



**Escuela de Caminos**

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

UPC BARCELONATECH

**Actualización de patrones  
sedimentológicos en las cuencas  
Andinas de Chile central**

Trabajo realizado por:  
**Iván Campos Herrera**

Dirigido por:  
**Ernest Bladé Castellet**  
**Martí Sánchez Juny**

Grado en:  
**Ingeniería Civil**

Barcelona, 31, enero, 2022

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

## ÍNDICE

RESUMEN .....	8
ABSTRACT .....	8
AGRADECIMIENTOS .....	9
1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. OBJETIVOS .....	11
CONTENIDO .....	12
3. ACTUALIZACIÓN DE PATRONES SEDIMENTOLÓGICOS .....	13
3.1 FENÓMENO DE EROSIÓN .....	13
3.2 RÉGIMEN SEDIMENTOLÓGICO, BZDIGIAN ET AL.....	14
4. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	19
4.1 CUENCA DEL RÍO MAIPO .....	19
4.2 CUENCA DEL RÍO CACHAPOAL.....	21
4.3 CUENCA DEL RÍO TENO.....	23
4.4 CUENCA DEL RÍO BÍO BÍO.....	24
4.5 RESUMEN DESCRIPCIÓN DE LOS ANTECEDENTES .....	27
5. PATRONES SEDIMENTOLÓGICOS.....	30
5.1 CUENCA DEL MAIPO, ESTACIÓN RÍO COLORADO ANTES JUNTA MAIPO .....	31
5.2 CUENCA DEL CACHAPOAL, ESTACIÓN RÍO CACHAPOAL EN PUENTE TERMAS DE CAUQUENES .....	38
5.3 CUENCA DEL TENO, ESTACIÓN RÍO CLARO EN LOS QUEÑES.....	44
5.4 CUENCA DEL RÍO BÍO BÍO.....	48
5.4.1 Cuenca del río Bío Bío, estación río Bío Bío en Rucalhue – San Pedro.....	50
5.4.2 Cuenca del río Bío Bío, estación río Bío Bío en Rucalhue – Puente Queuco.....	54
5.4.3 Cuenca del río Bío Bío, estación río Bío Bío en Llanquén .....	57
6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	63
6.1 ANÁLISIS DE LOS PATRONES SEDIMENTOLÓGICOS .....	63
6.1.1 Cuenca del río Maipo.....	63

6.1.2	Cuenca del río Cachapoal .....	64
6.1.3	Cuenca del río Teno .....	64
6.1.4	Cuenca del río Bío Bío.....	64
6.2	ANÁLISIS DE LAS CUENCAS .....	66
6.2.1	Análisis cuenca del Maipo, estación río Colorado antes junta Maipo .....	66
6.2.2	Análisis cuenca del Cachapoal, estación río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes .....	69
7.	MODELACIÓN NUMÉRICA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS .....	71
7.1	FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	71
7.1.1	Iber .....	71
7.1.2	Módulo hidrodinámico.....	71
7.1.3	Módulo de transporte sólido no-estacionario.....	73
7.2	PREPARACIÓN DEL MODELO .....	75
7.3	MODELACIÓN.....	84
7.4	PROPUESTA DE TRABAJO .....	87
8.	DISCUSIONES.....	89
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	96
11.	ANEXOS .....	97
	ANEXO 1. CAUDALES MEDIOS MENSUALES. BZIDIGIAN ET AL, 1989.....	97
	ANEXO 2. GASTO SÓLIDO EN SUSPENSIÓN MEDIOS MENSUALES. BZDIGIAN ET AL, 1989. ....	101
	ANEXO 3. CAUDALES MEDIOS MENSUALES, SERIE ACTUALIZADA.....	105
	ANEXO 4. GASTO SÓLIDO EN SUSPENSIÓN MEDIO MENSUAL, SERIE ACTUALIZADA.....	111
	ANEXO 5. DATOS DIARIOS MEDIDOS.....	116
	ANEXO 6. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS CUENCAS .....	121

## Índice de figuras

<i>Figura 1. Cuenca del Río Maipo, estación Río Colorado ante junta Río Maipo, ubicación geográfica. ....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2. Cuenca del Río Cachapoal, estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, ubicación geográfica. ....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. Cuenca del Río Teno, estación río Claro en Los Queñes, ubicación geográfica. ....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4. Cuenca del Río Bío Bío, estación río Bío Bío en Rucalhue, ubicación geográfica. ....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 5. Cuenca del Río Bío Bío, estación río Bío Bío en Llanquén, ubicación geográfica. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 6. Cuenca del río Colorado ante junta río Maipo. Delimitación de cuenca, línea de nieve y cauces aportantes. ....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 7. Cuenca del río Colorado ante junta río Maipo. Estaciones meteorológicas. ....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 8. Geometría visualizada en Iber, considerando área, cauces principales, cauces aportantes y línea de nieve de la cuenca. ....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 9. Geometría visualizada en Iber, considerando sólo cauces principales. ....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 10. Malla visualizada en Iber. Modelo simplificado para modelado del río Olivares y río Colorado. ....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 11. Cuenca del río Colorado ante junta río Maipo. Puntos de extracción de caudal para generación eléctrica en la central Alfalfal. ....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 12. Malla visualizada en Iber. Modelo final para respuesta de caudales de la cuenca del río Colorado ante junta río Olivares. ....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 13. Resultados de calado visualizados en Iber. Modelo final para respuesta de caudales de la cuenca del río Colorado ante junta río Olivares. ....</i>	<i>86</i>

## Índice de gráficos

<i>Gráfico 1. Distribución temporal de concentración en la estación Río Colorado antes junta Maipo, asociada a la data nueva extraída. ....</i>	<i>31</i>
<i>Gráfico 2. Distribución temporal de caudales en la estación Río Colorado antes junta Maipo, asociada a la data nueva extraída. ....</i>	<i>32</i>
<i>Gráfico 3. Curva de descarga, estación Río Colorado antes junta Maipo, asociada a la data nueva extraída. ....</i>	<i>33</i>
<i>Gráfico 4. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie del estudio de 1985, desde 1970 al 1982; y data nueva, desde 1985 a 2010, estación Río Colorado antes junta Maipo. ....</i>	<i>34</i>
<i>Gráfico 5. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo (septiembre a marzo), serie del estudio de 1985, desde 1970 al 1982; y data nueva, desde 1985 a 2010, estación Río Colorado antes junta Maipo. ....</i>	<i>34</i>
<i>Gráfico 6. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial (Abril Agosto), serie del estudio de 1985, desde 1970 al 1982; y data nueva, desde 1985 a 2010, estación Río Colorado antes junta Maipo. ....</i>	<i>35</i>
<i>Gráfico 7. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie extendida, estación Río antes junta Maipo. ....</i>	<i>36</i>
<i>Gráfico 8. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo estacional invierno, serie extendida, estación Río Colorado antes junta Maipo. ....</i>	<i>36</i>
<i>Gráfico 9. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo estacional verano, serie extendida, estación Río Colorado antes junta Maipo. ....</i>	<i>37</i>
<i>Gráfico 10. Distribución temporal de concentración en la estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, asociada a la data nueva extraída. ....</i>	<i>38</i>
<i>Gráfico 11. Distribución temporal de caudal en la estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, asociada a la data nueva extraída. ....</i>	<i>39</i>



Gráfico 12. Distribución temporal de caudal en la estación Canal Sauzal, asociada a la data nueva extraída. ....	39
Gráfico 13. Distribución temporal de caudal en la cuenca del Cachapoal, asociada a la data nueva extraída. ....	40
Gráfico 14. Curva de descarga, estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, asociada a la data nueva extraída. ....	41
Gráfico 15. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie del estudio de 1985, desde 1974 al 1982; y data nueva, desde 2003 a 2018, estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, con serie total de caudal líquido y sólido. ....	42
Gráfico 16. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo (septiembre a marzo), serie del estudio de 1985, desde 1974 al 1982; y data nueva, desde 2003 a 2008, estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, con serie total de caudal líquido y sólido. ....	42
Gráfico 17. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial (abril a agosto), serie del estudio de 1985, desde 1974 al 1982; y data nueva, desde 2003 a 2008, estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, con serie total de caudal líquido y sólido. ....	43
Gráfico 18. Distribución temporal de concentración en la estación Río Claro en Los Queñes, asociada a la data nueva extraída. ....	44
Gráfico 19. Distribución temporal de caudales en la estación Río Claro en Los Queñes, asociada a la data nueva extraída. ....	44
Gráfico 20. Curva de descarga, estación Río Claro en Los Queñes, asociada a la data nueva extraída. ....	45
Gráfico 21. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie del estudio de 1985, desde 1977 al 1982; y data nueva, desde 1982 a 2019, estación Río Claro en Los Queñes. ....	46
Gráfico 22. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie 1985 y data nueva, en intervalos de 5 años, estación Río Claro en Los Queñes. ....	46
Gráfico 23. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie 1985 y data nueva, en intervalos de 5 años luego del cambio de patrón, estación Río Claro en Los Queñes. ....	47
Gráfico 24. Distribución temporal de concentración en la estación Río Bío Bío en Rucalhue, asociada a la data nueva extraída. ....	48
Gráfico 25. Distribución temporal de caudal en la estación Río Bío Bío en Rucalhue, asociada a la data nueva extraída. ....	48
Gráfico 26. Curva de descarga, estación Río Bío Bío en Rucalhue, asociada a la data nueva extraída. ....	49
Gráfico 27. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie del estudio de 1985, desde 1964 al 1981; y data nueva, desde 1985 a 2006, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Bío Bío en San Pedro. ....	50
Gráfico 28. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo (septiembre a marzo), serie del estudio de 1985, desde 1964 al 1981; y data nueva, desde 1985 a 2006, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Bío Bío en San Pedro. ....	51
Gráfico 29. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial (abril a agosto), serie del estudio de 1985, desde 1964 al 1981; y data nueva, desde 1985 a 2006, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Bío Bío en San Pedro. ....	51
Gráfico 30. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie extendida, estación Río Bío Bío en Rucalhue. ....	52
Gráfico 31. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo, serie extendida, estación Río Bío Bío en Rucalhue. ....	53
Gráfico 32. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial, serie extendida, estación Río Bío Bío en Rucalhue. ....	53
Gráfico 33. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie del estudio de 1985, desde 1964 al 1982; y data nueva, desde 1985 a 2006, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Bío Bío en Puente Queuco. ....	54

Gráfico 34. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo (septiembre a marzo), serie del estudio de 1985, desde 1964 al 1982; y data nueva, desde 1985 a 2006, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Bío Bío en Puente Queuco.....	55
Gráfico 35. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial (abril a agosto), serie del estudio de 1985, desde 1964 al 1982; y data nueva, desde 1985 a 2006, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Bío Bío en Puente Queuco.....	55
Gráfico 36. Distribución temporal de concentración en la estación Río Bío Bío en Llanquén, asociada a la data nueva extraída.....	57
Gráfico 37. Distribución temporal de caudal en la estación Río Bío Bío en Llanquén, asociada a la data nueva extraída.....	57
Gráfico 38. Curva de descarga, estación Río Bío Bío en Llanquén, asociada a la data nueva extraída.....	58
Gráfico 39. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie del estudio de 1985, desde 1965 al 1981; y data nueva, desde 2003 a 2018, estación Río Bío Bío en Llanquén.....	59
Gráfico 40. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo (septiembre a marzo), serie del estudio de 1985, desde 1965 al 1981; y data nueva, desde 2003 a 2018, estación Río Bío Bío en Llanquén.....	59
Gráfico 41. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial (abril a agosto), serie del estudio de 1985, desde 1965 al 1981; y data nueva, desde 2003 a 2018, estación Río Bío Bío en Llanquén.....	60
Gráfico 42. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie extendida, estación Río Bío Bío en Llanquén.....	61
Gráfico 43. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo, serie extendida, estación Río Bío Bío en Llanquén.....	61
Gráfico 44. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial, serie extendida, estación Río Bío Bío en Llanquén.....	62
Gráfico 45. Distribución temporal de gasto sólido en suspensión, comparación de los datos medidos y calculados por los patrones sedimentológicos en unidades de [Ton/día].....	68
Gráfico 46. Distribución temporal de gasto sólido en suspensión, comparación de los datos medidos y calculados por los patrones sedimentológicos estacionales.....	69
Gráfico 47. Temperatura medida en las estaciones de la cuenca del río Colorado en los eventos estudiados del mes de marzo, extrapolados interceptando recta equivalente a 1 °C.....	78
Gráfico 48. Serie temporal de caudales medios diarios medidos por las estaciones de la Dirección General de Aguas en la cuenca del río Maipo. 10 de marzo en datos cada una hora.....	83
Gráfico 49. Serie temporal de caudales diarios entregados por la simulación en Iber para la cuenca del río Colorado ante junta río Maipo en las 3 estaciones de control consideradas por la DGA.....	85
Gráfico 50. Primer acercamiento a resultados de la calibración de transporte de sólidos en suspensión en Iber, cuenca del río Colorado antes junta río Maipo.....	87

