



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**REGÍMENES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO EN SUSPENSIÓN EN LA  
CUENCA DEL RÍO ITATA (REGIÓN DE ÑUBLE): EVALUACIÓN DE  
FUENTES Y ESTACIONALIDAD DE MOVILIZACIÓN A ESCALA  
DECADAL.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

**VICENTE MÉNDEZ FREIRE**

PROFESORA GUÍA:  
TANIA VILLASEÑOR JORQUERA

PROFESORA CO-GUÍA:  
ALIDA PÉREZ FODICH

COMISIÓN:  
CLAUDIA MELLADO TIGRE

Proyecto financiado por el programa PAI de ANID, folio 77190019.  
“Procesos de erosión y transporte de sedimentos en la Cordillera de los Andes  
en un contexto de cambio climático y acción antrópica”

SANTIAGO DE CHILE  
2021

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE GEÓLOGO  
POR: VICENTE MÉNDEZ FREIRE  
FECHA: 08/07/2021  
PROF. GUÍA: TANIA VILLASEÑOR JORQUERA

## **REGÍMENES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO EN SUSPENSIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ITATA (REGIÓN DE ÑUBLE): EVALUACIÓN DE FUENTES Y ESTACIONALIDAD DE MOVILIZACIÓN A ESCALA DECADAL.**

Los ríos pueden ser visualizados como un sistema integral entre la interacción de condiciones endógenas y factores exógenos. Esta relación será la responsable del comportamiento y generación de una "señal ambiental", denominación que se le atribuye a un cambio en la producción, transporte y depositación del sedimento en un río. Estas señales pueden verse afectadas durante la última década en Chile central (33°-37°S) producto de la megasequía que se experimenta desde el año 2010, o bien por efectos de la acción antrópica.

El principal objetivo de este estudio es caracterizar los regímenes de transporte de sedimento de la cuenca del río Itata, en la zona de Chile central, durante los últimos 30 años. Sumado a esto, se describirán las variaciones temporales que se evidencian a lo largo del sistema; se calculará el balance sedimentario; se evaluarán los mecanismos responsables de estas variaciones observadas y se analizarán las condiciones de transporte.

Se realizó una caracterización geológica, hidrológica y morfológica de la cuenca y un análisis de modelos digitales de elevación. Se usaron datos del registro histórico de caudal, concentración de sedimentos y precipitaciones de una serie de estaciones distribuidas en la parte alta, media y baja de la cuenca, estaciones de la Dirección General de Aguas. Se verificaron los datos y analizaron las diferentes series temporales para evaluar un posible cambio en el régimen de transporte de sedimentos en el año 2010 producto de la megasequía. Finalmente, se calculó el régimen de transporte de sedimentos para cada estación, se observaron los cambios en los coeficientes de las Curvas de Clasificación durante el periodo de estudio y se estimó un balance sedimentario para la cuenca.

Se pudo ver la relevancia de los diferentes cauces y tributarios en la participación del aporte sedimentario hacia el océano. Se evidenció la relevancia del tributario río Ñuble, el cual aporta más del 75 % de la carga sedimentaria y se cuantificó una disminución de más del 70 % en el aporte total de la cuenca del río Itata al océano. También, se observaron cambios decadales producto de la megasequía y acción antrópica junto a un cambio en la estacionalidad del movimiento de sedimentos, el cual a desplazado el máximo en la movilidad al mes de Agosto, generado por la tardía respuesta de la cuenca a estas precipitaciones. Este nuevo máximo sería controlado por el caudal base del flujo.

Se comprobó que existe una disminución sistemática del caudal y carga de sedimentos en todas las estaciones estudiadas. Las producciones de sedimento por subcuenca han disminuido notablemente en las zonas más afectadas por el cambio de uso de suelos y menos en las estaciones de alta cordillera, dada la baja intervención antropogénica. Por último, se reportó una pérdida en la capacidad de transporte del río y desconexión de los sistemas de enrutamiento sedimentaria por el declive en las escorrentías por las precipitaciones, impidiendo la movilidad del sedimento que se encuentra en las lejanías del cauce principal.



*A la diezmada  
y silente naturaleza.*

# Agradecimientos

Quiero comenzar agradeciendo el lugar en el que he vivido toda mi vida, estar rodeado de plantas, perros, mi familia y en medio de un cerro me brindó la inquietud, la curiosidad y ganas de vivir en y para la naturaleza. Estar inmerso en ella ha sido el mayor regalo que pueda agradecer; el cerro, mi huerta y jardín, el océano, ríos y bosques han sido elementos fundamentales en mi bienestar y desarrollo tanto físico como emocional.

Agradezco a mi familia que siempre motivó mis pasiones y hobbies, mis padres que nunca me privaron de salir a explorar ni limitaron mis locuras e ideas. Mis hermanos, pilares fundamentales en mi desarrollo social, me entregaron la belleza del debate, la interdisciplinariedad y la confianza hermanal. Siempre han estado ahí y nunca han llegado sin una buena cerveza y una buena conversación. Gracias Nico por tu compañía este último año, siendo no solo un hermano sino también, mi mejor amigo y cómplice en la casa.

A mis amigos y amigas del colegio, siempre presentes en cada momento e hito de mi vida, compañeros no solo en la sala sino también compañeros de aventuras, escapadas y anécdotas. La complicidad inigualable que te lleva a confiar ciegamente en ellos, pues nunca me han fallado. Mención honrosa al Toto, quien no dudo ante la propuesta de irnos un mes a la Patagonia sin preparación alguna, una aventura que marco un punto de inflexión en mi vida.

Quiero continuar agradeciendo a toda la gente hermosa que conocí en la universidad. Mis amigos de plan común que fueron los primeros que me sacaron de mi burbuja social, todo el grupo de la cafeta y en especial al Cristian, Carlitos y Gastón, sin ustedes no hubiese logrado pasar plan común en ninguna circunstancia. Mis amigos y amigas de geología, gracias por esas escapadas a la playa/cerro en las cuales pudimos dejarnos llevar con la geología, interpretando a la diestra y siniestra nuestro entorno. Gracias por permitir esas conversaciones y momentos maravillosos tanto en el aula como en los terrenos.

Agradezco a mi profesora guía Tania por estar tan presente en el desarrollo de esta memoria, responder mis correos semana a semana, agendar reuniones incluso cuando lo único que uno quería era alejarse del computador. Gracias por guiarme con la mejor disposición y de la manera más motivante y constructiva. Gracias Claudia y Alida por ser partícipes de mi comisión e involucrarse en este bello proyecto.

Agradecer a la Blanquita por resolver toda y cada una de las dudas que podría tener a nivel administrativo, siendo paciente y siempre con la mejor de las energías pese a que estuviese el caos en el departamento.

A la gente de Aulen, quienes me recibieron en pleno invierno y pandemia, me abrieron sus puertas, compartieron sus mates, me enseñaron de lo realmente importante en la vida he hicieron de aquel invierno, una cálida vida chilota. Gracias de corazón.

Finalmente agradecer a las personas que han aparecido en mi vida, cada quien me deja una enseñanza, motiva mis sueños y anhelos. Soy, en parte, un poquito de cada uno y una.

# Tabla de contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Formulación del estudio . . . . .	1
1.2. Ubicación Zona de Estudio . . . . .	5
1.3. Hipótesis . . . . .	6
1.4. Objetivos . . . . .	6
1.4.1. Objetivo General (OG) . . . . .	6
1.4.2. Objetivos Específicos (OE) . . . . .	6
1.5. Metodología . . . . .	7
1.5.1. Caracterización de la cuenca . . . . .	7
1.5.2. Análisis hidrológico (OE1 y OE3) . . . . .	7
1.5.2.1. Muestreo según manual de la DGA . . . . .	7
1.5.2.2. Descarga de datos y primera revisión . . . . .	9
1.5.2.3. Relleno de base de datos de caudal . . . . .	10
1.5.2.4. Manejo de base de datos de concentración de solidos suspen- didos totales . . . . .	12
1.5.3. Régimen sedimentario de cuenca (OE4) . . . . .	13
1.5.4. Balance Sedimentario (OE2 y OE4) . . . . .	14
<b>2. Antecedentes</b>	<b>15</b>
2.1. Hidrología de la cuenca del río Itata . . . . .	15
2.2. Caracterización climática . . . . .	19
2.3. Cambio Climático y Megasecuía . . . . .	21
2.4. Marco Geológico . . . . .	24
2.4.1. Geomorfología . . . . .	24
2.4.2. Litología . . . . .	26
Rocas Estratificadas . . . . .	26
Rocas Intrusivas . . . . .	27
Depósitos No Consolidados . . . . .	28
Estructuras . . . . .	28
2.5. Uso de Suelos . . . . .	31
2.5.1. Cambios en el uso de suelos . . . . .	31
2.5.2. Clasificación de suelos . . . . .	32
2.6. Erodabilidad . . . . .	34
2.7. Infraestructura . . . . .	36

<b>3. Resultados</b>	<b>37</b>
3.1. Aportes por río kilómetro (rKm) . . . . .	37
3.2. Hidrología por estación . . . . .	40
3.3. Series de tiempo por estación . . . . .	41
3.3.1. Anomalías . . . . .	54
3.4. Flujos sedimentarios en la cuenca del río Itata (1986-2017) . . . . .	57
3.5. Balance Sedimentario . . . . .	60
3.6. Curvas de clasificación . . . . .	64
<b>4. Discusión</b>	<b>73</b>
4.1. Movimiento del sedimento en la cuenca, distribución espacial . . . . .	73
4.1.1. Subcuenca del río Ñuble . . . . .	74
4.1.2. Subcuenca en estación río Itata en Balsa Nueva Aldea . . . . .	74
4.2. 2010, inicio de la Megasequía . . . . .	75
4.3. Estacionalidad de la movilización del sedimento . . . . .	76
4.4. Regímenes de transporte de sedimento . . . . .	79
4.4.1. Estaciones en la Precordillera y Cordillera Andina . . . . .	80
4.4.2. Estaciones en la Depresión Central . . . . .	83
4.4.3. Estaciones en la Cordillera de la Costa . . . . .	85
<b>5. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>88</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>90</b>
5.A. Anexo A: Script . . . . .	96
5.B. Anexo B: Diagrama Unifilar . . . . .	179

# Índice de tablas

1.1.	Integridad datos fluviométricos . . . . .	10
1.2.	Combinaciones Curvas de Clasificación . . . . .	12
2.1.	Porcentaje de participación litológica por subcuencas y cuenca total . . . . .	30
2.2.	Uso de suelos . . . . .	31
2.3.	Clasificación uso de suelos . . . . .	32
2.4.	Porcentaje de participación de los diferentes usos de suelos . . . . .	33
2.5.	Resumen infraestructuras relevantes . . . . .	36
3.1.	Resultados Test ANOVA . . . . .	53
3.2.	Porcentajes de caudal y Qs por mes . . . . .	59
3.3.	Balance sedimentario . . . . .	63
3.4.	Balance sedimentario, ecuaciones y coeficientes . . . . .	72
4.1.	Distribución porcentual de caudal y Qs . . . . .	73
4.2.	Variación porcentual . . . . .	75
4.3.	Diferencia de caudal en Qs . . . . .	79

# Índice de ilustraciones

1.1.	Sistema Sedimentario . . . . .	2
1.2.	Source to Sink . . . . .	3
1.3.	Mapa general de la zona de estudio . . . . .	4
1.4.	Zona de Estudio . . . . .	5
1.5.	Regresión Lineal Ejemplo . . . . .	11
1.6.	CDA Ejemplo . . . . .	12
1.7.	Periodos Curvas de Clasificación . . . . .	13
1.8.	Cuenca tipo . . . . .	14
2.1.	Gráficos caudal y concentración del registro total . . . . .	17
2.2.	Mapa Subcuencas e Hidrología, cuenca del Itata . . . . .	18
2.3.	Mapa estaciones meteorológicas cuenca del Itata . . . . .	19
2.4.	Climograma estación Diguillín y estación Bernardo O'Higgins . . . . .	20
2.5.	Precipitación Modulo Mensual . . . . .	20
2.6.	Megasequía Garreaud (2020) . . . . .	22
2.7.	ENOS . . . . .	23
2.8.	Mapa Geomorfológico . . . . .	24
2.9.	Mapa de elevación . . . . .	25
2.10.	Mapa Geológico . . . . .	29
2.11.	Mapa uso de suelos . . . . .	33
2.12.	Erosión Potencial . . . . .	35
2.13.	Infraestructuras . . . . .	36
3.1.	Área aportante según tributario . . . . .	38
3.2.	Caudal aportante según tributario . . . . .	38
3.3.	Qs aportante según tributario . . . . .	39
3.4.	Gráficos de dispersión . . . . .	40
3.5.	Caudal NSF . . . . .	41
3.6.	SST NSF . . . . .	42
3.7.	Qs NSF . . . . .	43
3.8.	Caudal ICH . . . . .	44
3.9.	SST ICH . . . . .	44
3.10.	Qs ICH . . . . .	45
3.11.	Caudal CCC . . . . .	46
3.12.	SST CCC . . . . .	46
3.13.	Qs CCC . . . . .	47
3.14.	Caudal DEL . . . . .	48
3.15.	SST DEL . . . . .	48
3.16.	Qs DEL . . . . .	49

3.17.	Caudal BNA . . . . .	50
3.18.	SST BNA . . . . .	50
3.19.	Qs BNA . . . . .	51
3.20.	Caudal ICO . . . . .	52
3.21.	SST ICO . . . . .	52
3.22.	Qs ICO . . . . .	53
3.23.	Anomalías de caudal . . . . .	54
3.24.	Anomalías de sst . . . . .	55
3.25.	Anomalías de Qs . . . . .	56
3.26.	Porcentaje de participación por mes . . . . .	58
3.27.	Aporte sedimentario por área . . . . .	60
3.28.	Balance sedimentario tramo BNA . . . . .	61
3.29.	Balance sedimentario tramo ICO . . . . .	62
3.30.	Balance sedimentario cuenca río Itata . . . . .	63
3.31.	Curva de clasificación Estaciones . . . . .	65
3.32.	Ubicación estaciones . . . . .	65
3.33.	Curva de clasificación NSF . . . . .	66
3.34.	Curva de clasificación ICH . . . . .	67
3.35.	Curva de clasificación CCC . . . . .	68
3.36.	Curva de clasificación DEL . . . . .	69
3.37.	Curva de clasificación BNA . . . . .	70
3.38.	Curva de clasificación ICO . . . . .	71
4.1.	Participación mensual . . . . .	76
4.2.	Promedio mensual precipitaciones y temperatura . . . . .	77
4.3.	Estaciones en la Precordillera y Cordillera Andina . . . . .	80
4.4.	Relación entre coeficientes . . . . .	81
4.5.	Estaciones en la Depresión Central . . . . .	83
4.6.	Estaciones en la Cordillera de la Costa . . . . .	85
4.7.	Cercanía a las Vegas del Itata . . . . .	87

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Formulación del estudio

Los ríos pueden visualizarse como el dominio de la interfaz entre litosfera y atmósfera (Castelltort y Van Den Driessche, 2003). Estos son definidos por sus condiciones endógenas, tales como, el tamaño de la cuenca, topografía (pendientes y dirección del flujo), forma, orientación, geología, tributarios, uso de suelos y carga de material (Ward y Trimble, 2003). La interacción de estas condiciones internas con factores exógenos como la precipitación se reflejan en el caudal y concentración de sedimentos que fluyen en un río. Estos aspectos suelen ser monitoreados de manera horaria, diaria o mensual.

En cuanto a los factores exógenos, estos ocurren a diferentes escalas de tiempo. Algunos se presentan a escalas del orden de millones de años como es el alzamiento/caída del lecho por acción de la tectónica de placas. Por otra parte, existen los condicionantes a escala más recientes (<100 años) como puede ser la desviación del curso de un río por efecto de un aluvión o remoción en masa, o también condicionantes ligados a efectos climáticos como tormentas, sequías, vientos extremos o caídas en la temperatura. Otros factores pueden deberse a efectos antrópicos, es decir, por acción de los humanos (embalses, uso de suelo, canalización, extracción de áridos, etc.).

Estos procesos que afectan al curso de un río son engranajes dentro de lo que fue denominado por Schumm (1977) como "sistema sedimentario". Este autor visualiza un sistema integrado subdividido en 3 zonas espaciales: zona de denudación o erosión, zona de transferencia y zona de acumulación o depositación (Figura 1.1). La zona de denudación tiende a ser aquella porción del sistema en la cual se genera el sedimento que será arrastrado por el río. Este sedimento puede ser erosionado y distribuido al cauce. La zona de transferencia corresponde a la porción en la cual hay un balance entre denudación y acumulación, por lo general no produce mucho material por erosión del lecho del río (Romans, Castelltort, Covault, Fildani, y Walsh, 2016). Estas zonas suelen tener reservas de material (por ejemplo, en llanuras de inundación, remociones en masa en zonas de alta pendiente, denudación de suelo, etc.) que ante el curso habitual del río no son removidos, pero al verse afectados por algún aumento en el caudal, pueden serlo. Por último, la zona de acumulación corresponde a la porción en la cual se depositan los sedimentos transportados por el río, ya sea en zonas depositacionales continentales (lagos) o marinas (estuarios, deltas, vegas, humedales, etc.)



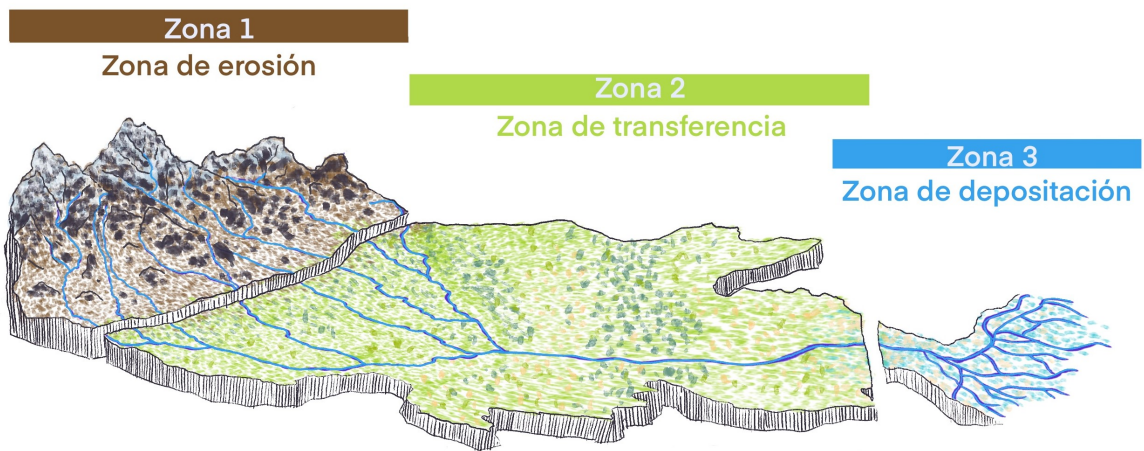


Figura 1.1: Sistema sedimentario esquematizado en sus 3 zonas espaciales: zona de erosión, zona de transferencia y zona de deposición. Tomado y modificado de Schumm (1977)

Más recientemente, Romans et al. (2016) propone el concepto de "sistema de enrutamiento sedimentario" ("*sediment routing system*"), en el cual toma las zonas propuestas por Schumm (1977) y las unifica con los diferentes procesos que interactúan en cada una. Esta interacción puede generar una 'señal ambiental' ("*environmental signal*"), la cual se refiere a un cambio en la producción de sedimento, transporte o deposición originado por una perturbación del ambiente (precipitación, subida del nivel del mar, alzamiento tectónico, subsidencia o acción humana)(Romans et al., 2016). Estas señales ambientales se pueden expresar como pulsos de sedimento que se transfieren a lo largo del sistema sedimentario en dirección al océano y que pueden ser almacenados de forma temporal o permanente en algún punto de este, dependiendo del nivel de conectividad del sistema y el espacio disponible para la acumulación de sedimento. Estos procesos se pueden analizar desde el punto de vista "source to sink", manera integral de estudiar la transmisión de una señal ambiental por las diferentes secciones de un sistema de enrutamiento sedimentaria (Figura 1.2). Bajo este contexto, la transferencia de sedimento en las cuencas fluviales se puede considerar como resultado de la interacción entre factores alógenos y exógenos a la cuenca.

El cambio climático altera el ciclo del agua, lo que en los ríos se puede reflejar en cambios de sus caudales. Actualmente, Chile central se encuentra en un periodo de sequía desde el año 2010, la mayor experimentada desde 1915 (inicio del registro) (Garreaud et al., 2017). Esta sequía ha traído consigo una disminución en las precipitaciones anuales del orden de 25-45% y con esto, una caída en los volúmenes de aguas dulces (nieves de alta montaña, aguas subterráneas) y ha disminuido hasta un 90% el caudal de los ríos en Chile central (Garreaud et al., 2017, 2020; Boisier et al., 2018; Bozkurt, Rojas, Boisier, y Valdivieso, 2017). Estas disminuciones en los caudales son consecuencia de la caída en la precipitación promedio anual en cada zona estudiada (Harris, Jones, Osborn, y Lister, 2014). Sumado a esta disminución en las precipitaciones, P. Mardones y Garreaud (2020) plantean un gradual aumento en la altitud de la isoterma cero ( $H_0$ ) lo que trae consigo una disminución en el área nival y, por ende, una disminución del manto nival y aumento en las escorrentías con un menor monto de precipitaciones.



promedio anual del período pre-sequía. Además, los autores evidencian el decrecimiento del tamaño de las plumas de sedimento observables en la desembocadura de los ríos de Chile central mencionados en el estudio (río Maipo, Mataquito, Maule, Bío Bío e Itata), alcanzando solamente el 40-60 % del tamaño en relación al periodo 2000-2009, lo cual sería reflejo de una disminución de la descarga de sedimento en estas cuencas debido a la disminución de los caudales durante este periodo.

Sin embargo, esta zona carece de estudios que evalúen un balance de los montos acumulados anuales de sedimento que se transporta en esta cuenca fluvial, sus fuentes y sumideros, así como el potencial efecto del cambio climático y/o efecto antrópico en la transferencia de sedimento dentro de la cuenca.

Por consiguiente, en el presente trabajo se estudiará el transporte de sedimento en la cuenca del río Itata entre los años 1986 y 2017, con un enfoque en caracterizar las dinámicas de transferencia de sedimento desde la cordillera (fuente) hacia el océano (sumidero). Esto tiene como motivación estudiar el régimen de transporte de sedimento dentro de una cuenca por la importancia del sedimento en los ecosistemas fluviales y costeros (aporte de nutrientes, por ejemplo), así como para la identificación de potenciales cambios en las zonas de erosión de una cuenca debido a factores exógenos, como el cambio climático y la actividad humana.

Para ello, se utilizarán datos fluviométricos y sedimentométricos disponibles para esta cuenca en la base de datos de la Dirección General de Aguas (DGA), agrupados en dos periodos para la estimación de un 'balance sedimentario' ("*sediment budget*", (Slaymaker, 2003)): período pre-sequía (**PS**) del 1986-2009 y período de sequía (**S**) del 2010 al 2017. Cabe destacar que estos periodos fueron escogidos considerando el año 2010 como inicio de la mega sequía según los múltiples estudios existentes (Garreaud et al., 2017, 2020; Boisier et al., 2018; Alvarez-Garreton, Pablo Boisier, Garreaud, Seibert, y Vis, 2021), los que muestran una disminución del caudal de los río en Chile central desde el año 2010.

Finalmente, con estos periodos se procederá a trabajar según la metodología de Asselman (2000) para poder evaluar variaciones espaciales y temporales en el régimen de sedimento dentro de la cuenca.

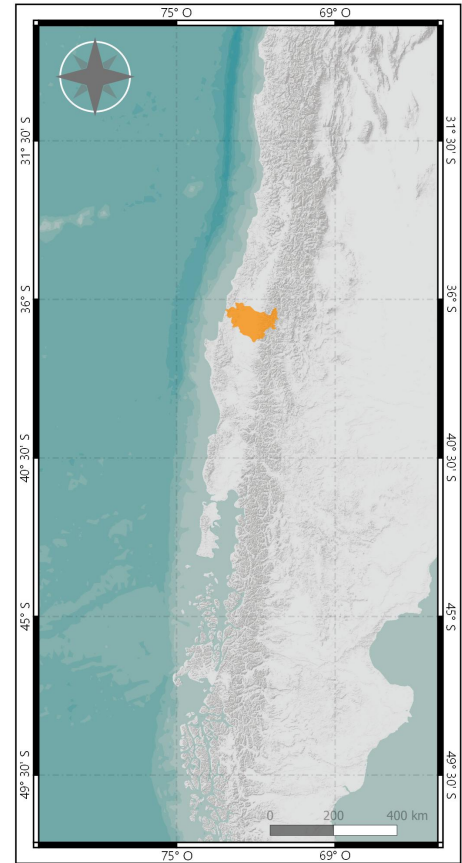


Figura 1.3: Mapa de Chile que destaca en color naranja la cuenca del Río Itata.

## 1.2. Ubicación Zona de Estudio

La zona de estudio se encuentra en la región de Ñuble y corresponde a la cuenca del Río Itata (Figura 1.4)(código BNA 081, perteneciente a la DGA). Esta hoya hidrográfica abarca un área de 11.320 km<sup>2</sup> y se subdivide en 5 subcuencas; Itata Bajo, Itata Medio, Itata Alto, Ñuble Bajo y Ñuble Alto.

El estudio se centra principalmente en los tributarios de esta cuenca, de los cuales destaca el Río Itata, Río Ñuble, Río Chillán, Río Diguillín, Río Larqui y Río Cholguán entre otros.



Figura 1.4: Ubicación de la Zona de Estudio. En la imagen de la izquierda se puede ver Chile Continental con la división regional. A la derecha la Cuenca del Río Itata y sus subcuencas. Límites de la las subcuencas obtenidos de la DGA.



## 1.3. Hipótesis

Considerando la evidencia en la disminución de precipitaciones y caudales de los ríos y la disminución en el tamaño de las plumas de sedimentos que llegan al océano (Masotti et al., 2018) en Chile central (33 - 37°S) durante el periodo de sequía (2010-2017), es posible que el régimen de transporte de sedimento en la cuenca del río Itata, desde la cordillera hacia el océano, se haya alterado en relación al periodo pre-sequía (1986-2009). Los cambios hidroclimáticos de la Mega Sequía sumados a los factores antrópicos (uso de suelo, infraestructura, etc.) afectarían la conectividad dentro del sistema de enrutamiento sedimentario, provocando una disminución en la cantidad de sedimento que es movilizadado dentro de la cuenca del río Itata.

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivo General (OG)

Caracterizar el régimen de transporte de sedimento en el sistema de enrutamiento sedimentario de la cuenca del Río Itata, en la zona central de Chile, durante los últimos 30 años.

### 1.4.2. Objetivos Específicos (OE)

1. Describir variaciones temporales en los aportes de sedimento en varios sectores del sistema de enrutamiento sedimentario de la cuenca del Río Itata.
2. Calcular el "balance de sedimentos" para la cuenca. Esto mostrará cuales son las dinámicas generales de transferencia de sedimentos en el periodo pre-sequía y periodo de sequía.
3. Identificar los posibles mecanismos responsables de la variabilidad observada en la cuenca del Río Itata.
4. Analizar las condiciones bajo las cuales se transporta sedimento en suspensión dentro de la cuenca durante el periodo pre-sequía y sequía.

## 1.5. Metodología

Para poder realizar este estudio, se consideraron las siguientes etapas:

### 1.5.1. Caracterización de la cuenca

Como etapa inicial del estudio se caracterizó la cuenca según sus atributos geológicos, hidrológicos y morfológicos.

Primero se procedió a descargar la información pertinente en base a la literatura y estudios anteriores. Con eso, sumado a los Modelos Digitales de Elevación (DEM por su sigla en inglés) de resolución espacial de 30 metros obtenidos del explorador de la NASA<sup>1</sup> y los archivos de capa (shapefiles) provenientes de la Dirección General de Aguas (DGA) y del Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN<sup>2</sup>), se generaron diferentes capas en el software QGIS con información de las estaciones fluviométricas y sedimentométricas en la cuenca a estudiar, además de la red fluvial, localidades importantes en el área de estudio y mapas de erodabilidad, uso de suelos y geológico. Luego, se generó un mapa morfológico por medio del software ENVI. Este mapa toma en cuenta cinco morfoestructuras considerando los criterios presentados en Aquaterra Ingenieros Limitada (2011) a modo de referencia:

- Planicie litoral, de pendiente menor a 5° y altitud de 10 a 50 m.s.n.m.
- Cordillera de la costa, de altitud entre los 50 a los 650 m.s.n.m. y ubicada a continuación de la planicie y borde costero.
- Depresión central, con altitud media de 150 m.s.n.m. y pendiente menor a 5°.
- Precordillera, con altitudes entre los 400 y 600 m.s.n.m. al Este de la depresión central.
- Cordillera Andina, de los 650 m.s.n.m hasta las mayores altitudes, sección más oriental de las morfoestructuras.

### 1.5.2. Análisis hidrológico (OE1 y OE3)

Para poder efectuar un análisis hidrológico se utilizaron los datos fluviométricos (registro del caudal) y los datos sedimentométricos (registro de solidos en suspensión totales), proporcionados por la DGA.

#### 1.5.2.1. Muestreo según manual de la DGA

Los datos de caudal [ $m^3/s$ ] como solidos en suspensión total [ $mg/l$ ], se obtienen por medio de un muestreo rutinario diario por personal calificado e instruido, por lo que existe un posible error sistemático en los datos (DGA, 1991; Solar, 1999).

La metodología para la medición de caudal es por medio de una sección de aforo con un limnómetro. Según el volumen circundante en la sección de aforo, se escoge un tipo de medición según el manual de instrucciones de hidromensores (DGA, 1991).

En cuanto a la medición de solidos suspendidos totales (sst) el manual de Solar (1999) propone dos tipos de muestreo: superficiales o abreviados y en profundidad.

<sup>1</sup> <https://search.earthdata.nasa.gov/search>

<sup>2</sup> <https://www.ciren.cl/>

## ■ Muestreos superficiales o abreviados

- **Muestreo con canastillo:** se realiza desde un puente o carro de aforo y en el centro de la corriente donde se obtiene las muestras representativas. Siempre se deben llevar dos botellas para realizar un muestreo con canastillo. Se introduce la botella sin tapa en el canastillo de muestreo y se asegura con una lanzada del cordel de sustentación. Se baja hasta tocar levemente con el canastillo la superficie del agua, de modo tal que se inicie un movimiento pendular en el sentido longitudinal del escurrimiento, y en una ubicación aproximada a un metro aguas arriba, se deja alargar el cable de modo que la botella se sumerja completamente en el agua. Al sacarla el observador debe verificar que se ha alcanzado el volumen correcto ( $3/4$  del envase). Si no se cumple la condición, por estar llena al máximo, se deberá tapar antes de retirarla del canastillo. Se anota en el formulario la observación correspondiente y se repite el muestreo con la otra botella limpia.
- **Muestreo de orilla con vadeo:** esta técnica consiste en adentrarse en el escurrimiento hacia la vertical de mayor velocidad tanto como sea posible sin arriesgar la seguridad del operador. Luego debe ubicarse mirando hacia aguas arriba con el brazo extendido hacia adelante sosteniendo la botella inclinada en un ángulo tal que permita, al estar dentro del agua, la salida del aire sin burbujeo. La botella se sumerge parcialmente en el escurrimiento. El observador debe cerciorar que se ha alcanzado el volumen deseado. Enseguida se tapa la botella y recién el operador sale del agua.
- **Muestreo de orilla sin vadeo:** el observador deberá ubicarse en un lugar lo más cerca de la corriente que sea posible, sin correr riesgos innecesarios, de modo de alcanzar una zona del escurrimiento que tenga un flujo paralelo a la dirección principal. Una vez ubicado en el punto de muestreo, el observador, sosteniendo firmemente una botella limpia y destapada, debe extender su brazo hacia el centro de la corriente, colocando la botella en un ángulo tal que permita la salida del agua sin burbujeo. La botella se sumerge paralelamente a la dirección principal y se cerciora que el volumen alcanza el nivel deseado. La botella se tapa y anota en el formulario.
- **Muestreo en profundidad:** la DGA utiliza el muestreo de llenado continuo de la botella en toda la vertical, en su viaje de descenso y ascenso. Para llevar a cabo esta medición se muestreará en verticales elegidas de tal forma que entre ellas no escurra más del 10 % del caudal total (similar a aforos). En cada vertical se medirá la velocidad media del flujo y la profundidad, y en cada vertical se tomará una muestra. Es conveniente que el frasco se llene por lo menos hasta el 75 % de su capacidad. Se pueden aceptar un máximo de 2 muestras sacadas con un volumen inferior al 75 % pero mayor que el 50 % de su capacidad.

Finalmente, todas las muestras se envían al Centro de Filtrado en donde primero se pesan las botellas con agua y sin tapa. Luego se coloca una hoja de papel filtro seco sobre un embudo Buchner y se moja con agua destilada del frasco lavador para que se adhiera bien y se conecta a una bomba de vacío. Posteriormente, se derrama la muestra sobre la extensión filtrante. Para remover el sedimento adherido a las paredes de la botella se utiliza el chorro del frasco lavador. Se espera que pase todo el líquido por el filtro y se lanza un chorro de agua a las

paredes del embudo para que el sedimento adherido se centre en el filtro. Finalmente, los filtros se retiran del embudo con ayuda de pinzas y se dobla en cuatro utilizando la punta del filtro para retirar los sedimentos adheridos al embudo. Los filtros húmedos se introducen en los sobres para sedimento, los que posteriormente se secan en el horno de secado.

Para determinar el volumen de la muestra se pesa la botella vacía seca y la diferencia entre el peso de la botella llena y vacía corresponde al volumen de la muestra. Se anota este valor con tres decimales. Luego, los crisoles con los filtros húmedos se secan y se calcinan en el horno mufla a 550° o 600°C, durante dos horas. Se debe dejar constancia de la temperatura efectiva de calcinación. Antes de enfriarse se trasladan los crisoles al desecador de donde se sacan una vez fríos y se pesan en una balanza analítica anotando el peso (Solar, 1999).

Para el cálculo final de sólidos en suspensión totales (SST) se utiliza la siguiente fórmula:

$$SST[mg/l] = \left[ \frac{(\text{peso después del filtrado en } g - \text{peso antes del filtrado en } g)(1000[mg/g])}{\text{volumen de muestra de agua en litros}} \right] \quad (1.1)$$

### 1.5.2.2. Descarga de datos y primera revisión

Para esta etapa, el primer paso fue la descarga de los registros históricos de caudal y concentración de sedimentos. El periodo de registro fue definido desde 1986 al 2017 (32 años) y se descargaron los datos medios diarios desde la página de la DGA<sup>3</sup> y del Explorador Climático CR2<sup>4</sup>. Este periodo se utilizó dado que como mínimo representativo se debe trabajar con un periodo hidrológico de al menos 30 años y dada la completitud del registro histórico.

Una vez creadas estas bases de dato bruto, se procedió a identificar vacíos de información importantes. Posteriormente se eligieron aquellas estaciones que presentaran información tanto de caudal como de concentración de sedimentos (Figura 2.2). Dichas estaciones fueron:

- Río Ñuble en San Fabián de Alico
- Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2
- Río Itata en Cholguán
- Río Chillán en Camino a Confluencia
- Río Diguillín en Longitudinal
- Río Itata en Balsa Nueva Aldea
- Río Itata en Coelemu

Posteriormente, teniendo en consideración el año 2010 como inicio de la megasequía en Chile central (CR2, 2015b; Garreaud et al., 2017, 2020), se dividió la base de datos en dos periodos: **Periodo de Presequía** entre los años 1986 al 2009 y el **Periodo de Sequía** entre los años 2010 al 2017. Esta división se utiliza para evaluar los posibles cambios en los registros producto de la megasequía. Cabe destacar que este estudio no busca evidenciar esta

<sup>3</sup> <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>

<sup>4</sup> <http://explorador.cr2.cl/>



sequía ni comprobarla en los registros, por el contrario, se considera como una anomalía ya estudiada y como base para nuestra hipótesis de trabajo.

Luego, se definieron umbrales mínimos para considerar un mes como carente de información o completo. Para datos mensuales, se consideraron aquellos meses con un registro igual o mayor a 25 días y para datos anuales, se consideró aquellos con más de 310 días (85%). La completitud de los datos se expone en la Tabla 1.1. Identificados los vacíos de información se procedió al relleno de estos (ver Sección 1.5.2.3).

Tabla 1.1: Resumen de la completitud de los datos en las estaciones fluviométricas (caudal) y sedimentométricas (concentración de sólidos suspendidos totales [SST]).

Estación	Código	Años registro	% Caudal	% Concentración SST
Río Ñuble en San Fabián de Alico	NSF	01-01-1986 a 31-03-1997	69,5 %	72,2 %
Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2	NSF2	01-11-1999 a 31-12-2017	92,6 %	94,9 %
Río Itata en Cholguán	ICH	01-01-1986 a 31-12-2017	94,1 %	95,9 %
Río Diguillín en Longitudinal	DEL	01-01-1986 a 31-12-2017	87 %	88,9 %
Río Chillán en Camino a Confluencia	CCC	01-01-1986 a 31-12-2017	76,4 %	96,9 %
Río Itata en Balsa Nueva Aldea	BNA	01-01-1986 a 31-12-2017	90,1 %	97,5 %
Río Itata en Coelemu	ICO	01-01-1986 a 31-12-2017	84,5 %	91,7 %

Cabe destacar que las estaciones Río Ñuble en San Fabián de Alico y Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2 se encuentran en la misma ubicación, distanciadas por 200 metros. Es por esto por lo que su registro fue unificado, ya que la primera llega hasta el año 1997 y la segunda continua desde el 1999. De esta manera se pudo trabajar con una base de datos más completa.

### 1.5.2.3. Relleno de base de datos de caudal

El relleno de datos de caudal se basa en la metodología descrita por Chow, Maidment, y Mays (1994) en la cual se utilizaron los registros diarios de caudal de las estaciones de la Tabla 1.1. Con estos datos se calcularon los coeficientes de regresión lineal entre todas las mediciones de caudal de las estaciones a modo de identificar los mayores coeficientes  $r$  para cada estación a rellenar. Posteriormente se graficaron los datos de ambas estaciones para obtener la ecuación de la recta de tendencia (Figura 1.5). Luego, utilizando la ecuación obtenida para cada caso óptimo (mayor  $r$ ), se rellenaron los datos a escala anual y luego a escala mensual reemplazando en los coeficientes  $a$  y  $b$  en la Ecuación 1.2 y tomando como valor  $x$  el dato de caudal que si se encuentra disponible de la estación a tomar como referencia.

$$y = a + bx \quad (1.2)$$

Para verificar la consistencia de los datos se creó una estación patrón como media aritmética de los datos de todas las estaciones. Con esta estación, se realizó una Curva Doble Acumulada (CDA) y chequeó si existían quiebres en la pendiente. De existir quiebres en la CDA se podrían interpretar como una reubicación de la estación de monitoreo producto de un daño en la anterior o necesidad de moverla. También se pueden deber a un rellenado estadístico de los periodos del registro que presentan vacíos, estos datos pueden estar sobre estimados o subestimados.

Esta CDA solo fue realizada para los datos anuales. La Figura 1.6 ejemplifica una CDA con buena consistencia de los datos rellenados (puntos con poca diferencia espacial de la línea continua) lo cual permite la utilización de los datos rellenados sin necesidad de ajustarlos.

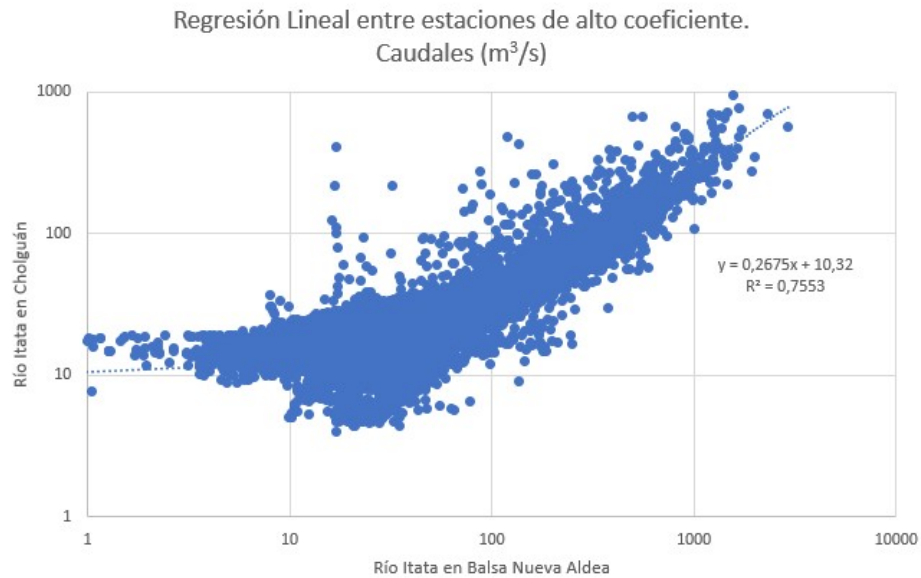


Figura 1.5: Ejemplo de una regresión lineal entre los datos de caudal de la estación fluviométrica río Itata en Cholguán y la estación río Itata en Balsa Nueva Aldea.

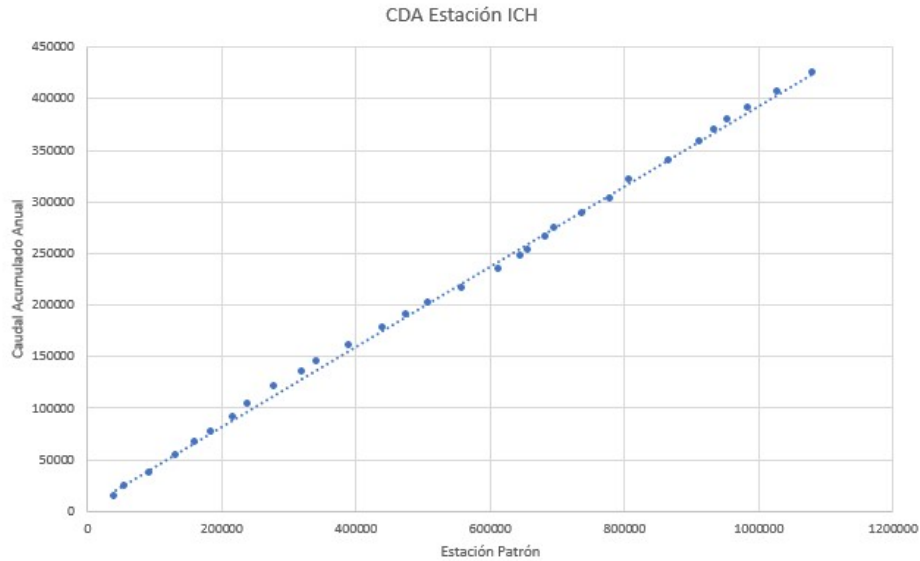


Figura 1.6: Ejemplo de CDA en estación fluviométrica río Itata en Cholguán.

#### 1.5.2.4. Manejo de base de datos de concentración de sólidos suspendidos totales

El análisis de los datos sedimentométricos fue realizado considerando las metodologías presentadas en los estudios de Asselman (2000); Syvitski, Morehead, Bahr, y Mulder (2000); Horowitz (2003).

Como primer paso se deben definir temporadas con las cuales se trabajará como subregistros (Tabla 1.2). Las combinaciones se hicieron a modo de poder representar las diferentes temporadas de un año hidrológico. Primero, se identificaron las temporadas de crecida y descenso del caudal para todo el registro considerando el comportamiento del caudal en la cuenca (Figura 1.7) en donde además, se identificó la temporada de descenso en invierno para poder observar cambios puntuales en esos meses.

Una vez definidas las temporadas, se procede con la relación potencial entre los datos de caudal y concentración de sedimentos. Estas regresiones fueron realizadas para cada temporada en los tres periodos de estudio: periodo total (1986-2017), periodo pre-sequía (1986-2009) y periodo de sequía (2010-2017). De estas regresiones se obtuvieron los coeficientes **a** y **b** para cada temporada en cada estación, coeficientes que se utilizarán más adelante para evaluar los cambios en los regímenes de transporte por estación entre los dos periodos de estudio.

Tabla 1.2: Periodos escogidos para la generación de las Curvas de Clasificación

Temporada	Meses
Registro Total	Año completo
Crecida	Abril a Junio
Descenso	Julio a Diciembre
Descenso Invierno	Julio a Septiembre

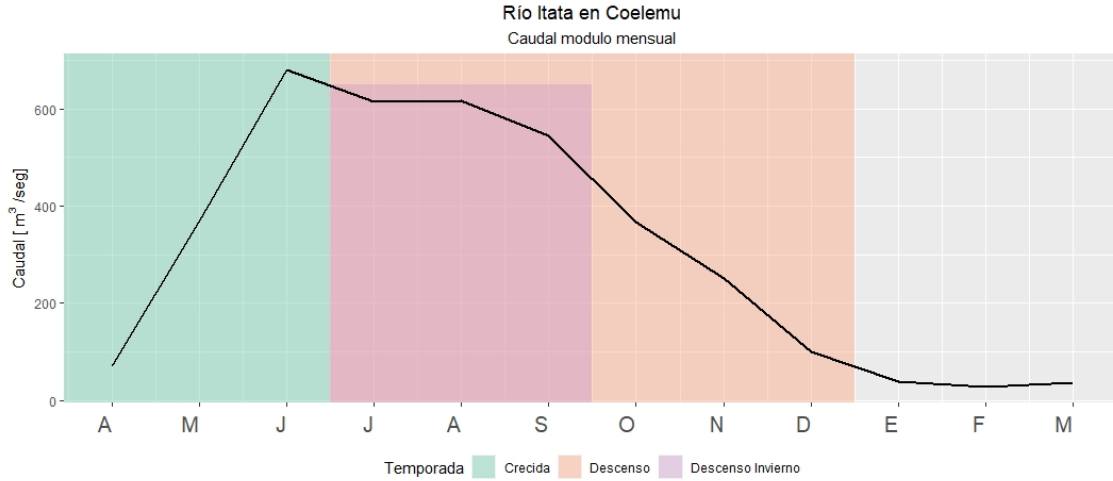


Figura 1.7: Combinación de meses para definir las temporadas de clasificación. Dichas temporadas fueron escogidas según el comportamiento hidrológico de la cuenca.

### 1.5.3. Régimen sedimentario de cuenca (OE4)

Posterior a la obtención de los coeficientes **a** y **b**, por medio del lenguaje R, se crearon códigos (documento que contiene instrucciones, escritas en códigos de programación) (Anexo 5.A) en los cuales se ingresaron los coeficientes mencionados en la ecuación de poder (*power function*) (Ecuación 1.3) a modo de obtener curvas específicas para cada temporada de cada estación. En esta ecuación, **Q** corresponde al caudal y **C** a la concentración de sedimentos solidos en suspensión, **a** representa la intersección de la recta con el origen y **b** la pendiente. Estas rectas son conocidas como Curvas de Clasificación (*Rating Curve*) (Asselman, 2000).

$$C = a \cdot Q^b \quad (1.3)$$

Los coeficientes han tenido múltiples interpretaciones y han sido comparados entre diferentes ríos, por ejemplo, para Walling y Gregory (1974) el coeficiente **b** refleja la distribución del tamaño de grano del material transportado. Acorde a Asselman (2000) el coeficiente **a** representa un índice de meteorización del material transportado y el coeficiente **b** representa el poder erosivo de un río.

En cuanto a las Curvas de Clasificación como tal, Asselman (2000) interpreta un bajo **a** y alto **b** como secciones con bajo transporte de sedimentos a bajo caudal y ante un aumento en el caudal se manifiesta con un gran aumento de la movilidad sedimento y del poder erosivo del río. Por otra parte, un alto **a** y bajo **b** representa secciones de movilización de sedimentos a casi todo caudal, bajo poder erosivo y material muy meteorizado.

Con las bases de datos listas se pudo manipular los datos a modo de obtener los promedios mensuales, promedios anuales, carga de sedimento ( $Q_s$ ) acumulada mensual y anualmente. La carga sedimentaria ( $Q_s$ ) se obtiene por medio de la ecuación 1.4. Con esto, se procedió a realizar una serie de gráficos que se expondrán a lo largo del documento con la intención de categorizar los regímenes sedimentarios, como se expone en la Sección 4.

$$Q_s \left[ \frac{kg}{día} \right] = Q \left[ \frac{m^3}{s} \right] \cdot C \left[ \frac{mg}{l} \right] \cdot 86,4 \quad (1.4)$$

#### 1.5.4. Balance Sedimentario (OE2 y OE4)

Una vez obtenidos los datos de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) acumuladas anuales para cada estación de estudio, se procedió a calcular la diferencia en el almacenamiento de sedimento de la cuenca o almacenamiento residual ( $\Delta QS_R$ ) (Parker, 1988). Este monto se obtiene por medio de la Ecuación 1.5, donde  $QS_o$  corresponde a los montos de sedimento acumulado anual ( $Q_s$ ) que llegan al sumidero y, por ende, son medidos en la última estación de monitoreo del cauce principal (dato de salida), como se puede ver en el punto exutorio de la cuenca tipo en la Figura 1.8.  $QS_i$  corresponde a la carga sedimentaria ( $Q_s$ ) medida en la primera estación existente, es decir, el dato de 'entrada' al cauce principal. Por último,  $\sum_{i=1}^N QS_{T_i}$  corresponde a la suma de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) de todos los tributarios que van a parar al cauce principal entre los puntos de entrada y salida, estaciones  $QS_{T1}$  y  $QS_{T2}$  en la Figura 1.8.

$$\Delta QS_R = QS_o - QS_i - \sum_{i=1}^N QS_{T_i} \quad (1.5)$$

Ya con el valor de ( $\Delta QS_R$ ) para cada año, se puede estimar si existió acreción (signo negativo), es decir el material es retenido en la cuenca, o bien, degradación/erosión (signo positivo) es decir, el material es movilizado hacia los océanos.

Finalmente, teniendo los datos de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) acumuladas anuales por estación, y promediando estas, se generó una imagen que visualizara el aporte de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) por tributario para el periodo de pre-sequía en contraste con el periodo de sequía (WRI, 2019).

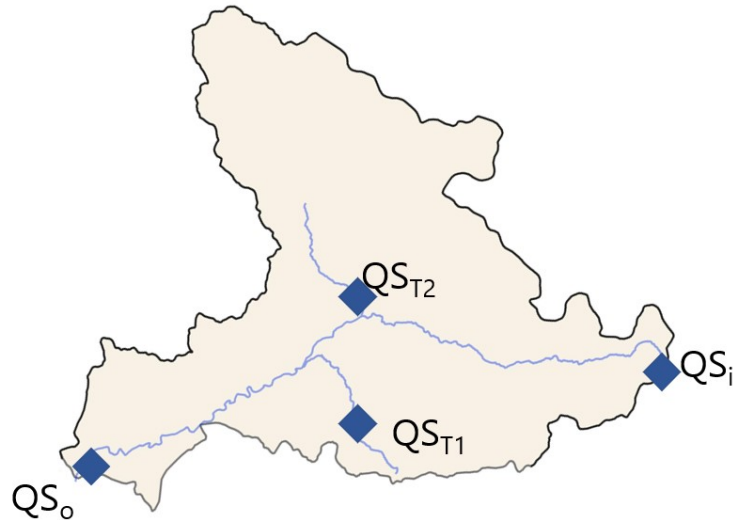


Figura 1.8: Cuenca esquemática en la cual se visualizan las estaciones utilizadas para el balance sedimentario.

# Capítulo 2

## Antecedentes

### 2.1. Hidrología de la cuenca del río Itata

La cuenca del río Itata abarca una extensión de 11.320 km<sup>2</sup> entre la Cordillera de los Andes y su desembocadura en Las Vegas de Itata. Los principales ríos en la cuenca son: el río Ñuble, río Chillán, río Diguillín y río Itata. Por otra parte, esta cuenca se subdivide en 5 subcuencas: Ñuble Alto, Ñuble Bajo, Itata Alto, Itata Medio e Itata Bajo (Figura 2.2).

A continuación, se entrega la información específica de cada subcuenca con sus principales tributarios, estaciones fluviométricas y sedimentométricas relevantes para este estudio, además de sus asentamientos urbanos más importantes. Para una visualización más detallada de los tributarios y estaciones fluviométricas, consultar Anexo 5.B.

- **Ñuble Alto** (*Código 0810, DGA*): Esta subcuenca se ubica en la sección más oriental de la cuenca principal, restringida al dominio de la Cordillera de los Andes. Presenta una extensión de 1.810 km<sup>2</sup>, una altitud promedio de 1.540 m.s.n.m. y una pendiente promedio de 24,2 %. Su principal río es el Ñuble, el cual nace en la ladera este del Complejo Volcánico Nevados de Chillán en la frontera con Argentina. En esta subcuenca, el río Ñuble recorre 104,58 kilómetros. Otros ríos tributarios al Ñuble que destacan son el río Las Minas que nace en el Complejo volcánico Nevados de Chillán y su confluencia con el Ñuble ocurre por la ribera sur, recorriendo 17,1 km. Luego el río Los Sauces se une por la ribera norte y el río Santa Gertrudis por la sur, luego de circular 19,2 y 24,3 km, respectivamente. En esta subcuenca se encuentra la localidad de San Fabián de Alico (Figura 2.2) donde al este de esta localidad se ubican las estaciones fluviométricas y sedimentométricas Río Ñuble en San Fabián (*Código 08106001-0*) y Río Ñuble en San Fabián N2 (*Código 08106002-9*).
- **Ñuble Bajo** (*Código 0811, DGA*): Subcuenca ubicada al centro-norte de la cuenca principal, en ella se encuentra la ciudad de Chillán y San Carlos, además de la localidad de Coihueco. Posee una extensión de 2.964 km<sup>2</sup> con una altitud promedio de 403 m.s.n.m. y una pendiente promedio de 9,6 %. Sus principales ríos son el río Ñuble y el río Chillán. Este último nace en el Complejo volcánico Nevados de Chillán y recorre 123,58 km hasta su confluencia, por la ladera sur, con el río Ñuble a 16 kilómetros al oeste de Chillán. Luego de esta confluencia predomina el Ñuble circulando alrededor de 600 metro aguas más abajo donde el río Changaral, luego de 72,4 km de recorrido desde su nacimiento al sur de San Carlos, confluye con este. A 1.300 metro de la confluencia

con el Ñuble aguas abajo, por el río Chillán, se encuentra la estación fluviométrica y sedimentométrica Río Chillán en Camino a Confluencia (*Código 08117005-3*)(Figura 2.2).

- **Itata Alto** (*Código 0812, DGA*): Esta subcuenca se ubica hacia el sur de la cuenca, cubriendo un área de 1.846 km<sup>2</sup> con una altitud promedio de 566 m.s.n.m. y una pendiente promedio de 13,1 %. En la subcuenca se encuentran las ciudades de Yungay y Huepil. Sus principales ríos son el Itata, el río Dañicalqui, río Trilaleo, río Cholguán y río Huepil. Estos últimos cuatro tienen su origen en el Complejo volcánico Nevados de Chillán. El río Cholguán recorre 74,1 kilómetros para confluir con el río Huepil. Luego de la confluencia pasa a llamarse río Itata, el cual, luego de 63,7 km de trayectoria desemboca en el mar. En la subcuenca se encuentra una estación fluviométrica y sedimentométrica de relevancia: Río Itata en Cholguan (*Código 08123001-3*)(Figura 2.2).
- **Itata Medio** (*Código 0813, DGA*): Esta subcuenca se ubica al norte de la subcuenca Itata Alto y al sur de la subcuenca Ñuble Bajo. Se extiende por 2.775 km<sup>2</sup>, presenta una altitud promedio de 461 m.s.n.m. y una pendiente promedio de 12,9 %. Sus principales poblados son Quillón y Bulnes. En esta subcuenca circula el río Itata, río Diguillín y río Larqui. Este último nace en las planicies de la Depresión Central producto de la confluencia de múltiples esteros menores. El río Larqui se une al Itata 3,5 km aguas arriba de la estación fluviométrica y sedimentométrica de Río Itata en Balsa Nueva Aldea (*Código 08135002-7*). El río Diguillín circula por 117,6 kilómetros hasta confluir con el río Itata 15,5 km al sur de Quillón en el exutorio de la subcuenca Itata Alto (Figura 2.2).
- **Itata Bajo** (*Código 0814, DGA*): Con una área de 1.931 km<sup>2</sup>, una altitud promedio de 169 m.s.n.m. y una pendiente promedio de 9,8 %, esta subcuenca reúne el caudal circulante de las cuatro subcuencas mencionadas previamente. Se puede encontrar la ciudad de Coelemu, la localidad de Ninhue y los ríos Itata y Lonquén. Este último nace a 5 km al este de Ninhue por la intersección de pequeños afluentes. El tramo final del río Itata, recorre 60,1 km hasta su desembocadura en las Vegas de Itata, un delta de 1,3 km de ancho. En la ciudad de Coelemu se ubica la estación fluviométrica y sedimentométrica de Río Itata en Coelemu (*Código 08141001-1*)(Figura 2.2).

En la cuenca del río Itata hay 38 estaciones fluviométricas y 9 sedimentométricas (Figura 2.2), pertenecientes a la DGA. Dado la inactividad o vacíos de información, solo se utilizará el registro histórico de 7 estaciones fluviométricas y sedimentométricas durante el período 1986-2017.

En la Figura 2.1 se puede observar el comportamiento estacional en las diferentes secciones y tributarios de la cuenca. Las estaciones escogidas fueron río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA), río Chillán en camino a Confluencia (CCC), río Diguillín en Longitudinal (DEL), río Itata en Cholguán (ICH), río Itata en Coelemu (ICO) y río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF).

La ubicación de estas estaciones logra representar las diferentes subcuencas en el área de estudio. En la Figura 2.1, se puede notar que para las estaciones río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) y río Itata en Cholguán (ICH), los peaks de caudal y concentración de sedimentos corresponden a los meses de Junio a Agosto. En la estación río Chillán en

camino a Confluencia (CCC) el máximo de concentración de solidos en suspensión totales se manifiesta en Julio mientras que el máximo de caudal corresponde a los meses de Junio a Julio.

La estación río Diguillín en Longitudinal (DEL) muestra un peak de caudal los meses de Junio a Agosto, mientras que el peak de concentración corresponde al mes de Mayo. La estación río Itata en Coelemu (ICO) muestra los mayores peaks de caudal de todas las anteriores, predominando los meses de Junio a Agosto. En cuanto a la concentración de sedimentos los máximos se presentan en los meses de Mayo a Septiembre. Cabe destacar que todas las estaciones mencionadas presentan un régimen pluvial (máximos de caudal en invierno, los meses lluviosos).

Finalmente, la estación río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF) muestra un caudal con un comportamiento pluvio-nival, con peaks de Junio a Noviembre. La concentración de sedimentos predomina en los meses de Mayo a Junio.

Dado el reducido número de estaciones de monitoreo en las subcuencas Itata Alto e Itata Medio, se considerarán como una única subcuenca denominada *Subcuenca Itata Medio-Alto*. Esto con la finalidad de poder simplificar los parámetros internos de la cuenca principal.

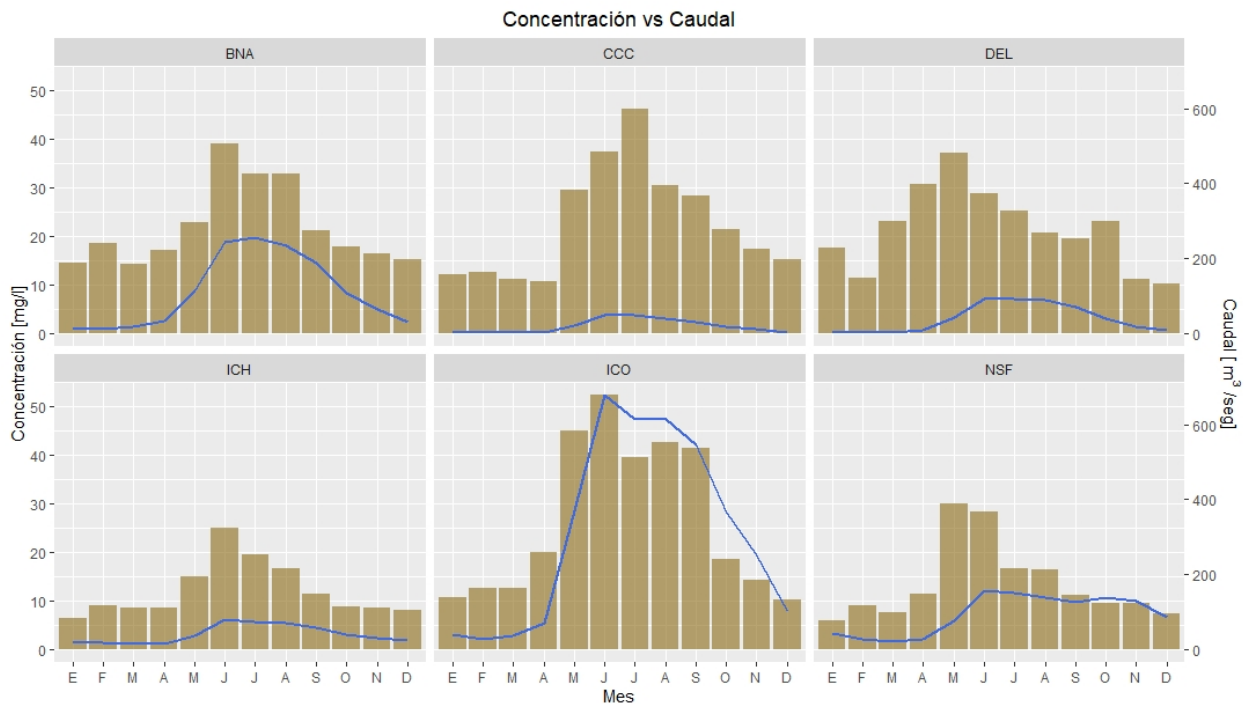


Figura 2.1: Gráficos de concentración de solidos suspendidos ( $mg/l$ ) (barras) y caudal promedio mensual ( $m^3/s$ ) (líneas), para el periodo de estudio. Los periodos de registros para las estaciones río Itata en Cholguán (ICH), río Diguillín en Longitudinal (DEL), río Chillán en camino a Confluencia (CCC), río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA), río Itata en Coelemu (ICO) y río Ñuble en San Fabián (NSF) corresponde a 1986-2017.



