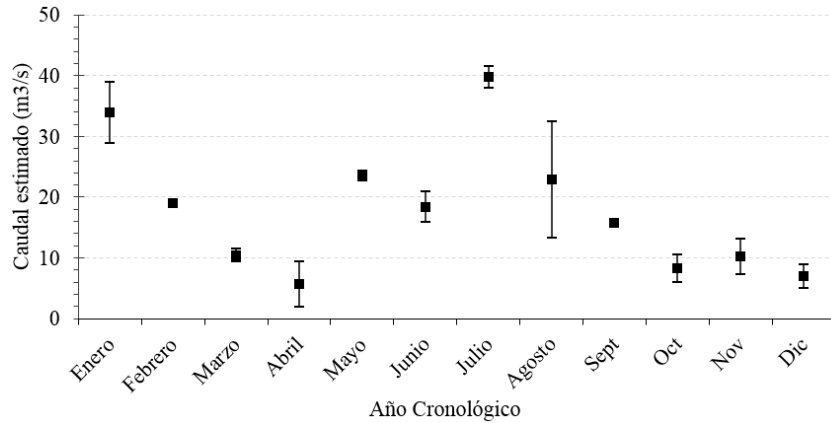


Figura 14. Caudales medios mensuales estimados para la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.

Tabla 13. 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				

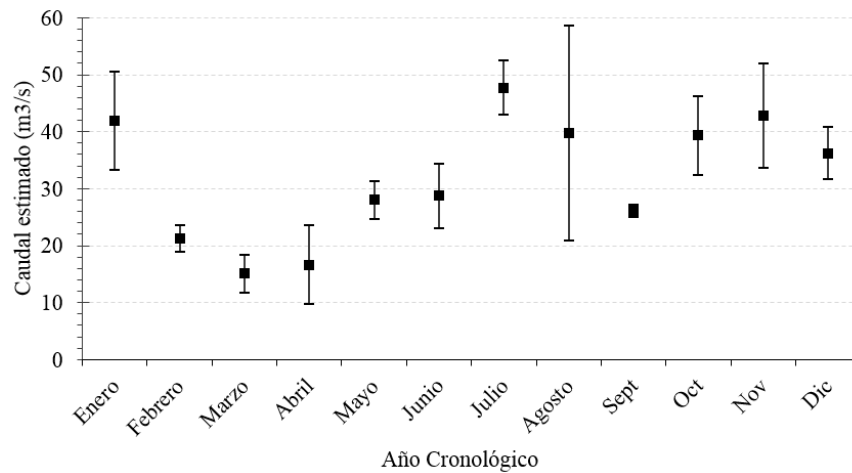


Figura 15. Caudales medios mensuales estimados para la cuenca del río Risopatrón.

Tabla 14. 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*10(-74)	1,81
Dentro de los grupos	19.955,89	347	57,50			
Total	58.353,77	358				

6.2 MODELACIÓN CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS

Se evaluaron tres métodos de ajuste entre precipitación y escorrentía 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 $Q_d - P_d$); y por otro lado se evaluaron los caudales efectivos asociados a los eventos de precipitación (relación $Q_e - P_d$). 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 ($P_x - Q_x$), 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

- Caudal diario respecto a precipitación diaria.

Se graficó la precipitación media diaria con los caudales medios, como se muestra en la Figura 16.

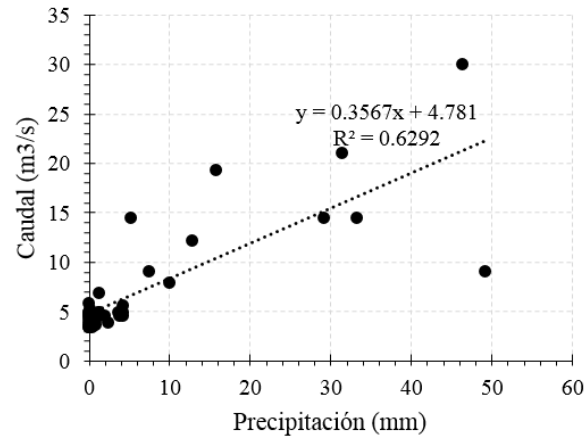


Figura 16. Relación entre caudal diario y precipitación en cuenca del río Correntoso.

- Caudal diario de crecida respecto a precipitación diaria.

