

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL



Profesor Patrocinante : Dr. Álvaro Suazo Schwencke

**ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS EN CUENCAS DEL
SECANO COSTERO DE LA REGIÓN DEL BÍO-BÍO**

**Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el
Título de Ingeniero Civil**

JONATHAN A. SALINAS COLOMA

Concepción, Agosto de 2017

Dedicatoria:

Mi trabajo va dedicado a mi familia, pero especialmente a la mujer que me acompañó durante esta etapa de mi vida y a quien le debo este logro. Gracias por ser el motor y pilar de este trabajo.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a mis padres quienes me dieron la posibilidad de formarme con los valores y cualidades que hoy proyecto en mi vida personal y laboral.

A Rosa Coloma quien fue y será mi madre durante toda mi vida, agradezco las exigencias y reglas que con cariño y amor me llevaron a ser una persona de bien. A mi madre Lorenza por darme la oportunidad de estar en este mundo y protegerme a lo largo de todos estos años desde el cielo.

A Juan Salinas, quien más que mi padre ha sido siempre mi mejor amigo; gracias a ti por permitirme tenerte en mi vida y apoyarme en cada decisión que he tomado, por enseñarme el significado del optimismo y de reír sin importar los malos momentos.

A Soledad González, mi fortaleza en este ciclo de vida, siempre creyendo en mí, brindándome el ánimo en los momentos adversos y su fuerza en mi cansancio. A usted le agradezco con todo mi corazón su compañía durante los mejores siete años de mi vida, su completo amor, cariño, tolerancia, comprensión y tantas otras cualidades que me impresionan hasta el día de hoy.

A mi familia en general, por su apoyo y compañía, por aceptarme como soy y ayudarme en todo momento.

Agradecimientos a la Consultora DSS S.A., por brindarme las habilidades y formación profesional que me permiten hoy ser un mejor profesional. Además, se valora la predisposición para facilitarme el equipo de medición utilizado en este estudio.

Finalmente agradezco al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, por darme la oportunidad de conocer amigos, compañeros y profesores que me brindaron el conocimiento para defender mi profesión de Ingeniero Civil.

Gracias.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	3
1.1.	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TÍTULO	4
1.2.	OBJETIVOS DEL PROYECTO DE TÍTULO	5
1.2.1	Objetivo General.....	5
1.2.2	Objetivos Específicos	5
2.	METODOLOGÍA.....	6
2.1	ANTECEDENTES.....	6
2.1.1	Antecedentes generales de la zona de estudio.....	6
2.1.2	Estudios previos.....	7
2.2	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA.....	8
2.3	VERIFICACIÓN DE INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA	10
2.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CAUDALES EN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS DEL SECANO COSTERO.....	11
2.4.1	Análisis de frecuencias	11
2.5	CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE CUENCAS SELECCIONADAS.....	12
2.6	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	13
2.7	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN EXPERIMENTAL	15
2.7.1	Trabajo de terreno.....	16
2.7.2	Trabajo de gabinete.....	17
2.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	17
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	18
3.1.	VERIFICACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	18
3.2.	APLICACIÓN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	20
3.3.	CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE CUENCAS	25
3.4.	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	27

3.5. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN EXPERIMENTAL	33
4. CONCLUSIONES	37
5. BIBLIOGRAFÍA	39
6. ANEXOS	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Grafica de caudales mínimos en cuencas con aporte de napa subterránea.	8
Figura 2.2: Mapa red hidrométrica con ubicación de estaciones analizadas.	9
Figura 2.3: Mapa satelital con ubicación de sección de medición de aforo.	16
Figura 3.1: Delimitación área de drenaje de cuencas costeras analizadas..	25
Figura 3.2: Curva de duración de caudales mínimos anuales estación Río Andalién camino a Penco..	27
Figura 3.3: Curva de caudales diarios mínimos por unidad de longitud del cauce versus la precipitación media anual.	28
Figura 3.4: Curva de caudales diarios mínimos por unidad de área de drenaje versus la precipitación media anual.	29
Figura 3.5: Curva de caudales diarios mínimos por unidad de multiplicación de longitud del cauce y área de drenaje versus la precipitación media anual.....	30
Figura 3.6: Curva de caudales diarios mínimos por unidad de área de vegetación nativa de las cuencas versus la precipitación media anual.....	31
Figura 3.7: Curva de caudales diarios mínimos por unidad media entre el área total (A_t) y el área nativa (A_n) versus la precipitación media anual.	32
Figura 3.8: Curva características de caudales diarios mínimos por unidad de longitud del cauce versus la PMA, correlación análisis experimental con resultados de ajuste teórico.	34
Figura 3.9: Curva características de caudales diarios mínimos por unidad de área de drenaje versus la PMA, correlación de análisis experimental con resultados de ajuste teórico.	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Antecedentes de estaciones escogidas en el estudio	10
Tabla 2.2: Antecedentes de mediciones de aforo escogidas en estudio, ubicación indicada en coordenadas UTM, Datum WGS 1984.....	15
Tabla 3.1: Datos dudosos de caudales mínimos anuales de las estaciones seleccionadas .	18
Tabla 3.2: Continuación datos dudosos de caudales mínimos anuales de las estaciones seleccionadas.....	19
Tabla 3.3: Longitud de datos iniciales y considerados finalmente por cada estación	19
Tabla 3.4: FDP ajustada a cada estación para la curva de duración de caudales	21
Tabla 3.5: Caudales mínimos diarios asociados diferentes periodos de retorno en estación Río Andalién camino a Penco.	21
Tabla 3.6: Caudales mínimos diarios asociados diferentes periodos de retorno en estación Río Laraquete en Cajón.	22
Tabla 3.7: Caudales mínimos diarios asociados diferentes periodos de retorno en estación Río Carampangue en Carampangue.	22
Tabla 3.8: Caudales mínimos diarios asociados diferentes periodos de retorno en estación Río Cayucupil en Cayucupil.....	22
Tabla 3.9: Caudales mínimos diarios asociados diferentes periodos de retorno en estación Río Butamalal en Butamalal.	23
Tabla 3.10: Factor adimensional de caudales mínimos diarios $Q_{minP\%}/Q_{min50\%}$, elaborada a partir del análisis estadístico de estaciones analizadas.	24
Tabla 3.11: Curva adimensional de la región del Biobío, caudales medios mínimos en 30 días (Q_{30}) y su correlación con caudales medios mínimos diarios (Q_1).	24
Tabla 3.12: Antecedentes morfométricos e hidrológicos de cuencas costeras analizadas.	26
Tabla 3.13: Antecedentes morfométricos e hidrológicos de cuencas medidas en terreno el día 3 de abril de 2016.	33

Tabla 3.14: Corrección de caudal medido en terreno a través de factor de correlación con la estación patrón del río Andalién.	34
Tabla 3.15: Variación porcentual del análisis experimental – teórico de los cauces evaluados respecto a la curva característica de caudal en (m ³ /s).	35
Tabla 3. 16: Variación absoluta del análisis experimental – teórico de los cauces evaluados respecto a cada curva característica de caudal en (m ³ /s).....	36

ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS EN CUENCAS DEL SECANO COSTERO DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE

Autor: Jonathan Salinas Coloma

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: jonsalin@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: asuazo@ubiobio.cl

RESUMEN

El presente Proyecto de Título se orienta al establecimiento de caudales mínimos diarios en las cuencas del secano costero de la región del Biobío a través de estaciones fluviométricas existentes en esta zona geográfica con aporte predominante de napas subterráneas. En la primera etapa se analiza la consistencia de la información proporcionada por la Dirección General de Aguas con respecto a los caudales mínimos diarios, para luego dar paso a un análisis estadístico y probabilístico, ya que es necesario estudiar el comportamiento de variables hidrológicas con principal énfasis en su periodo de retorno de 2 años (Probabilidad de excedencia de 50 %). En la segunda etapa se lleva a cabo la confección de curvas características asociadas a diferentes parámetros morfométricos y meteorológicos que permitirán estimar los caudales mínimos para aquellas cuencas y afluentes que no cuenten con un registro fluviométrico histórico y que pertenezcan a la zona homogénea del secano de la región del Biobío con régimen de escurrimiento de carácter pluvial costero.

Palabras claves: Caudales mininos diarios, análisis de frecuencia, zona homogénea, secano costero

7300 Palabras Texto + 29 Figuras/Tablas*250= 14.550 Palabras aprox.

ESTIMATION OF MINIMUM FLOWS IN BASINS OF THE COASTAL MOUNTAINS OF THE REGION OF BIOBIO, CHILE

Author: Jonathan Salinas Coloma

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío Bío

Email: jonsalin@alumnos.ubiobio.cl

Advisor: Álvaro Suazo Schwencke

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío Bío

Email: asuazo@ubiobio.cl

ABSTRACT

This work is oriented towards the establishment of minimum daily flows in the basins of the coastal mountain zone of the Region of the Biobio. This through the fluviometric stations present in this geographical area with predominant contribution of groundwater. The first stage analyzes the consistency of the information provided by the Water Office with respect to the daily minimum flows for later give way to a statistical and probabilistic analysis, because it is necessary to study the behavior of hydrological variables with main emphasis on its period of return of two years (Probability of exceeding 50%). In the second stage, it is conducted the manufacture of curves characteristics linked to different morphometric and meteorological parameters. This will allow to estimate the minimum flows for those watersheds and tributaries that don't have with a historical fluviometric record and that belong to the basins dry of The Region of the Biobio with regime of runoff of rain coastal character.

Keywords: minimum daily flows, frequency analysis, homogeneous zone, coastal mountains.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad es cada vez más necesario para el diseño de obras hidráulicas u otros proyectos, el estimar con cierta precisión los caudales mínimos susceptibles a ocurrir en un cauce de interés. Ante esta situación, a nivel nacional se cuenta con un método gráfico de caudales mínimos proporcionado a través de estudios de la Dirección General de Aguas (DGA, 1995_a), la cual considera once estaciones fluviométricas y de las cuales únicamente dos corresponden a la región del Biobío. La estimación de este tipo de caudales se dificulta a nivel regional, considerando que la curva proporcionada por la DGA no se ajusta a las cuencas de zona costera de la región del Biobío, además de considerar información hidrológica sin mayor actualización desde los inicios de la década de los 90.

Por lo anterior se requiere establecer los caudales extremos de carácter mínimos en las cuencas del secano costero de la región del Biobío a través de análisis de datos aforados a la fecha en estaciones fluviométricas de este tipo de zona homogénea. Para donde se utilizarán cuatro de las funciones de distribución de probabilidades más utilizadas en estudios de variables hidrológicas para la obtención de eventos asociados a diferentes periodos de retorno. Además, se evaluará el análisis de mejor ajuste de la curva de caudales mínimos considerando parámetros morfométricos, precipitación media anual y área de vegetación nativa de cada cuenca. Finalmente se efectúa una medición experimental de caudales en temporada de estiaje de diferentes cursos de agua sin estación fluviométrica, permitiendo realizar una comparación entre los resultados teóricos y los observados en terreno.

Cabe destacar que la DGA cuenta con una red hidrométrica en la zona homogénea de estudio que considera trece estaciones fluviométricas, de las cuales siete corresponden a estaciones nuevas, mientras las otras seis estaciones fluviométricas de mayor antigüedad se considerarán para el análisis de datos de caudales mínimos, puesto que cumplen con el propósito de este proyecto de título.

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TÍTULO

En el presente la Dirección General de Aguas cuenta con estudios en base a información de caudales medidos en estaciones fluviométricas a lo largo de Chile como lo son el “Análisis de Eventos Hidrometeorológicos Extremos en el País, Caudales Máximos y mínimos” (DGA, 1995_b) y el “Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas Sin Información Fluviométrica” (DGA, 1995_a), donde se establece la determinación de caudales mínimos a través de una estimación preliminar mediante datos aproximados a nivel nacional, lo que presenta importantes diferencias con las cuencas costeras de la región del Biobío donde el aporte de napas subterráneas es la fuente de suministro dominante.

Este proyecto se desarrolla bajo la premisa de realizar una nueva estadística de caudales mínimos con mayor cantidad de datos y asociado únicamente a estaciones del secano costero de la región del Biobío. Para ello se aplicará un procedimiento estadístico, actualizando el estudio realizado por la DGA, considerando que las variables hidrológicas en estudio son de gran interés para el diseño de obras hidráulicas, modificación de cauces, análisis de dispersión de contaminantes y entre otros. Así también considerando que la mayoría de las cuencas costeras de la región del Biobío no cuentan con estaciones, a partir de las similitudes morfométricas de la zona del secano costero a nivel regional, es posible estimar sus caudales con mayor precisión.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE TÍTULO

1.2.1 Objetivo General

Proponer valores de caudal mínimo unitario en cuencas sin información fluviométrica del secano costero de la región de Biobío.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analizar la información de la serie anual de caudales mínimos extremos mediante la aplicación de estadística hidrológica de las estaciones fluviométricas seleccionadas del secano costero de la región.
- Definir las variables hidrológicas y morfométricas que intervienen en la obtención de caudal en las estaciones representativas.
- Relacionar el caudal mínimo diario del 50% probabilidad de excedencia obtenido del análisis estadístico, con valores de precipitación media anual, y de diferentes parámetros morfométricos de cada cuenca que permita un mayor ajuste de resultados.
- Validar los resultados a partir de la realización de aforo experimental durante la época de estiaje en cauces costeros de la región.

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se expone el procedimiento ejecutado para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en este Proyecto de Título.

2.1 ANTECEDENTES

Se recopiló los principales antecedentes teóricos empleados como base para la realización del proyecto. Dicha información fue obtenida de textos, manuales, plataformas y artículos, que tratan temas de referencia hidrológica, análisis estadísticos y morfométricos.

2.1.1 Antecedentes generales de la zona de estudio

Desde el punto de vista morfométricos la región del Biobío distingue las unidades tradicionales de relieve chileno, con una Cordillera de los Andes formada por cordones montañosos de altura promedio de 2000 m.s.n.m., y algunas cimas de conos volcánicos que alcanzan los 3.000 m.s.n.m, lo cual es relevante como fuente acumuladora de nieve. Los valles longitudinales se caracterizan por una topografía uniforme que se desarrolla desde el pie occidental de la precordillera hasta la Cordillera de la Costa. Respecto a esta última se presentan dos sectores cordilleranos divididos por el río Biobío, mientras al norte se presenta una topografía baja y ondulada con altura media de 400 m.s.n.m; al sur se levanta un macizo de aproximadamente 1500 m.s.n.m., correspondiente a la Cordillera de Nahuelbuta (B.C.N., 2004_a).

Finalmente, las planicies costeras se presentan homogéneas, caracterizadas por planos costeros con escaso desarrollo entre el límite regional y la desembocadura del río Andalién, una llanura inundable en la desembocadura del río Biobío y un mayor desarrollo de las planicies al sur de ésta (B.C.N., 2004_a).

Desde el punto de vista climático, la región marca la transición entre los climas templados de la zona central de Chile y los climas templados lluviosos desarrollados inmediatamente al sur del río Biobío. En las franjas costeras y laderas occidentales de la Cordillera de la Costa se presenta un clima con precipitaciones que fluctúan entre los 1.200 mm y 2.000 mm anuales de norte a sur de la región, alcanzando una precipitación media anual de 1500 mm en la zona elevada de la Cordillera de la Costa (B.C.N., 2004_b).

Con respecto a la vegetación que presenta la región, se establece en el norte con presencia de espinos, boldos y peumos, la cual va dando paso a bosques esclerófilos donde es posible apreciar el cambio de la vegetación natural por plantaciones forestales de pinos y cultivos. Al sur del Biobío se ubica un bosque templado higromórfico con predominio de roble, ciprés, coigüe, Ñirre y alerces, existentes en una mayor área de plantación de estos nativos que se encuentran acompañados por densos sotobosques de canelos, olivillos, avellano, copihues y quila (B.C.N., 2004_c).

2.1.2 Estudios previos

La información asociada a la obtención de caudales mínimos recoge datos de mediciones limnimétricas en diferentes ríos de la región, con desarrollo específicamente en la zona del secano costero, delimitada orográficamente desde el borde litoral hasta la Cordillera de la Costa. El tratamiento de esta información concibe una caracterización hidrológica de estos caudales, permitiendo deducir un patrón del comportamiento en las cuencas de la región y analizar su futuro uso para la determinación en ríos sin información.

Al presente, el cálculo de caudal mínimo en cursos de agua superficial es obtenido a partir del manual proporcionado por la Dirección General de Aguas (DGA, 1995_a), el cual diferencia a nivel país el suministro del recurso con aporte de deshielo o de napas subterráneas. El desarrollo de este proyecto, dada las condiciones geográficas establecidas, se refiere únicamente a cuencas con un parcial predominio de aporte pluvial (napas subterráneas), el cual proyecta sus resultados a través de la Figura 2.1.

La relevancia de este análisis permite ajustar con mayor exactitud la determinación de caudal mínimo en el secano costero de la región, analizando el comportamiento de las cuencas a nivel regional con una mayor presencia de estaciones fluviométricas y la actualización de los registros hidrológicos.

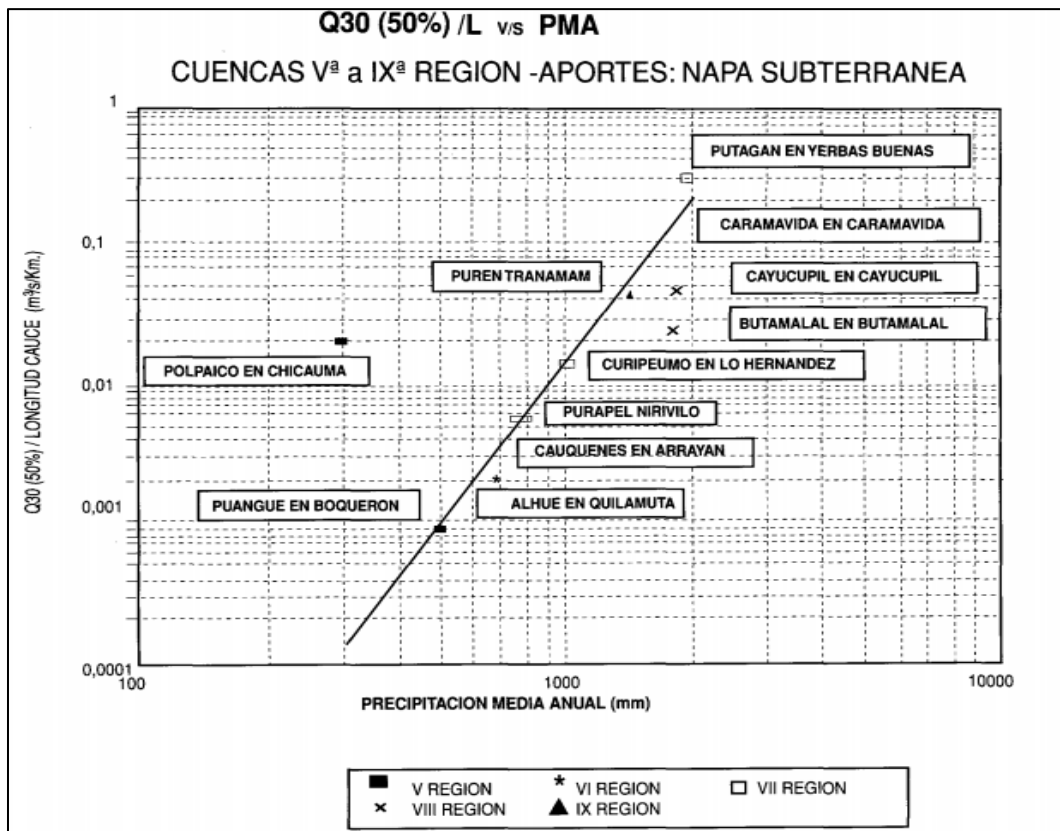


Figura 2.1: Grafica de caudales mínimos en cuencas con aporte de napa subterránea. (Fuente: DGA, 1995_a).

2.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA

Se procedió a la obtención de información hidrología a través de la base de datos en línea de la Dirección General de Agua, descargando los caudales medios diarios medidos en las estaciones fluviométricas existentes en la zona de interés de la región hasta el periodo de consulta en el mes de agosto de 2017. En conclusión serán 5 estaciones utilizadas en los análisis posteriores, las cuales se detallan en la Tabla 2.1 y muestran su ubicación en la

Figura 2.2. Se observan tres estaciones que cuentan con una longitud representativa de análisis estadístico superior a 20 años y las otras dos estaciones entre 12 y 20 años.

Es relevante indicar que se descartan cualquier estación hidrométrica costera que cuente con un periodo de registro menor a 10 años, logrando la obtención de un análisis estadístico con un mayor nivel de confianza. Además, dada la actualidad nacional donde se decreta la creación de la XVI región del Ñuble con fecha 20 de Agosto, no se consideraron las estaciones ubicadas sobre la cuenca del río Andalién, evitando cualquier confusión futura al momento de utilizar los resultados desarrollados en este proyecto de título.

El ordenamiento de la información se realizó mediante planillas de Microsoft Excel, obteniendo el caudal mínimo diario anual absoluto o extremo de cada estación seleccionada.