## Subcuencas e Hidrología de la cuenca del río Itata

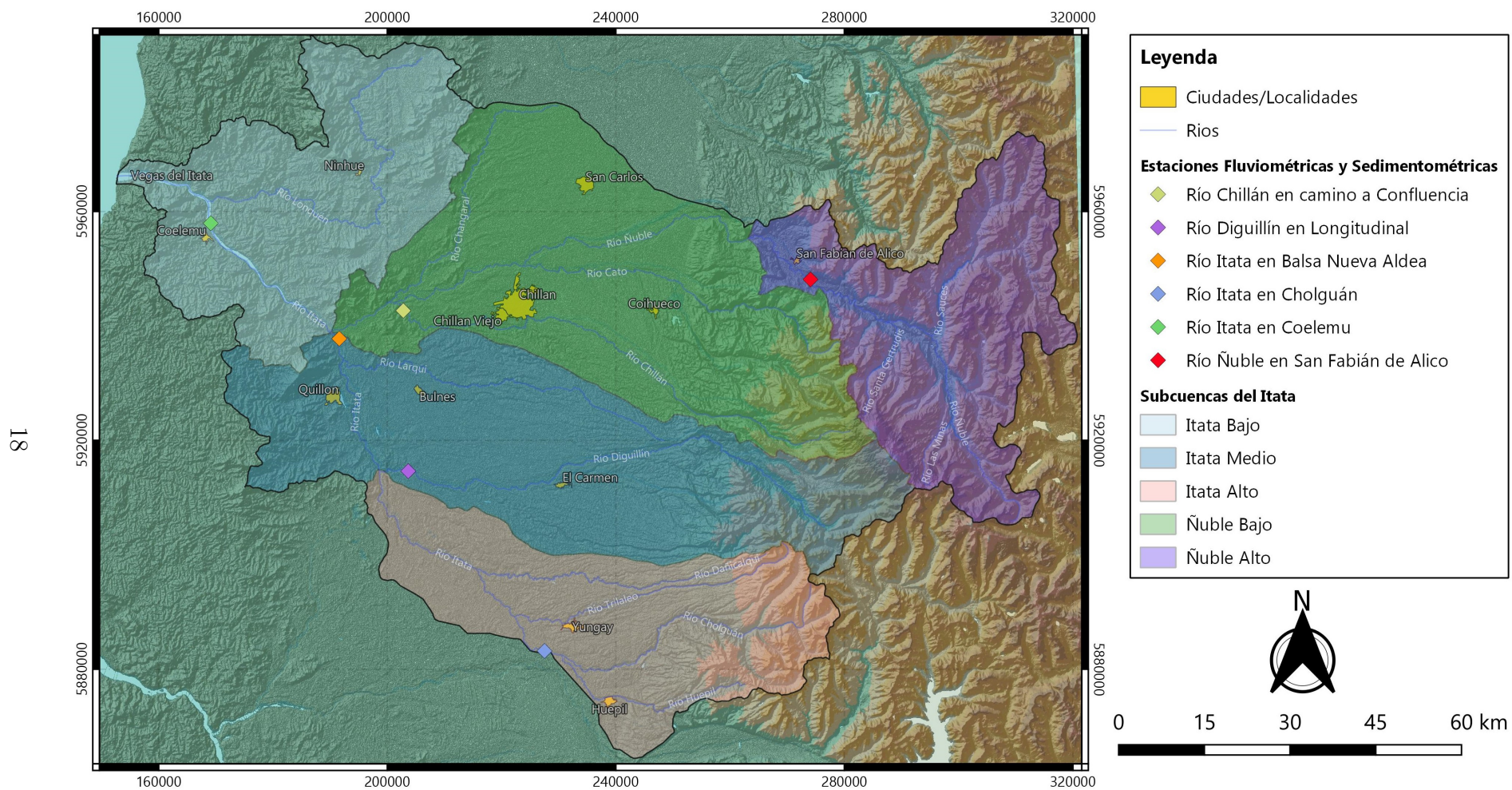


Figura 2.2: Mapa de las subcuencas del Río Itata e hidrología, en este se pueden apreciar las ciudades y poblados relevante junto a las estaciones fluviométricas y sedimentométricas consideradas para el estudio. La estación Río Ñuble en San Fabián de Alico comparte la misma ubicación con Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2. Información proporcionada por CIREN. Elaboración propia

## 2.2. Caracterización climática

La región de Ñuble se caracteriza por presentar un clima del tipo mediterráneo cálido con estaciones secas y lluviosas, 4 meses cálidos y 8 meses lluviosos. Estas condiciones son determinadas por el movimiento del anticiclón del Pacífico, el cual se desplaza hacia el sur en verano y provoca periodos secos (IGM, 1985). En este periodo se registran las temperaturas máximas más altas del país. Por el contrario, el régimen pluviométrico invernal se asocia con las perturbaciones del frente polar, que traslada centros de baja presión hacia el continente mediante vientos con dirección oeste a este y sur a norte (F. Mardones, Echeverría, y Jara, 2004). La temperatura promedio anual en la cuenca es de 14°C y 75 % de humedad relativa (Loyola, Rivas, y Gacitúa, 2015).

Seis estaciones meteorológicas, pertenecientes a la red de la DGA y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), se usan para este estudio, las cuales se pueden ver en la Figura 2.3. Estas estaciones fueron escogidas por su completo registro, ubicación estratégica dentro de las subcuencas y la facilidad para acceder a los datos por medio del Explorador Climático CR<sup>2</sup><sup>1</sup>.

El régimen pluviométrico anual de la cuenca concentra las máximas precipitaciones en los meses de Mayo a Julio, siendo Junio el mes más lluvioso (Figura 2.4). Las menores precipitaciones se manifiestan generalmente de Diciembre a Marzo, destacando Enero como el mes más seco (Henriquez, 1990).

**Estaciones Meteorológicas de la cuenca del río Itata**

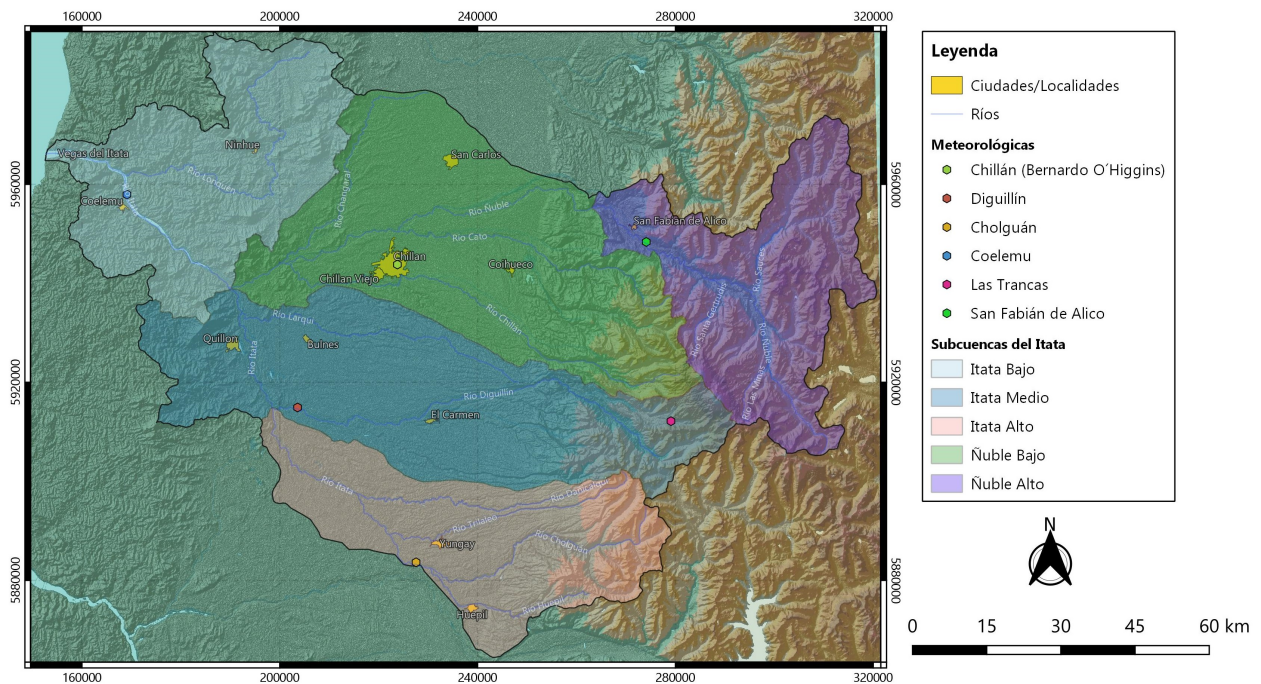


Figura 2.3: Mapa de las subcuencas del Río Itata e hidrología, en este se pueden apreciar las ciudades y poblados relevante junto a las estaciones meteorológicas consideradas para el estudio. Información proporcionada por CIREN y la DGA. Elaboración propia

<sup>1</sup> <https://explorador.cr2.cl/>



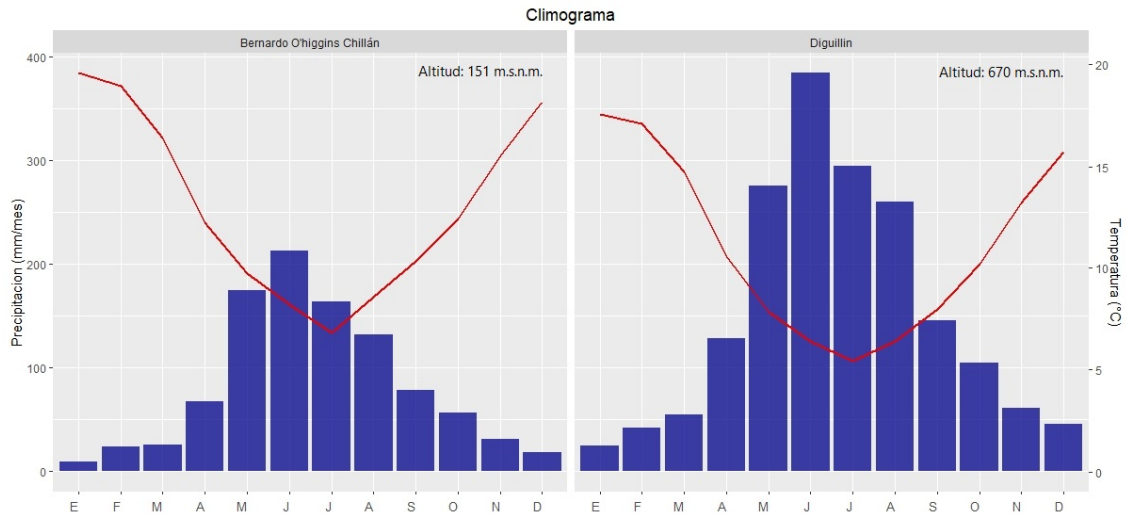


Figura 2.4: Climograma estación Diguillín y la estación Bernardo O'Higgins en Chillán para un periodo de 32 años (1985-2017). Columnas representan montos acumulados de precipitación promedio mensual y la línea continua indica la temperatura promedio. Datos obtenidos del Explorador Climático CR2.

La Figura 2.5 muestra la diferencia en los montos módulo mensual de precipitación en las estaciones escogidas según los periodos pre-sequía y sequía. Se puede notar como se ha ido redistribuyendo los máximos de precipitación, reduciéndose los montos de Mayo a Julio y manifestándose en un peak estacional (varios meses) más que mensual. Se observa una disminución de la precipitación los primeros meses del periodo de lluvias (Abril a Junio).

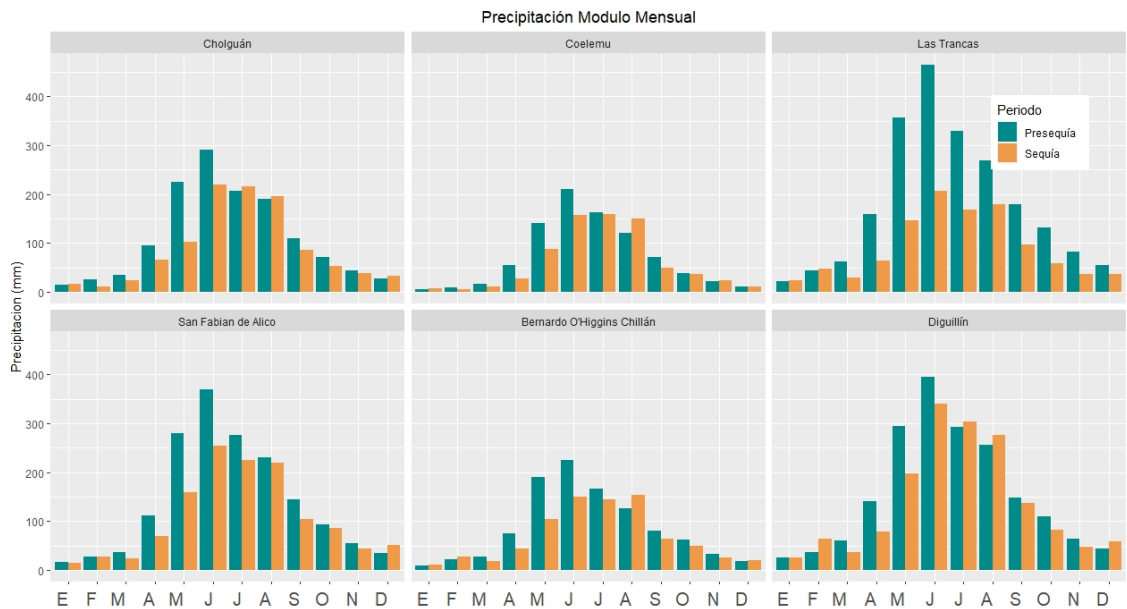


Figura 2.5: Precipitación modulo mensual para los dos periodos de estudio, pre-sequía (1985 - 2009) y sequía (2010 - 2017) para las seis estaciones; Cholguán, Coelemu, Las Trancas, San Fabián de Alico, Bernardo O'Higgins en Chillán y Diguillín. Datos obtenidos del Explorador Climático CR2.

## 2.3. Cambio Climático y Megasequía

El informe IPCC (2014) (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) atribuye como causa del cambio climático el aumento en las emisiones de gases invernadero desde el periodo preindustrial (1850 -1900) como consecuencia del crecimiento de la economía y población mundial. Esto ha dado lugar a concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso sin precedentes en al menos los últimos 800.000 años. Se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0°C con respecto a los niveles preindustriales. Es probable que el calentamiento global llegue a 1,5°C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual (IPCC, 2019).

Se han observado cambios en muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos desde el año 1850. Algunos de estos cambios se han relacionado con influencias humanas, incluida una disminución de las temperaturas extremas frías, un aumento de las temperaturas extremas cálidas, un aumento del nivel del mar y un aumento en el número de eventos de fuertes precipitaciones en varias regiones del mundo (IPCC, 2014). Estos aumentos traen consigo un incremento en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos, perjudicando cultivos e infraestructuras humanas como a los ecosistemas terrestres.

Otros efectos evidenciables por el cambio climático son las tasas de erosión, el más directo va asociado al poder erosivo de la escorrentía. Al aumentar la intensidad de las precipitaciones, aumenta la energía de las escorrentías y por ende, el poder erosivo de estas. Un estudio de Pruski y Nearing (2002) predijo que por cada aumento en un 1 % las precipitaciones traen consigo un aumento del 0,85 % en la tasa de erosión, solo si es que no existe un aumento correspondiente en la intensidad de las precipitaciones. Ahora bien, si existe un aumento estadísticamente representativo de la intensidad por sobre el monto de precipitaciones, esta tasa de erosión aumenta en un 1,7 % por cada 1 % de aumento en las precipitaciones. Nearing et al. (2005) estipulan que los cambios en la cantidad de lluvia asociados con los cambios en la intensidad de las lluvias tormentosas probablemente tendrán un impacto mucho mayor en la escorrentía y la erosión que los cambios en la cantidad de lluvia por sí solos. Hasta la fecha, no se conoce si existe una tendencia clara en la intensidad de las precipitaciones futuras en Chile central.

Por otra parte, Mishra y Singh (2010) reconocen las sequías como desastres ambientales que ocurren prácticamente en todas las zonas climáticas en las cuales los montos anuales de precipitación se han reducido en un periodo de años o estaciones. Temperaturas, fuertes vientos, humedad relativa baja, intensidad y distribución de precipitaciones son variables significativas para la ocurrencia de estas sequías. Dependiendo de la duración e intensidad, condiciones de precipitación menores que el promedio, pueden provocar un descenso sustancial en los acuíferos y cuerpos de aguas superficiales, conllevando a múltiples adversidades ecológicas, sociales y económicas (Garreaud et al., 2017).

Desde el 2010 al presente, se ha ido acentuando el declive en las precipitaciones en Chile central de manera ininterrumpida (Garreaud et al., 2020). Este descenso se visualiza en un déficit entre 25 a 45 % de las precipitaciones anuales según los datos de los mismos autores. A este periodo de sequía se le atribuyo el nombre de *Megasequía* o MD por su sigla en inglés (*Mega Drought*)(CR2, 2015b). El déficit en las precipitaciones resulta en una disminución del manto de nieve, de los volúmenes y niveles de los acuíferos subterráneos a lo largo de Chile central. El promedio de descarga de los ríos ha decrecido hasta un 90 %, y con eso la exportación de nutrientes desde la cordillera, conllevando a un impacto ecológico en los ecosistemas costeros (Masotti et al., 2018).

Para evidenciar la megasequía en Chile central, Garreaud et al. (2020) graficó los índices regionales de precipitación o RPI por su sigla en inglés (*Regional Precipitation Index*) los cuales fueron calculados para cada año como la media de siete valores estacionales. Los RPI presentaron altos coeficientes de correlación con las series de tiempo de precipitación individual para cada estación ( $r \sim 0,7$ ).

La Figura 2.6a presenta los RPI mencionados previamente. En esta imagen se identifican 24 años clasificados como sequía en el periodo 1915 - 2009, la mayoría compuestos por periodos de 1 a 3 años de sequía. La megasequía muestra una anomalía con respecto a las sequías anteriores; un periodo aún no terminado de 9 años, con RPI que ondulan entre los 55 y 80 %, este periodo es notoriamente más extenso que los anteriores con características excepcionalmente diferentes (Figura 2.6b).

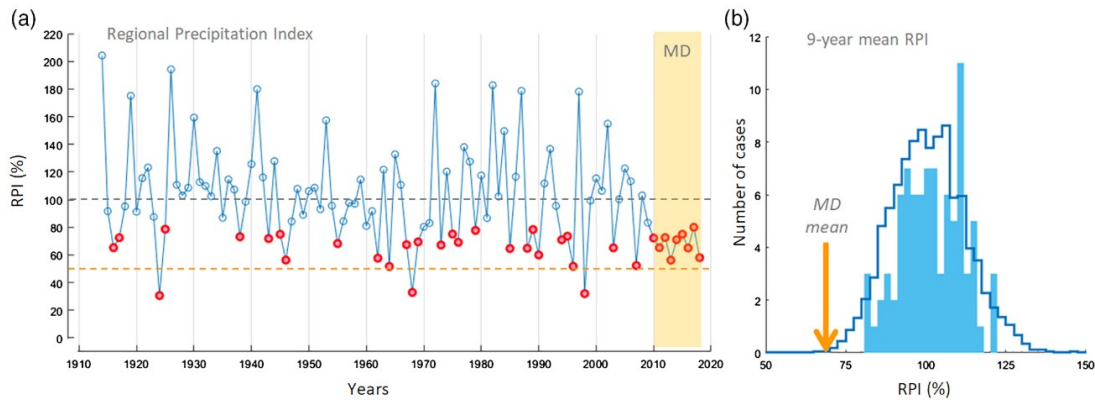


Figura 2.6: (a) Serie anual de RPI. Se define como sequía a los años con  $RPI < 80\%$ , identificados por los círculos rojos. (b) Histograma de los promedios de RPI de 9 años, periodos desde 1915 a 2009. La flecha naranja indica el promedio de RPI durante la megasequía (2010-2018). Imagen tomada de Garreaud et al. (2020)

Las variaciones año a año en las precipitaciones acumuladas en Chile central son moduladas por El Niño – Oscilación del Sur (ENOS). Este fenómeno de origen natural se caracteriza por una alternancia entre 3 a 7 años de temperaturas en el océano Pacífico tropical más frías (La Niña) o temperaturas más cálidas (El Niño) que el promedio de largo plazo. Las alteraciones de la circulación atmosférica durante años de La Niña incluyen un debilitamiento de los vientos del oeste sobre Sudamérica y una intensificación del anticiclón del Pacífico, elementos que favorecen condiciones más secas que el promedio en Chile central. Por el contrario, durante El Niño tienden a ocurrir condiciones más lluviosas en esta región (CR2, 2015a).

Un segundo factor que modula la precipitación en Chile central es la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en Inglés). La PDO es un modo natural «tipo ENOS», pero sus fases cálidas y frías tienden a prevalecer por décadas. Tal como ocurre durante un año de La Niña, los períodos fríos de la PDO se caracterizan por una intensificación del anticiclón del Pacífico y un debilitamiento de los vientos del oeste, lo que tiende a producir condiciones relativamente secas en Chile central (CR2, 2015a).

Históricamente, bajo condiciones neutras puede haber déficit o superávit de precipitación en Chile central. La probabilidad de que al azar ocurra una secuencia de tantos años secos como la observada desde el 2010 es extremadamente baja, sugiriendo la actuación de otros factores climáticos o antrópicos en la mantención e intensidad de la megasequía.

Boisier, Rondanelli, Garreaud, y Muñoz (2016) realizaron múltiples simulaciones con las cuales muestran la influencia de la PDO en constante declive de las precipitaciones además del cambio climático forzado por la acción antrópica. En este estudio, se demostró que no se puede modelar proyecciones futuras sin la variable antrópica, atribuyendo una importancia de 50/50 entre PDO y acción antrópica. En la Figura 2.7 se visualiza la anomalía de temperatura por La Niña y la anomalía en sequía.

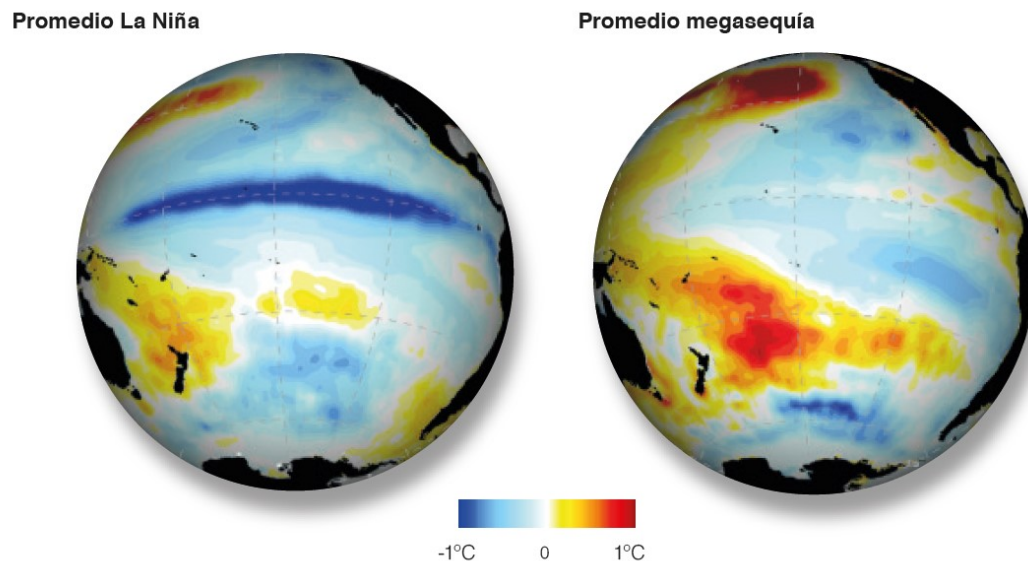


Figura 2.7: Anomalías de las temperaturas superficiales del mar para un conjunto de inviernos (Mayo a Septiembre) de La Niña (promedio 1974, 1975, 1985, 1988, 1998, 1999, 2000) y el periodo de la megasequía (promedio 2010 - 2014). Datos de Earth System Research Laboratory, NOAA, EEUU. Imagen tomada de CR2 (2015a)

Bozkurt, Rojas, Boisier, y Valdivieso (2018) plantean que para finales de este siglo, en Chile central, la temperatura regional aumentará entre  $+1.2^{\circ}\text{C}$  (RCP2.6),  $+3.5^{\circ}\text{C}$  (RCP8.5) y una sequía de  $-3\%$  (RCP2.6),  $-30\%$  (RCP8.5). También, bajo RCP2.6 se proyecta un descenso en las precipitaciones y escorrentías del orden de  $-10$  a  $-12\%$ , respectivamente, mientras que bajo RCP8.5 las precipitaciones proyectan un descenso de  $-30\%$  y las escorrentías  $-40\%$ . Los mismos autores estipulan que bajo el escenario de menores emisiones (RCP2.6), el manto nival disminuirá entre  $35$  a  $45\%$  a mediados de siglo. Bajo el peor escenario (RCP8.5), el descenso de este manto nival será entre  $75$  a  $85\%$ .

Por otra parte, P. Mardones y Garreaud (2020) proyectan un aumento gradual de la isoterma cero ( $H_0$ ) en Chile central debido al aumento en la temperatura media mundial. Este aumento en  $H_0$  provocaría una disminución del área nival y, por ende, un aumento en el área pluvial lo que generaría mayores escorrentías con menores montos totales de precipitación. Si se considera el aumento de la intensidad y del poder erosivo de la escorrentía, sumado al aumento del área pluvial aportante, se pueden esperar un aumento en el riesgo y potencial peligro a desastres naturales gatillados por eventos atmosféricos, tales como inundaciones y remociones en masa. Esto se podría resumir en un posible cambio del régimen de transporte de sedimentos de las cuencas en Chile central (tasas de movilización, fuentes, volúmenes, etc.).



## 2.4. Marco Geológico

### 2.4.1. Geomorfología

El área de estudio cuenta con 5 unidades morfológicas (de oeste a este): Planicie Litoral, Cordillera de la Costa, Depresión Central, Precordillera y Cordillera Andina (Figura 2.8). El mapa de elevación de la Figura 2.9 fue generado a partir de un DEM (resolución espacial de 30 metros) a modo de poder visualizar la variación en la cuenca.

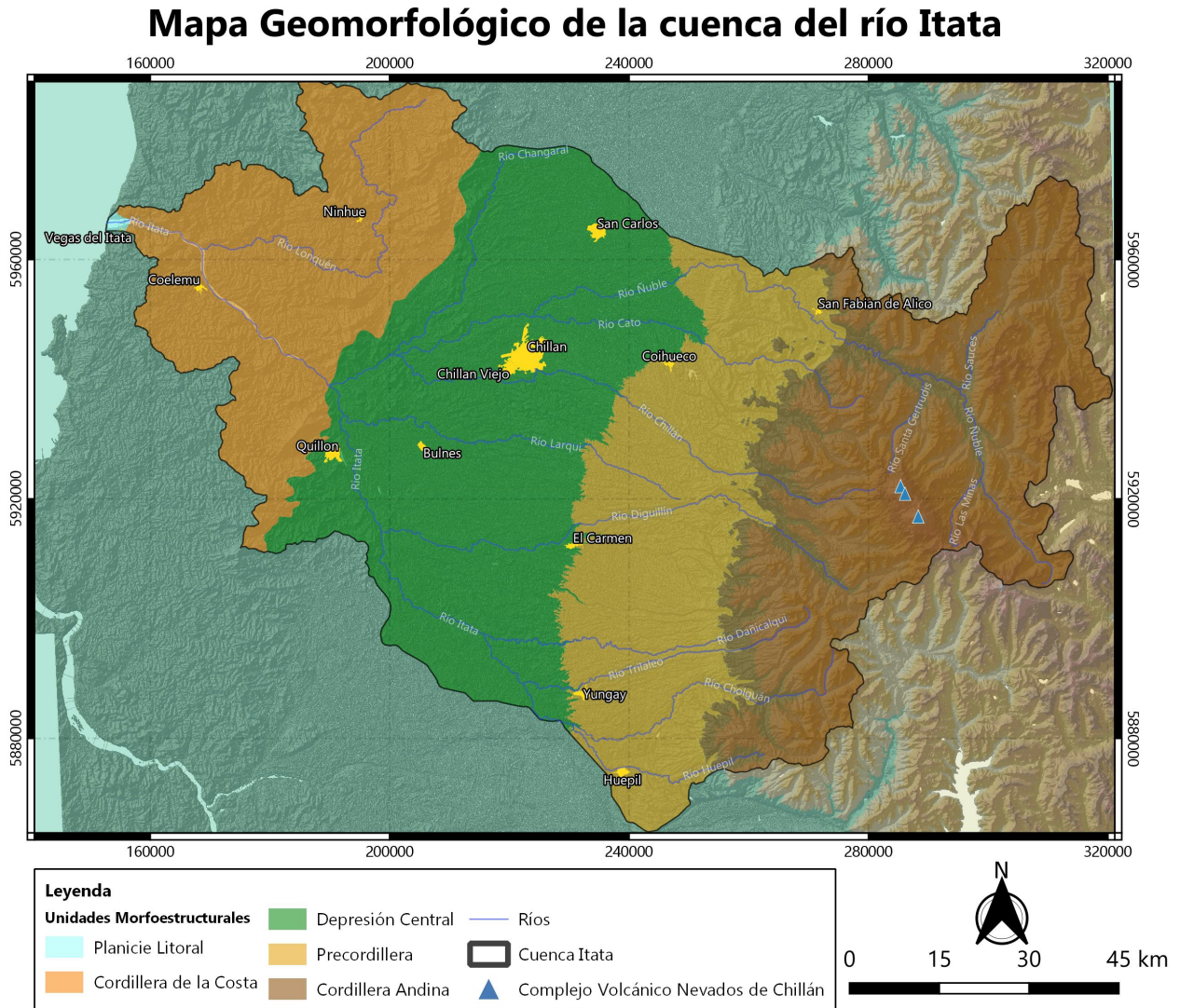


Figura 2.8: Mapa geomorfológico de la cuenca del río Itata basado en el modelo de elevación digital y análisis por matemática de bandas. Elaboración propia

La Planicie Litoral se distribuye de manera discontinua con una altura variable entre 10 a 50 m.s.n.m. Su participación en la cuenca representa una porción muy menor del total del área de estudio.

En cuanto a la Cordillera de la Costa, se presenta como un macizo disectado por cursos fluviales que fluyen hacia el oeste. Este cordón se presenta bajo y fraccionado, con alturas

aproximadas de 500 m.s.n.m. en el sector de Ninhue. Al norte de esta localidad, en dirección al curso inferior del río Itata, la Cordillera de la Costa se diluye en una serie muy compleja de lomajes con cuencas intermontañas, destacando el cerro Coiquén, de 908 m.s.n.m., frente a Ninhue. Desde el curso inferior del Itata al sur, las alturas de la Cordillera de la Costa vuelven a manifestarse con valores cercanos a los 650 m.s.n.m., enmarcando el valle del río Andalién (Ingendesa, 1994).

La Depresión Central corresponde a una llanura entre la Cordillera de la Costa y la Pre-cordillera. Presenta una altitud media de 150 m y se caracteriza por una superficie ondulada hacia el sur siendo las partes más deprimidas las que encauzan los ríos. La mayor amplitud se alcanza en los sectores donde se ubica la ciudad de Chillán (Aquaterra Ingenieros Limitada, 2011).

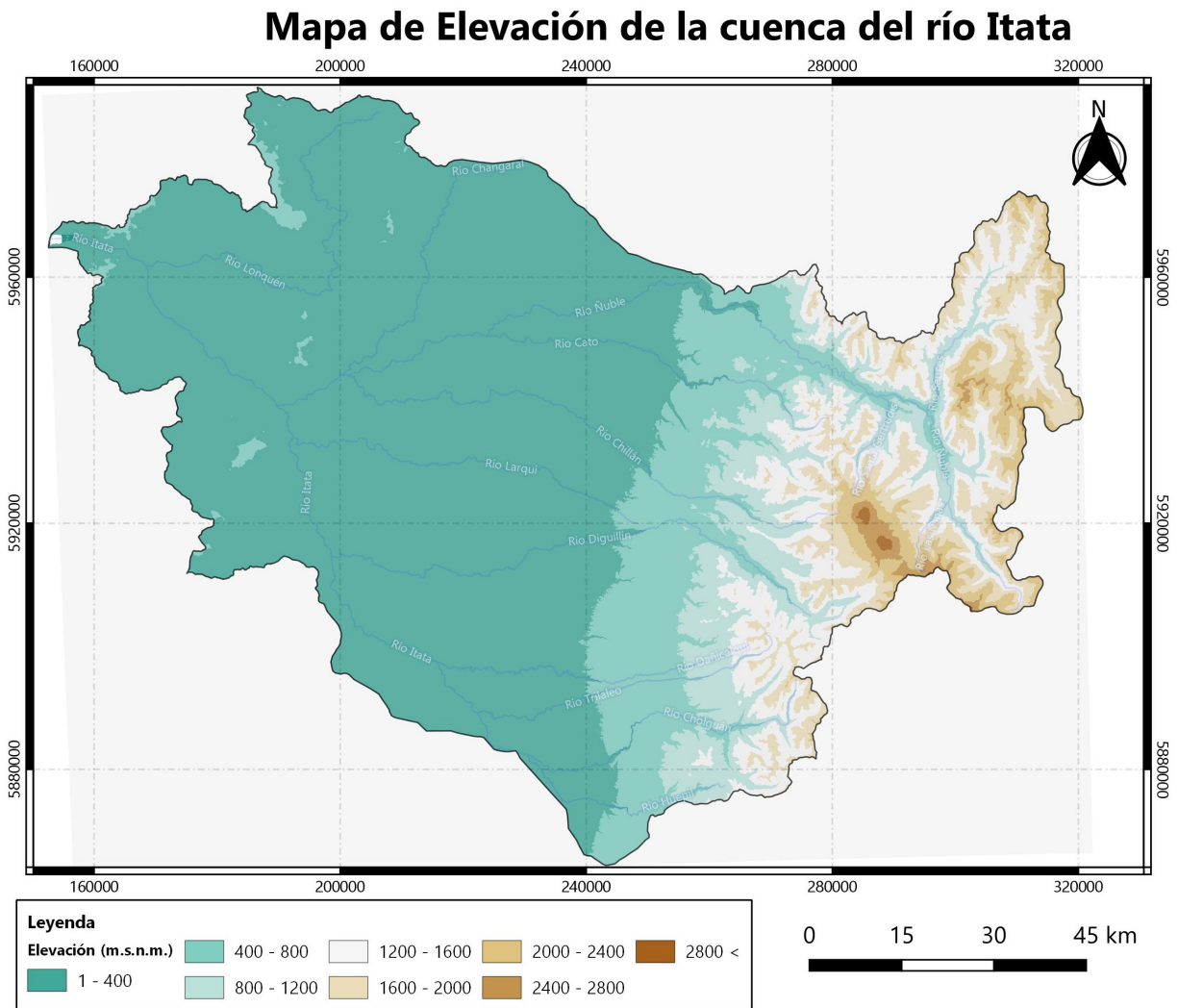


Figura 2.9: Mapa de elevación de la cuenca del río Itata basado en el modelo de elevación digital. Elaboración propia

A la transición entre la Cordillera de los Andes y los Valles Longitudinales se le llama Precordillera. Sus altitudes van entre los 400 y 600 m.s.n.m. Esta unidad morfológica se encuentra profundamente disectada por los ríos que la vadean, tales como el río Ñuble, el Chillán y el Diguillín (Figura 2.8)(Aquaterra Ingenieros Limitada, 2011).



La Cordillera Andina presenta altitudes entre los 1.800 y 2.000 m.s.n.m. y se encuentra disectada por ríos mayores y tributarios de estos. Entre los ríos a destacar está el Ñuble, Chillán, Renegado y Diguillín. Estos cauces escurren por los principales valles actuales de la región de Ñuble, los cuales presentan formas de origen glaciar (valles en forma de ‘U’), por lo general, con laderas abruptas y retrabajadas por la acción fluvial.

Cabe destacar la existencia del Complejo Volcánico Nevados de Chillán. Este se extiende aproximadamente por 9 kilómetros en dirección NO. Tres conos marcan las máximas elevaciones: Chillán Nuevo (3.186 m.s.n.m.), Arrau (3.240 m.s.n.m.), y Chillán Viejo (3.122 m.s.n.m.). Radial al complejo volcánico, se disponen los valles fluvio-glaciares que son el lugar de nacimiento de los ríos Ñuble, Chillán y Diguillín. Sobre el complejo volcánico se advierte la presencia de glaciares que cubren una reducida superficie asociada a la cumbre de los estratovolcanes. Además, se observan numerosas lagunas embalsadas en depresiones producto de los depósitos morrénicos o visibles en los circos glaciares, producto del retroceso de antiguos glaciares (Aquaterra Ingenieros Limitada, 2011).

## 2.4.2. Litología

A continuación se exponen las diferentes rocas y depósitos que afloran en el área de estudio, basado en Gajardo (1981) y SERNAGEOMIN (2003). En la Figura 2.10 se puede apreciar la distribución geográfica de las diferentes litologías y la participación porcentual de cada litología en la Tabla 2.1.

### Rocas Estratificadas

- Pz4b Serie Oriental Basamento Metamórfico (Silúrico-Carbonífero): Las rocas metamórficas que se distribuyen en la región más occidental del área, como una franja prácticamente continua de dirección general NNE-SSW, corresponden según Aguirre et al. (1972) a la serie oriental, compuesta principalmente por esquistos, filitas, gneises y metareniscas, cuyo grado de metamorfismo varía entre las facies esquistos verdes y granulita, y se caracterizan por la aparición sucesiva, de poniente a oriente, de biotitas, andalucitas y sillimanitas según el grado creciente de metamorfismo.
- Tr1m Estratos de Pocillas-Coronel del Maule Quirihue (Triásico Superior): Se distribuyen en el sector noroccidental de la Cordillera de la Costa, en forma de afloramientos prácticamente continuos, entre los 36°05' y los 36°22' de latitud sur. Los autores Moreno et al. (1976) y Lagno (1979) reconocen en estos estratos las siguientes litologías: lutitas pizarrosas, areniscas, lavas y brechas andesíticas, conglomerados de cuarzo, alternancia de andesitas porfídicas, areniscas cuarcíferas con intercalaciones de conglomerados de cuarzo, brechas volcánicas, riolitas y cherts
- OM2c Formación Cura-Mallín (Eoceno-Mioceno Inferior): Está compuesta por una secuencia de rocas piroclásticas, sedimentitas clásticas, tobas, brechas y, subordinadamente, areniscas, conglomerados, lutitas y coladas de lava, de composición intermedia, de colores pardo-rojizas, violáceas, verde, gris, amarillo y blanco. Fue definida por González-Ferran y Vergara el año 1962. En la zona de estudio aflora en la parte oriental, siendo el principal afloramiento presente en la sección de la Cordillera Andina perteneciente a la cuenca del río Itata.

- M3i Mioceno Inferior-Medio: Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas: lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesítico-basálticas a dacíticas.
- PPI3 Formación Cola de Zorro (Plioceno-Pleistoceno): Esta unidad tiene una gran distribución areal en la Precordillera y en la Cordillera Andina. Fue definida por González y Vergara (1962) y su composición litológica local es bastante homogénea y comprende rocas volcánicas correspondientes a lavas y piroclastos. Las primeras, vale decir las lavas, consisten en coladas de carácter andesítico y andesítico-basáltico, gris oscuras a negras, cuyos espesores varían entre 10-60m, con promedios de 30-50m. Las andesitas basálticas presentan estructura de disyunción columnar hexagonal. Las rocas piroclásticas son brechas gris-oscuras, principalmente con clastos andesíticos, interestratificadas en las coladas de lavas. Según IIG-MMAJ (1979), la serie presenta también ignimbritas grises, de composición dacíticas y andesítica, ubicadas estratigráficamente en su parte alta y geográficamente, en el sector norte de los afloramientos. En el río Ñuble afloran conglomerados volcánicos de 50-80m de espesor, compuestos por clastos andesíticos y graníticos que infrayacen a coladas andesíticas con estructura columnar.
- Q3i Cuaternario: Estratovolcanes y complejos volcánicos: En el área de estudio se ubica el complejo volcánico Nevados de Chillan. Está compuesto por brechas y lava andesítico-basáltica negras a gris-rojizas, que sobreyacen, en discordancia de erosión a la Formación Cola de Zorro y cuyo límite superior corresponde a la superficie de erosión actual.

### **Rocas Intrusivas**

- CPg Intrusivos Carboníferos-Pérmicos tonalitas y granodioritas indiferenciadas: Se distribuyen como una franja continua de dirección general NNE-SSO, al oeste de las rocas metamórficas descritas anteriormente, conformando gran parte de la Cordillera de la Costa. Está conformado por un complejo plutónico cuya composición petrográfica varía entre tonalita y granodiorita, con sectores menos extensos de diorita cuarcífera y granito. Este complejo plutónico fue definido por González-Bonorino, 1970; Herve et al. 1976, como el Batolito de la Costa. Tiene una relación de contacto intrusivo con las rocas del basamento metamórfico e infrayace, con discordancia de erosión, a las series sedimentarias y sedimentariovolcánicas del Triásico.
- Jig Jurásico Inferior (202-178 Ma): Dioritas, gabros y monzodioritas de piroxeno, dioritas cuarcíferas y granodioritas y tonalitas de hornblenda y biotita. Ubicados en la Cordillera de la Costa.
- Mimg Intrusivos del Mioceno medio a superior: Constituyen pequeños "stocks", filones y filones-manto de variada forma, dimensión de afloramiento y composición, destacando sienogranitos, monzogranitos, granodioritas tonalitas, dioritas y monzodioritas cuarcíferas.
- Mg Intrusivos Miocénicos: en el área de estudio aflora el Batolito Santa Gertrudis-Bullileo, que corresponde a un extenso complejo plutónico, de orientación general N-S ubicado en la cordillera principal. La composición petrográfica incluye facies de monzogranito, granodiorita, monzonita cuarcífera, monzodiorita cuarcífera y diorita cuarcífera.

## Depósitos No Consolidados

- Pl3t Pleistoceno: Depósitos Piroclásticos: Corresponden a flujos piroclásticos de composición riolítica, asociados a colapso de calderas volcánicas. Este depósito se ubica en la parte sur de la cuenca del río Itata.
- Q3av Depósitos de avalancha volcánica: Asociados a colapso parcial de edificios volcánicos. Los clastos son de composición riolítica a andesítica, con tamaños que varían entre grava gruesa y sedimentos finos. La ubicación de este depósito corresponde a la zona suroccidental del área de estudio.
- Q1g Depósitos glaciares: depósitos morrénicos, fluvio-glaciares y glacialacustres: En las riberas de los principales cauces de agua, los depósitos fluvio-glaciares forman varios niveles de terrazas discontinuas, adosadas a las laderas de los valles, que permiten un buen desarrollo de suelo y vegetación, útiles para la agricultura, la ganadería o para la implantación de casas y poblados. Los materiales que componen los depósitos se presentan relativamente bien estratificados, mal seleccionados e inmaduros, donde participan clastos, de tamaño bloque, grava y arena, englobados en una matriz arenoso-arcillosa. Es probable que la permeabilidad media de estos depósitos alcance unos 10-4 cm/seg. Los depósitos de origen glacial están parcialmente desmembrados por la erosión o cubiertos por los depósitos fluviales. Se pueden reconocer morrenas mayores, asociadas a una glaciación antigua y pequeñas morrenas a glaciares actuales. Estas últimas están relacionadas con los glaciares que cubren las cumbres altas. Se reconocen depósitos morrénicos de más de 100 m de potencia, que dan una típica morfología de lomajes suaves, compuestos por material clástico, anguloso, predominantemente volcánico, que yace en una matriz arenosa de colores grisamarillento y rojizo. Los depósitos morrénicos mencionados fueron asignados al último período glacial o a su etapa de retroceso.
- Qf Pleistoceno-Holoceno: Depósitos fluviales: gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación.
- Q1 Depósitos fluvio-aluviales: sedimentos de valles actuales: En el cauce actual de los ríos y esteros se encuentran depósitos fluviales, torrenciales, donde se mezclan bloques, gravas, arenas y arcillas. Estos depósitos, aunque tienen buen desarrollo sólo en los ríos principales, se encuentran también en cada uno de los cauces menores. Es frecuente observar, en la desembocadura de un cauce menor en otro mayor, abanicos fluviales donde se depositan importantes espesores de arenas y gravas. Estos rellenos actuales debieran tener permeabilidades entre 10-2 y 10-3 cm/seg. Corresponden a las zonas más pobladas y utilizadas en agricultura.

## Estructuras

En la Cordillera de la Costa encontramos la Serie Oriental del Basamento Metamórfico, esta es la única unidad que presenta mayores plegamientos en este cordón donde se evidencian pliegues asimétricos, volcados y recumbentes. Los ejes de estos plegamientos, por lo general, buzanan al oriente con rumbos predominantemente NNE. Las rocas de la formación Cola de Zorro se presentan suavemente basculadas o subhorizontales. En la Cordillera de la Costa y transición de Depresión Central el sistema de fallas N-S controla los acantilados costeros y quiebres de pendientes locales, respectivamente.

El sistema de fallas NNE-SSO, mediante sus estructuras de un desarrollo mayor, controla los cauces principales y tributarios secundarios que van entre cordilleras. Estos suelen tener direcciones similares y son relativamente paralelos. Estos sistemas que produjeron el alzamiento de la Cordillera de la Costa son también responsables de la acumulación de sedimentos en el flanco oriental de esta cordillera. En la Depresión Central, el fallamiento y/o fracturamiento se encuentra cubierto por los depósitos pleistocenos y holocenos.

En la Precordillera y Cordillera Andina fueron reconocidas tres discordancias angulares relacionadas con episodios compresivos y tres discordancias erosivas. En el plegamiento que afecta a las unidades pre-pliocénicas están representadas tres fases tectónicas compresivas, superpuestas, que generan sistemas de sinclinales y anticlinales. Los sistemas de fallas mencionados son por lo general de gran ángulo con desplazamiento de tipo normal. Estas se manifiestan en escarpes, brechas de fallas y zonas cataclásticas (Aquaterra Ingenieros Limitada, 2011).

### Mapa Litológico de la cuenca del río Itata

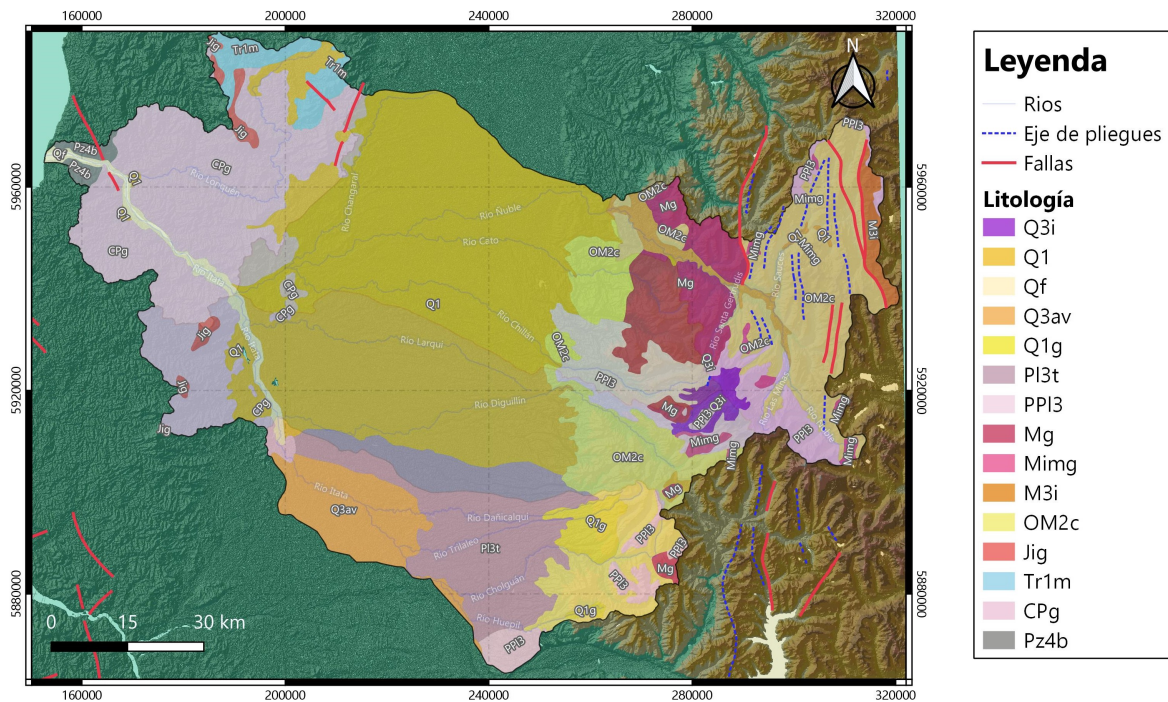


Figura 2.10: Mapa geológico de la cuenca del río Itata. Modificado de SERNAGEOMIN (2003)

Tabla 2.1: Porcentaje de presencia de cada litología por subcuenca y cuenca total. *IB=Itata Bajo*, *IMA=Itata Medio-Alto*, *ÑB=Ñuble Bajo*, *ÑA=Ñuble Alto*, *CT=Cuenca Total*

<b>Litología</b>	<b>IB [%]</b>	<b>IMA [%]</b>	<b>ÑB [%]</b>	<b>ÑA [%]</b>	<b>CT [%]</b>
Q3i	0	1	0,6	1,7	0,8
Q1	9,7	33	70,6	6,9	34,7
Qf	4,6	1,1	0	0	1,3
Q3av	0	9,6	0	0	3,9
Q1g	0	3,1	0	0	1,2
Pl3t	0	21,5	0	0	8,8
PP13	0	5,7	9,5	13,1	6,9
Mg	0	1	8,4	16,3	5,2
Mimg	0	0,6	0	2,7	0,7
M3i	0	0	0	4,7	0,7
OM2c	0	15,1	7	54,6	16,7
Jig	2,5	0,5	0	0	0,6
Tr1m	9,1	0	0	0	1,6
CPg	71,2	7,8	3,8	0	16,3
Pz4b	3	0	0	0	0,5

## 2.5. Uso de Suelos

La cuenca del río Itata se muestra altamente trabajada y explotada por actividad agrícola y forestal. De acuerdo a Aguayo, Pauchard, Azócar, y Parra (2009), cerca del 20 % del área de la hoya hidrográfica corresponde a bosque nativo, 30 % corresponde a terreno ocupado por los monocultivos forestales, 27 % a terreno ocupado por la agricultura y al rededor del 0,41 % corresponde a zona urbana con asentamientos humanos (Tabla 2.2).

### 2.5.1. Cambios en el uso de suelos

Cabe destacar la imponente presencia de la industria forestal en la transición de las diferentes coberturas vegetales. Aguayo et al. (2009) resaltan las diversas modificaciones que han ocurrido en las últimas décadas, señalando una transformación inicial del paisaje producto de la habilitación de campos agrícolas a expensas de la tala o quema de la vegetación nativa que cubría gran parte del territorio. Además, en la cordillera de la costa extensas superficies de trigo reemplazaron al bosque nativo, y en el valle central y cordillera andina la vegetación natural fue aprovechada como combustible y talada para el abastecimiento de cultivos y praderas (Millán y Carrasco, 1993).

Entre 1979 y 2000 el 64 % de los cambios ocurridos en la cuenca fue producto del avance de las plantaciones forestales sobre terrenos agrícolas, matorrales y bosque nativo a una tasa anual del 10.5 %. La tasa de pérdida de bosque nativo en la cuenca corresponde a un 1,6 % anual y la tasa de crecimiento urbano corresponde al 3,8 % anual (Aguayo et al., 2009).

Tabla 2.2: Uso de suelos contrastando el año 1979 y el año 2000 en la cuenca del río Itata. Tomado de Aguayo et al. (2009)

Cobertura	% 1979	% 2000	km <sup>2</sup> 1979	km <sup>2</sup> 2000	Tasa (%)
Bosque nativo	27,9	20,02	3.158	2.266	-1,6
Matorral	24,2	13,41	2.739	1.518	-2,8
Estepa	5,6	5,58	634	632	0,0
Plantaciones forestales	3,4	30,09	385	3.406	10,5
Terrenos agrícolas	35,6	26,93	4.030	3.049	-1,3
Cuerpos de agua	0,3	0,45	34	51	1,4
Nieve	0,2	0,28	23	32	0,7
Áreas sin vegetación	2,6	2,83	294	321	0,5
Áreas urbanas	0,2	0,41	23	46	3,8

## 2.5.2. Clasificación de suelos

La clasificación estipulada por las Normas y Principios del Servicio de Conservación de Suelos en los Estados Unidos de América (NPSCSEUA) jerarquiza con 8 clases, las cuales se exponen en la Tabla 2.3. Por limitaciones en cuanto a la disponibilidad de información hay una gran área, correspondiente a la subcuenca de Ñuble Alto, que no presenta información sobre el uso de suelos. Basándose en las características de esa zona: altitud, potencial erosivo y pronunciada pendiente se presume que en su mayoría corresponde a suelos del tipo VI-VII-VIII.

Tabla 2.3: Clasificación de uso de suelos según las NPSCSEUA.

Clase	Descripción	Atributos críticos del suelo
I	Suelo Arable	Suelos planos, profundos, sin pedregosidad, bien drenados y no presentan erosión aparente.
II	Suelo Arable	Pendiente suave (hasta 5 %), moderada profundidad, drenaje moderado, ligera pedregosidad y erosión.
III	Suelo Arable	Moderada inclinación (cercana a 8 %), ligeramente pedregosos y gravosos, drenaje imperfecto, moderada erosión, inundación frecuente.
IV	Suelo Arable	Pendiente de hasta 15 %, abundante pedregosidad, delgados, drenaje imperfecto, erosión moderada, inundación frecuente
V	Suelo No Arable	Suelos depresionales, inundados, suelen presentar una estrata impermeable, estrato superior con +20 % de materia orgánica.
VI	Suelo No Arable	Suelos generalmente usados para ganadería o forestales, moderadamente escarpados, abundante pedregosidad, excesivamente drenados, erosión severa.
VII	Suelo No Arable	Suelos generalmente usados para ganadería o forestales, escarpados o de cerros, muy abundante pedregosidad, excesivamente drenados, erosión muy severa, inundaciones muy frecuentes
VIII	Suelo No Arable	Suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal, su uso está limitado solamente para la vida silvestre, recreación o protección de hoyas hidrográficas.

A continuación, se muestra un mapa con los usos de suelo del CIREN, con el respectivo vacío de información comentado previamente. Luego se muestra una tabla de resumen con el porcentaje de participación de cada clasificación por subcuenca (Tabla 2.4) y en la cuenca total. El área total a valorar no toma en consideración la sección de la subcuenca Ñuble Alto.







## 2.6. Erodabilidad

La erosión es un proceso geológico natural que ocurre en la superficie de la tierra. Esta se encuentra constantemente perdiendo material, por medio de la meteorización y transporte de material (Peña, 1999).

La erosión puede fácilmente convertirse en un peligro para la sociedad actual, produciendo aluviones, flujos de detritos, enturbiamiento de los cuerpos de agua, inhabilitación de cultivos por erosión de nutrientes, etc. Estos eventos suelen ser gatillados por la escorrentía producto de las precipitaciones intensas, las que ocurren cuando la duración de la precipitación y volumen de esta es mayor que la capacidad de infiltración en la superficie. Una vez esta escorrentía inicia, la cantidad y tamaño de las partículas arrastradas aumenta junto al aumento de la velocidad de la escorrentía (Jain y Kothyari, 2000).

La erosión de los suelos, no solo transforma el paisaje en un ambiente degradado, sino que también condiciona el uso que el humano le pueda asignar a los suelos, perturba el desarrollo de la vegetación y el natural curso de los ríos, añadiendo o extrayendo material de los canales (Peña, 1999).

Es por lo mencionado previamente que es fundamental conocer los potenciales riesgos asociados a estos procesos y tomar medidas en las planificaciones urbanas. El mapa de la Figura 2.12 (obtenido de CIREN) cuantifica estos peligros basándose en los datos de las estaciones meteorológicas (agresividad climática), análisis de DEM (agresividad de escurrimiento, tomando pendientes, microcuencas, coeficiente orográfico y densidad de drenaje) y trabajos anteriores de estudio de suelo (estabilidad estructural y resistencia al arrastre, considerando textura, materia orgánica, permeabilidad y profundidad). La graduación de 1 a 5 es una ponderación de los riesgos físicos y los riesgos topográficos lo cual entrega una probabilidad de ocurrencia, donde 1 corresponde al menor riesgo potencial y 5 al mayor (Flores et al., 2010).

Como se puede observar en la figura, los mayores peligros potenciales se concentran en las altas cumbres (Complejo Volcánico Nevados de Chillán), esto debido a su baja cubierta vegetal, alta pendiente y exposición a la intemperie. Luego, siguen las laderas bajas del Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Precordillera y Cordillera de la Costa. Finalmente, corresponde a la Depresión Intermedia la zona de menor peligro de erosión potencial.

## Mapa de Riesgo de Erosión Potencial Cuenca del río Itata

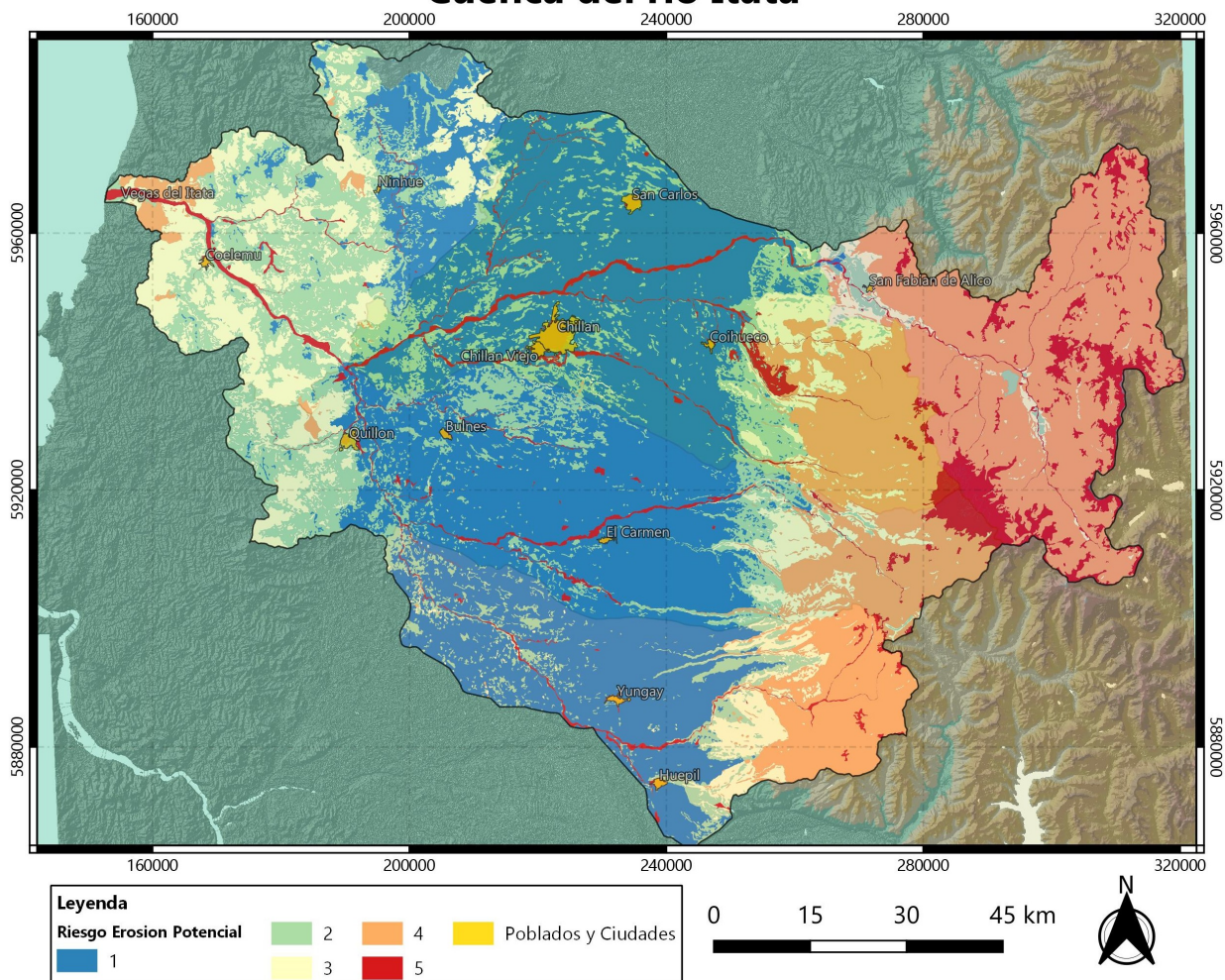


Figura 2.12: Mapa de riesgos de erosión potencial en la cuenca del río Itata. Shapefiles tomados y modificados de CIREN (fecha de publicación 2010). La graduación va de 1 (riesgo bajo) a 5 (riesgo alto).

## 2.7. Infraestructura

A continuación, se muestran las infraestructuras más relevantes (mayor impacto visible por medio de inspección de los cauces) de la cuenca. La Tabla 2.5 entrega la localidad donde se ubican, el tipo de infraestructura, año de construcción y grado de intervención. Este último se gradúa de 1 a 4, siendo 1 una infraestructura que desvía el curso y lo acumula muy lejos del cauce. El grado 2 son infraestructuras que desvían cursos de agua de manera intermitente. El grado 3 son aquellas que desvían cursos de agua de manera constante y el grado 4 son aquellas infraestructuras que se ubican directamente en el cauce. La Figura 2.13 muestra la ubicación geográfica de las infraestructuras mencionadas.

Tabla 2.5: Infraestructuras relevantes

Ubicación	Tipo	Año de construcción	Grado Intervención
El Carmen	Bocatoma	2006 <sup>a</sup>	3
Huepil	Bocatoma	2000	3
Coihueco	Embalse	1971	1
La Punilla	Embalse	2016	4
La Cascada	Presa	1900 <sup>b</sup>	4
Balsa Nueva Aldea	Planta de celulosa	2004	2

<sup>a</sup> La información sobre el año de ambas bocatomas fue proporcionada vía correo electrónico por la Junta de Vigilancia del río Diguillín

<sup>b</sup> La información sobre el año de edificación fue proporcionada por Cesar Vivallos, propietario del centro recreativo del lugar

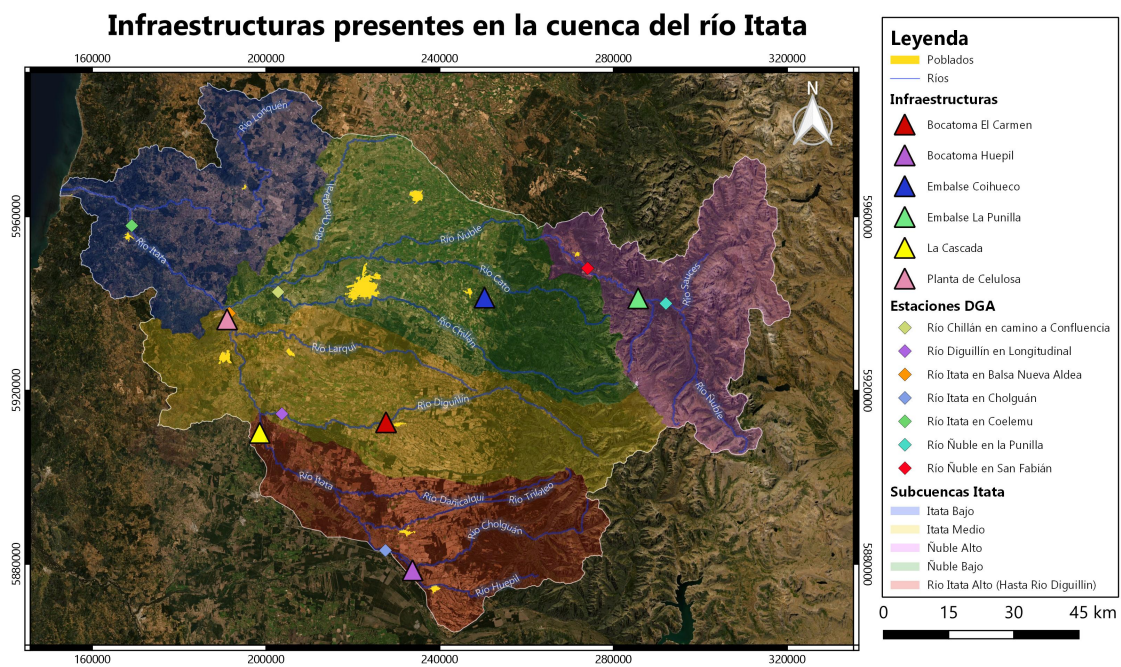


Figura 2.13: Mapa de las infraestructuras observables en la cuenca. Estas son aquellas que desvían, canalizan o retienen cursos de agua.

# Capítulo 3

## Resultados

En el presente capítulo se expondrán los resultados obtenidos a lo largo de este estudio. En una primera instancia se calcularon los aspectos hidrológicos y geomorfológicos de la cuenca en general, analizando sus subcuencas de forma independiente. Para esta etapa se analizó el registro a nivel río kilómetro, es decir, el desarrollo a lo largo del cauce. Además, se estudiaron los registros completos de caudal, concentración de sedimentos y carga sedimentaria ( $Q_s$ ) para comprender el comportamiento de cada subcuenca durante el periodo de estudio. Posteriormente se presentan los resultados obtenidos del registro de cada estación, sus series de tiempo y comportamiento en el periodo de estudio sumado al análisis de las anomalías en el registro. Luego, se presentan los resultados en cuanto a una caracterización del balance sedimentario de la cuenca para finalizar con la caracterización de los regímenes sedimentarios. La metodología para la obtención de estos datos es la presentada en la Sección 1.5.