La Figura 17.a) indica la relación entre precipitación diaria con los caudales diarios por evento, y la Figura 17.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.

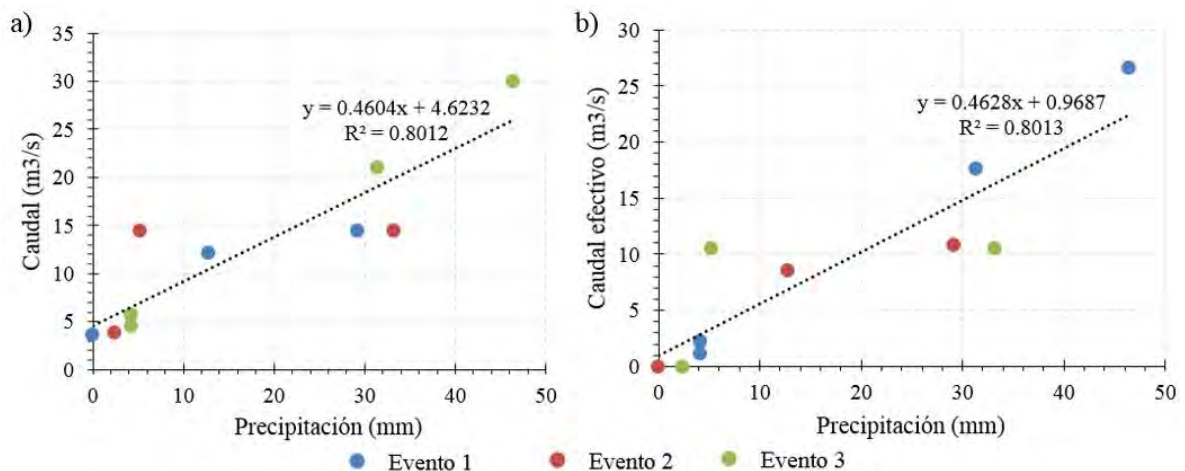


Figura 17. (a) Relación entre la precipitación diaria y caudal diario debido a eventos de precipitación, (b) Relación entre precipitación y caudal efectivo debido a eventos de precipitación, en la cuenca del río Correntoso.

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

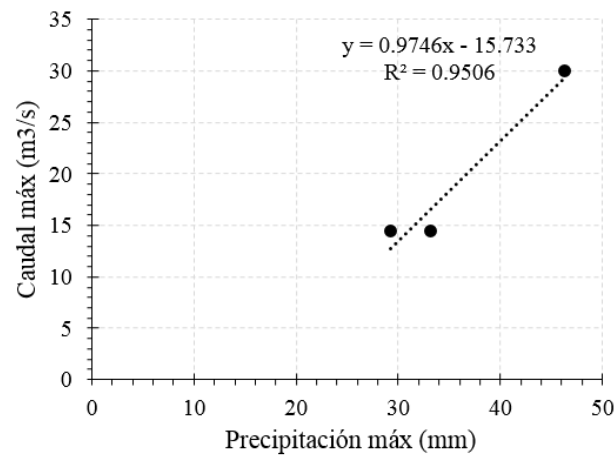


Figura 18, Relación entre precipitación máxima de un evento de lluvia y caudal máximo generado, en cuenca del río Correntoso.

6.2.2 CUENCA RÍO MELIMOYU

- Caudal diario respecto a precipitación diaria.

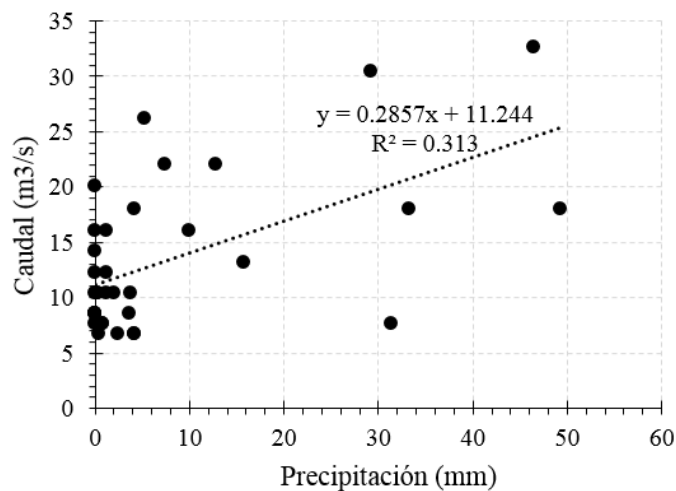


Figura 19. Relación entre caudal diario y precipitación en cuenca del río Melimoyu,

- Caudal diario de crecida respecto a precipitación diaria.