## Índice de tablas

Tabla 1. Estaciones estudiadas por (Bzdigian, et al., 1985).....	14
Tabla 2. Estaciones estudiadas por (Bzdigian, et al., 1985). Parámetros morfológicos.....	15
Tabla 3. Comparación entre las estaciones estudiadas por (Bzdigian, et al., 1985), y la vigencia entregada por los servicios de la Dirección General de Aguas, en función de la información fluviométrica o sedimentométrica registrada.....	17
Tabla 4. Estaciones estudiadas por (Bzdigian, et al., 1985), en función de su vigencia actual al año 2021. Ubicación geográfica.....	18
Tabla 5. Estaciones estudiadas por (Bzdigian, et al., 1985), y su correspondencia a estaciones vigentes, en función de su vigencia actual al año 2021. Ubicación Geográfica.....	18

<i>Tabla 6. Parámetros de información morfológica de la cuenca del río Maipo, asociado a la estación Río Colorado antes junta Río Maipo.</i>	19
<i>Tabla 7. Parámetros de información morfológica de la cuenca del río Cachapoal, asociado a la estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes.</i>	21
<i>Tabla 8. Parámetros de información morfológica de la cuenca del río Teno, asociado a la estación Río Claro en Los Queñes.</i>	23
<i>Tabla 9. Parámetros de información morfológica de la cuenca del río Bío Bío, asociado a la estación Río Bío Bío en Rucalhue.</i>	24
<i>Tabla 10. Ubicación de las centrales hidroeléctricas de Pangué, Ralco y Angostura. Información de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH).</i>	25
<i>Tabla 11. Parámetros de información morfológica de la cuenca del río Bío Bío, asociado a la estación Río Bío Bío en Llanquén.</i>	26
<i>Tabla 12. Cuencas y estaciones registradas en el estudio de (Bzdigian, et al., 1985) que han mantenido sus mediciones.</i>	28
<i>Tabla 13. Cuencas y estaciones de la Dirección General de Aguas relacionadas al estudio de (Bzdigian, et al., 1985) con parámetros recalculados.</i>	28
<i>Tabla 14. Valores de las constantes A y B, discretizadas por año calendario, periodos estacionales, serie 1985, serie con data nueva y serie extendida, estación Río Colorado antes junta Maipo.</i>	37
<i>Tabla 15. Valores de las constantes A y B, discretizadas por año calendario, periodos estacionales, serie 1985, serie con data nueva y serie extendida, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Río Bío Bío en San Pedro.</i>	54
<i>Tabla 16. Valores de las constantes A y B, discretizadas por año calendario, periodos estacionales, serie 1985, serie con data nueva y serie extendida, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Río Bío Bío en Puente Queuco.</i>	56
<i>Tabla 17. Valores de las constantes A y B, discretizadas por año calendario, periodos estacionales, serie 1985, serie con data nueva y serie extendida, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Río Bío Bío en Llanquén.</i>	62
<i>Tabla 18. Cuenca del río Colorado ante junta río Maipo. Estaciones meteorológicas, valores medidos de temperatura para el evento a modelar, en unidades de °C.</i>	78
<i>Tabla 19. Datos de área captados por las estaciones del río Colorado y río Olivares, en conjunto con el caudal esperado en función del rendimiento de caudales.</i>	83

## **Índice de Anexos**

<i>Anexo 1. Caudal medio mensual, estación Colorado en Desembocadura, información del documento "Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989."</i>	97
<i>Anexo 2. Caudal medio mensual, estación Cachapoal en puente Termas, información del documento "Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989."</i>	97
<i>Anexo 3. Caudal medio mensual, estación Claro en Los Queñes, información del documento "Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989."</i>	98
<i>Anexo 4. Caudal medio mensual, estación Bío Bío en San Pedro, información del documento "Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989."</i>	98
<i>Anexo 5. Caudal medio mensual, estación Bío Bío en Puente Queuco, información del documento "Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989."</i>	99
<i>Anexo 6. Caudal medio mensual, estación Bío Bío antes junta con Llanquén, información del documento "Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989."</i>	100
<i>Anexo 7. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Colorado en desembocadura, información del documento "Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989."</i>	101

Anexo 8. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Cachapoal en puente Termas, información del documento "Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989."	101
Anexo 9. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Claro en Los Queñes, información del documento "Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989."	102
Anexo 10. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Bío Bío en San Pedro, información del documento "Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989."	102
Anexo 11. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Bío Bío en Puente Queuco, información del documento "Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989."	103
Anexo 12. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Bío Bío antes junta con Llanquén, información del documento "Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989."	104
Anexo 13. Caudal medio mensual, estación Colorado en Desembocadura, serie actualizada.	105
Anexo 14. Caudal medio mensual, estación Cachapoal en puente Termas, serie actualizada.	106
Anexo 15. Caudal medio mensual, estación Canal Sauzal, serie actualizada.	106
Anexo 16. Caudal medio mensual, caudal total cuenca del Cachapoal, serie actualizada.	107
Anexo 17. Caudal medio mensual, estación Claro en Los Queñes, serie actualizada.	108
Anexo 18. Caudal medio mensual, estación Bío Bío en Rucalhue, serie actualizada.	109
Anexo 19. Caudal medio mensual, estación Bío Bío antes junta con Llanquén, serie actualizada.	110
Anexo 20. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Colorado en Desembocadura, serie actualizada.	111
Anexo 21. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Cachapoal en puente Termas, serie actualizada.	112
Anexo 22. Gasto sólido en suspensión medio mensual, cuenca del Cachapoal, serie actualizada.	112
Anexo 23. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Claro en Los Queñes, serie actualizada.	113
Anexo 24. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Bío Bío en Rucalhue, serie actualizada.	114
Anexo 25. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Bío Bío antes junta con Llanquén, serie actualizada.	115
Anexo 26. Número de datos diarios medidos, estación Río Maipo en Desembocadura, serie actualizada.	116
Anexo 27. Número de datos diarios medidos, estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, serie actualizada.	117
Anexo 28. Número de datos diarios medidos, estación Canal Sauzal, serie actualizada.	117
Anexo 29. Número de datos diarios medidos, estación Río Claro en Los Queñes, serie actualizada.	118
Anexo 30. Número de datos diarios medidos, estación Río Bío Bío en Rucalhue, serie actualizada.	119
Anexo 31. Número de datos diarios medidos, estación Río Bío Bío en Llanquén, serie actualizada.	120
Anexo 32. Ubicación geográfica, región Metropolitana y del libertador Bernardo O'Higgins	121
Anexo 33. Ubicación geográfica, región del Maule	122
Anexo 34. Ubicación geográfica, región del Bío Bío	123

## **RESUMEN**

En el cuerpo de este documento se tratarán los antecedentes, tanto bibliográficos de estudios anteriores relevantes al área, como de la recopilación propia de la data necesaria para llevar a cabo la actualización de patrones sedimentológicos en las cuencas andinas del país. Con lo anterior realizado, se debe comenzar a ver cuál es el alcance real que se puede obtener del estudio mismo, acotando las cuencas que son relevantes en base a la continuidad de los registros de datos y de la información que se pueda obtener de los softwares de georreferenciación ligado al análisis morfométrico. Todo lo anterior directamente relacionado a la red de estaciones fluviométricas, meteorológicas y sedimentométricas dispuesta por la Dirección General de Aguas (DGA) en el largo y ancho del territorio nacional. Con la data necesaria, se calculan nuevas correlaciones entre el caudal líquido y el sólido, para las nuevas series temporales y en los periodos correspondientes. Dicho lo anterior, se toman las decisiones respectivas hacia donde está dirigido el trabajo, se comparan los datos con estudios anteriores y, en conjunto, sumar los antecedentes de cálculos que son complementarios, esto debido a que el cambio en los patrones sedimentológicos puede haber variado por razones ambientales, climáticas o antrópicas, finalizando este documento con la actualización de patrones sedimentológicos y la comparación con los valores anteriores. Finalmente, se propondrá un modelo numérico que responda al transporte de sedimentos de la cuenca, modelado en el software Iber 3.1, como propuesta metodológica para una cuenca seleccionada, con opciones de replicarse a las demás con sus respectivas consideraciones.

**PALABRAS CLAVE:** Patrones sedimentológicos, Cuencas Chilenas, Hidráulica, Iber.

## **ABSTRACT**

The body of this document will deal with the background of both, bibliographical of previous studies relevant to the area, as well as the collection of necessary data to carry out the updating of sedimentological patterns in the Andean basins of the country. With the above done, it's time to start seeing what's the real scope that can be obtained from the study itself, narrowing the basins that are relevant based on the continuity of the recorded data and the information that can be obtained from the georeferencing softwares linked to the morphometric analysis. All of the above is directly linked to the network of fluviometric, meteorological and sedimentometric stations arranged by the "Dirección General de Aguas" (DGA) throughout the length and width of the national territory. With the necessary data, new correlations are calculated between the liquid and solid flow, for the new time series and in the corresponding periods. Said the above, the respective decisions are made directed towards the work, the data are compared with previous studies and, together, add the background of calculations that are complementary, this is because the change in the sedimentological patterns may have varied for environmental, climatic or anthropic reasons, finishing this document with the updating of sedimentological patterns and the comparison with previous values. Finally, a numerical model that responds to the sediment transport of the basin, modeled in the Iber 3.1 software, will be proposed as a methodological proposal for a selected basin, with options to replicate to the others with their respective considerations.

**KEYWORDS:** Sedimentological patterns, Andean watersheds, hydraulic, Iber.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por el apoyo y amor a la distancia. A mis amigos, por la unión y soporte en estos tiempos difíciles. A CONIC-BF quienes, de manera desinteresada, estuvieron aportando en la parte geográfica y teórica. Al instituto Flumen, por recibirme y acompañarme. A Don Alejandro López y Gabriel Castro, pues en las peores reuniones, siempre terminamos con una sonrisa. No importa que tan buenos seamos en nuestro trabajo, si no podemos hacerlo sonriendo.

## 1. INTRODUCCIÓN

Es de gran importancia tener conocimiento del régimen sedimentológico de una cuenca, dada la incidencia que tiene la producción de sedimentos en el aprovechamiento y desarrollo de los recursos naturales de una cuenca geográfica. Es tanto así, que la sedimentación en estas hoyas está asociada con aspectos relacionados con pérdidas de suelos para cultivos, embanques de obras de riego, pérdida de calidad de agua destinada a consumo, entre otros grandes usos.

Hoy, en la extensión del territorio nacional existe una red sedimentométrica diseñada con el fin de mantener registro en estos usos, monitoreadas principalmente por la Dirección General de Aguas, a través de muestreos rutinarios automatizados.

Conectando lo anterior a un punto más matemático, la manera más directa de evaluar el gasto sólido provocado por la sedimentación de una cuenca y determinar el fenómeno en el comportamiento sedimentológico en un cauce se genera a través de relaciones entre el caudal que este transporta y parámetros representativos de la cuenca.

El principal eje de este estudio consiste en, basado en trabajos anteriores con el mismo propósito, calcular los patrones sedimentológicos de un grupo de cuencas seleccionadas, recalculando los patrones sedimentológicos de estas cuencas con herramientas más modernas y con parámetros más precisos, comprobar si el comportamiento es el mismo o si ha variado y ver cuáles son las magnitudes y actores de estos cambios. La primicia en este proyecto consiste en que el cambio como tal si existe, principalmente por acciones antrópicas de extracción de áridos, desarrollos de embalses, y el cada vez más latente cambio climático.

Este documento presentará una propuesta de nuevos patrones, en función de una data nueva y de una serie total extendida. Se estudiará el cambio de las estaciones, las variaciones en la morfología y en la magnitud de la información fluviométrica, finalizando el documento con un apartado para una metodología de trabajo de modelo de ríos en Iber y su aplicación a calibrar un modelo que pueda simular el comportamiento de transporte de caudal sólido.

## **2. OBJETIVOS**

El objetivo general de este estudio se orienta en el cálculo de los patrones sedimentológicos de un número de cuencas de Chile central, recopilando los antecedentes fluviométricos, meteorológicos, sedimentométricos y geomorfológicos necesarios para el cálculo, de tal manera de proponer una nueva cuantización matemática de patrones sedimentológicos, generando relaciones en el cambio que se ha producido en los últimos 30 años.

Los objetivos específicos se pueden describir en estudiar el comportamiento y la variación que ha tenido la relación entre el caudal líquido y el sólido, comparando el estudio realizado en el año 1985, descrito en el cuerpo del informe.

Con lo anterior desarrollado, se realizará un capítulo especial para una propuesta de un modelo numérico en Iber, con futuro de calibrar un modelo computacional que dé respuesta a los valores medidos por las estaciones pluviométricas para el estudio de la generación de sedimentos en estas cuencas.



## **CONTENIDO**

Este documento se dividirá en los siguientes apartados:

En el capítulo 3, sección que lleva el nombre de este documento, se da comienzo con la descripción previa al inicio del trabajo, teniendo como contenido la base teórica conceptual de transporte de sedimentos en el apartado 3.1, referencia del estudio a comparar e información disponible en el apartado 3.2.

En el capítulo 4, se presentarán los antecedentes recopilados, tanto morfológicos como fluviométricos, para las cuencas a trabajar, en las series temporales necesarias.

En el capítulo 5, se desarrollará todo el apartado matemático asociado al cálculo de los nuevos patrones sedimentológicos, con las respectivas bases de la información hidráulica de cada cuenca.

En el capítulo 6, se presentará el análisis de los patrones determinados, así como un estudio en detalle que sirve como propuesta de trabajo para todas las cuencas sobre las variaciones presentadas en el capítulo 4.