### 3.1. Aportes por río kilómetro (rKm)

Con la finalidad de caracterizar el desarrollo longitudinal de la cuenca en sus diferentes aspectos (área aportante, caudal y descarga de sedimentos), se generaron gráficos basados en la información obtenida del manejo espacial de la cuenca. Esta información fue calculada por medio del software QGIS y procesada en R (Anexo 5.A).

La Figura 3.1 representa el aumento gradual del área aportante a la cuenca según sus diferentes tributarios. De esta figura se puede observar que la confluencia del río Itata con el río Ñuble implica un aumento de más del doble de área de influencia, siendo el río Ñuble el tributario de mayor aporte. Luego del río Ñuble los mayores aportantes son el río Diguillín, río Larqui y el río Lonquén, en orden decreciente.

La Figura 3.2 y 3.3 representan el aporte de caudal y carga de sedimentos ( $Q_s$ ), respectivamente, medido en las estaciones fluviométricas y sedimentométricas consideradas en este estudio. En todas las figuras mencionadas se divide la información en promedio según periodo de estudio, pre-sequía (línea azul) y sequía (línea roja). De la Figura 3.2 se puede notar que el mayor aumento de caudal ocurre en la confluencia con el río Ñuble (entre estaciones río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) y río Itata en Coelemu (ICO), este aumento es de un 180 % en el periodo de pre-sequía y de 200 % en el periodo de sequía, contrastando el río antes de la confluencia con el río Ñuble y después de esta. En una escala más general de la cuenca, el río Ñuble y Chillán aporta el 70,3 % del caudal final, el río Diguillín el 12 % y



el río Cholguán el 12%. El 5,7% restante se distribuye entre los afluentes no controlados. Luego, contrastando la curva de ambos periodos se puede estimar una disminución del 30% del caudal en las estaciones río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) y río Itata en Coelemu (ICO) del periodo de pre-sequía al periodo de sequía. En ICD (río Itata en confluencia con río Diguillín) la disminución fue del 20% y en río Itata en Cholguán (ICH) del 12%.

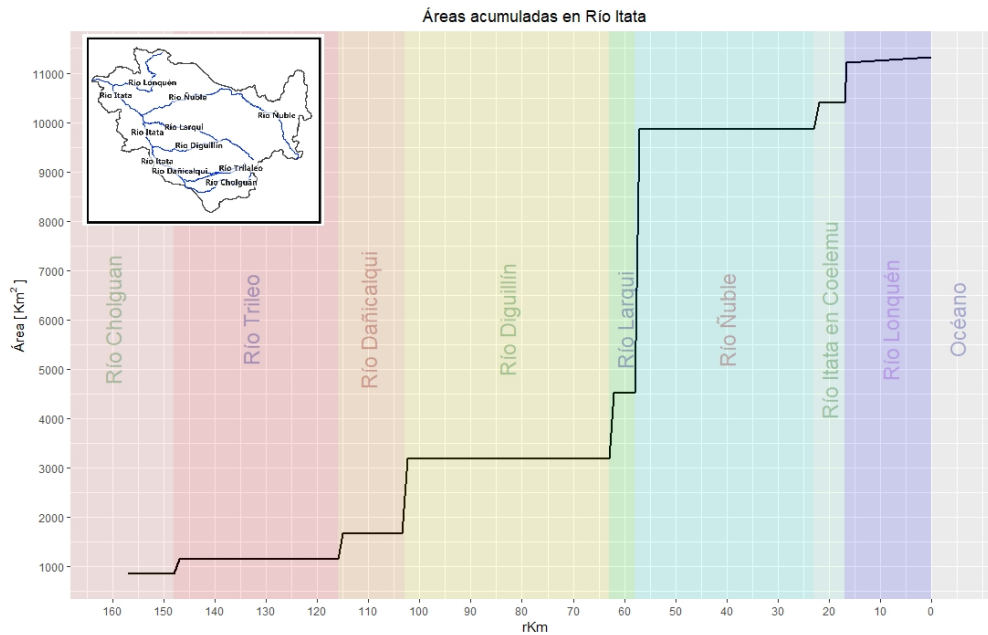


Figura 3.1: Desarrollo longitudinal (rKm) de la cuenca del río Itata.

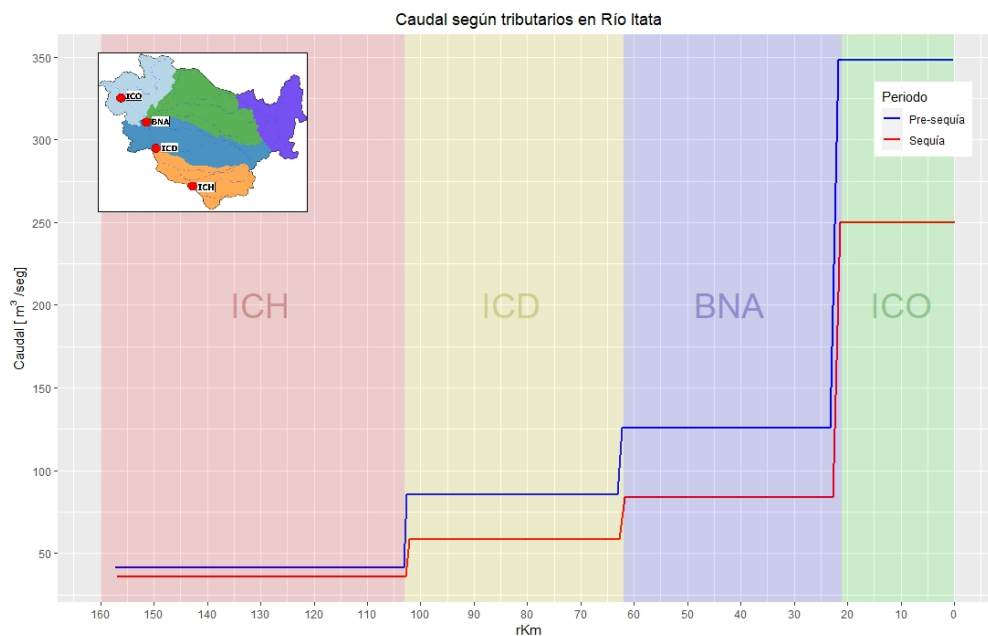


Figura 3.2: Aporte de caudal según el desarrollo longitudinal (rKm) de la cuenca del río Itata. El código ICD corresponde a la confluencia del río Itata con el río Diguillín. El recuadro superior izquierdo indica la ubicación espacial de los códigos mencionados en la figura.

En la Figura 3.3 se aprecia el brusco aumento de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) en la confluencia del río Itata con el río Ñuble, un aumento del orden de 360% en periodo de pre-sequía y 200% en sequía. El siguiente gran aumento corresponde a la confluencia del río Itata con el río Diguillín, donde en el periodo pre-sequía corresponde a un aumento del 300%, mientras que en el periodo de sequía el aumento fue de un 40%. Luego, lo que llama más la atención es la notoria diferencia entre la carga sedimentaria ( $Q_s$ ) en el periodo de pre-sequía en contraste con el periodo de sequía, denotando un descenso del 74,2% en la estación río Itata en Coelemu (ICO), variando del orden de 65.500 [ton/mes] a 17.000 [ton/mes]. El río Ñuble aporta del orden del 80% del total de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) monitoreados hasta la estación río Itata en Coelemu (ICO).

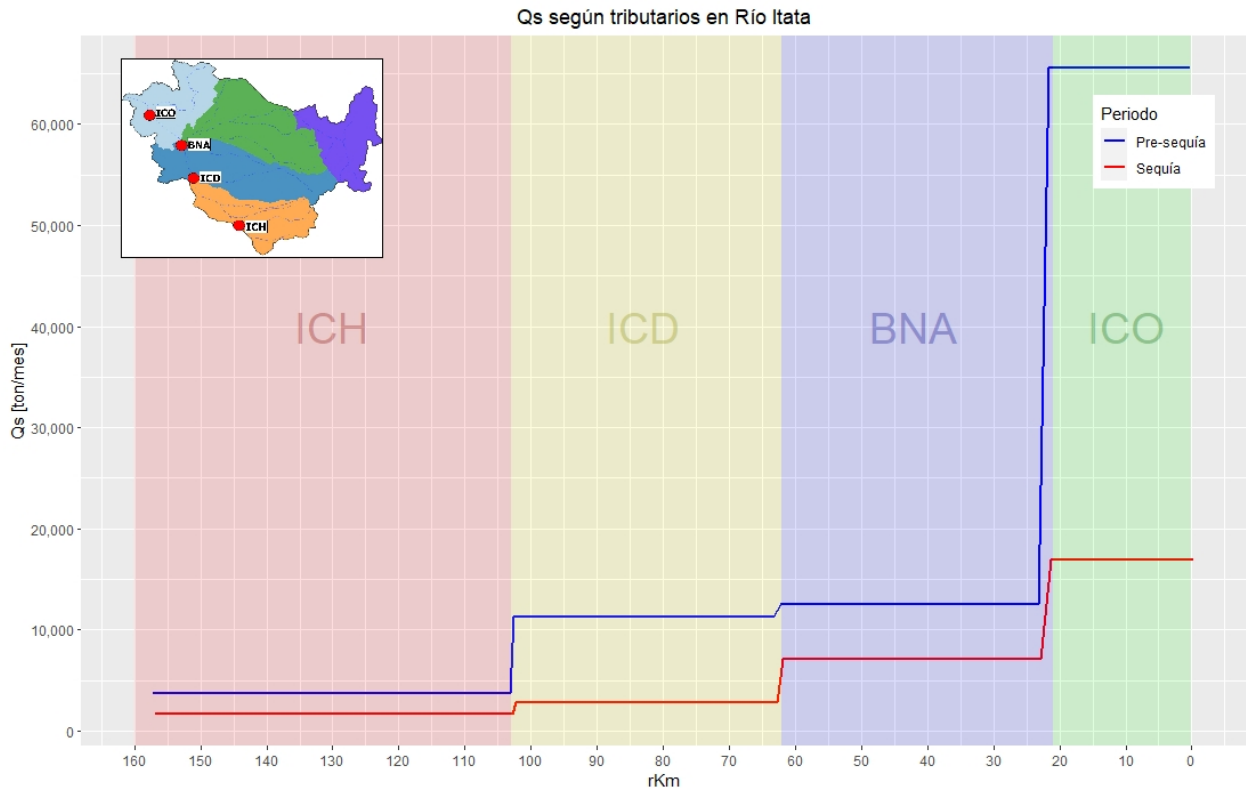


Figura 3.3: Aporte de carga de sedimentos ( $Q_s$ ) según el desarrollo longitudinal (rKm) de la cuenca del río Itata. El código ICD corresponde a la confluencia del río Itata con el río Diguillín. El recuadro superior izquierdo indica la ubicación espacial de los códigos mencionados en la figura.

## 3.2. Hidrología por estación

Siguiendo la metodología plasmada en la Sección 1.5, y por medio de un código en R, se generaron gráficos de dispersión de caudal y carga sedimentaria ( $Q_s$ ) de la totalidad de los datos brutos (sin relleno) para el periodo completo (1986-2017). Estos gráficos se presentan por estación de monitoreo y los colores representan los meses, aquellos colores más cálidos son los meses de verano y colores más fríos, representan los meses de invierno (Figura 3.4). Los puntos negros corresponden al promedio aritmético de todos los datos correspondiente a ese mes y la recta negra a la regresión entre dichos puntos. El recuadro inferior muestra la ubicación de la estación.

De la Figura 3.4 se puede ver que en todas las estaciones los meses de Enero, Febrero y Marzo corresponden a aquellos meses de menor movilidad de sedimento, es decir, menores montos de caudal y de carga sedimentaria ( $Q_s$ ). Por otra parte, los meses de Junio y Julio son los de mayor movilidad de sedimento en todas las estaciones. Observando casos más puntuales, el mes de Agosto también aparece como uno de los de más alta movilidad de sedimento en las estaciones río Chillán en camino a Confluencia (CCC), río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) y río Itata en Coelemu (ICO). Para esta última (ICO) junto a las estaciones río Diguillín en Longitudinal (DEL) y río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF) el mes de Mayo también presenta los mayores montos en la movilidad de sedimento. Finalmente, para todas las estaciones el mayor aumento mensual en la movilidad de sedimentos corresponde a la temporada Abril a Mayo.

Gráficos de caudal versus carga sedimentaria.

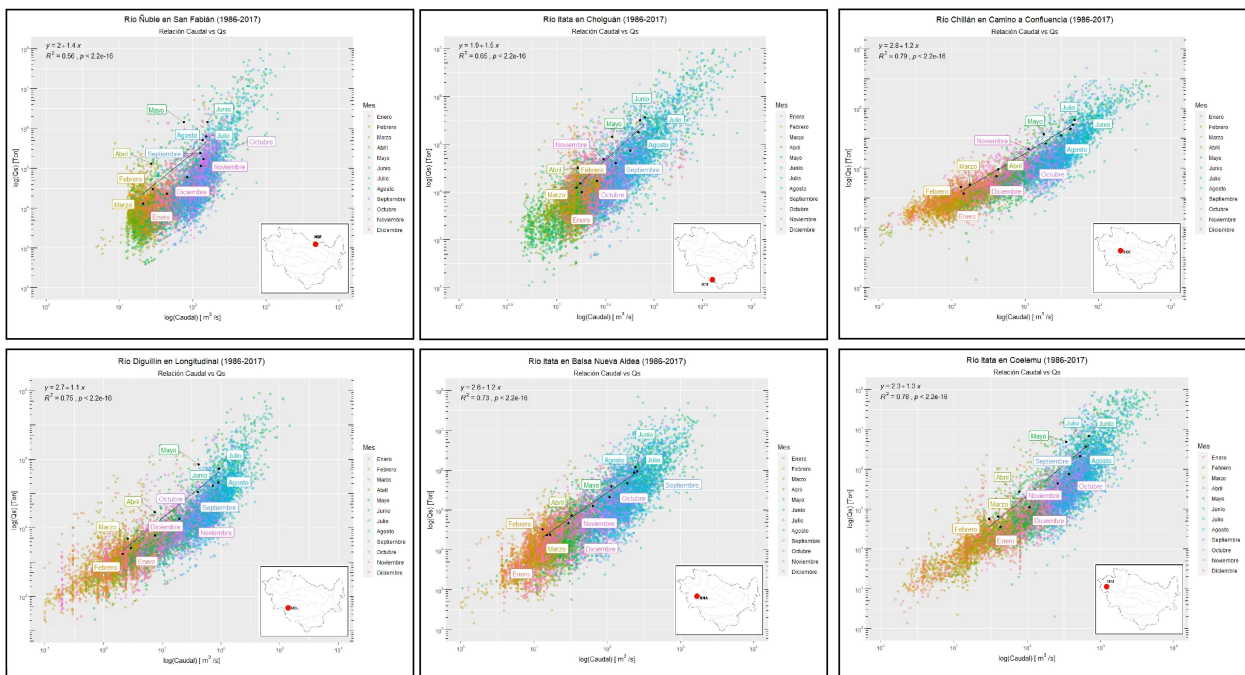


Figura 3.4: Diagramas de dispersión de todas las estaciones para las variables de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) y caudal.

### 3.3. Series de tiempo por estación

Con el fin de representar la evolución temporal de caudal y flujo de sedimento en la cuenca se presentan los gráficos del registro total de caudal rellenado, concentración de sólidos suspendidos y carga sedimentaria ( $Q_s$ ) para todas las estaciones utilizadas en este estudio. Las estaciones se presentan de cordillera a océano y los gráficos representan los montos promedio para cada año y los montos promedio para cada mes de cada año. Cabe destacar que para caudal y concentración de sólidos en suspensión corresponde a promedios diarios y para carga sedimentaria ( $Q_s$ ), son la suma de los montos diarios para cada mes y luego se calculó el promedio para cada año a modo de obtener valores más representativos. La Tabla 3.1 resume los resultados obtenidos del test ANOVA entre el periodo de pre-sequía y el periodo de sequía para cada estación (Davis, 2002).

Para la estación río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF) se puede ver un máximo de caudal en Junio de 1993 (Figura 3.5). Los montos promedios anuales oscilan entre los 50 a los 150 [ $m^3/s$ ] y los montos promedio mensual muestra máximos de hasta 470 [ $m^3/s$ ] y mínimos de 20 [ $m^3/s$ ]. Al observar los valores mensuales, se puede ver una tendencia a disminuir estos valores con el pasar de los años, perdiendo los máximos. Al realizar el test de ANOVA entre los dos periodos de estudio, este test arrojó un p-valor de 0.02, lo cual muestra una alta significancia entre periodos, por ende son estadísticamente diferentes.

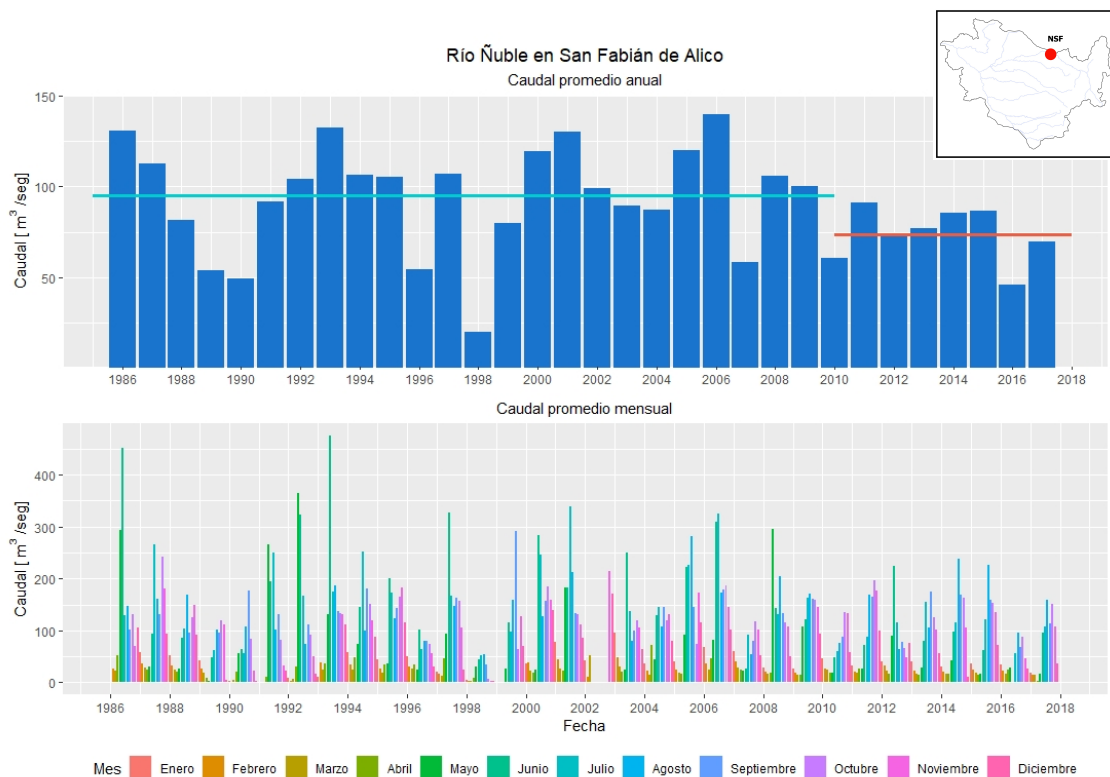


Figura 3.5: Series de tiempo en estación río Ñuble en San Fabián de Alico. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de caudal del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de caudal del registro.



En las series temporales de concentración de sólidos en suspensión totales en la estación río Ñuble en San Fabián (NSF) (Figura 3.6) se observa un aumento en los montos tanto anuales como los promedios mensuales en el periodo de sequía con respecto al de pre-sequía. Se identifica un gran máximo el mes de Mayo del 2008 con montos cercanos a los 180 [mg/l]. El registro deja ver una serie de vacíos en el periodo de pre-sequía, de 1990 a 1993 y en 1997 al 2000.

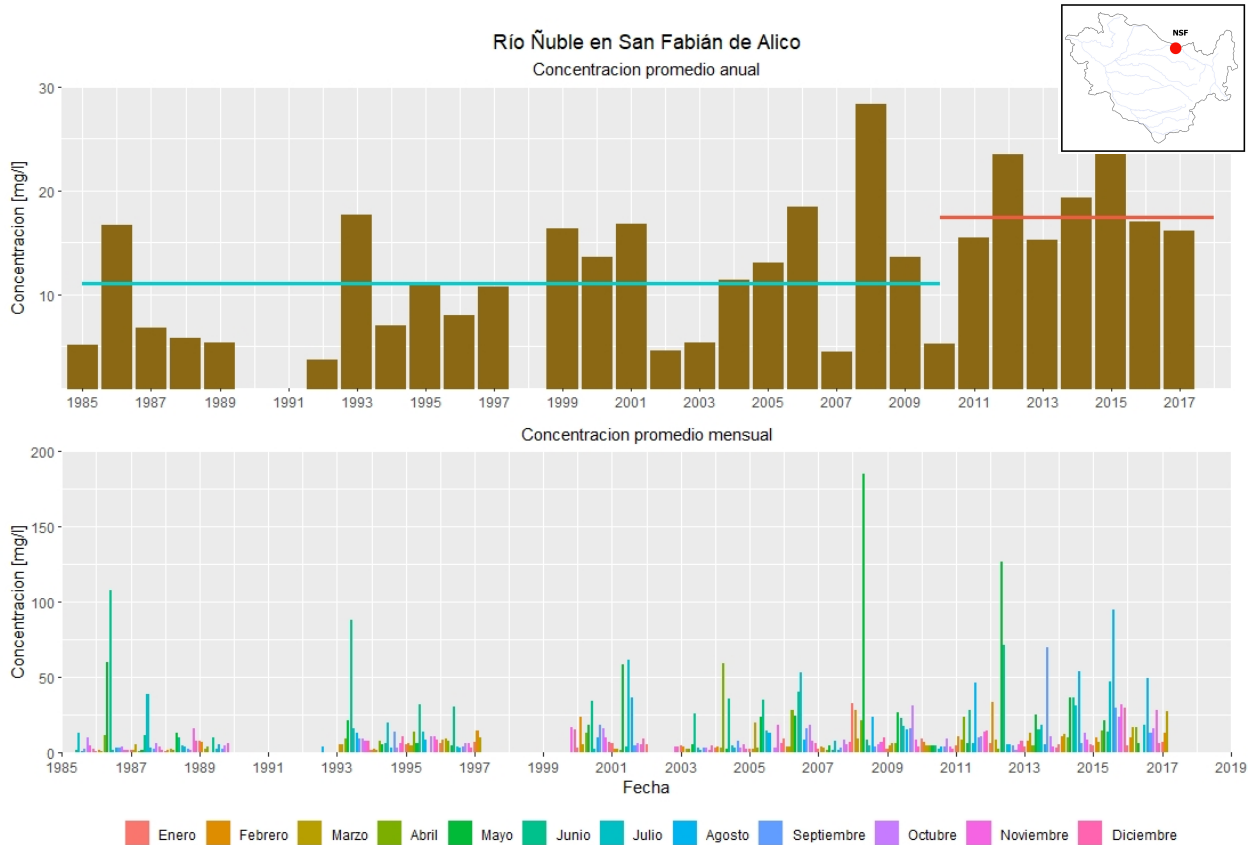


Figura 3.6: Series de tiempo en estación río Ñuble en San Fabián de Alico. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de concentración de sólidos en suspensión totales (SST) del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de concentración de sólidos en suspensión totales (SST) del registro.

En cuanto a la carga sedimentaria ( $Q_s$ ) (Figura 3.7) los máximos ocurren en Junio de 1986 y Mayo del 2008, presentando montos de ordenes de magnitud mayores que los demás meses. Los vacíos existentes son producto del incompleto registro. En cuanto a los promedios anuales, se puede ver que entre el periodo de pre-sequía y el periodo de sequía la diferencia es muy pequeña ( $-4, 16\%$ ).

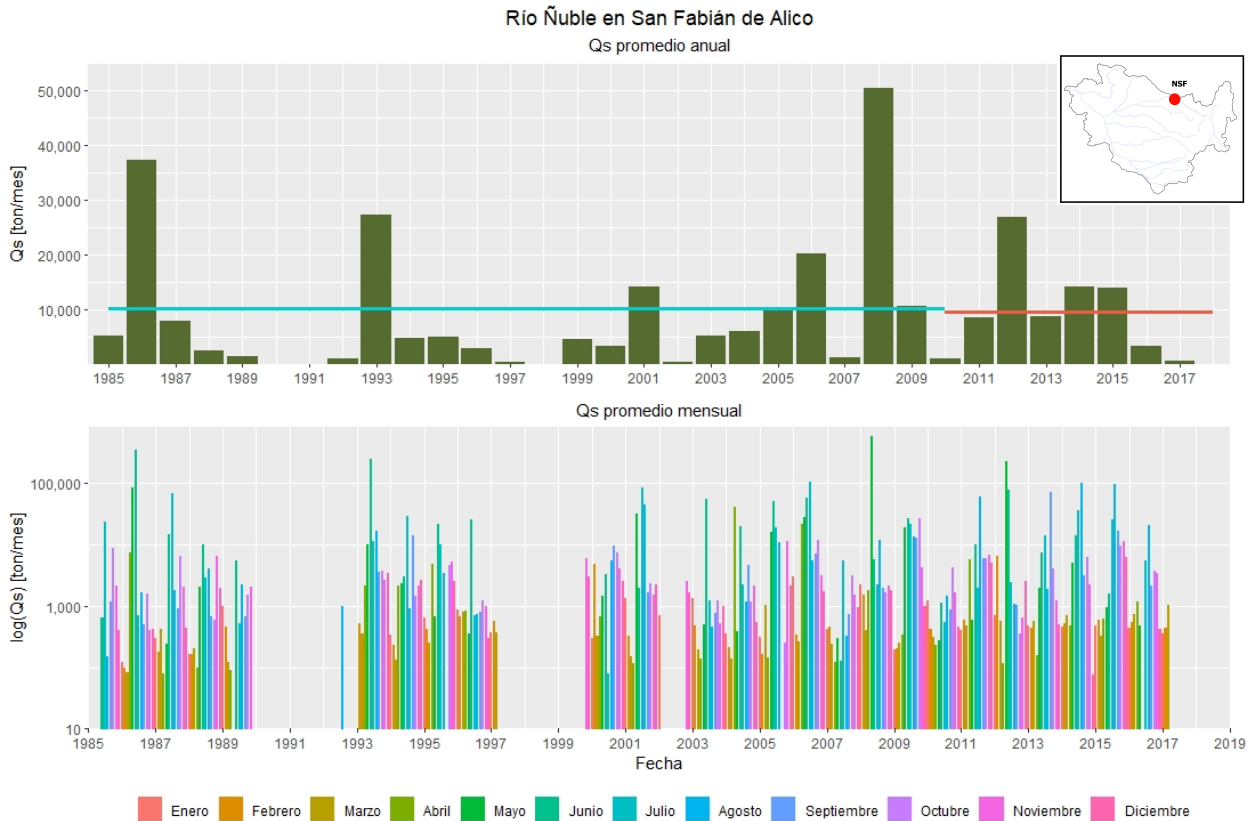


Figura 3.7: Series de tiempo en estación río Ñuble en San Fabián de Alico. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) del registro.

En cuanto a la estación río Itata en Cholguán (ICH) el máximo observado de caudal corresponde a Junio de 1993 alcanzando más de  $250 [m^3/s]$  seguido por los  $220 [m^3/s]$  observados en Julio del 2001 (Figura 3.8). Los montos oscilan entre los 10 a los  $250 [m^3/s]$  a escala mensual y 17 a  $60 [m^3/s]$  a escala anual. Ahora bien, se observa una disminución de los máximos mensuales con el pasar de los años. El p-valor del test ANOVA arrojó un valor de significancia de 0.26, mostrando una baja significancia en la diferencia entre los dos periodos de estudio.

El registro de concentración de solidos en suspensión totales en la estación río Itata en Cholguán (ICH) (Figura 3.9) muestra una fuerte disminución en los promedios tanto anuales como mensuales a partir del 2003. Se identifica un importante máximo en Mayo de 1997 con un monto cercano a  $135 [mg/l]$ . A escala anual, el promedio del periodo sequía es menor al del periodo de pre-sequía.

Por su parte, los montos de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) presentan un máximo en Julio del 2001 ( $+150.000 [ton/mes]$ ) seguido de Junio de 1986 ( $+80.000 [ton/mes]$ ) (Figura 3.10). Los montos oscilan entre 250 a  $15.000 [ton/mes]$  a escala anual y entre 200 a  $150.000 [ton/mes]$  a escala mensual. Luego del máximo del 2001, se puede ver una leve tendencia a decrecer en los montos mensuales de carga sedimentaria ( $Q_s$ ), puntualmente existe una disminución de los máximos mensuales.

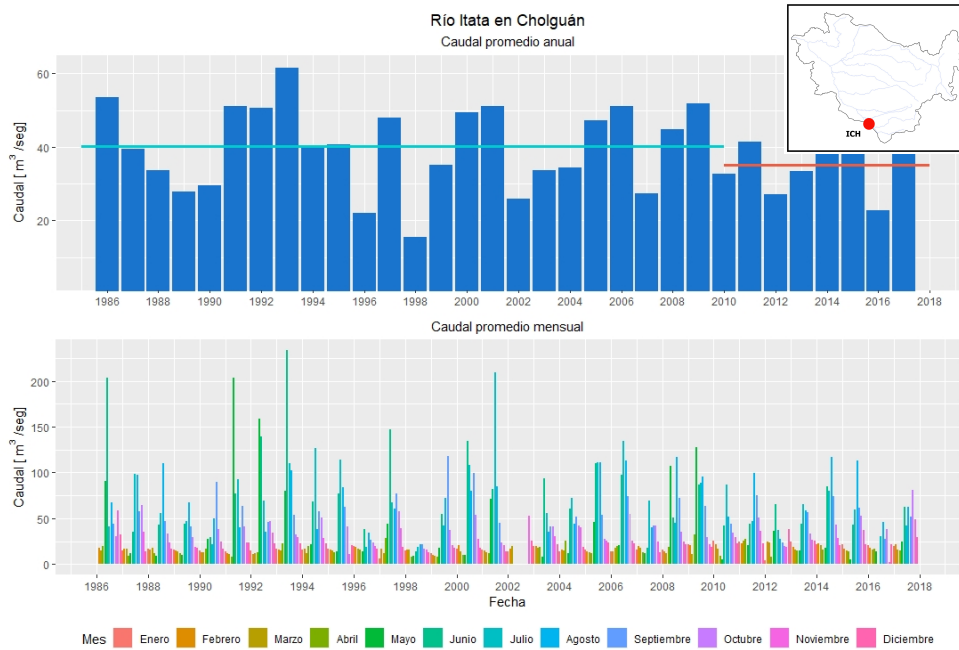


Figura 3.8: Series de tiempo en estación río Itata en Cholguán. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de caudal del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de caudal del registro.

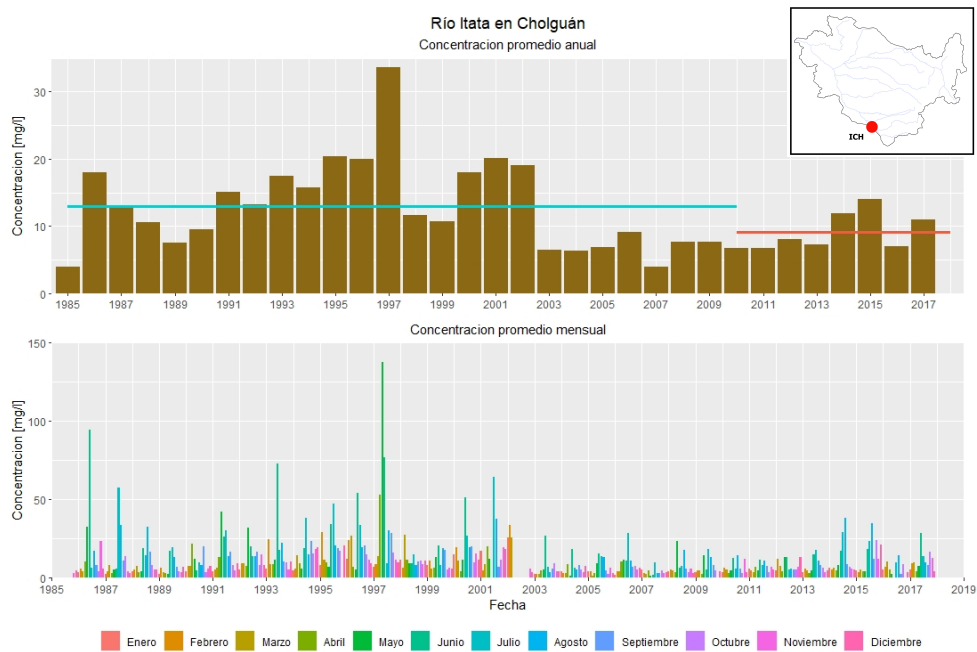


Figura 3.9: Series de tiempo en estación río Itata en Cholguán. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de concentración de solidos en suspensión totales (SST) del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de concentración de solidos en suspensión totales (SST) del registro.

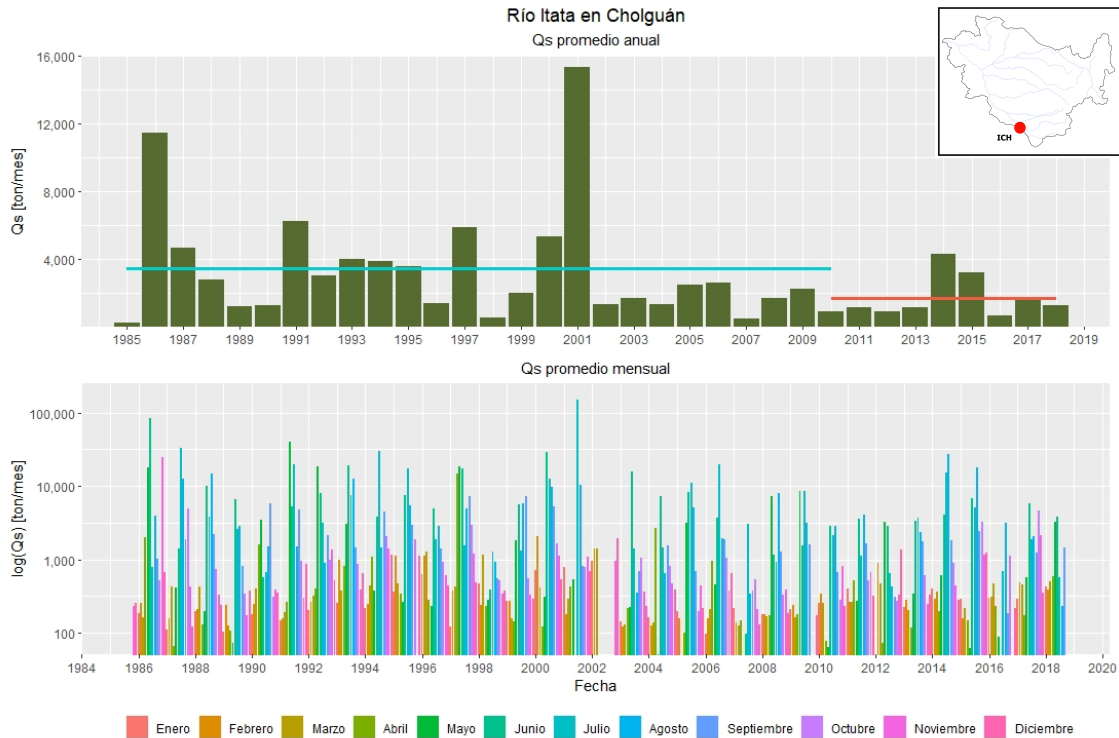


Figura 3.10: Series de tiempo en estación río Itata en Cholgúan. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) del registro.

En la estación río Chillán en camino a Confluencia (CCC) el máximo mensual se observa en Julio del 2001 con un caudal de  $160 [m^3/s]$  seguido por Junio de 1993 con un caudal de  $155 [m^3/s]$  (Figura 3.11). Luego del 2001, no se observan máximos comparables y se puede notar una tendencia a disminuir los montos de caudal mensual. Los valores oscilan entre 5 a  $160 [m^3/s]$ . El test ANOVA entregó una significancia del 0.18, mostrando una baja significancia en la diferencia entre los dos periodos de estudio.

El registro de concentración de solidos en suspensión totales en la estación río Chillán en camino a Confluencia (CCC) (Figura 3.12) deja ver que el promedio del periodo de sequía disminuye levemente con respecto al periodo del periodo de pre-sequía. A partir del 2001 se evidencia un gradual aumento en los máximos mensuales hasta el año 2009, posteriormente disminuyen drásticamente hasta el año 2015 donde vuelven a aparecer valores más altos ( $50$  a  $100 [mg/l]$ ). Los máximos mensuales registrados bordean los  $130 [mg/l]$  siendo el mes de Agosto del 2008 el máximo del registro ( $148 [mg/l]$ ).

Observando los montos de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) para CCC (Figura 3.13) se puede ver que el registro se encuentra limitado por la escasa información de concentración de sedimentos del año 1987 a 1995. Del registro existente se visualiza el máximo de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) ocurrido en Julio del 2006 con un monto superiores a  $110.000 [ton/mes]$ . Los picos son intermitentes desde 1997 hacia adelante y se observa una leve tendencia a aumentar la carga sedimentaria ( $Q_s$ ) desde el 2010 hacia adelante.

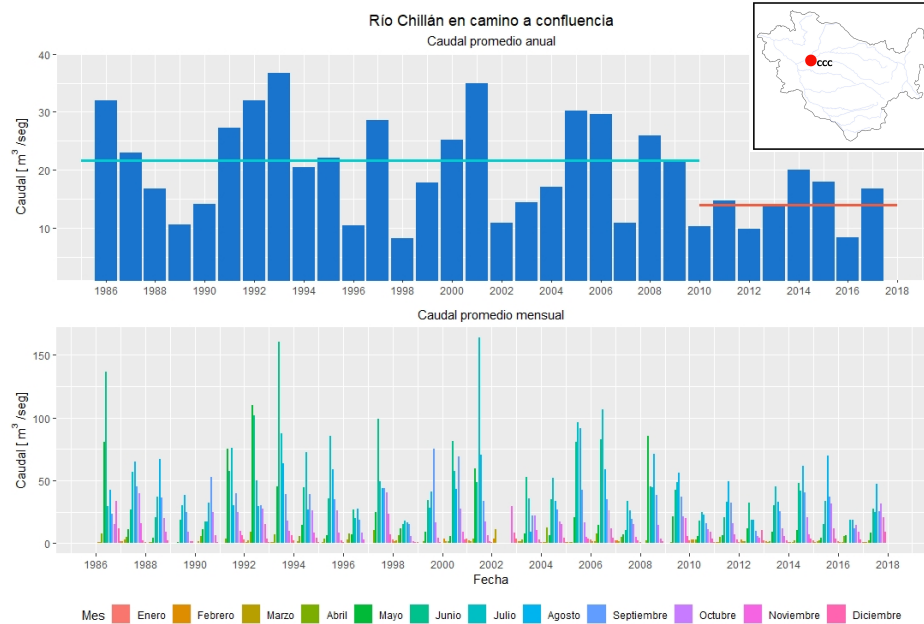


Figura 3.11: Series de tiempo en estación río Chillán en Camino a Confluencia. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de caudal del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de caudal.

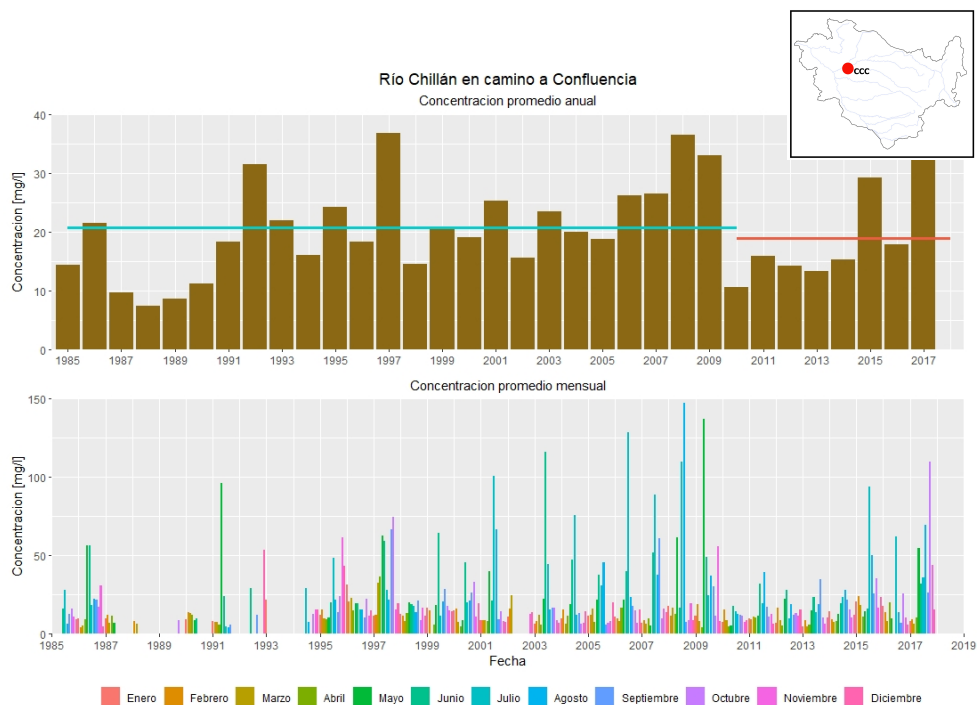


Figura 3.12: Series de tiempo en estación río Chillán en Camino a Confluencia. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de concentración de sólidos en suspensión totales (SST) del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de concentración de SST del registro.

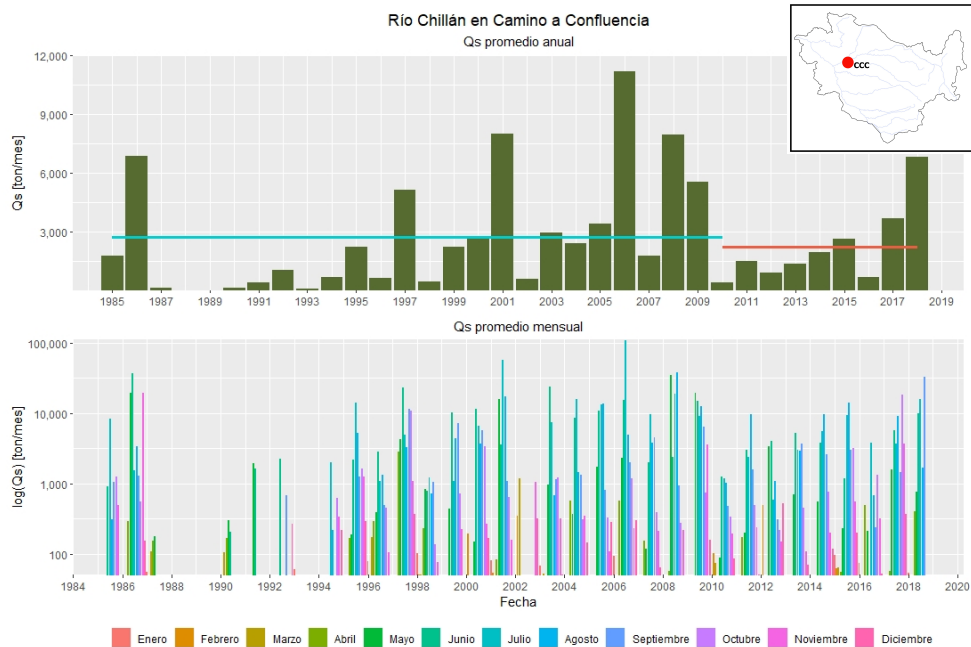


Figura 3.13: Series de tiempo en estación río Chillán en Camino a Confluencia. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) del registro.

En la estación río Diguillín en Longitudinal (DEL) el máximo de caudal se registró en Junio de 1993 (Figura 3.14) con un caudal sobre los  $300 [m^3/s]$ . Los rangos mensuales oscilan entre el máximo mencionado y valores bajo los  $5 [m^3/s]$ . A partir del 2006 existe una tendencia a decrecer los montos mensuales y sin alcanzar montos que superen los  $150 [m^3/s]$ . El p-valor del test ANOVA arrojó un valor de significancia de 0.0006.

El registro de concentración de solidos en suspensión totales en la estación río Diguillín en Longitudinal (DEL) (Figura 3.15) muestra una diferencia entre el periodo previo al 2000 con máximos mensuales de hasta  $360 [mg/l]$  (Abril de 1991) y varios máximos alrededor de los  $200 [mg/l]$ . Posterior al 2003, disminuyen los máximos mensuales y el registro difícilmente supera los  $50 [mg/l]$  (únicamente en Junio del 2006). A escala anual se evidencia la disminución de los promedios anuales a partir del 2003.

En cuanto a la carga sedimentaria ( $Q_s$ ) (Figura 3.16), se observan valores máximos en Mayo de 1991 y 1992, con montos de  $220.000$  y  $175.000 [ton/mes]$  respectivamente. A partir del 2006 se observa una tendencia a disminuir en los montos mensuales y del 2010 en adelante son muy bajos (no superan las  $500 [ton/mes]$ ).

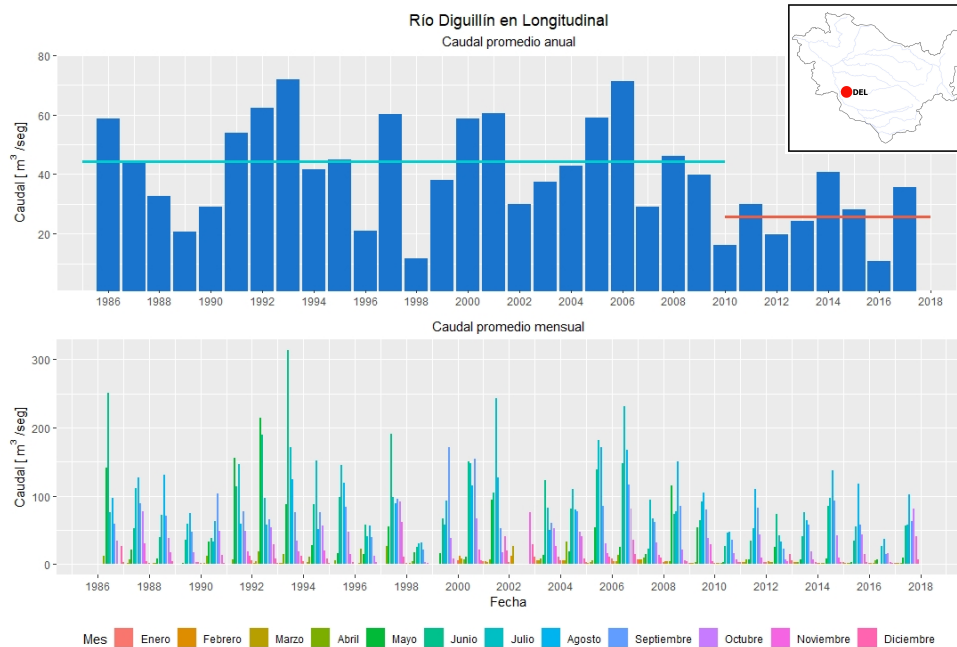


Figura 3.14: Series de tiempo en estación río Diguillín en Longitudinal. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de caudal del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de caudal del registro.

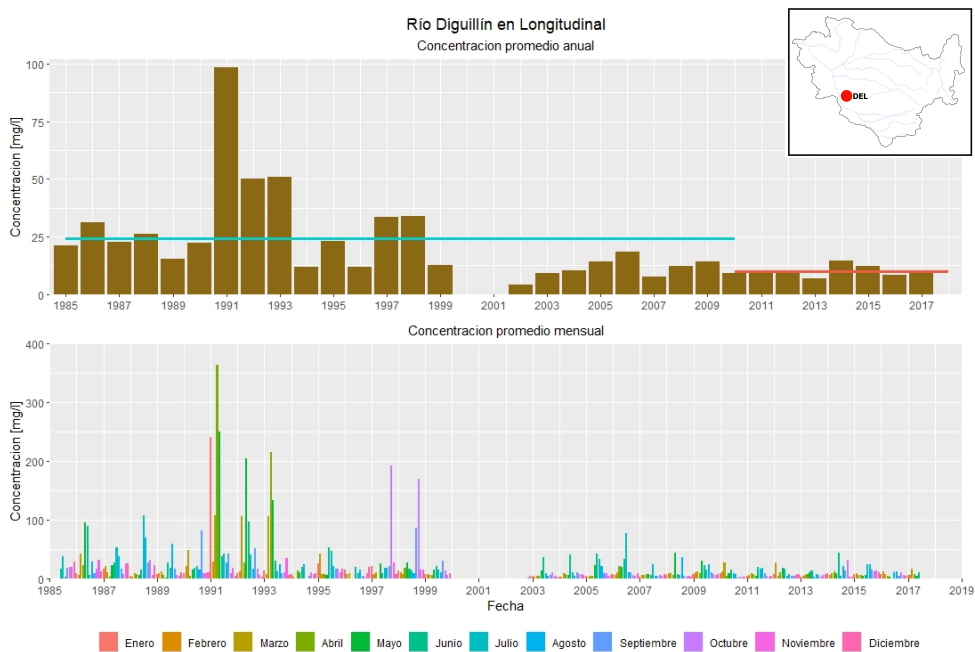


Figura 3.15: Series de tiempo en estación río Diguillín en Longitudinal. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de concentración de solidos en suspensión totales (SST) del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de concentración de solidos en suspensión totales (SST) del registro.



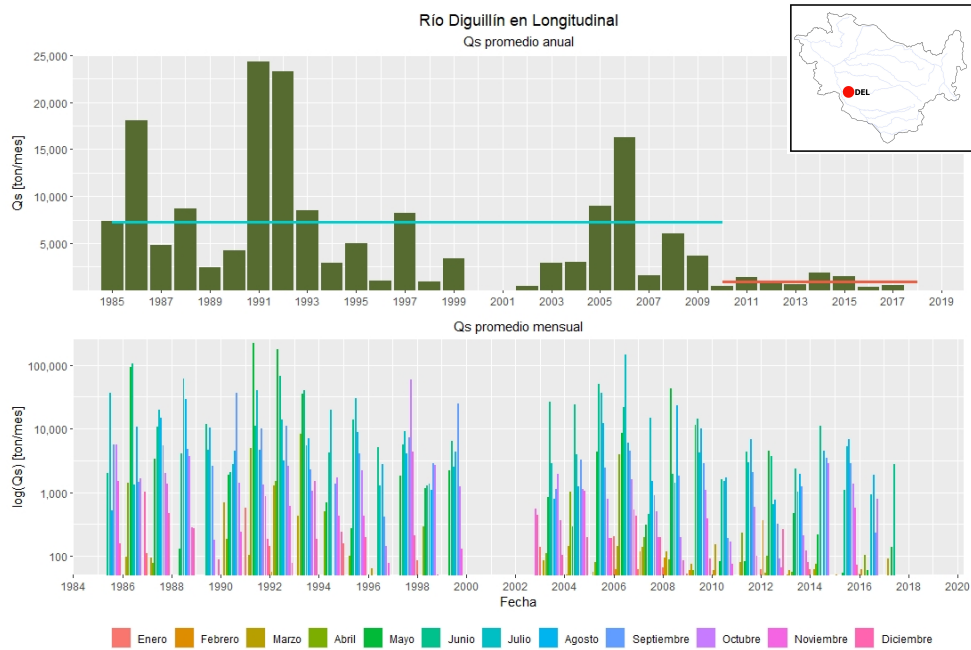


Figura 3.16: Series de tiempo en estación río Diguillín en Longitudinal. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) del registro.

Para la estación río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) se evidencian 4 máximos de caudal en el registro mensual (Figura 3.17) correspondientes a Junio de 1986, Mayo de 1992, Junio de 1993 y Julio del 2001, todos con un monto sobre los  $620 [m^3/s]$ . En el gráfico de promedios anuales se puede observar la tendencia de disminución del caudal con el pasar de los años. Esta disminución se evidencia más en el gráfico de promedios mensuales donde, a partir del 2006, no existen meses con un promedio superior a los  $400 [m^3/s]$ , disminuyen los máximos mensuales con el pasar de los años. El test ANOVA entregó una significancia del 0.02, mostrando una diferencia estadística entre los dos periodos de estudio.

En las series temporales de concentración de solidos en suspensión totales en la estación río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) (Figura 3.18) se pudo ver como los máximos valores de concentración de solidos en suspensión mensuales se presentan entre los años 2003 al 2011. El periodo previo muestra promedios mensuales que no superan los  $75 [mg/l]$  al igual que el periodo posterior. El máximo se registró en Julio del 2004 con  $220 [mg/l]$ . En cuanto al registro anual, el quiebre del 2010 no es del todo característico pues la diferencia entre los promedios de periodos es muy leve y el test ANOVA muestra una significancia de 0,58.

La carga sedimentaria ( $Q_s$ ), por su parte, muestra un máximo en Julio del 2004 con valores de  $170.000 [ton/mes]$  y otros máximos entre  $80.000$  a  $100.000 [ton/mes]$  y espaciados sin tendencia clara (Figura 3.19). A partir del 2009 se puede ver una decaída en los promedios mensuales y una disminución de los valores máximos.



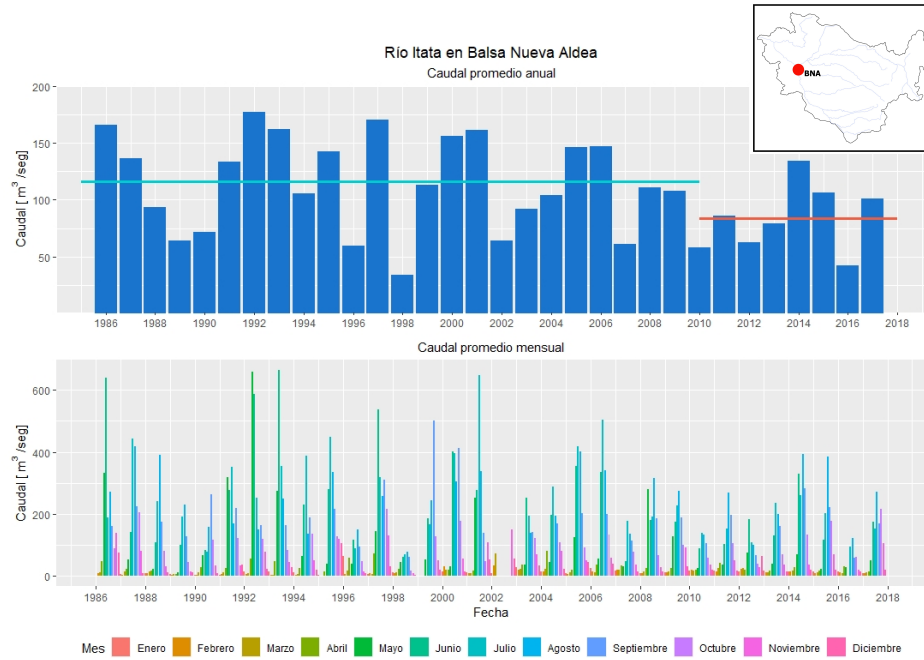


Figura 3.17: Series de tiempo en estación río Itata en Balsa Nueva Aldea. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de caudal del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de caudal del registro.

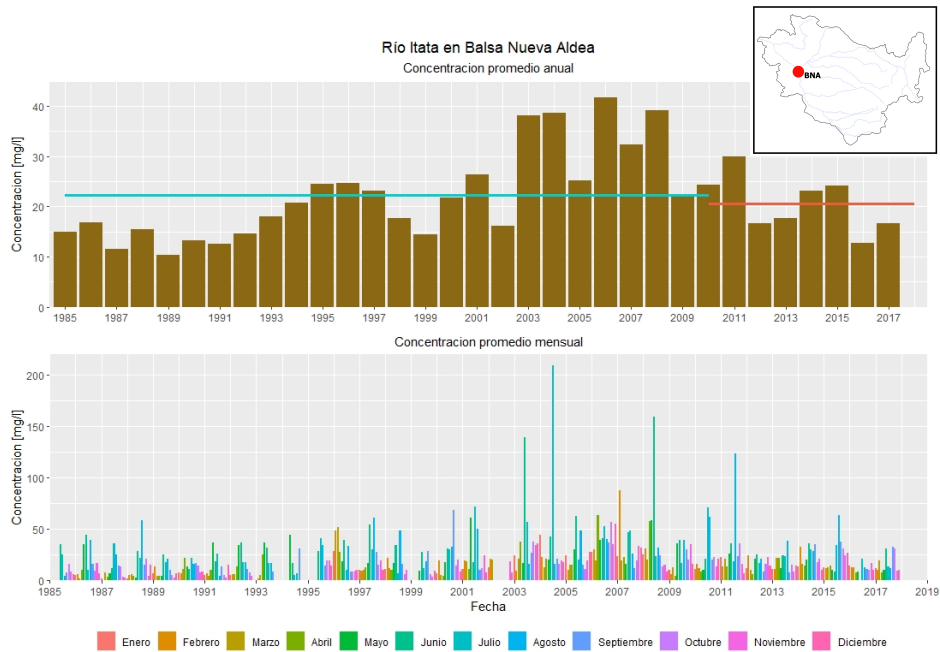


Figura 3.18: Series de tiempo en estación río Itata en Balsa Nueva Aldea. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de concentración de sólidos en suspensión totales (SST) del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de concentración de sólidos en suspensión totales (SST) del registro.

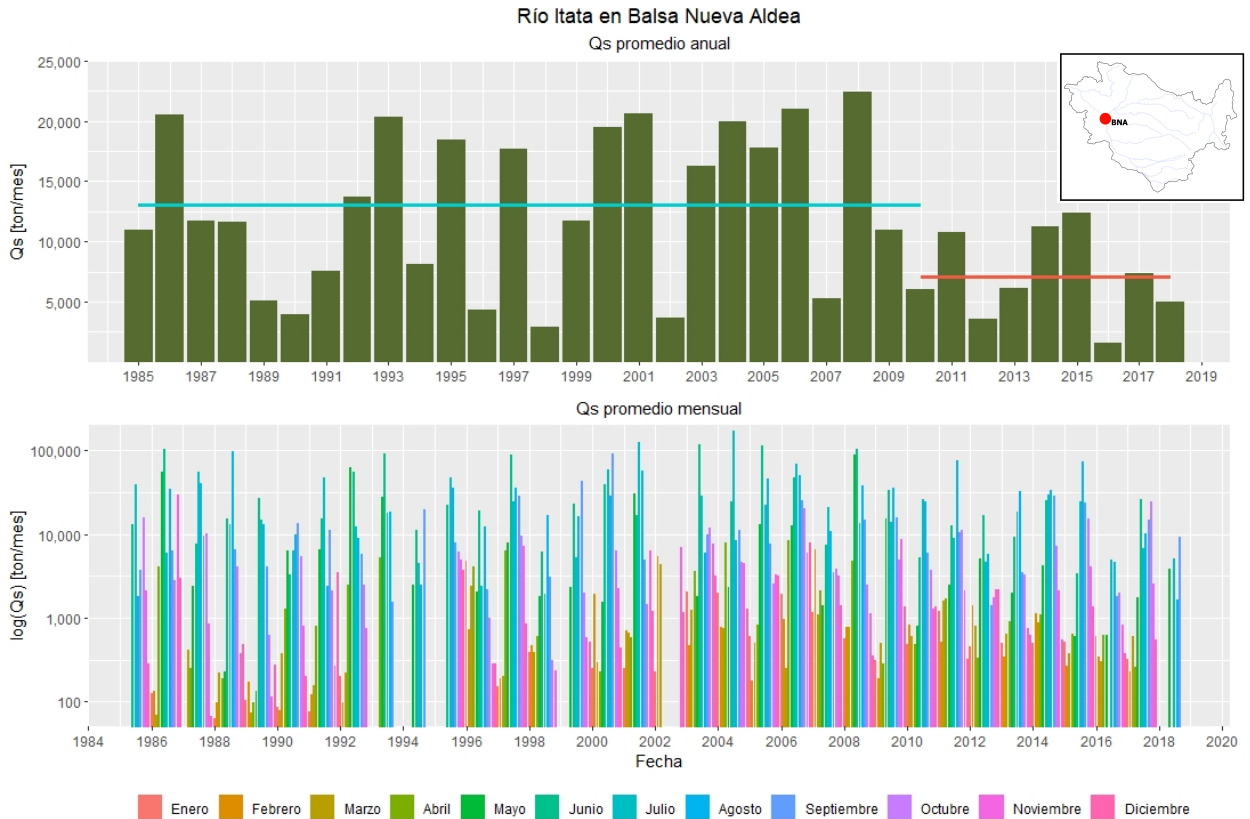


Figura 3.19: Series de tiempo en estación río Itata en Balsa Nueva Aldea. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) del registro.

En la estación río Itata en Coelemu (ICO) se identifican 5 máximos de caudal, Junio de 1986, Mayo y Junio de 1992, Junio de 1993 y Julio del 2001 con caudales sobre los  $1.750 [m^3/s]$  (Figura 3.20). En el gráfico de promedios mensuales se puede ver como existe una disminución de los máximos mensuales, evidenciable en los montos anuales de igual manera. El p-valor del test ANOVA arrojó un valor de significancia de 0.05, lo cual indica una diferencia representativa entre periodos.

El registro de concentración de solidos en suspensión totales en la estación río Itata en Coelemu (ICO) (Figura 3.21) muestra varios vacíos: de Octubre de 1993 a Mayo de 1995, Diciembre de 1998 a Mayo de 1999 y el 2002. Los máximos se observan en Mayo y Septiembre de 1997 con montos cercanos a  $300$  y  $340 [mg/l]$ , respectivamente. El último máximo mensual relevante corresponde a Mayo del 2008, posteriormente disminuyen los máximos mensuales con la salvedad de Agosto del 2015. Contrastando los periodos de pre-sequía a sequía existe una disminución en el promedio al pasar a la sequía con una significancia de 0,007 según los resultados del test ANOVA (Tabla 3.1).

En cuanto a la carga sedimentaria ( $Q_s$ ), se aprecian promedios mensuales muy diferentes (significancia de 0,02, Tabla 3.1) a los promedios de los periodos pre-sequía y sequía (Figura 3.22). Cabe destacar el mes de Junio de 1997 con una carga sedimentaria ( $Q_s$ ) promedio mensual del orden de  $1.600.000 [ton/mes]$ .

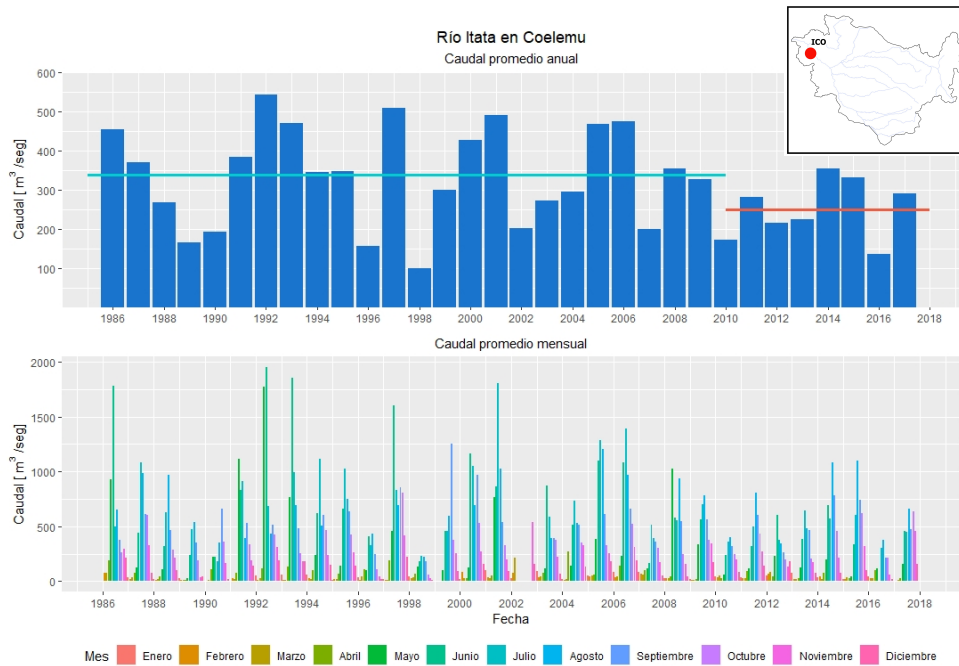


Figura 3.20: Series de tiempo en estación río Itata en Coelemu. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de caudal del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de caudal del registro.