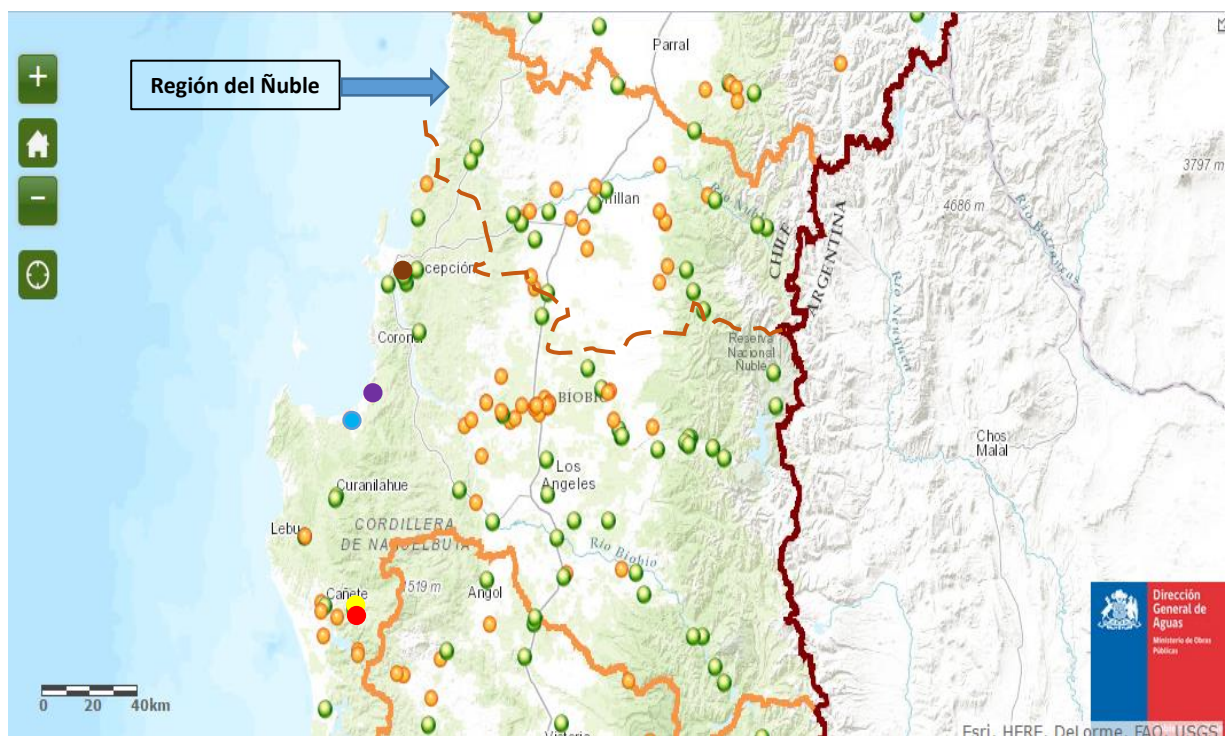







Figura 2.2: Mapa red hidrométrica con ubicación de estaciones analizadas. (Fuente: DGA, 2017)

Tabla 2.1: Antecedentes de estaciones escogidas en el estudio (Fuente: Elaboración Propia)

Estación	Nombre Estación	Estado	Longitud registro	años	Distintivo
1	Río Andalién camino a Penco	Vigente	1961-2017	59	
2	Río Laraquete en el cajón	Suspendida	1985-1996	12	
3	Río Carampangue en Carampangue	Suspendida	1970-1983	14	
4	Río Cayucupil en Cayucupil	Suspendida	1951-1983	33	
5	Río Butamalal en Butamalal	Vigente	1950-2017	68	

La longitud de registro debe ser ordenada considerando el año hidrológico, el cual se considera en la zona de análisis desde el mes de abril a marzo, siendo igualmente aceptable establecer su concordancia con el año calendario natural ya que el estudio se enfoca en los caudales mínimos absolutos en la temporada de estiaje, los cuales se presentan desde el mes de enero hasta marzo.

Finalmente en el Anexo A, tabla A.1, e presentan las cinco estaciones con su código asociado al Banco Nacional de Aguas (BNA) y su ubicación geográfica.

2.3 VERIFICACIÓN DE INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA

La verificación de información de cada estación en análisis se llevará a cabo a partir del análisis de datos dudosos a través del método del Water Resources Council (1981). Se aplicará el procedimiento matemático señalado por su autor y asociado a la asimetría de la serie de datos de cada estación, estableciendo que ante un valor entre -0,4 y +0,4 es necesario aplicar prueba de datos dudosos altos y bajos.

Las siguientes ecuaciones de frecuencia se utilizan para detectar datos dudosos altos y bajos, respectivamente:

$$y_H = \bar{y} + K_n S_y$$

Donde y_H es el umbral de dato dudoso alto en unidades logarítmicas, K_n un factor tabulado dependiente del tamaño de muestra n , \bar{y} la media de la muestra y S_y su varianza. Si los

logaritmos de los valores en una muestra son mayores que y_H en la anterior ecuación, entonces se consideran como datos dudosos altos.

$$y_L = \bar{y} - K_n S_y$$

Donde y_L es el umbral de datos dudosos bajos en unidades logarítmicas. Si los logaritmos de los valores de la muestra son menores que y_L , entonces se consideran como datos dudosos bajos.

Para comprobar la veracidad de cada dato dudoso se procedió a revisar los caudales instantáneos registrados en la estación o cuencas vecinas cercanas, con el fin de poder establecer si el dato presenta posible errores o realmente es un dato con alteraciones.

Cabe destacar que no se realizará relleno alguno de los datos dudosos o faltantes de las series de caudales mínimos. Esto con el fin de evitar distorsiones en los resultados obtenidos a través del análisis estadístico.

2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CAUDALES EN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS DEL SECANO COSTERO

Una vez obtenida la serie anual de caudales mínimos diarios de cada estación, se requiere un análisis estadístico que permita comprender el comportamiento de las diferentes cuencas en períodos de déficit de flujo, procediendo según la siguiente metodología.

2.4.1 Análisis de frecuencias

El análisis de frecuencia es un procedimiento estimativo de probabilidad de ocurrencia de un evento de determinada magnitud a partir de análisis de una serie de datos del evento observado o medido.

Los análisis de frecuencias hidrológicas pueden ser llevados a cabo haciendo o no suposición alguna de distribución de probabilidades. De no realizarse suposiciones de distribuciones, solo se grafica los datos observados y se utiliza el criterio del investigador para determinar la magnitud de eventos para variados periodos de retorno. De realizar suposiciones de distribución de probabilidades, la magnitud de los eventos para variados periodos de retorno se obtiene de la curva de mejor ajuste, de acuerdo con las distribuciones de probabilidad supuestas (Monsalve, 1999).

Para la obtención de curvas de duración anual de los caudales mínimos de cada estación se utilizarán ambos métodos, asignando probabilidades según Weibull para el método gráfico y ajustando funciones de distribución de probabilidades (FDP), según el método analítico, permitiendo entregar valores de caudales mínimos diarios para diferentes probabilidades de excedencia. Los procedimientos de aplicación de estos dos métodos se realizarán según Santana (2007).

En el caso del método analítico, se utilizaron las FDP más usuales en hidrología: Normal, Lognormal, Gamma y Gumbel; las cuales se desarrollan mediante su fórmula estandarizada como subestructura de la planilla Microsoft Excel. La función de distribución, rango de validez y parámetros de cada FDP aplicada se detallarán en el Anexo B.

Finalmente, como forma de definir la calidad de los ajustes analizados, es aconsejable estimar la bondad de estos, utilizando pruebas o test de Chi Cuadrado y Kolmogorov - Smirnov con un factor de nivel de confianza de 95% (CHOW, 1994). Los procedimientos de aplicación de estos dos test se realizarán igualmente según Santana (2007).

2.5 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE CUENCAS SELECCIONADAS

El presente ítem establece las cuencas en estudio, referente a cada estación fluviométrica elegida la cual representa el punto de drenaje de la zona en análisis. El desarrollo y

procesamiento de datos se llevará a cabo mediante el programa ARCGIS, ampliamente utilizado en este tipo de análisis, que proporciona características geofísicas descriptivas de cada cuenca a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM) de la región. Se utilizará un archivo de formato RASTER, sistema satelital SRTM, origen SDTS, y resolución 90 metros.

Para este análisis se constituyeron tablas e ilustraciones que permitieron dar a conocer los componentes morfométricos de cada cuenca, siendo de importancia para la elaboración de esta memoria los parámetros de área, longitud del cauce principal y desnivel. Igualmente se requiere la georeferenciación de cada cuenca, permitiendo relacionar los parámetros anteriormente mencionados con características meteorológicas de precipitación media anual y características vegetativas de la zona.

2.6 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Corresponde a la fase de estudio posterior al análisis estadístico de los datos mínimos registrados en las estaciones fluviométricas seleccionadas, proporcionando caudales para diferentes periodos de retorno, según la distribución de probabilidades de mejor ajuste y la aplicación de test de bondad con un 95% de nivel de confianza.

Se establece como criterio de estudio, que el caudal mínimo diario de cada estación es el correspondiente al caudal determinado para un periodo de retorno de 2 años, que representa el 50 % de probabilidad de ocurrencia o excedencia.

A continuación se presentan los detalles de las curvas a utilizar y su metodología de obtención:

a) Curva de duración de caudales mínimos anuales de la serie de datos

Se construyó la curva de duración de caudales mínimo a partir del análisis estadístico de la serie de datos para las cinco estaciones analizadas, considerando el ajuste de las FDP

normal, Lognormal, Gamma y Gumbel de manera gráfica y analítica. Se proporciona la curva de duración de caudales mínimos versus probabilidad de excedencia en escala logarítmica de cada estación analizada, considerando únicamente la FDP seleccionada.

b) Curva de caudal mínimo del 50 % de excedencia por unidad de longitud de cauce versus precipitación media anual.

Se construyó tomando en consideración el dato específico de 50% de probabilidad de excedencia y la longitud de desarrollo del cauce de cada estación fluviométrica analizada versus el valor de Precipitación Media Anual (PMA) de cada cuenca, obtenida a través de la aplicación del método areal de Thiessen . La PMA será obtenida a partir de base de datos en línea de la Dirección General de Aguas (2017), descargando archivos de precipitaciones mensuales de estaciones meteorológicas con influencia en las cuencas costeras analizadas.

c) Curva de caudal mínimo del 50 % de excedencia por unidad de área de la cuenca versus precipitación media anual.

Se construyó tomando en consideración el caudal de 50 % de probabilidad de excedencia establecido para cada cuenca analizada y su área de drenaje correspondiente versus la precipitación media anual de igual valor que la curva anterior.

d) Curva de caudal mínimo del 50 % de excedencia por unidad de longitud y área de la cuenca versus precipitación media anual.

Se construyó tomando en consideración el caudal de 50 % de probabilidad de excedencia establecido para cada cuenca analizada sobre la multiplicación de la longitud y área de drenaje correspondiente a cada estaciones versus la precipitación media anual de igual valor que la curva anterior.

e) Curva de caudal mínimo del 50 % de excedencia por unidad de área nativa de la cuenca versus precipitación media anual.




Se construyó tomando en consideración el caudal de 50 % de probabilidad de excedencia establecido para cada cuenca analizada y su área de drenaje con predominio de vegetación nativa versus la precipitación media anual. Se realiza catastro de vegetación nativa de la región mediante Sistema de Información Territorial (CONAF,2017).

El caso de la curva anterior, presenta una limitante correspondiente al predominio de área con vegetación no nativa, por lo cual, se registró igualmente una curva considerando como alternativa una media entre el área de drenaje total y el área nativa existente de cada cuenca versus la precipitación media anual.

2.7 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN EXPERIMENTAL

Se llevará a cabo un análisis experimental a partir de datos medidos en terreno, con la finalidad de comprobar eficiencia de los resultados teóricos obtenidos en el apartado anterior. Para ello se realiza el siguiente procedimiento de medición de los cauces costeros seleccionados, en temporada de estiaje y antes del comienzo de las precipitaciones (fecha medición de aforo: 3 de abril de 2016). La Tabla 2.2 y Figura 2.3 establecen la ubicación de las mediciones realizadas.

Tabla 2.2: Antecedentes de mediciones de aforo escogidas en estudio, ubicación indicada en coordenadas UTM, Datum WGS 1984. (Fuente: Elaboración Propia)

Medición	Nombre del cauce	Comuna localización	Coordenadas UTM		Distintivo
			Este [m]	Norte [m]	
1	Estero Llico	Arauco	627.010	5.882.744	
2	Estero Huedilhue	Santa Juana	679.583	5.886.010	
3	Estero el Manzano	Coronel	675.118	5.906.647	

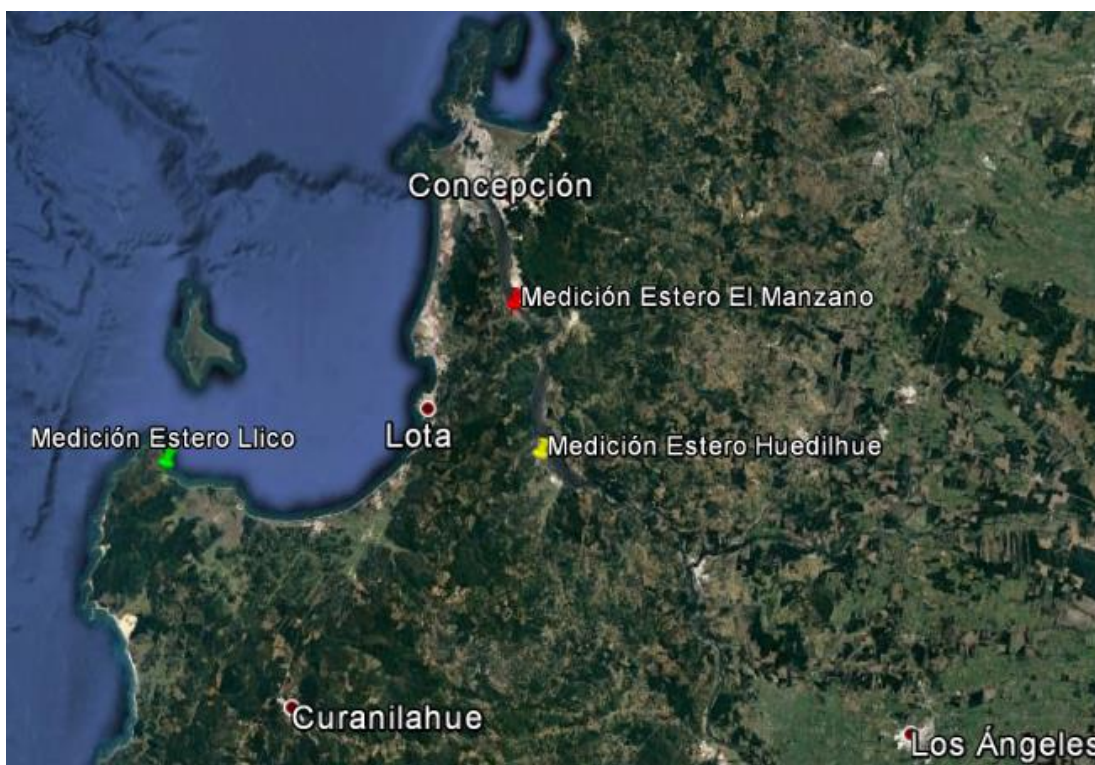


Figura 2.3: Mapa satelital con ubicación de sección de medición de aforo. (Fuente: Elaboración Propia)

Se establecen dos etapas de trabajo que permiten completar este apartado:

2.7.1 Trabajo de terreno

Obtención de aforo por el método del molinete, utilizando un instrumental conocido como caudalímetro de tipo hélice, el cual gira sobre un eje horizontal, midiendo la velocidad de rotación que corresponde a la velocidad de la corriente. El instrumento marca Global Water, modelo FP211 presenta medición en Pies por segundo (FPS) y un rango de sensibilidad o precisión de $\pm 0,1$ FPS. El anexo D proporciona una ficha técnica instrumental y la calibración del caudalímetro utilizado como equipo de medición.

El procedimiento de medición se realizó en cumplimiento con la metodología establecida para aforo de caudales según el “Manual básico para instrumentación de hidromensores” de la DGA (1991), considerando dos secciones transversales homogéneas de cada cauce elegido y establecidas mediante levantamiento métrico.

Se estableció la determinación de velocidad en la vertical considerando el método de los puntos, especificando la cantidad de dos observaciones de velocidad según la altura del cauce y por cada franja de división horizontal. Esta última fue establecida cada 30 cm para el estero Llico y cada 40 cm para los esteros Huedilhue y El Manzano.

2.7.2 Trabajo de gabinete

Se realiza la obtención del caudal experimental de cada cauce a partir del promedio de las velocidades por franja. Además, se obtendrá los parámetros morfométricos de los tres cauces medidos en terreno, considerando como punto de drenaje la ubicación de la sección de medición.

Ante la incertidumbre de no conocer si el caudal mínimo medido en terreno corresponde al $Q_{min50\%}$ de excedencia, se pretende un mejor ajuste de este resultado a través un factor de correlación otorgado por alguna de las estaciones analizadas que tengan registro del mismo día del catastro en terreno a través de su relación $Q_{min50\%}$ de estación Patrón dividido por la medición fluviométrica diaria otorgada por la DGA.

2.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se evalúan los resultados a través de los procedimientos realizados a lo largo del este estudio, de tal manera que permita la determinación de caudales mínimos en cuencas del secano costero de la región del Biobío sin información fluviométrica.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados elaborados a lo largo del presente proyecto de título se proporcionan a continuación.

3.1. VERIFICACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Etapa de validación de información hidrológica, evaluando la existencia de datos que posiblemente fueran erróneos mediante el procediendo de test de datos dudosos definidos en el capítulo 2.3. En este caso se aplicó el test a cada serie anual de caudales mínimos diarios de las estaciones fluviométricas seleccionadas.


La Tabla 3.2 y Tabla 3.3 presentan un resumen de datos dudosos de las estaciones utilizadas en el estudio. Cabe indicar que se evalúa la veracidad de estos datos dudosos, comparando su valor con mediciones de caudal instantáneo de la misma estación y de datos de estaciones cercanas, con la finalidad de descartarlo de la serie o mantenerlo. En el anexo A desde tabla (A.2) a la tabla (A.6) se especifica el análisis de datos dudoso de cada serie anual de caudales mínimos, siendo esta información manejada a través de planilla Microsoft Excel, posteriormente aparece detallado para cada dato dudoso la justificación de su mantenimiento o rechazo.

Tabla 3.1: Datos dudosos de caudales mínimos anuales de las estaciones seleccionadas (Elaboración Propia)

Estación/Año	Periodo 1950 - 1959									Periodo 1960 - 1969									Periodo 1970 - 1979												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Río Andalién Camino a Penco																						S.I									DD
Río Laraquete en el Cajón																															
Río Carampangue en Carampangue																															
Río Cayucupil en cayucupil													DD	DD								S.I									
Río Butamalal en Butamalal														DD												S.I					

Tabla 3.2: Continuación datos dudosos de caudales mínimos anuales de las estaciones seleccionadas (Elaboración Propia).

Estación/Año	Periodo 1980 - 1989									Periodo 1990 - 1999									Periodo 2000 - 2009									Periodo 2010 - 2017									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6
Río Andalién Camino a Penco	DD																																				S.I
Río Laraquete en el Cajón																																					
Río Carampangue en Carampangue				DD																																	
Río Cayucupil en Cayucupil																																					
Río Butamalal en Butamalal																																					

DD: Dato Dudoso
 DD: Dato dudoso Eliminado
 S.I: Sin Informacion
 longitud serie de datos

La tabla 3.3 proporciona para cada estación la longitud de datos total de la serie establecida por la DGA y la cantidad de datos finalmente considerados para el análisis estadístico.

Tabla 3.3: Longitud de datos iniciales y considerados finalmente por cada estación. (Fuente: elaboración propia).

Nº	Nombre estación	Serie original		Serie Final		% de datos iniciales
		Año información	Longitud información (cantidad de datos)	Año información	Longitud información (cantidad de datos)	
1	Río Andalién Camino a Penco	1961-1969; 1971-2015	55	1961-1969; 1971-1978; 1981-1999; 2001-2016	52	95
2	Río Laraquete en el Cajón	1985-1996	11	1961-2015	11	100
3	Río Carampangue en Carampangue	1970-1983	14	1985-1996	14	100
4	Río Cayucupil en Cayucupil	1951-1969; 1971-1983	32	1951-1962; 1964-1983	30	94
5	Río Butamalal en Butamalal	1950-1973; 1975-1996; 2004-2015	60	1950-1962; 1964-1973; 1975-1996; 2004-2017	59	98

De la tabla anterior es posible mencionar que se encontró un total de siete datos dudosos, de los cuales solo uno fue aceptado una vez revisado los caudales instantáneos diarios, además de insistir que aun cuando la correlación de datos con una estación patrón alcanzaba valores de R^2 de 0,988, no se realizó relleno de la información con la finalidad de evitar cualquier posibilidad de distorsión de los registros que influyan en la obtención de la curva de duración de caudales mínimos anuales de cada estación.

Ante la revisión de la información fluviométricas de las estaciones analizadas se desprende que sólo un 3,0 % de la totalidad de los datos entregados eran dudosos, siendo igualmente factible indicar que la mayoría de la información utilizada es fiable en los meses de relevancia.

3.2. APLICACIÓN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para obtener la curva de duración de los caudales diarios mínimos a nivel anual de cada estación se utilizó el método gráfico y analítico ajustando diferentes FDP. El procedimiento descrito en el apartado 2.4 permite entregar valores de caudales mínimos diarios de distintas probabilidades de excedencia.