La Figura 20.a) indica la relación entre precipitación diaria con los caudales diarios por evento, y la Figura 20.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.

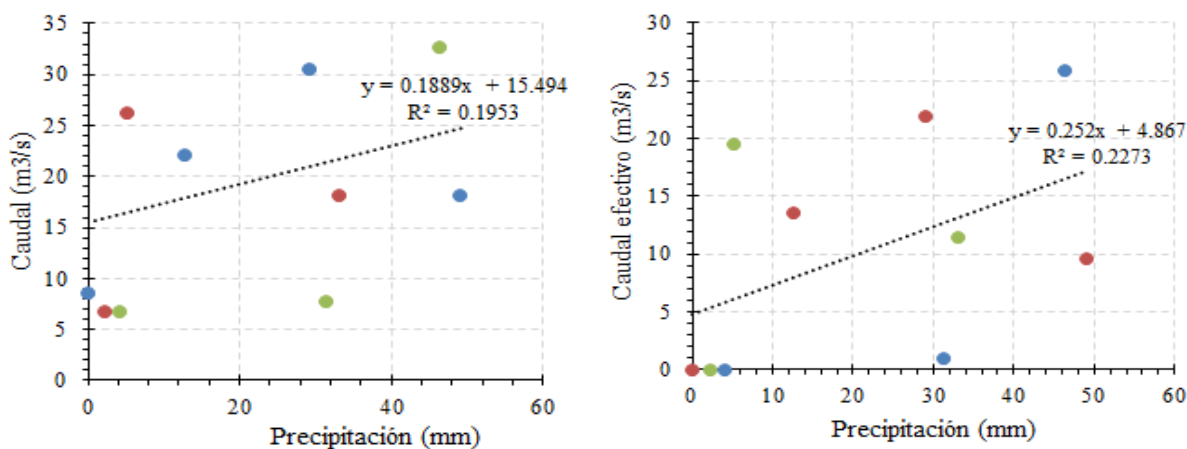


Figura 20. (a) Relación entre la precipitación diaria y caudal diario debido a eventos de precipitación, (b) Relación entre precipitación y caudal efectivo debido a eventos de precipitación, en la cuenca del río Melimoyu.

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

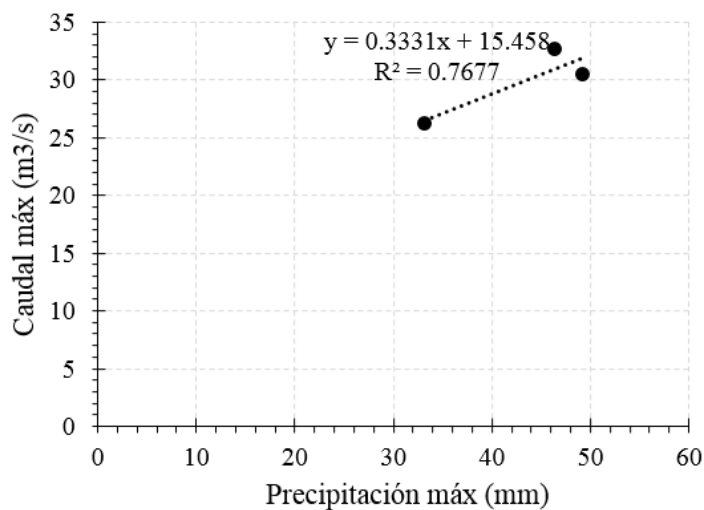


Figura 21. Relación entre precipitación máxima de un evento de lluvia y caudal máximo generado, en cuenca del río Melimoyu.

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.

- Caudal diario respecto a precipitación diaria.