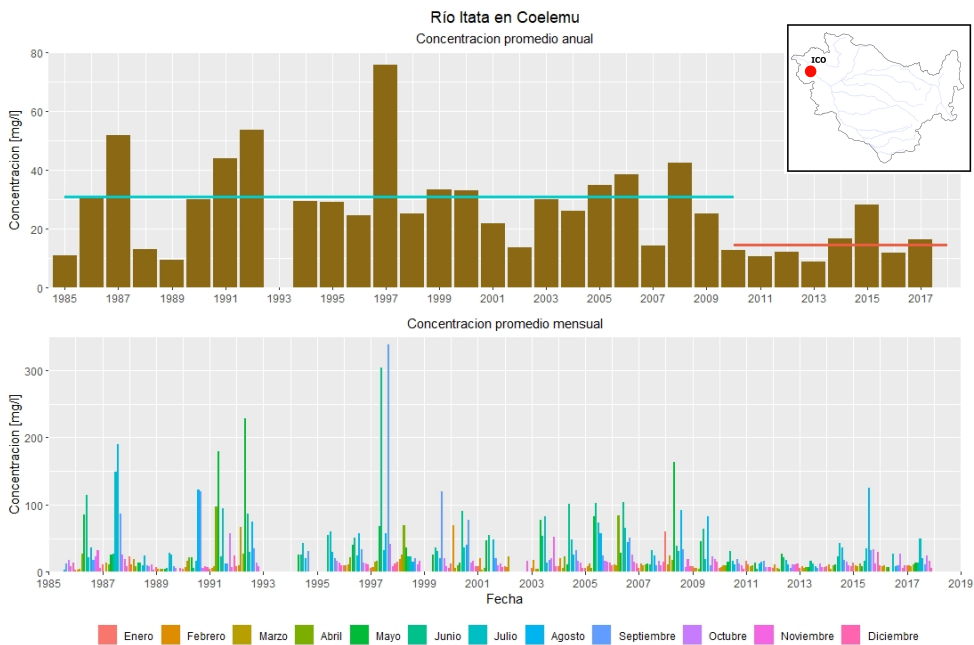


Figura 3.21: Series de tiempo en estación río Itata en Coelemu. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de concentración de solidos en suspensión totales (SST) del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de concentración de solidos en suspensión totales (SST) del registro.

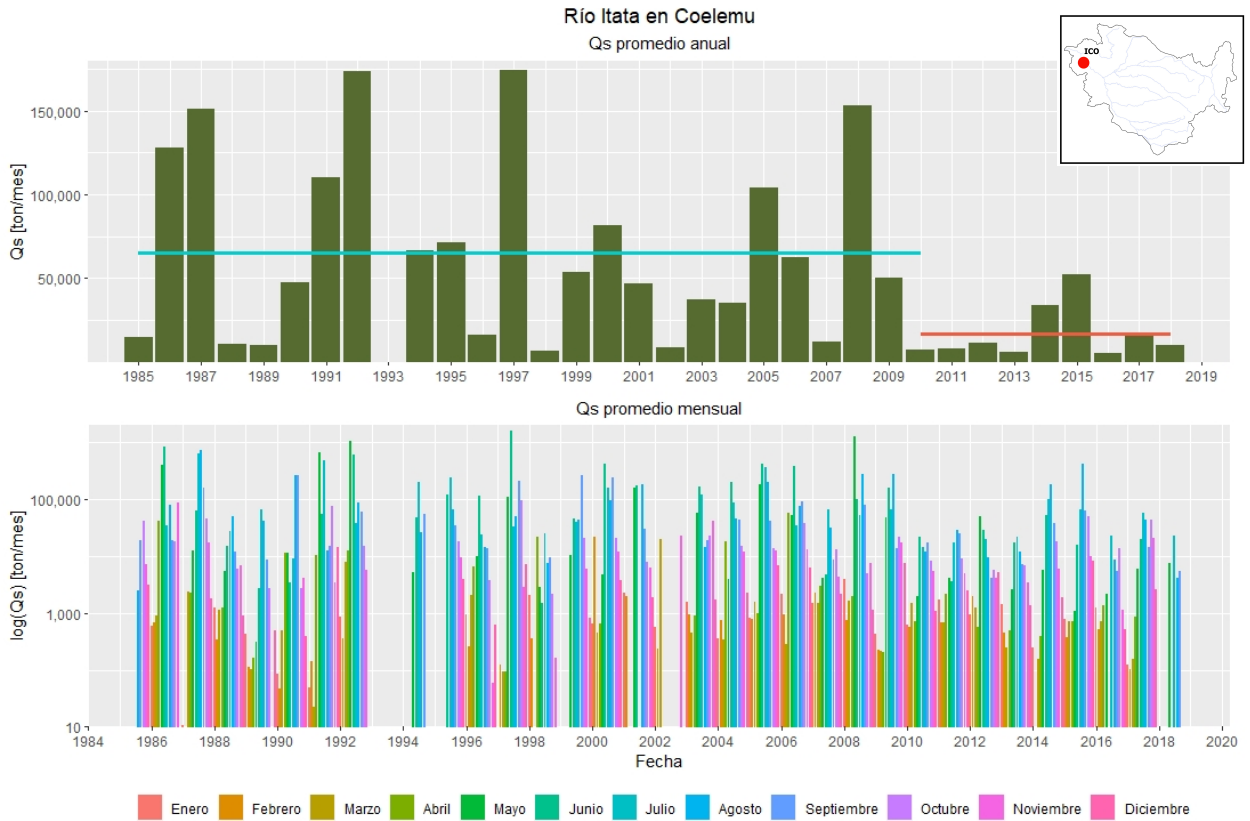


Figura 3.22: Series de tiempo en estación río Itata en Coelemu. Primer gráfico corresponde a los promedios anuales de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) del registro total, la línea azul representa el promedio del periodo de pre-sequía y la línea roja el promedio del periodo de sequía. En el segundo gráfico se muestran los montos promedio mensual de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) del registro.

Tabla 3.1: Resultados test ANOVA.

Estación	p-valor Caudal	p-valor SST	p-valor $Q_s$
Ñuble en San Fabián de Alico (NSF)	0,02	0,02	0,93
Itata en Cholguán (ICH)	0,26	0,1	0,14
Chillán en camino a Confluencia (CCC)	0,18	0,51	0,64
Diguillín en Longitudinal (DEL)	0,0006	0,06	0,01
Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA)	0,02	0,58	0,02
Itata en Coelemu (ICO)	0,05	0,007	0,02

### 3.3.1. Anomalías

Usando las series de datos ya presentadas, se calculó la anomalía anual de caudal, concentración de sólidos en suspensión totales (SST) y carga sedimentaria ( $Q_s$ ), usando como periodo de referencia los años 1986 a 2010. Esto, con el objetivo de evaluar el efecto de la megasequía en los datos de cada estación. De esta manera se comparó la diferencia porcentual año a año según la ecuación 3.1 en donde *Valor* corresponde a promedio anual de la variable a analizar, ya sea caudal, sólidos en suspensión totales (SST) o carga sedimentaria ( $Q_s$ ) y *PPS* representa el promedio de esa variable durante el periodo de referencia.

$$\frac{Valor - PPS}{PPS} * 100 \quad (3.1)$$

Las anomalías de caudal (Figura 3.23) muestran que todas las estaciones presentan anomalías negativas a partir del 2010, con excepción de las estaciones río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) y río Itata en Coelemu (ICO) que muestran anomalías negativas de caudal desde el año 2007 y 2006, respectivamente. Estaciones como río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF) y río Diguillín en Longitudinal (DEL) son las que evidencian las peores anomalías negativas (llegando cerca de  $-80\%$  en DEL). La estación río Itata en Cholguán (ICH) manifiesta anomalías negativas desde el 2010 con la salvedad de los años 2011 y 2014. Por su parte, la estación río Chillán en camino a Confluencia (CCC) muestra anomalías negativas más bien parejas desde el 2010 hacia adelante (entre  $-40\%$  a  $-50\%$ ).

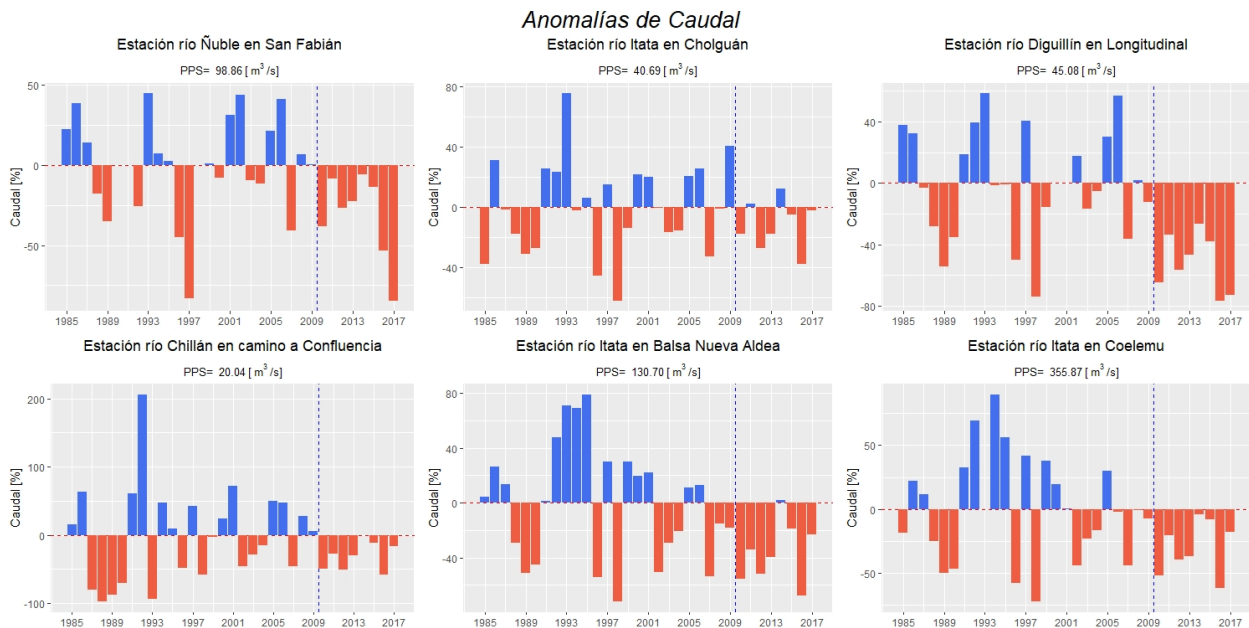


Figura 3.23: Anomalías de caudal en el registro total de todas las estaciones. La línea azul indica el año 2010.

Con respecto a las anomalías de sólidos en suspensión totales (SST) (Figura 3.24), en la estación río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF) se puede ver como inicia el registro con una intercalación entre anomalías positivas y negativas, siendo estas últimas las predominante, pero a partir del 2011, se presentan importantes anomalías positivas hasta el final del periodo de estudio. El registro de las estaciones río Itata en Cholguán (ICH) y río Diguillín en

Longitudinal (DEL), por su parte, presentan anomalías negativas desde el año 2003 y 2001, respectivamente. En la estación río Chillán en camino a Confluencia (CCC) a partir del año 2010 manifiesta anomalías negativas con la salvedad de los años 2015 y 2017, donde se puede observar anomalías positivas. En el caso de la estación río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA), se puede ver como comienza su registro con anomalías negativas de sólidos en suspensión totales (SST) (Figura 3.24) hasta el año 1994, luego presentan un periodo (2003 al 2011) de anomalías positivas para pasar, nuevamente, a anomalías negativas desde el año 2012. En lo que respecta a la estación río Itata en Coelemu (ICO), a partir del 2009 la anomalía negativa se mantiene hasta el final del registro.

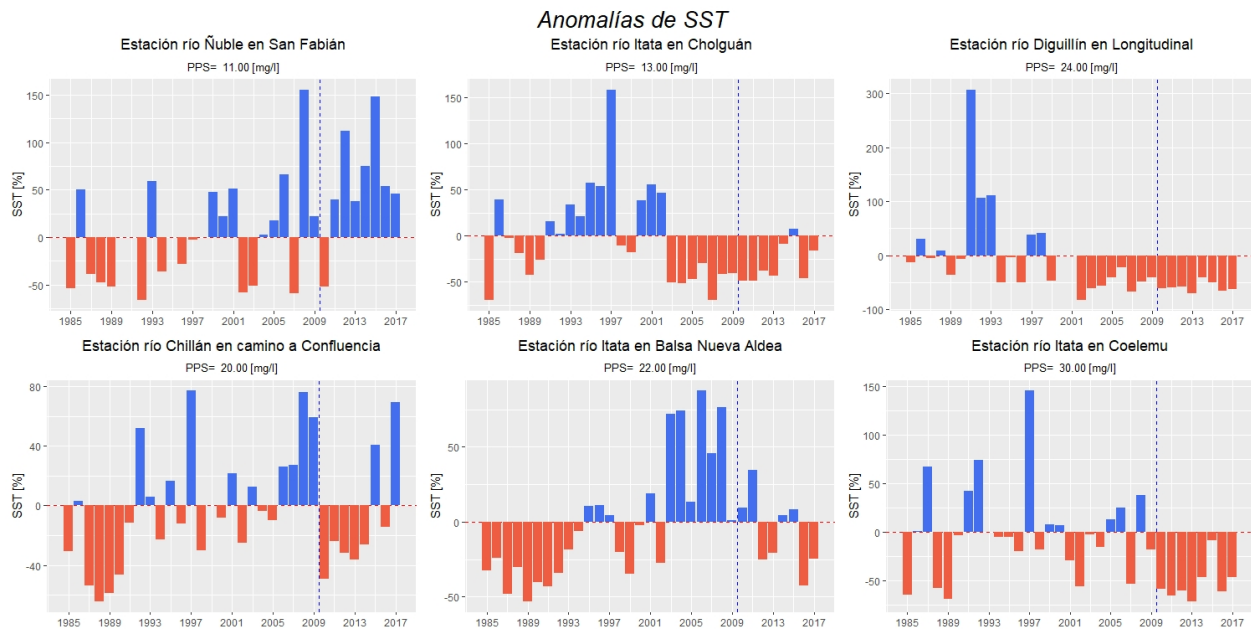


Figura 3.24: Anomalías de sólidos en suspensión totales (SST) observados en el registro total de todas las estaciones. La línea azul indica el año 2010.

En cuanto a las anomalías de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) (Figura 3.25), las estaciones río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF) y río Chillán en camino a Confluencia (CCC) manifiestan anomalías negativas a partir del año 2010 con la salvedad de los años 2012, 2014 y 2015 en la estación río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF) y el año 2017 en río Chillán en camino a Confluencia (CCC). La estación río Itata en Cholguán (ICH) presenta anomalías negativas a partir del año 2002, la estación río Diguillín en Longitudinal a partir del 2007, las estaciones río Itata en Balsa Nueva Aldea y río Itata en Coelemu a partir del 2009. El problema en estos gráficos es que los promedios mensuales difieren mucho entre los años (montos de primer orden de diferencia) y al obtener los promedios anuales, estos pueden aparecer distorsionados, por lo cual aparecen anomalías de más del 200 % las cuales alteran los promedios y es difícil visualizar tendencias claras. La observación más visible es la tendencia negativa en el periodo de sequía.

### Anomalías de Carga Sedimentaria

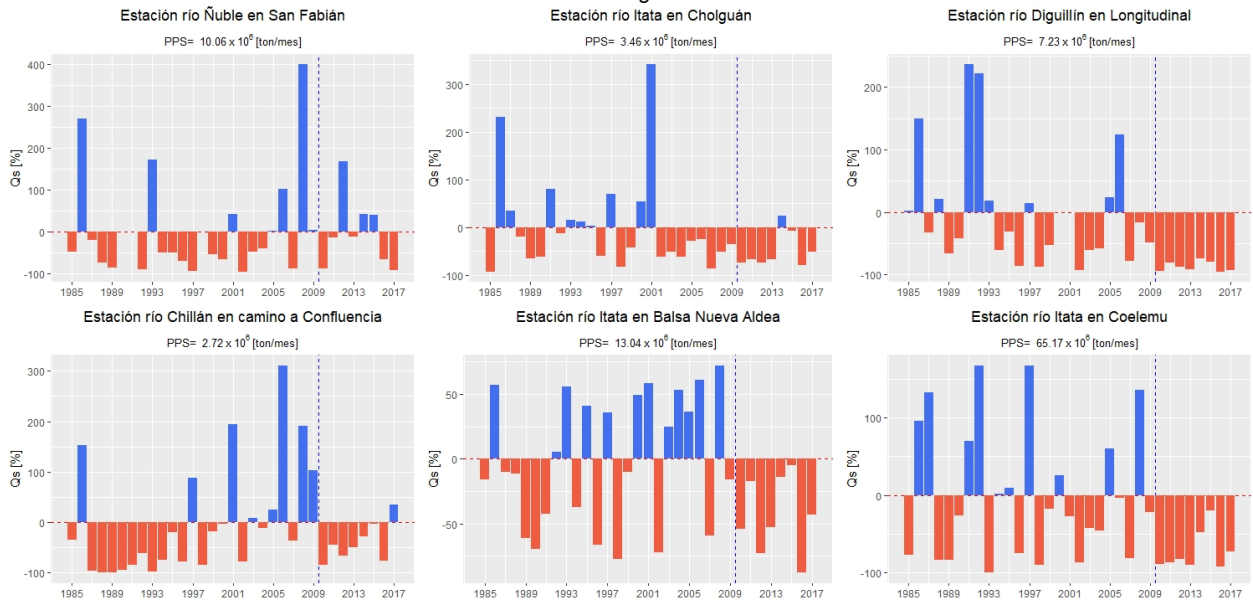


Figura 3.25: Anomalías de carga sedimentaria (Qs) observadas en el registro total de todas las estaciones. El valor PPS corresponde al promedio mencionado. La línea azul indica el año 2010.



### 3.4. Flujos sedimentarios en la cuenca del río Itata (1986-2017)

El porcentaje de caudal y carga sedimentaria (Qs) aportado por cada mes en cada estación de estudio se presenta en la Tabla 3.2, la cual muestra los datos de todo el registro, para el periodo de pre-sequía y para el periodo de sequía. A modo de visualizar los cambios de manera más esquemática, se generaron una serie gráficos recopilados en la Figura 3.26. A continuación, se presentará la información por estación.

- **Río Ñuble en San Fabián de Alico:** Durante el periodo de pre-sequía se puede ver dos máximo continuos de carga sedimentaria (Qs) en Marzo (33%) y Junio (34%) mientras que en el periodo de sequía existen dos máximos en Mayo y Agosto (26% y 30%, respectivamente). Los mínimos ocurren en Marzo para el periodo de pre-sequía y en Enero y Marzo para el periodo de sequía. En cuanto a los caudales, se puede ver un desfase de la curva hacia los meses de primavera, el máximo se desplaza de Junio (14,7%, pre-sequía) a Agosto (15,3%, sequía).
- **Río Itata en Cholguán:** Para el periodo de pre-sequía se puede ver que los máximos de carga sedimentaria (Qs) ocurren en los meses de Junio y Julio (25% y 33%, respectivamente) mientras que para el periodo de sequía los máximos ocurren Junio (20%) y Agosto(32,5%). En cuanto al caudal, se registró un máximo en Junio para el periodo de pre-sequía (17,6%) y dos máximos en Junio y Agosto para el periodo de sequía (12,8% y 15,5%, respectivamente).
- **Río Diguillín en Longitudinal:** Los máximos de carga sedimentaria (Qs) ocurren en Mayo, Junio y Julio para el periodo de pre-sequía, siendo el primero el mayor (33,2%, 21,42% y 22,9%, respectivamente) y en el periodo de sequía, los máximos ocurren en Junio y Agosto (30,5% y 27,4%, respectivamente). Los caudales en el periodo de pre-sequía se distribuyen sin máximos muy sobresalientes durante Junio, Julio y Agosto (19,7%, 19,8%, 17,8%, respectivamente), por otra parte, en el periodo de sequía existe un máximo en Agosto (26%) que destaca de los demás caudales, seguido de un pico en Junio (17,7%).
- **Río Chillán en camino a Confluencia:** Para el periodo de pre-sequía se puede ver un máximo de carga sedimentaria (Qs) durante el mes de Julio (36%) mientras que en el periodo de sequía ya no existen máximos sobresalientes pero existe un significativo aumento de carga sedimentaria (Qs) durante los meses de Agosto y Septiembre en contraste con periodo de pre-sequía (21% en el periodo de pre-sequía y 42,3% en el periodo de sequía para dichos meses). Para los caudales, se evidencia un desplazamiento del máximo de la curva de los meses de Junio - Julio en el periodo de pre-sequía a Julio - Agosto - Septiembre en el periodo de sequía, destacando Agosto con el 22,6%.
- **Río Itata en Balsa Nueva Aldea:** Durante el periodo de pre-sequía, los máximos de carga sedimentaria (Qs) ocurren entre Junio, Julio y Agosto (18,7%, 20,25% y 16,9%, respectivamente) mientras que en el periodo de pre-sequía los máximos ocurren de igual manera en la temporada Junio, Julio y Agosto pero con diferentes montos (16,47%, 16,85% y 34,15%), resaltando el mes de Agosto como el máximo. De igual manera, los caudales máximos se ubican en los meses Junio, Julio y Agosto en ambos periodos,

pero el máximo del periodo de pre-sequía ocurre en Julio (20,20 %) mientras que en el periodo de sequía ocurre en Agosto (21,9 %).

- Río Itata en Coelemu:** Los máximos de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) ocurren en Mayo y Junio (24,6 % y 29,7 % respectivamente). Por otra parte, para el periodo de sequía, se ve un aumento en el máximo de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) durante los meses de Mayo a Agosto, siendo este último notoriamente superior a los demás meses (34 % en contraste con los 15 % de promedio de los otros meses). En cuanto al caudal, se puede ver que en el periodo de pre-sequía los máximos se concentran entre Junio a Septiembre con montos que oscilan entre el 14 % y 18 % con el máximo en Junio (18,4 %). Por otra parte, en el periodo de sequía, si bien los máximos se distribuyen en los mismos meses que el periodo de pre-sequía, el máximo se alcanza el mes de Agosto (19 %).

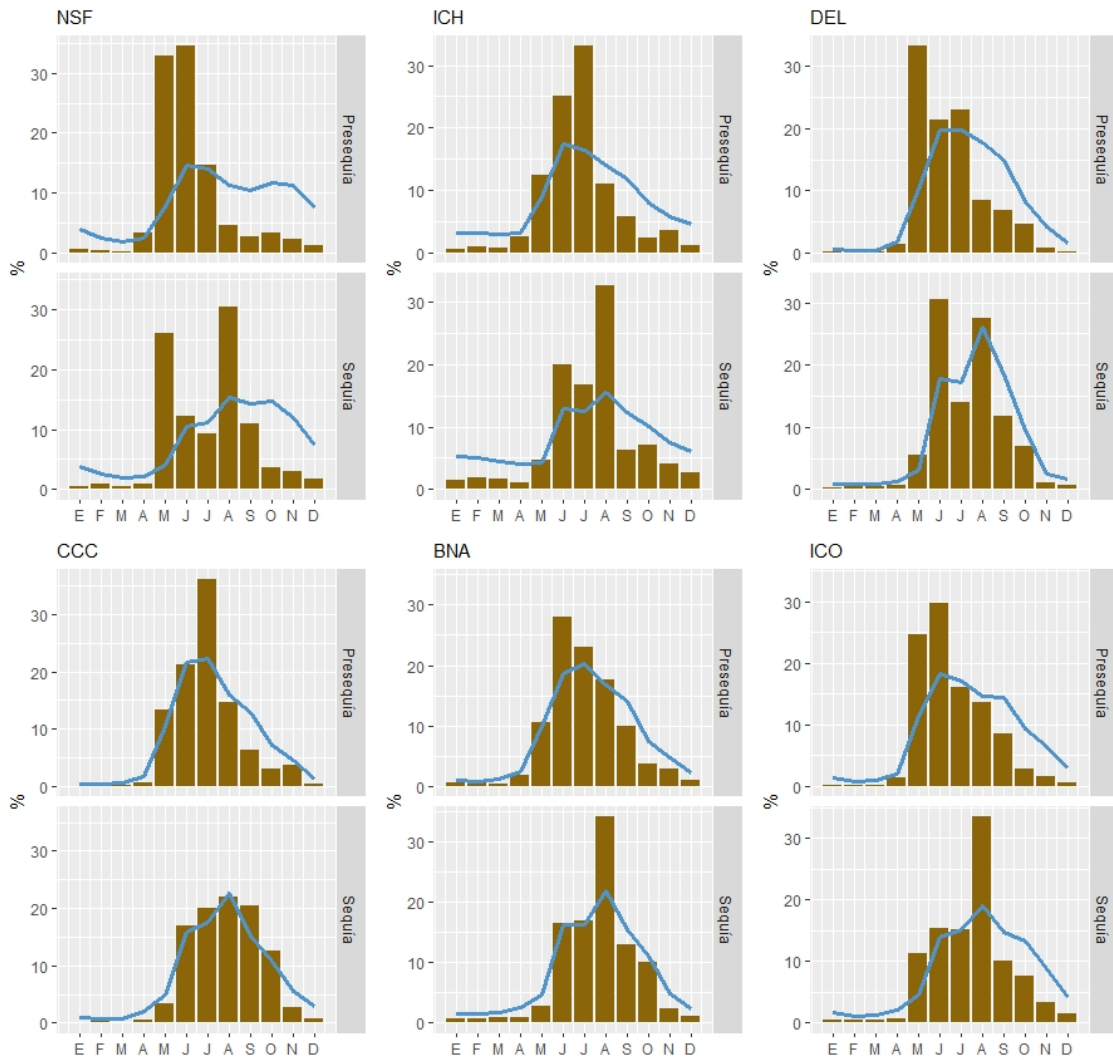


Figura 3.26: Porcentaje de participación de las variables de caudal y carga sedimentaria ( $Q_s$ ) (línea azul y columnas marrones, respectivamente) para los periodos de Pre-sequía y Sequía.

Tabla 3.2: Resumen de el porcentaje de participación del caudal y carga sedimentaria (Qs) por mes para los tres periodos de estudio. Valores se expresan en porcentaje [%]

Código	Periodo	Medición	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
NSF	Todo	Caudal	3.94	2.55	1.87	2.41	6.77	13.99	13.42	12.23	11.35	12.44	11.45	7.57
		Qs	0.53	0.59	0.29	2.67	30.83	28.61	13.26	11.06	4.99	3.41	2.47	1.30
	Presequía	Caudal	4.01	2.58	1.84	2.52	7.77	14.72	14.08	11.36	10.51	11.78	11.23	7.59
		Qs	0.57	0.45	0.22	3.34	32.83	34.46	14.70	4.58	2.64	3.30	2.31	1.18
	Sequía	Caudal	3.86	2.56	2.03	2.11	3.96	10.57	11.20	15.28	14.26	14.73	12.05	7.40
		Qs	0.43	0.95	0.45	0.92	26.00	12.17	9.24	30.46	11.02	3.74	2.96	1.65
ICH	Todo	Caudal	3.77	3.65	3.31	3.44	7.82	16.46	15.52	14.42	11.90	8.49	6.28	4.94
		Qs	0.78	1.14	1.02	2.45	11.18	24.52	30.44	14.32	5.81	3.12	3.83	1.40
	Presequía	Caudal	3.26	3.20	2.91	3.23	8.99	17.56	16.56	14.06	11.77	7.94	5.90	4.61
		Qs	0.67	1.01	0.89	2.70	12.42	25.12	33.05	11.06	5.75	2.45	3.69	1.18
	Sequía	Caudal	5.32	5.01	4.53	4.06	4.34	12.83	12.43	15.49	12.28	10.20	7.50	6.02
		Qs	1.41	1.85	1.72	1.14	4.62	20.03	16.77	32.53	6.25	7.05	4.00	2.63
DEL	Todo	Caudal	0.62	0.45	0.55	1.60	8.89	19.53	19.52	19.08	15.43	8.53	4.10	1.70
		Qs	0.11	0.07	0.21	1.23	30.81	22.24	22.96	9.33	7.19	4.82	0.76	0.26
	Presequía	Caudal	0.56	0.37	0.50	1.75	10.34	19.73	19.79	17.82	14.83	8.32	4.33	1.68
		Qs	0.10	0.04	0.20	1.32	33.19	21.42	22.89	8.40	6.84	4.63	0.72	0.23
	Sequía	Caudal	0.92	0.90	0.85	1.19	3.06	17.73	17.27	26.05	18.41	9.46	2.47	1.69
		Qs	0.37	0.69	0.55	0.65	5.49	30.52	13.93	27.41	11.76	6.88	1.13	0.63
CCC	Todo	Caudal	0.60	0.53	0.73	1.83	9.14	20.57	21.10	17.48	13.40	7.95	4.91	1.75
		Qs	0.11	0.16	0.22	0.70	11.08	20.59	32.30	16.27	9.38	5.13	3.61	0.44
	Presequía	Caudal	0.50	0.44	0.72	1.80	10.53	21.56	22.32	16.00	12.91	7.11	4.68	1.41
		Qs	0.09	0.11	0.24	0.74	13.38	21.14	36.04	14.69	6.24	3.15	3.82	0.36
	Sequía	Caudal	0.96	0.84	0.77	1.96	4.88	15.79	17.63	22.59	15.23	10.76	5.64	2.95
		Qs	0.18	0.36	0.14	0.58	3.40	16.94	20.08	22.00	20.34	12.57	2.69	0.73
BNA	Todo	Caudal	1.14	0.97	1.27	2.49	8.70	18.54	19.37	17.87	14.31	8.24	4.83	2.26
		Qs	0.54	0.68	0.54	1.62	8.89	26.75	21.72	20.29	10.35	4.77	2.76	1.09
	Presequía	Caudal	1.04	0.83	1.17	2.52	9.94	18.70	20.25	16.88	14.09	7.56	4.80	2.22
		Qs	0.51	0.67	0.48	1.82	10.49	28.01	22.98	17.53	9.88	3.69	2.84	1.11
	Sequía	Caudal	1.56	1.50	1.68	2.47	4.61	16.34	16.24	21.94	15.33	10.97	4.91	2.45
		Qs	0.67	0.75	0.85	0.89	2.79	16.47	16.85	34.15	13.04	10.11	2.35	1.08
ICO	Todo	Caudal	1.41	0.85	1.05	2.02	9.94	17.69	16.55	15.45	14.51	10.13	7.03	3.35
		Qs	0.23	0.27	0.28	1.39	22.79	28.37	15.69	16.12	8.81	3.49	1.89	0.66
	Presequía	Caudal	1.34	0.79	1.01	2.04	11.34	18.37	17.10	14.58	14.43	9.31	6.54	3.15
		Qs	0.21	0.23	0.27	1.51	24.62	29.68	16.03	13.69	8.64	2.91	1.66	0.54
	Sequía	Caudal	1.74	1.12	1.25	2.02	4.56	14.02	15.06	19.06	14.82	13.36	8.86	4.14
		Qs	0.43	0.56	0.39	0.72	11.37	15.33	15.23	33.54	9.98	7.58	3.32	1.55

### 3.5. Balance Sedimentario

En la presente sección se calcularon los balances sedimentarios de la cuenca y sus secciones específicas. En la Figura 3.27 se calculó el aporte de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) por  $km^2$  para cada estación (*sediment yield*). Se puede ver que, en el periodo de pre-sequía, la estación río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF) es aquella que mayor cantidad de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) aporta por  $km^2$ , seguida de la estación río Itata en Coelemu (ICO) y la estación río Diguillín en Longitudinal (DEL). Por el otro lado, la estación río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) es aquella que menor producción de sedimentos presenta.

En el caso del periodo de sequía, se puede ver como la estación río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF) continúa siendo la de mayor tasa de producción, seguida de la estación río Chillán en Camino a Confluencia (CCC). La estación río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) y la estación río Itata en Coelemu (ICO) presentan igual tasa de producción. La estación río Diguillín en Longitudinal (DEL) es aquella con menor producción.

Si se contrastan ambos periodos se puede advertir que la estación río Diguillín en Longitudinal (DEL) y la estación río Itata en Coelemu (ICO) son las estaciones que presentan la mayor diferencia en su tasa de producción de sedimentos, por el contrario, la estación río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF) es la que menor diferencia demostró. A modo de síntesis, todas las estaciones muestran una caída en sus tasas de producción de sedimento.

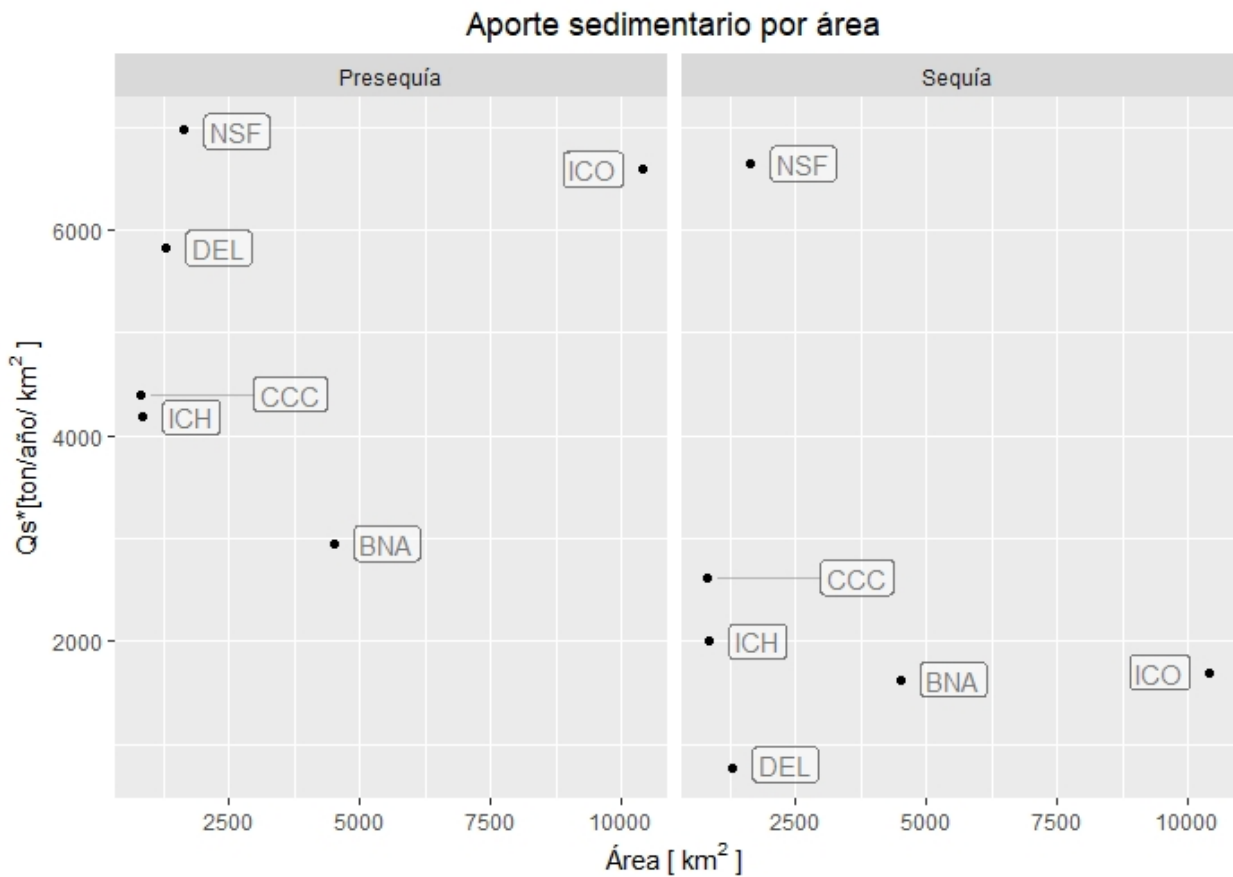


Figura 3.27: Aporte de sedimento según estación por área de cuenca o rendimiento de  $Q_s$  ( $Q_s^*$  [ton/año/ $km^2$ ]). Información contrastada entre ambos periodos.

Luego de ver las tasas de producción por estación, se procedió a estimar el  $\Delta QS_R$  según la Ecuación 1.5 expuesta en la Sección 1.5 de metodología. Un primer análisis consideró como  $QS_o$  a la estación río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA),  $QS_i$  a la estación río Itata en Cholguán (ICH) y como  $\sum_{i=1}^N QS_{T_i}$  la estación río Diguillín en Longitudinal (DEL) (Figura 3.28). En un segundo análisis se consideró como  $QS_o$  a la estación río Itata en Coelemu (ICO),  $QS_i$  a la estación río Itata en Cholguán (ICH) y como  $\sum_{i=1}^N QS_{T_i}$  las estaciones río Diguillín en Longitudinal (DEL), río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF) y río Chillán en Camino a Confluencia (CCC) (Figura 3.29).

Estos tramos de la cuenca fueron escogidos ya que eran los únicos que presentaban estaciones a un inicio, final y entre el recorrido.

De la Figura 3.28 se puede ver que, en los años 1986, 1990, 1991 y 1992 se produce acreción (o retención) de sedimentos en el tramo de estudio y en los demás hay degradación o movilidad de material fuera del tramo. Únicamente en el año 1988 se puede ver un equilibrio en la movilización.

En la Figura 3.29, los años 2011, 2012 y 2013 se ve que hay acreción de material en la cuenca. Se puede ver, además, que existe una tendencia a disminuir la movilidad de sedimentos en la cuenca a partir del 2008. Si bien, no hay montos constantes de "salida" de material de la cuenca o degradación, han disminuido los montos decadales.

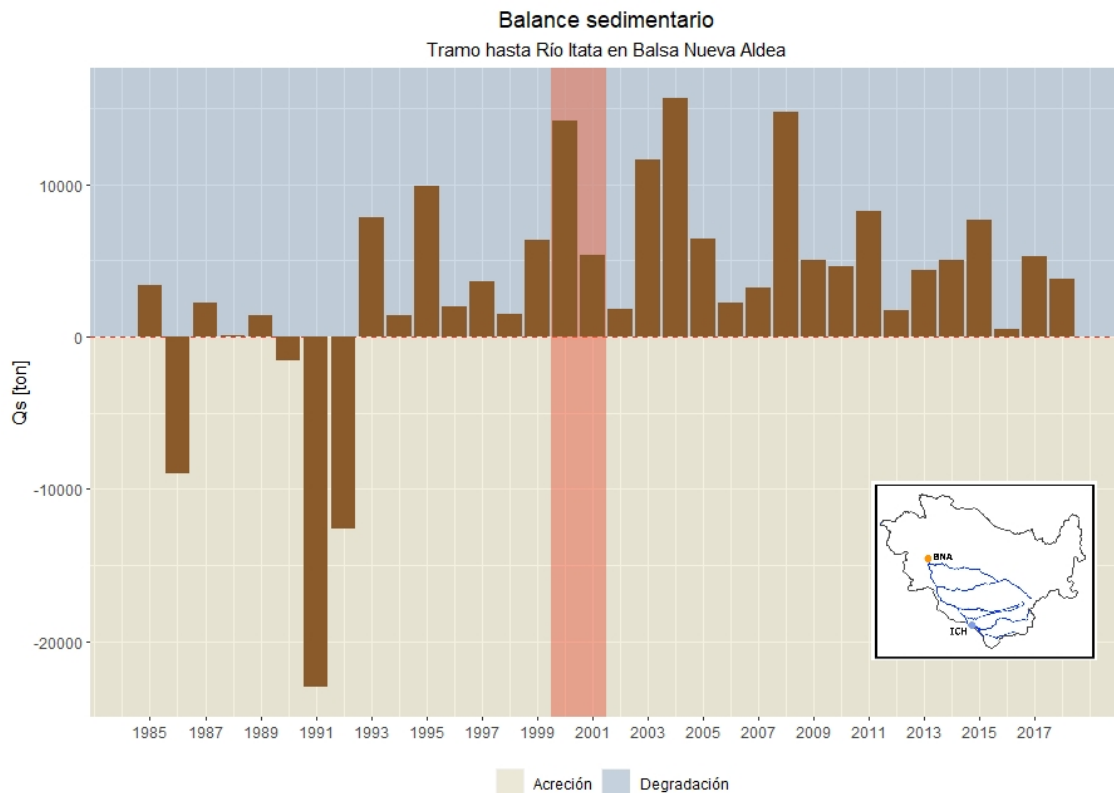


Figura 3.28: Balance sedimentario para el tramo del río Itata entre estaciones río Itata en Cholguán (ICH) hacia la cordillera y río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) hacia el océano. El área roja resaltada representa los años en los cuales alguna de las estaciones presenta un vacío de información. El recuadro inferior denota los río involucrados en el balance.

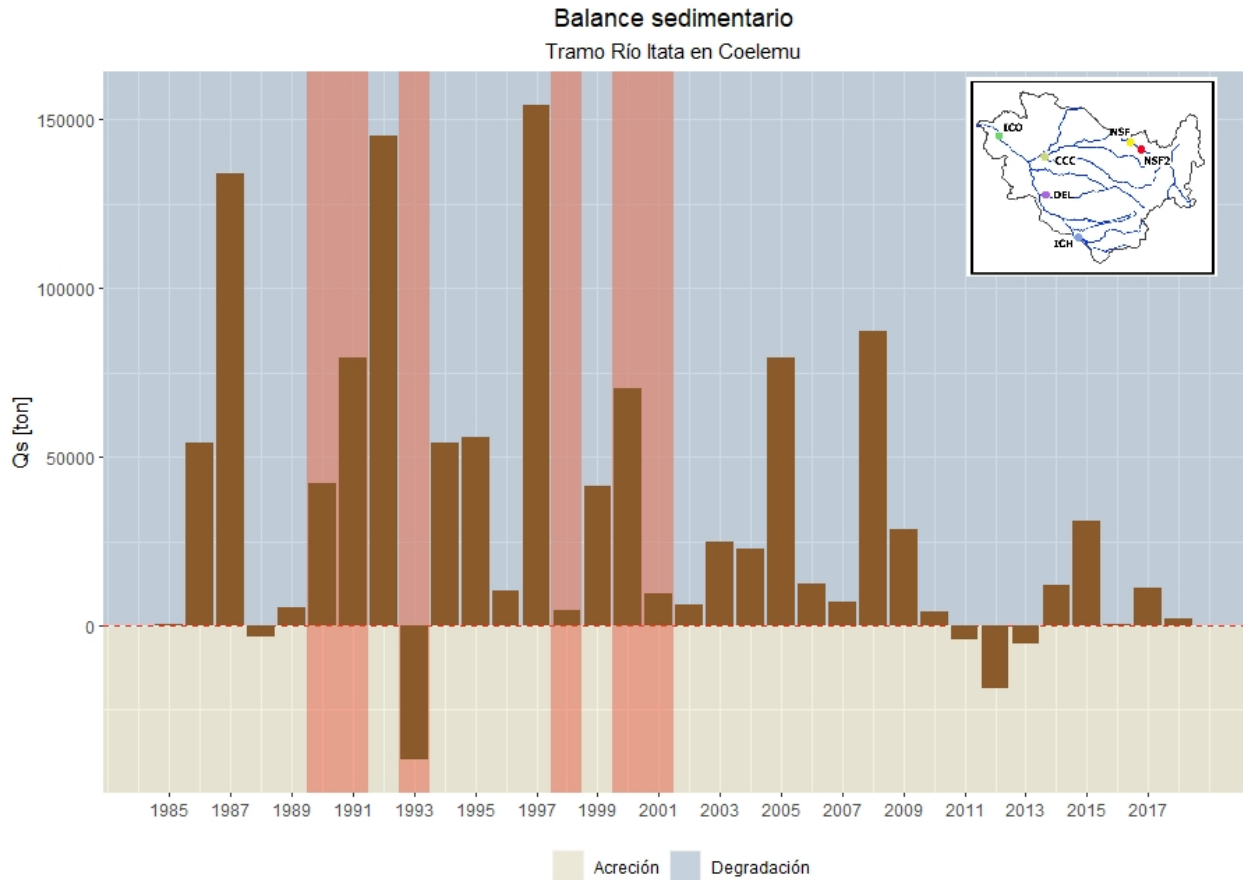


Figura 3.29: Balance sedimentario para el tramo del río Itata entre estaciones río Itata en Cholguán (ICH) hacia la cordillera y río Itata en Coelemu (ICO) hacia el océano. Las áreas rojas resaltada representan los años en los cuales alguna de las estaciones presenta un vacío de información. El recuadro inferior denota los río involucrados en el balance.

Finalmente, se calculó el balance sedimentario total de la cuenca considerando los montos promedios mensuales de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) por estación para los periodos de estudio (periodo de pre-sequía y periodo de sequía). Esta información se resume en la Tabla 3.3 en la cual se puede ver la variación porcentual de los montos entre dichas temporadas. Se puede resaltar de estos datos que la estación río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF) es la que menor cambios experimenta, con una disminución de su carga sedimentaria ( $Q_s$ ) de -4,2%. La estación que mayor cambio experimenta es río Diguillín en Longitudinal (DEL) con un decaimiento de -86,17%. La estación río Itata en Coelemu (ICO), última antes de la desembocadura, sufrió un decaimiento de -74,2% de carga sedimentaria ( $Q_s$ ). La Figura 3.30 representa el balance sedimentario total, en donde el eje vertical representa la distancia (rKm) del océano a la estación o confluencia, y el eje horizontal el monto de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) en  $\times 10^3 \text{ton/mes}$ .

Tabla 3.3: Montos promedio anual de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) en cada estación para los dos periodos de estudio con la variación porcentual asociada. Montos en toneladas promedio mensual.

Estación	Pre-sequía	Sequía	Variación [%]
NSF	120.771	115.735	-4,2
ICH	44.090	20.500	-53,5
CCC	42.998	25.075	-41,68
DEL	91.314	12.622	-86,17
BNA	149.962	85.447	-43,02
ICO	786.507	202.873	-74,2

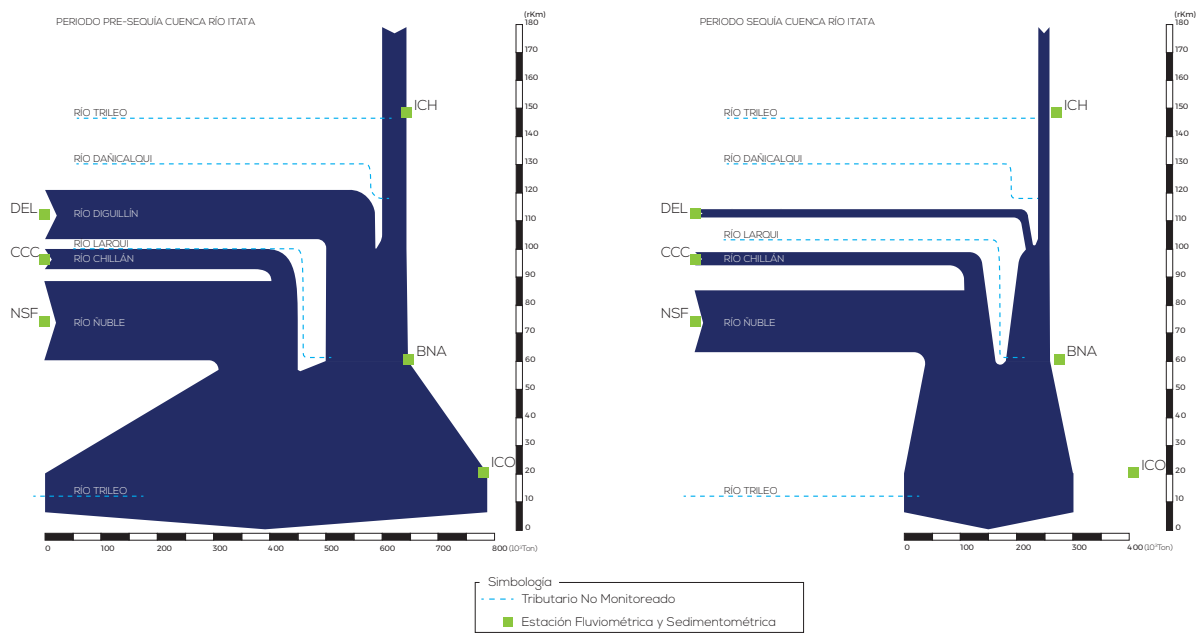


Figura 3.30: Balance sedimentario para la cuenca global del río Itata. Se utilizaron montos mensuales promediados para cada año en cada estación y se subdividió el registro en los dos periodos de interés.



### 3.6. Curvas de clasificación

Siguiendo la metodología propuesta por Asselman (2000), se generaron 4 curvas de clasificación para los periodos de pre-sequía y sequía y sus correspondientes temporadas. Estas curvas se obtuvieron por medio de regresiones potenciales obteniendo las ecuaciones y coeficientes respectivos (**a** y **b**) agrupados en la Tabla 3.4 con el  $r^2$  asociado a cada temporada. Cabe destacar que el coeficiente **b** corresponde a la pendiente de la recta.

La Figura 3.31 muestra las curvas de clasificación de las estaciones de estudio para los periodos de pre-sequía y de sequía para la totalidad de datos del periodo de estudio (1986-2017). De esta figura se aprecia como la estación río Itata en Cholguán (ICH) mantiene su comportamiento en ambos periodos y presenta la curva más pronunciada de todas las estaciones. Le sigue la estación río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF) con un comportamiento muy similar, varía levemente la pendiente (disminuye) entre ambos periodos.

Las estaciones río Diguillín en Longitudinal (DEL) y río Chillán en camino a Confluencia (CCC) son las que muestran las curvas más horizontales de todas las estaciones, manteniendo este comportamiento en ambos periodos salvo por unas leves diferencias hacia altos caudales en donde la estación río Chillán en camino a Confluencia (CCC) aumenta levemente su pendiente en el periodo de sequía. La estación río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) mantiene un comportamiento similar en ambos periodos difiriendo únicamente por la caída de la pendiente en el periodo de sequía. Por último, la estación río Itata en Coelemu (ICO) es la que muestra la mayor diferencia de todas, en el periodo pre-sequía es de las curvas con mayor pendiente pasando a tener una curva de baja pendiente.

### Curvas de Clasificación por estación

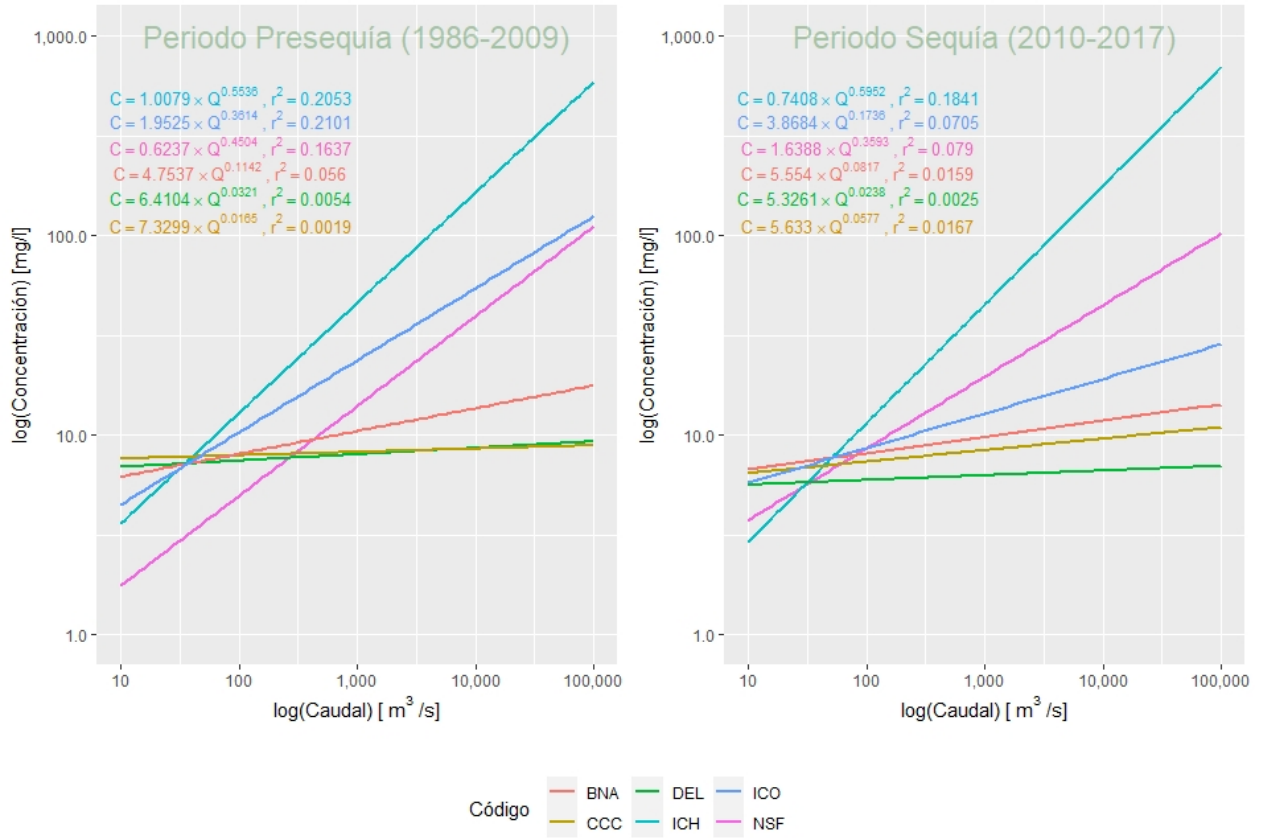
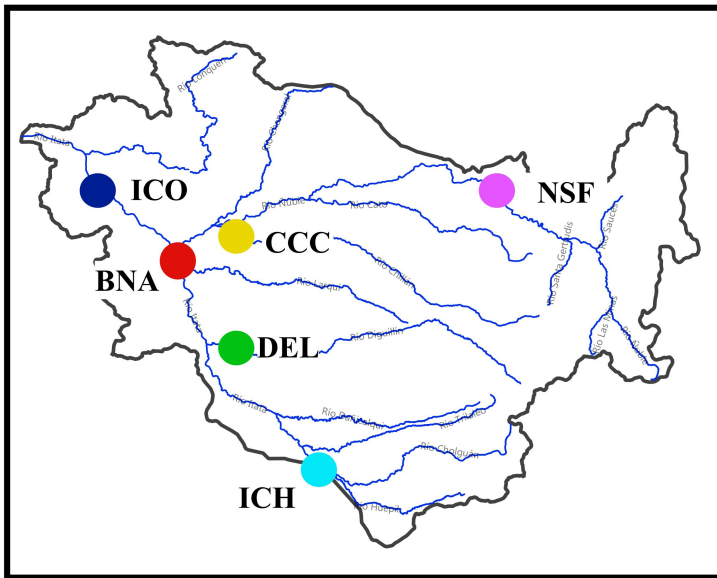


Figura 3.31: Curvas de clasificación de todas las estaciones para el registro completo por periodo.



#### Códigos

- NSF - Río Ñuble en San Fabián de Alico
- ICH - Río Itata en Cholguán
- DEL - Río Diguillín en Longitudinal
- CCC - Río Chillán en camino a Confluencia
- BNA - Río Itata en Balsa Nueva Aldea
- ICO - Río Itata en Coelemu

Figura 3.32: Ubicación espacial de las estaciones.

A continuación se muestran las curvas por estación y periodo con el fin de analizar variaciones estacionales en el régimen de transporte de sedimento.

- Río Ñuble en San Fabián de Alico:** en la Figura 3.33 se puede ver una serie de variaciones en las pendientes de la recta, siendo la temporada de **Descenso Invierno** la de mayor cambio en la pendiente seguida de la temporada **Año Completo**. Todas las temporadas registran una disminución en las pendientes y son las temporadas de **Descenso Invierno** y **Descenso** las de mayor pendiente. Cabe destacar que la baja pendiente de la temporada **Año Completo**, en comparación con las demás temporadas, se debe a que incluye dentro del registro a meses de bajo caudal (Enero a Marzo).

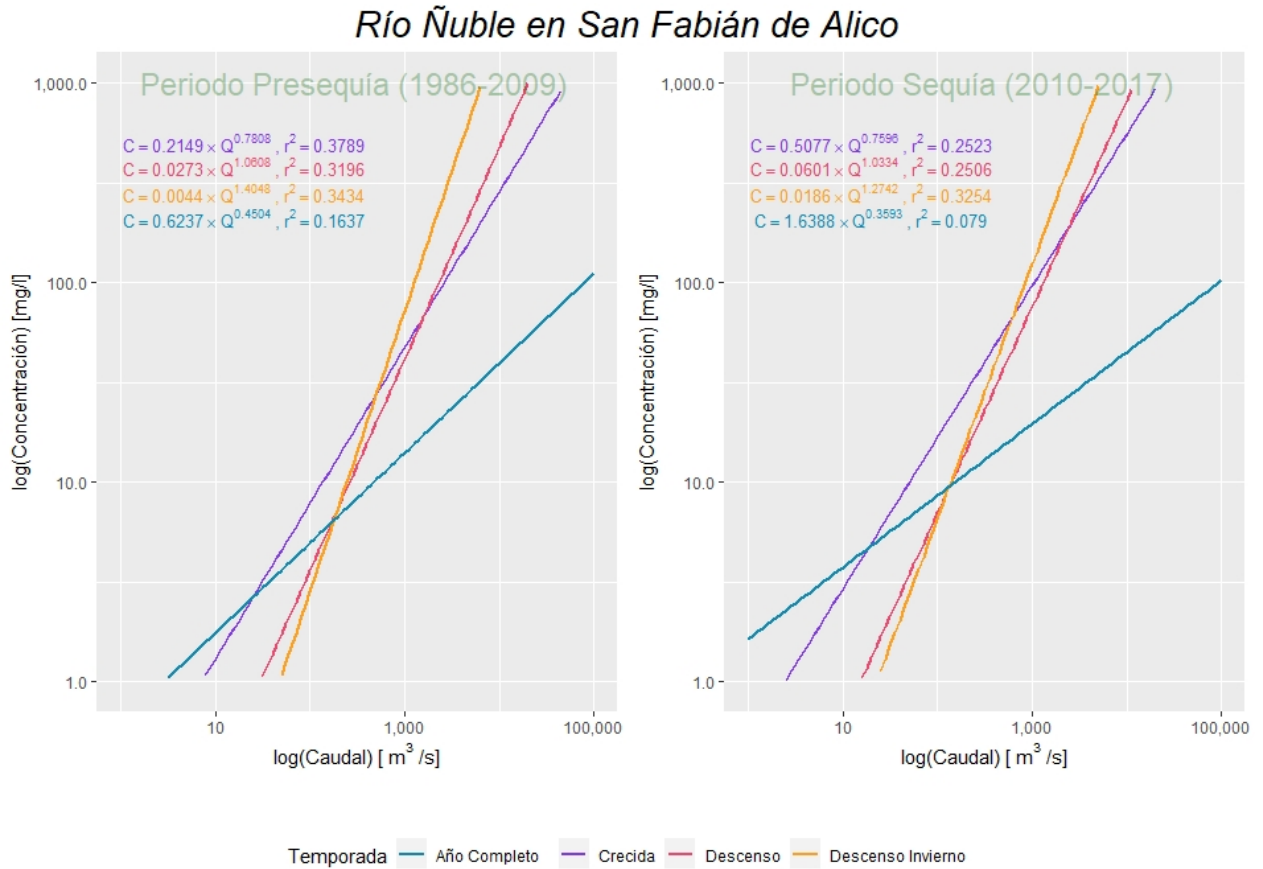


Figura 3.33: Curvas de clasificación generadas para las 4 temporadas especificadas. Información expuesta en 2 gráficos, el primero para el periodo de pre-sequía y el segundo para el periodo de sequía. Las temporadas son: **Año Completo** (registro completo), **Crecida** (Abril a Junio), **Descenso** (Julio a Diciembre), **Descenso Invierno** (Julio a Septiembre). Estación río Ñuble en San Fabián de Alico.

- Río Itata en Cholguán:** en la Figura 3.34 se puede observar que para ambos periodos la temporada **Descenso Invierno** presenta la recta de mayor pendiente seguida de la temporada **Crecida** y la temporada **Descenso**. Todas las temporadas registraron un aumento en la pendiente de la recta entre el periodo pre-sequía a sequía, salvo la temporada **Crecida** la cual manifestó una muy leve disminución en su pendiente.

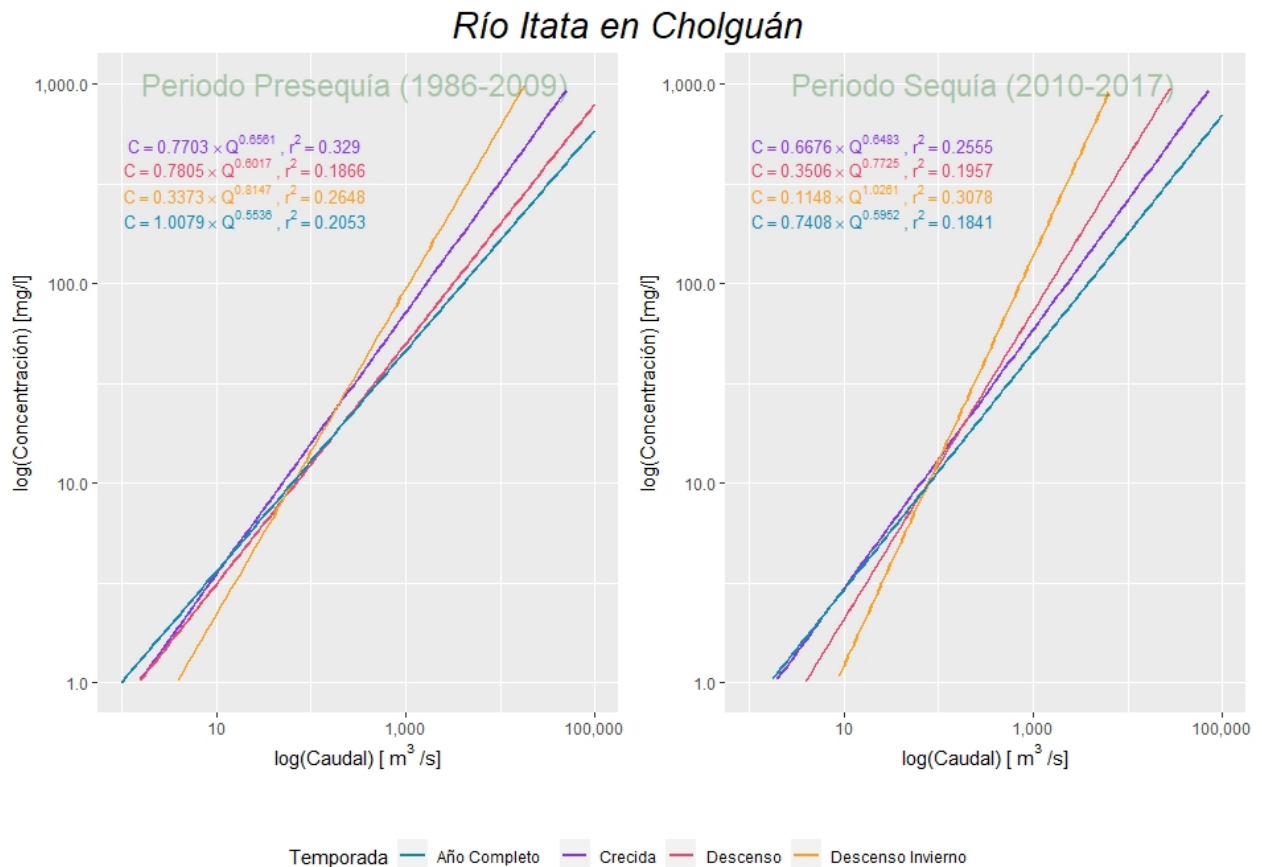


Figura 3.34: Curvas de clasificación generadas para las 4 temporadas especificadas. Información expuesta en 2 gráficos, el primero para el periodo de pre-sequía y el segundo para el periodo de sequía. Las temporadas son: **Año Completo** (registro completo), **Crecida** (Abril a Junio), **Descenso** (Julio a Diciembre), **Descenso Invierno** (Julio a Septiembre). Estación río Itata en Cholguán.