Cabe señalar que se aplicaron las funciones Normal, Lognormal, Gamma y Gumbel, llevando a cabo los test de bondad de ajustes Chi cuadrado y Kolmogorov- Smirnov, ambos con un 95% de nivel de confianza que asegure el rechazo o no rechazo de la FDP.

Finalmente la distribución de probabilidad elegida además del criterio de los test, se basaron en la observación gráfica del ajuste, ilustrando conjuntamente las FDP con los datos de cada serie real, realizándose dos tipos de gráficos, los de probabilidades de excedencia menor al 50% y los de probabilidades de excedencia mayores al 50% (este último se realizó con probabilidades de No excedencia menores al 50%). En las figuras B.1 y B.2 del anexo B se presenta como ejemplo los ajustes gráficos mencionados para la estación Río Carampangue en Carampangue, acompañado de parámetros y resultados analíticos de cada

estación desde la tabla B.1 a B.5. En la tabla 3.4 se muestran las FDP no rechazadas y la elección de la FDP de mayor ajuste seleccionada para las estaciones de medición de caudal.

Tabla 3.4: FDP ajustada a cada estación para la curva de duración de caudales. (Fuente: elaboración propia)

Nº Estación	Nombre estación	FDP no rechazada	FDP seleccionada
1	Río Andalién camino a Penco	LN,N, Ga, Gu	Gamma
2	Río Laraquete en el cajón	LN,N, Ga, Gu	Gamma
3	Río Carampangue en Carampangue	LN,N, Ga, Gu	Gamma
4	Río Cayucupil en Cayucupil	N, Ga, Gu	Gamma
5	Río Butamalal en Butamalal	LN,N, Ga, Gu	Gamma

Como producto final del desarrollo estadístico, se muestran desde las tablas 3.5 a 3.9 los resultados de caudales mínimos sintetizada para diferentes periodos de retorno y excedencia, estableciendo la selección de la FDP Gamma en las cinco estaciones analizadas. Esta decisión se respalda a partir de la necesidad de verificar la homogeneidad de las cuencas costeras estudiadas, siendo descartada la FDP Lognormal por su rechazo de test de bondad de ajuste y la función Normal y Gumbel por establecer valores negativos para probabilidades de excedencia del 90% y 95% en algunas estaciones.

Tabla 3.5: Caudales mínimos diarios asociados diferentes periodos de retorno en estación Río Andalién camino a Penco. (Fuente: elaboración propia)

Promedio: 1.56		Des. Est: 1.05		Varianza: 1.10				Coef. de var.: 0.67			N. de datos: 52				
Distribución	Parámetros		P.EXC.	1%	5%	10%	20%	50%	80%	90%	95%	Chi cuadrado	Chi Limite	K-S	K-S Limite
	A	B	P.RET.	100	20	10	5	2	1.25	1.11	1.05				
Normal	1.56	1.05		4.01	3.29	2.91	2.45	1.56	0.67	0.20	-0.20	7.18	9.49	0.16	0.19
Lognormal	0.26	0.62		5.54	3.61	2.88	2.19	1.29	0.76	0.58	0.45	3.84	9.49	0.11	0.19
<u>Gamma</u>	2.18	0.71		4.97	3.59	2.96	2.30	1.33	0.68	0.45	0.30	6.56	9.49	0.12	0.19
Gumbel	1.08	0.82		4.86	3.52	2.93	2.31	1.38	0.69	0.40	0.17	4.66	9.49	0.10	0.19

Nota. En color verde subrayado se establece la función de distribución escogida en cada estación analizada, en rojo el rechazo de FDP por exceso de límite según test de ajuste de bondad.

Tabla 3.6: Caudales mínimos diarios asociados diferentes periodos de retorno en estación
Río Laraquete en Cajón. (Fuente: elaboración propia)

Promedio:	0.26	Des. Est:	0.21	Varianza:	0.04	Coef. de var.:	0.80	N. de datos:	11						
Distribución	Parámetros		P.EXC.	1%	5%	10%	20%	50%	80%	90%	95%	Chi	Chi	K-S	K-S
	A	B	P.RET.	100	20	10	5	2	1.25	1.11	1.05	cuadrado	Limite	K-S	Limite
Normal	0.26	0.21		0.75	0.60	0.53	0.44	0.26	0.08	-0.01	-0.09	0.50	9.49	0.10	0.39
Lognormal	-1.68	0.92		1.60	0.85	0.61	0.40	0.18	0.08	0.06	0.04	0.17	9.49	0.13	0.39
<u>Gamma</u>	1.54	0.17		0.97	0.67	0.54	0.40	0.21	0.09	0.05	0.03	0.17	9.49	0.13	0.39
Gumbel	0.17	0.16		0.92	0.65	0.53	0.41	0.23	0.09	0.03	-0.02	0.20	9.49	0.10	0.39

Tabla 3.7: Caudales mínimos diarios asociados diferentes periodos de retorno en estación
Río Carampangue en Carampangue. (Fuente: elaboración propia)

Promedio:	13.07	Des. Est:	3.65	Varianza:	13.3	Coef. de var.:	0.28	N. de datos:	14						
Distribución	Parámetros		P.EXC.	1%	5%	10%	20%	50%	80%	90%	95%	Chi	Chi	K-S	K-S
	A	B	P.RET.	100	20	10	5	2	1.25	1.11	1.05	cuadrado	Limite	K-S	Limite
Normal	13.07	3.65		21.6	19.1	17.7	16.1	13.1	10.0	8.4	7.0	1.45	9.49	0.15	0.35
Lognormal	2.53	0.29		24.8	20.3	18.3	16.1	12.6	9.8	8.7	7.7	0.83	9.49	0.13	0.35
<u>Gamma</u>	12.82	1.02		23.0	19.6	17.9	16.0	12.7	9.9	8.6	7.6	0.83	9.49	0.12	0.35
Gumbel	11.26	2.85		24.4	19.7	17.7	15.5	12.3	9.9	8.9	8.1	1.67	9.49	0.11	0.35

Tabla 3.8: Caudales mínimos diarios asociados diferentes periodos de retorno en estación
Río Cayucupil en Cayucupil. (Fuente: elaboración propia)

Promedio:	2.02	Des. Est:	0.90	Varianza:	0.81	Coef. de var.:	0.45	N. de datos:	30						
Distribución	Parámetros		P.EXC.	1%	5%	10%	20%	50%	80%	90%	95%	Chi	Chi	K-S	K-S
	A	B	P.RET.	100	20	10	5	2	1.25	1.11	1.05	cuadrado	Limite	K-S	Limite
Normal	2.02	0.90		4.11	3.50	3.17	2.78	2.02	1.26	0.86	0.52	3.54	9.49	0.11	0.24
Lognormal	0.58	0.56		6.52	4.46	3.64	2.85	1.78	1.12	0.87	0.70	10.58	9.49	0.15	0.24
<u>Gamma</u>	5.05	0.40		4.67	3.69	3.22	2.71	1.89	1.25	0.98	0.79	6.53	9.49	0.11	0.24
Gumbel	1.62	0.70		4.84	3.70	3.19	2.67	1.87	1.28	1.03	0.84	8.43	9.49	0.12	0.24

Tabla 3.9: Caudales mínimos diarios asociados diferentes periodos de retorno en estación Río Butamalal en Butamalal. (Fuente: elaboración propia)

Promedio: 1.09		Des. Est: 0.56		Varianza: 0.31		Coef. de var.: 0.51		N. de datos: 59							
Distribución	Parámetros		P.EXC.	1%	5%	10%	20%	50%	80%	90%	95%	Chi	Chi	K-S	K-S
	A	B	P.RET.	100	20	10	5	2	1.25	1.11	1.05	cuadrado	Limite	K-S	Limite
Normal	1.09	0.56		2.39	2.01	1.81	1.56	1.09	0.62	0.37	0.16	1.68	9.49	0.08	0.17
Lognormal	-0.05	0.55		3.17	2.20	1.82	1.44	0.92	0.59	0.46	0.38	8.69	9.49	0.11	0.17
Gamma	3.74	0.28		2.79	2.14	1.84	1.52	1.00	0.62	0.47	0.36	5.16	9.49	0.08	0.17
Gumbel	0.84	0.43		2.84	2.14	1.82	1.50	1.00	0.64	0.48	0.36	5.77	9.49	0.08	0.17

Con el propósito de establecer la homogeneidad de las estaciones seleccionadas en el estudio que den validez a la utilización de su estadística, se decide obtener los caudales mínimos diarios de distintas probabilidades de excedencia adimensionalizada con respecto al valor asociado a la probabilidad de excedencia de 50% (razón $Q_{min} P\% / Q_{min} 50\%$); siendo posteriormente correlacionando con los resultados de la zona homogénea de la región del Biobío elaborada por la DGA en materia de caudales mínimos en cuencas con aporte de napas subterráneas.

Como resultado del análisis indicado en el párrafo anterior, se establece en la tabla 3.10 el valor adimensional α para diferentes probabilidades de excedencia como una media de las cinco estaciones fluviométricas, mientras la tabla 3.11 proporciona la correlación diaria de caudales mínimos a través del factor adimensional obtenido por la DGA (1995_a), organismo que entrega un valor medio y una envolvente superior e inferior.

En el anexo B, figura B.3 y B.4, se presenta la gráfica del caudal adimensional $Q_{min} P\% / Q_{min} 50\%$ versus su probabilidad de excedencia, observando una similitud de su comportamiento que define una cierta condición de homogeneidad entre el análisis propio y el existente.

Tabla 3.10: Factor adimensional de caudales mínimos diarios $Q_{minP\%}/Q_{min50\%}$, elaborada a partir del análisis estadístico de estaciones analizadas. (Fuente: elaboración propia)

P Exed.	QminP%/Qmin 50%					
	Estación Andalién	Estación Laraquete	Estación Carampangue	Estación Cayucupil	Estación Butamalal	α (Media adimensional)
20%	1.65	1.81	1.26	1.42	1.48	1.52
50%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
80%	0.51	0.43	0.78	0.66	0.62	0.60
90%	0.34	0.25	0.68	0.52	0.47	0.45
95%	0.23	0.15	0.60	0.42	0.36	0.35

Tabla 3.11: Curva adimensional de la región del Biobío, caudales medios mínimos en 30 días (Q_{30}) y su correlación con caudales medios mínimos diarios (Q_1). (Fuente: Manual de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica, DGA, 1995a)

Curva de frecuencia regional de caudales medios mínimos 30 días Q_{30}				Curva de frecuencia regional de caudales medios mínimos diario (factor regional $Q_1/Q_{30}=0.82$)			
P exd.	$Q_{30} (P\%) / Q_{30} (50\%)$			P exd.	$Q_1 (P\%) / Q_1 (50\%)$		
	Media	Max.	Min.		Media	Max.	Min.
20%	1.35	1.62	1.18	20%	1.13	1.35	0.98
50%	1.00	1.00	1.00	50%	1.00	1.00	1.00
80%	0.74	0.86	0.56	80%	0.60	0.70	0.46
90%	0.63	0.81	0.37	90%	0.51	0.66	0.30
95%	0.54	0.76	0.23	95%	0.44	0.62	0.19

Las tablas 3.10 y 3.11 permiten establecer que el coeficiente medio estimado para cada probabilidad de excedencia, utilizando los datos de las estaciones de cada cuenca, presenta una correlación y similitud con los factores regionales entregados por la DGA. La anterior afirmación se sostiene a partir de verificar que el factor adimensional medio otorgado por el análisis estadístico se encuentra dentro del rango envolvente del anterior estudio de la zona homogénea con características pluviales de la región del Biobío. Solo para la probabilidad de excedencia de 20% el valor obtenido es superior al rango de la curva de frecuencia regional de caudales mínimos diarios, pero en general no es una diferencia significativa que establezca la no aceptación de las estaciones analizadas como cuencas del secano costero de la región.

3.3. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE CUENCAS

La aplicación de delimitación de cuenca a través de método descrito en 2.5 proporciona en la Figura 3.1 el área de drenaje de las estaciones en análisis, mientras la Tabla 3.12 entrega sus parámetros morfométricos o fisiográficos de relevancia para este proyecto de título. Igualmente, la Tabla mencionada muestra antecedentes hidrológicos característicos de cada cuenca, estableciendo la precipitación media anual (PMA) obtenida del método de Thiessen y el porcentaje de área con cobertura vegetal nativa mediante transposición de mapa del sistema de información territorial con el área de drenaje de cada cuenca.

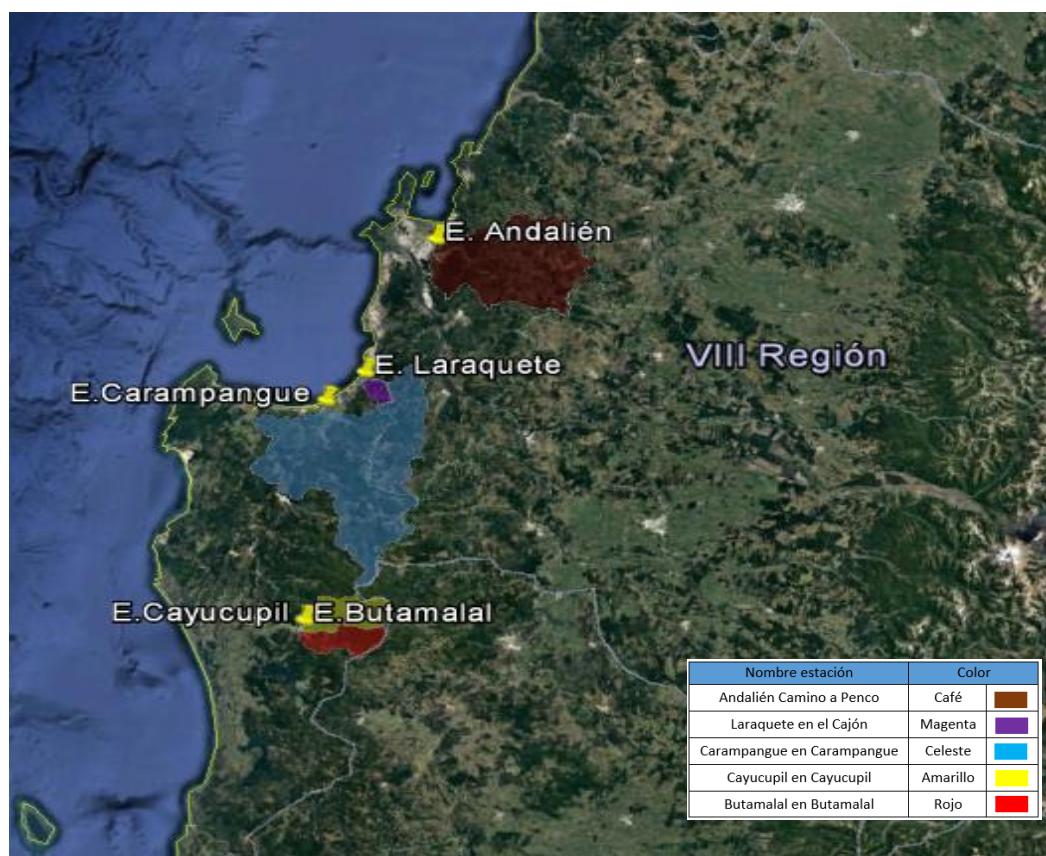


Figura 3.1: Delimitación área de drenaje de cuencas costeras analizadas. (Fuente: Imagen Satelital Google Earth).

Tabla 3.12: Antecedentes morfométricos e hidrológicos de cuencas costeras analizadas.

(Fuente: elaboración propia)

Nombre estación	Área Total km ²	Área Nativo %	Área Nativo km ²	Long. Cauce km	H. drenaje m.s.n.m.	ΔH total m	Q (50% exc.) m ³ /s	P.M.A. mm
Río Andalién Camino a Penco	726	14	98.5	145	7	391	1.33	1080
Río Laraquete en el Cajón	36	26	9.4	28	15	616	0.22	1211
Río Carampangue en Carampangue	1257	24	298.4	250	3	1087	12.70	1453
Río Cayucupil en Cayucupil	169	53	89.9	54	47	965	1.89	1425
Río Butamalal en Butamalal	121	51	61.7	58	51	1189	1.00	1439

De la figura 3.1 es posible apreciar las cuencas analizadas que representan una condición homogénea del secano costero en la región, con influencia de su cauce en época estival mayoritariamente de tipo pluvial, fundamentando tal afirmación a partir de la recopilación de antecedentes de las curvas de variación estacional con una única envolvente superior del caudal máximo en época invernal. Este fenómeno se debe a sus particularidades fisiográficas con alturas máximas inferiores a los 2.000 m.s.n.m. las cuales se presentan con nacientes en la Cordillera de la Costa y su desarrollo principalmente en las planicies litorales, no existiendo aportes de carácter nival (deshielo).

En relación a las características meteorológicas, se establece una condición similar de precipitaciones medias anuales en la totalidad de la región, con una media del orden de los 1200 [mm] de agua caída. A través de la figura C.1 del anexo correspondiente, es posible indicar que conforme se recorre a lo largo de la región del Biobío, hacia el sur las precipitaciones se ven aumentadas respecto a la media, fenómeno natural y característico debido al acercamiento que existe con el clima oceánico que manifiesta una mayor cantidad de lluvia durante el año, no siendo significativa en términos globales.

Las condiciones vegetativas se ven directamente relacionadas con condiciones ambientales y precipitaciones, por cuanto se observa claramente la relación de porcentaje de especies

nativas de orden del 15% del área total en cada cuenca de la zona central costera de la región (cuencas del río Andalién, Laraquete y Carampangue), mientras, en el caso de las cuencas ubicadas en la zona sur (cuencas del río Cayucupil y Butamalal), que delimitan con la región de la Araucanía, se presenta un porcentaje de especies nativas superior al 50 % del área de drenaje.

En el Anexo C, figuras C.2 y C.4, se presenta las cuencas de drenaje de cada estación ilustrando su área de plantación nativa, parámetro de relevancia utilizado en la elaboración de las curvas objetivos.

3.4. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

La curva de duración de caudales mínimos anuales de las estaciones en estudio se presenta de manera gráfica proporcionando como ejemplo en la figura 3.2 el resultado de la Estación Río Andalién camino a Penco. Con respecto a las 4 estaciones faltantes, las curvas de duración caudales mínimos anuales se encuentran en el anexo D Figuras D.1 a D.4.

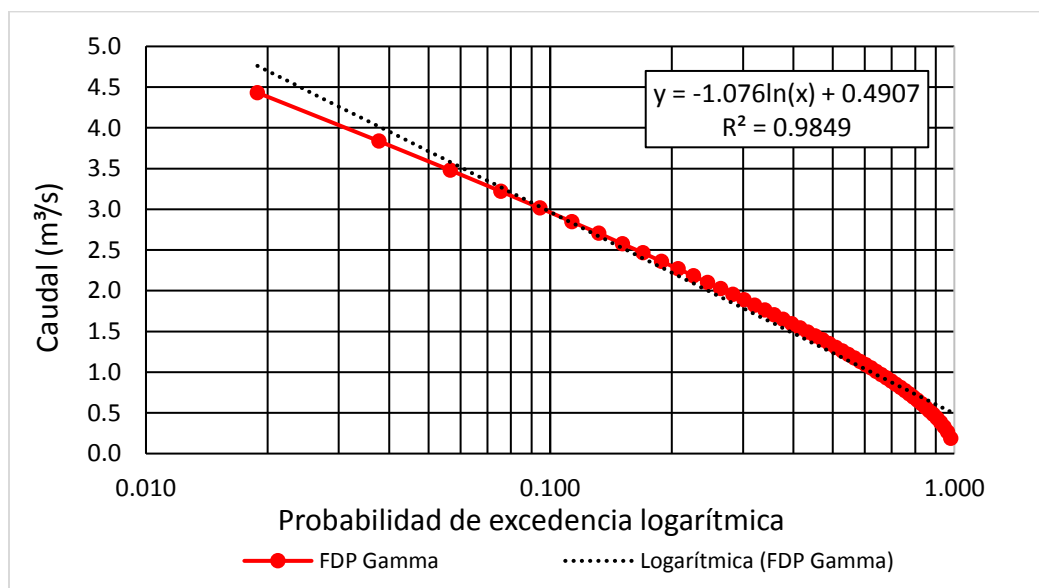


Figura 3.2: Curva de duración de caudales mínimos anuales estación Río Andalién camino a Penco. (Fuente: elaboración propia).

A partir de las curvas de duración de caudales de cada estación fluviométrica se aprecia un ajuste de datos con un factor de determinación R^2 superior a 0.97 considerando la FDP Gamma como la elección para todas las cuencas analizadas.

Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos, se dan a conocer las principales gráficas que permiten al investigador la obtención de caudales mínimos en cuencas costeras del secano de la región del Biobío, considerando los criterios de parámetros morfométricos, hidrológicos y de cobertura vegetal nativa. Desde la figura 3.3 a la figura 3.7 se proporciona secuencialmente las curvas mencionadas en el apartado 2.6, estableciendo de esta manera la actualización de los resultados existentes a nivel regional.