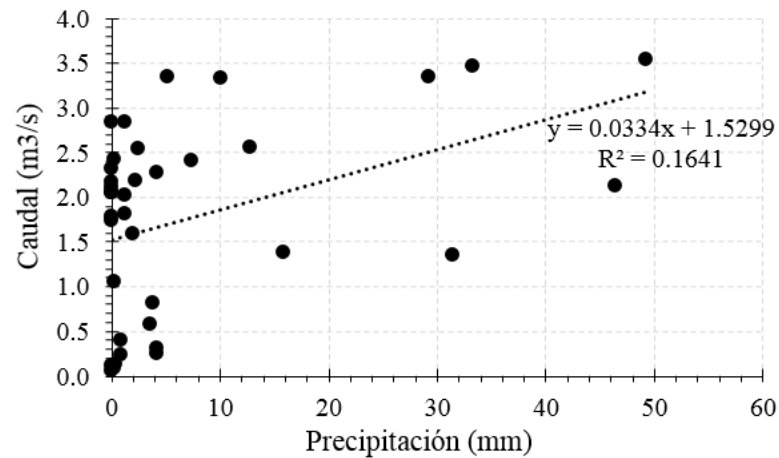


Figura 22. Relación entre caudal diario y precipitación en cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.

- Caudal diario de crecida respecto a precipitación diaria.

La siguiente figura indica la relación entre precipitación diaria con los caudales diarios por evento (izquierda), y la precipitación diaria con los caudales efectivos generados por el evento de lluvia, esto es, disminuidos con el caudal al inicio de la crecida (derecha),

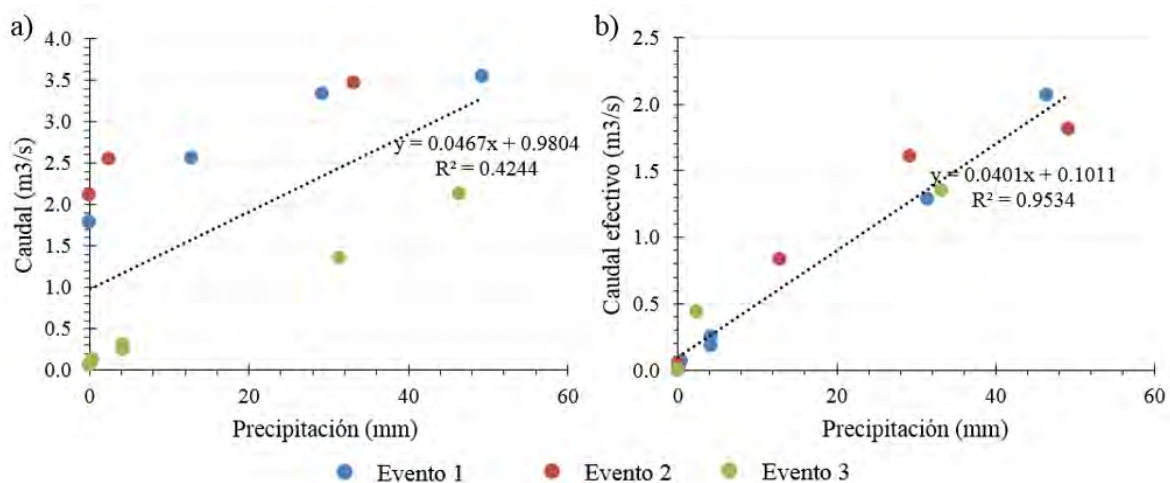


Figura 23.(a) Relación entre la precipitación diaria y caudal diario debido a eventos de precipitación, (b) Relación entre precipitación y caudal efectivo debido a eventos de precipitación, en la cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón,

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

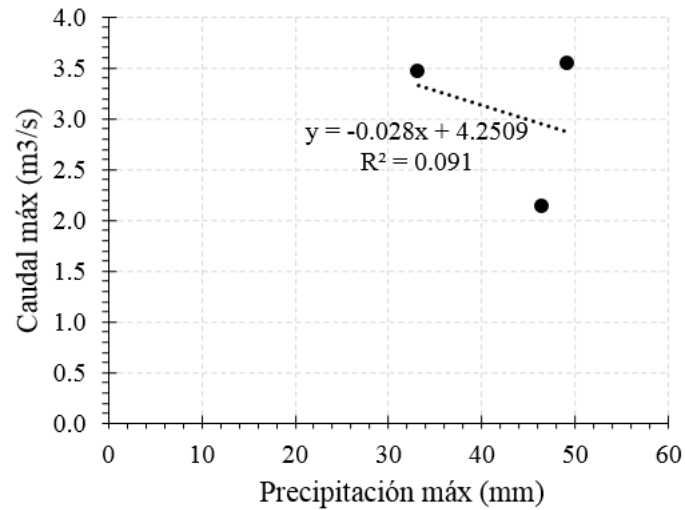


Figura 24. Relación entre precipitación máxima de un evento de lluvia y caudal máximo generado, en cuenca asociada al desagüe del Lago Risopatrón.