- Río Chillán en camino a Confluencia:** la Figura 3.35 muestra como para ambos periodos, la temporada **Descenso Invierno** presenta la recta de mayor pendiente, seguida de la temporada **Crecida**. Las temporadas **Crecida** y **Descenso Invierno** experimentaron una disminución en la pendiente, mientras que las demás temporadas aumentaron esta.

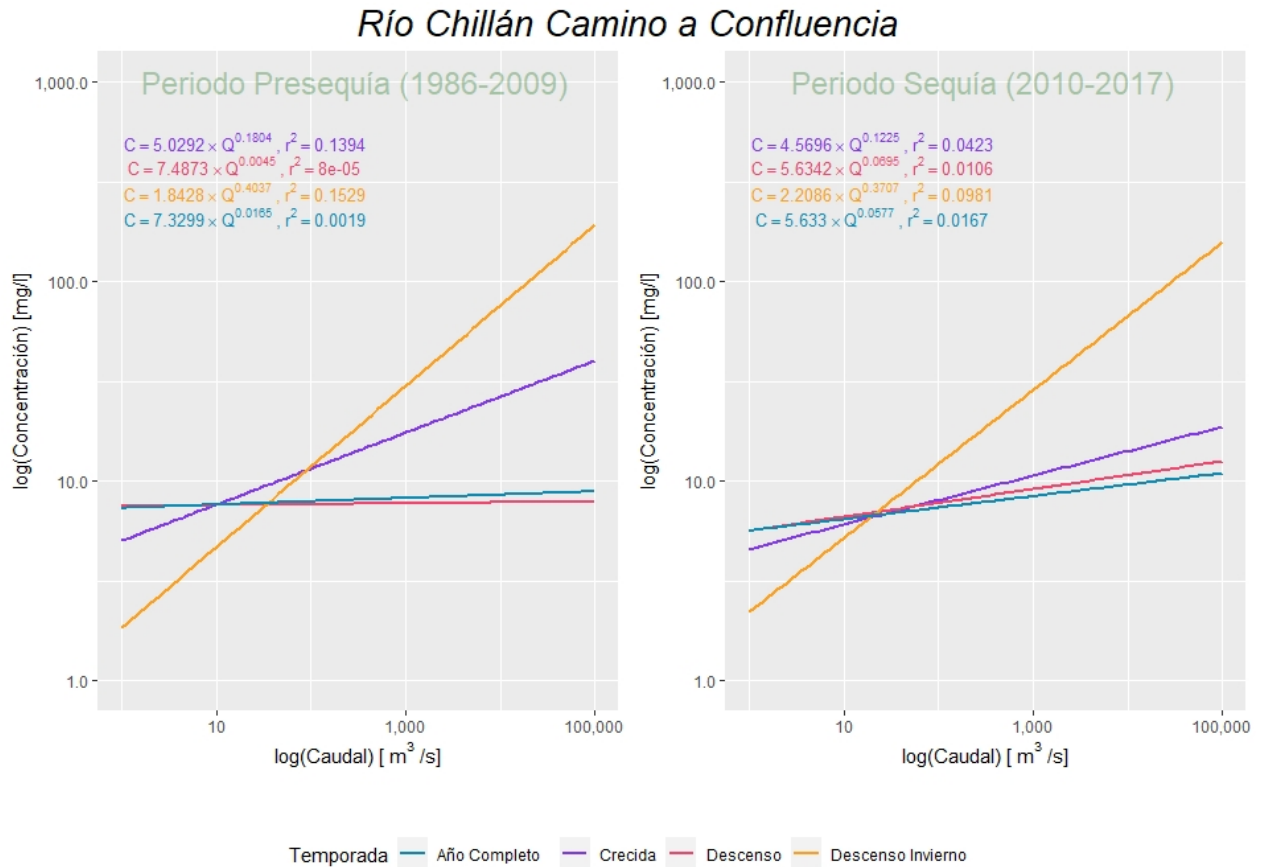


Figura 3.35: Curvas de clasificación generadas para las 4 temporadas especificadas. Información expuesta en 2 gráficos, el primero para el periodo de pre-sequía y el segundo para el periodo de sequía. Las temporadas son: **Año Completo** (registro completo), **Crecida** (Abril a Junio), **Descenso** (Julio a Diciembre), **Descenso Invierno** (Julio a Septiembre). Estación río Chillán en Camino a Confluencia.

- Río Diguillín en Longitudinal:** en la Figura 3.36 se muestra como la temporada **Descenso Invierno**, al igual que en las estaciones anteriores, es la temporada de mayor pendiente para ambos periodos, le sigue la temporada de **Crecida**. Cabe destacar que para el periodo de sequía, las temporadas **Descenso** y **Año Completo** tienen rectas muy cercanas a la horizontal. Las temporadas de **Descenso** y **Crecida** aumentaron sus pendientes mientras que en las demás temporadas, esta disminuyó. El cambio más relevante que se observa comparando ambos periodos, es la disminución de la pendiente en la temporada **Descenso Invierno**, pasando de 0,4458 a 0,2117 (Tabla 3.4).

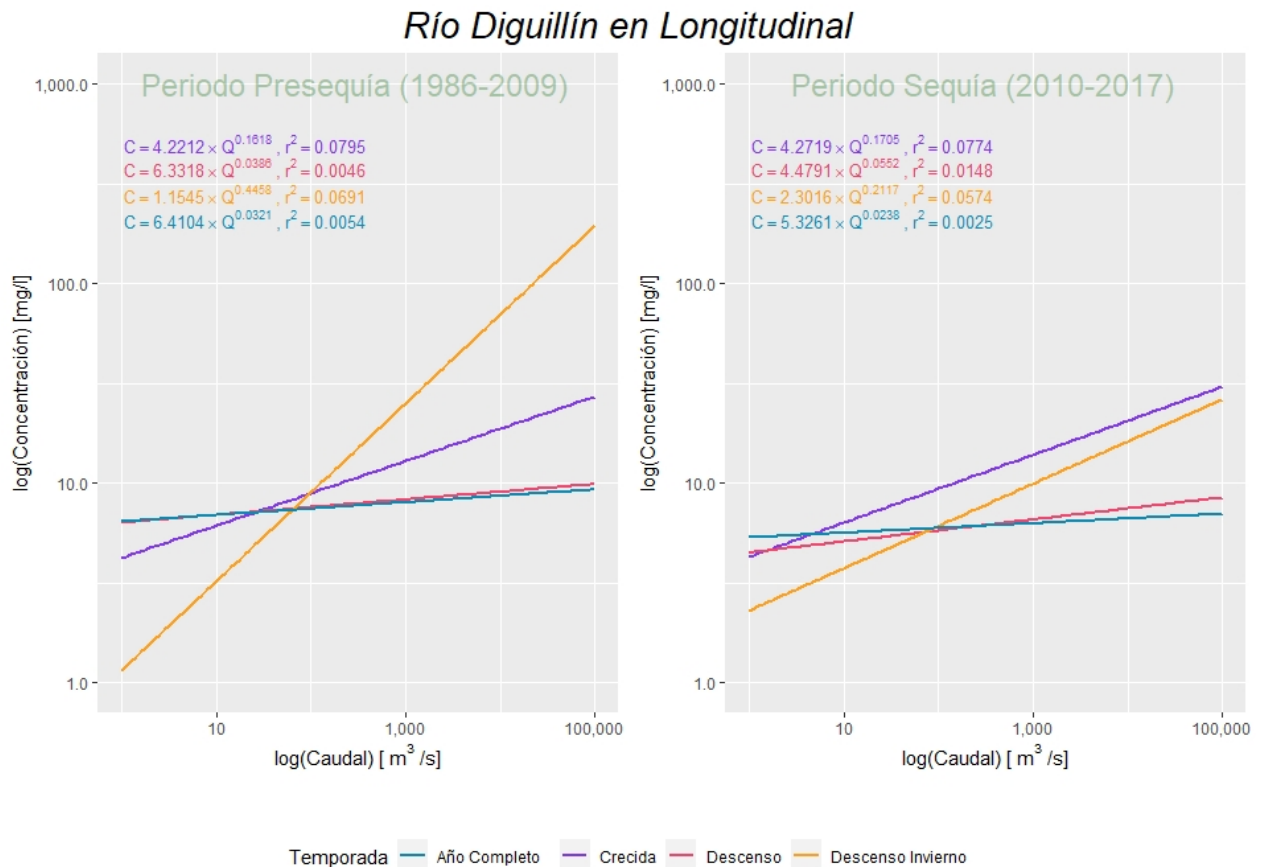


Figura 3.36: Curvas de clasificación generadas para las 4 temporadas especificadas. Información expuesta en 2 gráficos, el primero para el periodo de pre-sequía y el segundo para el periodo de sequía. Las temporadas son: **Año Completo** (registro completo), **Crecida** (Abril a Junio), **Descenso** (Julio a Diciembre), **Descenso Invierno** (Julio a Septiembre). Estación río Diguillín en Longitudinal.



- Río Itata en Balsa Nueva Aldea:** en la Figura 3.37 se observa como la temporada **Descenso Invierno** presenta la recta de mayor pendiente, seguida de la temporada **Crecida**. Todas las temporadas experimentaron una caída en sus pendientes con la salvedad de la temporada **Descenso Invierno** la cual aumentó su pendiente en el periodo de sequía.

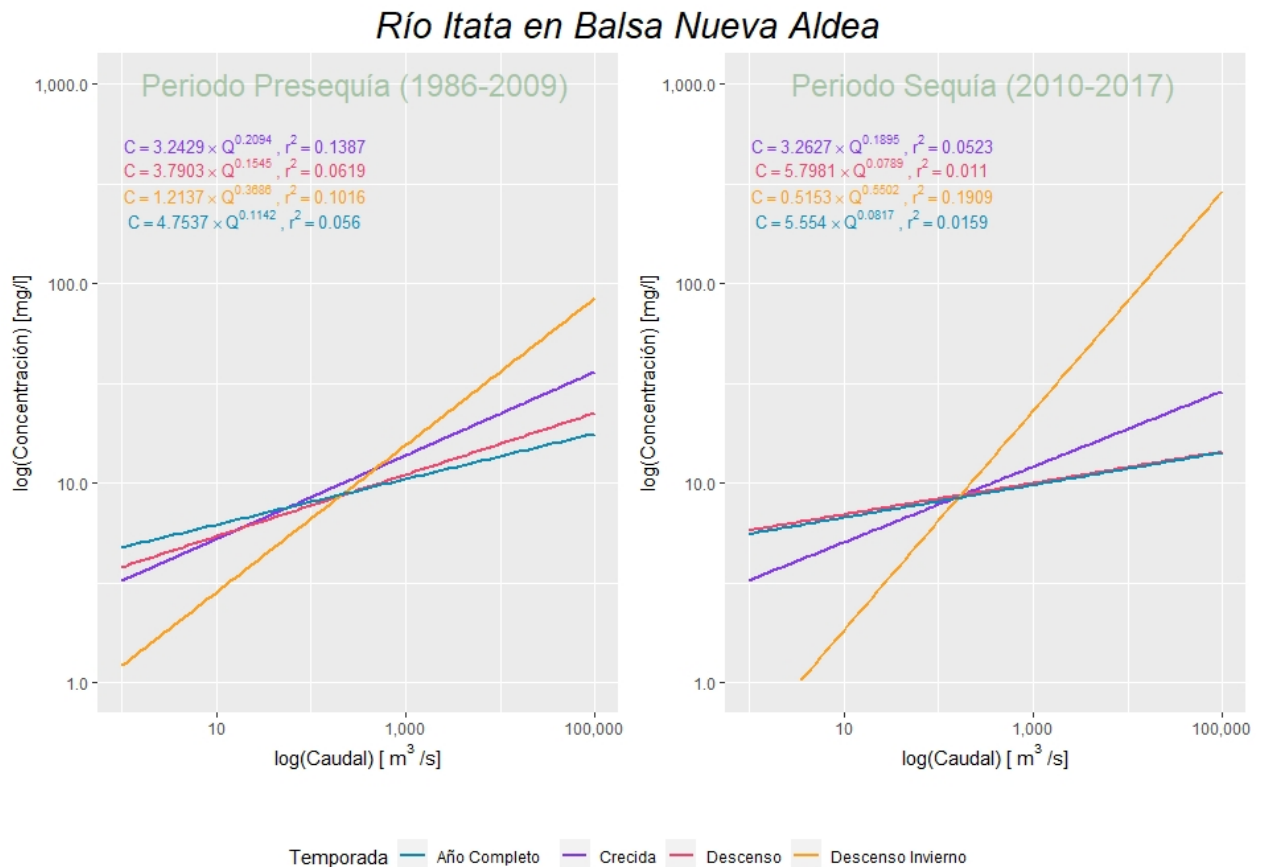


Figura 3.37: Curvas de clasificación generadas para las 4 temporadas especificadas. Información expuesta en 2 gráficos, el primero para el periodo de pre-sequía y el segundo para el periodo de sequía. Las temporadas son: **Año Completo** (registro completo), **Crecida** (Abril a Junio), **Descenso** (Julio a Diciembre), **Descenso Invierno** (Julio a Septiembre). Estación río Itata en Balsa Nueva Aldea.

- Río Itata en Coelemu:** en la Figura 3.38 se muestra como para ambos periodos, la temporada **Descenso Invierno** tiene la recta de mayor pendiente seguida de **Crecida** en el periodo de pre-sequía, y la temporada de **Descenso** en el periodo de sequía. Se evidencia una disminución de la pendiente en todas las curvas en el periodo de sequía, siendo la temporada de **Crecida** la que experimentó la mayor caída en la pendiente.

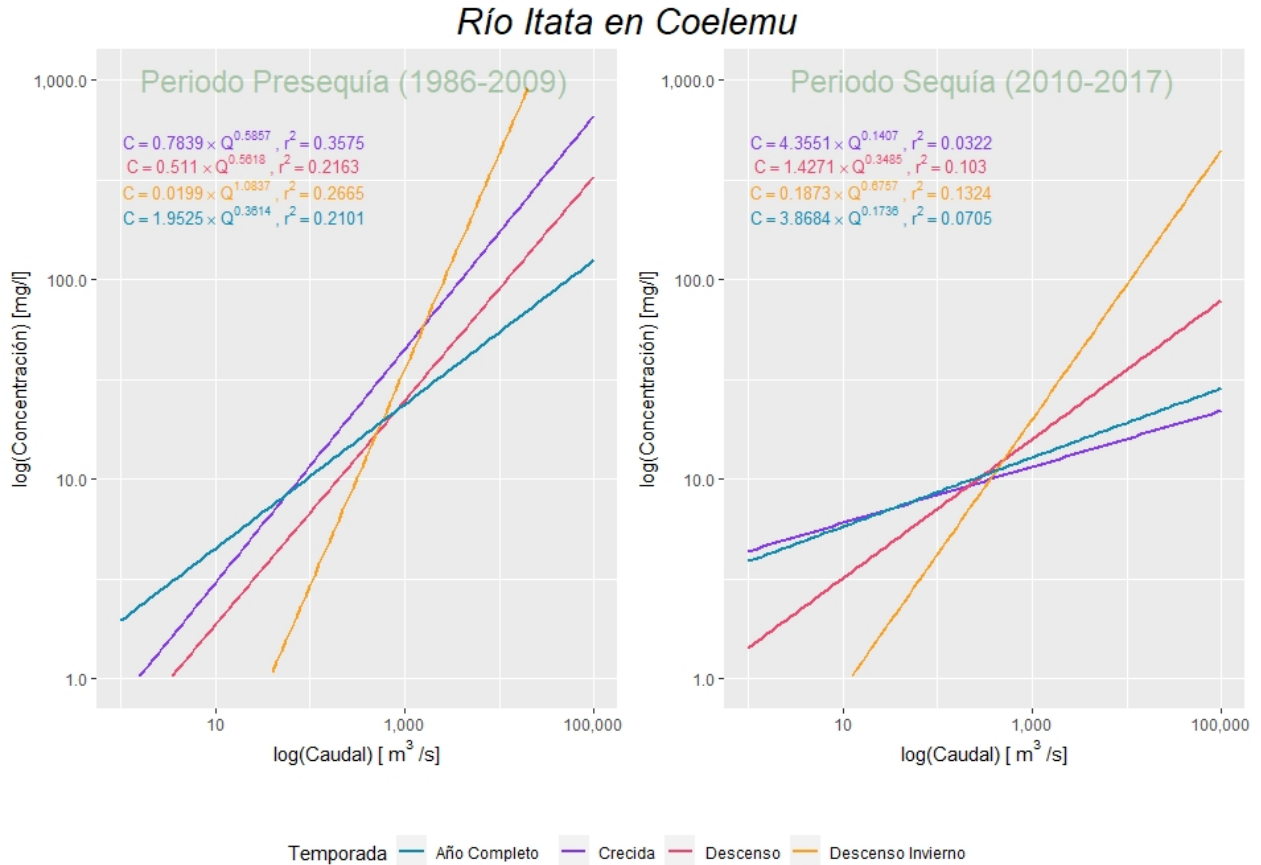


Figura 3.38: Curvas de clasificación generadas para las 4 temporadas especificadas. Información expuesta en 2 gráficos, el primero para el periodo de pre-sequía y el segundo para el periodo de sequía. Las temporadas son: **Año Completo** (registro completo), **Crecida** (Abril a Junio), **Descenso** (Julio a Diciembre), **Descenso Invierno** (Julio a Septiembre). Estación río Itata en Coelemu.

Tabla 3.4: Ecuaciones no-lineales utilizadas para calcular las curvas de clasificación en cada temporada para cada periodo según la estación con los coeficientes obtenidos.

Código	Temporada	Periodo Completo				Periodo Pre-sequía				Periodo Sequía			
		Ecuación	a	b	r <sup>2</sup>	Ecuación	a	b	r <sup>2</sup>	Ecuación	a	b	r <sup>2</sup>
NSF	Crecida	$y = 0,3584x^{0,704}$	0.3584	0.704	0.2913	$y = 0,2149x^{0,7808}$	0.2149	0.7808	0.3789	$y = 0,5077x^{0,7596}$	0.5077	0.7596	0.2523
	Descenso	$y = 0,0551x^{0,9504}$	0.0551	0.9504	0.2116	$y = 0,0273x^{1,0608}$	0.0273	1.0608	0.3196	$y = 0,0601x^{1,0334}$	0.0601	1.0334	0.2506
	Descenso Invierno	$y = 0,0113x^{1,2585}$	0.0113	1.2585	0.2426	$y = 0,0044x^{1,4048}$	0.0044	1.4048	0.3434	$y = 0,0186x^{1,2742}$	0.0186	1.2742	0.3254
	Todo	$y = 1,0104x^{0,3758}$	1.0104	0.3758	0.1112	$y = 0,6237x^{0,4504}$	0.6237	0.4504	0.1637	$y = 1,6388x^{0,3593}$	1.6388	0.3593	0.079
ICH	Crecida	$y = 0,7292x^{0,6588}$	0.7292	0.6588	0.3144	$y = 0,7703x^{0,6561}$	0.7703	0.6561	0.329	$y = 0,6676x^{0,6483}$	0.6676	0.6483	0.2555
	Descenso	$y = 0,6652x^{0,6328}$	0.6652	0.6328	0.1856	$y = 0,7805x^{0,6017}$	0.7805	0.6017	0.1866	$y = 0,3506x^{0,7725}$	0.3506	0.7725	0.1957
	Descenso Invierno	$y = 0,2376x^{0,8841}$	0.2376	0.8841	0.284	$y = 0,3373x^{0,8147}$	0.3373	0.8147	0.2648	$y = 0,1148x^{1,0261}$	0.1148	1.0261	0.3078
	Todo	$y = 0,9464x^{0,5589}$	0.9464	0.5589	0.1977	$y = 1,0079x^{0,5536}$	1.0079	0.5536	0.2053	$y = 0,7408x^{0,5952}$	0.7408	0.5952	0.1841
DEL	Crecida	$y = 4,2707x^{0,1604}$	4.2707	0.1604	0.085	$y = 4,2212x^{0,1618}$	4.2212	0.1618	0.0795	$y = 4,2719x^{0,1705}$	4.2719	0.1705	0.0774
	Descenso	$y = 5,6686x^{0,0544}$	5.6686	0.0544	0.0097	$y = 6,3318x^{0,0386}$	6.3318	0.0386	0.0046	$y = 4,4791x^{0,0552}$	4.4791	0.0552	0.0148
	Descenso Invierno	$y = 1,2597x^{0,4152}$	1.2597	0.4152	0.081	$y = 1,1545x^{0,4458}$	1.1545	0.4458	0.0691	$y = 2,3016x^{0,2117}$	2.3016	0.2117	0.0574
	Todo	$y = 6,0099x^{0,0383}$	6.0099	0.0383	0.0075	$y = 6,4104x^{0,0321}$	6.4104	0.0321	0.0054	$y = 5,3261x^{0,0238}$	5.3261	0.0238	0.0025
CCC	Crecida	$y = 4,7414x^{0,1788}$	4.7414	0.1788	0.1232	$y = 5,0292x^{0,1804}$	5.0292	0.1804	0.1394	$y = 4,5696x^{0,1225}$	4.5696	0.1225	0.0423
	Descenso	$y = 6,9414x^{0,0193}$	6.9414	0.0193	0.0013	$y = 7,4873x^{0,0045}$	7.4873	0.0045	0.00008	$y = 5,6342x^{0,0695}$	5.6342	0.0695	0.0106
	Descenso Invierno	$y = 2,0647x^{0,3764}$	2.0647	0.3764	0.1309	$y = 1,8428x^{0,4037}$	1.8428	0.4037	0.1529	$y = 2,2086x^{0,3707}$	2.2086	0.3707	0.0981
	Todo	$y = 6,6893x^{0,0313}$	6.6893	0.0313	0.006	$y = 7,3299x^{0,0165}$	7.3299	0.0165	0.0019	$y = 5,6330x^{0,0577}$	5.633	0.0577	0.0167
BNA	Crecida	$y = 3,1691x^{0,2108}$	3.1691	0.2108	0.1246	$y = 3,2429x^{0,2094}$	3.2429	0.2094	0.1387	$y = 3,2627x^{0,1895}$	3.2627	0.1895	0.0523
	Descenso	$y = 4,1488x^{0,1392}$	4.1488	0.1392	0.0469	$y = 3,7903x^{0,1545}$	3.7903	0.1545	0.0619	$y = 5,7981x^{0,0789}$	5.7981	0.0789	0.011
	Descenso Invierno	$y = 1,0212x^{0,4032}$	1.0212	0.4032	0.1242	$y = 1,2137x^{0,3686}$	1.2137	0.3686	0.1016	$y = 0,5153x^{0,5502}$	0.5153	0.5502	0.1909
	Todo	$y = 4,8772x^{0,1096}$	4.8772	0.1096	0.0466	$y = 4,7537x^{0,1142}$	4.7537	0.1142	0.056	$y = 5,5540x^{0,0817}$	5.554	0.0817	0.0159
ICO	Crecida	$y = 0,9743x^{0,5219}$	0.9743	0.5219	0.2984	$y = 0,7839x^{0,5857}$	0.7839	0.5857	0.3575	$y = 4,3551x^{0,1407}$	4.3551	0.1407	0.0322
	Descenso	$y = 0,6611x^{0,5078}$	0.6611	0.5078	0.1855	$y = 0,5110x^{0,5618}$	0.511	0.5618	0.2163	$y = 1,4271x^{0,3485}$	1.4271	0.3485	0.103
	Descenso Invierno	$y = 0,0328x^{0,9913}$	0.0328	0.9913	0.2358	$y = 0,0199x^{1,0837}$	0.0199	1.0837	0.2665	$y = 0,1873x^{0,6757}$	0.1873	0.6757	0.1324
	Todo	$y = 2,2684x^{0,318}$	2.2684	0.318	0.1749	$y = 1,9525x^{0,3614}$	1.9525	0.3614	0.2101	$y = 3,8684x^{0,1736}$	3.8684	0.1736	0.0705

# Capítulo 4

## Discusión

### 4.1. Movimiento del sedimento en la cuenca, distribución espacial

Los resultados expuestos en la Sección 3.1 sobre los aportes de cada tributario a lo largo del río, dejan en evidencia la participación e importancia de cada uno de ellos. Es de estos resultados que se agrupó la información en la Tabla 4.1 la cual considera secciones monitoreadas e inferidas.

Tabla 4.1: Distribución porcentual del área, caudal y carga sedimentaria (Qs) en las diferentes estaciones y subcuencas con respecto a la estación río Itata en Coelemu (ICO). Información de todo el registro.

Estación o Subcuencas	Área (%) <sup>a</sup>	Caudal (%) <sup>b</sup>	Qs (%) <sup>c</sup>
Ñuble en San Fabián de Alico (NSF)	15,9	27,8	18,5
Itata en Cholguán (ICH)	8,3	12	5,7
Chillán en camino a Confluencia (CCC)	7,7	5,6	4,9
Diguillín en Longitudinal (DEL)	12,5	11,9	10,7
Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA)	43,4	36,1	21,9
Ñuble Alto y Ñuble Bajo <sup>d</sup>	56,6	63,9	78,1
Itata en Coelemu (ICO)	100	100	100

<sup>a</sup> Área porcentual con respecto al área total en la estación río Itata en Coelemu (ICO) ( $10.402 \text{ km}^2$ )

<sup>b</sup> Caudal porcentual con respecto al caudal promedio en la estación río Itata en Coelemu (ICO) ( $327 \text{ m}^3/\text{s}$ )

<sup>c</sup> Qs porcentual con respecto al Qs promedio mensual en la estación río Itata en Coelemu (ICO) ( $52.408 \text{ ton}/\text{mes}$ )

<sup>d</sup> Subcuencas Ñuble Alto y Ñuble Bajo en conjunto. Los valores de caudal y carga sedimentaria (Qs) porcentual se obtuvieron de la resta directa de la estación río Itata en Coelemu (ICO) con río Itata en Balsa Nueva Aldea.

### 4.1.1. Subcuenca del río Ñuble

De la Tabla 4.1 se aprecia fácilmente la importancia de las subcuencas Ñuble Alto (ÑA) y Ñuble Bajo (ÑB) en el aporte de sedimentos (Figura 2.2). De estas subcuencas se tiene conocimiento de la parte alta del río Ñuble y del río Chillán.

En lo que respecta a la subcuenca Ñuble Alto, ésta produce cerca del 18,5 % de la carga sedimentaria (Qs) de la cuenca. Esta alta producción se podría relacionar con la pendiente media de esta cuenca (24,2%), la escasa cobertura vegetal dada la altitud del Complejo Volcánico Nevados de Chillán y la alta potencialidad a la erosión (riesgo 4 a 5) (Figura 2.12). Esta última estaría ligada de igual forma a la litología presente en esta subcuenca. La litología presente en esta zona corresponde principalmente a rocas piroclásticas, sedimentitas clásticas y tobas pertenecientes a la Formación Cura-Mallín y las rocas de la Formación Cola de Zorro, que son en su mayoría rocas volcánicas y piroclásticas. Esta familia de rocas mencionadas son consideradas *blandas*, por lo cual son más fracturables y meteorizables (Tolorza et al., 2019).

De la información de la Tabla 4.1 se puede apreciar que la subcuenca del río Ñuble aporta cerca del 78 % de la carga sedimentaria movilizada en la cuenca del río Itata. Ante esto, existe un alto porcentaje de la cuenca que no es monitoreado, principalmente el Ñuble Bajo, el cual es responsable del 54,7 % de la carga sedimentaria (Qs). De esto no se puede saber la proveniencia. Sin embargo, el uso de suelos en Ñuble Bajo corresponde en un 30 – 35 % a agricultura y en un 30 % a terrenos de matorral o escasa vegetación (Alvarez-Garretton et al., 2018). Esto tendría estrecha relación con la alta producción de sedimentos que se observa a lo largo del estudio.

### 4.1.2. Subcuenca en estación río Itata en Balsa Nueva Aldea

Para esta porción de la cuenca se tiene información de la parte alta de la subcuenca Itata Alto (ICH), información de la subcuenca del río Diguillín (DEL) e información de las subcuencas Itata Alto e Itata Medio (BNA) (Figura 2.2).

De la subcuenca río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) sabemos que el 20 % del área corresponde a la subcuenca río Itata en Cholguán (ICH) y el 29 % a la subcuenca río Diguillín en Longitudinal (DEL) (Tabla 4.1). En cuanto a la carga sedimentaria (Qs), el 26 % proviene de la subcuenca río Itata en Cholguán (ICH) y cerca del 49 % proviene de la subcuenca del río Diguillín en Longitudinal (DEL). Los ríos presentes en la subcuenca río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) que no se encuentran monitoreados son el río Trilaleo, río Dañicalqui y el río Larqui.

Con esta información, se puede ver la importancia en el aporte de sedimentos que significa la subcuenca del río Diguillín, produciendo casi la mitad de la carga sedimentaria (Qs), que genera la subcuenca río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) y cerca del 11 % de la cuenca total. En esta subcuenca (DEL), más del 60 % de su superficie corresponde a suelos aptos para la agricultura, asentamientos urbanos y depósitos fluvio-aluviales (Q1), lo cual podría justificar la alta producción de sedimentos en la subcuenca.

## 4.2. 2010, inicio de la Megasequía

A inicios del estudio se consideró el año 2010 como inicio de la megasequía en Chile central (CR2, 2015b; Garreaud et al., 2017, 2020), lo cual permitió analizar el registro total en los dos periodos de estudio. De la Tabla 4.2 se puede ver como en relación a los caudales, todas las estaciones demuestran un gran déficit en sus promedios anuales, siendo la estación río Itata en Cholguán (ICH) la que experimentó el menor déficit de caudal y la estación Diguillín en Longitudinal (DEL), el mayor. En cuanto a la carga sedimentaria ( $Q_s$ ), las variaciones son más alarmante, marcando una baja en la movilidad muy leve en la estación río Ñuble en San Fabián (NSF), pero un déficit preocupante en las demás estaciones.

El caso más sobresaliente es la estación en río Diguillín en Longitudinal (DEL). Esta estación manifiesta la mayor caída porcentual tanto en caudal (-51,88 %) como en carga sedimentaria ( $Q_s$ ) (-85,17 %). Estos valores son correlativos con el alto porcentaje del uso de suelo destinado a la agricultura, cercano al 40 %. Sumado a esto, la anomalía negativa de sólidos en suspensión totales comienza el año 2002, mientras que la anomalía de caudal comienza el año 2009, lo cual evidenciaría un efecto antrópico afectando a la subcuenca antes que los estragos del cambio climático, estos reflejados en el caudal. Cambios en el uso de suelo y construcción de infraestructuras como la Bocatoma el Carmen serían los factores más incidentes en el aspecto antrópico.

En la Sección 3.5 se puede apreciar como la megasequía no solo trae consigo una caída en los valores de caudal y carga sedimentaria ( $Q_s$ ), sino que también refleja la caída en la producción del sedimento por  $km^2$  (Figura 3.27) y como la cuenca total está tomando una tendencia a acrecionar el material en vez de movilizarlo a los océanos (Figura 3.28 y 3.29). Esta acreción dentro de la cuenca se debe a la desconexión del sistema de enrutamiento sedimentario, producto de la disminución de las escorrentías por las precipitaciones, limitando el transporte del sedimento desde las laderas o zonas más alejadas al cauce principal.

Tabla 4.2: Variación porcentual de los promedios anuales de caudal y carga sedimentaria ( $Q_s$ ) por estación. La sigla *PS* significa periodo de pre-sequía y la sigla *S*, periodo de sequía

Estación	Caudal PS [ $m^3/s$ ]	Caudal S [ $m^3/s$ ]	$\Delta$ Caudal(%)	$Q_s$ PS [ton/mes]	$Q_s$ S [ton/mes]	$\Delta Q_s$ (%)
NSF <sup>a</sup>	98,9	67,6	-31,64	120.771	115.735	-4,16
ICH <sup>b</sup>	40,7	35,7	-12,3	44.090	20.500	-53,5
CCC <sup>c</sup>	20,2	13,7	-32,17	42.998	25.075	-41,68
DEL <sup>d</sup>	45,1	21,7	-51,88	91.314	12.622	-86,17
BNA <sup>e</sup>	131	83,2	-36,5	149.962	85.447	-43,02
ICO <sup>f</sup>	356	249	-30,05	786.507	202.873	-74,2

<sup>a</sup> Estación río Ñuble en San Fabián de Alico

<sup>b</sup> Estación río Itata en Cholguán

<sup>c</sup> Estación río Chillán en camino a Confluencia

<sup>d</sup> Estación río Diguillín en Longitudinal

<sup>e</sup> Estación río Itata en Balsa Nueva Aldea

<sup>f</sup> Estación río Itata en Coelemu

El quiebre que significa la megasequía es evidenciable en el registro histórico de las estaciones estudiadas. Si bien, algunas de ellas manifiestan esta disminución de los caudales desde algunos años antes del 2010 (por ejemplo el año 2007 en la estación río Itata en Balsa Nueva Aldea), todas las estaciones manifiestan anomalías negativas en el periodo de sequía (Figura 3.23)

### 4.3. Estacionalidad de la movilización del sedimento

A inicios del estudio, en la Sección 2.2, se mencionó que la cuenca del río Itata presenta un régimen pluvial en la mayoría de sus estaciones y un régimen pluvio-nival en la estación río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF). Esto se interpreta como una mayor relevancia de los caudales entre los meses de Mayo a Septiembre, en esta cuenca. Estos máximos de caudal son los responsables de la mayor movilidad de sedimentos en la cuenca. Este transporte aumenta drásticamente a inicios de la crecida (Mayo a Junio), movilizandando montos de sedimento que alcanzan hasta 3 ordenes de magnitud de diferencia en, por ejemplo, la estación río Itata en Coelemu (ICO). Posterior a estos máximos en la movilidad (meses de Mayo a Julio), y de manera paulatina, decrece la movilidad de sedimentos de manera dispar con la disminución del caudal, lo cual se interpreta como un agotamiento de la disponibilidad del material antes de la baja de los caudales. Esto se puede ver en más detalle en la Sección 3.2.

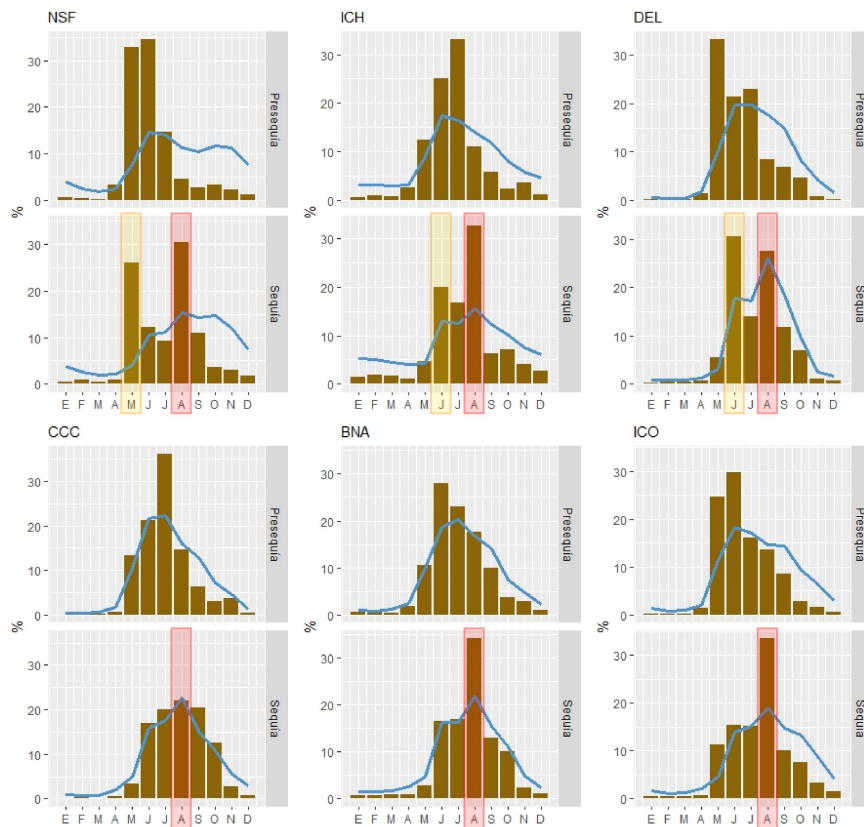


Figura 4.1: Porcentaje de participación de las variables de caudal (línea azul) y carga sedimentaria ( $Q_s$ ) (columnas marrones) para los periodos de pre-sequía y sequía. Los rectángulos amarillos representan el primer máximo de movilidad de sedimentos correspondiente a los meses de Mayo y Junio, únicamente presentes en tres estaciones, el rectángulo rojo corresponde al máximo de movilidad en todas las estaciones durante el mes de Agosto. Estaciones río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF), río Itata en Cholguán (ICH), río Diguillín en Longitudinal (DEL), río Chillán en camino a Confluencia (CCC), río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) y río Itata en Coelemu (ICO).



En la Figura 4.1, se muestra la diferencia de comportamiento en el periodo de sequía. En estaciones como río Ñuble en San Fabián (NSF), río Itata en Cholguán (ICH) y río Diguillín en Longitudinal (DEL), aparece un máximo en la carga sedimentaria ( $Q_s$ ) en los meses de Mayo y Junio (rectángulo amarillo en la Figura 4.1). En Agosto aparece un nuevo máximo en la movilidad de sedimentos en todas las estaciones (rectángulo rojo en la Figura 4.1).

El primer máximo mencionado corresponde al aumento en la movilidad producto de las precipitaciones (rectángulo amarillo, Figura 4.1). Este máximo en la movilidad marca el comportamiento histórico de la cuenca, un régimen pluvial. En todas las estaciones se visualizó un aumento importante en la carga sedimentaria ( $Q_s$ ), lo cual Tolorza et al. (2014) interpreta como la movilidad del sedimento producido durante las épocas más secas (Diciembre a Marzo), que ante las escasas o nulas precipitaciones, es retenido en la cuenca y movilizado en las primera escorrentías por precipitación (Mayo a Junio).

En cuanto al desfase en el máximo de caudal y de carga sedimentaria ( $Q_s$ ), al mes de Agosto en todas las estaciones (rectángulo rojo, Figura 4.1) se esperaría que tuviese una estrecha relación con las precipitaciones, es decir, estas últimas son las que se han desfazado. Al analizar los datos pluviométricos, resumidos en la Figura 4.2, se puede ver que, si bien los montos acumulados mensuales han disminuidos en el periodo de sequía con respecto al periodo de pre-sequía, mantienen su estacionalidad y máximos entre Mayo a Julio, por lo tanto, el máximo de caudal en Agosto no tendría relación con un desplazamiento en las precipitaciones.

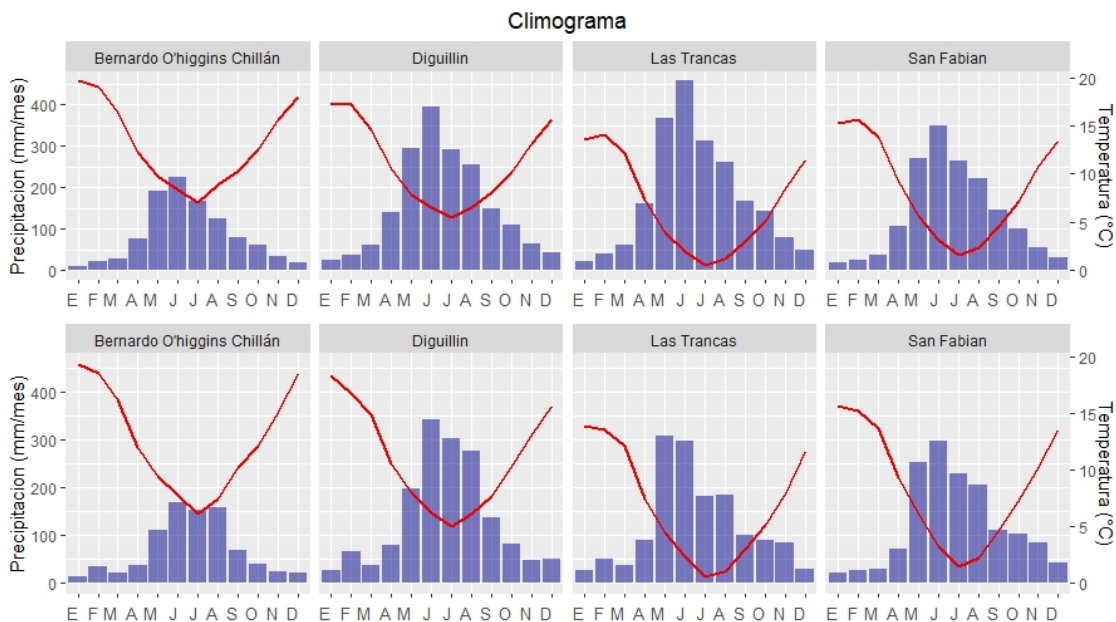


Figura 4.2: Promedio mensual de precipitaciones y temperatura para cada periodo y estación.

Para plasmar soluciones más fundadas, se considera que las aguas que entran prontamente a los cauces, producto de un evento puntual (lluvias o derretimiento de nieve) se llaman *flujo directo*. Este se diferencia del *flujo base* por ser aguas que ingresa desde fuentes constantes de leve variación (un tiempo de residencia prolongado) y mantienen el caudal entre dos eventos separados. Sin embargo, el flujo base también puede provenir del lento drenaje de suelos relativamente delgados en las laderas de los altos topográficos (Dingman, 2015).

Ante esto, una alternativa para explicar el desplazamiento del máximo de caudal y el de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) hacia el mes de Agosto (rectángulo rojo en la Figura 4.1), sería que el agua infiltrada de las precipitaciones, que posteriormente pasa a ser parte del flujo base del caudal, tendría un tiempo de respuesta entre 1 a 2 meses (Andermann, Crave, Gloaguen, Davy, y Bonnet, 2012; Andermann, Longuevergne, et al., 2012). Esto podría resultar en que el agua de las disminuidas precipitaciones de Mayo a Junio infiltran y aumentan el caudal nuevamente en Agosto debido a un aumento del flujo base. Si bien, existe un aumento en el caudal producto de las precipitaciones durante los meses de invierno temprano (Mayo a Julio), este aumento no marca el máximo en la movilidad de sedimentos en todas las estaciones. Entonces, nos encontraríamos ante el escenario de una cuenca controlada por su flujo base en Agosto, el cual sería responsable de la mayor movilidad de sedimento y la escorrentía por precipitaciones (*runoff* o flujo directo) sería responsable durante los meses de Mayo a Junio (Tolorza et al., 2014).

Esto podría traer grandes desconexiones en los sistemas de enrutamiento sedimentario, pues la escorrentía es el principal responsable de movilizar el material en las laderas de la cuenca (flujos perpendiculares al cauce), pero ante el declive de las precipitaciones y la evidente baja en la movilidad de sedimentos en esos meses, se produciría un entrampamiento del material de las laderas o lejanías al cauce.

Lo que queda inconcluso sería la proveniencia del material movilizadado en el mes de Agosto, pues debería ser el material que quedó en las cercanías del cauce por la escorrentía de invierno y que, ante el aumento del caudal producto del flujo base, sería removido de estos depósitos de rivera. La otra opción es que el material sería movilizadado desde el lecho del río, producto del aumento en la energía de este, y finalmente, queda la opción de que el material removido sería producido en eventos de remociones en masa (Andermann, Crave, et al., 2012). Lo que se puede afirmar es que el material proviene de las cercanías al cauce, siendo un movimiento dependiente del material disponible para ser removido.

Para poder comprobar estas ideas, se propone realizar una separación del caudal en sus dos componentes: flujo directo ( $Q_d$ ) y flujo base ( $Q_b$ ), por medio del filtro digital de dos variables, propuesto por Eckhardt (2005), y siguiendo la metodología utilizada en el estudio de Tolorza et al. (2014), poder estimar la carga sedimentaria directa ( $Q_{sd}$ ) y la carga sedimentaria base ( $Q_{sb}$ ). De esta manera se espera verificar si el sedimento es, en su mayoría, movilizadado en las escorrentías o del lecho del río por los flujos base.

## 4.4. Regímenes de transporte de sedimento

La estacionalidad mencionada previamente, puede tener repercusiones en el régimen de transporte de sedimentos, por ende, si se manifiesta un cambio en esta estacionalidad, de igual manera se verá un cambio en los regímenes de transporte. Los gráficos de anomalías de la Sección 3.3.1 fueron analizados por estación tomando en consideración las implicancias y factores más relevantes en la producción de sedimento, tales como la pendiente (topografía), uso de suelos, cobertura vegetal de estos, y el control litológico (tipo de roca existente en la zona) (Tolorza et al., 2019). En cuanto a la cobertura vegetal, se analizó desde los datos proporcionados por Alvarez-Garretton et al. (2018). Una mayor pendiente y un suelo más expuesto (baja cobertura vegetal) implicará una mayor tasa de producción de sedimento por los diferentes tipos de remociones en masa (desprendimientos, deslizamientos, flujos, *toppling* o extensiones laterales)(Highland y Bobrowsky, 2008). Sumado a esto, el tipo de litología puede ser clasificado como *dura* o *blanda*, siendo la última la más propensa a ser erosionada (Tolorza et al., 2019).

A modo de visualizar los posibles cambios en la relevancia de los altos caudales y el porcentaje del material que se moviliza a estos caudales, la Tabla 4.3 plasma estos valores para las diferentes estaciones y el cambio registrado. Los datos de la Tabla 4.3 complementarán las interpretaciones de las Curvas de Clasificación, de las cuales se tomará en consideración el cambio en los coeficientes **a** y **b** de las regresiones potenciales (*power functions*) entre los periodos de pre-sequía y el periodo de sequía (Figura 4.4) considerando las interpretaciones propuestas por Walling y Gregory (1974); Asselman (2000); Andermann, Crave, et al. (2012) en relación a cambios en la pendiente de las Curvas de Clasificación.

Tabla 4.3: Participación de los altos y bajos caudales en el transporte de sedimentos en las diferentes estaciones de estudio para los dos periodos en cuestión.

Código	$Q_{prom}(m^3/s)^a$	$Q_{prom}\%(\%tiempo)^b$	$Q_{s,prom}(\%Q_s)^c$	$Q_{10\%}(m^3/s)^d$	$Q_{s,10\%}(\%Q_s)^e$
Presequia					
NSF	101.4	60.9	3.15	190	89.2
ICH	41.3	71.8	8.4	85.2	81.6
DEL	44.8	65.8	3.6	114.5	84
CCC	21	96.4	3.9	49.2	83.2
BNA	127.5	67.5	10	311	64
ICO	360	66	4.7	795.2	79.5
Sequia					
NSF	73.3	64.5	4.8	164	84.2
ICH	36.4	71.7	15.3	69	70
DEL	22.4	71.1	7	69.7	69.9
CCC	13.8	67.5	4.1	33.8	82
BNA	84.1	68.9	10.6	210	58.4
ICO	258.4	64.3	9.3	623	61.2

<sup>a</sup>  $Q_{prom}$ , promedio anual de caudal.

<sup>b</sup>  $Q_{prom}\%$ , porcentaje del tiempo en que el caudal es menor que  $Q_{prom}$ .

<sup>c</sup>  $Q_{s,prom}$ , porcentaje del total de  $Q_s$  que es transportado a caudales inferiores a  $Q_{prom}$

<sup>d</sup>  $Q_{10\%}$ , caudales que excede el 10% del tiempo, es decir, caudal máximo de 36 días al año.

<sup>e</sup>  $Q_{s,10\%}$ , porcentaje del total de  $Q_s$  que es transportado a caudales superiores a  $Q_{10\%}$ .



de las precipitaciones. De hecho, en estas estaciones se registra el primer máximo en esta temporada, lo cual habla de un régimen con poco cambio, dado que únicamente se observa una leve disminución del coeficiente **b**, lo cual es interpretado como una transición a movilizar material más fino (Walling y Gregory, 1974).

Por otra parte, la temporada **Descenso Invierno** (Julio a Septiembre) es la que registró la mayor diferencia en los coeficientes en ambas estaciones. Para el caso de la estación río Ñuble en San Fabián de Alico (NSF), la pendiente disminuyó en esta temporada. Esta disminución en el coeficiente **b** es interpretado por Walling y Gregory (1974) como material más fino. Ahora bien, si se complementa eso con las importantes anomalías negativas de caudal (Figura 3.23) a partir del 2010, las anomalías positivas de sólidos en suspensión totales (Figura 3.24) desde el año 2010, el doble peak de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) (Figura 4.1) y la leve disminución en la producción de sedimentos por área (*sediment yield*, Figura 3.27), se visualiza un efecto de cambio climático. La subcuenca presenta un importante déficit de precipitaciones, reflejado en la disminución de sus caudales. Si bien, aún son importantes estas precipitaciones para movilizar el sedimento acumulado durante el periodo más seco, la disminución de los caudales no logra movilizar todo este material. Al llegar el segundo máximo (Agosto) y como el caudal es dependiente del flujo base, pierde la capacidad de transporte de sedimentos (reflejado en la disminución de la pendiente de la Curva de Clasificación) por la baja del caudal, y probablemente el material transportado proviene de los lechos del río o de los depósitos de ribera cercanos al cauce, material que no fue removido durante las crecidas por lluvia.

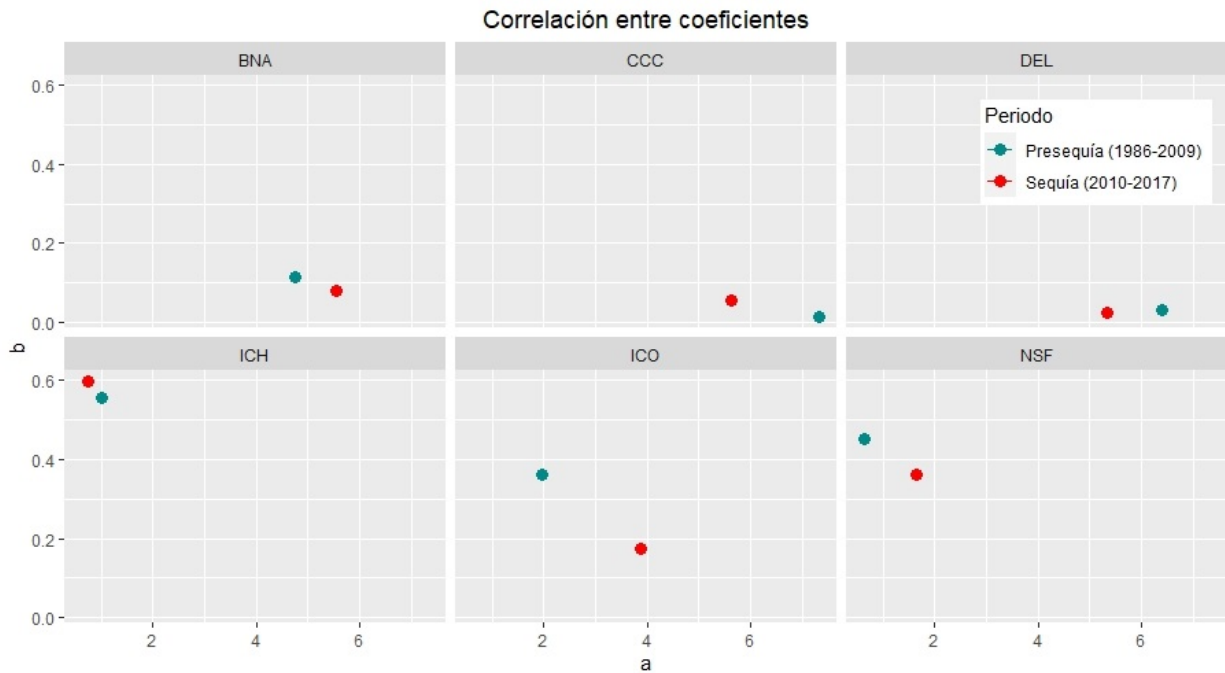


Figura 4.4: Relación entre los coeficientes de las Curvas de Clasificación para todo el registro. Información dividida entre estaciones.

Pese a esto, los caudales en ambos máximos de movilidad de sedimento se presentan con una mayor concentración de sólidos en suspensión (miligramos por unidad de litro), y esto es respaldado en la anomalía positiva de sólidos en suspensión, por lo cual sus caudales serían flujos más concentrados. La subcuenca mantiene su producción de sedimentos, pues

depende de la topografía (alta pendiente, 24,2%) y la litología más erodable (riesgo de erosión potencial grado 4 a 5, Sección 2.6) considerada *suave* (Tolorza et al., 2019).

Considerando lo anterior, la subcuenca del río Ñuble en San Fabián de Alicó (NSF) se encontraría ante un nuevo régimen de transporte de sedimentos dependiente de la capacidad de transporte del río, siendo su factor más influyente la disminución de los caudales producto del déficit de precipitaciones, es decir, consecuencia de la megasequía de Chile central por sobre un efecto antrópico. De todas formas, este último efecto no se puede omitir, pues desde el 2016 se encuentra en construcción el Embalse La Punilla (Sección 2.7), el cual podría tener repercusiones en el régimen del río en un futuro cercano. Con la información actual no se puede cuantificar detalladamente el impacto en el régimen producto de esta construcción.

En el caso de la temporada **Descenso Invierno** para la estación río Itata en Cholguán (ICH), la pendiente de la Curva de Clasificación aumentó, lo cual se relaciona con la cantidad de sedimento disponible para ser removido, pues como se mencionó previamente, estos ríos se caracterizan por movilizar poco material a bajo caudal pero aumentar rápidamente con la crecida de estos. Por lo tanto, con relación al doble peak de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) (Figura 4.1), el primero depende de las escorrentías por precipitación. Ahora bien, como los caudales en esta estación son bajos (promedio  $40[m^3/s]$ ) no alcanzan a remover todo el material producido en las temporadas más secas. En la temporada **Descenso Invierno**, junto al segundo máximo de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) (mayor que el primero), el caudal supera a los anteriores, por lo cual moviliza más sedimento (reflejado en el aumento de la pendiente en la Curva de Clasificación de dicha temporada). Esto explicaría ambos máximos de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) y el déficit de caudal (Figura 3.23) tendría su justificación en la megasequía.

En cuanto a las anomalías negativas de concentración de sólidos en suspensión totales (SST) en ICH (Figura 3.24), estas se presentan desde el año 2003. Considerando que esta subcuenca presenta un 20% de su superficie cubierta de forestales y cerca del 20% en agricultura (Alvarez-Garretón et al., 2018), esta cobertura ha ido aumentando hasta estos valores desde antes del año 2000 (Aguayo et al., 2009), por ende, esta disminución en la concentración de sólidos en suspensión totales (SST) tendría un origen antrópico considerando la interpretación de Banfield, Braun, Barra, Castillo, y Vogt (2018) en las cuales se analiza la erosión producida por las plantaciones forestales en Chile central. En un inicio las forestales promueven la erosión por sobre la cobertura de bosque nativo, debido al grueso enraizado (no generan raíces finas) y baja producción de suelo (escasa pérdida de follaje). Al pasar los años, el suelo se ha ido erosionando, perdiendo el material más fino y va quedando un suelo más grueso y difícil de remover. Ante la proliferación de la industria forestal en la zona de estudio (Aguayo et al., 2009), se espera en un inicio un aumento de la concentración de sólidos en suspensión totales (SST), pero al pasar de los años, estos montos disminuyen notoriamente, y más aún si consideramos una baja en la escorrentía por precipitación y con eso, una baja en la movilización del sedimento (disminución de carga sedimentaria,  $Q_s$ ).

En síntesis, la subcuenca en la estación río Itata en Cholguán presentaría una baja en la movilidad de sedimento por efecto tanto climáticos como antrópicos, siendo el primero responsable de la disminución de los caudales, y a su vez el efecto antrópico responsable de la disminución en la concentración de sedimentos desde años anteriores al inicio de la megasequía.







mensuales, los cuales podrían tener una relación con la acción antrópica. De Alvarez-Garretón et al. (2018) se tiene conocimiento que cerca del 45 % de la superficie de esta subcuenca está utilizada en agricultura y suelos expuestos, lo cuales podrían favorecer un aumento en la generación de sedimento, dado los procesos de cosecha y plantación en los cuales los suelos quedan expuestos y, por ende, más fáciles de ser removidos y arrastrados a los cauces (Tolorza et al., 2019).

En el registro se observan múltiples años con anomalías, tanto de caudal como de sólidos en suspensión totales, los cuales no se pueden explicar directamente con las Curvas de Clasificación dada la importante influencia antrópica en esta subcuenca. Para poder comprender estas anomalías y la proveniencia del sedimento se debe analizar directamente el cambio del uso de suelos a escala anual. Si bien el régimen sedimentario de la subcuenca no cambia tanto, el efecto antrópico estaría incidiendo de manera importante en el sistema de enrutamiento sedimentario.

En lo que respecta a la estación río Diguillín en Longitudinal (DEL) se puede ver como  $Q_{s,10\%}$  (Tabla 4.3) ha disminuido de 84 % en pre-sequía a 69,9 % en sequía. Si consideramos esto junto a la disminución en las pendientes de las Curvas de Clasificación, se evidencia la pérdida en la capacidad de transporte, lo que genera movilización de sedimento más fino y prácticamente a todo caudal, es decir, se pierde la dependencia de los máximos. De la Figura 4.1 se identifican dos máximos en la carga sedimentaria ( $Q_s$ ), siendo el primero el de mayor participación, y tal como se ha mencionado con anterioridad, estaría ligado al aumento del caudal por las precipitaciones en la temporada de lluvias (Mayo a Junio). Este primer máximo agotaría la mayor parte del sedimento acumulado en las temporadas más secas y luego, con el segundo máximo de caudal por el flujo base, se removería el material disponible en el lecho y riberas del cauce (Tolorza et al., 2019).

De la Sección 3.3.1, se evidencian anomalías negativas continuas desde el 2009, las cuales estarían directamente ligadas al déficit de precipitaciones por la megasequía. Por otra parte, las anomalías negativas de sólidos en suspensión totales (SST) se manifiestan desde el año 2002. Estas anomalías van ligadas a la proliferación de la agricultura, la cual ocupa el 57,7 % de la superficie de la subcuenca actualmente, según la información proporcionada por el Observatorio Institucional<sup>1</sup>. Este aumento en la agricultura trae como consecuencia un aumento en los canales de regadío y un aumento en la compra de derechos superficiales consuntivos de agua, pasando de 870 [l/s] el año 2000 a 3.100 [l/s] al año 2017 (un aumento del 256 %) <sup>2</sup>. Esta extracción de aguas, si bien no afecta en gran cuantía el caudal (3.100 [l/s] equivale a 3,1[m<sup>3</sup>/s]), implica la desviación de cursos, construcción de bocatomas y diques para almacenar agua. Estas construcciones disminuyen la velocidad del cauce y con eso la energía y capacidad de transporte del río, lo cual implica a su vez una gran baja en la concentración de sólidos en suspensión totales. La más relevante es la bocatoma El Carmen (Sección 2.7), la cual se construyó el 2006, y podría implicar una barrera antropogénica a la libre movilidad de los sedimentos dentro del cauce.

Ante esto, la subcuenca del río Diguillín en Longitudinal manifiesta una gran influencia de la megasequía en la disminución de sus caudales, mas el efecto antrópico es el principal responsable de la disminución de los sólidos en suspensión totales, y con esto, el gran déficit de carga sedimentaria que manifiesta dicha subcuenca, mostrando una variación entre periodos de -86,17 % (Tabla 3.3), la mayor diferencia de todas las estaciones en la zona de estudio.

<sup>1</sup> <https://observatorio.ciren.cl/>

<sup>2</sup> Datos obtenidos de <https://camels.cr2.cl/>

### 4.4.3. Estaciones en la Cordillera de la Costa

En la zona poniente de la cuenca del río Itata, cercano a la Cordillera de la Costa, se ubican las estaciones río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA) y la estación río Itata en Coelemu (ICO), esta última cercana a la desembocadura del río en las Vegas del Itata (Figura 4.6). Si bien ambas presentan una pendiente baja (coeficientes **b**) en el periodo sequía, en el periodo de pre-sequía la estación ICO tenía un alta pendiente, similar a las estaciones de Precordillera y Cordillera Andina (Figura 4.4). Esta estación es la que mayores cambios mostró en las pendientes de las Curvas de Clasificación (Figura 3.38). Sin embargo, ambas estaciones presentan una variación en sus coeficientes **a** y **b**, (aumento y disminución, respectivamente) (Figura 4.4) con la salvedad de la temporada **Descenso Invierno** en la estación BNA (Figura 3.37) en la cual la variación es al revés.

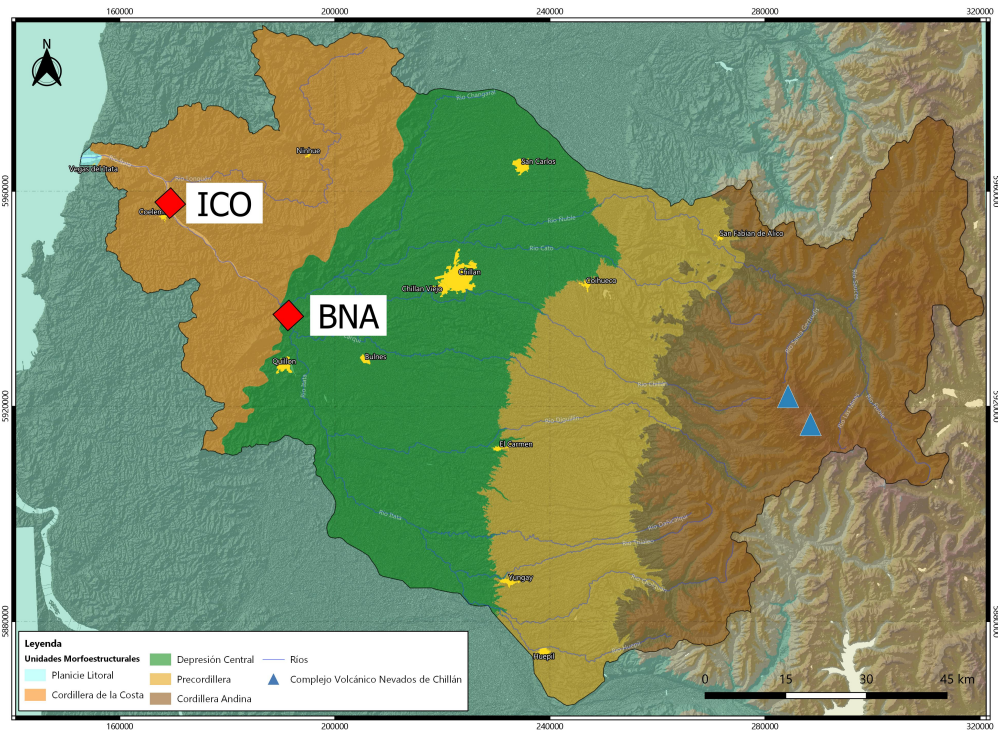


Figura 4.6: Estaciones ubicadas en la Cordillera de la Costa simbolizadas con el rombo rojo.

Analizando la Tabla 4.3 se puede ver que ambas estaciones mostraron grandes disminuciones en  $Q_{s,10\%}$ , de 64 % a 58,4 % en BNA, y de 79,5 % a 61,2 % en ICO. La gran disminución en ICO apoya la interpretación de una disminución en la capacidad de transporte visualizado en la importante disminución del coeficiente **b** (Asselman, 2000). Esta disminución en la capacidad de transporte se aprecia con la pérdida de participación de los altos caudales en la movilidad de carga sedimentaria (disminución en  $Q_{s,10\%}$ ). Esto también es patente en menor magnitud en BNA.