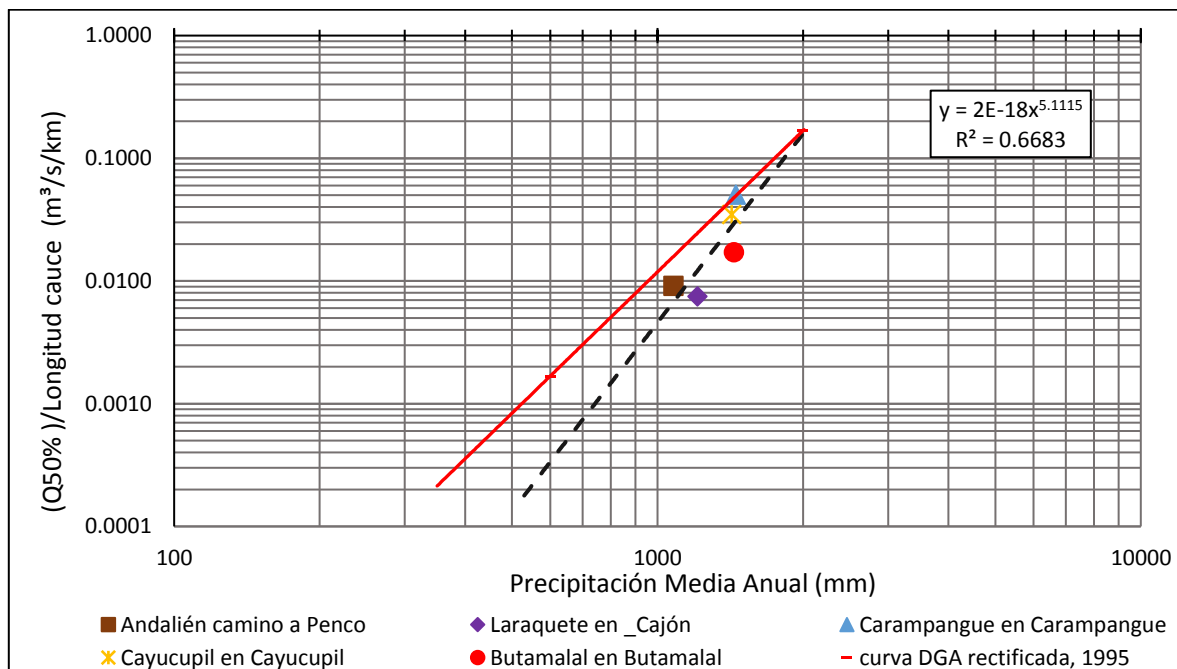


Figura 3.3: Curva de caudales diarios mínimos por unidad de longitud del cauce versus la precipitación media anual. (Fuente: elaboración propia)

Esta primera curva característica, asociada a la longitud del cauce, permite establecer una cierta correspondencia entre sus datos, con un factor de determinación $R^2 = 0,67$. Se visualiza un comportamiento predefinido de caudales y precipitaciones medias de mayor magnitud en las cuencas costeras ubicadas más al sur de la región, característico de sus

condiciones meteorológicas y geográficas, existiendo igualmente una tendencia a la curva de las estaciones de la costa central de la región.

En relación a la premisa de ajustar con mayor exactitud la determinación de caudales mínimos en el secano costero de la región en relación al estudio existente a nivel nacional, es permisible mencionar una variación de la tendencia de la curva aportada por el manual DGA (rectificada a caudal mínimo diario a partir del factor regional $Q_1/Q_{30} = 0,82$) respecto de la curva característica obtenida. Es posible por lo tanto, apreciar un incremento de la pendiente de la curva de caudal por unidad de longitud versus la PMA, producto de la actualización estadística y utilización de cuencas únicamente regionales. Además, es importante establecer que ambas curvas convergen para los valores altos de PMA ya que poseen en común las 2 estaciones utilizadas por la DGA (río Butamalal en Butamalal y río Cayucupil en Cayucupil), produciéndose una diferencia que describe la anterior sobrevaloración de los caudales mínimos en las cuencas costeras centrales que característicamente poseen PMA menores y por consiguiente menores caudales.

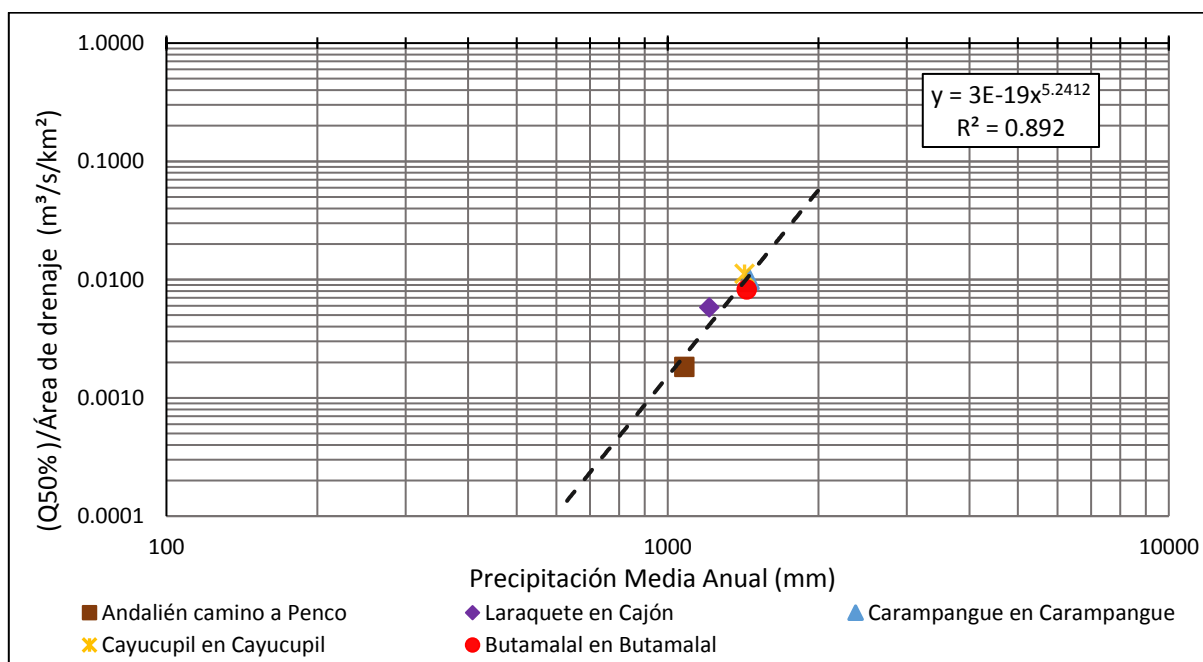


Figura 3.4: Curva de caudales diarios mínimos por unidad de área de drenaje versus la precipitación media anual. (Fuente: elaboración propia)

La curva de la figura 3.4 correspondiente al caudal diario mínimo por unidad de área de la cuenca versus la PMA, permite una mayor condición de ajuste y correlación entre sus datos, alcanzando el mayor factor de determinación R^2 en comparación a las otras curvas elaboradas en este proyecto de título, alcanzando un valor de 0,89. Teniendo en cuenta esta afirmación, es factible establecer que aun cuando el interés del parámetro área se relaciona primordialmente con el análisis de cálculo de caudales de crecidas extremas, también permite una mayor confiabilidad en la obtención de caudales mínimos diarios, siendo además la curva de valores más conservadores al momento de la elección del flujo de porteo.

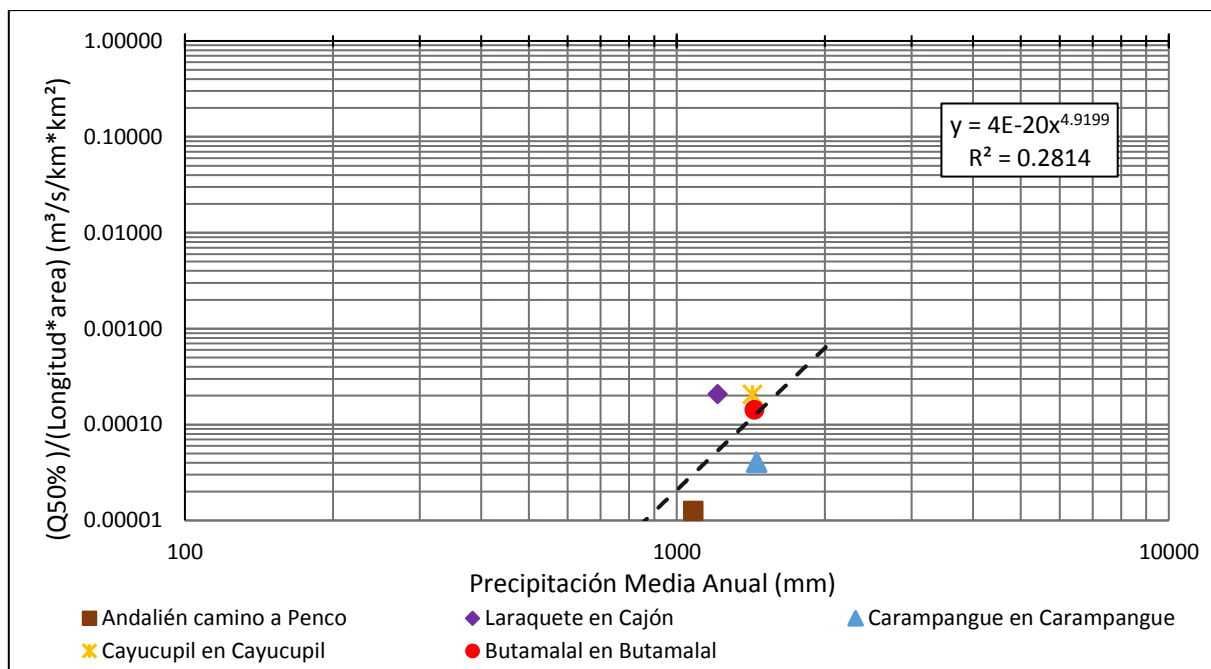


Figura 3.5: Curva de caudales diarios mínimos por unidad de multiplicación de longitud del cauce y área de drenaje versus la precipitación media anual. (Fuente: elaboración propia)

La curva de la figura 3.5 que considera el factor de la longitud por el área de drenaje se descarta de inmediato, debido a no correlación de sus datos y consideración de su factor $R^2=0,28$.

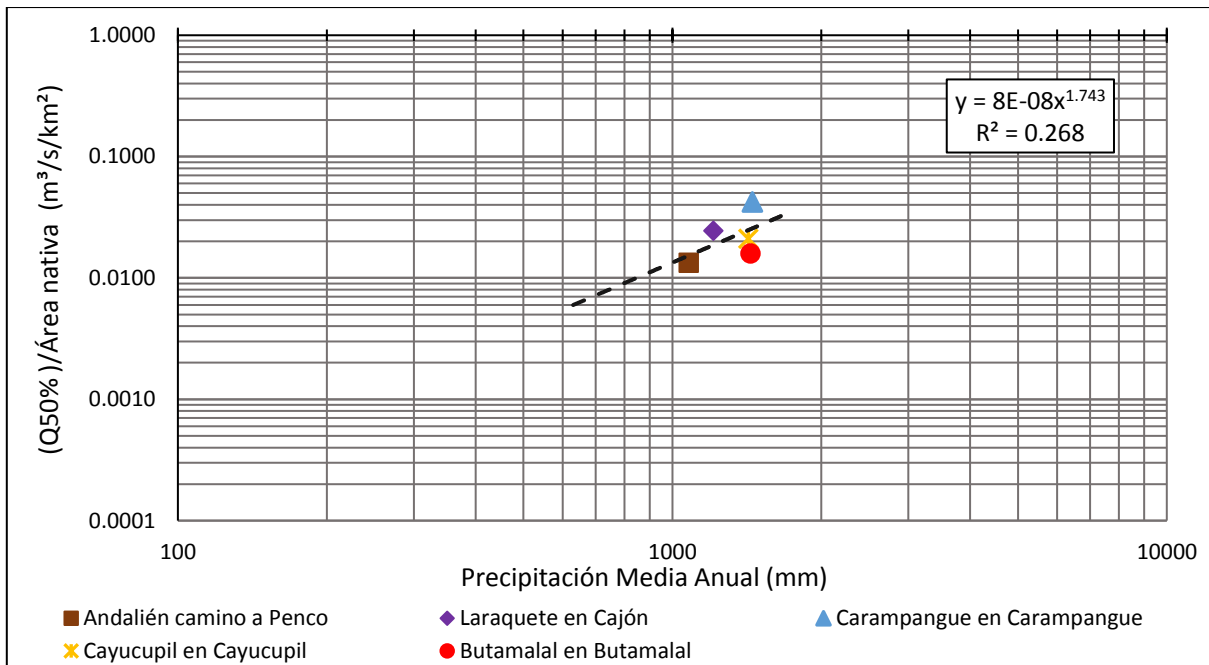


Figura 3.6: Curva de caudales diarios mínimos por unidad de área de vegetación nativa de las cuencas versus la precipitación media anual. (Fuente: elaboración propia)

Respecto de la curva asociada al caudal diario mínimo por unidad de área nativa de la cuenca versus su la PMA, se puede mencionar que al igual que la curva de la figura 3.5, no presenta una clara línea de tendencia de los datos los cuales se centran en una zona media, no correlacionando de manera confiable los caudales objetivo. Además se aprecia visualmente una pendiente de la curva menor a las otras curvas características, con un factor de correlación R^2 cercano a las 0,26, estableciéndose caudales mínimos sobrevalorados para las cuencas del secano costero central y subestimados en el caso del secano costero del sur de la región.

A pesar del factor de correlación bajo y valores más aglomerados que definen esta curva, es coherente indicar que el área nativa como parámetro de selección deja de considerar las otras variables de relevancia al momento de establecer un caudal mínimo, siendo necesario tal vez una discretización del tipo de vegetación nativa y sus condiciones de reservas de agua ante periodos de estiaje en la región, no siendo objetivo de este estudio su análisis y consideraciones. Se decide por tanto, descartar la curva en cuestión.

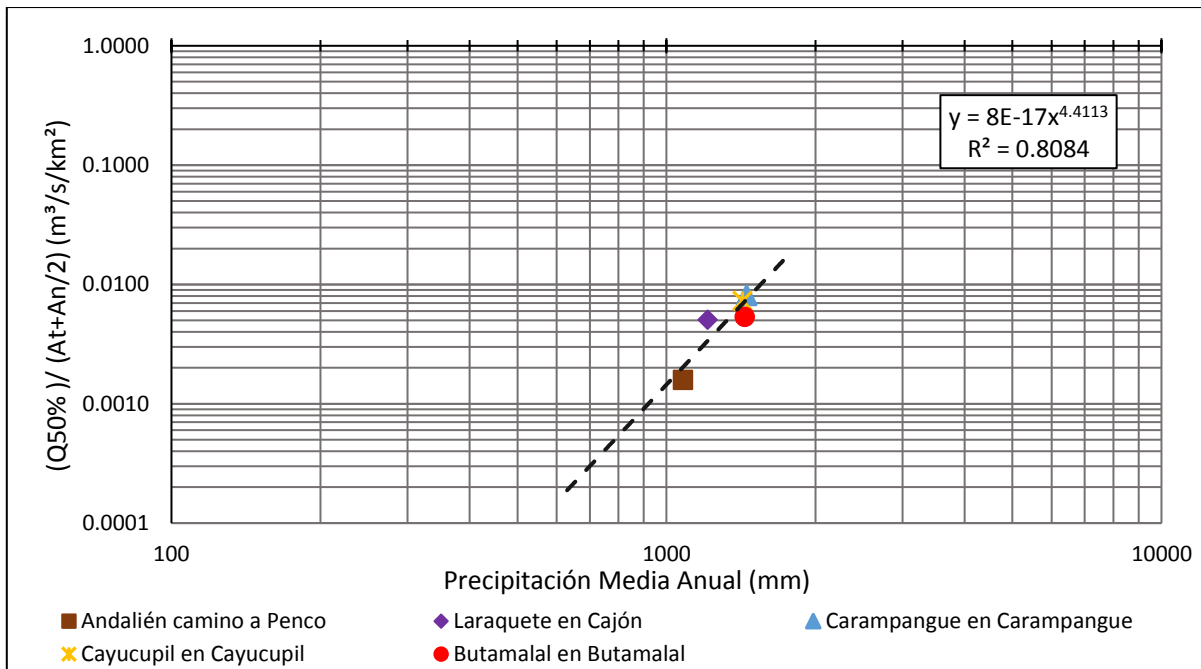


Figura 3.7: Curva de caudales diarios mínimos por unidad media entre el área total (At) y el área nativa (An) versus la precipitación media anual. (Fuente: elaboración propia)

Esta última curva de caudales diarios mínimos por unidad media de área total y área nativa versus la PMA, busca una mayor correlación de los datos de las estaciones en análisis con el afán de considerar no únicamente el área nativa que presenta justamente una condición de transición a lo largo de la región del Biobío, donde se establece a nivel país el paso de la zona central de vegetación nativa escasa con la zona sur de bosques frondosos, sino un promedio considerando también el área total de las cuencas costeras en estudio.

Se establece un factor de determinación $R^2= 0,8$, lo cual demuestra una mejor tendencia adecuada de los datos analizados, sin ser superior a la curva de caudales mínimos asociados a al parámetro del área de drenaje.

3.5. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN EXPERIMENTAL

Una vez realizado el análisis de mediciones en terreno se presentan los resultados del trabajo de gabinete, permitiendo con ello establecer un caudal de porteo en temporada de estiaje de los cauces del Estero Llico, el Estero Huedilhue y El estero El Manzano. La tabla 3.13 indica los principales parámetros de los cauces medidos y los caudales mínimos establecidos a través de la utilización del caudalímetro de molinete con medición de la totalidad de ellos el día 03 de abril del año 2016.

La tabla 3.14 proporciona una corrección de los caudales medidos en terreno a través de un factor que permite contrastar su correspondencia con el caudal mínimos de 50 % de excedencia. Para esto, se tomó en consideración que de las dos estaciones analizadas vigentes, la del río Andalién camino a Penco es la que presenta mayor cercanía y similar de característica morfométricas e hidrológicas con respecto a las cuencas sin información fluviométrica catastradas obteniendo el factor de su relación entre el Qmin50 % de probabilidad de excedencia y el caudal registrado por la DGA para ese día específico.

El anexo D la figura D.10 ilustra el área de plantación nativa de cada cuenca registrada. Además, a modo de ejemplar, se presenta la tabla D.1 a D.3 con el desarrollo de las mediciones registradas con el caudalímetro, el área unitaria de cada subdivisión de la sección de cauce y finalmente el caudal volumétrico total de escurrimiento adoptado.

Tabla 3.13: Antecedentes morfométricos e hidrológicos de cuencas medidas en terreno el día 3 de abril de 2016. (Fuente: elaboración propia)

Nombre cauce aforado	Área drenaje km ²	Área Nativo %	Área Nativo km ²	Long. Cauce m.	P.M.A. mm	Caudal de registro (m ³ /s)		Caudal adoptado (m ³ /s)
						Medición Sección 1	Medición Sección 2	
Estero Llico	16.7	1.3	0.22	18.5	1211	0.043	0.042	0.042
Estero Huedilhue	66.2	12.7	8.36	36	1059	0.366	0.365	0.365
Estero el Manzano	15.9	12.9	2.05	21	1176	0.084	0.089	0.084

Tabla 3.14: Corrección de caudal medido en terreno a través de factor de correlación con la estación patrón del río Andalién. (Fuente: elaboración propia)

Nombre cauce aforado	Caudal adoptado (m ³ /s)	Qmin50%/Qregistrado (03/04/2016) E. Andalién	Caudal de medición corregido (m ³ /s)
Estero Llico	0.042	0.63	0.026
Estero Huedilhue	0.365	0.63	0.227
Estero el Manzano	0.084	0.63	0.052

A través de los antecedentes que preceden, es posible establecer la correlación de datos del análisis teórico rectificado y los caudales experimentales resueltos en la medición en terreno donde se eligió la sección más conservadora, manifestando la tendencia de ambos métodos para las diferentes curvas de caudal. Igualmente se proporciona al lector la variación cuantitativa de los tres esteros, permitiéndole establecer la curva asociada al parámetro de área de drenaje como la de mayor nivel de confiabilidad.