En el capítulo 7, se presentará la aplicación de los modelos numéricos de Iber con objeto de un primer acercamiento a la calibración de transporte de sedimentos en las cuencas.

En el capítulo 8, se desarrollarán las discusiones asociadas a los resultados obtenidos, tanto de los capítulos que hacen referencia a la información disponible, metodología a utilizar, matemática de los patrones sedimentológicos y de la aplicación en modelación numérica.

En el capítulo 9, se cerrará el documento con las conclusiones, recomendaciones y propuestas para la continuación de este documento.

Se presentará un apartado final para las referencias bibliográficas y anexos adjuntos al trabajo de esta investigación.

### **3. ACTUALIZACIÓN DE PATRONES SEDIMENTOLÓGICOS**

#### **3.1 FENÓMENO DE EROSIÓN**

Se entiende por sedimento a todas las partículas de suelo y roca dentro de una cuenca que son arrastradas y a la vez transportadas por una corriente de agua.

Con base a su comportamiento, cuando es transportado por el flujo, el sedimento apreciable se diferencia en dos grupos principales: el sedimento del fondo y el de lavado. Al estudiar una sección de río, el sedimento del fondo es el material que da forma al nivel inferior o alveo del cauce, mientras que el segundo no se considera, pues es el que es transportado como sólido en suspensión (Maza & García, 1996). (Oneto, et al., 2013)

La producción de sedimentos en una cuenca es el resultado de una línea de procesos, que dan origen a lo que se conoce como “Régimen Sedimentológico de la Cuenca”. Estos procesos se conocen como: erosión, transporte, incorporación a algún cauce del sedimento erosionado, depositación y compactación de sedimentos.

Por lo tanto, la respuesta que tendrá cada cuenca se ve representada por la respuesta que tiene esta partícula en suspensión frente a estímulos de elementos o agentes. Ejemplos como el agua, el viento, los glaciares, la gravedad, etc., condicionan el comportamiento, generando una respuesta superpuesta de sus efectos.

El fenómeno de producción de sedimentos se inicia con el proceso de erosión, mediante el cual el suelo pierde parte de sus elementos debido a la acción de agentes erosivos, los cuales remueven partículas de su lugar de origen o depositación.

El agua, como primer agente erosivo, actúa principalmente a través de las precipitaciones y de la escorrentía superficial. Las precipitaciones intervienen en el fenómeno a través del impacto de las gotas de lluvia, que a su vez se suman en la escorrentía superficial que va al cauce.

El impacto de las gotas remueve los agregados del suelo y salpica material en todas direcciones. Si bien las gotas de lluvia tienen un gran potencial para remover el suelo, su capacidad para transportarlo directamente es reducida. Sin embargo, la capacidad de la escorrentía superficial, para transportar el suelo removido, se ve aumentada con la velocidad impuesta por el impacto de la precipitación.

La escorrentía superficial se produce cuando la intensidad de lluvia o el derretimiento de la nieve depositada en la superficie de la cuenca es mayor que la tasa de infiltración del suelo, o cuando la escorrentía subsuperficial vuelve a la superficie.

Cuando una gota de lluvia golpea una delgada capa de agua, esta es presionada en todas direcciones desde el punto de impacto. La energía resultante del cambio de velocidad puede ser suficiente para mover partículas sueltas una distancia pertinente. El monto de la variación de la velocidad dependerá tanto del tamaño de la gota como del espesor de la capa de agua.

El viento también agrega una fuerza extra al impacto de las gotas de lluvia e influye en la distribución y cantidad de las lluvias. Su participación suele ser mayor en suelos secos y con poca cubierta vegetal.

El ciclo congelamiento derretimiento también es participe provocando disgregación del suelo y acelerando la erosión. No obstante, el arrastre ocasionado por la escorrentía de derretimiento suele medirse en menor que originado por la lluvia.

Por último, la gravedad como agente en el proceso de erosión actúa directa o indirectamente. En el primer caso lo hace mediante desmoronamientos que se producen en laderas inestables o de gran pendiente originando fenómenos llamados remoción en masa. Indirectamente actúa a través del escurrimiento del agua puesto que es la fuerza motriz que posibilita el flujo en superficie libre.

### 3.2 RÉGIMEN SEDIMENTOLÓGICO, BZDIGIAN ET AL.

En el año 1985, Bzdigian et Al, realizaron un trabajo donde se estudiaron cuencas andinas en la zona central del país (Bzdigian, et al., 1985). Este estudio consideró la cuantización del régimen sedimentológico de estas cuencas en función de la siguiente expresión:

$$GS = A \cdot Q^B \quad (1)$$

Donde GS equivale al gasto sólido en suspensión, Q al caudal medido, A y B a parámetros que están en función de las características propias de la cuenca, tales pueden ser el área, la pendiente media, el número de cauces, entre las descritas en su trabajo (López & Bzdigian, 1985).

De manera más concreta, (Bzdigian, et al., 1985) realizó su estudio con las siguientes estaciones:

Tabla 1. Estaciones estudiadas por (Bzdigian, et al., 1985).

Cuenca	Estación
Maipo	Maipo en Queltehues
	Colorado en Desembocadura
Rapel	Cachapoal en Puente Termas
Teno	Teno en los Queñes
	Claro en Los Queñes
Maule	Maule en Los Baños
	Maule en Armerillo
	Melado en La Lancha
Bío Bío	Bío Bío antes Junta Llanquén
	Bío Bío en San Pedro
	Melalcura antes del Puente
	Trubunleo bajo El Salto
	Polcura en Balseadero
	Pichipolcura en Lo Gatica
	Queuco en Puente Queuco

En la Tabla 1, donde se presentan las estaciones estudiadas por el autor para el cálculo del régimen sedimentológico de las cuencas, son las consideradas en el año 1985, por lo que fue necesario determinar la vigencia de estas mismas para el estudio propio, detalles que serán entregados al final de este mismo apartado.

Dentro de las cuencas estudiadas, se tiene registro de los parámetros morfológicos determinados por (Bzdigian, et al., 1985), los cuales se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 2. Estaciones estudiadas por (Bzdigian, et al., 1985). Parámetros morfológicos.

Cuenca	Estación	Área [Km <sup>2</sup> ]	Longitud cuenca [Km]	Pendiente media [%]	Altura media [m.s.n.m]	Nº cauces	Longitud de cauces [Km]
Maipo	Maipo en Queltehues	1487	60	7	2985	85	489
	Colorado en Desembocadura	2157	65	5	3402	75	466
Rapel	Cachapoal en Puente Termas	2367	66	1.7	2527	50	260
Teno	Teno en los Queñes	832	96	2.4	1953	18	160
	Claro en Los Queñes	2350	35	1.2	1342	12	85
Maule	Maule en Los Baños	1226	45	2.2	1986	16	160
	Maule en Armerillo	5454	35	3.9	1745	35	370
	Melado en La Lancha	2200	90	4	2010	16	350
Bío Bío	Bío Bío antes Junta Llanquén	3511	80	1.3	1567	28	320
	Bío Bío en San Pedro	5420	115	1.3	1542	50	620
	Melalcura antes del Puente	25	15	14	1580	3	20
	Trubunleo bajo El Salto	20	9	20	1880	2	12
	Polcura en Balseadero	888	50	2.5	1636	16	215
	Pichipolcura en Lo Gatica	81	16	6.3	1290	4	25
	Queuco en Puente Queuco	976	50	3.8	1425	16	210

El área de la cuenca es un factor de importancia en los procesos de erosión y transporte de sedimentos.

En efecto, cuencas con superficies extensas, con seguridad presentarán variaciones de dichas características, lo que significará una respuesta sedimentológica heterogénea de la cuenca (López & Bzdigian, 1988). En materia concreta, una mayor o menor superficie de una cuenca puede resultar en diferencias del tipo de precipitación (presencia de lluvias del tipo convectiva), su intensidad, en sus variables geomorfológicas, como puede ser la pendiente, altura media, red de drenaje, o en su constitución y cobertura de suelos.

La altura de la cuenca, representada por su altura media, incide particularmente en el fenómeno, condicionado el tipo y magnitud de las precipitaciones, y la temperatura, que a su vez establecen el régimen hidrológico predominante de la cuenca. También condicionará el tipo de vegetación que cubre su superficie, ya que cuencas altas las cubiertas vegetales son de poca importancia, mientras que cuencas de menor altura posibilitan el crecimiento de árboles arbustos.

Otro fenómeno relacionado con la altura está representado por la erosión producida por los ciclos hielo-deshielo, debido a las diferencias de temperaturas que se producen en las cuecas entre el día y la noche.

La pendiente media de la cuenca tiene una clara incidencia en el fenómeno principalmente a través de condicionar la capacidad de erosión y arrastre de la red de drenaje y de escorrentía superficial, ya que, a mayor pendiente, mayor es el potencial erosivo del escurrimiento, y la capacidad de arrastre de este.

La cobertura vegetal reviste una gran importancia en los procesos de erosión y transporte de sedimentos. En general, una adecuada cubierta vegetal constituye una conveniente protección del suelo de una cuenca, aminorando los efectos de los agentes erosivos hídricos y eólicos. Sin embargo, cuando debido a la cubierta vegetal hay sobresaturación del suelo, pueden producirse fenómenos de remoción en masa.

Los parámetros entregados en la Tabla 2 hacen relación a la morfología de las cuencas. Como se menciona en el comienzo de este capítulo, los parámetros A y B de la Ecuación (1), son variables en función de la morfología de las cuencas, de tal manera que (Bzdigian, et al., 1985) realizó un análisis de regresión múltiple para cuantificar la importancia de estos parámetros en los coeficientes determinados en su estudio.

Aun siendo desconocido el alcance real de este trabajo, se realizaron un paso previo para ver en qué posición se encuentra el autor para poder realizar los cálculos. Este consiste en determinar cuáles son las estaciones que continúan vigentes o que tuvieron una extensión en las mediciones finalizado el periodo de estudio de (Bzdigian, et al., 1985) en su trabajo (fin de series en 1982).

Las estaciones que se presentarán a continuación tienen una medición de caudal líquido y sólido a nivel diario, siendo el caudal líquido en unidades de  $[m^3/s]$  y el caudal sólido en unidades de  $[Ton/día]$ .

En el siguiente cuadro, y respaldado por la información disponible por la DGA en sus servicios web, se realizó la correlación de estaciones, resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 3. Comparación entre las estaciones estudiadas por (Bzdigian, et al., 1985), y la vigencia entregada por los servicios de la Dirección General de Aguas, en función de la información fluviométrica o sedimentométrica registrada.

Cuenca	Estación Bzdigian 1985	Estación DGA 2021	Tipo de medición
Maipo	Maipo en Queltehues	Río Maipo en Queltehues	Caudal
	Colorado en Desembocadura	Río Colorado antes junta río Maipo	Caudal - Gasto sólido
Rapel	Cachapoal en Puente Termas	Río Cachapoal en Puente Termas de Cauquenes	Caudal - Gasto sólido
Teno	Teno en los Queñes	Río Teno en Los Queñes	Caudal
	Claro en Los Queñes	Río Claro en Los Queñes	Caudal - Gasto sólido
Maule	Maule en Los Baños	Río Maule en Los Baños	Caudal
	Maule en Armerillo	Río Maule en Armerillo	Caudal
	Melado en La Lancha	Río Melado en La Lancha DGA	Caudal
Bío Bío	Bío Bío antes Junta Llanquén	Río Bío Bío en Llanquén	Caudal - Gasto sólido
	Bío Bío en San Pedro	Río Bío Bío en San Pedro	Caudal - Gasto sólido
	Melalcura antes del Puente	-	-
	Trubunleo bajo El Salto	-	-
	Polcura en Balseadero	-	-
	Pichipolcura en Lo Gatica	Río Polcura en cuatro junta	Caudal
	Queuco en Puente Queuco	Río Queuco en puente Nitrao	Caudal

En la Tabla 3, las estaciones de la columna Estaciones DGA 2021 hacen referencia a la correspondencia a la fecha de este documento con los cuales se pueden trabajar las estaciones mencionadas por (Bzdigian, et al., 1985). A pesar de verificar su vigencia, hay que encontrar si la información medida por la estación corresponde al caudal sólido. De esta manera, en la última columna existen tres condiciones: la primera corresponde a que la estación vigente por la DGA tiene mediciones de caudal; la segunda hace referencia a que hay mediciones de caudal y concentración, y por ende de gasto sólido; y la última condición es que la estación no se encuentra vigente, como son los casos de 3 estaciones en la región del Bío Bío.

Sumado a la relación de las estaciones, en conjunto con la información propuesta por la DGA en sus servicios web, se entiende que la estación “Río Bío Bío en Rucalhue” es una estación que cumple con la condición de estar vigente en la medición de gasto sólido en suspensión en el sector de la cuenca que lleva su nombre, de tal manera que será agregada a las correlaciones trabajadas en este informe. Está estación, por la posición en la que se encuentra, puede ser relacionada con la estación de Río Bío Bío en San Pedro y Queuco en puente Queuco.

A modo de resumen, se presentará un primer cuadro con las estaciones seleccionadas para este estudio con sus respectivas ubicaciones, en función de la vigencia en las mediciones del caudal sólido, tal como se representa en las siguientes tablas:

Tabla 4. Estaciones estudiadas por (Bzdigian, et al., 1985), en función de su vigencia actual al año 2021. Ubicación geográfica.