La disminución de la pendiente en las Curvas de Clasificación de ambas estaciones en todas sus temporadas (con la salvedad de **Descenso Invierno** en BNA) se interpreta como una limitación en la capacidad de transporte y erosión del río, sumado a una transición a movilizar sedimento más fino (Walling y Gregory, 1974; Asselman, 2000; Andermann, Crave,

et al., 2012). Esta interpretación se respalda en el declive de las precipitaciones y, por ende, de la escorrentía durante el año hidrológico. Ante una menor escorrentía, se movilizan menores montos de sedimento desde las lejanías al cauce, y como el material disponible y la producción de este es más limitado (*sediment yield*, Figura 3.27), el régimen del río no se encontrará dependiente del caudal sino, principalmente, de los depósitos removibles cercanos al cauce, sumado al material de lecho de río que este pueda movilizar (Tolorza et al., 2019). Ambas estaciones manifiestan anomalías negativas de caudal (Figura 3.23) desde el año 2007 en BNA y del año 2006 en ICO. Estas anomalías serían gatilladas por el déficit de precipitaciones, pues al ser estaciones ubicadas en cuencas de mayor tamaño que las demás estaciones, y a la vez que por sus cauces fluyen caudales mucho mayores, pudiese ser que los estragos de la megasequía se manifestaron antes.

En el análisis puntual de la estación río Itata en Balsa Nueva Aldea (BNA), el aumento en la pendiente del coeficiente **b** de la Curva de Clasificación de la temporada **Descenso Invierno** (Figura 3.37), tendría una estrecha relación con el cambio en la estacionalidad del máximo de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) hacia el mes de Agosto. Como los meses anteriores muestran montos menores de caudal que en Agosto, estos no son capaces de movilizar todo el material, por lo que al aumentar este caudal por el flujo base en este mes, aumenta la capacidad de transporte del río por una mayor disponibilidad de sedimentos a ser movilizados. El sedimento en suspensión tendría su origen en el lecho del río principalmente por el aumento del poder erosivo (Walling y Gregory, 1974). Por otra parte, las anomalías de sólidos en suspensión totales (SST) en BNA (Figura 3.24) se muestran incongruentes con algún efecto persistente, pues en un inicio son negativas, luego positivas, para terminar negativas nuevamente. Esto podría encontrar su explicación si se realiza un estudio acabado sobre los potenciales cambios en el uso de suelos desde el inicio del registro para lograr evidenciar algún efecto antrópico.

Finalmente, en el caso de la estación río Itata en Coelemu (ICO), se observan anomalías negativas de caudal desde el año 2006 y de sólidos totales en suspensión (SST) desde el año 2009, al igual que las de carga sedimentaria ( $Q_s$ ). Ante este escenario de déficit en todas las variables y de un cambio significativo en el régimen de transporte sedimentario del río en todas sus temporadas, se propone el siguiente escenario: la sección del río ubicada en ICO es la porción más cercana al delta del río (Vegas del Itata). En este sector el río tiene una amplia llanura de inundación con material disponible para ser movilizado (Figura 4.7). Estos depósitos de ribera de río solo tienen el potencial de ser movilizados durante las crecidas importantes del río, las cuales son cada vez más escasas producto de la disminución de los caudales por la megasequía. Como no se alcanzan estos montos de caudal, reflejado en la disminución de  $Q_{s,10\%}$  en sequía, el río ya no puede movilizar grandes toneladas de material. Ahora bien, en sequía el río moviliza sedimento a todo caudal, predominantemente por el flujo base (justificado en el desfase del máximo hacia Agosto en la Figura 3.26), dándole una mayor importancia a los caudales bajo el promedio ( $Q_{s,prom\%}$ ) y movilizándolo menos material, presentado un déficit de  $-74,2\%$  en la carga sedimentaria ( $Q_s$ ) promedio entre los periodos de estudio (Tabla 3.3).



Figura 4.7: Imagen de las cercanías a las Vegas del Itata, el rombo verde representa la estación río Itata en Coelemu. En esta imagen se puede apreciar los depósitos de rivera mencionados. Imagen tomada de ESRI.



# Capítulo 5

## Conclusiones y recomendaciones

La megasequía que se encuentra experimentando Chile central desde el año 2010 es de los factores principales que inciden en el constante decrecimiento del aporte de sedimentos del continente al océano, disminución de la movilidad de sedimentos y estancamientos de estos en el interior de las cuencas. La escorrentía por la precipitación sería la responsable de movilizar el sedimento que se encuentra en las laderas y zonas alejadas al cauce principal. Ante una disminución de estas por la megasequía, se vería limitada la capacidad de transporte del sistema sedimentario. Sumado a esto, el efecto antrópico que resulta de los cambios de usos de suelo e infraestructuras construidas en los lechos de los ríos tendría importantes efectos en el comportamiento de estos. Infraestructuras tales como la bocatoma El Carmen en el río Diguillín o la construcción del embalse La Punilla en el río Ñuble, junto a los múltiples canales de regadío construidos en la Depresión Central, limitarían la capacidad de transporte de los ríos.

Los datos históricos observados ejemplifican el quiebre que existe entre los años del periodo de pre-sequía y el periodo de sequía, en donde la disminución de los montos de caudal y carga sedimentaria ( $Q_s$ ) son observados en todas las estaciones, evidenciándose este déficit a partir del 2010.

Del balance sedimentario (*sediment budget*), se plasma la relevancia del tributario río Ñuble, el cual aporta más del 75 % de la carga sedimentaria ( $Q_s$ ) que circula por la estación río Itata en Coelemu (ICO), cerca de la desembocadura del río Itata. Poniendo en contraste los periodos de estudio, se puede ver como la carga sedimentaria ( $Q_s$ ) circulante por la estación río Itata en Coelemu (ICO) a disminuido en un 70 % y en otros tributarios, como es el río Diguillín, más del 85 %. Esta disminución en la carga sedimentaria ( $Q_s$ ) es gatillada, principalmente, por la disminución de las precipitaciones en Chile central y, en menor parte, por el cambio en el uso de suelos y efecto antrópico en la mayoría de las estaciones estudiadas.

El cambio en el *sediment budget* muestra la tendencia a acrecionar el sedimento en la cuenca durante el periodo de sequía. Esto implica que cuenca arriba existe una desconexión de los sistemas sedimentarios, que impide movilizar el total de sedimentos producido por cada subcuenca, dada la disminución de las escorrentías por las precipitaciones y, por ende, no movilizaría el material en las lejanías del cauce.

Otro alcance importante de mencionar es que las estaciones estudiadas demostraron un cambio en sus regímenes de transporte siendo, en el periodo de pre-sequía, los meses de Mayo a Julio aquellos que movilizaban la mayor cantidad de sedimentos a altos caudales producto de las precipitaciones. En el periodo de sequía, se identificaron 2 máximos en la movilidad en tres de las estaciones de estudio: el primer máximo (que solo aparece en estas

estaciones) es producto de la escorrentía por las precipitaciones invernales (Mayo a Junio). El segundo máximo, y único de las demás estaciones, aparece el mes de Agosto. Este tendría su procedencia en el tiempo de respuesta de la cuenca a las precipitaciones, dando así un caudal controlado por el flujo base ( $Q_b$ ). Sumado a esto, por medio de las Curvas de Clasificación, se evidenció que las secciones del río han disminuido su capacidad de transporte y erosión, con la salvedad de la estación río Chillán en camino a Confluencia (CCC) la cual presenta cambios menores.

A lo largo del estudio se advirtió la limitación que implica trabajar con datos de caudal bruto, ante lo cual se propone separar el caudal en *flujo base* ( $Q_b$ ) y *flujo directo* ( $Q_d$ ) por medio del filtro digital propuesto por Eckhardt (2005) y utilizado por Tolorza et al. (2014). De esta manera se puede evaluar la respuesta de determinada subcuenca ante el estímulo de un evento meteorológico y separar la fracción de carga sedimentaria ( $Q_s$ ) que es aportado por la cuenca misma (zonas lejanas al cauce, laderas y altos topográficos) del material disponible en lechos o riberas de río. Por temas de extensión del trabajo no se pudo realizar esta separación del caudal en el presente estudio.

Quedan propuestas seis fechas de eventos anormales para un posterior análisis (Junio de 1986, Junio de 1993, Julio de 2001, Julio de 2006, Agosto de 2014 y Agosto de 2015), de los cuales se puede identificar la fuente de proveniencia de la señal sedimentaria por medio de la metodología que plantean Misset et al. (2019). De esta manera, se puede comprender más acabadamente los procesos responsables de la producción de sedimento, procedencia y movilidad del sedimento en un cuenca controlada, con la finalidad de poder cuantificar la verdadera influencia de la megasecuía o del efecto antrópico.

Sumado a lo mencionado previamente, para poder corroborar las conclusiones del presente estudio, es importante realizar campañas de terreno para verificar la procedencia del material removido, es decir, inferir fuentes y mecanismos de transporte por medio de geoquímica y análisis de isótopos. Se recomienda realizar estudios de mineralogía de las partes más gruesas a modo de inferir litologías y posibles fuentes de aporte. Además, se propone sacar un barreno cercano a la desembocadura del río para poder evaluar una gradación granulométrica producto del decrecimiento del poder erosivo del río y, en el mejor de los casos, poder datar según profundidad por medio del ensayo OSL (*Optically Stimulated Luminescence*).

Se recomienda la implementación de nuevas estaciones de monitoreo de caudal y concentración de sedimentos en los tributarios no controlados, tales como Río Ñuble antes de Confluencia con Río Itata, Río Cato y una estación intermedia en el cauce del río Ñuble. Es importante para un manejo sostenible e integral de la cuenca la implementación de estas estaciones. Poder monitorear más extensamente la cuenca puede ser la solución para encontrar medidas de mitigación ante los posibles impactos ambientales, ecosistémicos, sociales y económicos que puede traer un mayor descenso en la carga sedimentaria ( $Q_s$ ). Cuantificar el caudal mínimo necesario para movilizar montos de *carga sedimentaria ecológica* es fundamental, por ejemplo, para la preservación de los ecosistemas marinos. Esto puede ser una de las justificaciones de por qué se debe mejorar la red de monitoreo de la DGA.

# Bibliografía

- Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G., y Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(3), 361–374. doi: 10.4067/s0716-078x2009000300004
- Alvarez-Garreton, C., Mendoza, P. A., Pablo Boisier, J., Addor, N., Galleguillos, M., Zambrano-Bigiarini, M., ... Ayala, A. (2018). The CAMELS-CL dataset: Catchment attributes and meteorology for large sample studies-Chile dataset. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 5817–5846. doi: 10.5194/hess-22-5817-2018
- Alvarez-Garreton, C., Pablo Boisier, J., Garreaud, R., Seibert, J., y Vis, M. (2021). Progressive water deficits during multiyear droughts in basins with long hydrological memory in Chile. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(1), 429–446. doi: 10.5194/hess-25-429-2021
- Andermann, C., Crave, A., Gloaguen, R., Davy, P., y Bonnet, S. (2012). Connecting source and transport: Suspended sediments in the Nepal Himalayas. *Earth and Planetary Science Letters*, 351-352, 158–170. doi: 10.1016/j.epsl.2012.06.059
- Andermann, C., Longuevergne, L., Bonnet, S., Crave, A., Davy, P., y Gloaguen, R. (2012). Impact of transient groundwater storage on the discharge of Himalayan rivers. *Nature Geoscience*, 5(2), 127–132. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1356> doi: 10.1038/ngeo1356
- Aquaterra Ingenieros Limitada. (2011). Estudio hidrogeológico cuencas bío bío e itata. *Dirección General de Aguas (DGA)*, 85.
- Asselman, N. E. (2000). Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology*, 234(3-4), 228–248. doi: 10.1016/S0022-1694(00)00253-5
- Banfield, C. C., Braun, A. C., Barra, R., Castillo, A., y Vogt, J. (2018). Erosion proxies in an exotic tree plantation question the appropriate land use in Central Chile. *Catena*, 161(March 2017), 77–84. doi: 10.1016/j.catena.2017.10.017
- Boisier, J. P., Alvarez-Garreton, C., Cordero, R. R., Damiani, A., Gallardo, L., Garreaud, R. D., ... Rondanelli, R. (2018, jan). Anthropogenic drying in central-southern Chile evidenced by long-term observations and climate model simulations. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 6. Descargado de <https://online.ucpress.edu/elementa/article/doi/10.1525/elementa.328/112849/Anthropogenic-drying-in-centralsouthern-Chile> doi: 10.1525/elementa.328



- Boisier, J. P., Rondanelli, R., Garreaud, R., y Muñoz, F. (2016). Anthropogenic Contribution to the Southeast Pacific Precipitation Decline and Recent (2010-2015) Mega-Drought in Chile. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2015, abstract id. H43E-1549*, 43, 1–9. Descargado de <http://adsabs.harvard.edu/abs/2015AGUFM.H43E1549B> doi: 10.1002/2015GL067265.Abstract
- Bozkurt, D., Rojas, M., Boisier, J. P., y Valdivieso, J. (2017). Climate change impacts on hydroclimatic regimes and extremes over Andean basins in central Chile. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*(January), 1–29. doi: 10.5194/hess-2016-690
- Bozkurt, D., Rojas, M., Boisier, J. P., y Valdivieso, J. (2018). Projected hydroclimate changes over Andean basins in central Chile from downscaled CMIP5 models under the low and high emission scenarios. *Climatic Change*, 150(3-4), 131–147. doi: 10.1007/s10584-018-2246-7
- Castelltort, S., y Van Den Driessche, J. (2003). How plausible are high-frequency sediment supply-driven cycles in the stratigraphic record? *Sedimentary Geology*, 157(1-2), 3–13. doi: 10.1016/S0037-0738(03)00066-6
- Chow, V. T., Maidment, D., y Mays, L. (1994). Applied Hydrology. *McGraw-Hill Interamericana, S.A.*.
- CR2. (2015a). Informe a la Nación. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. *Informe a la Nación*, 26. Descargado de [www.cr2.cl/megasequia](http://www.cr2.cl/megasequia)
- CR2. (2015b). Report to the Nation: The Central Chile Mega-Drought. Technical report from the Center for Climate and Resilience Research. *Center for Climate and Resilience Research*, 30. Descargado de <http://www.cr2.cl/megasequia,2015>.
- Davis, J. C. (2002). *Statistics Data Analysis in Geology* (3rd ed.; M. Gerber, Ed.).
- DGA. (1991). Manual basico para instruccion de hidromensores. *Ministerio de obras públicas. Dirección General de Aguas. Departamento de Hidrología*.(1), 1–408.
- Dingman, S. L. (2015). *Physical Hydrology* (Third Edit ed.). Illinois: University of New Hampshire. Descargado de <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=rUUaBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&ots=7nJPpg9k8M&sig=qhOUrs7gz8ZwDWf7C1JjaZyqhc4{#}v=onepage{&}q{&}f=false>
- Eckhardt, K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes*, 19(2), 507–515. doi: 10.1002/hyp.5675
- Flores, J. P., Espinosa, M., Martínez, E., Henríquez, G., Avendaño, P., Torres, P., y Ahumada, I. (2010). Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. *Centro de Información de Recursos Naturales*, N°139.
- Gajardo, A. (1981). Hoja Concepción - Chillán, Escala 1:250.000. *Instituto de Investigaciones Geológicas*, N°4.

- Garreaud, R. D., Alvarez-Garreton, C., Barichivich, J., Pablo Boisier, J., Christie, D., Galle-  
guillos, M., ... Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010-2015 megadrought in central Chile:  
Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences*,  
21(12), 6307–6327. doi: 10.5194/hess-21-6307-2017
- Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. H., y Veloso-  
Aguila, D. (2020). The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics  
perspective. *International Journal of Climatology*, 40(1), 421–439. doi: 10.1002/joc.6219
- Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., ... Zarfl, C.  
(2019). Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, 569(7755), 215–221. Descargado  
de <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9> doi: 10.1038/s41586-019-1111-9
- Harris, I., Jones, P. D., Osborn, T. J., y Lister, D. H. (2014). Updated high-resolution  
grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of  
Climatology*, 34(3), 623–642. doi: 10.1002/joc.3711
- Henriquez, M. (1990). Climatología de la Cuenca del Río Itata. *Rev. Geográfica de Chile  
Terra Australis*, 33(-), 7–27. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Highland, L., y Bobrowsky, P. (2008). *The landslide handbook – a guide to understanding  
landslides*.
- Horowitz, A. J. (2003). An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended  
sediment concentrations for subsequent flux calculations. *Hydrological Processes*, 17(17),  
3387–3409. doi: 10.1002/hyp.1299
- IGM. (1985). Geografía de los Climas. *Instituto Geográfico Militar*, XI.
- Ingendesa, C. d. I. (1994). Estudio Integral de Riego, Proyecto Itata. *Comision Nacional  
de Riego*.
- Inostroza, I. (2018). *Determinación de zonas homogéneas en la región del biobío, chile, para  
estimar caudales disponibles para dilución en cuencas sin control fluviométrico*.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers.  
*Intergovernmental Panel on Climate Change*, 151.
- IPCC. (2019). Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los im-  
pactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las  
trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto  
i. *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Jain, M. K., y Kothyari, U. C. (2000, oct). Estimation of soil erosion and sedi-  
ment yield using GIS. *Hydrological Sciences Journal*, 45(5), 771–786. Descargado  
de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626660009492376> doi: 10.1080/  
02626660009492376
- Loyola, C., Rivas, J., y Gacitúa, M. J. (2015). Permeabilidad del suelo de la cuenca del  
río Chillán, entre Estero Peladillas y río Ñuble, Chile. *Cuadernos de Geografía-Revista  
Colombiana de Geografía*, 24(1), 73–86.

- Mardones, F., Echeverría, C., y Jara, B. (2004). Una contribución al estudio de los desastres naturales en Chile Centro Sur: efectos ambientales de las precipitaciones del 26 de junio del 2005 en el área Metropolitana de Concepción. *Investigaciones Geográficas*, 1–24. doi: 10.5354/0719-5370.2013.27748
- Mardones, P., y Garreaud, R. (2020, nov). Future Changes in the Free Tropospheric Freezing Level and Rain–Snow Limit: The Case of Central Chile. *Atmosphere*, 11(11), 1259. Descargado de <https://www.mdpi.com/2073-4433/11/11/1259> doi: 10.3390/atmos11111259
- Masotti, I., Aparicio-Rizzo, P., Yevenes, M. A., Garreaud, R., Belmar, L., y Farías, L. (2018). The influence of river discharge on nutrient export and phytoplankton biomass off the Central Chile Coast (33°-37°S): Seasonal cycle and interannual variability. *Frontiers in Marine Science*, 5(NOV), 1–12. doi: 10.3389/fmars.2018.00423
- Millán, J., y Carrasco, P. (1993). La forestación en la VIII Región. Serie EULA Elementos cognoscitivos sobre el recurso suelo y consideraciones generales sobre el ordenamiento agroforestal. *Editorial Universidad de Concepción*, 105.
- Mishra, A. K., y Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202–216. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012> doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.012
- Misset, C., Recking, A., Legout, C., Poirel, A., Cazilhac, M., Esteves, M., y Bertrand, M. (2019). An attempt to link suspended load hysteresis patterns and sediment sources configuration in alpine catchments. *Journal of Hydrology*, 576(November 2018), 72–84. Descargado de <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.039> doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.06.039
- Nearing, M. A., Jetten, V., Baffaut, C., Cerdan, O., Couturier, A., Hernandez, M., . . . Van Oost, K. (2005). Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. *Catena*, 61(2-3 SPEC. ISS.), 131–154. doi: 10.1016/j.catena.2005.03.007
- Parker, R. S. (1988). Uncertainties in defining the suspended sediment budget for large drainage basins. *Sediment Budgets*(174), 523–532.
- Peña, F. (1999). Bases para la planificación territorial del curso inferior del río Itata. Análisis integrado de los sistemas geográficos.
- Pruski, F., y Nearing, M. (2002). Climate-induced changes in erosion during the 21st century for eight U.S. locations. *Water Resources Research* 1298.
- Quidel, C. (2017). *Facultad de Ingeniería Carrera de Geología RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS EN LA CUENCA Resumen*.
- Romans, B. W., Castelltort, S., Covault, J. A., Fildani, A., y Walsh, J. P. (2016). Environmental signal propagation in sedimentary systems across timescales. *Earth-Science Reviews*, 153, 7–29. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.07.012> doi: 10.1016/j.earscirev.2015.07.012
- Romero, H., y Fuentes, C. (2009). Analisis multiescalar de los cambios en los complejos dinamicos territoriales en la Cuenca del Itata. *Universidad de Chile*(April 2017).

- Schumm, S. (1977). The Fluvial System. *Dep. Earth Resour., Colorado State Univ*, 355.
- SERNAGEOMIN. (2003). Mapa Geológico de Chile. *Publicación Geológica Digital, No. 4*.
- Slaymaker, O. (2003). The sediment budget as conceptual framework and management tool. En *The interactions between sediments and water* (pp. 71–82). Dordrecht: Springer Netherlands. Descargado de [http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-3366-3\\_{\\_}12](http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-3366-3_{_}12) doi: 10.1007/978-94-017-3366-3\_12
- Solar, W. (1999). Manual de Terreno y Centro de Filtrado. *Dirección General de Aguas, Departamento de Hidrología, Laboratorio Hidrológico*.(1), 1–33.
- Syvitski, J. P., Morehead, M. D., Bahr, D. B., y Mulder, T. (2000, sep). Estimating fluvial sediment transport: The rating parameters. *Water Resources Research*, 36(9), 2747–2760. Descargado de <http://doi.wiley.com/10.1029/2000WR900133> doi: 10.1029/2000WR900133
- Syvitski, J. P., Vörösmarty, C. J., Kettner, A. J., y Green, P. (2005). Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, 308(5720), 376–380. doi: 10.1126/science.1109454
- Tolorza, V., Carretier, S., Andermann, C., Ortega-Culaciati, F., Pinto, L., y Mardones, M. (2014). Contrasting mountain and piedmont dynamics of sediment discharge associated with groundwater storage variation in the Biobío River. *Journal of Geophysical Research F: Earth Surface*, 119(12), 2730–2753. doi: 10.1002/2014JF003105
- Tolorza, V., Mohr, C. H., Carretier, S., Serey, A., Sepúlveda, S. A., Tapia, J., y Pinto, L. (2019). Suspended Sediments in Chilean Rivers Reveal Low Postseismic Erosion After the Maule Earthquake (Mw 8.8) During a Severe Drought. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124(6), 1378–1397. doi: 10.1029/2018JF004766
- Walling, D., y Gregory, K. (1974). Suspended sediment and solute yields from a small catchment prior to urbanization. *Fluvial processes in instrumented watersheds*, 6, 169–192.
- Ward, A., y Trimble, S. (2003). *Environmental hydrology* (Second Edi ed.). Amsterdam, Países Bajos.
- WRI. (2019). Sediment Balance Assessment for the Danube. *Water Research Institute & project partners*, 66.

# Anexos

## 5.A. Anexo A: Script

### Anexo Código RStudio

Vicente Méndez Freire

02-12-2020

#LIBRERIA—— En esta sección se cargan las librerías a usar

```
install.packages("pillar")
install.packages("ppcor")
install.packages("rstatix")
install.packages("rlang")
install.packages("formatR")
install.packages("shiny")
install.packages("cowplot")
install.packages("gridExtra")
install.packages("ggpmisc")
install.packages("knitr")
install.packages("rmarkdown")
install.packages("tinytex")
install.packages("ggplot2")
install.packages("ggalt")
install.packages("extrafont")
install.packages("scales")
install.packages("reshape2")
install.packages("datos")
install.packages("dplyr")
install.packages("magrittr")
install.packages("tidyr")
install.packages("lubridate")
install.packages("readxl")
install.packages("patchwork")
install.packages("ggforce")
install.packages("ggrepel")
install.packages("grid")
install.packages("magick")
install.packages("readr")
install.packages("devtools")
install.packages("ggpubr")
install.packages("trend")
install.packages("hyfo")
```

```
library(formatR)
library(tidyverse)
library(cowplot)
library(gridExtra)
library(ggplot2)
```

```

library(ggpmisc)
library(knitr)
library(rmarkdown)
library(tinytex)
library(extrafont)
library(scales)
library(reshape2)
library(datos)
library(dplyr)
library(magrittr)
library(tidyr)
library(lubridate)
library(readxl)
library(patchwork)
library(ggforce)
library(ggrepel)
library(grid)
library(magick)
library(readr)
library(devtools)
library(ggpubr)
library(rstatix)
library(shiny)
library(ppcor)
library(ggalt)
library(trend)
library(hyfo)

```

```
#FUENTE—— ##Carga de las planillas Excell a manipular
```

```
#Funciones—— ##Manejo de los datos
```

```

library(hyfo)
fill <- prueba_relleno
cod_names <- function(data) {
  return(colnames(data[, 2:dim(data)[2]]))
}
col_dates <- function(data) {
  data[, "year"] <- format(data[, "Date"], "%Y")
  data[, "month"] <- format(data[, "Date"], "%m")
  data[, "day"] <- format(data[, "Date"], "%d")
  return(data)
}
repl_zeros <- function(data) {
  return(na_if(data, 0))
}
delete_rowNA <- function(data) {
  return(data[rowSums(is.na(data)) < ncol(data) - 1, ])
}
monthly_mean <- function(data, min_day) {
  data <- as.data.frame(data)
  data_dmy <- col_dates(data)
  df <- summarise(data_dmy %>%
    group_by(year, month), BNA = if (length(na.omit(BNA)) >=

```



```

    min_day)
    mean(BNA, na.rm = TRUE) else NA_real_, CCC = if (length(na.omit(CCC)) >= min_day)
    mean(CCC, na.rm = TRUE) else NA_real_, ICH = if (length(na.omit(ICH)) >= min_day)
    mean(ICH, na.rm = TRUE) else NA_real_, ICO = if (length(na.omit(ICO)) >= min_day)
    mean(ICO, na.rm = TRUE) else NA_real_, NSF = if (length(na.omit(NSF)) >= min_day)
    mean(NSF, na.rm = TRUE) else NA_real_, DEL = if (length(na.omit(DEL)) >= min_day)
    mean(DEL, na.rm = TRUE) else NA_real_)
df$Date <- as.Date(paste("1", as.numeric(df$month), as.numeric(df$year),
    sep = "-"), format = "%d-%m-%Y")
df <- df[, c(9, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)]
return(df)
}
yearly_mean <- function(data, min_day) {
  data <- as.data.frame(data)
  data_dmy <- col_dates(data)
  df <- summarise(data_dmy %>%
    group_by(year), BNA = if (length(na.omit(BNA)) >= min_day)
    mean(BNA, na.rm = TRUE) else NA_real_, CCC = if (length(na.omit(CCC)) >= min_day)
    mean(CCC, na.rm = TRUE) else NA_real_, ICH = if (length(na.omit(ICH)) >= min_day)
    mean(ICH, na.rm = TRUE) else NA_real_, ICO = if (length(na.omit(ICO)) >= min_day)
    mean(ICO, na.rm = TRUE) else NA_real_, NSF = if (length(na.omit(NSF)) >= min_day)
    mean(NSF, na.rm = TRUE) else NA_real_, DEL = if (length(na.omit(DEL)) >= min_day)
    mean(DEL, na.rm = TRUE) else NA_real_)
  return(df)
}
prep_fill <- function(data) {
  data <- repl_zeros(data)
  data <- monthly_mean(data, 25)
  data$month <- NULL
  data$year <- NULL
  data <- delete_rowNA(data)
  data <- as.data.frame(data)
  return(data)
}
rellenar <- function(data, corPer = "monthly") {
  df <- prep_fill(data)
  df <- fillGap(df, corPer)
  write.csv(df, "C:/Users/Vicho/Google Drive/Practica II/MaipoS2S/
    Practica II Dec 2019-Ene 2020/Cuenca Itata/Reportes Historico/
    A Usar/monthly_streamflow_filled.csv")
  return(df)
}
qmensual_rellenado <- rellenar(fill)

```

```

library(hyfo)
fill <- prueba_relleno
cod_names <- function(data) {
  return(colnames(data[, 2:dim(data)[2]]))
}
col_dates <- function(data) {
  data[, "year"] <- format(data[, "Date"], "%Y")
  data[, "month"] <- format(data[, "Date"], "%m")
}

```

```

data[, "day"] <- format(data[, "Date"], "%d")
return(data)
}
repl_zeros <- function(data) {
  return(na_if(data, 0))
}
delete_rowNA <- function(data) {
  return(data[rowSums(is.na(data)) < ncol(data) - 1, ])
}
monthly_mean <- function(data, min_day) {
  data <- as.data.frame(data)
  data_dmy <- col_dates(data)
  df <- summarise(data_dmy %>%
    group_by(year, month), BNA = if (length(na.omit(BNA)) >=
    min_day)
    mean(BNA, na.rm = TRUE) else NA_real_, CCC = if (length(na.omit(CCC)) >= min_day)
    mean(CCC, na.rm = TRUE) else NA_real_, ICH = if (length(na.omit(ICH)) >= min_day)
    mean(ICH, na.rm = TRUE) else NA_real_, ICO = if (length(na.omit(ICO)) >= min_day)
    mean(ICO, na.rm = TRUE) else NA_real_, NSF = if (length(na.omit(NSF)) >= min_day)
    mean(NSF, na.rm = TRUE) else NA_real_, DEL = if (length(na.omit(DEL)) >= min_day)
    mean(DEL, na.rm = TRUE) else NA_real_)
  df$Date <- as.Date(paste("1", as.numeric(df$month), as.numeric(df$year),
    sep = "-"), format = "%d-%m-%Y")
  df <- df[, c(9, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)]
  return(df)
}

prep_fill <- function(data) {
  data <- repl_zeros(data)
  data$month <- NULL
  data$year <- NULL
  data <- delete_rowNA(data)
  data <- as.data.frame(data)
  return(data)
}

rellenar <- function(data, corPer = "daily") {
  df <- prep_fill(data)
  df <- fillGap(df, corPer)
  write.csv(df, "C:/Users/Vicho/Google Drive/Practica II/MaipoS2S/
  Practica II Dec 2019-Ene 2020/Cuenca Itata/
  Reportes Historico/A Usar/daily_streamflow_filled.csv")
  return(df)
}

qdiario_rellenado <- rellenar(fill)

# Convierte datos de columnas de año y mes separadas en un
# único dato AÑO/MES
fecha_ym <- function(data) {
  data$Fecha <- as.Date(paste("1", as.numeric(data$Mes), as.numeric(data$Year),
    sep = "-"), format = "%d-%m-%Y")
  return(data)
}

```

```

# Retorna el promedio mensual año a año
promedio_menanual<-function(dato){
  df<-summarise(dato %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
    Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE)/1000,
    #Qs es la suma de los montos diarios mensual #ton/mes
    Periodo = unique(Periodo))
  return(df)}

```

```

# Retorna el promedio anual de los datos
promedio_anual<-function(dato){
  df<-promedio_menanual(dato)
  dff<-summarise(df %>%group_by(Codigo, Year),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
    Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE),# #ton/mes
    Periodo = unique(Periodo))
  return(dff)}

```

```

# Retorna el promedio anual de los datos
promedio_total<-function(dato){
  df<-promedio_anual(dato)
  dff<-summarise(df %>%group_by(Codigo),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE)/327, # #m3/s
    Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE)/52408)
  return(dff)}

```

```

# Retorna el promedio modulo mensual, un vector de 12 valores por dato
promedio_modmen<-function(dato){
  df<-summarise(dato %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
    Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE)/1000,
    #Qs es la suma de los montos diarios mensual #ton/mes
    Periodo = unique(Periodo))
  dff<-summarise(df %>%group_by(Codigo, Mes),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
    Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE),# #ton/mes
    Periodo=unique(Periodo))
  return(dff)}

```

```

# Retorna el promedio modulo mensual, un vector de 12 valores por dato
promedio_mentotal<-function(dato){
  df<-summarise(dato %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
    Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE),
    #Qs es la suma de los montos diarios mensual #ton/mes
    Periodo = unique(Periodo))
  dff<-summarise(df %>%group_by(Codigo, Mes),

```

```

        Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
        Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
        Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE),# #ton/mes
        Periodo=unique(Periodo)
    dff<-summarise(dff %>%group_by(Codigo),
        Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
        Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
        Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE),# #ton/mes
        Periodo=unique(Periodo))
    return(dff)}

```

```

# Divide la base de datos obteniendo la parte inferior del
# año estipulado, excluyendo este
dividir_data_ant <- function(data, año) {
    sc <- subset(data, data$Year < año)
    return(sc)
}

```

```

# Divide la base de datos obteniendo la parte superior del
# año estipulado, incluyendo este
dividir_data_sup <- function(data, año) {
    sc <- subset(data, data$Year >= año)
    return(sc)
}

```

```

# Función para filtrar bases de datos según un vector de
# código(s) de estaciones
filtro_cods <- function(dato, c1, c2 = NULL, c3 = NULL, c4 = NULL,
    c5 = NULL, c6 = NULL) {
    codds <- c(c1, c2, c3, c4, c5, c6)
    df <- filter(dato, Codigo %in% codds)
    return(df)
}

```

```

# Función para filtrar bases de datos según un vector de año
filtro_y <- function(dato, a1, a2 = NULL, a3 = NULL, a4 = NULL,
    a5 = NULL, a6 = NULL) {
    years <- c(a1, a2, a3, a4, a5, a6)
    df <- filter(dato, Year %in% years)
    return(df)
}

```

```

# Power Function
coef_regre <- function(a, b) {
    a * (x^b)
}

```

```

# Retorna el promedio modulo mensual para bases de datos de un único código
promedio_mensual2<-function(dato){
    dato<-summarise(group_by(dato, Mes),
        Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
        Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), #m3/s

```

```

        Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE))##          #ton/mes
return(dato)}

```

```

# Retorna la media modulo mensual para bases de datos de un único código
media_mensual<-function(dato){
  dato<-summarise(group_by(dato, Mes),
    Concentracion = median(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = median(Caudal,na.rm=TRUE), #m3/s
    Qs =median(Qs,na.rm=TRUE))##          #ton/mes
  return(dato)}

```

```

# Retorna el promedio modulo mensual para bases de datos de un único código,
# específico para precipitaciones
mod_prep<-function(data){
  df<-summarise(data %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
    Precipitacion = sum(Precipitacion,na.rm=TRUE),#mm
    Periodo = unique(Periodo))#
  dff<-summarise(df %>%group_by(Codigo, Mes),
    Precipitacion = mean(Precipitacion,na.rm=TRUE),#mm
    Periodo = unique(Periodo))#
  return(dff)
}

```

```

#Retorna los montos anuales de Qs por código
carga_anual<-function(data){
  df<-summarise(data %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
    Qs=sum(Qs, na.rm=T),
    Periodo = unique(Periodo))#
  dff<-summarise(df %>%group_by(Codigo, Year),
    Qs=sum(Qs, na.rm=T)/1000, #Miles de Toneladas
    Periodo = unique(Periodo))#
  return(dff)}

```

```

SB_carga <- function(data) {
  df <- carga_anual(data)
  dff <- summarise(df %>%
    group_by(Codigo, Periodo), Qs = median(Qs, na.rm = T))
  return(dff)
}

```

```

#retorna el caudal promedio anual
caudal_anual<-function(data){
  df<-summarise(data %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
    Caudal=median(Caudal, na.rm=T),
    Periodo = unique(Periodo))#
  dff<-summarise(df %>%group_by(Codigo, Year),
    Caudal=median(Caudal, na.rm=T), #Miles de Toneladas
    Periodo = unique(Periodo))#
  dfff<-summarise(dff %>%group_by(Codigo, Periodo),
    Caudal=median(Caudal, na.rm=T))
  return(dfff)}

```

```

porce_mes<-function(data){
  data<-dividir_data_ant(data,2010)
  df<-summarise(data %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
                Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
                Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
                Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE))
  dff<-summarise(df %>%group_by(Codigo, Mes),
                Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
                Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
                Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE))
  suma_total<-summarise(dff %>%group_by(Codigo),
                Concentracion = sum(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
                Caudal = sum(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
                Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE))

  return(suma_total)
}

```

```

# funcion para chequear valides
chequeo <- function(data) {
  df <- summarise(data %>%
    group_by(Codigo, Year, Mes), Caudal = mean(Caudal, na.rm = T),
    Concentracion = mean(Concentracion, na.rm = T), Qs = sum(Qs,
    na.rm = T)) #
  dff <- summarise(df %>%
    group_by(Codigo), Caudal = mean(Caudal, na.rm = T), Concentracion = mean(Concentracion,
    na.rm = T), Qs = mean(Qs, na.rm = T)) #

  return(dff)
}

chequeo(dividir_data_ant(brutodiario, 2010))

```

```

## # A tibble: 6 x 4
##   Codigo Caudal Concentracion      Qs
##   <chr>  <dbl>      <dbl>    <dbl>
## 1 BNA    126.        22.8 13310048.
## 2 CCC    21.7        22.6  3513401.
## 3 DEL    44.5        25.2  7567869.
## 4 ICH    41.2        13.2  3589894.
## 5 ICD    348.        31.9 68501368.
## 6 NSF    101.        11.7 11278300.

```

```

# retorna la misma planilla pero con el filtro de periodos
filtro_periodo <- function(dato, c1, c2 = NULL) {
  coddts <- c(c1, c2)
  df <- filter(dato, Período %in% coddts)
  return(df)
}

```

```

# retorna la misma planilla pero con el filtro de periodos
filtro_temporada <- function(dato, c1, c2 = NULL) {
  codds <- c(c1, c2)
  df <- filter(dato, Temporada %in% codds)
  return(df)
}

```

```

# retorna la misma planilla pero con el filtro de meses
filtro_mes <- function(dato, m1, m2 = NULL, m3 = NULL, m4 = NULL,
  m5 = NULL, m6 = NULL, m7 = NULL, m8 = NULL, m9 = NULL, m10 = NULL,
  m11 = NULL, m12 = NULL) {
  mes <- c(m1, m2, m3, m4, m5, m6, m7, m8, m9, m10, m11, m12)
  df <- filter(dato, Mes %in% mes)
  return(df)
}

```

```

exc_qsparti<-function(data){
  df<-summarise(data %>%group_by(Codigo, Mes, Dia),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
    Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE))

  dff<-summarise(df %>%group_by(Codigo),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
    Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE))

  #write_csv(dff, file = "C:/Users/Vicho/Google Drive/Practica II/Maipos2S/
  #Practica II Dec 2019-Ene 2020/Cuenca Itata/Programa R/Qsavg_seq.csv")
  return(dff)
}

exc_qsparti(filtro_periodo(brutodiario,"sequia"))

```

```

## # A tibble: 6 x 4
##   Codigo Concentracion Caudal      Qs
##   <chr>      <dbl> <dbl>    <dbl>
## 1 BNA          20.5   82.6  86346397.
## 2 CCC          22.5   13.9  25208361.
## 3 DEL          10.3   23.7  13132950.
## 4 ICH           9.22   36.2  20732447.
## 5 ICO          14.8   246.  205666475.
## 6 NSF          18.3   75.4  139825020.

```

```

# author Paul Whitfield references Eckhardt, K. 2012.
# Technical note: Analytical sensitivity analysis of two
# parameter recursive digital baseflow separation filter.
# Hydrology and Earth System Sciences 16: 451-455.

```

```

bf_eckhardt <- function(caudal, a, BFI) {
  bf <- rep(caudal[1], length(caudal))
  for (i in 2:length(caudal)) {
    bf[i] <- (((1 - BFI) * a * bf[i - 1]) + ((1 - a) * BFI *
      caudal[i]))/(1 - a * BFI)
  }
}

```



```

    if (bf[i] > caudal[i])
      bf[i] <- caudal[i]
  }
  return(bf)
}

```

```

pettitt <- function(data, codigo) {
  data <- filter(data,Codigo %in% codigo)
  data <- data %>%
    filter(Caudal != 0)
  pettittTest <- trend::pettitt.test(x = data[["Caudal"]])
  return(print(paste("p-valor:", signif((pettittTest$p.value),
    digits = 3), "Fecha quiebre:", (data[["Fecha"]][pettittTest$estimate])),
    sep = " "))
}

```

```

# pettitt(brutodiario, 'NSF2')
# pettitt(brutodiario, 'ICH')
# pettitt(brutodiario, 'DEL')
# pettitt(brutodiario, 'CCC')
# pettitt(brutodiario, 'BNA')
# pettitt(brutodiario, 'ICD')

```

```

pettitt_fill <- function(data, codigo) {
  pettittTest <- trend::pettitt.test(x = data[[codigo]])
  return(print(paste("p-valor:", signif((pettittTest$p.value),
    digits = 3), "Fecha quiebre:", (data[["Date"]][pettittTest$estimate])),
    sep = " "))
}

```

```

# pettitt_fill(qdiario_rellenado, 'NSF')
# pettitt_fill(qdiario_rellenado, 'ICH')
# pettitt_fill(qdiario_rellenado, 'DEL')
# pettitt_fill(qdiario_rellenado, 'CCC')
# pettitt_fill(qdiario_rellenado, 'BNA')
# pettitt_fill(qdiario_rellenado, 'ICD')
# pettitt_fill(qmensual_rellenado, 'NSF')
# pettitt_fill(qmensual_rellenado, 'ICH')

```

```

# pettitt_fill(qmensual_rellenado, 'DEL')

# pettitt_fill(qmensual_rellenado, 'CCC')

# pettitt_fill(qmensual_rellenado, 'BNA')

# pettitt_fill(qmensual_rellenado, 'ICO')

```

```

cau_men_fill<-function(data){
  data$year<-format(as.Date(data$Date),"%Y")
  data$month<-format(as.Date(data$Date),"%m")
  data<-summarise(group_by(data, year, month),
    BNA = mean(BNA,na.rm=TRUE), #mg/l
    CCC = mean(CCC,na.rm=TRUE),
    DEL = mean(DEL,na.rm=TRUE), #mg/l
    ICH = mean(ICH,na.rm=TRUE),
    ICO = mean(ICO,na.rm=TRUE), #m3/s
    NSF = mean(NSF,na.rm=TRUE))##
  return(data)
}

```

```

cau_anual_fill<-function(data){
  data$year<-format(as.Date(data$Date),"%Y")
  data$month<-format(as.Date(data$Date),"%m")
  data<-summarise(group_by(data, year),
    BNA = mean(BNA,na.rm=TRUE), #mg/l
    CCC = mean(CCC,na.rm=TRUE),
    DEL = mean(DEL,na.rm=TRUE), #mg/l
    ICH = mean(ICH,na.rm=TRUE),
    ICO = mean(ICO,na.rm=TRUE), #m3/s
    NSF = mean(NSF,na.rm=TRUE))##
  return(data)
}

```

```

prom_total<-function(data){

  df<-summarise(data %>% group_by(Codigo, Year, Mes, Periodo),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # # #m3/s
    Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE))
  df<-summarise(df %>% group_by(Codigo, Year, Periodo),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # # #m3/s
    Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE))
  df<-summarise(df %>% group_by(Codigo,Periodo),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # # #m3/s
    Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE))

  return(df)
}
prom_total(brutodiario)

```

```
## # A tibble: 12 x 5
```

```
## # Groups:  Codigo [6]
##   Codigo Periodo   Concentracion Caudal      Qs
##   <chr>  <chr>          <dbl>  <dbl>    <dbl>
## 1 BNA   presequia      22.2   131.  13043671.
## 2 BNA   sequia          20.4    83.2   7112420.
## 3 CCC   presequia      20.8    20.0   2721093.
## 4 CCC   sequia          23.5    13.7   2208588.
## 5 DEL   presequia      24.2    45.1   7228576.
## 6 DEL   sequia          10.1    21.7    966611.
## 7 ICH   presequia      13.0    40.7   3460077.
## 8 ICH   sequia           9.06   35.7   1683797.
## 9 ICO   presequia      30.8   356.   65167778.
## 10 ICO   sequia          15.7   249.   16965572.
## 11 NSF   presequia      11.1    98.9  10064221.
## 12 NSF   sequia          17.5    67.6   9644584.
```

```
qs_avg <- function(data, codigo, periodo) {
  data <- filter(data, Codigo %in% codigo)
  data <- filter(data, Periodo %in% periodo)
  data <- data %>%
    filter(data$Caudal != 0)
  data$QsNuevo <- data$Caudal * data$Concentracion * 86.4
  qavg <- mean(data$Caudal)
  Qstotal <- sum(data$QsNuevo)
  n <- count(data)
  data_bajo <- subset(data, data$Caudal <= qavg)
  n_bajo <- count(data_bajo)
  porce_qprom <- (n_bajo/n) * 100
  qs_bajo_suma <- sum(data_bajo$QsNuevo)
  porce_qsrom <- (qs_bajo_suma/Qstotal) * 100
  decil <- quantile(x = data$Caudal, probs = c(0.9), na.rm = TRUE,
    type = 6)
  data_10 <- subset(data, data$Caudal >= decil[[1]])
  qs_10_suma <- sum(data_10$QsNuevo)
  porce_qs10 <- (qs_10_suma/Qstotal) * 100
  return(bquote("Qprom:" ~ .(qavg[[1]]) ~ "Qprom %" ~ .(porce_qprom[[1]]) ~
    ~"Qs, prom" ~ .(porce_qsrom[[1]]) ~ ~"Q10AVG:" ~ .(decil[[1]]) ~
    ~"Qs10%:" ~ .(porce_qs10[[1]])))
}
```

```
# qs_avg(brutodiario, 'NSF', 'presequia')
# qs_avg(brutodiario, 'ICH', 'presequia')
# qs_avg(brutodiario, 'DEL', 'presequia')
# qs_avg(brutodiario, 'CCC', 'presequia')
# qs_avg(brutodiario, 'BNA', 'presequia')
# qs_avg(brutodiario, 'ICD', 'presequia')
```

```
# qs_avg(brutodiario, 'NSF', 'sequia')
# qs_avg(brutodiario, 'ICH', 'sequia')
# qs_avg(brutodiario, 'DEL', 'sequia')
# qs_avg(brutodiario, 'CCC', 'sequia')
# qs_avg(brutodiario, 'BNA', 'sequia')
# qs_avg(brutodiario, 'ICD', 'sequia')
```

##Graficos

```
# Función para graficar el aporte de área de cuenca por cada
# tributario Figura 3.1
aporte_areas <- function(areas) {
  gg1 <- ggplot(areas, aes(rKm, area)) + scale_x_reverse(breaks = seq(0,
    160, by = 10)) + scale_y_continuous(breaks = seq(0, 15000,
    by = 1000)) + labs(title = "Áreas acumuladas en Río Itata",
    x = ("rKm"), y = "Área [" ~ Km^2 ~ "]", color = "Río") +
    theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
      legend.position = c(0.92, 0.75)) + # scale_color_manual(name = 'Río', values =
# c('blue', 'green', 'yellow',
# 'purple', 'red', 'orange'))+
  geom_line(aes(), alpha = 1, position = position_dodge(0.8),
    size = 1) + geom_rect(aes(xmin = 148, xmax = Inf, ymin = -Inf,
    ymax = Inf), alpha = 1/110, fill = "peru") + geom_rect(aes(xmin = 116,
    xmax = 148, ymin = -Inf, ymax = Inf), alpha = 1/110,
    fill = "red3") + geom_rect(aes(xmin = 103, xmax = 116,
    ymin = -Inf, ymax = Inf), alpha = 1/110, fill = "orange2") +
  geom_rect(aes(xmin = 63, xmax = 103, ymin = -Inf, ymax = Inf),
    alpha = 1/110, fill = "yellow2") + geom_rect(aes(xmin = 58,
    xmax = 63, ymin = -Inf, ymax = Inf), alpha = 1/110, fill = "green3") +
  geom_rect(aes(xmin = 23, xmax = 58, ymin = -Inf, ymax = Inf),
    alpha = 1/110, fill = "cyan2") + geom_rect(aes(xmin = 17,
    xmax = 23, ymin = -Inf, ymax = Inf), alpha = 1/110, fill = "aquamarine3") +
  geom_rect(aes(xmin = 0, xmax = 17, ymin = -Inf, ymax = Inf),
    alpha = 1/110, fill = "blue2") + geom_rect(aes(xmin = -Inf,
    xmax = 0, ymin = -Inf, ymax = Inf), alpha = 1/110, fill = "grey") +
  annotate("text", x = 160, y = 6000, label = "Río Cholguan",
    color = "darkgreen", size = 6, alpha = 0.3, angle = 90) +
  annotate("text", x = 133, y = 6000, label = "Río Trileo",
    color = "darkblue", size = 6, alpha = 0.3, angle = 90) +
  annotate("text", x = 110, y = 6000, label = "Río Dañicalqui",
    color = "darkred", size = 6, alpha = 0.3, angle = 90) +
  annotate("text", x = 83, y = 6000, label = "Río Diguillín",
    color = "darkgreen", size = 6, alpha = 0.3, angle = 90) +
  annotate("text", x = 60, y = 6000, label = "Río Larqui",
    color = "darkblue", size = 6, alpha = 0.3, angle = 90) +
  annotate("text", x = 40, y = 6000, label = "Río Ñuble",
    color = "darkred", size = 6, alpha = 0.3, angle = 90) +
  annotate("text", x = 20, y = 6000, label = "Río Itata en Coelemu",
    color = "darkgreen", size = 6, alpha = 0.3, angle = 90) +
  annotate("text", x = 8, y = 6000, label = "Río Lonquén",
    color = "blueviolet", size = 6, alpha = 0.3, angle = 90) +
  annotate("text", x = -5, y = 6000, label = "Océano",
    color = "darkblue", size = 6, alpha = 0.3, angle = 90)
  final <- ggdraw() + draw_plot(gg1) + draw_image(fig_area,
    x = -0.3, y = 0.3, scale = 0.3)
  return(final)
}
# aporte_areas(areas)
```

```

# Función gráfico de dispersión entre caudal promedio vs Qs
# acumulado mensual. Meses en colores y codigos en formas
# diferentes
relacion_Qs_Caudal <- function(data) {
  data$Codigo <- factor(data$Codigo)
  gg1 <- ggplot(data, aes(Caudal, Qs, shape = Codigo, color = factor(Mes))) +
    scale_y_log10() + scale_x_log10(labels = comma) + scale_color_discrete(name = "Mes") +
    scale_shape_manual(name = "Código", values = 1:nlevels(data$Codigo)) +
    annotation_logticks(sides = "lr") + labs(title = "Relación Carga vs Caudal",
      x = ("Caudal [" ~ m^3 ~ "/seg]"), y = "Carga [Ton/Año]") +
    theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5)) +
    geom_point(alpha = 1)
  return(gg1)
}

```

```

# Función gráfico de dispersión entre caudal diario vs
# concentración diaria. Se señala la media modulo mensual
# para bases de datos de código único
dis_diario <- function(data, titulo) {
  data <- data %>%
    filter(Qs != 0)
  df_prom <- promedio_mensual2(data)
  # cmes<-c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12)
  cmes <- c(6, 7, 8, 9)
  df_inset <- filtro_mes(df_prom, cmes)
  inset.plot <- ggplot(df_inset, aes(Caudal, Qs)) + theme(legend.position = "none",
    panel.grid = element_blank(), axis.title = element_blank(),
    axis.ticks = element_blank(), axis.text = element_blank()) +
    scale_y_log10() + scale_x_log10() + geom_label_repel(data = df_inset,
    aes(label = Mes), box.padding = 0.8, label.size = 0.2,
    label.padding = 0.1, point.padding = 0.1, segment.color = "grey50",
    show.legend = FALSE, alpha = 0.5) + geom_point() + geom_path(linetype = "dashed")
  gg1 <- ggplot(data, aes(Caudal, Qs, color = factor(Mes))) +
    # scale_y_continuous()+ scale_x_continuous()+
    scale_y_log10(breaks = scales::trans_breaks("log10", function(x) 10^x),
    labels = scales::trans_format("log10", scales::math_format(10^.x)),
    limits = c(1000, 1e+08)) + scale_x_log10(breaks = scales::trans_breaks("log10",
    function(x) 10^x), labels = scales::trans_format("log10",
    scales::math_format(10^.x)), limits = c(1, 10000)) +
    scale_color_discrete(name = "Mes", label = c("Enero",
    "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio", "Julio",
    "Agosto", "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre")) +
    annotation_logticks(sides = "lr") + labs(title = titulo,
    subtitle = "Relación Caudal vs Qs", x = ("Caudal [" ~
    m^3 ~ "/seg]"), y = "Qs [Ton]") + theme(plot.title = element_text(family = "sans",
    hjust = 0.5), plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5,
    vjust = 0)) + geom_point(na.rm = TRUE, alpha = 0.33) +
    geom_point(na.rm = TRUE, colour = "black", data = df_prom,
    aes(x = Caudal, y = Qs), size = 1.5) + stat_smooth(data = df_prom,
    method = lm, formula = y ~ x, se = F, color = "black",
    size = 0.5) + geom_label_repel(data = df_prom, aes(label = c("Enero",
    "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio", "Julio",
    "Agosto", "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre")),

```

```

    box.padding = 0.9, point.padding = 0.1, segment.color = "grey50",
    show.legend = FALSE)
plot_final <- ggdraw() + draw_plot(gg1) + draw_plot(inset.plot,
  x = 0.6, y = 0.1, width = 0.2, height = 0.2)
return(plot_final)
}

```

```

data <- filter(brutodiario, Codigo %in% "BNA")
# dis_diario(data, 'titulo')

```

```

dis_diario_inset <- function(data, titulo, codigo, ins) {
  data <- filter(data, Codigo %in% codigo)
  data <- data %>%
    filter(Qs != 0)
  dataes <- filter(data, Codigo %in% codigo)
  dataes <- dataes %>%
    filter(Qs != 0)
  df_prom <- promedio_mensual2(data)
  df_prom2 <- promedio_mensual2(data)
  df_prom2[1:2] <- NULL

  gg1 <- ggplot(data, aes(x = Caudal, y = Qs, color = factor(Mes))) +
    # scale_y_continuous()+ scale_x_continuous()+
    scale_y_log10(breaks = scales::trans_breaks("log10", function(x) 10^x),
      labels = scales::trans_format("log10", scales::math_format(10^.x)),
      limits = c(100, 1e+08)) + scale_x_log10(breaks = scales::trans_breaks("log10",
      function(x) 10^x), labels = scales::trans_format("log10",
      scales::math_format(10^.x)), limits = c(1, 10000)) +
    scale_color_discrete(name = "Mes", label = c("Enero",
      "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio", "Julio",
      "Agosto", "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre")) +
    annotation_logticks(sides = "lr") + labs(title = titulo,
      subtitle = "Relación Caudal vs Qs", x = ("log(Caudal) [" ~
      m^3 ~ "/s]"), y = "log(Qs) [Ton]") + theme(plot.title = element_text(family = "sans",
      hjust = 0.5), plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5,
      vjust = 0)) + geom_point(na.rm = TRUE, alpha = 0.33) +
    geom_point(na.rm = TRUE, colour = "black", data = df_prom,
      aes(x = Caudal, y = Qs), size = 1.5) + stat_smooth(data = df_prom,
      method = "lm", formula = y ~ x, se = F, color = "black",
      size = 0.5) +
    geom_label_repel(data = df_prom, aes(label = c("Enero", "Febrero",
      "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio", "Julio", "Agosto",
      "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre")),
      box.padding = 0.9, point.padding = 0.1, segment.color = "grey50",
      show.legend = FALSE)

  g2 <- gg1 + stat_cor(data = dataes, label.x.npc = "left",
    label.y.npc = "top", vjust = 1.2, show.legend = FALSE,
    aes(color = NULL, x = Caudal, y = Qs, label = paste(..rr.label..,
      ..p.label.., sep = "~", "~"))) + stat_regline_equation(data = dataes,
    label.x.npc = "left", label.y.npc = "top", vjust = 0,
    show.legend = FALSE, aes(color = NULL))
}

```

```

plot_final <- ggdraw() + draw_plot(g2) + draw_image(ins,
  x = 0.62, y = 0.1, width = 0.23, height = 0.23)
return(plot_final)
}
# dis_diario_inset(brutodiario,'Río Ñuble en San Fabián
# (1986-2017)', 'NSF', inset_NSF)
# dis_diario_inset(brutodiario,'Río Ñuble en San Fabián N°2
# (1999-2017)', 'NSF2', inset_NSF2)
# dis_diario_inset(brutodiario,'Río Itata en Cholguán
# (1986-2017)', 'ICH', inset_ICH)
# dis_diario_inset(brutodiario,'Río Diguillín en Longitudinal
# (1986-2017)', 'DEL', inset_DEL)
# dis_diario_inset(brutodiario,'Río Chillán en Camino a
# Confluencia (1986-2017)', 'CCC', inset_CCC)
# dis_diario_inset(brutodiario,'Río Itata en Balsa Nueva
# Aldea (1986-2017)', 'BNA', inset_BNA)
# dis_diario_inset(brutodiario,'Río Itata en Coelemu
# (1986-2017)', 'ICO', inset_ICO)

# Funcion gráfico de caudal promedio mensual por estación
# única.
cau_mensual <- function(data, estacion = NULL) {
  gg1 <- ggplot(data, mapping = aes(x = Fecha, y = Caudal,
    fill = factor(Mes))) + scale_y_continuous() + scale_x_date(labels = date_format("%Y"),
    breaks = date_breaks("2 year")) + labs(subtitle = "Caudal promedio mensual",
    title = NULL, y = "Caudal [ " ~ m^3 ~ "/seg]", fill = "Código") +
    theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
    plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5), legend.position = "bottom") +
    scale_fill_discrete(label = c("Enero", "Febrero", "Marzo",
    "Abril", "Mayo", "Junio", "Julio", "Agosto", "Septiembre",
    "Octubre", "Noviembre", "Diciembre")) + geom_col()
  return(gg1 + guides(fill = guide_legend(nrow = 1, byrow = TRUE)))
}

# Funcion gráfico de caudal anual por estación única. Gráfico
# de columnas
cau_anual <- function(data, estacion = NULL) {
  data_ant <- dividir_data_ant(data, 2010)
  data_ant <- data_ant %>%
    filter(Caudal != 0)
  prom_ant <- mean(data_ant$Caudal)
  data_sup <- dividir_data_sup(data, 2010)
  data_sup <- data_sup %>%
    filter(Caudal != 0)
  prom_sup <- mean(data_sup$Caudal)
  gg1 <- ggplot(data, mapping = aes(x = Year, y = Caudal)) +
    scale_y_continuous() + scale_x_continuous(breaks = seq(1985,
    2019, by = 2), name = NULL) + labs(subtitle = "Caudal promedio anual",
    title = estacion, y = "Caudal [ " ~ m^3 ~ "/seg]") + theme(plot.title = element_text(family = "s",
    hjust = 0.5), plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),
    legend.position = "none") + geom_col(fill = "dodgerblue3") +
    geom_segment(aes(x = 1985, xend = 2010, y = prom_ant,
    yend = prom_sup), colour = "cyan3", size = 1.2) +

```



```

geom_segment(aes(x = 2010, xend = 2018, y = prom_sup,
                yend = prom_sup), colour = "tomato2", size = 1.2) +
coord_cartesian(xlim = c(1983.4, 2019.9), ylim = c(0,
                700), expand = FALSE)
return(gg1)
}

```

```

# Funcion gráfico de caudal modulo mensual por estación
# única. Gráfico de columnas
cau_modulo <- function(data, estacion = NULL) {
  gg1 <- ggplot(data, mapping = aes(x = factor(Mes), y = Caudal)) +
    scale_y_continuous() + scale_x_discrete(labels = c("E",
    "F", "M", "A", "M", "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) +
    labs(subtitle = "Caudal modulo mensual", title = NULL,
         x = NULL, y = "Caudal [m^3 /seg]") + theme(plot.title = element_text(family = "sans"
    hjust = 0.5), plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),
    legend.position = c(0.92, 0.8), axis.text.x = element_text(size = 15,
    hjust = 1, vjust = 0)) + geom_col(fill = "dodgerblue3")
  return(gg1)
}

```

```

# Funcion gráfico de concentración promedio mensual por
# estación única. Gráfico de columnas
con_mensual <- function(data, estacion = NULL) {
  gg1 <- ggplot(data, mapping = aes(x = Fecha, y = Concentracion,
    fill = factor(Mes))) + scale_y_continuous() + scale_x_date(labels = date_format("%Y"),
    breaks = date_breaks("2 year")) + labs(subtitle = "Concentración de sedimentos promedio mensual",
    title = NULL, y = "Concentración de sedimentos [mg/lt]",
    fill = "Código") + theme(plot.title = element_text(family = "sans",
    hjust = 0.5), plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),
    legend.position = "bottom") + scale_fill_discrete(name = NULL,
    label = c("Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo",
    "Junio", "Julio", "Agosto", "Septiembre", "Octubre",
    "Noviembre", "Diciembre")) + geom_col()
  return(gg1 + guides(fill = guide_legend(nrow = 1, byrow = TRUE)))
}
con_mensual(brut, estacion = NULL)

```

```

# Funcion gráfico de concentración anual por estación única.
# Gráfico de columnas
con_anual <- function(data, estacion = NULL) {
  data_ant <- dividir_data_ant(data, 2010)
  prom_ant <- mean(data_ant$Concentracion)
  data_sup <- dividir_data_sup(data, 2010)
  prom_sup <- mean(data_sup$Concentracion)
  gg1 <- ggplot(data, mapping = aes(x = Year, y = Concentracion)) +
    scale_y_continuous() + scale_x_continuous(breaks = seq(1985,
    2019, by = 2), name = NULL) + labs(subtitle = "Concentración de sedimentos promedio anual",
    title = estacion, y = "Concentración de sedimentos [mg/lt]",
    fill = "Código") + theme(plot.title = element_text(family = "sans",
    hjust = 0.5), plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),
    legend.position = "none") + geom_col(fill = "darkolivegreen") +
    geom_segment(aes(x = 1985, xend = 2010, y = prom_ant,

```

```

        yend = prom_ant, colour = "red"), size = 1.2) + geom_segment(aes(x = 2010,
xend = 2018, y = prom_sup, yend = prom_sup, colour = "blue"),
size = 1.2) + coord_cartesian(xlim = c(1983.7, 2020.3),
expand = FALSE)
# geom_text(aes(label = sprintf('%0.2f', round(Concentracion,
# digits = 2))), size=5, position = position_stack(vjust=0.5),
# angle=90, colour = 'white')
return(gg1)
}

```

```

# Funcion gráfico de concentración modulo mensual por
# estación única. Gráfico de columnas
con_modulo <- function(data, estacion = NULL) {
  gg1 <- ggplot(data, mapping = aes(x = factor(Mes), y = Concentracion)) +
    scale_y_continuous() + scale_x_discrete(labels = c("E",
"F", "M", "A", "M", "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) +
    labs(subtitle = "Concentración de sedimentos modulo mensual",
title = NULL, x = NULL, y = "Concentración de sedimentos [mg/lt]") +
    theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5), legend.position = c(0.92,
0.8), axis.text.x = element_text(size = 15, hjust = 1,
vjust = 0)) + geom_col(fill = "darkolivegreen")
# geom_text(aes(label = sprintf('%0.2f', round(Concentracion,
# digits = 2))), size=4, vjust = -0.5)
return(gg1)
}