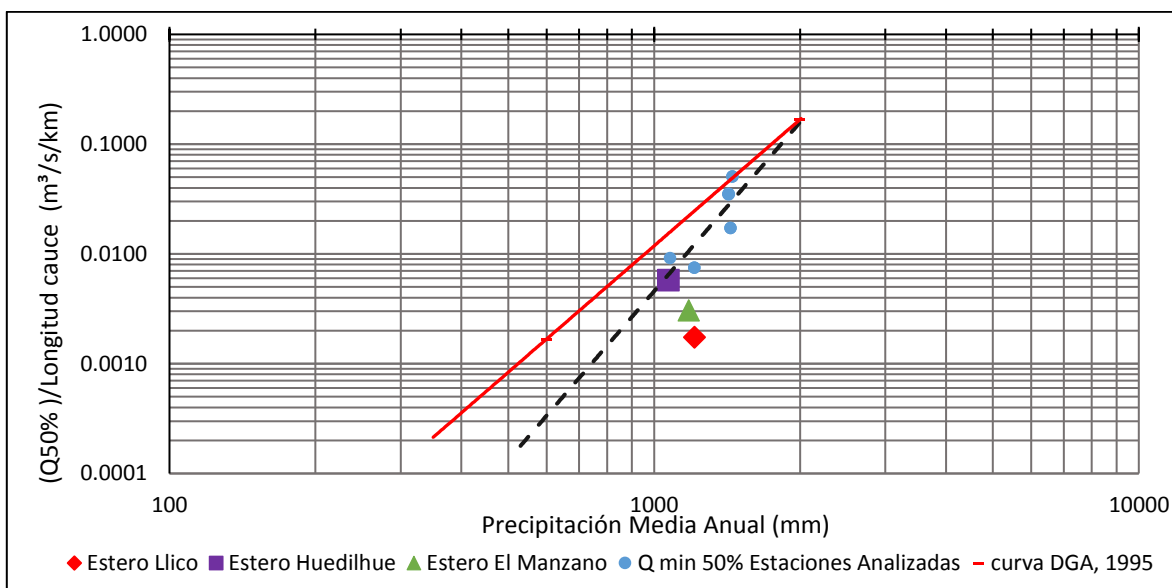


Figura 3.8: Curva características de caudales diarios mínimos por unidad de longitud del cauce versus la PMA, correlación de análisis experimental con resultados de ajuste teórico. (Fuente: elaboración propia)

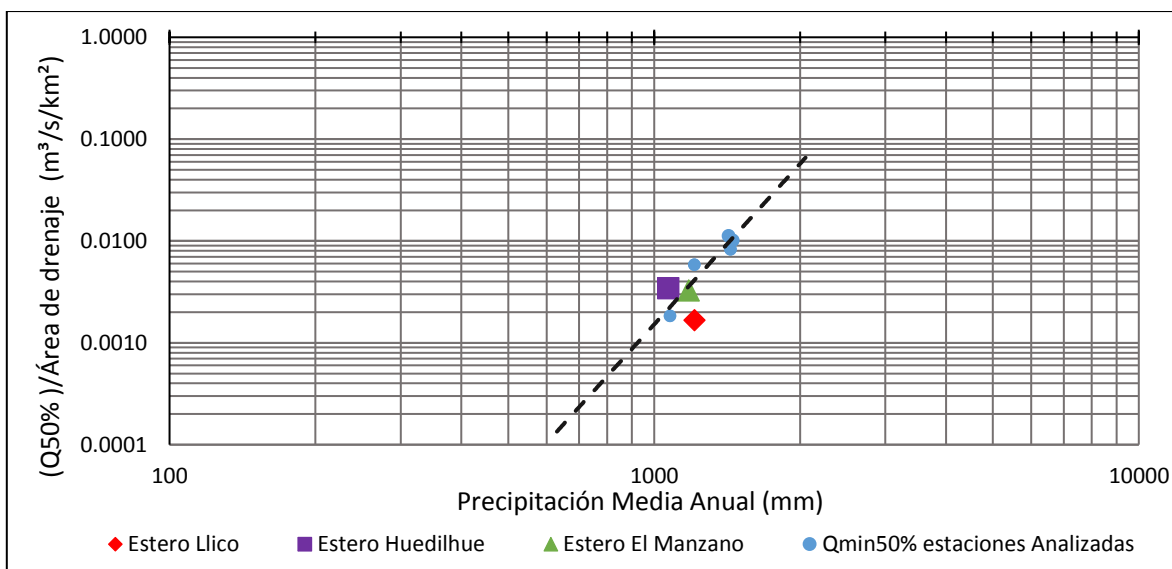


Figura 3.9: Curva características de caudales diarios mínimos por unidad de área de drenaje versus la PMA, correlación de análisis experimental con resultados de ajuste teórico. (Fuente: elaboración propia)

Finalmente, en las tablas 3.15 y 3.16 se ilustran la variación teórico-experimental porcentual y de valor absoluto respectivamente, para las dos curvas características de mayor ajuste para la determinación de caudal diario mínimo (Q50% Exd.).

Tabla 3.15: Variación porcentual del análisis experimental – teórico de los cauces evaluados respecto a la curva característica de caudal en (m³/s). (Fuente: elaboración propia)

Nombre de cauce	Curvas características analizadas				
	Caudal Experimental	Parámetro de Longitud de cauce		Parámetro de área de drenaje	
		Caudal Teórico	Diferencia Porcentual	Caudal Teórico	Diferencia Porcentual
E. Llico	0.026	0.168	-85%	0.069	-62%
E. Huedilhue	0.227	0.237	-4%	0.175	-30%
E. El Manzano	0.052	0.167	-69%	0.058	-9%
Diferencia media absoluta			53%		34%

Tabla 3. 16: Variación absoluta del análisis experimental – teórico de los cauces evaluados respecto a cada curva característica de caudal en (m³/s). (Fuente: elaboración propia)

Nombre de cauce	Curvas características analizadas				
		Parámetro de Longitud de cauce		Parámetro de área de drenaje	
	Caudal Experimental	Caudal Teórico	Diferencia Absoluta	Caudal Teórico	Diferencia Absoluta
E. Llico	0.026	0.168	-0.14	0.069	-0.04
E. Huedilhue	0.227	0.237	-0.01	0.175	-0.05
E. El Manzano	0.052	0.167	-0.11	0.058	-0.005

Respecto al análisis experimental realizado a partir de la medición de caudales con el equipo de caudalímetro digital o “molinete” a los tres cauces regionales de carácter pluvial, se establece a partir de las figuras 3.8 y 3.9, la tendencia de los datos obtenidos en terreno y que fueron posteriormente corregidos con respecto a las curvas características del análisis estadístico.

De la comparación de ambas metodologías es factible indicar que, la mayor correlación se establece en la curva característica que considera el parámetro morfométrico de área de drenaje. Igualmente, es fiable indicar que la curva de caudales por unidad de longitud presenta una comparación de menor semejanza pero igualmente permite una obtención de caudal mínimo aceptable.

Finalmente es relevante mencionar que la corrección del caudal medido en terreno permitió un importante acercamiento de los resultados a las curvas de caudales mínimos diarios características, ejemplificando el caso de la misma gráfica asociada al parámetro de área de drenaje, donde se observó una disminución media de variación entre las tres estaciones desde un 72% a un 34%.

4. CONCLUSIONES

La información de caudal mínimo diario anual obtenido a través de los reportes de la DGA en términos generales se puede considerar consistente, ya que un porcentaje menor de los datos de las estaciones seleccionadas eran de carácter dudoso o erróneo, siendo lo más idóneo, su eliminación para evitar cualquier distorsión de los resultados estadísticos.

Se estableció una condición de homogeneidad en las cinco estaciones analizadas que permitió el desarrollo de este estudio, condición que se fundamenta en su correlación con las curvas de frecuencia para diferentes probabilidades de excedencia, presentando un rango similar entre el análisis estadístico actualizado y la zona homogénea de la región del Biobío otorgado por la DGA para cuencas con aporte únicamente pluvial. Se establece además, una condición predefinida de las características morfométricas y meteorológicas que respaldan la homogeneidad de las cuencas seleccionadas, siendo los parámetros más relevantes el área de drenaje y la longitud del cauce.

Se planteó una serie de cinco curvas características con el objeto de estimar los caudales mínimos diarios correspondientes al 50% de excedencia para los distintos cauces del secano costero de la región del Biobío que no cuenten con información fluviométrica, considerando la curva unitaria con el parámetro de área de drenaje como la de mejor ajuste para su utilización.

A partir de la propuesta de cálculo establecida en el desarrollo de este proyecto de título, se proporciona al investigador una ecuación de primer orden del caudal mínimo diario en cuencas costeras, a través de la curva característica de figura 3.4, que ve parametrizado su valor de PMA de milímetros de agua caída a la unidad de metro de agua caída.

$$\frac{Q_{min}}{Area} \left(\frac{m^3/s}{km^2} \right) = 1,51 * \left(\frac{PMA(mm)}{1000} \right)^{5,24}$$

Respecto a la comparación del análisis teórico experimental, con la ayuda de las gráficas y tablas de variación de caudales mínimos diarios, se estimó una similitud de los datos que da cierta confiabilidad a diferentes niveles, según la curva característica correspondiente. Es relevante indicar que existen diferentes factores que influyen en la medición experimental de caudales, partiendo de la necesidad de aforar el caudal en diferentes días de estiaje y obtener una mejor tendencia de su valor representativo sin tener certeza de la medición del caudal mínimo 50% de excedencia, situación que se suplió mediante la corrección del caudal medido respecto al registro de una estación patrón analizada en el día de catastro del terreno.

Finalmente, se deja a criterio del investigador la utilización de las diferentes curvas características elaboradas según su predisposición de asumir un determinado nivel de riesgo, recomendando las curvas de caudales mínimos por unidad de área de drenaje y de la longitud del cauce de manera independiente, esto fundamentado en que representan la tendencia con mayor correlación entre sus datos y con la comparativa teórico-experimental.

5. BIBLIOGRAFÍA

- BCN, (2004) a. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Sistema Integral de Información Territorial (SIIT), relieve regional del Biobío. URL: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8/relieve.htm>
- BCN, (2004) b. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Sistema Integral de Información Territorial (SIIT). Clima hidrográfico región del Biobío. URL: www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8/hidrografia.htm.
- BCN, (2004) c. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Sistema Integral de Información Territorial (SIIT). Clima y vegetación de la región del Biobío URL: www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8/clima.htm.
- CHOW, Ven Te., (1994). Hidrología Aplicada. 1^{era} edición. Bogotá, Mc Graw Hill. 584 p.
- CORPORACION NACIONAL FORESTAL, CONAF (2017), Sistema de información territorial, Chile URL: <http://sit.conaf.cl>. Consulta de superficie nativa: Junio de 2016.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, (1991). Análisis estadístico de caudales en los Ríos de Chile.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, (1995) a, Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, (1995) b, Análisis de eventos hidrometeorológicos extremos en el país. Caudales máximos y mínimos.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, Información oficial hidrometeorológica y de calidad de aguas en línea, Chile URL: <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>. Consulta: Junio de 2016.

- MONSALVE Sáenz, Germán. (1999), Hidrología en la Ingeniería. 2^{da} edición. Bogotá, Alfaomega. 382 p.
- SANTANA Oyarzo, Luís. (2007). Apunte de Hidrología, Dirección de Pregrado. Universidad del Bío-Bío. 176 p.
- USGS Servicio Geológico de Estados Unidos. Archivo RASTER, origen SDTS, sistema satelital SRTM, resolución 90 metros. Consulta de descarga: mayo de 2017.

6. ANEXOS

Anexo A: Información general y datos dudosos

El anexo A establece información relevante de las estaciones fluviométricas analizadas, el cuadro de análisis de datos dudosos y su justificación de aceptación o eliminación de este valor.

Información general:

Tabla A.1: Información de estaciones fluviométricas en análisis. (Fuente: Dirección General de Aguas)

Nº	Código BNA	Nombre estación	Latitud S.	Longitud O.	UTM N.	UTM E.
1	8220001-0	Río Andalién camino a Penco	36 49 00	73 01 60	5.923.595	675.423
2	8430001-2	Río Laraquete en el cajón	37 10 00	73 10 00	5.884.998	663.781
3	8530001-6	Río Carampangue en Carampangue	37 15 00	73 16 00	5.875.919	653.732
4	8821001-8	Río Cayucupil en Cayucupil	37 49 00	73 15 00	5.813.014	654.039
5	8821002-6	Río Butamalal en Butamalal	37 49 00	73 15 00	5.813.014	654.040

Datos dudosos

Tabla A.2: Test de datos dudosos estación 1. Río Andalién Camino a Penco. (Fuente: elaboración propia).

1. Río Andalien Camino a Penco					
Año	Qmin	Log Qmin	Log Qmi'	Log Qmin''	Log Qmin'''
1961	1.80	0.26	0.26	0.26	0.26
1962	0.76	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12
1963	0.60	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22
1964	1.09	0.04	0.04	0.04	0.04
1965	0.59	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23
1966	1.23	0.09	0.09	0.09	0.09
1967	0.41	-0.39	-0.39	-0.39	-0.39
1968	0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40
1969	0.87	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
1970	S / I				
1971	3.43	0.54	0.54	0.54	0.54
1972	1.70	0.23	0.23	0.23	0.23
1973	2.47	0.39	0.39	0.39	0.39
1974	1.75	0.24	0.24	0.24	0.24
1975	1.93	0.29	0.29	0.29	0.29
1976	1.33	0.12	0.12	0.12	0.12
1977	1.32	0.12	0.12	0.12	0.12
1978	1.35	0.13	0.13	0.13	0.13
1979	0.05	-1.30	-1.30	-	-
1980	0.03	-1.52	-	-	-
1981	1.15	0.06	0.06	0.06	0.06
1982	2.32	0.37	0.37	0.37	0.37
1983	1.06	0.03	0.03	0.03	0.03
1984	1.09	0.04	0.04	0.04	0.04
1985	2.15	0.33	0.33	0.33	0.33
1986	1.20	0.08	0.08	0.08	0.08
1987	1.42	0.15	0.15	0.15	0.15
1988	1.79	0.25	0.25	0.25	0.25
1989	1.34	0.13	0.13	0.13	0.13
1990	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00
1991	1.07	0.03	0.03	0.03	0.03
1992	1.31	0.12	0.12	0.12	0.12
1993	1.84	0.26	0.26	0.26	0.26
1994	1.13	0.05	0.05	0.05	0.05

1. Río Andalien Camino a Penco					
Año	Qmin	Log Qmin	Log Qmi'	Log Qmin''	Log Qmin'''
1995	1.44	0.16	0.16	0.16	0.16
1996	0.55	-0.26	-0.26	-0.26	-0.26
1997	0.38	-0.43	-0.43	-0.43	-0.43
1998	0.38	-0.42	-0.42	-0.42	-0.42
1999	0.43	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37
2000	0.11	-0.96	-0.96	-0.96	-
2001	5.35	0.73	0.73	0.73	0.73
2002	2.15	0.33	0.33	0.33	0.33
2003	5.62	0.75	0.75	0.75	0.75
2004	3.01	0.48	0.48	0.48	0.48
2005	2.06	0.31	0.31	0.31	0.31
2006	2.68	0.43	0.43	0.43	0.43
2007	1.73	0.24	0.24	0.24	0.24
2008	1.18	0.07	0.07	0.07	0.07
2009	0.99	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
2010	2.55	0.41	0.41	0.41	0.41
2011	1.59	0.20	0.20	0.20	0.20
2012	1.36	0.13	0.13	0.13	0.13
2013	1.65	0.22	0.22	0.22	0.22
2014	1.79	0.25	0.25	0.25	0.25
2015	0.59	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23
2016	0.67	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17
2017	S / I				
Asimetría	1.93	-1.73	-1.37	-0.71	-0.11
Promedio	1.48	0.04	0.06	0.09	0.11
Desviación	1.09	0.41	0.35	0.30	0.27
N	55.00	55.00	54.00	53.00	52.00
Kn	2.60	2.65	2.65	2.64	2.64
Límite Superior	4.31	1.13	1.01	0.89	0.81
Límite Inferior	-1.35	-1.06	-0.88	-0.71	-0.59
Qmax	5.62	0.75	0.75	0.75	0.75
Qmin	0.03	-1.52	-1.30	-0.96	-0.43
Dato dudoso sup.		NO HAY	NO HAY	NO HAY	NO HAY
Dato dudoso inf.		SI HAY	SI HAY	SI HAY	NO HAY

Tabla A.3: Test de datos dudosos estación 2. Río Laraquete en Cajón. (Fuente: elaboración propia).

2. Río Laraquete en Cajón		
Año	Qmin	Log Qmin
1986	0.04	-1.36
1987	0.46	-0.34
1988	0.11	-0.96
1989	0.06	-1.21
1990	0.32	-0.49
1991	0.24	-0.62
1992	0.73	-0.14
1993	0.06	-1.22
1994	0.30	-0.52
1995	0.17	-0.77
1996	0.37	-0.43
Asimetría	1.10	-0.29
Promedio	0.26	-0.73
Desviación	0.21	0.44
N	11	11
Kn	2.13	2.13
Límite Superior	0.71	0.20
Límite Inferior	-0.19	-1.67
Qmax	0.73	-0.14
Qmin	0.04	-1.36
Dato dudoso sup.	NO HAY	
Dato dudoso inf.	NO HAY	

Tabla A.4: Test de datos dudosos estación 3. Río Carampangue en Carampangue. (Fuente: elaboración propia).

3. Río Carampangue en Carampangue			
Año	Qmin	Log Qmin	Log Qmi'
1970	21.00	1.32	1.32
1971	11.80	1.07	1.07
1972	12.00	1.08	1.08
1973	10.80	1.03	1.03
1974	10.80	1.03	1.03
1975	12.00	1.08	1.08
1976	10.00	1.00	1.00
1977	14.40	1.16	1.16
1978	11.40	1.06	1.06
1979	13.60	1.13	1.13
1980	17.20	1.24	1.24
1981	17.10	1.23	1.23
1982	14.60	1.16	1.16
1983	6.27	0.80	-
Asimetría	0.49	-0.58	0.77
Promedio	13.07	1.10	1.12
Desviación	3.65	0.13	0.31
N	14	14	13
Kn	2.21	2.21	2.18
Límite Superior	21.14	1.38	1.81
Límite Inferior	5.00	0.82	0.44
Qmax	21.00	1.32	1.32
Qmin	6.27	0.80	1.00
Dato dudoso sup.		NO HAY	NO HAY
Dato dudoso inf.		SI HAY	NO HAY

Tabla A.5: Test de datos dudosos estación 4. Río Cayucupil en Cayucupil. (Fuente: elaboración propia).

4. Río Cayucupil en Cayucupil				
Año	Qmin	Log Qmin	Log Qmin'	Log Qmin''
1951	2.85	0.45	0.45	0.45
1952	2.47	0.39	0.39	0.39
1953	2.30	0.36	0.36	0.36
1954	2.72	0.43	0.43	0.43
1955	2.36	0.37	0.37	0.37
1956	3.95	0.60	0.60	0.60
1957	3.39	0.53	0.53	0.53
1958	3.96	0.60	0.60	0.60
1959	3.03	0.48	0.48	0.48
1960	1.61	0.21	0.21	0.21
1961	2.03	0.31	0.31	0.31
1962	0.30	-0.52	-0.52	-
1963	0.14	-0.85	-	-
1964	0.73	-0.14	-0.14	-0.14
1965	0.44	-0.35	-0.35	-0.35
1966	2.40	0.38	0.38	0.38
1967	2.04	0.31	0.31	0.31
1968	0.68	-0.17	-0.17	-0.17
1969	1.35	0.13	0.13	0.13
1970	S / I			
1971	0.45	-0.35	-0.35	-0.35
1972	2.45	0.39	0.39	0.39
1973	2.14	0.33	0.33	0.33
1974	1.74	0.24	0.24	0.24
1975	1.64	0.21	0.21	0.21
1976	1.62	0.21	0.21	0.21
1977	1.91	0.28	0.28	0.28
1978	1.47	0.17	0.17	0.17
1979	1.09	0.04	0.04	0.04
1980	2.04	0.31	0.31	0.31
1981	1.76	0.25	0.25	0.25
1982	1.52	0.18	0.18	0.18
1983	2.47	0.39	0.39	0.39
Asimetría	0.14	-1.55	-1.25	-1.15
Promedio	1.91	0.19	0.23	0.25

Desviación	1.02	0.33	0.27	0.24
N	32	32	31	30
Kn	1.60	2.60	2.59	2.58
Límite Superior	3.53	1.05	0.94	0.88
Límite Inferior	0.28	-0.67	-0.48	-0.37
Qmax	3.96	0.60	0.60	0.60
Qmin	0.14	-0.85	-0.52	-0.35
Dato dudoso sup.		NO HAY	NO HAY	NO HAY
Dato dudoso inf.		SI HAY	SI HAY	NO HAY

Tabla A.6: Test de datos dudosos estación 5. Río Butamalal en Butamalal. (Fuente: elaboración propia).

5. Río Butamalal en Butamalal			
Año	Qmin	Log Qmin	Log Qmi'
1950	3.3	0.52	0.52
1951	2.09	0.32	0.32
1952	1.07	0.03	0.03
1953	1.23	0.09	0.09
1954	1.47	0.17	0.17
1955	1.02	0.01	0.01
1956	1.23	0.09	0.09
1957	0.82	-0.09	-0.09
1958	0.90	-0.05	-0.05
1959	1.50	0.18	0.18
1960	1.28	0.11	0.11
1961	0.48	-0.32	-0.32
1962	0.44	-0.35	-0.35
1963	0.09	-1.06	-
1964	0.40	-0.40	-0.40
1965	2.02	0.31	0.31
1966	0.43	-0.37	-0.37
1967	0.88	-0.06	-0.06
1968	0.34	-0.47	-0.47
1969	0.39	-0.41	-0.41
1970	0.59	-0.23	-0.23
1971	1.05	0.02	0.02
1972	1.12	0.05	0.05
1973	0.93	-0.03	-0.03
1974	S / I		
1975	0.657	-0.18	-0.18
1976	0.446	-0.35	-0.35
1977	0.45	-0.35	-0.35
1978	0.52	-0.28	-0.28
1979	0.30	-0.52	-0.52
1980	0.72	-0.14	-0.14
1981	0.51	-0.29	-0.29
1982	0.20	-0.71	-0.71
1983	1.39	0.14	0.14
1984	0.88	-0.05	-0.05
1985	1.36	0.13	0.13

5. Río Butamalal en Butamalal			
Año	Qmin	Log Qmin	Log Qmi'
1986	1.31	0.12	0.12
1987	1.30	0.11	0.11
1988	0.87	-0.06	-0.06
1989	1.09	0.04	0.04
1990	0.77	-0.11	-0.11
1991	1.06	0.03	0.03
1992	1.03	0.01	0.01
1993	1.70	0.23	0.23
1994	1.20	0.08	0.08
1995	1.02	0.01	0.01
1996	1.31	0.12	0.12
1997-2003	S / I		
2004	0.95	-0.02	-0.02
2005	0.59	-0.23	-0.23
2006	1.54	0.19	0.19
2007	1.83	0.26	0.26
2008	1.65	0.22	0.22
2009	2.12	0.33	0.33
2010	1.27	0.10	0.10
2011	0.85	-0.07	-0.07
2012	1.6	0.20	0.20
2013	1.13	0.05	0.05
2014	1.25	0.10	0.10
2015	1.36	0.13	0.13
2016	1.6	0.20	0.20
2017	1.85	0.27	0.27
Asimetría	1.01	-1.12	-0.59
Promedio	1.08	-0.04	-0.02
Desviación	0.64	0.27	0.24
N	60	60	59
Kn	2.82	2.82	2.82
Límite Superior	2.88	0.74	0.66
Límite Inferior	-0.72	-0.81	-0.71
Qmax	3.30	0.52	0.52
Qmin	0.09	-1.05	-0.70
Dato dudoso sup.		NO HAY	NO HAY
Dato dudoso inf.		SI HAY	NO HAY

Justificación de datos dudosos

Estación 1. Río Andalién Camino a Penco.