6.2.4 CUENCA RÍO RISOPATRÓN

- Caudal diario respecto a precipitación diaria,

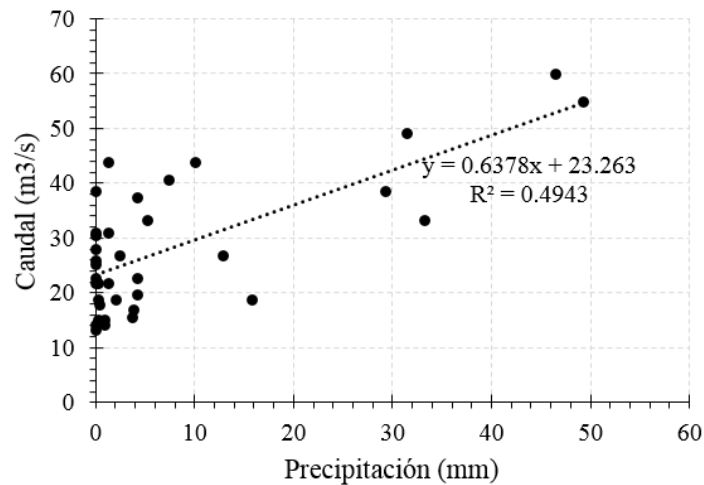


Figura 25, Relación entre caudal diario y precipitación en cuenca del río Risopatrón.

- Caudal diario de crecida respecto a precipitación diaria

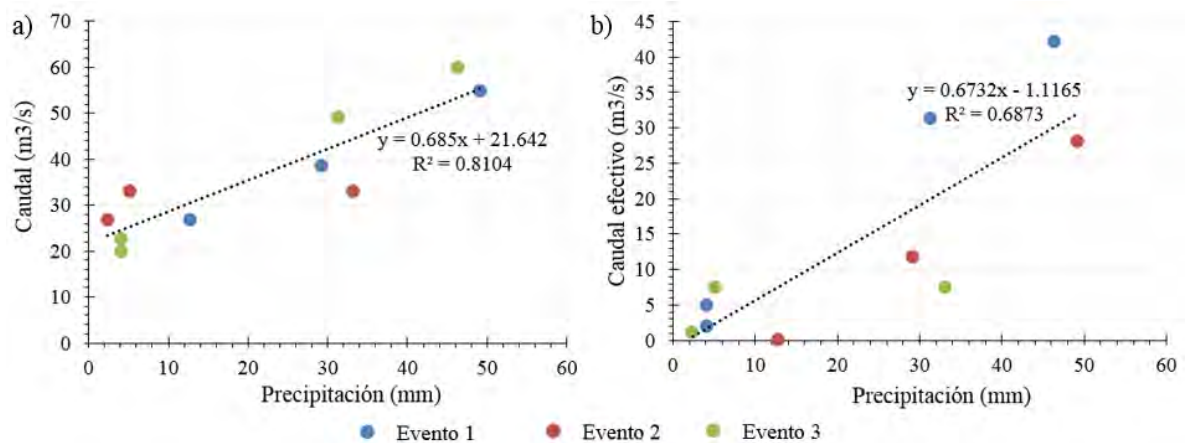


Figura 26. (a) Relación entre la precipitación diaria y caudal diario debido a eventos de precipitación, (b) Relación entre precipitación y caudal efectivo debido a eventos de precipitación, en la cuenca del río Risopatrón.