Cuenca	Estación Bzdigian 1985	UTM E	UTM N
Maipo	Colorado en Desembocadura	373481	6283332
Rapel	Cachapoal en Puente Termas	354972	6209001
Teno	Claro en Los Queñes	334283	6121751
Bío Bío	Bío Bío antes Junta Llanquén	297050	5773156
	Bío Bío en San Pedro	272863	5802133
	Queuco en Puente Queuco	266843	5807517

Tabla 5. Estaciones estudiadas por (Bzdigian, et al., 1985), y su correspondencia a estaciones vigentes, en función de su vigencia actual al año 2021. Ubicación Geográfica.

Cuenca	Estación DGA 2021	UTM E	UTM N
Maipo	Río Colorado antes junta río Maipo	372847	6282122
Rapel	Río Cachapoal en Puente Termas de Cauquenes	356632	6209212
Teno	Río Claro en Los Queñes	334603	6125334
Bío Bío	Río Bío Bío en Llanquén	298706	5769399
	Bío Bío en Rucalhue	244162	5822456

Para concluir con este capítulo, la información es suficiente para contextualizar la problemática y la información que, a priori, está disponible. Dentro del capítulo 3 se verá más en detalle la información de las estaciones que se utilizarán para este documento, así como en el capítulo 4 se explicitarán los detalles y consideraciones especiales para llevar a cabo cada cálculo de régimen sedimentológico.

#### 4. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Los antecedentes de este proyecto se subdividieron en 2 categorías principales: los datos obtenidos de los distintos servidores y estudios anteriores; y los datos morfológicos de las cuencas.

Como se presentó en el subcapítulo anterior, este apartado desarrolla el detalle de las cuencas vigentes en medición de caudal sólido.

Para los datos fluviométricos y sedimentológicos, se contó con la información disponibles en los servicios de la red hidrométrica de la DGA. En el desarrollo de cada información, se entregará el detalle de los intervalos de tiempo de los cuales se dispone información, periodos interrumpidos, y la cantidad de datos medidos anualmente. Como (Bzdigian, et al., 1985) realizó su trabajo en función de valores medios mensuales de caudales (ver Anexo A), en estos apartados se entregará un cuadro para los valores medios medidos y para la cantidad de datos con los cuales es realizado el cálculo.

En cuanto a la información morfológica, esta fue obtenida por el autor mediante los softwares de georreferenciación que son populares a la fecha. En esta ocasión en concreto, el programa elegido fue ArcGis.

#### 4.1 CUENCA DEL RÍO MAIPO

En la cuenca del río Maipo, se trabajó con la estación Río Colorado antes junta Río Maipo. En el servicio del banco nacional, cuenta con el registro 05707002-1, código de cuenca 057, subcuenca 0570, subsubcuenca 05707, ubicada en la región Metropolitana, provincia Cordillera, comuna San Jose de Maipo, en base a la información de la Dirección General de Aguas. La ubicación de esta estación es en 372847 UTM E, 6282122 UTM N, con altitud de 890 medida sobre el nivel del mar, latitud 33° 35' 35'', longitud 70° 22' 13''.

Con respecto a la información de la morfología, ante la metodología mencionada la información puede ser sintetizada en el siguiente cuadro:

Tabla 6. Parámetros de información morfológica de la cuenca del río Maipo, asociado a la estación Río Colorado antes junta Río Maipo.

Hoya Río	Cuenca y Estación Sedimentométrica	Área [Km <sup>2</sup> ]	Long. Cuenca [Km]	Pendiente Media [%]	Alt. Media [m.s.n.m.]	Nº Cauces	Longitud Cauces [Km]
Maipo	Río Colorado antes junta Río Maipo	1662.80	72.18	6.90	3427.30	74	645.42

En cuanto a la información de caudales líquidos y niveles de concentración, el intervalo de tiempo del cual se tiene registro comienza en el mes de mayo del año 1985, con mediciones interrumpidas en el año 1991 a 1993, 1998 a 2003, finalizando en Marzo de 2010.

En los Anexos 13, 20 y 26 se ven las mediciones con las cuales se cuenta en base a las data nueva disponible. En los Anexos 1 y 7 se entregan los datos con los cuales se realizaron los cálculos en el documento del 1985; puntualmente en el Anexo 26 se agregan los recuadros que consideran la cantidad de datos con los cuales se realiza la media mensual.



Finalmente, en la Figura 1 se representa la delimitación de la cuenca, donde además se agrega la posición de la estación registrada por (Bzdigian, et al., 1985) y por el autor.

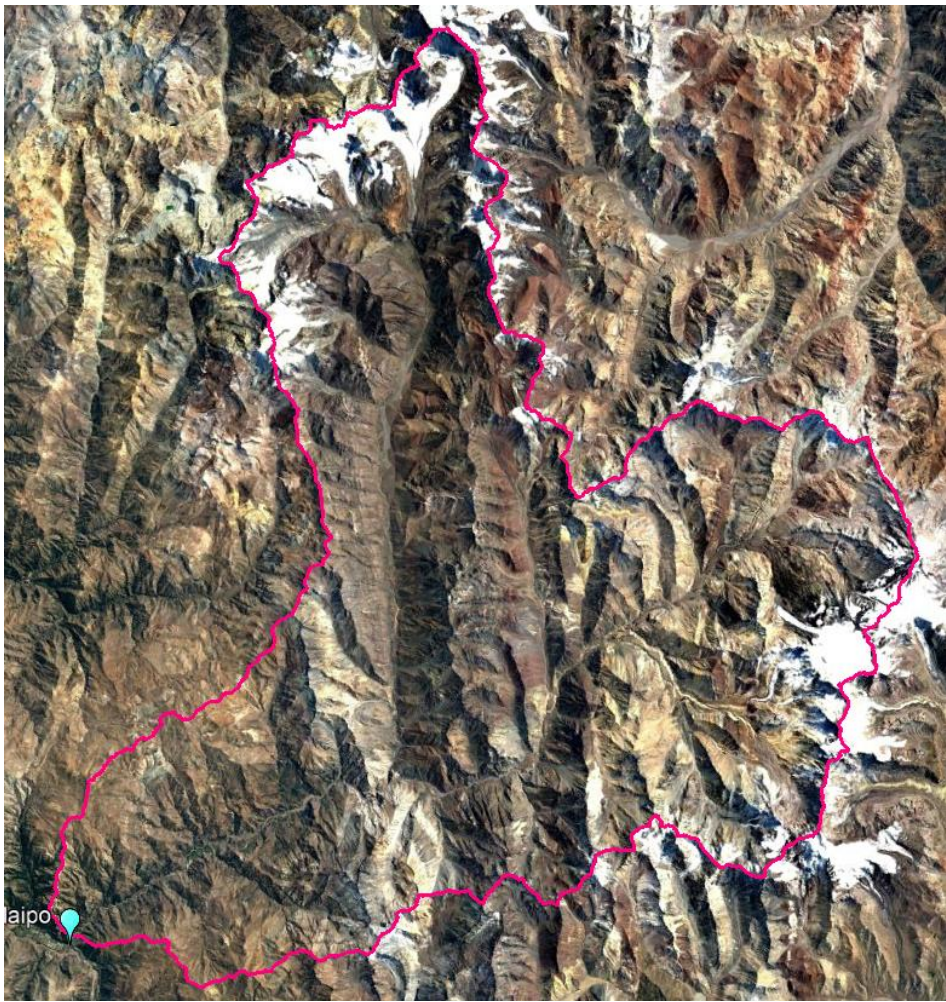


Figura 1. Cuenca del Río Maipo, estación Río Colorado ante junta Río Maipo, ubicación geográfica.

## 4.2 CUENCA DEL RÍO CACHAPOAL

En la cuenca del río Cachapoal, se trabajó con la estación Río Cachapoal en punete Termas de Cauquenes. En el servicio del banco nacional, cuenta con el registro 06008005-4, código de cuenca 060, subcuenca 0600, subsubcuenca 06008, ubicada en la región del libertador Bernardo O'Higgins, provincia Cachapoal, comuna de Machalí, en base a la información de la Dirección General de Aguas. La ubicación de esta estación es en 356632 UTM E, 6209212 UTM N, con altitud de 700 medida sobre el nivel del mar, latitud 34° 14' 54'', longitud 70° 33' 25''.

Con respecto a la información de la morfología, ante la metodología mencionada la información puede ser sintetizada en el siguiente cuadro:

Tabla 7. Parámetros de información morfológica de la cuenca del río Cachapoal, asociado a la estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes.

Hoya Río	Cuenca y Estación Sedimentométrica	Área [Km <sup>2</sup> ]	Long. Cuenca [Km]	Pendiente Media [%]	Alt. Media [m.s.n.m.]	Nº Cauces	Longitud Cauces [Km]
Cachapoal	Río Cachapoal en Pte Termas de Cauquenes	2461.61	61.57	2.00	2647.22	105	926.03

En cuanto a la información de caudales líquidos y niveles de concentración, el intervalo de tiempo del cual se tiene registro comienza en el mes de febrero del año 2003, con mediciones interrumpidas en el año 2009 a 2010, finalizando en Noviembre de 2018.

En los Anexos 14 y 21 se ven las mediciones con las cuales se cuenta en base a las data nueva disponible. En los Anexos 2 y 8 se entregan los datos con los cuales se realizaron los cálculos en el documento del 1985; en el Anexo 27 se agregan los recuadros que consideran la cantidad de datos con los cuales se realiza la media mensual.

A esta estación, hay que tener una consideración particular. En esta cuenca, se presenta una obra de desvío en este cauce, el cual viene dado por el Canal Sauzal. Como el gasto sólido viene dado por las características morfológicas y fluviométricas de toda la cuenca, es necesario realizar los siguientes supuestos.

1. La concentración registrada en la estación del Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes es única para toda la cuenca.
2. El caudal total generado por la cuenca es el medido en la estación del Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, más el medido en la obra de desvío por la estación Canal Sauzal.
3. El caudal total queda condicionado por la suma de los caudales medidos en ambas estaciones, si y sólo si, la medición de caudal es registrada en ambas estaciones.
4. El nuevo gasto sólido de la cuenca es el producto entre la suma de los caudales y el valor de concentración.



Dado que se agrega para el estudio la estación del Canal Sauzal, la información asociada de caudal queda registrada en el Anexo 15, el abanico de datos de la estación en el Anexo 28, así como la del caudal total considerado en el Anexo 16 y el caudal sólido total en el Anexo 22.

Finalmente, en la Figura 2 se representa la delimitación de la cuenca, donde además se agrega la posición de la estación registrada por (Bzdigian, et al., 1985) y por el autor.

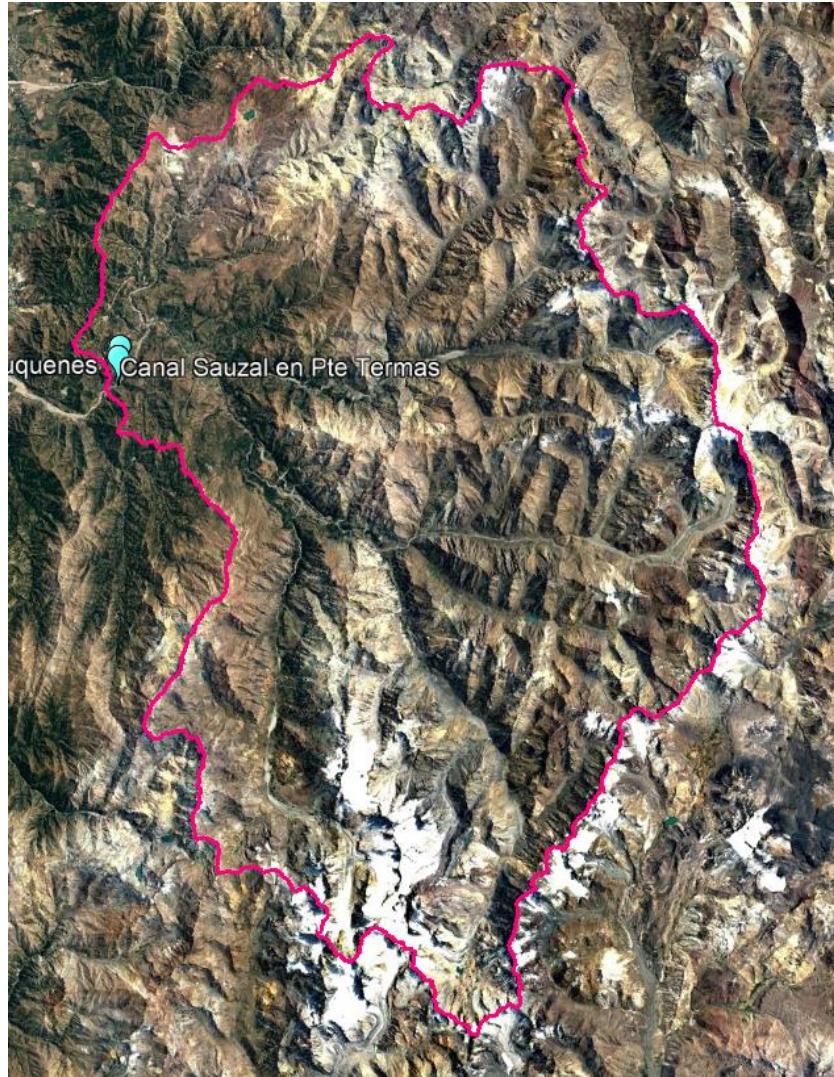


Figura 2. Cuenca del Río Cachapoal, estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, ubicación geográfica.