- Año 1979: es dato dudoso de límite inferior, se validó a nivel de caudal instantáneo en la misma estación. Tras verificar disminución excesiva de caudal ante variación poco significativa de altura de agua en un rango de tiempo de horas se elimina dato de la serie.
- Año 1980: es dato dudoso de límite inferior, se validó a nivel de caudal instantáneo en la misma estación. Tras verificar disminución excesiva de caudal ante variación poco significativa de altura de agua en un rango de tiempo de horas se elimina dato de la serie.
- Año 2000: es dato dudoso inferior, se verificó a nivel de caudal instantáneo en la misma estación y relación con estaciones costeras vecinas. A pesar del registro completo de los caudales instantáneos en la estación, se establece una caída de caudal no progresiva. Se elimina el dato de la serie para análisis estadístico.

Estación 3. Río Carampangue en Carampangue.

- Año 1983: es dato dudoso de límite inferior, se validó a nivel de caudal instantáneo en la misma estación. Se mantiene este dato tras verificar coherencia de los datos con una disminución progresiva del caudal mínimo.

Estación 4. Río Cayucupil en Cayucupil

- Año 1962: es dato dudoso de límite inferior, se validó a nivel de caudal instantáneo en la misma estación. Se elimina el dato de la serie anual para análisis estadístico.
- Año 1963: es dato dudoso de límite inferior, se validó a nivel de caudal instantáneo en la misma estación. Se elimina el dato de la serie para análisis estadístico.

Estación 4. Río Butamalal en Butamalal

- Año 1963: es dato dudoso de límite inferior, se validó a nivel de caudal instantáneo en la misma estación. Se elimina dato de la serie anual para análisis estadístico.

Anexo B: Análisis de frecuencia

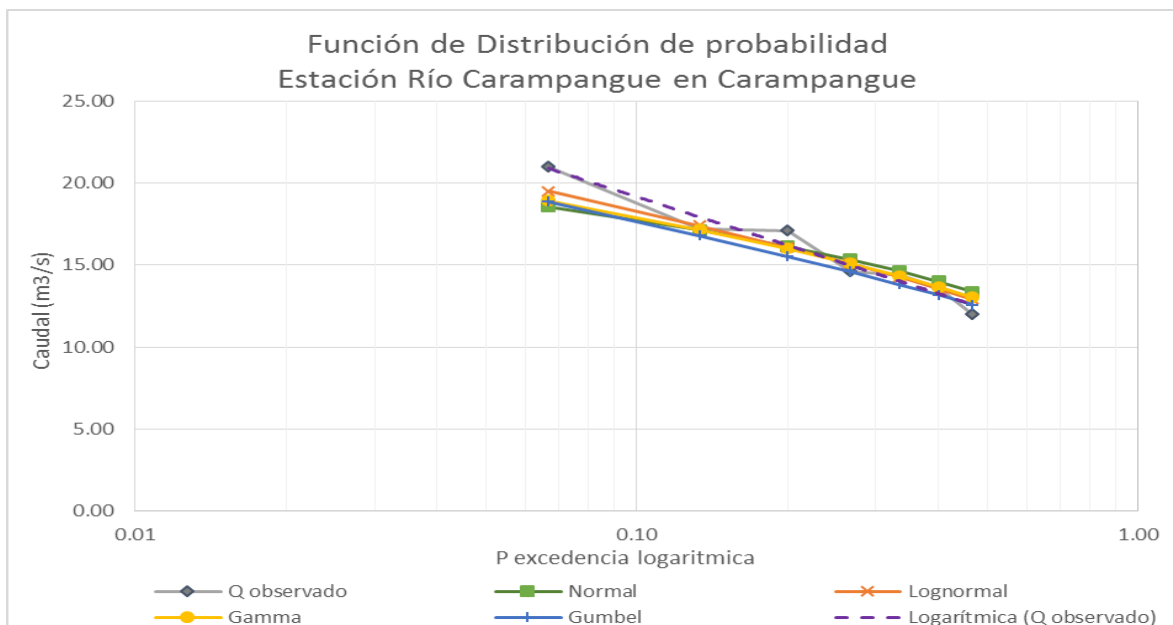


Figura B.1: Ajuste visual de distribución de probabilidades estación 3. Río Carampangue en Carampangue (Fuente: Elaboración propia)

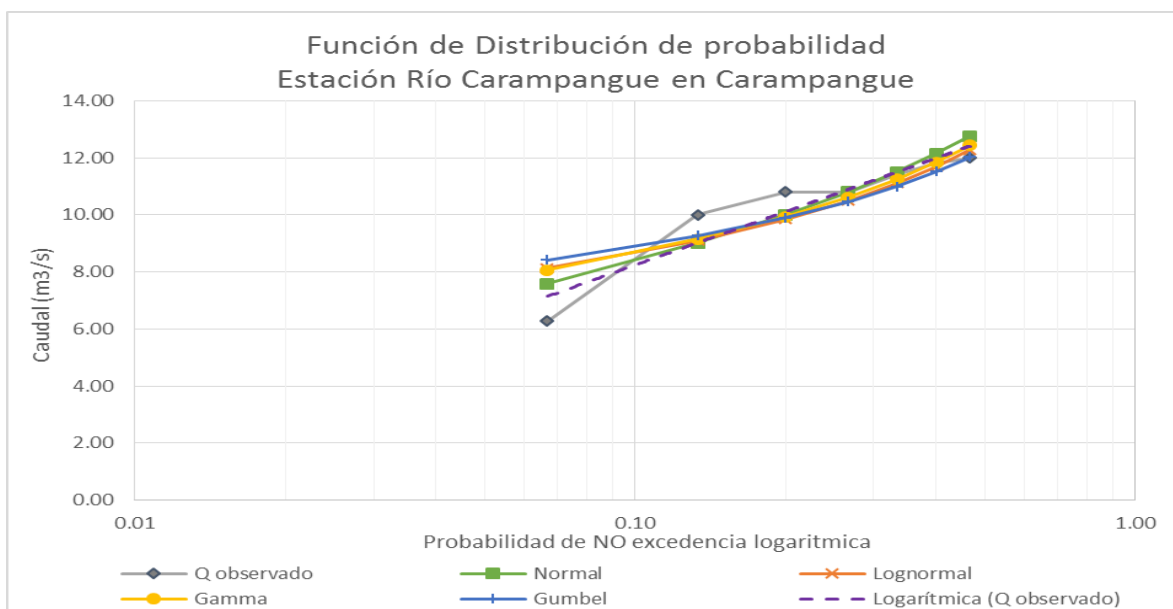


Figura B.2: Ajuste visual de distribución de probabilidades estación 3. Río Carampangue en Carampangue (Fuente: Elaboración propia)

Tabla B.1: Ajuste analítico de distribución de probabilidades estación 1. Río Andalién camino a Penco (Fuente: Elaboración propia)

Análisis de Frecuencia Estación 1. Río Andalién Camino a Penco									
Qmin (m3/s)	Qmin Crec. (m3/s)	LOG(Qmin) (m3/s)	Nº de orden	P.no. EXC. P	P.EXC. 1-P	Distribución			
						Normal	Lognormal	Gamma	Gumbel
1.8	0.38	-0.98	1	0.019	0.981	-0.63	0.35	0.19	-0.05
0.76	0.38	-0.96	2	0.038	0.962	-0.31	0.42	0.27	0.11
0.6	0.40	-0.92	3	0.057	0.943	-0.11	0.48	0.33	0.22
1.09	0.41	-0.89	4	0.075	0.925	0.05	0.53	0.38	0.30
0.59	0.43	-0.85	5	0.094	0.906	0.17	0.57	0.43	0.38
1.23	0.55	-0.59	6	0.113	0.887	0.28	0.61	0.48	0.44
0.41	0.59	-0.53	7	0.132	0.868	0.38	0.64	0.53	0.50
0.40	0.59	-0.52	8	0.151	0.849	0.47	0.68	0.57	0.56
0.87	0.6	-0.51	9	0.170	0.830	0.55	0.71	0.61	0.61
3.43	0.67	-0.40	10	0.189	0.811	0.63	0.74	0.65	0.66
1.70	0.76	-0.27	11	0.208	0.792	0.70	0.77	0.69	0.71
2.47	0.87	-0.14	12	0.226	0.774	0.77	0.81	0.73	0.76
1.75	0.99	-0.01	13	0.245	0.755	0.83	0.84	0.77	0.80
1.93	1.01	0.01	14	0.264	0.736	0.89	0.87	0.81	0.85
1.33	1.06	0.06	15	0.283	0.717	0.95	0.90	0.85	0.89
1.32	1.07	0.07	16	0.302	0.698	1.01	0.93	0.89	0.94
1.35	1.09	0.09	17	0.321	0.679	1.07	0.96	0.93	0.98
1.15	1.09	0.09	18	0.340	0.660	1.12	1.00	0.97	1.02
2.32	1.13	0.12	19	0.358	0.642	1.18	1.03	1.01	1.06
1.06	1.15	0.14	20	0.377	0.623	1.23	1.06	1.05	1.11
1.09	1.18	0.17	21	0.396	0.604	1.28	1.09	1.09	1.15
2.15	1.20	0.18	22	0.415	0.585	1.33	1.13	1.13	1.19
1.20	1.23	0.21	23	0.434	0.566	1.38	1.16	1.17	1.23
1.42	1.31	0.27	24	0.453	0.547	1.43	1.20	1.22	1.28
1.79	1.32	0.28	25	0.472	0.528	1.48	1.23	1.26	1.32
1.34	1.33	0.29	26	0.491	0.509	1.53	1.27	1.30	1.36
1.01	1.34	0.29	27	0.509	0.491	1.58	1.31	1.35	1.41
1.07	1.35	0.30	28	0.528	0.472	1.63	1.35	1.39	1.45
1.31	1.36	0.31	29	0.547	0.453	1.68	1.39	1.44	1.50
1.84	1.42	0.35	30	0.566	0.434	1.73	1.43	1.49	1.55
1.13	1.44	0.36	31	0.585	0.415	1.78	1.48	1.54	1.60
1.44	1.59	0.46	32	0.604	0.396	1.84	1.52	1.59	1.65
0.55	1.65	0.50	33	0.623	0.377	1.89	1.57	1.65	1.70

Análisis de Frecuencia Estación 1. Río Andalién Camino a Penco									
Qmin (m3/s)	Qmin Crec. (m3/s)	LOG(Qmin) (m3/s)	Nº de orden	P.no. EXC. P	P.EXC. 1-P	Distribución			
						Normal	Lognormal	Gamma	Gumbel
0.38	1.70	0.53	34	0.642	0.358	1.94	1.62	1.70	1.75
0.38	1.73	0.55	35	0.660	0.340	1.99	1.67	1.76	1.81
0.43	1.75	0.56	36	0.679	0.321	2.05	1.73	1.82	1.87
5.35	1.79	0.58	37	0.698	0.302	2.11	1.79	1.89	1.93
2.15	1.79	0.58	38	0.717	0.283	2.16	1.85	1.95	1.99
5.62	1.8	0.59	39	0.736	0.264	2.22	1.92	2.02	2.06
3.01	1.84	0.61	40	0.755	0.245	2.29	1.99	2.10	2.13
2.06	1.93	0.66	41	0.774	0.226	2.35	2.07	2.18	2.20
2.68	2.06	0.72	42	0.792	0.208	2.42	2.15	2.27	2.28
1.73	2.15	0.77	43	0.811	0.189	2.49	2.24	2.36	2.37
1.18	2.15	0.77	44	0.830	0.170	2.56	2.35	2.46	2.47
0.99	2.32	0.84	45	0.849	0.151	2.65	2.46	2.58	2.57
2.55	2.47	0.90	46	0.868	0.132	2.74	2.60	2.70	2.69
1.59	2.55	0.94	47	0.887	0.113	2.83	2.75	2.85	2.83
1.36	2.68	0.99	48	0.906	0.094	2.94	2.94	3.02	2.99
1.65	3.01	1.10	49	0.925	0.075	3.07	3.17	3.22	3.18
1.79	3.43	1.23	50	0.943	0.057	3.23	3.48	3.48	3.42
0.59	5.35	1.68	51	0.962	0.038	3.43	3.93	3.83	3.77
0.67	5.62	1.73	52	0.981	0.019	3.75	4.74	4.43	4.34
Promedio	1.56	0.26		R2		0.793	0.949	0.917	0.904
Desv. Est.	1.05	0.63		Coef. de correl.		0.891	0.974	0.957	0.951

Tabla B.2: Ajuste analítico de distribución de probabilidades estación 2. Río Laraquete en Cajón (Fuente: Elaboración propia)

Análisis de Frecuencia Estación 2. Río Laraquete en Cajón									
Qmin (m3/s)	Qmin Crec. (m3/s)	LOG(Qmin) (m3/s)	Nº de orden	P.no. EXC. P	P.EXC. 1-P	Distribución			
						Normal	Lognormal	Gamma	Gumbel
0.04	0.04	-3.12	1	0.083	0.917	-0.03	0.05	0.05	0.02
0.46	0.06	-2.81	2	0.167	0.833	0.06	0.08	0.08	0.07
0.11	0.06	-2.80	3	0.250	0.750	0.12	0.10	0.11	0.11
0.06	0.11	-2.21	4	0.333	0.667	0.17	0.12	0.14	0.15
0.32	0.17	-1.77	5	0.417	0.583	0.22	0.15	0.17	0.19
0.24	0.24	-1.43	6	0.500	0.500	0.26	0.18	0.21	0.23
0.73	0.30	-1.20	7	0.583	0.417	0.30	0.22	0.25	0.27
0.06	0.32	-1.14	8	0.667	0.333	0.35	0.28	0.30	0.31
0.30	0.37	-1.00	9	0.750	0.250	0.40	0.35	0.36	0.37
0.17	0.46	-0.78	10	0.833	0.167	0.46	0.45	0.44	0.44
0.37	0.73	-0.31	11	0.917	0.083	0.55	0.67	0.57	0.56
Promedio	0.26	-1.69		R2		0.897	0.978	0.977	0.959
Desv. Est.	0.21	0.93		Coef. de correl.		0.947	0.989	0.988	0.979

Tabla B.3: Ajuste analítico de distribución de probabilidades estación 3. Río Carampangue en Carampangue (Fuente: Elaboración propia)

Análisis de Frecuencia Estación 3. Río Carampangue en Carampangue									
Qmin (m3/s)	Qmin Crec. (m3/s)	LOG(Qmin) (m3/s)	Nº de orden	P.no. EXC. P	P.EXC. 1-P	Distribución			
						Normal	Lognormal	Gamma	Gumbel
21.00	6.27	1.84	1	0.067	0.933	7.59	8.12	8.07	8.43
11.80	10.00	2.30	2	0.133	0.867	9.01	9.10	9.14	9.27
12.00	10.80	2.38	3	0.200	0.800	9.99	9.84	9.94	9.91
10.80	10.80	2.38	4	0.267	0.733	10.79	10.49	10.62	10.47
10.80	11.40	2.43	5	0.333	0.667	11.49	11.10	11.24	10.99
12.00	11.80	2.47	6	0.400	0.600	12.14	11.69	11.84	11.51
10.00	12.00	2.48	7	0.467	0.533	12.76	12.28	12.43	12.04
14.40	12.00	2.48	8	0.533	0.467	13.37	12.89	13.03	12.58
11.40	13.60	2.61	9	0.600	0.400	13.99	13.55	13.66	13.17
13.60	14.40	2.67	10	0.667	0.333	14.64	14.26	14.34	13.83
17.20	14.60	2.68	11	0.733	0.267	15.34	15.09	15.10	14.59
17.10	17.10	2.84	12	0.800	0.200	16.14	16.08	16.00	15.53
14.60	17.20	2.84	13	0.867	0.133	17.12	17.39	17.15	16.80
6.27	21.00	3.04	14	0.933	0.067	18.54	19.49	18.91	18.87
Promedio	13.07	2.53		R2		0.932	0.951	0.946	0.953
Desv. Est.	3.65	0.29		Coef. de correl.		0.965	0.975	0.973	0.976

Tabla B.4: Ajuste analítico de distribución de probabilidades estación 4. Río Cayucupil en Cayucupil (Fuente: Elaboración propia)

Análisis de Frecuencia Estación 4. Río Cayucupil en Cayucupil									
Qmin (m3/s)	Qmin Crec. (m3/s)	LOG(Qmin) (m3/s)	Nº de orden	P.no. EXC. P	P.EXC. 1-P	Distribución			
						Normal	Lognormal	Gamma	Gumbel
2.85	0.44	-0.81	1	0.032	0.968	0.36	0.64	0.71	0.75
2.47	0.45	-0.81	2	0.065	0.935	0.66	0.77	0.86	0.91
2.30	0.68	-0.39	3	0.097	0.903	0.85	0.86	0.98	1.02
2.72	0.73	-0.32	4	0.129	0.871	1.00	0.95	1.07	1.11
2.36	1.09	0.09	5	0.161	0.839	1.13	1.03	1.16	1.19
3.95	1.35	0.30	6	0.194	0.806	1.24	1.10	1.24	1.27
3.39	1.47	0.39	7	0.226	0.774	1.34	1.17	1.31	1.34
3.96	1.52	0.42	8	0.258	0.742	1.44	1.24	1.38	1.40
3.03	1.61	0.48	9	0.290	0.710	1.52	1.31	1.45	1.47
1.61	1.62	0.48	10	0.323	0.677	1.61	1.38	1.52	1.53
2.03	1.64	0.49	11	0.355	0.645	1.69	1.45	1.59	1.59
0.73	1.74	0.55	12	0.387	0.613	1.76	1.52	1.65	1.65
0.44	1.76	0.57	13	0.419	0.581	1.84	1.59	1.72	1.71
2.40	1.91	0.65	14	0.452	0.548	1.91	1.67	1.79	1.78
2.04	2.03	0.71	15	0.484	0.516	1.98	1.74	1.85	1.84
0.68	2.04	0.71	16	0.516	0.484	2.06	1.83	1.92	1.91
1.35	2.04	0.71	17	0.548	0.452	2.13	1.91	2.00	1.97
0.45	2.14	0.76	18	0.581	0.419	2.20	2.00	2.07	2.04
2.45	2.30	0.83	19	0.613	0.387	2.28	2.09	2.15	2.12
2.14	2.36	0.86	20	0.645	0.355	2.35	2.20	2.23	2.19
1.74	2.40	0.88	21	0.677	0.323	2.43	2.31	2.31	2.28
1.64	2.45	0.90	22	0.710	0.290	2.52	2.43	2.41	2.37
1.62	2.47	0.90	23	0.742	0.258	2.60	2.56	2.51	2.46
1.91	2.47	0.90	24	0.774	0.226	2.70	2.71	2.62	2.57
1.47	2.72	1.00	25	0.806	0.194	2.80	2.89	2.74	2.69
1.09	2.85	1.05	26	0.839	0.161	2.91	3.10	2.88	2.83
2.04	3.03	1.11	27	0.871	0.129	3.04	3.35	3.04	3.00
1.76	3.39	1.22	28	0.903	0.097	3.19	3.68	3.25	3.22
1.52	3.95	1.37	29	0.935	0.065	3.38	4.16	3.52	3.51
2.47	3.96	1.38	30	0.968	0.032	3.68	5.00	3.97	4.01
Promedio	2.02	0.58		R2		0.973	0.935	0.969	0.965
Desv. Est.	0.90	0.56		Coef. de correl.		0.986	0.967	0.984	0.983

Tabla B.5: Ajuste analítico de distribución de probabilidades estación 5. Río Butamalal en Butamalal (Fuente: Elaboración propia)