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

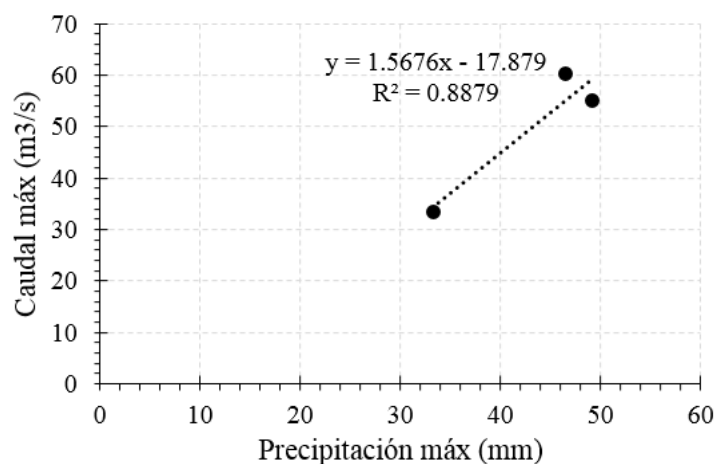


Figura 27. Relación entre precipitación máxima de un evento de lluvia y caudal máximo generado, en cuenca del río Risopatrón.

La siguiente Tabla, muestra el resumen de las ecuaciones y métodos analizados.

Tabla 15. Resumen de ecuaciones obtenidas para cada subcuenca

Subcuenca	Método		Ecuación	R ²
Correntoso	1	Caudal diario y precipitación total	$y = 0.3567x + 4.781$	0.6292
	2a	Precipitación y caudal con evento de precipitación	$y = 0.4604x + 4.6232$	0.8012
	2b	Caudal efectivo asociado a evento de precipitación	$y = 0.4628x + 0.9687$	0.8013
	3	Máx. pp diaria en tormenta y caudal máx. asociado a ese evento	$y = 0.9746x - 15.733$	0.9506
Melimoyu	1	Caudal diario y precipitación total	$y = 0.2857x + 11.244$	0.313
	2a	Precipitación y caudal con evento de precipitación	$y = 0.1889x + 15.494$	0.1953
	2b	Caudal efectivo asociado a evento de precipitación	$y = 0.252x + 4.867$	0.2273
	3	Máx. pp diaria en tormenta y caudal máx. asociado a ese evento	$y = 0.3331x + 15.458$	0.7677
Desagüe Lago Risopatrón	1	Caudal diario y precipitación total	$y = 0.0334x + 1.5299$	0.1641
	2a	Precipitación y caudal con evento de precipitación	$y = 0.0467x + 0.9804$	0.4244
	2b	Caudal efectivo asociado a evento de precipitación	$y = 0.0401x + 0.1011$	0.9534
	3	Máx. pp diaria en tormenta y caudal máx. asociado a ese evento	$y = -0.028x + 4.2509$	0.091
Risopatrón	1	Caudal diario y precipitación total	$y = 0.6378x + 23.263$	0.4943
	2a	Precipitación y caudal con evento de precipitación	$y = 0.685x + 21.642$	0.8104
	2b	Caudal efectivo asociado a evento de precipitación	$y = 0.6732x - 1.1165$	0.6873
	3	Máx. pp diaria en tormenta y caudal máx. asociado a ese evento	$y = 1.5676x - 17.879$	0.8879

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 ($R^2 > 0,85$, ver Tabla 9), Esta ecuación fue evaluada sobre los datos medidos en la campaña de terreno con resultados disímiles para septiembre y octubre, como se muestra en la Tabla 15. 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 16. Comparación de caudales medidos con observados en cuenca de río Correntoso.

	Precipitación medida (mm)	Caudal (m ³ /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 subcuencas, 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 subcuencas 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.

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.

7. CONCLUSIONES

En el presente estudio se han modelados las subcuencas 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. Como se citó anteriormente las subcuencas mencionadas, corresponden a tributarios del río Palena.

A partir de modelos de elevación digital (ASTER DEM de 30m 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 ($R^2 > 0,85$). 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 las subcuencas 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.

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) caudal diario y precipitación total diaria, (2a) precipitación media diaria respecto a caudal medio diario en un evento (Pd-Qd), (2b) 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 métodos (2) y (3) se ajustaron correctamente ($R^2 = 0,8$ y $0,95$), para Melimoyu fue el método (3), ($R^2 = 0,76$), para Risopatrón fue el (3) con un $R^2 = 0,88$, y por último para el desagüe del Lago Risopatrón fue el (2b) con un $R^2 = 0,95$.

8. 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 (recordar que es una cuenca binacional).
- 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 subcuencas de interés estudiadas en este proyecto.

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 de 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.
- 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.
- Medir otros tipos de variables en las estaciones pluviométricas disponibles, velocidad del viento, temperatura, entre otros; esto permitirá caracterizar el manto nivoso.