```

```

# Función gráfico de aporte de sedimentos según tributario
# Figura 3.2
cau_tributario <- function(data) {
  gg1 <- ggplot(data, aes(Km, Caudal)) + scale_x_reverse(breaks = seq(0,
160, by = 10)) + scale_y_continuous(breaks = seq(0, 350,
by = 50), labels = comma) + labs(title = "Caudal según tributarios en Río Itata",
x = ("rKm"), y = "Caudal [m3/s]", fill = "Código",
color = "Periodo") + theme(plot.title = element_text(family = "sans",
hjust = 0.5), legend.position = c(0.92, 0.85)) + scale_color_manual(name = "Periodo",
values = c("blue", "red")) + geom_line(aes(color = Periodo),
alpha = 1, position = position_dodge(0.8), size = 1) +
  geom_rect(aes(xmin = 0, xmax = 21, 5, ymin = -Inf, ymax = Inf),
alpha = 1/150, fill = "green") + geom_rect(aes(xmin = 21,
5, xmax = 62, ymin = -Inf, ymax = Inf), alpha = 1/150,
fill = "blue") + geom_rect(aes(xmin = 103, xmax = 160,
ymin = -Inf, ymax = Inf), alpha = 1/150, fill = "red") +
  geom_rect(aes(xmin = 62, xmax = 103, ymin = -Inf, ymax = Inf),
alpha = 1/150, fill = "yellow") + annotate("text",
x = 10, y = 200, label = "IC0", color = "darkgreen",
size = 10, alpha = 0.3) + annotate("text", x = 83, y = 200,
label = "ICD", color = "yellow4", size = 10, alpha = 0.3) +
  annotate("text", x = 42, y = 200, label = "BNA", color = "darkblue",
size = 10, alpha = 0.3) + annotate("text", x = 130,
y = 200, label = "ICH", color = "darkred", size = 10,
alpha = 0.3)
# facet_wrap(~Codigo, scales = 'free')
}

```

```

final <- ggdraw() + draw_plot(gg1) + draw_image(fig_rkm,
  x = -0.3, y = 0.3, scale = 0.25)

return(final)
}

```

```
# cau_tributario(SB)
```

```
# Función gráfico de aporte de sedimentos según tributario
# Figura 3.2
```

```

qs_tributario <- function(data) {
  gg1 <- ggplot(data, aes(Km, Qsm/1000)) + scale_x_reverse(breaks = seq(0,
    160, by = 10)) + scale_y_continuous(breaks = seq(0, 70000,
    by = 10000), labels = comma) + labs(title = "Qs según tributarios en Río Itata",
    x = ("rKm"), y = "Qs [ton/mes]", fill = "Código", color = "Periodo") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
    legend.position = c(0.92, 0.85)) + scale_color_manual(name = "Periodo",
    values = c("blue", "red")) + geom_line(aes(color = Periodo),
    alpha = 1, position = position_dodge(0.8), size = 1) +
  geom_rect(aes(xmin = 0, xmax = 21, 5, ymin = -Inf, ymax = Inf),
    alpha = 1/150, fill = "green") + geom_rect(aes(xmin = 21,
    5, xmax = 62, ymin = -Inf, ymax = Inf), alpha = 1/150,
    fill = "blue") + geom_rect(aes(xmin = 103, xmax = 160,
    ymin = -Inf, ymax = Inf), alpha = 1/150, fill = "red") +
  geom_rect(aes(xmin = 62, xmax = 103, ymin = -Inf, ymax = Inf),
    alpha = 1/150, fill = "yellow") + annotate("text",
    x = 10, y = 40000, label = "IC0", color = "darkgreen",
    size = 10, alpha = 0.3) + annotate("text", x = 83, y = 40000,
    label = "ICD", color = "yellow4", size = 10, alpha = 0.3) +
  annotate("text", x = 42, y = 40000, label = "BNA", color = "darkblue",
    size = 10, alpha = 0.3) + annotate("text", x = 130,
    y = 40000, label = "ICH", color = "darkred", size = 10,
    alpha = 0.3)
  # facet_wrap(~Codigo, scales = 'free')
  final <- ggdraw() + draw_plot(gg1) + draw_image(fig_rkm,
    x = -0.3, y = 0.3, scale = 0.25)

  return(final)
}

```

```
qs_tributario(SB)
```

```
# Función gráfico de concentración de sedimentos vs caudal
# por código para el registro total
```

```

Caudal_Concentracion <- function(data) {
  gg1 <- ggplot(data) + labs(title = "Concentración vs Caudal",
    x = "Año", y = "Carga [Ton/Año]") + theme(plot.title = element_text(family = "sans",
    hjust = 0.5), legend.position = c(0.92, 0.75)) + geom_col(mapping = aes(fill = Codigo,
    x = Year, y = Concentracion), stat = "identity", position = position_dodge(0.8),
    alpha = 0.5) + geom_line(aes(color = Codigo, x = Year,
    y = Caudal * 125/600), size = 0.9, alpha = 1) + scale_x_continuous(breaks = seq(1985,
    2018, by = 2)) + scale_y_continuous(name = "Concentración [mg/l]",
    sec.axis = sec_axis(~. * 600/125, name = "Caudal [" ~

```

```

    m^3 ~ "/seg"]), limits = c(0, 125))
  return(gg1)
}

```

```

# Función grafico de carga de sedimentos en suspensión.
# Códigos en colores
qs_year <- function(data) {
  gg1 <- ggplot(data, aes(Year, Qs)) + scale_x_continuous(breaks = seq(1985,
    2018, by = 4)) + scale_y_continuous(breaks = seq(0, 50000,
    by = 5000)) + labs(title = "Carga de sedimentos en suspensión",
    x = ("Año"), y = "Carga [Ton/Año]", color = "Código") +
    theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
    legend.position = c(0.92, 0.75)) + geom_line(aes(color = Codigo,
    fill = Codigo), alpha = 1, position = position_dodge(0.8))
  # facet_wrap(~Codigo, scales = 'free')
  return(gg1)
}

```

```

# Función gráfico de precipitación acumulada diaria.
# Facetwrap por código, colores para los periodos
precipitacion_modulo_wrap <- function(data) {
  sup <- dividir_data_sup(data, 2010)
  inf <- dividir_data_ant(data, 2010)
  supm <- mod_prep(sup)
  infm <- mod_prep(inf)
  final <- bind_rows(supm, infm)
  final$Codigo <- factor(final$Codigo, levels = c("ICH", "ICO",
    "LTS", "NSF", "CBO", "DEL"), labels = c("Cholguán", "Coelemu",
    "Las Trancas", "San Fabian de Alico", "Bernardo O'Higgins Chillán",
    "Diguillín"))
  gg1 <- ggplot(final, mapping = aes(x = factor(Mes), y = Precipitacion,
    fill = Periodo)) + scale_y_continuous() + scale_x_discrete(labels = c("E",
    "F", "M", "A", "M", "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) +
    scale_fill_manual(values = c("darkcyan", "tan2"), name = c("Periodo"),
    label = c("Presequía", "Sequía")) + labs(title = "Precipitación Modulo Mensual",
    y = "Precipitacion (mm)", x = NULL, fill = "Periodo") +
    theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5), plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),
    legend.position = c(0.92, 0.85), axis.text.x = element_text(size = 15,
    hjust = 1, vjust = 0)) + geom_col(position = position_dodge(preserve = c("total"))) +
    facet_wrap(~Codigo)
  return(gg1)
}
# precipitacion_modulo_wrap(pp_d)

```

```

# Función gráfico de precipitación acumulada diaria.
# Facetgrid por código, colores para los periodos FIGura 2.5
precipitacion_modulo_grid <- function(data) {
  sup <- dividir_data_sup(data, 2010)
  inf <- dividir_data_ant(data, 2010)
  supm <- mod_prep(sup)
  infm <- mod_prep(inf)
  final <- bind_rows(supm, infm)
  final$Codigo <- factor(final$Codigo, levels = c("ICH", "ICO",

```

```

"LTS", "NSF"), labels = c("Cholguán", "Coelemu", "Las Trancas",
"San Fabian de Alico"))
gg1 <- ggplot(final, mapping = aes(x = factor(Mes), y = Precipitacion,
fill = Periodo)) + scale_y_continuous() + scale_x_discrete(labels = c("E",
"F", "M", "A", "M", "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) +
scale_fill_manual(values = c("darkcyan", "tan2"), name = c("Periodo"),
label = c("Presequía", "Sequía")) + labs(subtitle = "Precipitación Modulo Mensual",
y = "Precipitacion (mm)", x = "Mes", fill = "Periodo") +
theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5), plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),
legend.position = c(0.92, 0.85), axis.text.x = element_text(hjust = 1,
vjust = 0)) + geom_col(position = position_dodge(preserve = c("total"))) +
facet_grid(~Codigo)
return(gg1)
}
# precipitacion_modulo_grid(pp_d)

```

```

#Función gráfico de climograma.
#Ingresar planilla formato -> Fecha | Year | Mes | Dia | Precipitacion |
# Temperatura | Nombre estacion.
#Figura 2.4
climograma<-function(data){
dfp<-filtro_periodo(data,"Presequia")
dfs<-filtro_periodo(data,"Sequia")

dfp<-summarise(dfp %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
Precipitacion = sum(Precipitacion,na.rm=TRUE),#mm
Temperatura = median(Temperatura, na.rm = TRUE),
Periodo = unique(Periodo))#
dfp<-summarise(dfp %>%group_by(Codigo, Mes),
Precipitacion = mean(Precipitacion,na.rm=TRUE),#mm
Temperatura = mean(Temperatura, na.rm = TRUE),
Periodo = unique(Periodo))#
maxprepp<-max(dfp$Precipitacion)
maxtemp<-max(dfp$Temperatura)

dfs<-summarise(dfs %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
Precipitacion = sum(Precipitacion,na.rm=TRUE),#mm
Temperatura = median(Temperatura, na.rm = TRUE),
Periodo = unique(Periodo))#
dfs<-summarise(dfs %>%group_by(Codigo, Mes),
Precipitacion = mean(Precipitacion,na.rm=TRUE),#mm
Temperatura = mean(Temperatura, na.rm = TRUE),
Periodo = unique(Periodo))#
maxpreps<-max(dfs$Precipitacion)
maxtemps<-max(dfs$Temperatura)

gg1<-ggplot(dfp, aes(x=factor(Mes), y=Precipitacion))+
labs(title="Climograma", x=NULL, y="Precipitacion (mm/mes)",
colour="Temperatura", fill="Precipitacion")+
theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
legend.position = "bottom",
axis.text.x = element_text(size=10,hjust = 1, vjust = 0))+

```

```

geom_col(mapping = aes(x=factor(Mes), y= Precipitacion),
         fill="darkblue", stat = "identity",
         position = position_dodge(0.8), alpha=0.5)+
geom_line(aes(x=Mes, y=Temperatura* maxprepp/maxtemp),size=0.9,
         alpha=1, colour="red2")+
scale_x_discrete(labels=c("E","F","M","A","M","J","J","A","S",
                          "O","N","D"))+
scale_y_continuous(sec.axis = sec_axis(~. * maxtemp/ maxprepp ,
                                       name = "Temperatura (°C)",
                                       limits = c(0,maxprepp))+
#scale_fill_manual(name="Precipitacion", value=NULL)+
facet_grid(~Codigo)

gg2<-ggplot(dfs, aes(x=factor(Mes), y=Precipitacion))+
labs(x=NULL, y="Precipitacion (mm/mes)",
     colour="Temperatura", fill="Precipitacion")+
theme(legend.position = "bottom",
      axis.text.x = element_text(size=10,hjust = 1, vjust = 0))+
geom_col(mapping = aes(x=factor(Mes), y= Precipitacion),
         fill="darkblue", stat = "identity",
         position = position_dodge(0.8), alpha=0.5)+
geom_line(aes(x=Mes, y=Temperatura* maxprepp/maxtemps),size=0.9,
         alpha=1, colour="red2")+
scale_x_discrete(labels=c("E","F","M","A","M","J","J","A","S",
                          "O","N","D"))+
scale_y_continuous(sec.axis = sec_axis(~. * maxtemps/ maxprepp ,
                                       name = "Temperatura (°C)",
                                       limits = c(0,maxprepp))+
#scale_fill_manual(name="Precipitacion", value=NULL)+
facet_grid(~Codigo)

return(grid.arrange(gg1,gg2,ncol=1,nrow=2))}

```

climograma(climo)

```

# Función gráfico de concentración de sedimentos vs caudal,
# datos modulo mensual por estación en facetwrap
cau_con_mod_per <- function(data) {
  sup <- dividir_data_sup(data, 2010)
  inf <- dividir_data_ant(data, 2010)
  dsup <- promedio_modmen(sup)
  dinf <- promedio_modmen(inf)
  final <- bind_rows(dsup, dinf)
  maxcau <- max(final$Caudal)
  maxcon <- max(final$Concentracion)
  gg1 <- ggplot(final) + labs(title = "Concentración vs Caudal",
                             x = "Mes", y = "Concentración de sedimentos") + theme(plot.title = element_text(family = "sans",
                                                                 hjust = 0.5), legend.position = "bottom") + geom_col(mapping = aes(fill = Periodo,
                                                                 x = factor(Mes), y = Concentracion), stat = "identity",
                                                                 position = position_dodge(0.8), alpha = 0.5) + geom_line(aes(color = Periodo,
                                                                 x = Mes, y = Caudal * (maxcon/maxcau)), size = 0.9, alpha = 1) +
  scale_x_discrete(labels = c("E", "F", "M", "A", "M",
                              "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) + scale_y_continuous(name = "Concentración [mg/l]",

```

```

sec.axis = sec_axis(~. * (maxcau/maxcon), name = "Caudal [" ~
  m^3 ~ "/seg]")) + scale_fill_manual(values = c("darkcyan",
"tan2"), name = c("Periodo"), label = c("Presequía",
"Sequía")) + scale_color_manual(values = c("darkcyan",
"tan2"), name = c("Periodo"), label = c("Presequía",
"Sequía")) + facet_wrap(~Codigo)
return(gg1)
}

cau_con_mod_per(brutodiario)

```

```

#Función gráfico de concentración de sedimentos vs caudal,
# datos modulo mensual por estación en facetwrap
cau_con_mod<-function(data){
  data<-summarise(data %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
    Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE))
  data<-summarise(data %>%group_by(Codigo, Mes),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
    Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE))
  maxcau<-max(data$Caudal)
  maxcon<-max(data$Concentracion)
  gg1<-ggplot(data)+
    labs(title="Concentración vs Caudal", x="Mes",
      y="Concentración de sedimentos")+
    theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
      legend.position = "bottom")+
    geom_col(mapping = aes(x=factor(Mes),
      y= Concentracion), stat = "identity",
      position = position_dodge(0.8), alpha=0.6, fill="goldenrod4")+
    geom_line(aes(x=Mes, y=Caudal* (maxcon/maxcau)),
      size=0.9, alpha=1, colour="royalblue")+
    scale_x_discrete(labels=c("E","F","M","A","M","J","J","A","S","O","N",
      "D"))+
    scale_y_continuous(name = "Concentración [mg/l]",
      sec.axis = sec_axis(~. * (maxcau / maxcon),
        name = "Caudal ["~m^3~/seg]"))+
    facet_wrap(~Codigo)
  return(gg1)}

cau_con_mod(brutodiario)

```

```

# Funcion gráfico de caudal modulo mensual para la
# metodología Figura 1.7
cau_metodologia <- function(data, codigo, estacion = NULL) {
  cuadrito <- data.frame(xmin = c(-Inf, 6.5, -Inf, 3.5, 3.5,
  6.5), xmax = c(6.5, Inf, 3.5, 9.5, 6.5, 10.5), ymin = c(-Inf,
  -Inf, -Inf, -Inf, -Inf), ymax = c(Inf, Inf, 680,
  680, 640, 480), alpha = c(0.37, 0.4, 0.4, 0.4, 0.4, 0.5),
  Temporada = c("Invierno", "Verano", "Crecida", "Descenso",
  "Descenso Invierno", "Descenso Verano"))

```



```

dato <- filter(data,Codigo %in% codigo)
df <- summarise(dato %>%
  group_by(Year, Mes), Caudal = mean(Caudal, na.rm = TRUE))
dff <- summarise(df %>%
  group_by(Mes), Caudal = mean(Caudal, na.rm = TRUE))
mesorden <- c(10, 11, 12, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)
dff$MesHidro <- mesorden
gg1 <- ggplot(data = dff, mapping = aes(x = (MesHidro), y = Caudal)) +
  scale_y_continuous() + scale_x_continuous(breaks = c(1,
  2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), labels = c("A",
  "M", "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D", "E", "F", "M")) +
  labs(subtitle = "Caudal modulo mensual", title = estacion,
  x = NULL, y = "Caudal [" ~ m^3 ~ "/seg]") + theme(plot.title = element_text(family = "sans"
  hjust = 0.5), plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),
  legend.position = "bottom", axis.text.x = element_text(size = 15,
  hjust = 1, vjust = 0)) + geom_rect(data = cuadrito,
  aes(xmin = xmin, xmax = xmax, ymin = ymin, ymax = ymax,
  fill = Temporada), alpha = 0.7, inherit.aes = FALSE) +
  geom_line(size = 1) + scale_fill_manual(values = c("aquamarine3",
  "darkorchid3", "darkgoldenrod4", "gray59", "red3", "gold3")) +
  scale_alpha(guide = "none")
return(gg1)
}
cau_metodologia(brutodiario, "ICO", "Río Itata en Coelemu")

```

```

# Funcion gráfico de caudal modulo mensual para la
# metodologia Figura 1.7
cau_metodologia <- function(data, codigo, estacion = NULL) {
  cuadrito <- data.frame(xmin = c(-Inf, 3.5, 3.5), xmax = c(3.5,
  9.5, 6.5), ymin = c(-Inf, -Inf, -Inf), ymax = c(Inf,
  Inf, 650), alpha = c(0.2, 0.2, 0.2), Temporada = c("Crecida",
  "Descenso", "Descenso Invierno"))
  dato <- filter(data,Codigo %in% codigo)
  df <- summarise(dato %>%
    group_by(Year, Mes), Caudal = mean(Caudal, na.rm = TRUE))
  dff <- summarise(df %>%
    group_by(Mes), Caudal = mean(Caudal, na.rm = TRUE))
  mesorden <- c(10, 11, 12, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)
  dff$MesHidro <- mesorden
  gg1 <- ggplot(data = dff, mapping = aes(x = (MesHidro), y = Caudal)) +
    scale_y_continuous() + scale_x_continuous(breaks = c(1,
    2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), labels = c("A",
    "M", "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D", "E", "F", "M")) +
    labs(subtitle = "Caudal modulo mensual", title = estacion,
    x = NULL, y = "Caudal [" ~ m^3 ~ "/seg]") + theme(plot.title = element_text(family = "sans"
    hjust = 0.5), plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),
    legend.position = "bottom", axis.text.x = element_text(size = 15,
    hjust = 1, vjust = 0)) + geom_rect(data = cuadrito,
    aes(xmin = xmin, xmax = xmax, ymin = ymin, ymax = ymax,
    fill = Temporada), alpha = 0.4, inherit.aes = FALSE) +
    geom_line(size = 1) + scale_fill_manual(values = c("aquamarine3",
    "lightsalmon1", "plum3")) + scale_alpha(guide = "none")
  return(gg1)
}

```

```

}
cau_metodologia(brutodiario, "ICO", "Río Itata en Coelemu")

```

```

# grafica la participación de Qs por periodo por estación
porce_medida_qs <- function(data) {
  data <- filtro(data, "ICO", "BNA", "CCC", "DEL", "ICH", "NSF2")
  data <- transform(data, Codigo = factor(Codigo, levels = c("NSF2",
    "ICH", "DEL", "CCC", "BNA", "ICO")))
  gg1 <- ggplot(data, aes(x = (Mes), y = qs, color = Periodo)) +
    geom_line() + scale_x_continuous(breaks = c(1, 2, 3,
    4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), labels = c("E", "F", "M",
    "A", "M", "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) + scale_color_manual(values = c("blue",
    "red", "green4"), label = c("Presequía", "Sequía", "Todo")) +
    labs(x = NULL, y = "[%]") + theme(plot.title = element_text(family = "sans",
    hjust = 0.5), legend.position = "bottom") + facet_wrap(~Codigo)
  return(gg1)
}
# porce_medida_qs(participacion)

```

```

# grafica la participación de Qs por periodo por estación
porce_medida_cau <- function(data) {
  gg1 <- ggplot(data, aes(x = (Mes), y = qs, color = Periodo)) +
    geom_line() + scale_x_continuous(breaks = c(1, 2, 3,
    4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), labels = c("E", "F", "M",
    "A", "M", "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) + scale_color_manual(values = c("blue",
    "red", "green4"), label = c("Presequía", "Sequía", "Todo")) +
    facet_wrap(~Codigo)
  return(gg1)
}
# porce_medida_cau(participacion)

```

```

# grafica la participación de Qs (columnas) y caudal (linea)
# por periodo por estación Figura 3.26
porce_medida <- function(data) {
  data <- filtro_periodo(data, "Sequía", "Presequía")
  # nsf<-filtro(data, 'NSF')
  nsf <- filtro_cods(data, "NSF")
  ich <- filtro_cods(data, "ICH")
  del <- filtro_cods(data, "DEL")
  ccc <- filtro_cods(data, "CCC")
  bna <- filtro_cods(data, "BNA")
  ico <- filtro_cods(data, "ICO")

  # gg1<-ggplot(nsf, aes(x=(Mes),y=qs))+ geom_col()+
  # geom_line(aes(x=Mes,y=cau))+ labs(subtitle='NSF',
  # y='% ',x=NULL)+ scale_x_continuous(breaks =
  # c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12),
  # labels=c('E', 'F', 'M', 'A', 'M', 'J', 'J', 'A', 'S',
  # 'O', 'N', 'D'))+
  # facet_grid(rows = vars(Periodo))

  gg2 <- ggplot(nsf, aes(x = (Mes), y = qs)) + geom_col(fill = "darkgoldenrod4") +
    geom_line(aes(x = Mes, y = cau), colour = "steelblue3",

```

```

      size = 1.2) + labs(subtitle = "NSF", y = "%", x = NULL) +
scale_x_continuous(breaks = c(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,
  9, 10, 11, 12), labels = c("E", "F", "M", "A", "M",
  "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) + facet_grid(rows = vars(Periodo))

gg3 <- ggplot(ich, aes(x = (Mes), y = qs)) + geom_col(fill = "darkgoldenrod4") +
geom_line(aes(x = Mes, y = cau), colour = "steelblue3",
  size = 1.2) + labs(subtitle = "ICH", y = "%", x = NULL) +
scale_x_continuous(breaks = c(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,
  9, 10, 11, 12), labels = c("E", "F", "M", "A", "M",
  "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) + facet_grid(rows = vars(Periodo))

gg4 <- ggplot(del, aes(x = (Mes), y = qs)) + geom_col(fill = "darkgoldenrod4") +
geom_line(aes(x = Mes, y = cau), colour = "steelblue3",
  size = 1.2) + labs(subtitle = "DEL", y = "%", x = NULL) +
scale_x_continuous(breaks = c(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,
  9, 10, 11, 12), labels = c("E", "F", "M", "A", "M",
  "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) + facet_grid(rows = vars(Periodo))

gg5 <- ggplot(ccc, aes(x = (Mes), y = qs)) + geom_col(fill = "darkgoldenrod4") +
geom_line(aes(x = Mes, y = cau), colour = "steelblue3",
  size = 1.2) + labs(subtitle = "CCC", y = "%", x = NULL) +
scale_x_continuous(breaks = c(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,
  9, 10, 11, 12), labels = c("E", "F", "M", "A", "M",
  "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) + facet_grid(rows = vars(Periodo))

gg6 <- ggplot(bna, aes(x = (Mes), y = qs)) + geom_col(fill = "darkgoldenrod4") +
geom_line(aes(x = Mes, y = cau), colour = "steelblue3",
  size = 1.2) + labs(subtitle = "BNA", y = "%", x = NULL) +
scale_x_continuous(breaks = c(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,
  9, 10, 11, 12), labels = c("E", "F", "M", "A", "M",
  "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) + facet_grid(rows = vars(Periodo))

gg7 <- ggplot(ico, aes(x = (Mes), y = qs)) + geom_col(fill = "darkgoldenrod4") +
geom_line(aes(x = Mes, y = cau), colour = "steelblue3",
  size = 1.2) + labs(subtitle = "ICO", y = "%", x = NULL) +
scale_x_continuous(breaks = c(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,
  9, 10, 11, 12), labels = c("E", "F", "M", "A", "M",
  "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) + facet_grid(rows = vars(Periodo))

return(grid.arrange(gg2, gg3, gg4, gg5, gg6, gg7, ncol = 3,
  nrow = 2))
}
porce_medida(participacion)

```

```

# Funcion gráfico de concentración promedio mensual por
# estación única. Gráfico de columnas
qs_mensual <- function(data, codigo, estacion = NULL) {
  data <- filter(data, Codigo %in% codigo)
  data$Fecha <- as.Date(data$Fecha)
  gg1 <- ggplot(data, mapping = aes(x = Fecha, y = Qs, fill = factor(Mes))) +
  scale_y_log10(labels = comma) + scale_x_date(labels = date_format("%Y"),
  breaks = date_breaks("2 year"), limits = as.Date(c("1985-01-01",

```

```

    "2019-01-02")))) + labs(subtitle = "Qs promedio mensual",
  title = NULL, y = "log(Qs) [ton/mes]", fill = "Código") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
    plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5), legend.position = "bottom") +
  scale_fill_discrete(name = NULL, label = c("Enero", "Febrero",
    "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio", "Julio", "Agosto",
    "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre")) +
  coord_cartesian(ylim = c(10, 8e+05), expand = FALSE) +

  geom_col()
  return(gg1 + guides(fill = guide_legend(nrow = 1, byrow = TRUE)))
}

```

```

# Funcion gráfico de concentración anual por estación única.
# Gráfico de columnas
qs_anual <- function(data, codigo, estacion = NULL) {
  data <- filter(data, Codigo %in% codigo)
  data_ant <- dividir_data_ant(data, 2010)
  prom_ant <- mean(data_ant$Qs)
  data_sup <- dividir_data_sup(data, 2010)
  prom_sup <- mean(data_sup$Qs)
  gg1 <- ggplot(data, mapping = aes(x = Year, y = Qs)) + scale_y_continuous(labels = comma) +
    scale_x_continuous(breaks = seq(1985, 2019, by = 2),
      name = NULL) + labs(subtitle = "Qs promedio anual",
    title = estacion, y = "Qs [ton/mes]", fill = "Código") +
    theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
      plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5), legend.position = "none") +
    geom_col(fill = "darkolivegreen") + geom_segment(aes(x = 1985,
    xend = 2010, y = prom_ant, yend = prom_ant), colour = "cyan3",
    size = 1.2) + geom_segment(aes(x = 2010, xend = 2018,
    y = prom_sup, yend = prom_sup), colour = "tomato2", size = 1.2) +
    coord_cartesian(xlim = c(1984.4, 2018.5), ylim = c(1,
    55000), expand = FALSE)
  return(gg1)
}

```

```

#grafica la histéresis de todas las estaciones los dos periodos de estudio
#Figura 3.11
histeresis<-function(data){
  df<-filtro_cods(data,"NSF2","ICH","DEL","CCC","BNA","ICO")
  dff<-summarise(df %>%group_by(Codigo, Periodo, Mes),
    Caudal=mean(Caudal, na.rm=T),
    Qs = mean(Qs, na.rm=T))#
  dff$Periodo <- factor(dff$Periodo, levels = c("presequia","sequia"),
    labels = c("Pre-sequía (1986-2009)",
    "Sequía (2010-2017)"))

  d1<-filtro_cods(dff,"NSF2","ICH","DEL")
  d2<-filtro_cods(dff,"CCC","BNA","ICO")
  gg1<- ggplot(d1, aes(Caudal, Qs))+
    theme(legend.position = "none",
      panel.grid = element_blank(),
      axis.title = element_blank(),

```

```

        axis.ticks = element_blank(),
        axis.text = element_blank())+
scale_y_log10()+
scale_x_log10()+
#geom_label(data=df, aes(label=Mes),
            #label.padding = unit(0.1, "lines"),
            #label.size = 0.2)+
geom_label_repel(data=d1, aes(label=Mes),
                box.padding = 1.5,#distancia de la caja al dato
                label.size = 0.2,
                label.padding = 0.2,
                point.padding = 0.5,
                segment.color = 'grey50',
                show.legend = FALSE,
                alpha=.5,
                force = 1.5)+
geom_point()+
geom_path(linetype="dashed")+
facet_grid(Periodo~Codigo, scales = "free")

gg2<- ggplot(d2, aes(Caudal, Qs))+
  theme(legend.position = "none",
        panel.grid = element_blank(),
        axis.title = element_blank(),
        axis.ticks = element_blank(),
        axis.text = element_blank())+
scale_y_log10()+
scale_x_log10()+
#geom_label(data=df, aes(label=Mes),
            #label.padding = unit(0.1, "lines"),
            #label.size = 0.2)+
geom_label_repel(data=d2, aes(label=Mes),
                box.padding = 1.5,#distancia de la caja al dato
                label.size = 0.2,
                label.padding = 0.2,
                point.padding = 0.5,
                segment.color = 'grey50',
                show.legend = FALSE,
                alpha=.5,
                force = 1.5,
                force_pull = .5)+
geom_point()+
geom_path(linetype="dashed")+
facet_grid(Periodo~Codigo, scales = "free")

return(gg1/gg2)}
#histeresis(brutodiario)

```

```

#grafica los sediment yield de cada estación para los dos periodos.
#En el eje x el área de la cuenca, en el y el yield
# Figura 3.27
yield_est<-function(dato){

```

```

g1<-ggplot(dato, aes(Area,Yield, label=Codigo))+
  geom_point()+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5))+
  labs(title = "Aporte sedimentario por área",x="Área ["~km^2~"]",
        y="Qs*[ton/año/"~km^2~"]")+
  geom_label_repel(box.padding = .5,#distancia de la caja al dato
                  label.size = 0.2,
                  label.padding = 0.2,
                  point.padding = 0.5,
                  segment.color = 'grey50',
                  show.legend = FALSE,
                  alpha=.5,
                  nudge_x = .4,
                  direction = "x")+
  facet_grid(~Periodo)
return(g1)
}
yield_est(yield_estaciones)

```

```

#grafico del balance sedimentario por tramo.
#Esta formula se utilizó para las figuras 3.28 y 3.29
sb<-function(dato){
  areas<-data.frame(xmin=c(-Inf,-Inf),
                    xmax=c(Inf,Inf),
                    ymin=c(-Inf,0),
                    ymax=c(0,Inf),
                    Temporada=c("Acreción","Degradación"))

  g1<-ggplot(data=dato, aes(x=Year, y=SB_ICO))+
    labs(title = "Balance sedimentario",
         subtitle = "Tramo Río Itata en Coelemu", y="Qs [ton]", x=NULL)+
    scale_x_continuous(breaks = seq(1985,2018, by=2))+
    geom_hline(yintercept=0, linetype="dashed", color="red")+
    geom_rect(data=areas,aes(xmin=xmin, xmax=xmax, ymin=ymin, ymax=ymax,
                             fill=Temporada),
              alpha= 1/5,inherit.aes=FALSE)+
    geom_rect(aes(xmin=1992.5, xmax=1993.5, ymin=-Inf, ymax=Inf), alpha= 1/50,
              fill="tomato2")+ #gaps ICO
    geom_rect(aes(xmin=1989.5, xmax=1991.5, ymin=-Inf, ymax=Inf), alpha= 1/50,
              fill="tomato2")+ #gaps ICO
    geom_rect(aes(xmin=1997.5, xmax=1998.5, ymin=-Inf, ymax=Inf), alpha= 1/50,
              fill="tomato2")+ #gaps ICO
    geom_rect(aes(xmin=1999.5, xmax=2001.5, ymin=-Inf, ymax=Inf), alpha= 1/50,
              fill="tomato2")+ #gaps ICO
    #geom_rect(aes(xmin=1999.5, xmax=2001.5, ymin=-Inf, ymax=Inf), alpha= 1/50,
    #fill="tomato2")+ #gaps BNA
    scale_fill_manual(values = c("lightgoldenrod3","dodgerblue4"),name=NULL)+
    scale_alpha(guide = 'none')+
    theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
          plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),
          legend.position = "bottom")+
    geom_col(fill="tan4")
}

```

```

final<-ggdraw()+
  draw_plot(g1)+
  draw_image(fig_sb_ICO, x = 0.37, y = 0.3, scale = .22)

return(final)
}
sb(sb_balance)

```

```

# relación entre coeficientes por código
rel_coef <- function(data) {
  data = filtro_periodo(data, "todo")
  # data<-filtro(data, 'ICO', 'BNA', 'CCC', 'DEL', 'ICH', 'NSF2')
  # data<-filtro(data, 'ICO', 'BNA', 'ICH')
  g1 <- ggplot(data, aes(x = a, y = b, color =Codigo)) + stat_smooth(method = lm,
    formula = y ~ x, se = F) + labs(title = "Relación entre coeficientes",
    y = "Coeficiente b", x = "Coeficiente a") + geom_point() +
    scale_x_log10() + scale_y_continuous() + # facet_wrap(~periodo, nrow = 3)+
  theme_bw()
  return(g1)
}
# rel_coef(coeficientes)

```

```

#Curvas de clasificación de todas las estaciones separadas por periodo.
#Figura 3.31
tama_line<-0.8
#BNA - rt
NSF<-function(x){0.6237*(x^0.4504)}
ICH<-function(x){1.0079*(x^0.5536)}
DEL<-function(x){6.4104*(x^0.0321)}
CCC<-function(x){7.3299*(x^0.0165)}
BNA<-function(x){4.7537*(x^0.1142)}
ICO<-function(x){1.9525*(x^0.3614)}
ps <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m^3~/s]", y="log(Concentración) [mg/l]",
  color="Código")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
  legend.position = "bottom")
ps<- ps+stat_function(fun = NSF, mapping = aes(color = "NSF"),size=tama_line)+
  annotate("text", x=85, y=280,
    label= paste("C==0.6237%*Q^0.4504", "r^2==0.1637",
    sep = "~",`~`"),
  parse=T,
  color="#FF61C3", size=3.5, alpha=1)+ #NSF2

  stat_function(fun = ICH, mapping = aes(color = "ICH"), size=tama_line)+
  annotate("text", x=85, y=500,
    label= paste("C==1.0079%*Q^0.5536", "r^2==0.2053",
    sep = "~",`~`"), parse=T,
    color="#00B9E3", size=3.5, alpha=1)+ #ICH

  stat_function(fun = DEL, mapping = aes(color = "DEL"), size=tama_line)+
  annotate("text", x=85, y=157,
    label= paste("C==6.4104%*Q^0.0321", "r^2==0.0054",
    sep = "~",`~`"), parse=T,

```



```

        color="#00BA38", size=3.5, alpha=1)+ #DEL

stat_function(fun = CCC, mapping = aes(color = "CCC"), size=tama_line)+
annotate("text", x=85, y=115,
        label= paste("C==7.3299%*%Q^0.0165", "r^2==0.0019",
                sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#D39200", size=3.5, alpha=1)+ #CCC

stat_function(fun = BNA, mapping = aes(color = "BNA"), size=tama_line)+
annotate("text", x=85, y=210,
        label= paste("C==4.7537%*%Q^0.1142", "r^2==0.056",
                sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#F8766D", size=3.5, alpha=1)+ #BNA

stat_function(fun = ICO, mapping = aes(color = "ICO"), size=tama_line)+
annotate("text", x=85, y=380,
        label= paste("C==1.9525%*%Q^0.3614", "r^2==0.2101",
                sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#619CFF", size=3.5, alpha=1)+ #ICO

scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(10,100000),labels=comma)+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000),labels=comma)+
annotate("text", x=1000, y=1000, label= "Periodo Preseguía (1986-2009)",
        color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)

```

ps

*#BNA - ps*

```

NSF<-function(x){1.6388*(x^0.3593)}
ICH<-function(x){0.7408*(x^0.5952)}
DEL<-function(x){5.3261*(x^0.0238)}
CCC<-function(x){5.6330*(x^0.0577)}
BNA<-function(x){5.5540*(x^0.0817)}
ICO<-function(x){3.8684*(x^0.1736)}
s <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m^3~/s]", y="log(Concentración) [mg/l]",
        color="Código")+
        theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
                legend.position = "none")
s<- s + stat_function(fun = NSF,mapping = aes(color = "NSF"), size=tama_line)+
annotate("text", x=85, y=280,
        label= paste("C==1.6388%*%Q^0.3593", "r^2==0.079",
                sep = "~`,`~"),parse=T,
        color="#FF61C3", size=3.5, alpha=1)+ #NSF2

stat_function(fun = ICH, mapping = aes(color = "ICH"), size=tama_line)+
annotate("text", x=85, y=500,
        label= paste("C==0.7408%*%Q^0.5952", "r^2==0.1841",
                sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#00B9E3", size=3.5, alpha=1)+ #ICH

stat_function(fun = DEL, mapping = aes(color = "DEL"), size=tama_line)+
annotate("text", x=85, y=157,
        label= paste("C==5.3261%*%Q^0.0238", "r^2==0.0025",
                sep = "~`,`~"), parse=T,

```

```

        color="#00BA38", size=3.5, alpha=1)+ #DEL

stat_function(fun = CCC, mapping = aes(color = "CCC"), size=tama_line)+
annotate("text", x=85, y=115,
        label= paste("C==5.6330%*%Q^0.0577", "r^2==0.0167",
                sep = "~`,"), parse=T,
        color="#D39200", size=3.5, alpha=1)+ #CCC

stat_function(fun = BNA, mapping = aes(color = "BNA"), size=tama_line)+
annotate("text", x=85, y=210,
        label= paste("C==5.5540%*%Q^0.0817", "r^2==0.0159",
                sep = "~`,"), parse=T,
        color="#F8766D", size=3.5, alpha=1)+ #BNA

stat_function(fun = ICO, mapping = aes(color = "ICO"), size=tama_line)+
annotate("text", x=85, y=380,
        label= paste("C==3.8684%*%Q^0.1736", "r^2==0.0705",
                sep = "~`,"), parse=T,
        color="#619CFF", size=3.5, alpha=1)+ #ICO
#scale_color_manual(name = "Código",
#values = c("blue2", "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
#"grey", "red", "orange"))+
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(10,100000), labels=comma)+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000), labels=comma)+
annotate("text", x=1000, y=1000, label= "Periodo Sequía (2010-2017)",
        color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)
s

leyenda<-get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position="none")
grid.arrange(ps,s,leyenda,ncol=2,nrow=2,layout_matrix = rbind(c(0,1),c(2,2)),
        widths=c(2,2), heights=c(10,2),
        top = textGrob("Curvas de Clasificación por estación",
                gp=gpar(fontsize=20,font=3)))

# Variación de los coeficientes de las curvas de
# clasificación. información por temporada y estación. Figura
# 4.1
re_coef <- function(data) {
  df <- filtro_periodo(data, "Presequía", "Sequía")
  df <- filtro_temporada(df, "Todo")
  gg1 <- ggplot(df, aes(a, y = b, color = Periodo)) + scale_color_manual(values = c("darkcyan",
  "red"), name = c("Periodo"), label = c("Presequía (1986-2009)",
  "Sequía (2010-2017)")) + labs(title = "Correlación entre coeficientes",
  x = ("a"), y = "b", shape = "Código") + theme(plot.title = element_text(family = "sans",
  hjust = 0.5), plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5,
  vjust = 0)) + geom_point(na.rm = TRUE, alpha = 1, size = 3) +
  stat_smooth(method = lm, formula = y ~ x, se = F, size = 0.5) +
  facet_wrap(~Codigo)
  return(gg1)
}
re_coef(re_co)

```

```

anomalia_caudal<-function(data,codigo,estacion){
  data<-subset(data, data$Year<=2017)
  data<-subset(data, data$Year>=1985)
  data<-filter(data, Codigo %in% codigo)
  df<-summarise(data %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
                Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
                Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
                Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE),# #ton/mes
                Periodo = unique(Periodo))
  prom<-summarise(df %>%group_by(Codigo, Year),
                 Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
                 Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
                 Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE),# #ton/mes
                 Periodo = unique(Periodo))
  filtro<-filter(prom, Periodo %in% "presequia")
  res.aov <- aov(Caudal ~ Periodo, data = prom)
  summary(res.aov)
  pvalor<-summary(res.aov)[[1]][["Pr(>F)"]]
  pvalor<-pvalor[[1]]
  caudal_index<-mean(filtro$Caudal,na.rm=TRUE)
  indx<-format(round(caudal_index, 2), nsmall = 2)
  df <- mutate(prom, anom=if_else((Caudal-caudal_index)/caudal_index>0,
                                "post", "neg"))

  g1<-ggplot(df, aes(x=Year, y=((Caudal-caudal_index)/caudal_index)*100,
                    fill=anom))+

  labs(title = estacion, subtitle = bquote("PPS= " ~.(indx) ~ "[" ~m^3~/s]"),
        y="Caudal [%]", x=NULL)+

  scale_x_continuous(breaks = seq(1985,2018, by=4))+
  geom_hline(yintercept=0, linetype="dashed", color="red")+
  geom_vline(xintercept=2009.5, linetype="dashed", color="blue")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5, vjust=0, size = 10),
        legend.position = "none")+
  geom_col()+
  scale_fill_manual(values=c("post" = "royalblue2", "neg" = "tomato2"))

  return(g1)
}

g1<-anomalia_caudal(brutodiario,"NSF","Estación río Ñuble en San Fabián")
g2<-anomalia_caudal(brutodiario,"ICH","Estación río Itata en Cholguán")
g3<-anomalia_caudal(brutodiario,"DEL","Estación río Diguillín en Longitudinal")
g4<-anomalia_caudal(brutodiario,"CCC",
                    "Estación río Chillán en camino a Confluencia")
g5<-anomalia_caudal(brutodiario,"BNA","Estación río Itata en Balsa Nueva Aldea")
g6<-anomalia_caudal(brutodiario,"ICO","Estación río Itata en Coelemu")
grid.arrange(g1,g2,g3,g4,g5,g6,ncol=3,nrow=2,
             top = textGrob("Anomalías de Caudal",
                           gp=gpar(fontsize=20,font=3)))

```

```

anomalia_qs<-function(data,codigo,estacion){
  data<-subset(data, data$Year<=2017)
  data<-subset(data, data$Year>=1985)
  data<-filter(data, Codigo %in% codigo)
  df<-summarise(data %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
    Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE),# #ton/mes
    Periodo = unique(Periodo))
  prom<-summarise(df %>%group_by(Codigo, Year),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
    Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE),# #ton/mes
    Periodo = unique(Periodo))
  filtro<-filter(prom, Periodo %in% "presequia")
  res.aov <- aov(Concentracion ~ Periodo, data = prom)
  summary(res.aov)
  pvalor<-summary(res.aov)[[1]][["Pr(>F)"]]
  pvalor<-pvalor[[1]]
  sst_index<-mean(filtro$Concentracion,na.rm=TRUE)
  indx<-format(round(sst_index, 2), nsmall = 2)
  indx<-as.integer(indx)
  indx<-format(round(indx, 2), nsmall = 2)
  df <- mutate(prom, anom=if_else(((Concentracion-sst_index)/sst_index)*100>0,
    "post", "neg"))

  g1<-ggplot(df, aes(x=Year, y=((Concentracion-sst_index)/sst_index)*100,
    fill=anom))+

  labs(title = estacion, subtitle = bquote("PPS= ~.(indx)~"[mg/l]),
    y="SST [%]", x=NULL)+
  scale_x_continuous(breaks = seq(1985,2018, by=4))+
  geom_hline(yintercept=0, linetype="dashed", color="red")+
  geom_vline(xintercept=2009.5, linetype="dashed", color="blue")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
    plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5, vjust = 0, size = 10),
    legend.position = "none")+
  geom_col()+
  scale_fill_manual(values=c("post" = "royalblue2", "neg" = "tomato2"))

  return(g1)
}
g1<-anomalia_qs(brutodiario,"NSF","Estación río Ñuble en San Fabián")
g2<-anomalia_qs(brutodiario,"ICH","Estación río Itata en Cholguán")
g3<-anomalia_qs(brutodiario,"DEL","Estación río Diguillín en Longitudinal")
g4<-anomalia_qs(brutodiario,"CCC","Estación río Chillán en camino a Confluencia")
g5<-anomalia_qs(brutodiario,"BNA","Estación río Itata en Balsa Nueva Aldea")
g6<-anomalia_qs(brutodiario,"ICO","Estación río Itata en Coelemu")
grid.arrange(g1,g2,g3,g4,g5,g6,ncol=3,nrow=2,top = textGrob("Anomalías de SST",
  gp=gpar(fontsize=20,font=3)))

```

```

anomalia_qs<-function(data,codigo,estacion){
  data<-subset(data, data$Year<=2017)
  data<-subset(data, data$Year>=1985)
  data<-filter(data, Codigo %in% codigo)
  df<-summarise(data %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
    Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE),# #ton/mes
    Periodo = unique(Periodo))
  prom<-summarise(df %>%group_by(Codigo, Year),
    Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
    Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
    Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE),# #ton/mes
    Periodo = unique(Periodo))
  filtro<-filter(prom, Periodo %in% "presequia")
  res.aov <- aov(Qs ~ Periodo, data = prom)
  summary(res.aov)
  pvalor<-summary(res.aov)[[1]][["Pr(>F)"]]
  pvalor<-pvalor[[1]]
  qs_index<-mean(filtro$Qs,na.rm=TRUE)
  indx<-format(round(qs_index, 2), nsmall = 2)
  indx<-as.integer(indx)/1000000
  indx<-format(round(indx, 2), nsmall = 2)
  df <- mutate(prom, anom=if_else(((Qs-qs_index)/qs_index)*100>0, "post", "neg"))

  g1<-ggplot(df, aes(x=Year, y=((Qs-qs_index)/qs_index)*100, fill=anom))+

  labs(title = estacion,
    subtitle = bquote("PPS= " ~.(indx)~x~10**6~"[ton/mes]"),
    y="Qs [%]", x=NULL)+
  scale_x_continuous(breaks = seq(1985,2018, by=4))+
  geom_hline(yintercept=0, linetype="dashed", color="red")+
  geom_vline(xintercept=2009.5, linetype="dashed", color="blue")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
    plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5, vjust = 0, size = 10),
    legend.position = "none")+
  geom_col()+
  scale_fill_manual(values=c("post" = "royalblue2", "neg" = "tomato2"))

  return(g1)
}
g1<-anomalia_qs(brutodiario,"NSF","Estación río Ñuble en San Fabián")
g2<-anomalia_qs(brutodiario,"ICH","Estación río Itata en Cholguán")
g3<-anomalia_qs(brutodiario,"DEL","Estación río Diguillín en Longitudinal")
g4<-anomalia_qs(brutodiario,"CCC","Estación río Chillán en camino a Confluencia")
g5<-anomalia_qs(brutodiario,"BNA","Estación río Itata en Balsa Nueva Aldea")
g6<-anomalia_qs(brutodiario,"ICO","Estación río Itata en Coelemu")
grid.arrange(g1,g2,g3,g4,g5,g6,ncol=3,nrow=2,
  top = textGrob("Anomalías de Carga Sedimentaria",
    gp=gpar(fontsize=20,font=3)))

```

```

box_cau<-function(datos,codigo,periodo=FALSE){
  datos<-filter(datos,Codigo %in% codigo)
  res.aov <- aov(Caudal ~ Periodo, data = datos)
  sta<-summary(res.aov)[[1]][["Pr(>F)"]]
  pvalor<-sta[[1]]
  if (periodo==F){
    df<-summarise(datos %>%group_by(Mes, Year),
                  Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
                  Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE)/1000)
    g1<-ggplot(data = df,aes(x=Mes, y=Caudal, group=Mes))+
      geom_boxplot()+
      theme_bw()+
      annotate("text", x=11, y=600,
              label= paste("p-valor=",format(round(pvalor, 4), nsmall = 4),
                            sep=" "),
              color="black", size=6, alpha=0.7)
    return(g1)
  }
  else{
    df<-summarise(datos %>%group_by(Mes, Year, Periodo),
                  Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
                  Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE)/1000,
                  Periodo= unique(Periodo))
    g1<-ggplot(data = df,aes(x=Mes, y=Caudal, group=Mes))+
      geom_boxplot()+
      theme_bw()+
      facet_wrap(~Periodo)
    return(g1)
  }
}
#box_cau(brutodiario,"BNA",periodo=F)

```

```

pval<-function(data,codigo){
  data<-filter(data, Codigo %in% codigo)
  df<-summarise(data %>%group_by(Codigo, Year, Mes),
                Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
                Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
                Qs =sum(Qs,na.rm=TRUE), # #ton/mes
                Periodo = unique(Periodo))
  prom<-summarise(df %>%group_by(Codigo, Year),
                  Concentracion = mean(Concentracion,na.rm=TRUE), #mg/l
                  Caudal = mean(Caudal,na.rm=TRUE), # #m3/s
                  Qs =mean(Qs,na.rm=TRUE), # #ton/mes
                  Periodo = unique(Periodo))
  cau.res.aov <- aov(Caudal ~ Periodo, data = prom)
  summary(cau.res.aov)
  cau.value<-summary(cau.res.aov)[[1]][["Pr(>F)"]]
  sst.res.aov <- aov(Concentracion ~ Periodo, data = prom)
  summary(sst.res.aov)
  sst.value<-summary(sst.res.aov)[[1]][["Pr(>F)"]]
  qs.res.aov <- aov(Qs ~ Periodo, data = prom)
  summary(qs.res.aov)
}

```

```

qs.value<-summary(qs.res.aov)[[1]][["Pr(>F)"]]
return(bquote("p-valor del caudal:"~.
              (cau.value[[1]])~"p-valor del Qs"~.
              (qs.value[[1]])~"p-valor de sst"~.
              (sst.value[[1]])))
}
pval(brutodiario,"NSF")
pval(brutodiario,"ICH")
pval(brutodiario,"DEL")
pval(brutodiario,"CCC")
pval(brutodiario,"BNA")
pval(brutodiario,"ICO")

```

```

TukeyHSD(res.aov)
plot(res.aov)
aov_residuals <- residuals(object = res.aov)
shapiro.test(x = aov_residuals)
summary(res.aov)[[1]][["Pr(>F)"]]

```

```

#Funcion gráfico de caudal promedio mensual por estación única.
plot_mencau_fill<-function(data,cod, estacion=NULL){
  data<-cau_men_fill(data)
  data$Fecha <- as.Date(paste("1",as.numeric(data$month),
                             as.numeric(data$year), sep="-"),
                       format = "%d-%m-%Y")
  data$Fecha<-as.Date(data$Fecha)
  gg1<-ggplot(data, aes(x=Fecha, y=NSF, fill=factor(month)))+ ####CAMBIAR
  scale_y_continuous()+
  scale_x_date(labels = date_format("%Y"),
              breaks = date_breaks("2 year"),
              limits = as.Date(c("1986-01-01","2018-01-02")))+
  labs(subtitle="Caudal promedio mensual", title = NULL,
       y="Caudal [~m^3~/seg]", fill="Mes")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),legend.position = "bottom")+
  scale_fill_discrete(label=c("Enero","Febrero","Marzo","Abril","Mayo",
                              "Junio","Julio","Agosto","Septiembre",
                              "Octubre","Noviembre","Diciembre"))+
  geom_col()
  return(gg1+guides(fill=guide_legend(nrow=1,byrow=TRUE)))
}
#plot_mencau_fill(qdiario_rellenado,"CCC")

```

```

#Funcion gráfico de concentración anual por estación única. Gráfico de columnas
plot_anualcau_fill<-function(data, cod, estacion=NULL){
  data<-cau_anual_fill(data)
  data_ant<-subset(data, data$year<2010)
  prom_ant<-mean(data_ant$NSF) ####CAMBIAR
  data_sup<-subset(data, data$year>=2010)
  prom_sup<-mean(data_sup$NSF) ####CAMBIAR

  gg1<-ggplot(data,aes(x=as.numeric(year), y=NSF))+####CAMBIAR

```



```

scale_y_continuous(labels=comma)+
scale_x_continuous(breaks = seq(1986,2018, by= 2),name = NULL)+
labs(subtitle="Caudal promedio anual", title = estacion,x="Año",
y="Caudal [m^3~/seg]")+
theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),
legend.position = "none")+
geom_col(fill = "dodgerblue3")+
geom_segment(aes(x=1985,xend=2010,y=prom_ant,yend=prom_ant),
colour="cyan3",size=1.2)+
geom_segment(aes(x=2010,xend=2018,y=prom_sup,yend=prom_sup),
colour="tomato2",size=1.2)+
coord_cartesian(xlim = c(1984.0, 2019.2), ylim = c(1,150), ###CAMBIAR
expand = FALSE)
return(gg1)
}

```

```
#plot_anualcau_fill(qdiario_rellenado,"ICO", "BNABANBANBANBAN")
```

```

plot_long <- function(data) {
  gqs <- ggplot(data, aes(x = long, y = qsPost/qsPre, color = cobertura)) +
    geom_hline(yintercept = 1, linetype = "dashed", color = "red") +
    geom_point(size = 7) + labs(title = "Razón Qs Post/Qs Pre",
x = "Longitud de la estación (°)", y = "Razón Qs promedio",
color = "Suelo desnudo \n y pastizal (%)") + geom_label_repel(data = data,
aes(label = cod), box.padding = 0.8, label.size = 0.2,
label.padding = 0.3, point.padding = 0.1, segment.color = "grey50",
show.legend = FALSE, alpha = 0.5) + scale_x_reverse() +
    theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
legend.key.height = unit(1, "cm"))

  gcau <- ggplot(data, aes(x = long, y = cauPost/cauPre, color = cobertura)) +
    geom_hline(yintercept = 1, linetype = "dashed", color = "red") +
    geom_point(size = 7) + labs(title = "Razón Caudal Post/Caudal Pre",
x = "Longitud de la estación (°)", y = "Razón Caudal promedio",
color = "Suelo desnudo \n y pastizal (%)") + geom_label_repel(data = data,
aes(label = cod), box.padding = 0.8, label.size = 0.2,
label.padding = 0.3, point.padding = 0.1, segment.color = "grey50",
show.legend = FALSE, alpha = 0.5) + scale_x_reverse() +
    theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
legend.key.height = unit(1, "cm"))

  gsst <- ggplot(data, aes(x = long, y = sstPost/sstPre, color = cobertura)) +
    geom_hline(yintercept = 1, linetype = "dashed", color = "red") +
    geom_point(size = 7) + labs(title = "Razón SST Post/SST Pre",
x = "Longitud de la estación (°)", y = "Razón SST promedio",
color = "Suelo desnudo \n y pastizal (%)") + geom_label_repel(data = data,
aes(label = cod), box.padding = 0.8, label.size = 0.2,
label.padding = 0.3, point.padding = 0.1, segment.color = "grey50",
show.legend = FALSE, alpha = 0.5) + scale_x_reverse() +
    theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
legend.key.height = unit(1, "cm"))
}

```

```

return(gcau/gsst/gqs)

}

plot_long(qs_long)

q_qs_men <- function(data) {
  g1 <- ggplot(data, aes(x = (Mes), y = Caudal, colour = Codigo)) +
    geom_line() + labs(subtitle = "Caudal", y = "Caudal [" ~
      m^3 ~ "/s]", x = NULL, colour = "Código") + scale_x_continuous(breaks = c(1,
      2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), labels = c("E",
      "F", "M", "A", "M", "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) +
    geom_vline(xintercept = 8, linetype = "dashed", color = "blue") +
    facet_grid(Periodo ~ .)

  g2 <- ggplot(data, aes(x = (Mes), y = Qs/1000, colour = Codigo)) +
    geom_line() + labs(subtitle = "Carga sedimentaria (Qs)",
      y = "Qs [" ~ ton^3 ~ "/s]", x = NULL, colour = "Código") +
    scale_y_log10(labels = comma) + scale_x_continuous(breaks = c(1,
      2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), labels = c("E",
      "F", "M", "A", "M", "J", "J", "A", "S", "O", "N", "D")) +
    geom_vline(xintercept = 8, linetype = "dashed", color = "blue") +
    facet_grid(Periodo ~ .)
  return(g1/g2)
}

q_qs_men(cau_qs_mensual)

```

```

sst_anual <- function(data, codigo, estacion = NULL) {
  data <- subset(data, data$Year <= 2017)
  data <- subset(data, data$Year >= 1985)
  data <- filter(data, Codigo %in% codigo)
  data_ant <- dividir_data_ant(data, 2010)
  prom_ant <- mean(data_ant$Concentracion, na.rm = TRUE)
  data_sup <- dividir_data_sup(data, 2010)
  prom_sup <- mean(data_sup$Concentracion, na.rm = TRUE)
  gg1 <- ggplot(data, mapping = aes(x = Year, y = Concentracion)) +
    scale_y_continuous(labels = comma) + scale_x_continuous(breaks = seq(1985,
      2019, by = 2), name = NULL) + labs(subtitle = "Concentracion promedio anual",
      title = estacion, y = "Concentracion [mg/l]", fill = "Código") +
    theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
      plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5), legend.position = "none") +
    geom_col(fill = "goldenrod4") + geom_segment(aes(x = 1985,
      xend = 2010, y = prom_ant, yend = prom_ant), colour = "cyan3",
      size = 1.2) + geom_segment(aes(x = 2010, xend = 2018,
      y = prom_sup, yend = prom_sup), colour = "tomato2", size = 1.2) +
    coord_cartesian(xlim = c(1984.4, 2018.5), ylim = c(0,
      102), expand = FALSE)
  return(gg1)
}

sst_mensual <- function(data, codigo, estacion = NULL) {

```

```

data <- subset(data, data$Year <= 2017)
data <- subset(data, data$Year >= 1985)
data <- filter(data,Codigo %in% codigo)
data$Fecha <- as.Date(data$Fecha)
gg1 <- ggplot(data, mapping = aes(x = Fecha, y = Concentracion,
  fill = factor(Mes))) + scale_y_continuous(labels = comma) +
  scale_x_date(labels = date_format("%Y"), breaks = date_breaks("2 year"),
    limits = as.Date(c("1985-01-01", "2019-01-02"))) +
  labs(subtitle = "Concentracion promedio mensual", title = NULL,
    y = "Concentracion [mg/l]", fill = "Código") + theme(plot.title = element_text(family = "sar
  hjust = 0.5), plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),
  legend.position = "bottom") + scale_fill_discrete(name = NULL,
  label = c("Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo",
    "Junio", "Julio", "Agosto", "Septiembre", "Octubre",
    "Noviembre", "Diciembre")) + coord_cartesian(ylim = c(0,
  350), expand = FALSE) +
  geom_col()
  return(gg1 + guides(fill = guide_legend(nrow = 1, byrow = TRUE)))
}
plot_sst <- function(codigo, titulo) {
  g1 <- sst_anual(brutoanual, codigo, titulo)
  g2 <- sst_mensual(brutomensual, codigo, titulo)
  return(g1/g2)
}

```

```

# plot_sst('NSF', 'Río Ñuble en San Fabián de Alico')
# plot_sst('ICH', 'Río Itata en Cholguán') plot_sst('DEL', 'Río
# Diguillín en Longitudinal') plot_sst('CCC', 'Río Chillán en
# camino a Confluencia') plot_sst('BNA', 'Río Itata en Balsa
# Nueva Aldea') plot_sst('ICO', 'Río Itata en Coelemu')

```

```
##Base de Datos creada ##Total
```

```

rellenomodulo <- promedio_modmen(relleno)
rellenoanual <- promedio_anual(relleno)
rellenomensual_anual <- promedio_mensual(relleno)
rellenosup <- dividir_data_sup(relleno, 2000)
rellenoinf <- dividir_data_ant(relleno, 2000)

brutomodulo <- promedio_modmen(brutodiario)
brutoanual <- promedio_anual(brutodiario)
brutomensual_anual <- promedio_mensual(brutodiario)
brutosup <- dividir_data_sup(brutodiario, 2000)
brutoinf <- dividir_data_ant(brutodiario, 2000)
brutomensual <- fecha_ym(brutomensual_anual)

```

```
##Estaciones
```

```

# registro total BNA-----
BNA_d <- filtro(brutodiario, "BNA")
BNA_m <- filtro(brutomensual, "BNA")
BNA_a <- filtro(brutoanual, "BNA")

```

```

BNA_mod <- filtro(brutomodulo, "BNA")
## CCC-----
CCC_d <- filtro(brutodiario, "CCC")
CCC_m <- filtro(brutomensual, "CCC")
CCC_a <- filtro(brutoanual, "CCC")
CCC_mod <- filtro(brutomodulo, "CCC")
## DEL-----
DEL_d <- filtro(brutodiario, "DEL")
DEL_m <- filtro(brutomensual, "DEL")
DEL_a <- filtro(brutoanual, "DEL")
DEL_mod <- filtro(brutomodulo, "DEL")
## CH-----
ICH_d <- filtro(brutodiario, "ICH")
ICH_m <- filtro(brutomensual, "ICH")
ICH_a <- filtro(brutoanual, "ICH")
ICH_mod <- filtro(brutomodulo, "ICH")
## ICO-----
ICO_d <- filtro(brutodiario, "ICO")
ICO_m <- filtro(brutomensual, "ICO")
ICO_a <- filtro(brutoanual, "ICO")
ICO_mod <- filtro(brutomodulo, "ICO")
## NSF-----
NSF_d <- filtro(brutodiario, "NSF")
NSF_m <- filtro(brutomensual, "NSF")
NSF_a <- filtro(brutoanual, "NSF")
NSF_mod <- filtro(brutomodulo, "NSF")
## NSF2-----
NSF2_d <- filtro(brutodiario, "NSF2")
NSF2_m <- filtro(brutomensual, "NSF2")
NSF2_a <- filtro(brutoanual, "NSF2")
NSF2_mod <- filtro(brutomodulo, "NSF2")

# registro periodo
# presequia-----
# BNA-----
BNA_d_presequia <- dividir_data_ant(BNA_d, 2010)
BNA_m_presequia <- dividir_data_ant(BNA_m, 2010)
BNA_a_presequia <- dividir_data_ant(BNA_a, 2010)
## CCC-----
CCC_d_presequia <- dividir_data_ant(CCC_d, 2010)
CCC_m_presequia <- dividir_data_ant(CCC_m, 2010)
CCC_a_presequia <- dividir_data_ant(CCC_a, 2010)
## DEL-----
DEL_d_presequia <- dividir_data_ant(DEL_d, 2010)
DEL_m_presequia <- dividir_data_ant(DEL_m, 2010)
DEL_a_presequia <- dividir_data_ant(DEL_a, 2010)
## ICH-----
ICH_d_presequia <- dividir_data_ant(ICH_d, 2010)
ICH_m_presequia <- dividir_data_ant(ICH_m, 2010)
ICH_a_presequia <- dividir_data_ant(ICH_a, 2010)
## ICO-----
ICO_d_presequia <- dividir_data_ant(ICO_d, 2010)
ICO_m_presequia <- dividir_data_ant(ICO_m, 2010)

```

```

ICO_a_presequia <- dividir_data_ant(ICO_a, 2010)
## NSF2-----
NSF2_d_presequia <- dividir_data_ant(NSF2_d, 2010)
NSF2_m_presequia <- dividir_data_ant(NSF2_m, 2010)
NSF2_a_presequia <- dividir_data_ant(NSF2_a, 2010)

```

```

# registro periodo sequia

```

```

# BNA-----
BNA_d_sequia <- dividir_data_sup(BNA_d, 2010)
BNA_m_sequia <- dividir_data_sup(BNA_m, 2010)
BNA_a_sequia <- dividir_data_sup(BNA_a, 2010)

```

```

## CCC-----
CCC_d_sequia <- dividir_data_sup(CCC_d, 2010)
CCC_m_sequia <- dividir_data_sup(CCC_m, 2010)
CCC_a_sequia <- dividir_data_sup(CCC_a, 2010)

```

```

## DEL-----
DEL_d_sequia <- dividir_data_sup(DEL_d, 2010)
DEL_m_sequia <- dividir_data_sup(DEL_m, 2010)
DEL_a_sequia <- dividir_data_sup(DEL_a, 2010)

```

```

## ICH-----
ICH_d_sequia <- dividir_data_sup(ICH_d, 2010)
ICH_m_sequia <- dividir_data_sup(ICH_m, 2010)
ICH_a_sequia <- dividir_data_sup(ICH_a, 2010)

```

```

## ICO-----
ICO_d_sequia <- dividir_data_sup(ICO_d, 2010)
ICO_m_sequia <- dividir_data_sup(ICO_m, 2010)
ICO_a_sequia <- dividir_data_sup(ICO_a, 2010)

```

```

## NSF2-----
NSF2_d_sequia <- dividir_data_sup(NSF2_d, 2010)
NSF2_m_sequia <- dividir_data_sup(NSF2_m, 2010)
NSF2_m_sequia <- dividir_data_sup(NSF2_m, 2010)