Análisis de Frecuencia Estación 5. Río Butamalal en Butamalal									
Qmin (m3/s)	Qmin Crec. (m3/s)	LOG(Qmin) (m3/s)	Nº de orden	P.no. EXC. P	P.EXC. 1-P	Distribución			
						Normal	Lognormal	Gamma	Gumbel
3.30	0.20	-1.62	1	0.017	0.983	-0.10	0.30	0.25	0.23
2.09	0.30	-1.20	2	0.033	0.967	0.07	0.35	0.32	0.31
1.07	0.34	-1.09	3	0.050	0.950	0.17	0.38	0.36	0.37
1.23	0.39	-0.95	4	0.067	0.933	0.25	0.41	0.40	0.41
1.47	0.40	-0.93	5	0.083	0.917	0.32	0.44	0.44	0.45
1.02	0.43	-0.84	6	0.100	0.900	0.38	0.46	0.47	0.48
1.23	0.44	-0.81	7	0.117	0.883	0.43	0.49	0.50	0.51
0.82	0.45	-0.81	8	0.133	0.867	0.47	0.51	0.52	0.54
0.90	0.45	-0.80	9	0.150	0.850	0.51	0.53	0.55	0.56
1.50	0.48	-0.74	10	0.167	0.833	0.55	0.55	0.57	0.59
1.28	0.51	-0.67	11	0.183	0.817	0.59	0.57	0.60	0.61
0.48	0.52	-0.65	12	0.200	0.800	0.62	0.59	0.62	0.64
0.44	0.59	-0.54	13	0.217	0.783	0.66	0.61	0.64	0.66
0.40	0.59	-0.53	14	0.233	0.767	0.69	0.62	0.66	0.68
2.02	0.66	-0.42	15	0.250	0.750	0.72	0.64	0.68	0.70
0.43	0.72	-0.33	16	0.267	0.733	0.75	0.66	0.71	0.72
0.88	0.77	-0.26	17	0.283	0.717	0.77	0.68	0.73	0.74
0.34	0.82	-0.20	18	0.300	0.700	0.80	0.70	0.75	0.76
0.39	0.85	-0.16	19	0.317	0.683	0.83	0.71	0.77	0.78
0.59	0.87	-0.14	20	0.333	0.667	0.85	0.73	0.79	0.80
1.05	0.88	-0.13	21	0.350	0.650	0.88	0.75	0.81	0.82
1.12	0.88	-0.12	22	0.367	0.633	0.90	0.77	0.83	0.84
0.93	0.90	-0.11	23	0.383	0.617	0.93	0.78	0.85	0.86
0.66	0.93	-0.07	24	0.400	0.600	0.95	0.80	0.87	0.88
0.45	0.95	-0.05	25	0.417	0.583	0.98	0.82	0.89	0.90
0.45	1.02	0.02	26	0.433	0.567	1.00	0.84	0.91	0.92
0.52	1.02	0.02	27	0.450	0.550	1.02	0.86	0.94	0.94
0.30	1.03	0.03	28	0.467	0.533	1.05	0.88	0.96	0.96
0.72	1.05	0.05	29	0.483	0.517	1.07	0.90	0.98	0.98
0.51	1.06	0.06	30	0.500	0.500	1.09	0.92	1.00	1.00
0.20	1.07	0.07	31	0.517	0.483	1.12	0.94	1.02	1.02
1.39	1.09	0.09	32	0.533	0.467	1.14	0.96	1.05	1.04
0.88	1.12	0.11	33	0.550	0.450	1.16	0.98	1.07	1.07

Análisis de Frecuencia Estación 5. Río Butamalal en Butamalal									
Qmin (m3/s)	Qmin Crec. (m3/s)	LOG(Qmin) (m3/s)	Nº de orden	P.no. EXC. P	P.EXC. 1-P	Distribución			
						Normal	Lognormal	Gamma	Gumbel
1.36	1.13	0.12	34	0.567	0.433	1.19	1.00	1.09	1.09
1.31	1.20	0.18	35	0.583	0.417	1.21	1.03	1.12	1.11
1.30	1.23	0.21	36	0.600	0.400	1.24	1.05	1.14	1.14
0.87	1.23	0.21	37	0.617	0.383	1.26	1.08	1.17	1.16
1.09	1.24	0.22	38	0.633	0.367	1.28	1.10	1.19	1.18
0.77	1.25	0.22	39	0.650	0.350	1.31	1.13	1.22	1.21
1.06	1.27	0.24	40	0.667	0.333	1.33	1.16	1.25	1.24
1.03	1.28	0.25	41	0.683	0.317	1.36	1.18	1.28	1.26
1.70	1.30	0.26	42	0.700	0.300	1.39	1.21	1.30	1.29
1.20	1.31	0.27	43	0.717	0.283	1.41	1.25	1.34	1.32
1.02	1.31	0.27	44	0.733	0.267	1.44	1.28	1.37	1.35
1.31	1.36	0.31	45	0.750	0.250	1.47	1.32	1.40	1.38
0.95	1.39	0.33	46	0.767	0.233	1.50	1.35	1.44	1.42
0.59	1.47	0.39	47	0.783	0.217	1.53	1.39	1.48	1.46
1.54	1.50	0.41	48	0.800	0.200	1.56	1.44	1.52	1.50
1.83	1.54	0.43	49	0.817	0.183	1.60	1.49	1.56	1.54
1.65	1.60	0.47	50	0.833	0.167	1.63	1.54	1.60	1.58
2.12	1.60	0.47	51	0.850	0.150	1.67	1.59	1.66	1.63
1.27	1.65	0.50	52	0.867	0.133	1.71	1.66	1.71	1.69
0.85	1.70	0.53	53	0.883	0.117	1.76	1.73	1.77	1.75
1.60	1.83	0.60	54	0.900	0.100	1.81	1.82	1.84	1.82
1.13	1.85	0.62	55	0.917	0.083	1.87	1.92	1.92	1.91
1.25	2.02	0.70	56	0.933	0.067	1.93	2.04	2.02	2.01
1.24	2.09	0.74	57	0.950	0.050	2.01	2.20	2.14	2.14
1.60	2.12	0.75	58	0.967	0.033	2.12	2.44	2.31	2.32
1.85	3.30	1.19	59	0.983	0.017	2.28	2.85	2.59	2.62
Promedio	1.09	-0.08			R2	0.923	0.961	0.962	0.966
Desv. Est.	0.56	0.53			Coef. de correl.	0.960	0.980	0.981	0.983

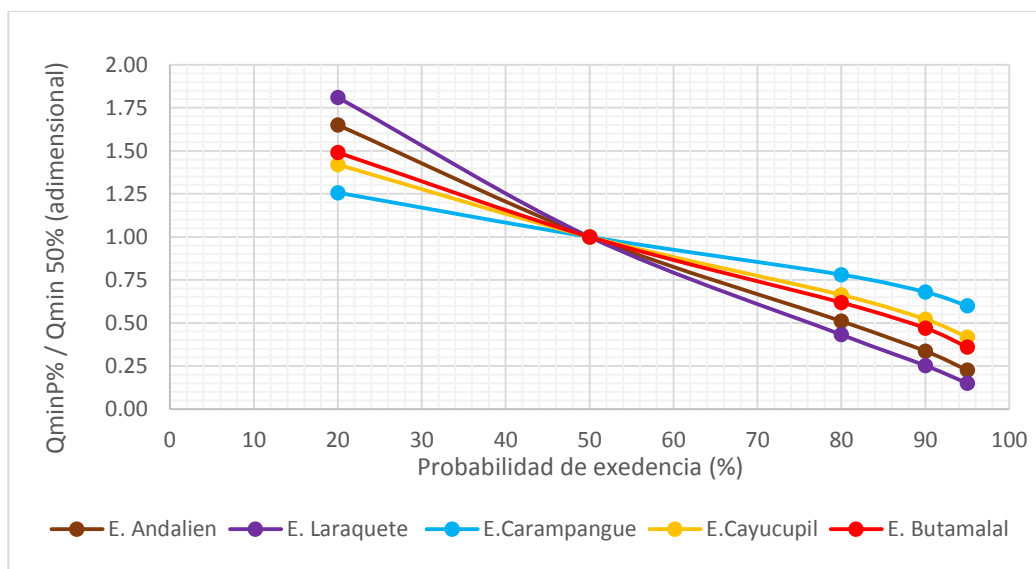


Figura B.3: Curva adimensional diaria $Q_{min}P\%/Q_{min}50\%$ versus probabilidad de excedencia en cuencas costeras analizadas. (Fuente: Elaboración propia)

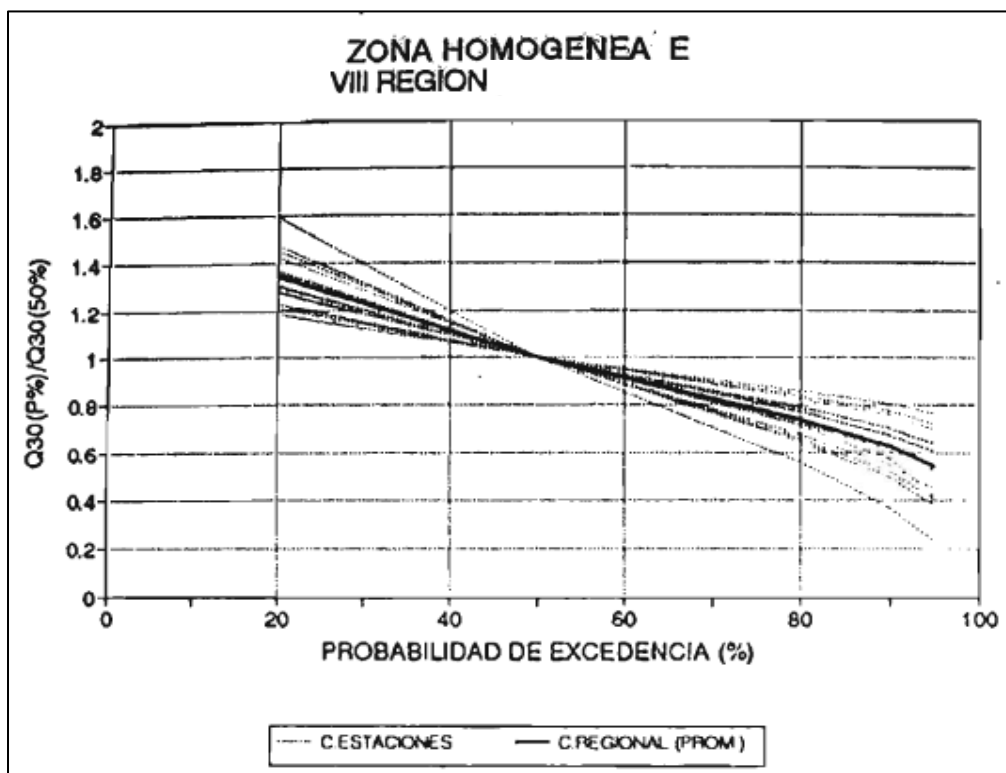


Figura B.4: Curva adimensional $Q_{30}P\%/Q_{30}min50\%$ versus probabilidad de excedencia en cuencas costeras analizadas. (Fuente: DGA,1995_b)

Anexo C: Análisis morfométricos hidrológico de cuencas analizadas

El presente establece una serie de antecedentes referente a la obtención de parámetros morfométricos de cada cuenca y su relación con datos de precipitación media anual, área con plantación de tipo nativa, entre otros.

Tabla C.1: Precipitación media anual según registro de estaciones pluviométricas de la zona costera de la región del Biobío. (Fuente: elaboración propia)

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (PMA)			
Estación Meteorológica	Código BNA	Periodo	PMA [mm]
Contulmo	8822008-0	1987-2015	1394
Parque Nahuelbuta	8358005-4	2002-2015	1519
Cañete	8821005-0	1965-2015	1243
Carampangue	8532000-3	2001-2015	1211
Curanilahue	8700001-K	1997-2015	1830
Laja	8367001-0	1962-2015	1005
Concepción DGA	8410001-3	1996-2015	1169
Andalién	8220006-1	2000-2015	1180
Las Pataguas	8220005-3	1992-2015	948
Rafael	8140001-6	1993-2015	1321
Cancha los Litres	8135004-3	1993-2015	880
Dichato	8210002-4	1981-2015	966
General Cruz	8124003-5	1962-1973	1010

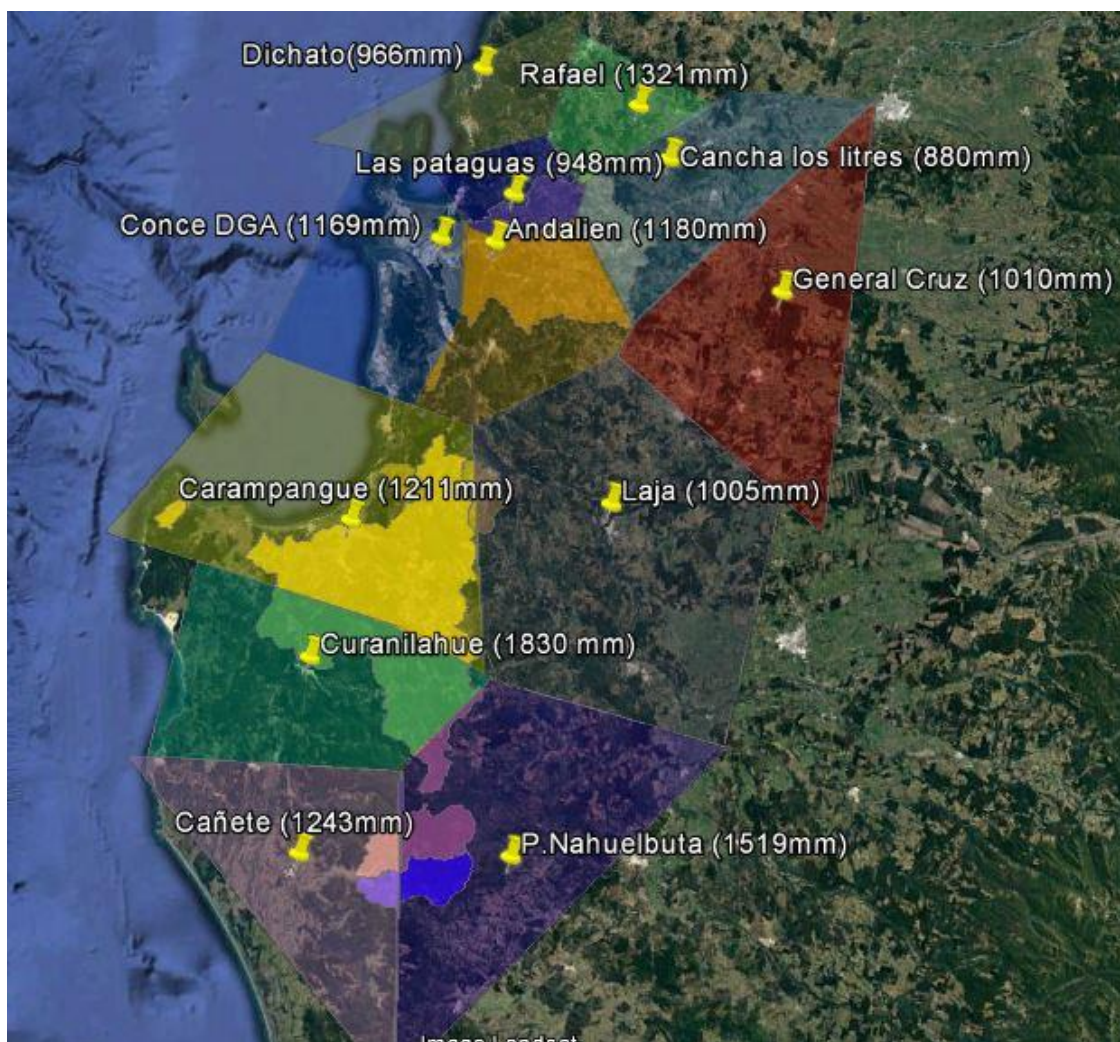


Figura C.1: Distribución de precipitación media anual de estaciones meteorológicas de interés, metodología de Thiessen. (Fuente: elaboración propia - Imagen satelital)

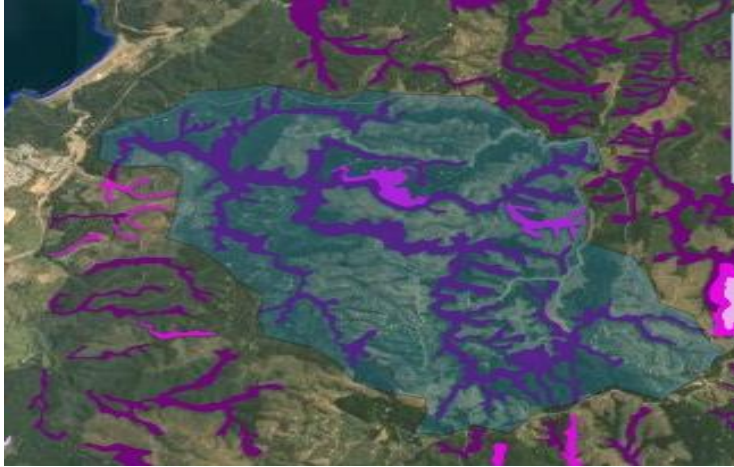


Figura C.2: Plantación de área nativa en cuenca de estación hidrométrica 1. Río Andalién Camino a Penco. (Fuente: Imagen satelital, Sistema de información territorial, Conaf).

Simbología	
	Adulto Denso
	Adulto Semidenso
	Adulto Abierto
	Renoval Denso
	Renoval Semidenso
	Renoval Abierto
	Adulto Renoval Denso
	Adulto Renoval Semidenso
	Adulto Renoval Abierto
	Achaparrado Denso
	Achaparrado Semidenso

Figura C.3: Simbología de diversidad nativa presente en Chile. (Fuente: Imagen satelital, Sistema de información territorial, Conaf).

a) Río Laraquete en el Cajón



b) Río Carampangue en Carampangue



c) Río Cayucupil en Cayucupil



d) Río Butamalal en Butamalal

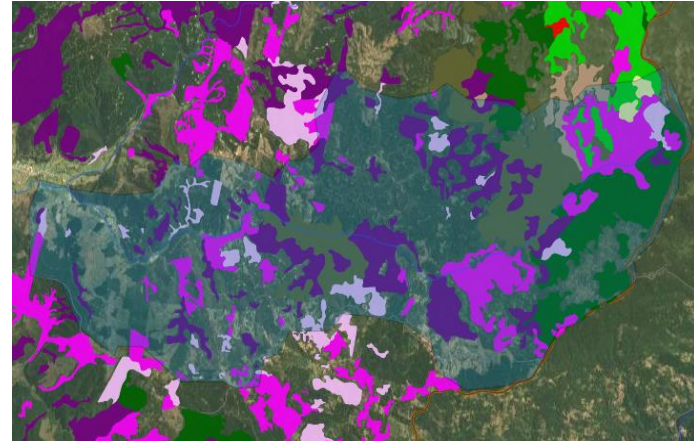


Figura C.4: Plantación de área nativa en cuenca de la estación hidrométrica respectiva. (Fuente: Imagen satelital, Sistema de información territorial, CONAF)

Anexo D: Procesamiento de Información

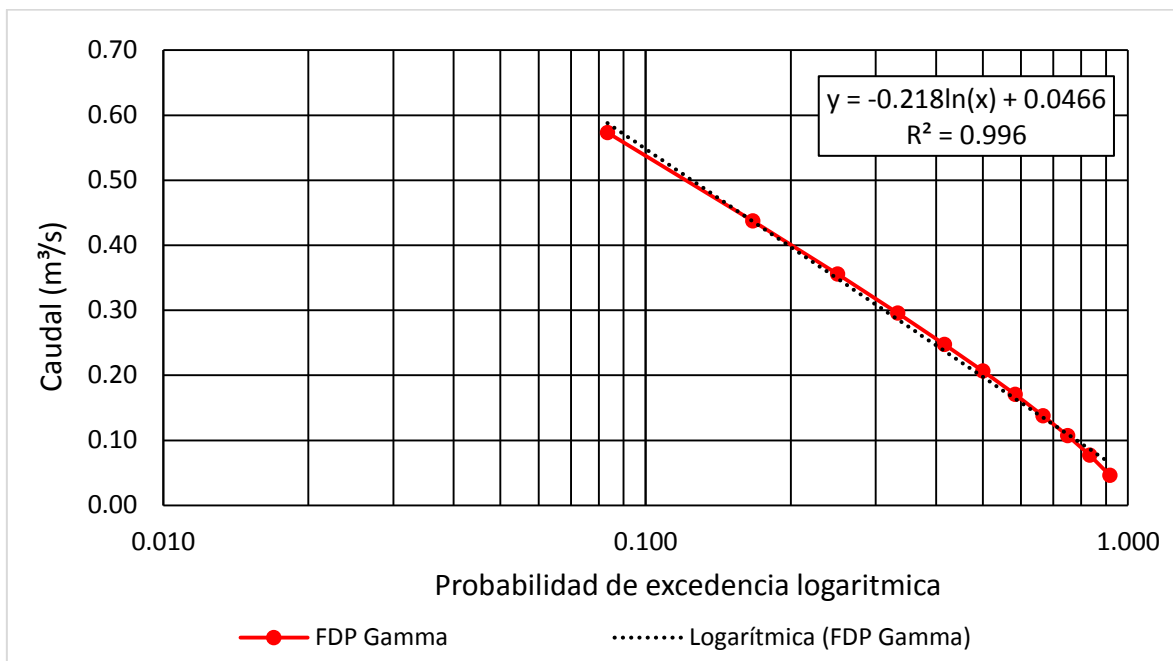


Figura D.1: Curva de duración de caudales mínimos anuales estación Río Laraquete en el Cajón. (Fuente: elaboración propia)