### 4.3 CUENCA DEL RÍO TENO

En la cuenca del río Teno, se trabajó con la estación Río Claro en Los Queñes. En el servicio del banco nacional, cuenta con el registro 07103001-6, código de cuenca 071, subcuenca 0710, subsubcuenca 07013, ubicada en la región del Maule, provincia de Curicó, comuna de Romeral, en base a la información de la Dirección General de Aguas. La ubicación de esta estación es en 334603 UTM E, 6125334 UTM N, con altitud de 900 medida sobre el nivel del mar, latitud 35° 00' 03'', longitud 70° 48' 44''.

Con respecto a la información de la morfología, ante la metodología mencionada la información puede ser sintetizada en el siguiente cuadro:

Tabla 8. Parámetros de información morfológica de la cuenca del río Teno, asociado a la estación Río Claro en Los Queñes.

Hoya Río	Cuenca y Estación Sedimentométrica	Área [Km <sup>2</sup> ]	Long. Cuenca [Km]	Pendiente Media [%]	Alt. Media [m.s.n.m.]	Nº Cauces	Longitud Cauces [Km]
Teno	Río Claro en Los Queñes	354.41	41.15	4.80	1864.69	30	220.96

En cuanto a la información de caudales líquidos y niveles de concentración, el intervalo de tiempo del cual se tiene registro comienza en el mes de Mayo del año 1982, con mediciones interrumpidas en el año 1990 a 1992, y en el año 2002, finalizando en Diciembre de 2019.

En los Anexos 17 y 23 se ven las mediciones con las cuales se cuenta en base a las data nueva disponible. En los Anexos 3 y 9 se entregan los datos con los cuales se realizaron los cálculos en el documento del 1985; en el Anexo 29 se agregan los recuadros que consideran la cantidad de datos con los cuales se realiza la media mensual.

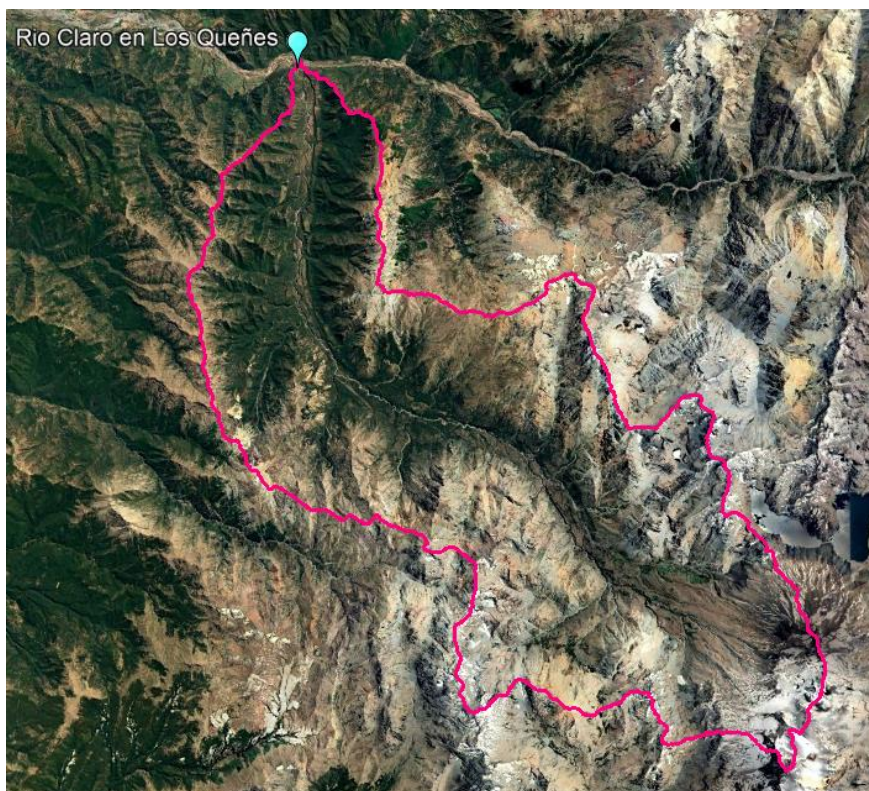


Figura 3. Cuenca del Río Teno, estación río Claro en Los Queñes, ubicación geográfica.

#### 4.4 CUENCA DEL RÍO BÍO BÍO

Como fue detallado en los capítulos anteriores, en la cuenca del río Bío Bío, en base a la información actual, se tienen dos condiciones de control de sedimentos, las dos estaciones que ya han sido mencionadas.

En cuanto a la que se encuentra ubicada más al norte, se trabajó con la estación Río Bío Bío en Rucalhue. En el servicio del banco nacional, cuenta con el registro 08317001-8, código de cuenca 083, subcuenca 0831, subsubcuenca 08317, ubicada en la región del Bío Bío, provincia de Bío Bío, comuna de Quilaco, en base a la información de la Dirección General de Aguas. La ubicación de esta estación es en 244156 UTM E, 5822433 UTM N, con altitud de 261 medida sobre el nivel del mar, latitud 37° 42' 34'', longitud 71° 54' 08''.

Con respecto a la información de la morfología, ante la metodología mencionada la información puede ser sintetizada en el siguiente cuadro:

Tabla 9. Parámetros de información morfológica de la cuenca del río Bío Bío, asociado a la estación Río Bío Bío en Rucalhue.

Hoya Río	Cuenca y Estación Sedimentométrica	Área [Km <sup>2</sup> ]	Long. Cuenca [Km]	Pendiente Media [%]	Alt. Media [m.s.n.m.]	Nº Cauces	Longitud Cauces [Km]
Bio Bio	Río Bio Bio en Rucalhue	7252.47	213.19	1.70	1390.01	176	3734.37



En cuanto a la información de caudales líquidos y niveles de concentración, el intervalo de tiempo del cual se tiene registro comienza en el mes de Agosto del año 1985, con mediciones interrumpidas en el año 1993 a 1994, y en el año 2002, finalizando en Diciembre de 2006.

En los Anexos 18 y 24 se ven las mediciones con las cuales se cuenta en base a las data nueva disponible. En los Anexos 4, 5, 10 y 11 se entregan los datos con los cuales se realizaron los cálculos en el documento del 1985; en el Anexo 30 se agregan los recuadros que consideran la cantidad de datos con los cuales se realiza la media mensual.

En este caso, esta estación queda cercana a las estaciones de Río Bío Bío en San Pedro y Queuco en Puente Queuco, como fue escrito en los capítulos anteriores. Como el trabajo duro lo realiza la computadora, se realizó las correlaciones entre el caudal líquido y sólido en suspensión para ambas estaciones por igual.

Además, en esta cuenca se consideran intervenciones de embalses. La información en cuanto a la posición se acompaña con la siguiente Tabla 10 y Figura 4:

Tabla 10. Ubicación de las centrales hidroeléctricas de Pangué, Ralco y Angostura. Información de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH).

Nombre central	UTM E	UTM N
Central hidroeléctrica de Pangué	270500	5800988
Central hidroeléctrica de Ralco	278937	5791377
Central hidroeléctrica Angostura	251705	5822312

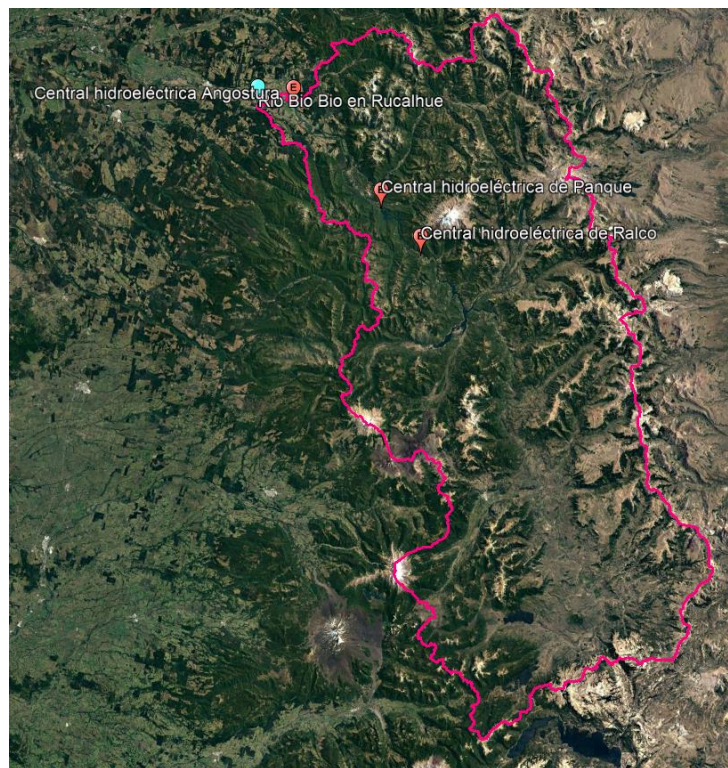


Figura 4. Cuenca del Río Bío Bío, estación río Bío Bío en Rucalhue, ubicación geográfica.

En cuanto a la que se encuentra ubicada más al sur, se trabajó con la estación Río Bío Bío en Llanquén. En el servicio del banco nacional, cuenta con el registro 08307002-1, código de cuenca 083, subcuenca 0830, subsubcuenca 08307, ubicada en la región de la Araucanía, provincia de Malleco, comuna de Lonquimay, en base a la información de la Dirección General de Aguas. La ubicación de esta estación es en 298318 UTM E, 5772745 UTM N, con altitud de 780 medida sobre el nivel del mar, latitud 38° 10' 14'', longitud 71°18' 08''.

Con respecto a la información de la morfología, ante la metodología mencionada la información puede ser sintetizada en el siguiente cuadro:

Tabla 11. Parámetros de información morfológica de la cuenca del río Bío Bío, asociado a la estación Río Bío Bío en Llanquén.

Hoya Rio	Cuenca y Estación Sedimentométrica	Área [Km <sup>2</sup> ]	Long. Cuenca [Km]	Pendiente Media [%]	Alt. Media [m.s.n.m.]	Nº Cauces	Longitud Cauces [Km]
Bio Bio	Río Bío Bío en Llanquén	3355.61	96.68	1.90	1466.28	97	1745.40

En cuanto a la información de caudales líquidos y niveles de concentración, el intervalo de tiempo del cual se tiene registro comienza en el mes de Marzo del año 2003, con mediciones hasta Mayo del 2018.

En los Anexos 19 y 25 se ven las mediciones con las cuales se cuenta en base a las data nueva disponible. En los Anexos 6 y 12 se entregan los datos con los cuales se realizaron los cálculos en el documento del 1985; en el Anexo 31 se agregan los recuadros que consideran la cantidad de datos con los cuales se realiza la media mensual.

A diferencia de la anterior estación dentro de la misma cuenca, la estación ubicada en el sector de Llanquén, que se encuentra aguas arriba de la anterior, no se encuentra condicionada aguas arriba por ningún embalse. Esto puede verificarse en la siguiente imagen digital de la estación.

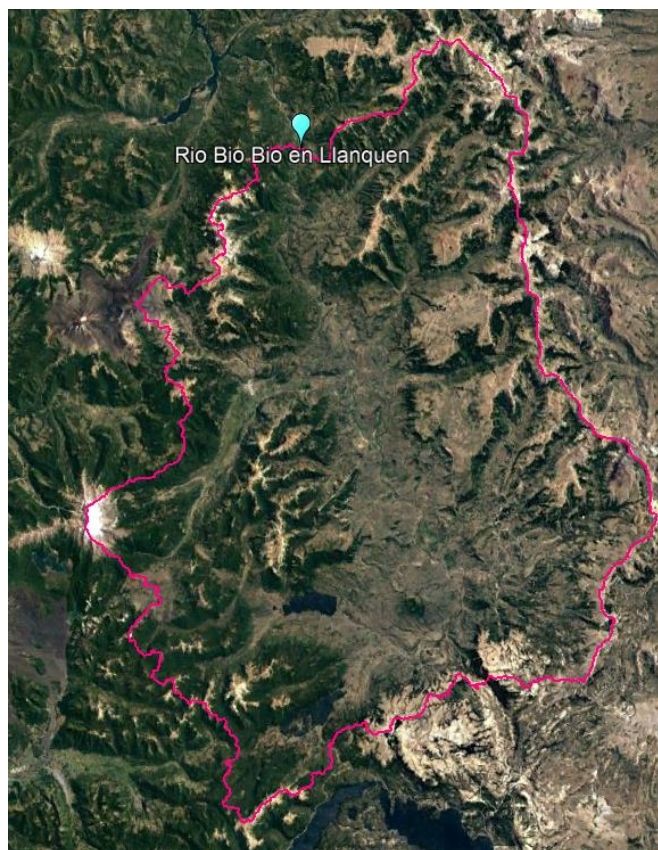


Figura 5. Cuenca del Río Bío Bío, estación río Bío Bío en Llanquén, ubicación geográfica.

#### **4.5 RESUMEN DESCRIPCIÓN DE LOS ANTECEDENTES**

Para culminar con este capítulo, ya siendo presentada la información disponible, se hace la siguiente síntesis para orientar el alcance de este documento.