```

```

#Generacion Graficos ##Por Estación ###Fluviometrico ####BNA

```

```

# Creación gráficos

```

```

BNA_D_p <- dis_diario(BNA_d, "Río Itata en Balsa Nueva Aldea, Periodo Completo")
BNA_DP_p <- dis_diario(BNA_d_presequia, "Río Itata en Balsa Nueva Aldea,
Periodo de Presequia")
BNA_DS_p <- dis_diario(BNA_d_sequia, "Río Itata en Balsa Nueva Aldea,
Periodo de Sequia")

```

```

# Graficar

```

```

BNA_D_p #periodo completo Figura 3.9
BNA_DP_p #periodo de presequia
BNA_DS_p #periodo de sequia

```

```

# Figura 3.37

```

```

tama_line <- 0.8

```

```

# BNA - rt

```

```

Crecida <- function(x) {
  3.1691 * (x^0.2108)
}

```

```

Descenso <- function(x) {

```

```

    4.1488 * (x^0.1392)
  }
Descenso_Invierno <- function(x) {
  1.0212 * (x^0.4032)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  5.5088 * (x^0.083)
}
Invierno <- function(x) {
  3.0795 * (x^0.2004)
}
Todo <- function(x) {
  4.8772 * (x^0.1096)
}
Verano <- function(x) {
  5.7218 * (x^0.0756)
}
rt <- ggplot() + labs(x = "Caudal [m^3 ~ /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
        legend.position = "none")
rt <- rt + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
  mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
  scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
    "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
    "grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
  label = "Periodo Completo (1986-2017)", color = "darkgreen",
  size = 6, alpha = 0.3)
rt

# BNA - ps
Crecida <- function(x) {
  3.2429 * (x^0.2094)
}
Descenso <- function(x) {
  3.7903 * (x^0.1545)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  1.2137 * (x^0.3686)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  5.2206 * (x^0.0831)
}
Invierno <- function(x) {
  3.2203 * (x^0.1931)
}

```

```

}
Todo <- function(x) {
  4.7537 * (x^0.1142)
}
Verano <- function(x) {
  5.6132 * (x^0.0681)
}
ps <- ggplot() + labs(x = "Caudal [m^3 ~ /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
        legend.position = "bottom")
ps <- ps + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
  mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
  scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
    "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
    "grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 1000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
  label = "Periodo Presequía (1986-2009)", color = "darkgreen",
  size = 6, alpha = 0.3)
ps

# BNA - S
Crecida <- function(x) {
  3.2627 * (x^0.1895)
}
Descenso <- function(x) {
  5.7981 * (x^0.0789)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  0.5153 * (x^0.5502)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  7.7262 * (x^0.0416)
}
Invierno <- function(x) {
  2.8017 * (x^0.2153)
}
Todo <- function(x) {
  5.554 * (x^0.0817)
}
Verano <- function(x) {
  6.6891 * (x^0.0731)
}
s <- ggplot() + labs(x = "Caudal [m^3 ~ /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
        legend.position = "none")

```



```

s <- s + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
  mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
  scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
  "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
  "grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 1000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
  label = "Periodo Sequía (2010-2017)", color = "darkgreen",
  size = 6, alpha = 0.3)

s

leyenda <- get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position = "none")
grid.arrange(ps, s, leyenda, ncol = 2, nrow = 2, layout_matrix = rbind(c(0,
  1), c(2, 2)), widths = c(2, 2), heights = c(10, 2), top = textGrob("Río Itata en Balsa Nueva Aldea"
  gp = gpar(fontsize = 20, font = 3)))

```

```

# leyenda<-get_legend(ps) ps <- ps +
# theme(legend.position='none')
# grid.arrange(rt,ps,s,leyenda,ncol=3,nrow=2, layout_matrix =
# rbind(c(0,1,2),c(4,3,4)), widths=c(2,2,2),
# heights=c(10,2),top = textGrob('Río Itata en Balsa Nueva
# Aldea', gp=gpar(fontsize=20,font=3)))

```

```

#Figura 3.37
tama_line<-0.8

```

```

#BNA - ps
Crecida<- function(x){3.2429*(x^0.2094)}
Descenso<-function(x){3.7903*(x^0.1545)}
Descenso_Invierno<-function(x){1.2137*(x^0.3686)}
Todo<-function(x){4.7537*(x^0.1142)}
ps <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m^3~/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
  legend.position = "bottom")
ps<- ps+stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=500,
  label= paste("C==3.2429%*%Q^0.2094", "r^2==0.1387",
  sep = "~`,~`"), parse=T,
  color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida

  stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=380,
  label= paste("C==3.7903%*%Q^0.1545", "r^2==0.0619",

```

```

                sep = "~`,`~"), parse=T,
                color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso

stat_function(fun = Descenso_Invierno,
              mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
              size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=280,
         label= paste("C==1.2137%*%Q^0.3686", "r^2==0.1016",
                     sep = "~`,`~"), parse=T,
         color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno

stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
              size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=210,
         label= paste("C==4.7537%*%Q^0.1142", "r^2==0.056",
                     sep = "~`,`~"), parse=T,
         color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo

scale_color_manual(name = "Temporada",
                   values = c("#118AB2", "#8338EC", "#EF476F", "#FF9F1C"))+
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000), labels=comma)+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000), labels=comma)+
annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Presequía (1986-2009)",
         color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)

```

ps

*#BNA - S*

```

Crecida<- function(x){3.2627*(x^0.1895)}
Descenso<-function(x){5.7981*(x^0.0789)}
Descenso_Invierno<-function(x){0.5153*(x^0.5502)}
Todo<-function(x){5.5540*(x^0.0817)}
s <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m^3~/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        legend.position = "none")
s<- s + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
                    size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=500,
         label= paste("C==3.2627%*%Q^0.1895", "r^2==0.0523",
                     sep = "~`,`~"), parse=T,
         color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida

stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
              size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=380,
         label= paste("C==5.7981%*%Q^0.0789", "r^2==0.011",
                     sep = "~`,`~"), parse=T,
         color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso

stat_function(fun = Descenso_Invierno,
              mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
              size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=280,
         label= paste("C==0.5153%*%Q^0.5502", "r^2==0.1909",

```

```

        sep = "~`,`~"),parse=T,
        color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno

stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
              size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=210,
         label= paste("C==5.5540%*%Q^0.0817", "r^2==0.0159",
                      sep = "~`,`~"), parse=T,
         color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo

scale_color_manual(name = "Temporada",
                   values = c("#118AB2", "#8338EC", "#EF476F", "#FF9F1C"))+
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000),labels=comma)+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000),labels=comma)+
annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Sequía (2010-2017)",
         color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)
s

```

```

leyenda<-get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position="none")
grid.arrange(ps,s,leyenda,ncol=2,nrow=2,layout_matrix = rbind(c(0,1),c(2,2)),
            widths=c(2,2), heights=c(10,2),
            top = textGrob("Río Itata en Balsa Nueva Aldea",
                          gp=gpar(fontsize=20,font=3)))

```

#### # Creación gráficos

```

BNA_con_mensual <- con_mensual(BNA_m, "Río Itata en Balsa Nueva Aldea")
BNA_con_anual <- con_anual(BNA_a, "Río Itata en Balsa Nueva Aldea")
BNA_con_modulo <- con_modulo(BNA_mod, "Río Itata en Balsa Nueva Aldea")
tcon_BNA <- BNA_con_anual/BNA_con_mensual

```

#### # Graficar

```

BNA_con_mensual
BNA_con_anual
BNA_con_modulo
tcon_BNA

```

#### # Creación gráficos

```

BNA_cau_mensual <- plot_mencau_fill(qdiario_rellenado, "BNA",
                                   "bna")
BNA_cau_anual <- plot_anualcau_fill(qdiario_rellenado, "BNA",
                                    "Río Itata en Balsa Nueva Aldea")
tcau_BNA <- BNA_cau_anual/BNA_cau_mensual
tcau_BNA

```

#### # Graficar Figura 3.22

```

BNA_cau_mensual
BNA_cau_anual
BNA_cau_modulo
tcau_BNA

```

```

# Creación gráficos
BNA_qs_mensual <- qs_mensual(brutomensual, "BNA", "Río Itata en Balsa Nueva Aldea")
BNA_qs_anual <- qs_anual(brutoanual, "BNA", "Río Itata en Balsa Nueva Aldea")
tqs_BNA <- BNA_qs_anual/BNA_qs_mensual

```

```

# Graficar Figura 3.23

```

```

BNA_qs_mensual
BNA_qs_anual
tqs_BNA

```

```

####CCC

```

```

# Creación gráficos

```

```

CCC_D_p <- dis_diario(CCC_d, "Río Chillán en Camino a Confluencia,
                        Periodo Completo")
CCC_DP_p <- dis_diario(CCC_d_presequia, "Río Chillán en Camino a Confluencia,
                                         Periodo de Presequía")
CCC_DS_p <- dis_diario(CCC_d_sequia, "Río Chillán en Camino a Confluencia,
                                      Periodo de Sequía")

```

```

# Graficar Figura 3.7

```

```

CCC_D_p #periodo completo
CCC_DP_p #periodo de presequia
CCC_DS_p #periodo de sequia

```

```

# Figura 3.35

```

```

tama_line <- 1
# CCC - RT
Crecida <- function(x) {
  4.7414 * (x^0.1788)
}
Descenso <- function(x) {
  6.9414 * (x^0.0193)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  2.0647 * (x^0.3764)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  8.006 * (x^-0.02)
}
Invierno <- function(x) {
  4.6146 * (x^0.1509)
}
Todo <- function(x) {
  6.6893 * (x^0.0313)
}
Verano <- function(x) {
  7.4636 * (x^0.0021)
}
rt <- ggplot() + labs(x = "Caudal [" ~ m^3 ~ "/seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
        legend.position = "none")

```

```

rt <- rt + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
  mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
  scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
  "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
  "grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
  label = "Periodo Completo (1986-2017)", color = "darkgreen",
  size = 6, alpha = 0.3)

# CCC - PS
Crecida <- function(x) {
  5.0292 * (x^0.1804)
}
Descenso <- function(x) {
  7.4873 * (x^0.0045)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  1.8428 * (x^0.4037)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  8.7938 * (x^-0.035)
}
Invierno <- function(x) {
  4.878 * (x^0.1426)
}
Todo <- function(x) {
  7.3299 * (x^0.0165)
}
Verano <- function(x) {
  8.2676 * (x^-0.017)
}
ps <- ggplot() + labs(x = "Caudal [m^3 ~ /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
  legend.position = "bottom")
ps <- ps + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
  mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
  scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
  "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",

```

```

    "grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
label = "Periodo Presequía (1986-2009)", color = "darkgreen",
size = 6, alpha = 0.3)

# CCC - S
Crecida <- function(x) {
  4.5696 * (x^0.1225)
}
Descenso <- function(x) {
  5.6342 * (x^0.0695)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  2.2086 * (x^0.3707)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  6.2776 * (x^0.0326)
}
Invierno <- function(x) {
  4.2699 * (x^0.1545)
}
Todo <- function(x) {
  5.633 * (x^0.0577)
}
Verano <- function(x) {
  6.0692 * (x^0.0481)
}
s <- ggplot() + labs(x = "Caudal [ $m^3 \sim /seg$ ]", y = "Concentración [mg/lt]") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
    legend.position = "none")
s <- s + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
    size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
  mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
  scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
    "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
    "grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
label = "Periodo Sequía (2010-2017)", color = "darkgreen",
size = 6, alpha = 0.3)

leyenda <- get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position = "none")
grid.arrange(rt, ps, s, leyenda, ncol = 3, nrow = 2, layout_matrix = rbind(c(0,
  1, 2), c(4, 3, 4)), widths = c(2, 2, 2), heights = c(10,
  2), top = textGrob("Río Chillán Camino a Confluencia", gp = gpar(fontsize = 20,

```

```
font = 3))
```

```
#Figura 3.35
```

```
tama_line<-1
```

```
#CCC - PS
```

```
Crecida<- function(x){5.0292*(x^0.1804)}
```

```
Descenso<-function(x){7.4873*(x^0.0045)}
```

```
Descenso_Invierno<-function(x){1.8428*(x^0.4037)}
```

```
Todo<-function(x){7.3299*(x^0.0165)}
```

```
ps <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m3/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+  
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),  
        legend.position = "bottom")
```

```
ps<- ps + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),  
                       size=tama_line)+  
  annotate("text", x=20, y=500,  
         label= paste("C==5.0292%Q0.1804", "r2==0.1394",  
                      sep = "~` , `~"), parse=T,  
         color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida
```

```
stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),  
             size=tama_line)+  
  annotate("text", x=20, y=380,  
         label= paste("C==7.4873%Q0.0045", "r2==0.00008",  
                      sep = "~` , `~"), parse=T,  
         color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso
```

```
stat_function(fun = Descenso_Invierno,  
             mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),  
             size=tama_line)+  
  annotate("text", x=20, y=280,  
         label= paste("C==1.8428%Q0.4037", "r2==0.1529",  
                      sep = "~` , `~"), parse=T,  
         color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno
```

```
stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),  
             size=tama_line)+  
  annotate("text", x=20, y=210,  
         label= paste("C==7.3299%Q0.0165", "r2==0.0019",  
                      sep = "~` , `~"), parse=T,  
         color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo
```

```
scale_color_manual(name = "Temporada",  
                  values = c("#118AB2", "#8338EC", "#EF476F", "#FF9F1C"))+  
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000), labels=comma)+  
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000), labels=comma)+  
  annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Presequía (1986-2009)",  
         color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)
```

```
#CCC - S
```

```
Crecida<- function(x){4.5696*(x^0.1225)}
```

```
Descenso<-function(x){5.6342*(x^0.0695)}
```



```

Descenso_Invierno<-function(x){2.2086*(x^0.3707)}
Todo<-function(x){5.6330*(x^0.0577)}

s <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m3/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        legend.position = "none")
s<- s + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
                    size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=500,
          label= paste("C==4.5696%*Q0.1225", "r2==0.0423",
                      sep = "~",`~`"), parse=T,
          color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida

  stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=380,
          label= paste("C==5.6342%*Q0.0695", "r2==0.0106",
                      sep = "~",`~`"), parse=T,
          color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso

  stat_function(fun = Descenso_Invierno,
              mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=280,
          label= paste("C==2.2086%*Q0.3707", "r2==0.0981",
                      sep = "~",`~`"), parse=T,
          color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno

  stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=210,
          label= paste("C==5.6330%*Q0.0577", "r2==0.0167",
                      sep = "~",`~`"), parse=T,
          color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo

  scale_color_manual(name = "Temporada",
                    values = c("#118AB2", "#8338EC", "#EF476F", "#FF9F1C"))+
  scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000),labels=comma)+
  scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000),labels=comma)+
  annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Sequía (2010-2017)",
        color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)

leyenda<-get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position="none")
grid.arrange(ps,s,leyenda,ncol=2,nrow=2,layout_matrix = rbind(c(0,1),c(2,2)),
            widths=c(2,2), heights=c(10,2),
            top = textGrob("Río Chillán Camino a Confluencia",
                          gp=gpar(fontsize=20,font=3)))

```

### # Creación gráficos

```

CCC_con_mensual <- con_mensual(CCC_m, "Río Chillán en Camino a Confluencia")
CCC_con_anual <- con_anual(CCC_a, "Río Chillán en Camino a Confluencia")
CCC_con_modulo <- con_modulo(CCC_mod, "Río Chillán en Camino a Confluencia")

```

```
tcon_CCC <- CCC_con_anual/CCC_con_mensual
```

```
# Graficar  
CCC_con_mensual  
CCC_con_anual  
CCC_con_modulo  
tcon_CCC
```

```
# Creación gráficos  
CCC_cau_mensual <- plot_mencau_fill(qdiario_rellenado, "CCC",  
  "CCC")  
CCC_cau_anual <- plot_anualcau_fill(qdiario_rellenado, "CCC",  
  "Río Chillán en camino a confluencia")  
tcau_CCC <- CCC_cau_anual/CCC_cau_mensual  
tcau_CCC
```

```
# Graficar Figura 3.18  
CCC_cau_mensual  
CCC_cau_anual  
CCC_cau_modulo  
tcau_CCC
```

```
# Creación gráficos  
CCC_qs_mensual <- qs_mensual(brutomensual, "CCC", "Río Chillán en Camino a Confluencia")  
CCC_qs_anual <- qs_anual(brutoanual, "CCC", "Río Chillán en Camino a Confluencia")  
tqs_CCC <- CCC_qs_anual/CCC_qs_mensual
```

```
# Graficar Figura 3.19  
CCC_qs_mensual  
CCC_qs_anual  
tqs_CCC
```

```
#####DEL
```

```
# Creación gráficos  
DEL_D_p <- dis_diario(DEL_d, "Río Diguillín en Longitudinal, Periodo Completo")  
DEL_DP_p <- dis_diario(DEL_d_presequia, "Río Diguillín en Longitudinal,  
  Periodo de Presequía")  
DEL_DS_p <- dis_diario(DEL_d_sequia, "Río Diguillín en Longitudinal,  
  Periodo de Sequía")
```

```
# Graficar Figura 3.8  
DEL_D_p #periodo completo  
DEL_DP_p #periodo de presequia  
DEL_DS_p #periodo de sequia
```

```
# Figura 3.36  
tama_line <- 1  
# DEL - rt  
Crecida <- function(x) {  
  4.2707 * (x^0.1604)
```

```

}
Descenso <- function(x) {
  5.6686 * (x^0.0544)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  1.2597 * (x^0.4152)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  6.5912 * (x^-0.019)
}
Invierno <- function(x) {
  4.1213 * (x^0.1479)
}
Todo <- function(x) {
  6.0099 * (x^0.0383)
}
Verano <- function(x) {
  6.7734 * (x^-0.034)
}
rt <- ggplot() + labs(x = "Caudal [m^3 ~ /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
        legend.position = "none")
rt <- rt + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
  mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
  scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
  "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
  "grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
  label = "Periodo Completo (1986-2017)", color = "darkgreen",
  size = 6, alpha = 0.3)
rt

# DEL - ps
Crecida <- function(x) {
  4.2212 * (x^0.1618)
}
Descenso <- function(x) {
  6.3318 * (x^0.0386)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  1.1545 * (x^0.4458)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  7.2428 * (x^-0.036)
}

```

```

Invierno <- function(x) {
  3.9618 * (x^0.1663)
}
Todo <- function(x) {
  6.4104 * (x^0.0321)
}
Verano <- function(x) {
  7.1584 * (x^-0.039)
}
ps <- ggplot() + labs(x = "Caudal [m^3 ~ /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
        legend.position = "bottom")
ps <- ps + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
  mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
  scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
  "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
  "grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
  label = "Periodo Presequía (1986-2009)", color = "darkgreen",
  size = 6, alpha = 0.3)
ps

# DEL - S
Crecida <- function(x) {
  4.2719 * (x^0.1705)
}
Descenso <- function(x) {
  4.4791 * (x^0.0552)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  2.3016 * (x^0.2117)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  4.8887 * (x^0.0411)
}
Invierno <- function(x) {
  4.7642 * (x^0.0598)
}
Todo <- function(x) {
  5.3261 * (x^0.0238)
}
Verano <- function(x) {
  5.7888 * (x^-0.026)
}
s <- ggplot() + labs(x = "Caudal [m^3 ~ /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +

```

```

theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
      legend.position = "none")
s <- s + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
  mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
  scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
  "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
  "grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
  label = "Periodo Sequía (2010-2017)", color = "darkgreen",
  size = 6, alpha = 0.3)
s

leyenda <- get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position = "none")
grid.arrange(rt, ps, s, leyenda, ncol = 3, nrow = 2, layout_matrix = rbind(c(0,
  1, 2), c(4, 3, 4)), widths = c(2, 2, 2), heights = c(10,
  2), top = textGrob("Río Diguillín en Longitudinal", gp = gpar(fontsize = 20,
  font = 3)))

```

*#Figura 3.36*

```

tama_line<-1

#DEL - ps
Crecida<- function(x){4.2212*(x^0.1618)}
Descenso<-function(x){6.3318*(x^0.0386)}
Descenso_Invierno<-function(x){1.1545*(x^0.4458)}
Todo<-function(x){6.4104*(x^0.0321)}

ps <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m^3-/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
  legend.position = "bottom")
ps<- ps + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=500,
  label= paste("C==4.2212*%Q^0.1618", "r^2==0.0795",
  sep = "~`,`~"), parse=T,
  color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida

  stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=380,
  label= paste("C==6.3318*%Q^0.0386", "r^2==0.0046",
  sep = "~`,`~"), parse=T,
  color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso

```

```

stat_function(fun = Descenso_Invierno,
             mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
             size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=280,
        label= paste("C==1.1545%*%Q^0.4458", "r^2==0.0691",
                    sep = "~`,`~"),parse=T,
        color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno

stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
             size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=210,
        label= paste("C==6.4104%*%Q^0.0321", "r^2==0.0054",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo

scale_color_manual(name = "Temporada",
                  values = c("#118AB2", "#8338EC", "#EF476F", "#FF9F1C"))+
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000),labels=comma)+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000),labels=comma)+
annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Presequía (1986-2009)",
        color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)

```

ps

*#DEL - S*

```
Crecida<- function(x){4.2719*(x^0.1705)}
```

```
Descenso<-function(x){4.4791*(x^0.0552)}
```

```
Descenso_Invierno<-function(x){2.3016*(x^0.2117)}
```

```
Todo<-function(x){5.3261*(x^0.0238)}
```

```

s <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m^3/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        legend.position = "none")

```

```

s<- s + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
                    size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=500,
        label= paste("C==4.2719%*%Q^0.1705", "r^2==0.0774",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida

```

```

stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
             size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=380,
        label= paste("C==4.4791%*%Q^0.0552", "r^2==0.0148",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso

```

```

stat_function(fun = Descenso_Invierno,
             mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
             size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=280,
        label= paste("C==2.3016%*%Q^0.2117", "r^2==0.0574",
                    sep = "~`,`~"),parse=T,
        color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno

```

```

stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
             size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=210,
        label= paste("C==5.3261%*%Q^0.0238", "r^2==0.0025",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo

scale_color_manual(name = "Temporada",
                  values = c("#118AB2","#8338EC","#EF476F","#FF9F1C"))+
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000),labels=comma)+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000),labels=comma)+
annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Sequía (2010-2017)",
        color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)

s

leyenda<-get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position="none")
grid.arrange(ps,s,leyenda,ncol=2,nrow=2,layout_matrix = rbind(c(0,1),c(2,2)),
            widths=c(2,2), heights=c(10,2),
            top = textGrob("Río Diguillín en Longitudinal",
                          gp=gpar(fontsize=20,font=3)))

```

#### *# Creación gráficos*

```

DEL_con_mensual <- con_mensual(DEL_m, "Río Diguillín en Longitudinal")
DEL_con_anual <- con_anual(DEL_a, "Río Diguillín en Longitudinal")
DEL_con_modulo <- con_modulo(DEL_mod, "Río Diguillín en Longitudinal")
tcon_DEL <- DEL_con_anual/DEL_con_mensual

```

#### *# Graficar*

```

DEL_con_mensual
DEL_con_anual
DEL_con_modulo
tcon_DEL

```

#### *# Creación gráficos*

```

DEL_cau_mensual <- plot_mencau_fill(qdiario_rellenado, "DEL",
                                   "DEL")
DEL_cau_anual <- plot_anualcau_fill(qdiario_rellenado, "DEL",
                                   "Río Diguillín en Longitudinal")
tcau_DEL <- DEL_cau_anual/DEL_cau_mensual
tcau_DEL

```

#### *# Graficar Figura 3.20*

```

DEL_cau_mensual
DEL_cau_anual
DEL_cau_modulo
tcau_DEL

```

#### *# Creación gráficos*

```

DEL_qs_mensual <- qs_mensual(brutomensual, "DEL", "Río Diguillín en Longitudinal")
DEL_qs_anual <- qs_anual(brutoanual, "DEL", "Río Diguillín en Longitudinal")
tqs_DEL <- DEL_qs_anual/DEL_qs_mensual

```



```
# Graficar Figura 3.21
```

```
DEL_qs_mensual
```

```
DEL_qs_anual
```

```
tqs_DEL
```

```
#####ICH
```

```
# Creación gráficos
```

```
ICH_D_p <- dis_diario(ICH_d, "Río Itata en Cholguán, Periodo Completo")
```

```
ICH_DP_p <- dis_diario(ICH_d_presequia, "Río Itata en Cholguán,  
Periodo de Presequia")
```

```
ICH_DS_p <- dis_diario(ICH_d_sequia, "Río Itata en Cholguán, Periodo de Sequía")
```

```
# Graficar Figura 3.6
```

```
ICH_D_p #periodo completo
```

```
ICH_DP_p #periodo de presequia
```

```
ICH_DS_p #periodo de sequia
```

```
# Figura 3.34
```

```
tama_line <- 1
```

```
# ICH - rt
```

```
Crecida <- function(x) {
```

```
  0.7292 * (x^0.6588)
```

```
}
```

```
Descenso <- function(x) {
```

```
  0.6652 * (x^0.6328)
```

```
}
```

```
Descenso_Invierno <- function(x) {
```

```
  0.2376 * (x^0.8841)
```

```
}
```

```
Descenso_Verano <- function(x) {
```

```
  2.3165 * (x^0.2582)
```

```
}
```

```
Invierno <- function(x) {
```

```
  0.6473 * (x^0.6597)
```

```
}
```

```
Todo <- function(x) {
```

```
  0.9464 * (x^0.5589)
```

```
}
```

```
Verano <- function(x) {
```

```
  2.9485 * (x^0.1944)
```

```
}
```

```
rt <- ggplot() + labs(x = "Caudal [m3 /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
```

```
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
```

```
        legend.position = "none")
```

```
rt <- rt + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
```

```
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
```

```
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
```

```
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
```

```
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
```

```
  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
```

```

size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
mapping = aes(color = "Descenso_Verano"), size = tama_line) +
scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
"aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
"grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
label = "Periodo Completo (1986-2017)", color = "darkgreen",
size = 6, alpha = 0.3)
rt

# ICH - ps
Crecida <- function(x) {
  0.7703 * (x^0.6561)
}
Descenso <- function(x) {
  0.7805 * (x^0.6017)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  0.3373 * (x^0.8147)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  2.8107 * (x^0.1975)
}
Invierno <- function(x) {
  0.7113 * (x^0.6515)
}
Todo <- function(x) {
  1.0079 * (x^0.5536)
}
Verano <- function(x) {
  3.3843 * (x^0.1488)
}
ps <- ggplot() + labs(x = "Caudal [m^3 ~ /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
        legend.position = "bottom")
ps <- ps + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
mapping = aes(color = "Descenso_Verano"), size = tama_line) +
scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
"aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
"grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
label = "Periodo Presequía (1986-2009)", color = "darkgreen",
size = 6, alpha = 0.3)

```

```

ps
# ICH - S
Crecida <- function(x) {
  0.6676 * (x^0.6483)
}
Descenso <- function(x) {
  0.3506 * (x^0.7725)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  0.1148 * (x^1.0261)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  0.8079 * (x^0.5706)
}
Invierno <- function(x) {
  0.5595 * (x^0.6536)
}
Todo <- function(x) {
  0.7408 * (x^0.5952)
}
Verano <- function(x) {
  1.4342 * (x^0.4169)
}
s <- ggplot() + labs(x = "Caudal [m^3 ~ /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
        legend.position = "none")
s <- s + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
  mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
  scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
  "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
  "grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
  label = "Periodo Sequía (2010-2017)", color = "darkgreen",
  size = 6, alpha = 0.3)
s
leyenda <- get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position = "none")
grid.arrange(rt, ps, s, leyenda, ncol = 3, nrow = 2, layout_matrix = rbind(c(0,
  1, 2), c(4, 3, 4)), widths = c(2, 2, 2), heights = c(10,
  2), top = textGrob("Río Itata en Cholguán", gp = gpar(fontsize = 20,
  font = 3)))

```

```

#Figura 3.34
tama_line<-1

#ICH - ps
Crecida<- function(x){0.7703*(x^0.6561)}
Descenso<-function(x){0.7805*(x^0.6017)}
Descenso_Invierno<-function(x){0.3373*(x^0.8147)}
Todo<-function(x){1.0079*(x^0.5536)}

ps <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m^3~/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        legend.position = "bottom")
ps<- ps + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
                      size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=500,
         label= paste("C==0.7703%*%Q^0.6561", "r^2==0.329",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
         color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida

  stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=380,
         label= paste("C==0.7805%*%Q^0.6017", "r^2==0.1866",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
         color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso

  stat_function(fun = Descenso_Invierno,
              mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=280,
         label= paste("C==0.3373%*%Q^0.8147", "r^2==0.2648",
                    sep = "~`,`~"),parse=T,
         color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno

  stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=210,
         label= paste("C==1.0079%*%Q^0.5536", "r^2==0.2053",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
         color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo

  scale_color_manual(name = "Temporada",
                    values = c("#118AB2","#8338EC","#EF476F","#FF9F1C"))+
  scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000),labels=comma)+
  scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000),labels=comma)+
  annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Presequía (1986-2009)",
         color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)

ps

#ICH - S
Crecida<- function(x){0.6676*(x^0.6483)}
Descenso<-function(x){0.3506*(x^0.7725)}
Descenso_Invierno<-function(x){0.1148*(x^1.0261)}

```

```

Todo<-function(x){0.7408*(x^0.5952)}

s <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m^3~/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        legend.position = "none")
s<- s + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
                    size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=500,
         label= paste("C==0.6676%*%Q^0.6483", "r^2==0.2555",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
         color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida

  stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=380,
         label= paste("C==0.3506%*%Q^0.7725", "r^2==0.1957",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
         color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso

  stat_function(fun = Descenso_Invierno,
              mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=280,
         label= paste("C==0.1148%*%Q^1.0261", "r^2==0.3078",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
         color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno

  stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=210,
         label= paste("C==0.7408%*%Q^0.5952", "r^2==0.1841",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
         color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo

  scale_color_manual(name = "Temporada",
                    values = c("#118AB2", "#8338EC", "#EF476F", "#FF9F1C"))+
  scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000),labels=comma)+
  scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000),labels=comma)+
  annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Sequía (2010-2017)",
         color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)

s

leyenda<-get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position="none")
grid.arrange(ps,s,leyenda,ncol=2,nrow=2,layout_matrix = rbind(c(0,1),c(2,2)),
            widths=c(2,2), heights=c(10,2),
            top = textGrob("Río Itata en Cholguán",
                          gp=gpar(fontsize=20,font=3)))

```

### # Creación gráficos

```

ICH_con_mensual <- con_mensual(ICH_m, "Río Itata en Cholguán")
ICH_con_anual <- con_anual(ICH_a, "Río Itata en Cholguán")
ICH_con_modulo <- con_modulo(ICH_mod, "Río Itata en Cholguán")

```

```
tcon_ICH <- ICH_con_anual/ICH_con_mensual
```

```
# Graficar
```

```
ICH_con_mensual  
ICH_con_anual  
ICH_con_modulo  
tcon_ICH
```

```
# Creación gráficos
```

```
ICH_cau_mensual <- plot_mencau_fill(qdiario_rellenado, "ICH",  
  "ICH")  
ICH_cau_anual <- plot_anualcau_fill(qdiario_rellenado, "ICH",  
  "Río Itata en Cholguán")  
tcau_ICH <- ICH_cau_anual/ICH_cau_mensual  
tcau_ICH
```

```
# Graficar Figura 3.16
```

```
ICH_cau_mensual  
ICH_cau_anual  
ICH_cau_modulo  
tcau_ICH
```

```
# Creación gráficos
```

```
ICH_qs_mensual <- qs_mensual(brutomensual, "ICH", "Río Itata en Cholguán")  
ICH_qs_anual <- qs_anual(brutoanual, "ICH", "Río Itata en Cholguán")  
tqs_ICH <- ICH_qs_anual/ICH_qs_mensual
```

```
# Graficar Figura 3.17
```

```
ICH_qs_mensual  
ICH_qs_anual  
tqs_ICH
```

```
#####ICO
```

```
# Creación gráficos
```

```
ICO_D_p <- dis_diario(ICO_d, "Río Itata en Coelemu, Periodo Completo")  
ICO_DP_p <- dis_diario(ICO_d_presequia, "Río Itata en Coelemu,  
  Periodo de Presequía")  
ICO_DS_p <- dis_diario(ICO_d_sequia, "Río Itata en Coelemu, Periodo de Sequía")
```

```
# Graficar Figura 3.10
```

```
ICO_D_p #periodo completo  
ICO_DP_p #periodo de presequia  
ICO_DS_p #periodo de sequia
```

```
# Figura 3.38
```

```
tama_line <- 0.8
```

```
# ICO - rt
```

```
Crecida <- function(x) {  
  0.9743 * (x^0.5219)  
}
```

```

Descenso <- function(x) {
  0.6611 * (x^0.5078)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  0.0328 * (x^0.9913)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  3.3578 * (x^0.198)
}
Invierno <- function(x) {
  0.9391 * (x^0.4836)
}
Todo <- function(x) {
  2.2684 * (x^0.318)
}
Verano <- function(x) {
  4.5058 * (x^0.1437)
}
rt <- ggplot() + labs(x = "Caudal [m^3 ~ /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
        legend.position = "none")
rt <- rt + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
  mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
  scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
    "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
    "grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
  label = "Periodo Completo (1986-2017)", color = "darkgreen",
  size = 6, alpha = 0.3)
rt

# ICO - ps
Crecida <- function(x) {
  0.7839 * (x^0.5857)
}
Descenso <- function(x) {
  0.511 * (x^0.5618)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  0.0199 * (x^1.0837)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  3.0959 * (x^0.2162)
}
Invierno <- function(x) {

```



```

    0.736 * (x^0.5454)
  }
  Todo <- function(x) {
    1.9525 * (x^0.3614)
  }
  Verano <- function(x) {
    4.3658 * (x^0.1534)
  }
  ps <- ggplot() + labs(x = "Caudal [m^3 ~ /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
    theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
          legend.position = "bottom")
  ps <- ps + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
                          size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
                                                            size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
                                                            mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
    stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
                  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
                                                    size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
                                                    size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
                                                    mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
    scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
                                                    "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
                                                    "grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
                                                    limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
                                                    limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
                                                    label = "Periodo Presequía (1986-2009)", color = "darkgreen",
                                                    size = 6, alpha = 0.3)
  ps

# ICO - S
Crecida <- function(x) {
  4.3551 * (x^0.1407)
}
Descenso <- function(x) {
  1.4271 * (x^0.3485)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  0.1873 * (x^0.6757)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  4.1878 * (x^0.1483)
}
Invierno <- function(x) {
  2.5799 * (x^0.248)
}
Todo <- function(x) {
  3.8684 * (x^0.1736)
}
Verano <- function(x) {
  4.9536 * (x^0.1155)
}
s <- ggplot() + labs(x = "Caudal [m^3 ~ /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),

```

```

    legend.position = "none")
s <- s + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
  mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
  scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
  "aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
  "grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
  limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
  label = "Periodo Sequía (2010-2017)", color = "darkgreen",
  size = 6, alpha = 0.3)
s

leyenda <- get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position = "none")
grid.arrange(rt, ps, s, leyenda, ncol = 3, nrow = 2, layout_matrix = rbind(c(0,
  1, 2), c(4, 3, 4)), widths = c(2, 2, 2), heights = c(10,
  2), top = textGrob("Río Itata en Coelemu", gp = gpar(fontsize = 20,
  font = 3)))

```

*#Figura 3.38*  
tama\_line<-0.8

```

#ICO - ps
Crecida<- function(x){0.7839*(x^0.5857)}
Descenso<-function(x){0.5110*(x^0.5618)}
Descenso_Invierno<-function(x){0.0199*(x^1.0837)}
Todo<-function(x){1.9525*(x^0.3614)}

ps <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m^3~/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
  legend.position = "bottom")
ps<- ps + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=500,
  label= paste("C==0.7839%*Q^0.5857", "r^2==0.3575",
  sep = "~",`~`), parse=T,
  color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida

  stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=380,
  label= paste("C==0.5110%*Q^0.5618", "r^2==0.2163",
  sep = "~",`~`), parse=T,
  color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso

  stat_function(fun = Descenso_Invierno,

```

```

        mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
        size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=280,
        label= paste("C==0.0199%*%Q^1.0837", "r^2==0.2665",
        sep = "~`,`~"),parse=T,
        color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno

stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
        size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=210,
        label= paste("C==1.9525%*%Q^0.3614", "r^2==0.2101",
        sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo

scale_color_manual(name = "Temporada",
        values = c("#118AB2", "#8338EC", "#EF476F", "#FF9F1C"))+
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000),labels=comma)+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000),labels=comma)+
annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Presequía (1986-2009)",
        color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)
ps

#ICO - S
Crecida<- function(x){4.3551*(x^0.1407)}
Descenso<-function(x){1.4271*(x^0.3485)}
Descenso_Invierno<-function(x){0.1873*(x^0.6757)}
Todo<-function(x){3.8684*(x^0.1736)}

s <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m^3~/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        legend.position = "none")
s<- s + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
        size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=500,
        label= paste("C==4.3551%*%Q^0.1407", "r^2==0.0322",
        sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida

stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
        size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=380,
        label= paste("C==1.4271%*%Q^0.3485", "r^2==0.103",
        sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso

stat_function(fun = Descenso_Invierno,
        mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
        size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=280,
        label= paste("C==0.1873%*%Q^0.6757", "r^2==0.1324",
        sep = "~`,`~"),parse=T,
        color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno

```

```

stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
             size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=210,
        label= paste("C==3.8684%*%Q^0.1736", "r^2==0.0705",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo

scale_color_manual(name = "Temporada",
                  values = c("#118AB2", "#8338EC", "#EF476F", "#FF9F1C"))+
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000),labels=comma)+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000),labels=comma)+
annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Sequía (2010-2017)",
        color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)
s

leyenda<-get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position="none")
grid.arrange(ps,s,leyenda,ncol=2,nrow=2,layout_matrix = rbind(c(0,1),c(2,2)),
            widths=c(2,2), heights=c(10,2),
            top = textGrob("Río Itata en Coelemu",
                          gp=gpar(fontsize=20,font=3)))

```

```

# Creación gráficos
ICO_con_mensual <- con_mensual(ICO_m, "Río Itata en Coelemu")
ICO_con_anual <- con_anual(ICO_a, "Río Itata en Coelemu")
ICO_con_modulo <- con_modulo(ICO_mod, "Río Itata en Coelemu")
tcon_ICO <- ICO_con_anual/ICO_con_mensual/ICO_con_modulo

```

```

# Graficar
ICO_con_mensual
ICO_con_anual
ICO_con_modulo
tcon_ICO

```

```

# Creación gráficos
ICO_cau_mensual <- plot_mencau_fill(qdiario_rellenado, "ICO",
                                   "ICO")
ICO_cau_anual <- plot_anualcau_fill(qdiario_rellenado, "ICO",
                                    "Río Itata en Coelemu")
tcau_ICO <- ICO_cau_anual/ICO_cau_mensual
tcau_ICO
# ICO_metodologia<-cau_metodologia(brutodiario,'ICO','Río
# Itata en Coelemu')

```

```

# Graficar Figuras 1.7 y 3.24
ICO_cau_mensual
ICO_cau_anual
ICO_cau_modulo
ICO_metodologia #Figura 1.7
tcau_ICO #Figura 3.24

```

```

# Creación gráficos
ICO_qs_mensual <- qs_mensual(brutomensual, "ICO", "Río Itata en Coelemu")
ICO_qs_anual <- qs_anual(brutoanual, "ICO", "Río Itata en Coelemu")
tqs_ICO <- ICO_qs_anual/ICO_qs_mensual

```

```

# Graficar Figura 3.25
ICO_qs_mensual
ICO_qs_anual
tqs_ICO

```

```

#####NSF

```

```

# Creación gráficos
NSF_D_p <- dis_diario(NSF_d, "Río Ñuble en San Fabián de Alico, Periodo Completo")

```

```

# Graficar Figura 3.4
NSF_D_p # periodo completo

```

```

# Figura 3.32
tama_line <- 1
# NSF - rt
Crecida <- function(x) {
  0.1106 * (x^0.9088)
}
Descenso <- function(x) {
  0.0413 * (x^0.9529)
}
Descenso_Invierno <- function(x) {
  0.0074 * (x^1.2877)
}
Descenso_Verano <- function(x) {
  0.9504 * (x^0.3166)
}
Invierno <- function(x) {
  0.1194 * (x^0.7787)
}
Todo <- function(x) {
  0.5085 * (x^0.4709)
}
Verano <- function(x) {
  2.1949 * (x^0.1348)
}
rt <- ggplot() + labs(title = "Río Ñuble en San Fabián de Alico",
  x = "Caudal [m^3 ~ /seg]", y = "Concentración [mg/lt]") +
  theme(plot.title = element_text(family = "sans", hjust = 0.5),
    legend.position = "bottom")
rt <- rt + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"), size = tama_line) +
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
  size = tama_line) + stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),

```

```

size = tama_line) + stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
size = tama_line) + stat_function(fun = Descenso_Verano,
mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size = tama_line) +
scale_color_manual(name = "Temporada", values = c("blue2",
"aquamarine3", "cyan", "darkgreen", "purple", "peru",
"grey", "red", "orange")) + scale_x_continuous(trans = "log10",
limits = c(1, 10000)) + scale_y_continuous(trans = "log10",
limits = c(1, 10000)) + annotate("text", x = 100, y = 10000,
label = "Periodo Completo (1986-1996)", color = "darkgreen",
size = 6, alpha = 0.3)

```

rt

*#Figura 3.32*

```

tama_line<-1
#NSF - rt
Crecida<- function(x){0.1106*(x^0.9088)}
Descenso<-function(x){0.0413*(x^0.9529)}
Descenso_Invierno<-function(x){0.0074*(x^1.2877)}
Todo<-function(x){0.5085*(x^0.4709)}

rt <- ggplot()+labs(title="Río Ñuble en San Fabián de Alico",
x="log(Caudal) [m^3~/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
legend.position = "bottom")
rt<- rt + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=500,
label= paste("C==0.1106%*Q^0.9088", "r^2==0.4416",
sep = "~", "~"), parse=T,
color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida

stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=380,
label= paste("C==0.0413%*Q^0.9529", "r^2==0.2192",
sep = "~", "~"), parse=T,
color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso

stat_function(fun = Descenso_Invierno,
mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=280,
label= paste("C==0.0074%*Q^1.2877", "r^2==0.3973",
sep = "~", "~"), parse=T,
color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno

stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
size=tama_line)+
annotate("text", x=20, y=210,
label= paste("C==0.5085%*Q^0.4709", "r^2==0.1344",
sep = "~", "~"), parse=T,
color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo

```

```

scale_color_manual(name = "Temporada",
                   values = c("#118AB2", "#8338EC", "#EF476F", "#FF9F1C"))+
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000), labels=comma)+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000), labels=comma)+
annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Completo (1986-1996)",
         color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)
rt

```

#### *# Creación gráficos*

```

NSF_con_mensual <- con_mensual(NSF_m, "Río Ñuble en San Fabián de Alico")
NSF_con_anual <- con_anual(NSF_a, "Río Ñuble en San Fabián de Alico")
NSF_con_modulo <- con_modulo(NSF_mod, "Río Ñuble en San Fabián de Alico")
tcon_NSF <- NSF_con_anual/NSF_con_mensual

```

#### *# Graficar*

```

NSF_con_mensual
NSF_con_anual
NSF_con_modulo
tcon_NSF

```

#### *# Creación gráficos*

```

NSF_cau_mensual <- cau_mensual(NSF_m, "Río Ñuble en San Fabián de Alico")
NSF_cau_anual <- cau_anual(NSF_a, "Río Ñuble en San Fabián de Alico")
NSF_cau_modulo <- cau_modulo(NSF_mod, "Río Ñuble en San Fabián de Alico")
tcau_NSF <- NSF_cau_anual/NSF_cau_mensual

```

#### *# Graficar Figura 3.12*

```

NSF_cau_mensual
NSF_cau_anual
NSF_cau_modulo
tcau_NSF

```

#### *# Creación gráficos*

```

NSF_qs_mensual <- qs_mensual(brutomensual, "NSF", "Río Ñuble en San Fabián de Alico")
NSF_qs_anual <- qs_anual(brutoanual, "NSF", "Río Ñuble en San Fabián de Alico")
tqs_NSF <- NSF_qs_anual/NSF_qs_mensual

```

#### *# Graficar Figura 3.13*

```

NSF_qs_mensual
NSF_qs_anual
tqs_NSF

```

```

#####NSF2

```

#### *# Creación gráficos*

```

NSF2_D_p <- dis_diario(NSF2_d, "Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2,
                             Periodo Completo")
NSF2_DP_p <- dis_diario(NSF2_d_presequia, "Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2,
                             Periodo de Presequía")
NSF2_DS_p <- dis_diario(NSF2_d_sequia, "Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2,
                             Periodo de Sequía")

```



```

# Graficar Figura 3.5
NSF2_D_p #periodo completo
NSF2_DP_p # periodo de presequia
NSF2_DS_p # periodo de sequia

#Figura 3.33
tama_line<-1
#NSF2 - rt
Crecida<- function(x){0,5216*(x^0,6511)}
Descenso<-function(x){0,0629*(x^0,9543)}
Descenso_Invierno<-function(x){0,0165*(x^1,2125)}
Descenso_Verano<-function(x){0,7145*(x^0,4567)}
Invierno<-function(x){0,5834*(x^0,5322)}
Todo<-function(x){1,2785*(x^0,3548)}
Verano<-function(x){3,2755*(x^0,126)}
rt <- ggplot()+labs(x="Caudal [m^3~/seg]", y="Concentración [mg/lt]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        legend.position = "none")
rt<- rt + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
                       size=tama_line)+
  stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
               size=tama_line)+
  stat_function(fun = Descenso_Invierno,
               mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
               size=tama_line)+
  stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
               size=tama_line)+
  stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
               size=tama_line)+
  stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
               size=tama_line)+
  stat_function(fun = Descenso_Verano,
               mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size=tama_line)+
  scale_color_manual(name = "Temporada",
                    values = c("blue2","aquamarine3","cyan","darkgreen",
                              "purple","peru","grey","red","orange"))+
  scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000))+
  scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000))+
  annotate("text", x=100, y=10000, label= "Periodo Completo (1999-2017)",
         color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)

rt

#NSF2 - ps
Crecida<- function(x){0.3428*(x^0.6942)}
Descenso<-function(x){0.0212*(x^1.1318)}
Descenso_Invierno<-function(x){0.0028*(x^1.5038)}
Descenso_Verano<-function(x){0.4359*(x^0.5317)}
Invierno<-function(x){0.3609*(x^0.5896)}
Todo<-function(x){0.7527*(x^0.4317)}
Verano<-function(x){1.9395*(x^0.2117)}
ps <- ggplot()+labs(x="Caudal [m^3~/seg]", y="Concentración [mg/lt]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        legend.position = "bottom")

```

```

ps<- ps + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
                        size=tama_line)+
stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
              size=tama_line)+
stat_function(fun = Descenso_Invierno,
              mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
              size=tama_line)+
stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
              size=tama_line)+
stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
              size=tama_line)+
stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
              size=tama_line)+
stat_function(fun = Descenso_Verano,
              mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size=tama_line)+
scale_color_manual(name = "Temporada",
                   values = c("blue2","aquamarine3","cyan","darkgreen",
                               "purple","peru","grey","red","orange"))+
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,10000))+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,10000))+
annotate("text", x=100, y=10000, label= "Periodo Presequía (1999-2009)",
         color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)

```

ps

*#NSF2 - S*

```

Crecida<- function(x){0.5077*(x^0.7596)}
Descenso<-function(x){0.0601*(x^1.0334)}
Descenso_Invierno<-function(x){0.0186*(x^1.2742)}
Descenso_Verano<-function(x){0.6635*(x^0.5282)}
Invierno<-function(x){0.7200*(x^0.5521)}
Todo<-function(x){1.6388*(x^0.3593)}
Verano<-function(x){3.9567*(x^0.1367)}
s <- ggplot()+labs(x="Caudal [m^3-/seg]", y="Concentración [mg/lt]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        legend.position = "none")
s<- s + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
                      size=tama_line)+
stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
              size=tama_line)+
stat_function(fun = Descenso_Invierno,
              mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
              size=tama_line)+
stat_function(fun = Invierno, mapping = aes(color = "Invierno"),
              size=tama_line)+
stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
              size=tama_line)+
stat_function(fun = Verano, mapping = aes(color = "Verano"),
              size=tama_line)+
stat_function(fun = Descenso_Verano,
              mapping = aes(color = "Descenso Verano"), size=tama_line)+
scale_color_manual(name = "Temporada",
                   values = c("blue2","aquamarine3","cyan","darkgreen",
                               "purple","peru","grey","red","orange"))+

```

```

scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,10000))+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,10000))+
annotate("text", x=100, y=10000, label= "Periodo Sequía (2010-2017)",
         color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)
s

leyenda<-get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position="none")
grid.arrange(rt,ps,s,leyenda,ncol=3,nrow=2,
             layout_matrix = rbind(c(0,1,2),c(4,3,4)), widths=c(2,2,2),
             heights=c(10,2),
             top = textGrob("Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2",
                           gp=gpar(fontsize=20,font=3)))

```

*#Figura 3.33*

tama\_line<-1

*#NSF2 - ps*

Crecida<- function(x){0.3428\*(x^0.6942)}

Descenso<-function(x){0.0212\*(x^1.1318)}

Descenso\_Invierno<-function(x){0.0028\*(x^1.5038)}

Todo<-function(x){0.7527\*(x^0.4317)}

```

ps <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m^3~/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        legend.position = "bottom")

```

```

ps<- ps + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
                       size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=500,
         label= paste("C==0.3428%*%Q^0.6942", "r^2==0.2834",
                     sep = "~", "~"), parse=T,
         color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida

```

```

stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
             size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=380,
         label= paste("C==0.0212%*%Q^1.1318", "r^2==0.2663",
                     sep = "~", "~"), parse=T,
         color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso

```

```

stat_function(fun = Descenso_Invierno,
             mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
             size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=280,
         label= paste("C==0.0028%*%Q^1.5038", "r^2==0.4342",
                     sep = "~", "~"), parse=T,
         color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno

```

```

stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
             size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=210,
         label= paste("C==0.7527%*%Q^0.4317", "r^2==0.1272",
                     sep = "~", "~"), parse=T,

```

```

        color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo

scale_color_manual(name = "Temporada",
                   values = c("#118AB2", "#8338EC", "#EF476F", "#FF9F1C"))+
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000), labels=comma)+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000), labels=comma)+
annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Presequía (1999-2009)",
        color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)

ps

#NSF2 - S
Crecida<- function(x){0.5077*(x^0.7596)}
Descenso<-function(x){0.0601*(x^1.0334)}
Descenso_Invierno<-function(x){0.0186*(x^1.2742)}
Todo<-function(x){1.6388*(x^0.3593)}

s <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m^3~/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans", hjust = 0.5),
        legend.position = "none")
s<- s + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
                    size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=500,
        label= paste("C==0.5077*%Q^0.7596", "r^2==0.2523",
                    sep = "~`, `~"), parse=T,
        color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida

  stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=380,
        label= paste("C==0.0601*%Q^1.0334", "r^2==0.2506",
                    sep = "~`, `~"), parse=T,
        color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso

  stat_function(fun = Descenso_Invierno,
              mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=280,
        label= paste("C==0.0186*%Q^1.2742", "r^2==0.3254",
                    sep = "~`, `~"), parse=T,
        color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno

  stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=210,
        label= paste("C==1.6388*%Q^0.3593", "r^2==0.079",
                    sep = "~`, `~"), parse=T,
        color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo

scale_color_manual(name = "Temporada",
                   values = c("#118AB2", "#8338EC", "#EF476F", "#FF9F1C"))+
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000), labels=comma)+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000), labels=comma)+
annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Sequía (2010-2017)",

```

```

        color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)
s

leyenda<-get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position="none")
grid.arrange(ps,s,leyenda,ncol=2,nrow=2,layout_matrix = rbind(c(0,1),c(2,2)),
            widths=c(2,2), heights=c(10,2),
            top = textGrob("Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2",
                          gp=gpar(fontsize=20,font=3)))

# Creación gráficos
NSF2_con_mensual <- con_mensual(NSF2_m, "Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2")
NSF2_con_anual <- con_anual(NSF2_a, "Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2")
NSF2_con_modulo <- con_modulo(NSF2_mod, "Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2")
tcon_NSF2 <- NSF2_con_anual/NSF2_con_mensual

# Graficar
NSF2_con_mensual
NSF2_con_anual
NSF2_con_modulo
tcon_NSF2

# Creación gráficos
NSF2_cau_mensual <- cau_mensual(NSF2_m, "Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2")
NSF2_cau_anual <- cau_anual(NSF2_a, "Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2")
NSF2_cau_modulo <- cau_modulo(NSF2_mod, "Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2")
tcau_NSF2 <- NSF2_cau_anual/NSF2_cau_mensual

# Graficar Figura 3.14
NSF2_cau_mensual
NSF2_cau_anual
NSF2_cau_modulo
tcau_NSF2

# Creación gráficos
NSF2_qs_mensual <- qs_mensual(brutomensual, "NSF2", "Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2")
NSF2_qs_anual <- qs_anual(brutoanual, "NSF2", "Río Ñuble en San Fabián de Alico N°2")
tqs_NSF2 <- NSF2_qs_anual/NSF2_qs_mensual

# Graficar Figura 3.15
NSF2_qs_mensual
NSF2_qs_anual
tqs_NSF2

#####NSFprom

# Creación gráficos
NSF_cau_mensual <- plot_mencau_fill(qdiario_rellenado, "NSF",
    "NSF")
NSF_cau_anual <- plot_anualcau_fill(qdiario_rellenado, "NSF",
    "Río Ñuble en San Fabián de Alico")
tcau_NSF <- NSF_cau_anual/NSF_cau_mensual
tcau_NSF

```

```
NSFp_qs_mensual <- qs_mensual(brutomensual, "NSF", "Río Ñuble en San Fabián de Alico")
NSFp_qs_anual <- qs_anual(brutoanual, "NSF", "Río Ñuble en San Fabián de Alico")
tqs_NSFp <- NSFp_qs_anual/NSFp_qs_mensual
tqs_NSFp
```

```
nsf <- filter(brutodiario, Codigo %in% "NSF")
NSF_D_p <- dis_diario_inset(nsf, "Río Ñuble en San Fabián de Alico, Periodo Completo")
NSF_D_p
```

*#Figura 3.36*

```
tama_line<-1
```

*#NSFp - ps*

```
Crecida<- function(x){0.2149*(x^0.7808)}
Descenso<-function(x){0.0273*(x^1.0608)}
Descenso_Invierno<-function(x){0.0044*(x^1.4048)}
Todo<-function(x){0.6237*(x^0.4504)}
```

```
ps <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [~m3~/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        legend.position = "bottom")
```

```
ps<- ps + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
  size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=500,
    label= paste("C==0.2149%*Q^0.7808", "r^2==0.3789",
      sep = "~`,`~"), parse=T,
    color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida
```

```
stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
  size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=380,
    label= paste("C==0.0273%*Q^1.0608", "r^2==0.3196",
      sep = "~`,`~"), parse=T,
    color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso
```

```
stat_function(fun = Descenso_Invierno,
  mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
  size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=280,
    label= paste("C==0.0044%*Q^1.4048", "r^2==0.3434",
      sep = "~`,`~"),parse=T,
    color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno
```

```
stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
  size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=210,
    label= paste("C==0.6237%*Q^0.4504", "r^2==0.1637",
      sep = "~`,`~"), parse=T,
    color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo
```

```
scale_color_manual(name = "Temporada",
  values = c("#118AB2", "#8338EC", "#EF476F", "#FF9F1C"))+
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000),labels=comma)+
```

```

scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000),labels=comma)+
annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Presequía (1986-2009)",
        color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)

ps

#NSFp - S
Crecida<- function(x){0.5077*(x^0.7596)}
Descenso<-function(x){0.0601*(x^1.0334)}
Descenso_Invierno<-function(x){0.0186*(x^1.2742)}
Todo<-function(x){1.6388*(x^0.3593)}

s <- ggplot()+labs(x="log(Caudal) [m^3~/s]", y="log(Concentración) [mg/l]")+
  theme(plot.title = element_text(family="sans",hjust = 0.5),
        legend.position = "none")
s<- s + stat_function(fun = Crecida, mapping = aes(color = "Crecida"),
                    size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=500,
        label= paste("C==0.5077*%Q^0.7596", "r^2==0.2523",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#8338EC", size=3.5, alpha=1)+ #Crecida

  stat_function(fun = Descenso, mapping = aes(color = "Descenso"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=380,
        label= paste("C==0.0601*%Q^1.0334", "r^2==0.2506",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#EF476F", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso

  stat_function(fun = Descenso_Invierno,
              mapping = aes(color = "Descenso Invierno"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=280,
        label= paste("C==0.0186*%Q^1.2742", "r^2==0.3254",
                    sep = "~`,`~"),parse=T,
        color="#FF9F1C", size=3.5, alpha=1)+ #Descenso invierno

  stat_function(fun = Todo, mapping = aes(color = "Año Completo"),
              size=tama_line)+
  annotate("text", x=20, y=210,
        label= paste("C==1.6388*%Q^0.3593", "r^2==0.079",
                    sep = "~`,`~"), parse=T,
        color="#118AB2", size=3.5, alpha=1)+ #Todo

scale_color_manual(name = "Temporada",
                  values = c("#118AB2", "#8338EC", "#EF476F", "#FF9F1C"))+
scale_x_continuous(trans = "log10", limits = c(1,100000),labels=comma)+
scale_y_continuous(trans = "log10", limits = c(1,1000),labels=comma)+
annotate("text", x=300, y=1000, label= "Periodo Sequía (2010-2017)",
        color="darkgreen", size=6, alpha=0.3)

s

leyenda<-get_legend(ps)
ps <- ps + theme(legend.position="none")

```



```
grid.arrange(ps,s,leyenda,ncol=2,nrow=2,layout_matrix = rbind(c(0,1),c(2,2)),
             widths=c(2,2), heights=c(10,2),
             top = textGrob("Río Ñuble en San Fabián de Alico",
                           gp=gpar(fontsize=20,font=3)))
```

```
###Pluviometricas y Termicas #####Pp media periodos
```

```
# Creación gráficos
pp_mod_w <- precipitacion_modulo_wrap(pp_d)
pp_mod_g <- precipitacion_modulo_grid(pp_d)
```

```
# Graficar
pp_mod_w
pp_mod_g
```

```
#####Climo
```

```
# Creación gráficos
climo <- climograma(climo)
# Graficar
climo
```

```
##Registro Total
```

```
# Creación gráficos
cau_trib <- cau_tributario(SB) #caudal por tributario, rio kilometro Figura 3.2
cau_con <- Caudal_Concentracion(rellenoanual)
# concentracion y caudal para el registro completo relleno
# co codigos por color
qs_cuenca <- qs_year(rellenoanual) #carga de sedimentos registro total
# relleno por codigo
cau_vs_con <- cau_con_mod(filter(brutodiario, Codigo %in% c("BNA",
"CCC", "DEL", "ICH", "ICO", "NSF")))
# Caudal vs Concentracion, dividido en periodos para 5
# estaciones
```

```
# Graficar
cau_trib
cau_con
qs_cuenca
cau_vs_con
porce_medida(participacion)
```

```
#Shiny SB
```

```
#Programa interactivo SHINY para graficar el Sediment Budget
ui <- fluidPage(
  # Titulo ----
  navbarPage("Sediment Budget",
```

```

tabPanel("Datos",
sidebarPanel(

# Input: Seleccionar archivo ----
fileInput("file1", "Elegir archivo .CSV ",
          multiple = FALSE,
          accept = c("text/csv",
                    "text/comma-separated-values,text/plain",
                    ".csv")

          ),

# Horizontal line ----
tags$hr(),

# Input: Checkbox si el archivo tiene cabecera ----
checkboxInput("header", "Cabecera", TRUE),

# Input: Elegir separador ----
radioButtons("sep", "Separador",
             choices = c(Coma = ",",
                         Semicolon = ";",
                         Tab = "\t"),
             selected = ";"),

# Input: Seleccionar si mostrar todo o una seleccion ----
radioButtons("disp", "Display",
             choices = c(Cabeza = "head",
                         Todo = "all"),
             selected = "head"),

tags$hr(),
conditionalPanel("is.data.frame(input.file1)",
uiOutput("dataYear"),
uiOutput("dataQso"),
uiOutput("dataQsi"),
uiOutput("dataQst"),
actionButton("goButton", "Graficar"))

# Elegir las columnas para cada variable
)),

# Main panel para los outputs ----
mainPanel(
  tabsetPanel(
    tabPanel("Data",
# Output: Datos subidos ----
      tableOutput("totaldata")
    ),
    tabPanel("Graficos",
      plotOutput("plot")
    )
  )
)

```

```
)))
```

```
# Define server logic to read selected file ----
```

```
server <- function(input, output) {
```

```
  output$totaldata <- renderTable({
```

```
    # input$file1 will be NULL initially. After the user selects  
# and uploads a file, head of that data file by default,  
# or all rows if selected, will be shown.
```

```
    req(input$file1)
```

```
    # when reading semicolon separated files,  
# having a comma separator causes `read.csv` to error
```

```
    tryCatch({df <- read.csv(input$file1$datapath,  
                            header = input$header,  
                            sep = input$sep)
```

```
    },
```

```
    error = function(e) {
```

```
      # return a safeError if a parsing error occurs  
      stop(safeError(e))
```

```
    }
```

```
  )
```

```
  if(input$disp == "head") {  
    return(head(df))
```

```
  }
```

```
  else {
```

```
    return(df)
```

```
  }})
```

```
#output del año con respecto al data
```

```
output$dataYear <- renderUI({
```

```
  data1 <- read.csv(input$file1$datapath,
```

```
    header = input$header,
```

```
    sep = input$sep)
```

```
  selectInput("years", "Años", colnames(data1)))})
```

```
#output del Qso con respecto al data
```

```
output$dataQso <- renderUI({
```

```
  data1 <- read.csv(input$file1$datapath,
```

```
    header = input$header,
```

```
    sep = input$sep)
```

```
  selectInput("qso", "Qso", colnames(data1)))})
```

```
#output del Qsi con respecto al data
```

```
output$dataQsi <- renderUI({
```

```
  data1 <- read.csv(input$file1$datapath,
```

```
    header = input$header,
```

```

        sep = input$sep)
    selectInput("qsi", "Qsi", colnames(data1))})

#output del Qst con respecto al data
output$dataQst <- renderUI({
  data1 <- read.csv(input$file1$datapath,
    header = input$header,
    sep = input$sep,
    dec = ",")
  selectInput("qst", 'Qst - Elección Múltiple', colnames(data1),
    multiple = TRUE)})

#output del gráfico y calculo del SB
grafo<- eventReactive(input$goButton,{
  data1 <- read.csv(input$file1$datapath,
    header = input$header,
    sep = input$sep,
    dec = ",")
  qstt <- data.frame(lapply(data1%>%select(input$qst),as.integer))
  QSO <- data.frame(lapply(data1%>%select(input$qso),as.integer))
  QSI <- data.frame(lapply(data1%>%select(input$qsi),as.integer))
  #Sediment Budget
  QST<-mutate(qstt,sb=QSO-(QSI+rowSums(qstt)))
  ano <- data1%>%select(input$years)
  pl<- data.frame(ano, QST$sb)
  ggplot(pl, aes(x=pl[[1]], y=pl[[2]]))+
    geom_line()+
    geom_hline(yintercept = 0, linetype="dashed")+
    labs(title="Sediment Budget", x="Años",
      y="Carga [ton/mes]")+
    scale_x_continuous(breaks = pl[[1]]))
  output$plot <- renderPlot({grafo()})

}

```

```
shinyApp(ui, server)
```

```

porce <- function(i, f) {
  ((f - i)/i) * 100
}

```

## 5.B. Anexo B: Diagrama Unifilar