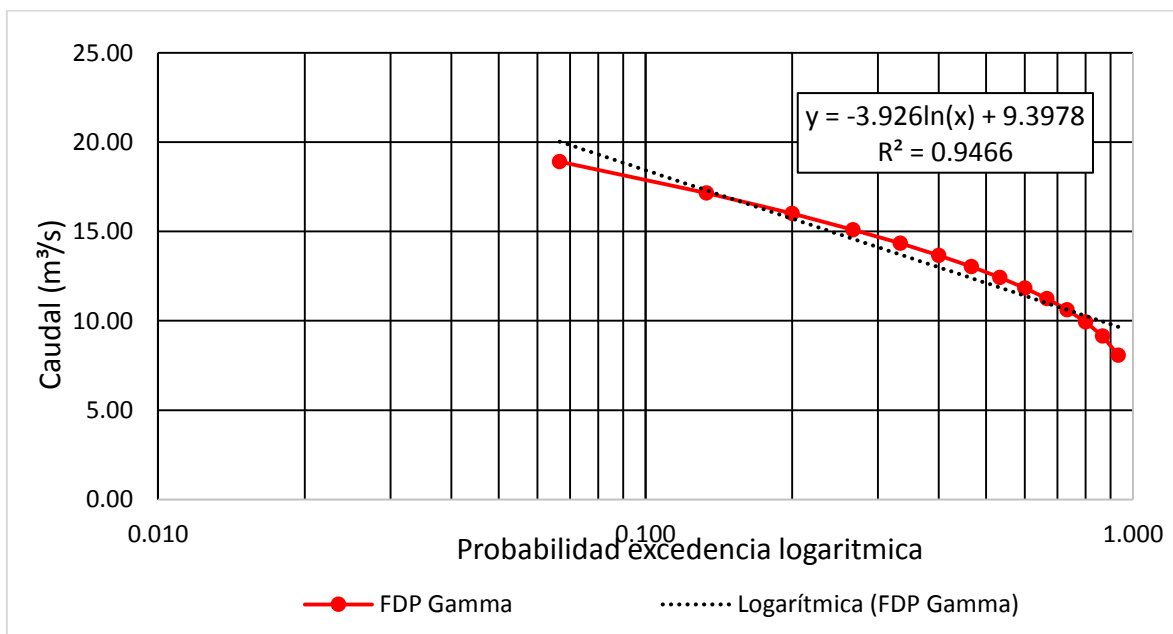


Figura D.2: Curva de duración de caudales mínimos anuales estación Río Carampangue en Carampangue. (Fuente: elaboración propia)

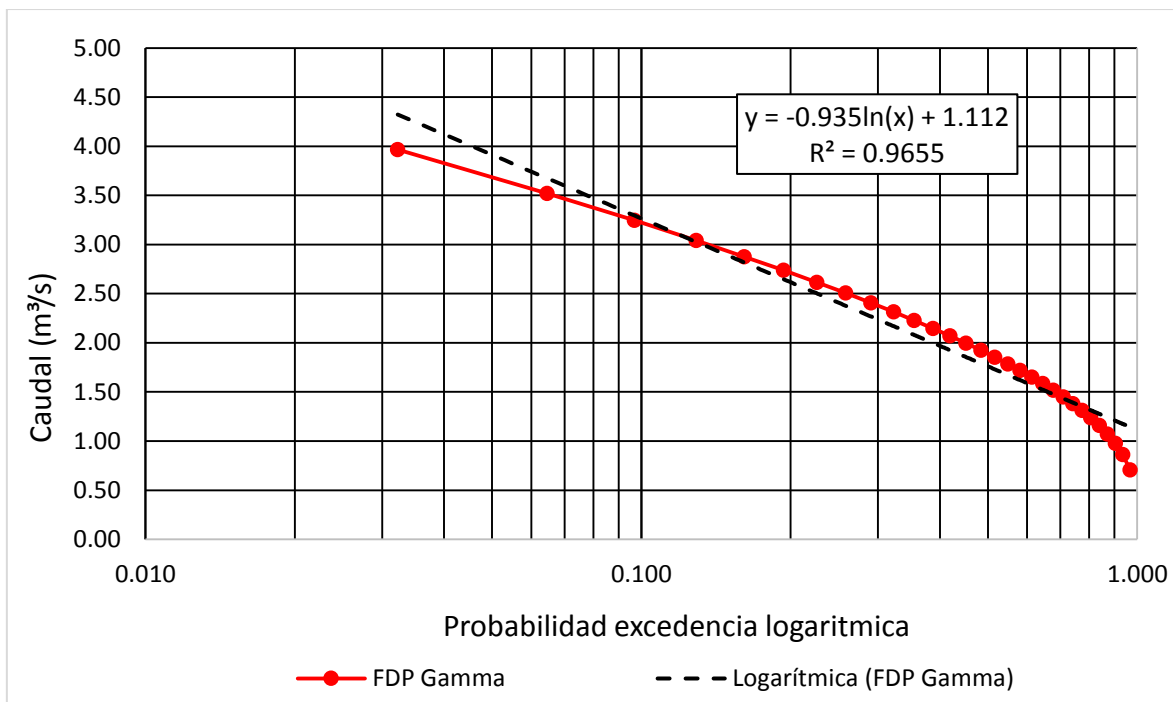


Figura D.3: Curva de duración de caudales mínimos anuales estación Río Cayucupil en Cayucupil. (Fuente: elaboración propia)

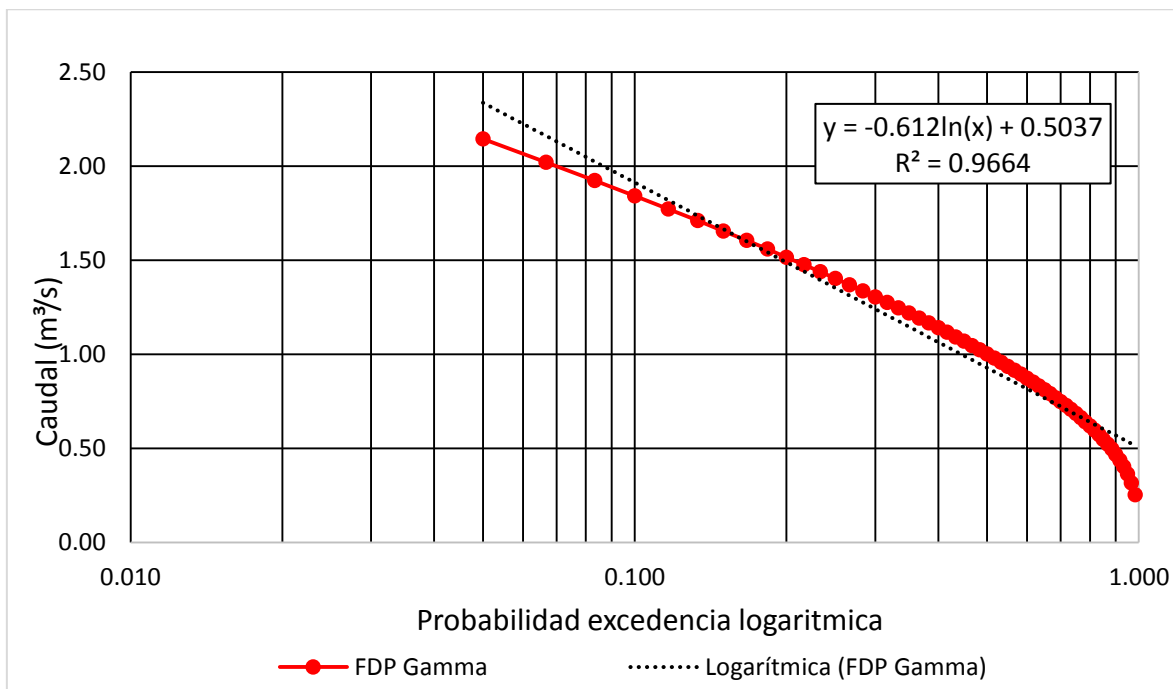


Figura D.4: Curva de duración de caudales mínimos anuales estación Río Butamalal en Butamalal. (Fuente: elaboración propia)

Anexo E: Procesamiento de Información Experimental

El presente anexo proporciona la información de relevancia para la elaboración del trabajo experimental de medición de caudales de los esteros Llico, Huedilhue y el Manzano; indicando los alcances respectivos asociados a la medición de caudales en terreno y el trabajo de gabinete.

Instrumentación utilizada:



Figura D.1: Instrumental de medición de velocidad de escurrimiento, caudalímetro de molinete modelo FP211. (Fuente: Global Water)



Figura D.2: Verificación de factor de calibración, caudalímetro de molinete modelo FP211. (Fuente: elaboración propia)

WATER

Certification of Quality

This product has been tested in accordance with procedures established through Global Water Instrumentation's Quality Management System. This product meets or exceeds its manufacturing acceptance criteria.

ITEM DESCRIPTION:	Flow Probe 5.5'-15'
MODEL NAME/ NUMBER:	FP211
PART NUMBER:	BB1100
SENSOR RANGE:	0.3-19.9 FPS (0.1-6.1 MPS)
SENSOR OUTPUT:	FTS/MPS Flow Display
ACCURACY:	±0.1 FPS
POWER REQUIRED:	Internal Lithium Battery
SERIAL NUMBER:	1318002624
CABLE LENGTH:	N/A
CERTIFICATES:	CE Compliant

Calibration Factor = 308

Technician: *Rocendo, William* **Date:** 5/2/2013

NOT Global Water Instrumentation warrants that its products are free from defects in material & workmanship under normal use & service for a period of one year from date of original shipment from factory. Repaired components are warranted for a period of 90 days from shipment. Contact us for complete warranty details.



Global Water
a xylem brand

In the U.S. call toll free at 1-800-879-1177
International: 1-979-690-5560
Fax: 1-979-690-0442
Email: gkibeh@globaw.com

Visit our online catalog at: www.globaw.com
Our Service Address: 151 Graham Rd
College Station, TX 77845

Figura D.3: Certificado de calibración de instrumental utilizado. (Fuente: fabricante Global Water)



Figura D.4: Registro fotográfico de medición en terreno estero Llico en Arauco. (Fuente: elaboración propia)



Figura D.5: Registro fotográfico de medición en terreno estero Huedilhue en Santa Juana.
(Fuente: elaboración propia)



Figura D.6: Registro fotográfico de medición en terreno estero El manzano en Coronel.
(Fuente: elaboración propia)

Trabajo de gabinete:

Tabla D.1: Registro de velocidades registradas y resultados de caudal mínimo medido en estero Llico, Arauco (Fuente: elaboración propia)

Medición /Profundidad	Velocidad registrada			Vel. media sub-división	Ancho sub-división	área sub-división	Caudal sub-división
	Mínima	Máxima	Media				
M/H	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m2)	(m3/s)
1 (10cm)	0	0	0.000	0.000	0.3	0.06	0.000
2 (10 cm)	0.06	0.12	0.092	0.088	0.3	0.12	0.011
2 (15 cm)	0.06	0.12	0.083				
3 (10 cm)	0.06	0.12	0.085	0.085	0.3	0.11	0.009
3 (15 cm)	0.06	0.12	0.086				
4 (10 cm)	0.06	0.12	0.094	0.086	0.3	0.10	0.008
4 (15 cm)	0.06	0.12	0.078				
5 (10 cm)	0.06	0.12	0.095	0.091	0.3	0.08	0.007
5 (15 cm)	0.06	0.12	0.088				
6 (10 cm)	0.06	0.12	0.078	0.069	0.3	0.07	0.005
6 (15 cm)	0.00	0.12	0.059				
7 (10 cm)	0.00	0.06	0.011	0.013	0.3	0.06	0.001
7 (15 cm)	0.00	0.06	0.016				
8 (10 cm)	0.00	0.06	0.022	0.022	0.3	0.04	0.001
9 (5 cm)	0.00	0.06	0.005	0.005	0.3	0.03	0.000
10 (2 cm)	0.00	0.06	0.001	0.001	0.3	0.01	0.000
Caudal Total							0.042

Figura D.7: Sección transversal de medición experimental Estero Llico. Vista desde aguas abajo. (Fuente: elaboración propia)

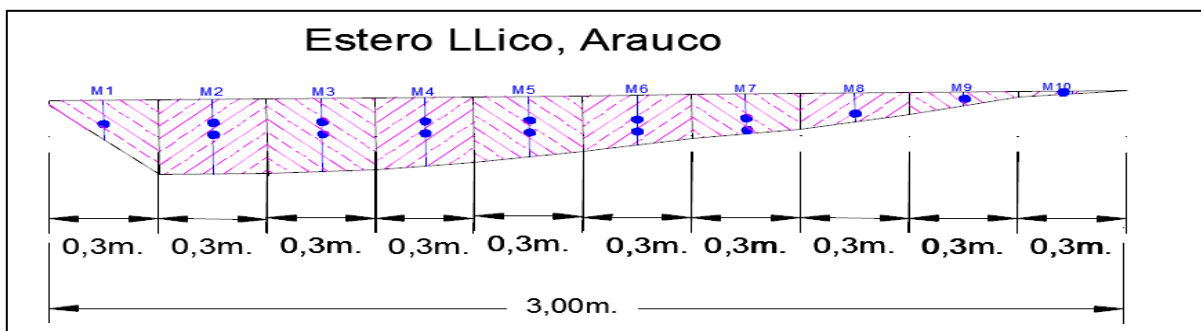


Tabla D.2: Registro velocidades registradas y resultados de caudal mínimo medido en estero Huedilhue, Santa Juana (Fuente: elaboración propia)

Medición /Profundidad	Velocidad registrada			Vel. media sub-división	Ancho sub-división	área sub-división	Caudal sub-división
	Mínima	Máxima	Media				
M/H	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m2)	(m3/s)
1 (5cm)	0.00	0.00	0.00	0.000	0.4	0.03	0.0000
2 (10 cm)	0.00	0.06	0.00	0.005	0.4	0.06	0.0003
3 (10 cm)	0.12	0.30	0.19	0.184	0.4	0.08	0.0140
3 (15 cm)	0.12	0.30	0.18				
4 (10 cm)	0.30	0.55	0.42	0.459	0.4	0.09	0.0390
4 (15 cm)	0.43	0.58	0.50				
5 (10 cm)	0.30	0.55	0.46	0.428	0.4	0.09	0.0385
5 (15 cm)	0.30	0.55	0.39				
6 (10 cm)	0.37	0.58	0.51	0.533	0.4	0.09	0.0501
6 (15 cm)	0.49	0.64	0.56				
7 (10 cm)	0.49	0.64	0.57	0.562	0.4	0.10	0.0551
7 (15 cm)	0.49	0.64	0.56				
8 (10 cm)	0.49	0.64	0.58	0.583	0.4	0.10	0.0600
8 (15 cm)	0.55	0.70	0.59				
9 (10 cm)	0.55	0.64	0.59	0.546	0.4	0.11	0.0585
9 (15 cm)	0.43	0.58	0.50				
10 (10 cm)	0.24	0.49	0.35	0.415	0.4	0.11	0.0436
10 (15 cm)	0.24	4.88	0.48				
11 (10 cm)	0.00	0.18	0.07	0.071	0.4	0.09	0.0064
11 (15 cm)	0.00	0.18	0.07				
12 (5 cm)	0.00	0.06	0.01	0.006	0.4	0.04	0.0002
Caudal Total							0.365

Figura D.8: Sección transversal de medición experimental Estero Huedilhue. Vista desde aguas abajo. (Fuente: elaboración propia)

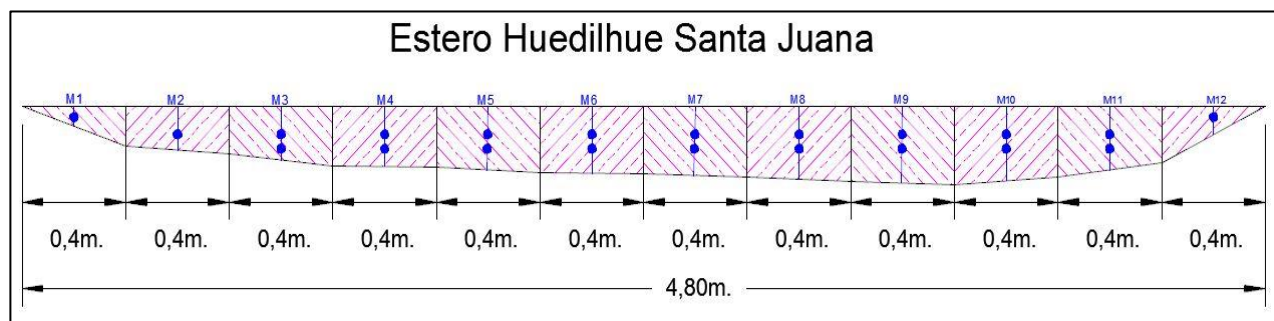
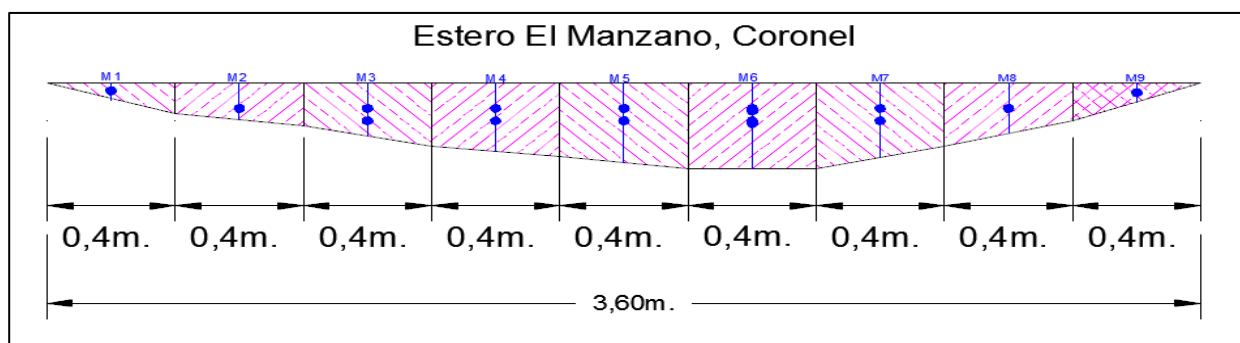


Tabla D.3: Registro velocidades registradas y resultados de caudal mínimo medido en estero El Manzano, Coronel (Fuente: elaboración propia)

Medición /Profundidad	Velocidad registrada			Vel. media sub-división	Ancho sub-división	área sub-división	Caudal sub-división
	Mínima	Máxima	Media				
M/H	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m2)	(m3/s)
1 (5cm)	0.00	0.00	0.000	0.000	0.4	0.03	0.000
2 (10 cm)	0.00	0.06	0.008	0.008	0.4	0.072	0.001
3 (10 cm)	0.12	0.18	0.158	0.147	0.4	0.09	0.014
3 (15 cm)	0.06	0.18	0.136				
4 (10 cm)	0.18	0.24	0.212	0.202	0.4	0.11	0.023
4 (15 cm)	0.12	0.24	0.192				
5 (10 cm)	0.18	0.30	0.233	0.225	0.4	0.12	0.028
5 (15 cm)	0.18	0.24	0.216				
6 (10 cm)	0.12	0.18	0.163	0.146	0.4	0.13	0.019
6 (15 cm)	0.06	0.18	0.130				
7 (10 cm)	0.00	0.06	0.003	0.003	0.4	0.09	0.000
8 (10 cm)	0.00	0.00	0.000	0.000	0.4	0.03	0.000
1 (5cm)	0.00	0.00	0.000	0.000	0.4	0.03	0.000
2 (10 cm)	0.00	0.06	0.008	0.008	0.4	0.072	0.001
Caudal Total							0.084

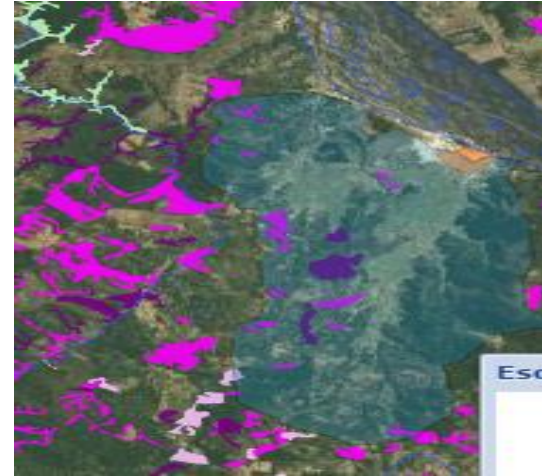
Figura D.9. Sección transversal de medición experimental Estero El Manzano. Vista desde aguas abajo. (Fuente: elaboración propia)



a) Estero Llico, comuna de Arauco.



b) Estero Huedilhue, comuna de Santa Juana



c) Estero El Manzano, comuna de coronel

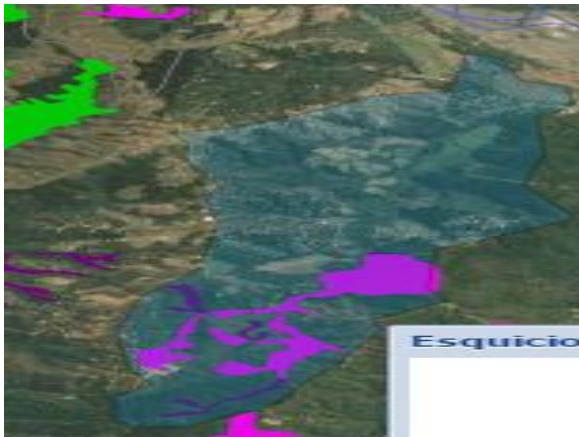


Figura D.10: Plantación de área nativa en cuenca de los cauces medidos en terreno. (Fuente: Imagen satelital, Sistema de información territorial, CONAF.