Como este proyecto está basado en aplicar la relación entre caudal y gasto sólido de cada cuenca, los antecedentes están enfocados en registrar las estaciones históricas con sus datos fluviométricos, sedimentológicos y morfológicos, con datos actualizados, generando así una serie extendida para realizar el análisis como una sola serie y como series excluyentes.

Basado en el trabajo de (Bzdigian, et al., 1985) y (López & Bzdigian, 1985), trasponiendo los datos de las estaciones y cuencas registradas, resumidas en la siguiente tabla:



Tabla 12. Cuencas y estaciones registradas en el estudio de (Bzdigian, et al., 1985) que han mantenido sus mediciones.

Hoya Rio	Cuenca y Estación Sedimentométrica	Área [Km <sup>2</sup> ]	Long. Cuenca [Km]	Pendiente Media [%]	Alt. Media [m.s.n.m.]	Nº Cauces	Longitud Cauces [Km]
Maipo	Río Colorado antes junta Río Maipo	2157.00	65.00	7.00	2985.00	85	489.00
Cachapoal	Río Cachapoal en Pte Termas de Cauquenes	2367.00	66.00	1.70	2527.00	50	260.00
Mataquito	Río Claro en Los Queñes	350.00	35.00	1.20	1342.00	12	85.00
Bio Bio	Bio Bio en San Pedro	5420.00	115.00	1.30	1542.00	50	620.00
	Queuco en Puente Queuco	976.00	50.00	3.80	1425.00	16	210.00
	Río Bio Bio ante junta Llanquen	3511.00	80.00	1.30	1567.00	28	320.00

De este modo, del trabajo se seleccionan y continúan buscando las cuencas de este estudio en las cuales se ha mantenido el control sedimentológico correspondiente para poder llevar a cabo la comparación. En conjunto con los servidores de la DGA, se ubican las cuencas y se relacionan con estaciones sedimentológicas, acotando el estudio a las siguientes estaciones que continúan registrando datos:

Tabla 13. Cuencas y estaciones de la Dirección General de Aguas relacionadas al estudio de (Bzdigian, et al., 1985) con parámetros recalculados.

Hoya Rio	Cuenca y Estación Sedimentométrica	Área [Km <sup>2</sup> ]	Long. Cuenca [Km]	Pendiente Media [%]	Alt. Media [m.s.n.m.]	Nº Cauces	Longitud Cauces [Km]
Maipo	Río Colorado antes junta Río Maipo	1662.80	72.18	6.90	3427.30	74	645.42
Cachapoal	Río Cachapoal en Pte Termas de Cauquenes	2461.61	61.57	2.00	2647.22	105	926.03
Mataquito	Río Claro en Los Queñes	354.41	41.15	4.80	1864.69	30	220.96
Bio Bio	Río Bio Bio en Rucalhue	7252.47	213.19	1.70	1390.01	176	3734.37
	Río Bio Bio en Llanquén	3355.61	96.68	1.90	1466.28	97	1745.40

De tal manera que, con este nuevo registro de cuencas, se acotan los sectores en los cuales se actualizarán los patrones, recordando que, más que calcular nuevas ecuaciones para llevar a cabo la relación caudal – gasto sólido, el objetivo es cuantificar la magnitud y los principales actores en los cuales se ve afectado el cambio.

Con lo anterior descrito, y con ayuda de los softwares de georreferenciación, se calculan los parámetros geomorfológicos de las cuencas, se obtienen las series de caudal y gasto sólido, las cuales serán descritas en breve:

▪ Geomorfología de la cuenca: estos valores se calculan con dos objetivos principalmente. El primero consiste en realizar una verificación al estudio de Bzdigian et Al, de tal forma de justificar los que serán utilizados para el estudio, y de la misma manera sumar validez. El segundo fuerte es que, dado los avances tecnológicos de nuestros tiempos, hacer nuevamente la evaluación de estos parámetros nos permite desarrollar un ejercicio con alto grado de precisión, haciendo mención al 1989, año en que se publicó el trabajo de Bzdigian. Se considera, de todos modos, llevar a cabo una mención de los parámetros que se están estudiando, siendo los siguientes: área de la cuenca, longitud del cauce principal, pendiente media del cauce principal, altura media de la cuenca, número de cauces y longitud total de los cauces.

▪ Series de datos: Las series de gasto sólido y caudal están principalmente influenciadas por la continuidad que se ha tenido en la medición por parte de la institución. Durante estos últimos 30 años, hay estaciones que se han descontinuado, que han sido reemplazadas o que no contienen una serie lo suficientemente significativa para realizar este proyecto. La presentación de estos mismos está programada de tal manera que coincidan con el trabajo con el cual se está comparando, esto es: caudales en series medias mensuales, caracterizadas según su año, en unidades de metro cúbico por segundo; gasto sólido en series medias mensuales, caracterizadas según su año, en unidades de tonelada/decenas de toneladas por segundo, acorde a la magnitud y presentación.

## 5. PATRONES SEDIMENTOLÓGICOS

Patrón sedimentológico es una representación cualitativa o cuantitativa del comportamiento sedimentológico medio, temporal y espacial, de una cuenca. Este concepto viene de que cada cuenca tiene una respuesta sedimentológica particular frente a los estímulos que recibe, respuesta del resultado de una superposición de factores.

La cuantificación de tal comportamiento se hace sobre la base de mediciones de variables que pueden representar la respuesta sedimentológica de la cuenca. Estas variables son los gastos sólidos en suspensión ( $GS$ ) y los caudales líquidos ( $Q$ ), variables que está asociada a dicho caudal sólido. Así, el patrón sedimentológico puede identificarse con la relación que exista entre gasto sólido y caudal que, por estar condicionada por parámetros morfológicos, climáticos y geológicos de la cuenca, responde al comportamiento sedimentológico global de dicha cuenca

Con las cuencas seleccionadas, corresponde detallar la metodología para la obtención de los patrones sedimentológicos. Estos fueron representados a través de la aplicación de ecuaciones de regresión, que según el modelo elegido para tratar de representar el fenómeno tienen la forma:

$$GS = A \cdot Q^B \quad (1)$$

Donde  $GS$  es el gasto sólido medio mensual en unidades de  $[Ton/día]$ ,  $Q$  el caudal líquido medio mensual  $[m^3/s]$ ,  $A$  y  $B$  son parámetros que se suponen función de los factores geomorfológicos y pueden ser consideradas como ecuaciones de predicción del comportamiento sedimentológico de la cuenca.

El primer paso por seguir es determinar los parámetros  $A$  y  $B$  de cada estación, a partir de la estadística recopiladas de caudales y gasto sólidos en suspensión. Para efectuar esto se linealiza la Ecuación (1), es decir, es necesario aplicar:

$$\text{Log}(GS) = \text{Log}(A) + B \cdot (Q) \quad (2)$$

La expresión anterior es una ecuación lineal de una variable, por lo que se puede aplicar el método de los mínimos cuadrados para obtener los valores de  $\text{Log}(A)$  y  $B$ .

A diferencia del estudio utilizado como base para este trabajo, el cálculo está facilitado por el uso de software en planillas de cálculo. Si bien se puede hacer de manera más rústica la obtención de los parámetros, mediante planillas de Excel estas funciones están todas integradas, donde la linealización y la obtención de estos coeficientes dan de la obtención de una línea de tendencia en ejes logarítmicos.

Dentro de los valores obtenidos de la DGA en cuanto al gasto sólido, existen ciertos aumentos en los valores de concentración que parecen no tener justificación con el aumento de los caudales. Existen casos puntuales donde es posible asociarlo a condiciones de avalanchas de sedimentos, ya sea por la acumulación de estos en embalses, como por eventos climáticos. Aun siendo estos minoría, para un estudio donde el trabajo consta de valores medios mensuales, elaborar la serie eliminando estos puntos denotan de un buen comportamiento a nivel mensual. De esta manera, se ejecutan tres procesos para reducir la incertidumbre, dado que en estas relaciones se trabajan con valores de medias mensuales:

- Se eliminan los valores de caudal nulo que no entren en la tendencia de la serie, siendo errores puntuales de medición.
- Se filtran los valores eliminando el percentil 95 superior de los datos medidos, teniendo en consideración los valores de concentración, mediante una rutina de Python creada por el autor.
- Se grafica la concentración y el caudal contra el tiempo con estos valores filtrados, para ver que exista una relación visual entre ambas variables.

Luego, se realiza la correlación entre el valor medio mensual de caudal líquido y gasto sólido respectivo, en escala logarítmica. De esta gráfica, y de manera automatizada, se obtiene los valores de pendiente y coeficiente de la regresión creada entre estos valores, tanto para la serie de (Bzdigian, et al., 1985), corroborando los valores obtenidos, para la serie nueva, visualizando los nuevos valores de los coeficientes, y para una sola serie extendida, con el fin de proponer unos nuevos valores sólo en el caso de que el comportamiento sea sostenido en el tiempo.

Al cierre de cada cuenca se presentará una tabla resumen con los coeficientes  $A$  y  $B$  en cada caso, y para cada periodo estacional.

### 5.1 CUENCA DEL MAIPO, ESTACIÓN RÍO COLORADO ANTES JUNTA MAIPO

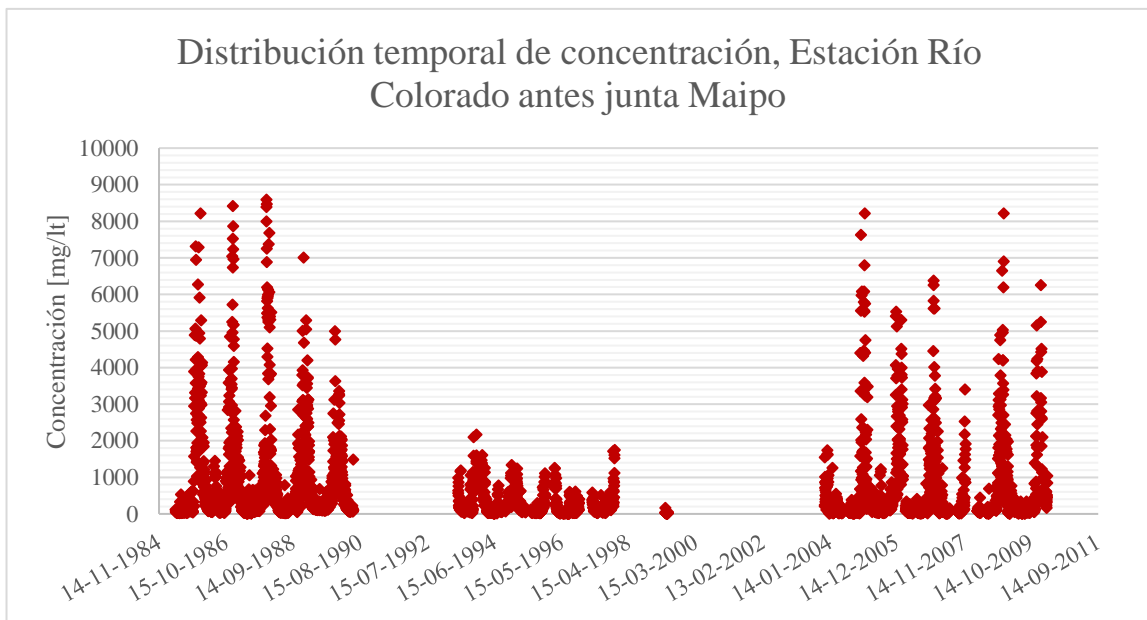


Gráfico 1. Distribución temporal de concentración en la estación Río Colorado antes junta Maipo, asociada a la data nueva extraída.

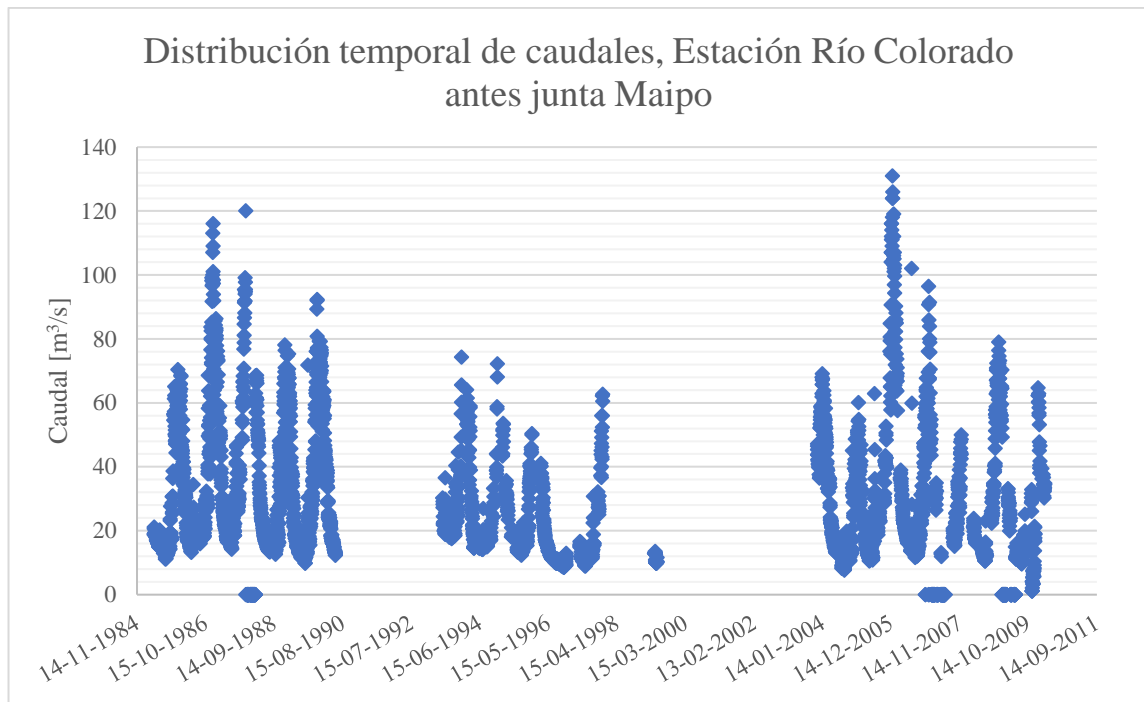


Gráfico 2. Distribución temporal de caudales en la estación Río Colorado antes junta Maipo, asociada a la data nueva extraída.

Para esta primera estación, existe una relación directa en los picos, tanto de concentración y caudal, coincidiendo en las fechas dado el régimen nival de la cuenca. También es de notar interrupciones en la medición de los datos en tiempos considerables, siendo entre el 1998 y el 2004, salvo por irrelevantes mediciones en el año 1999, la brecha más grande sin mediciones. Además, se evidencian algunos puntos en el año 1988, 2007 y 2009 donde existen mediciones nulas (medición 0 es distinto de no medido).

Se agrega la serie de la curva de descarga para mantener relación y justificación de los valores obtenidos, dado que en la información extraída por los servidores de la DGA existe registro de mediciones de altura con las de caudal diario, previo a la elaboración de las correlaciones entre gasto líquido y sólido.

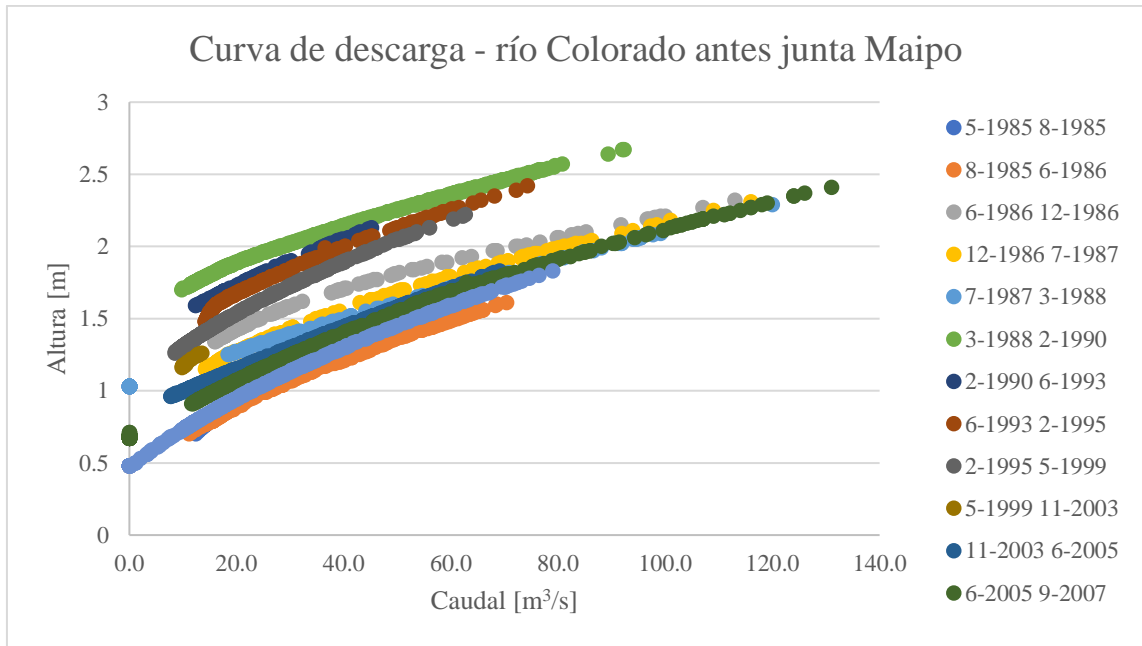


Gráfico 3. Curva de descarga, estación Río Colorado antes junta Maipo, asociada a la data nueva extraída.

Ante una previa y evidente visualización de varios comportamientos en la curva de descarga, donde se realiza una discretización, dado el conocido comportamiento que tiene una curva de caudal vs altura, separando las fechas y según la data que se tiene a disposición.

Se puede tener en consideración que luego de un evento de crecida importante, la curva de descarga presenta un cambio de comportamiento. Según el estudio (Ayala, et al., 1995), estos mismos eventos de alto periodo de retorno en la teoría no corresponden a su curva de descarga, sino que, por ejecutarse en un lecho móvil, deben ocupar un lugar levemente superior en la curva caudal versus altura.

Realizando la respectiva correlación entre el caudal y gasto sólido en suspensión, se obtiene la siguiente figura:

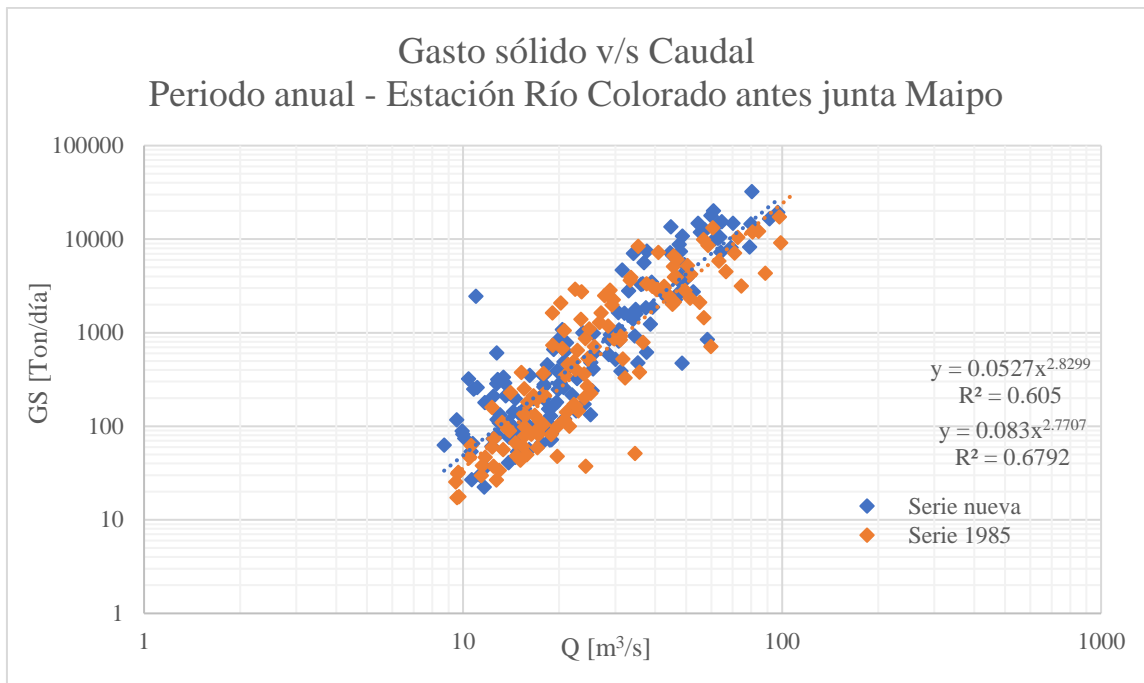


Gráfico 4. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie del estudio de 1985, desde 1970 al 1982; y data nueva, desde 1985 a 2010, estación Río Colorado antes junta Maipo.

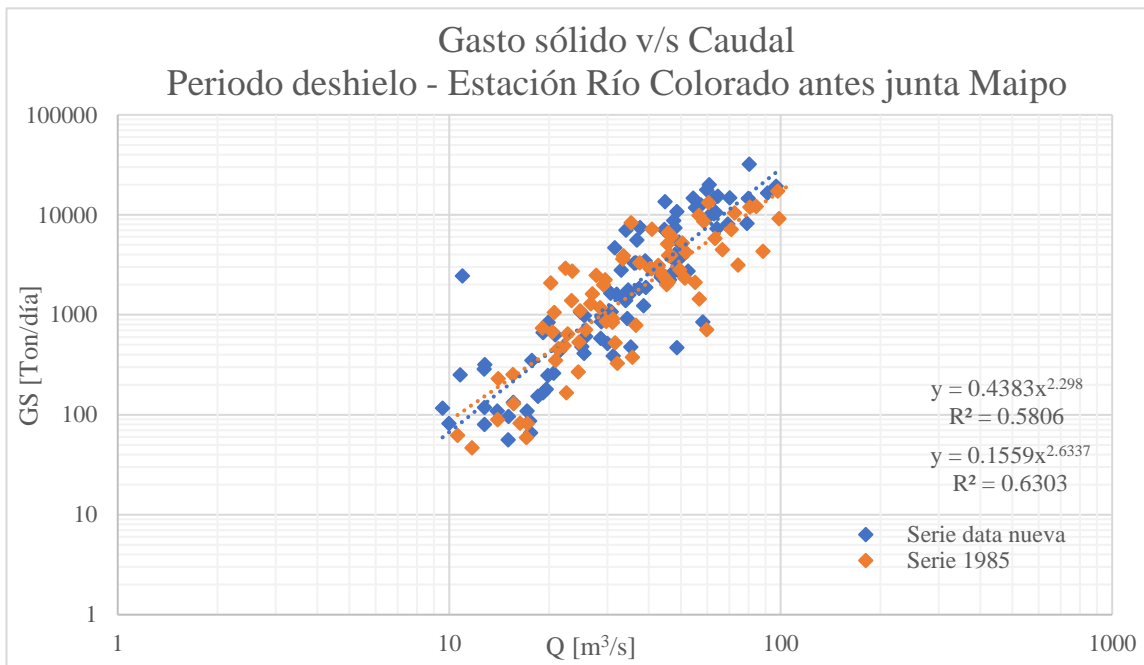


Gráfico 5. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo (septiembre a marzo), serie del estudio de 1985, desde 1970 al 1982; y data nueva, desde 1985 a 2010, estación Río Colorado antes junta Maipo.

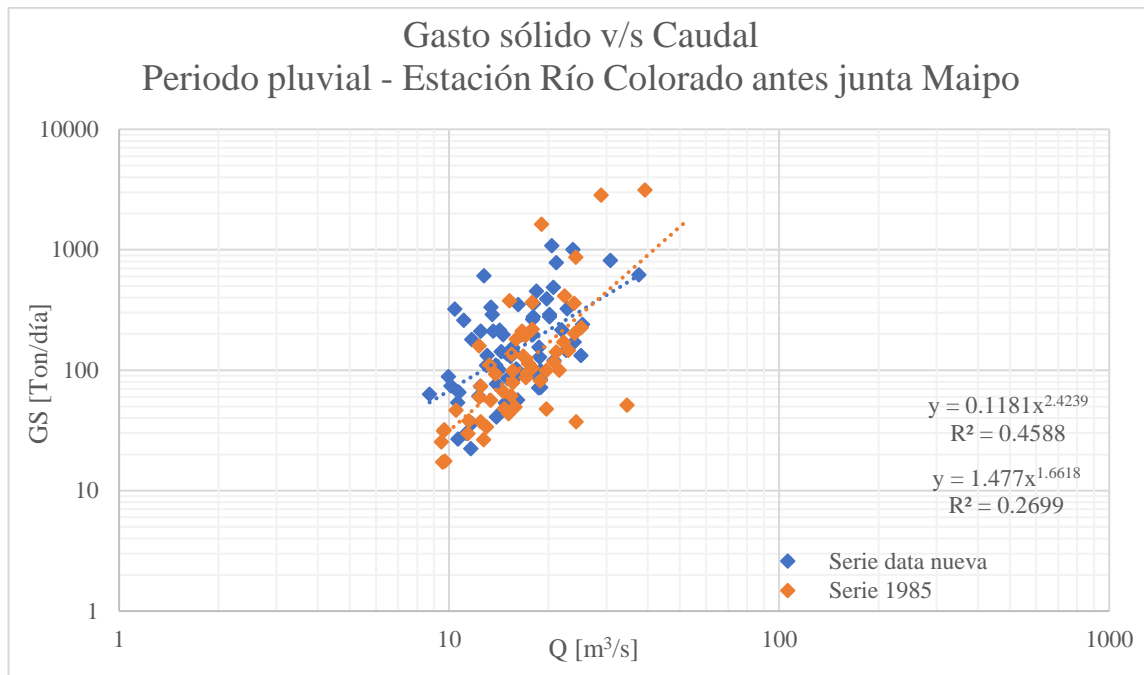


Gráfico 6. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial (Abril Agosto), serie del estudio de 1985, desde 1970 al 1982; y data nueva, desde 1985 a 2010, estación Río Colorado antes junta Maipo.

Los Gráficos 4, 5 y 6, presentan las correlaciones realizadas entre la media mensual de los datos obtenidos del estudio de (Bzdigian, et al., 1985) y de la nueva serie extraída en base a la información disponible en la DGA, tanto de los valores de caudal líquido como sólido en suspensión. Los tres gráficos simbolizan los periodos: anual, hielo y deshielo; donde simbolizan los colores naranjas a la primera serie temporal y al color azul a la nueva trabajada, ambas acompañadas por la respectiva regresión lineal (primero la serie más antigua, luego la nueva), las cuales responden a la linealizada Ecuación (2).

Llama la atención que la pendiente generada en la regresión lineal para los meses de abril a agosto es bastante menor que al considerar los otros meses y para el tiempo histórico total. No es correcto mencionar que la diferencia se produciría en caudales altos, pues en el registro de datos no hay valores  $50 \text{ m}^3$  sumado a los valores de  $R^2$ , que son 0.4588 para la serie de 1970 a 1982, y de 0.2699 para los años de 1985 a 2010. Podría considerarse una relación paralela entre las pendientes si no se consideran los puntos que salen de la tendencia para la serie del estudio de 1985.

En este caso, existe una continuidad evidente del comportamiento entre la serie del estudio del año 1985 y la construida con datos actuales. Dicho lo anterior, se proponen nuevos valores de las constantes A y B con una sola serie extendida con sus respectivas gráficas, resumidas en los siguientes apartados:



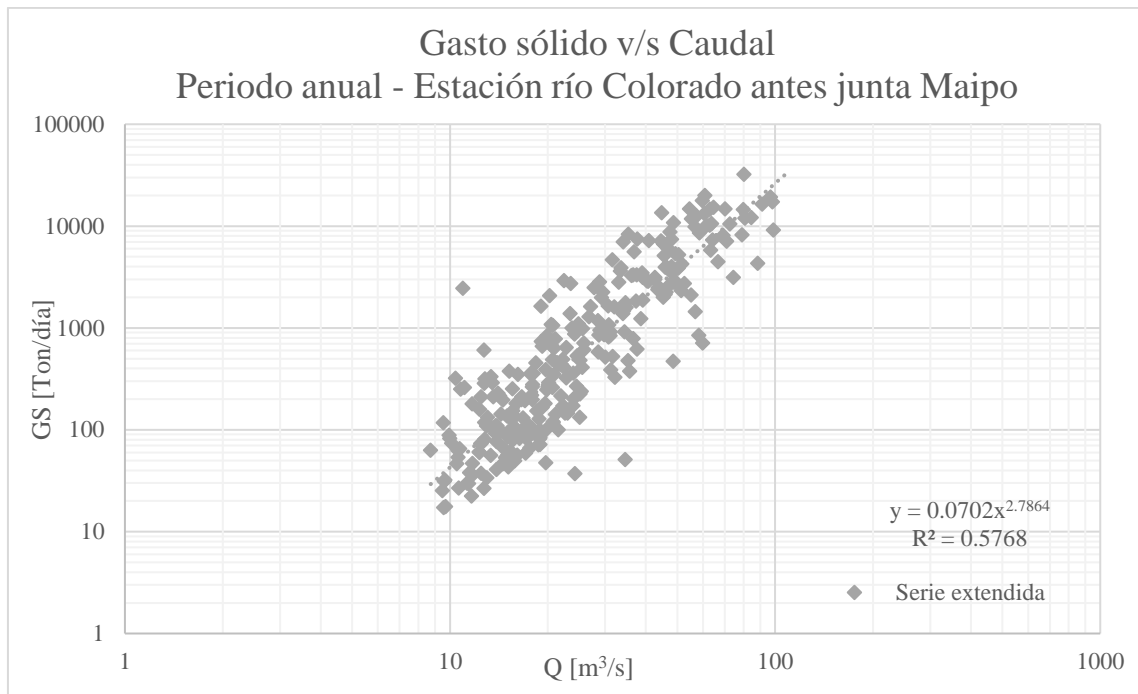


Gráfico 7. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie extendida, estación Río antes junta Maipo.

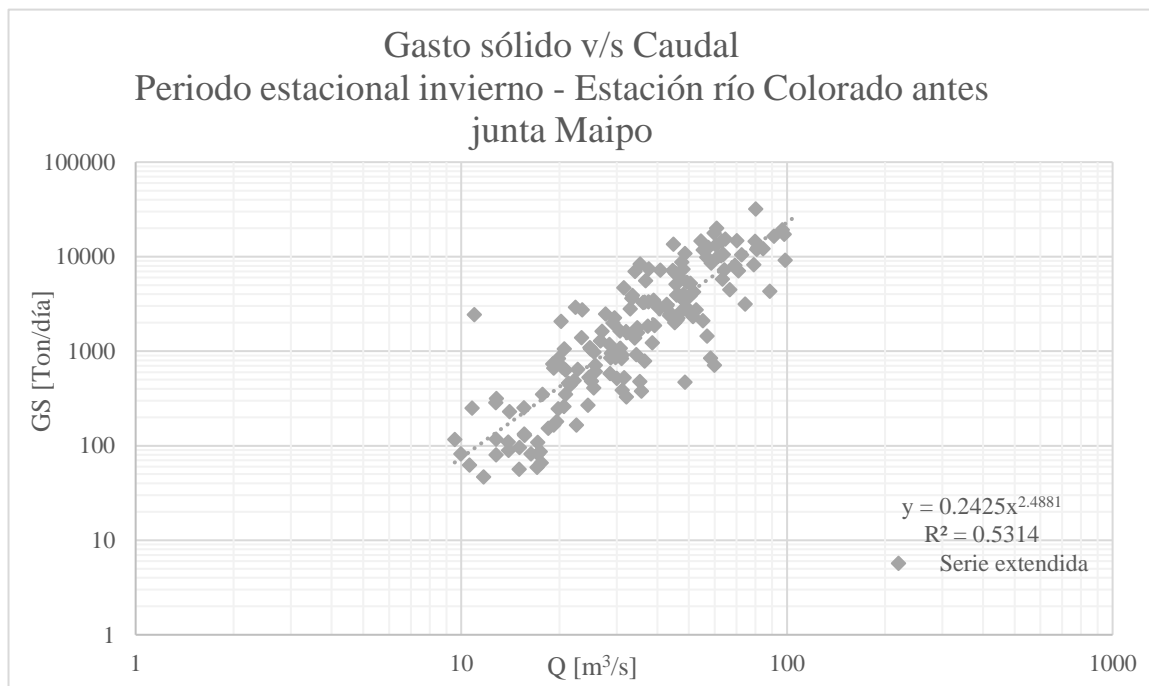


Gráfico 8. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo estacional invierno, serie extendida, estación Río Colorado antes junta Maipo.

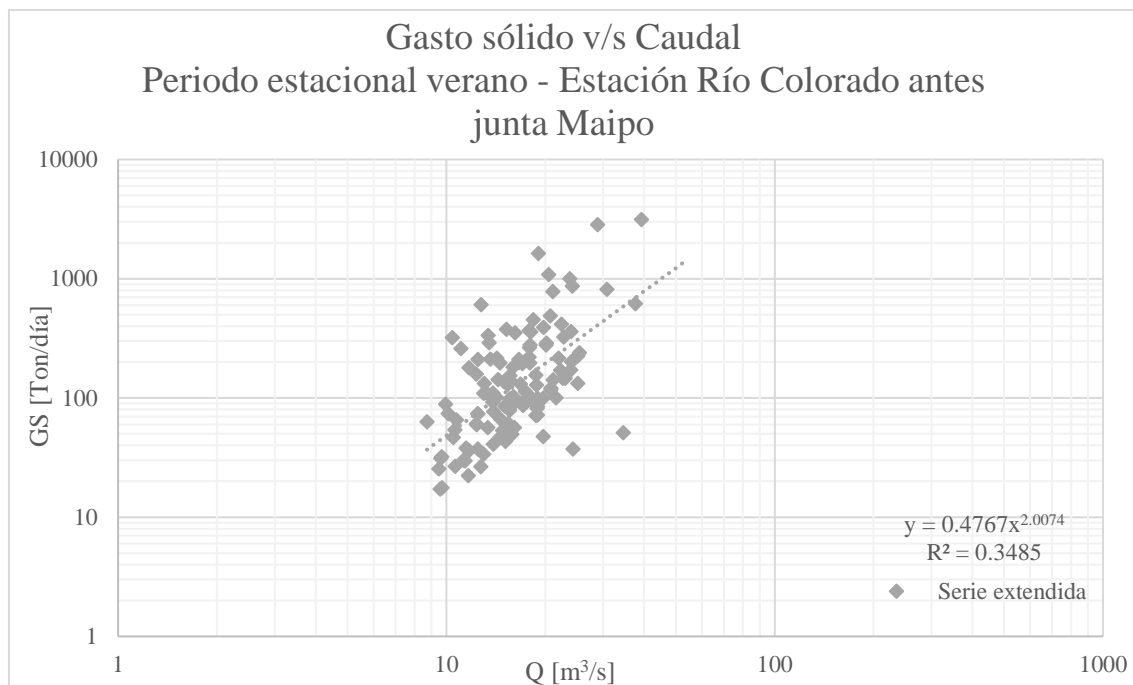


Gráfico 9. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo estacional verano, serie extendida, estación Río Colorado antes junta Maipo.

Para las Gráficas 7, 8 y 9 anteriores, los puntos que representan las figuras son los mismos que las 3 correlaciones iniciales de esta cuenca, sólo que la línea de tendencia esta unificada en una sola serie de datos, respondiendo al cálculo de los coeficientes *A* y *B*.

Recapitulando los valores observados en las correlaciones, se presenta la siguiente tabla resumen para la cuenca del río Maipo:

Tabla 14. Valores de las constantes *A* y *B*, discretizadas por año calendario, periodos estacionales, serie 1985, serie con data nueva y serie extendida, estación Río Colorado antes junta Maipo.

Serie\Periodo	A			B		
	Anual	Deshielo	Pluvial	Anual	Deshielo	Pluvial
Serie 1985	0.0527	0.4383	0.1181	2.8299	2.2980	2.4239
Serie data nueva	0.0830	0.1559	1.4770	2.7707	2.6337	1.6618
Serie extendida	0.0702	0.2425	0.4767	2.7864	2.4881	2.0074

Si bien los coeficientes del estudio de Bzdigian 1985 están entregados en el documento, en este estudio se calcularon con objeto de validar el valor de estos coeficientes *A* y *B*, los cuales coinciden.

## 5.2 CUENCA DEL CACHAPOAL, ESTACIÓN RÍO CACHAPOAL EN PUENTE TERMAS DE CAUQUENES

Como fue descrito en el capítulo 3.3.2, la cuenca del río Cachapoal cuenta con la particularidad de tener una obra de desvío, puntualizada en las mediciones de la estación Canal Sauzal. Es por esto por lo que se entregaran, sumado al caso anterior, las gráficas asociadas a las mediciones de esta estación, como también la intersección de fechas con mediciones en las dos estaciones correspondientes a esta cuenca.

Los registros de la serie de concentración y caudal para la estación en la cuenca del Cachapoal son los siguientes:

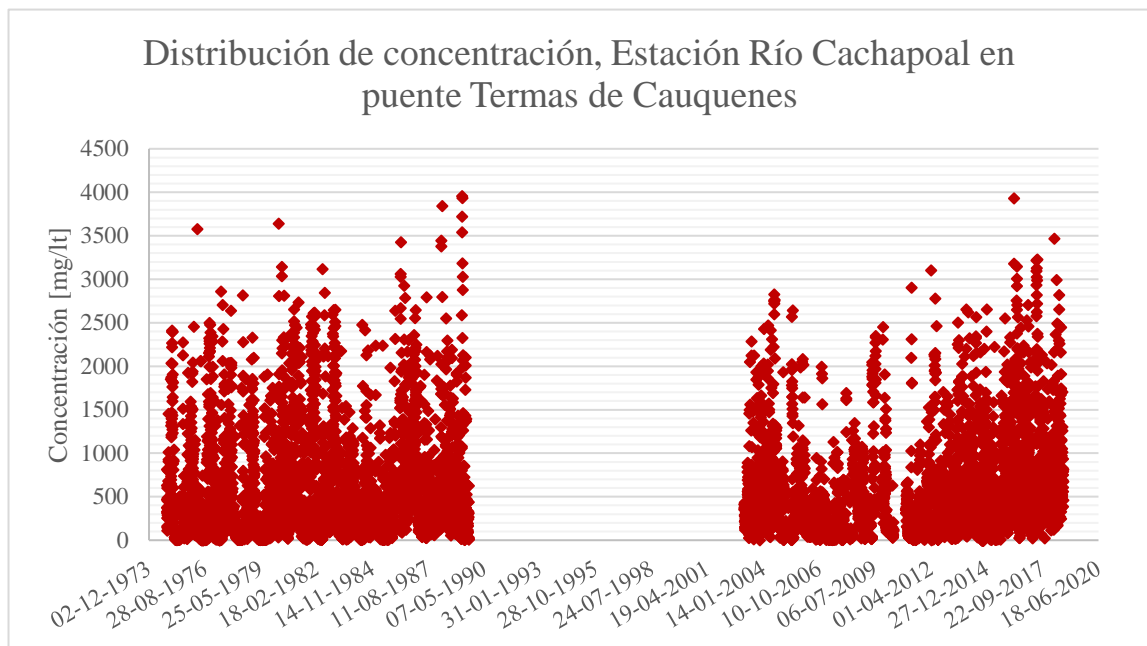


Gráfico 10. Distribución temporal de concentración en la estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, asociada a la data nueva extraída.

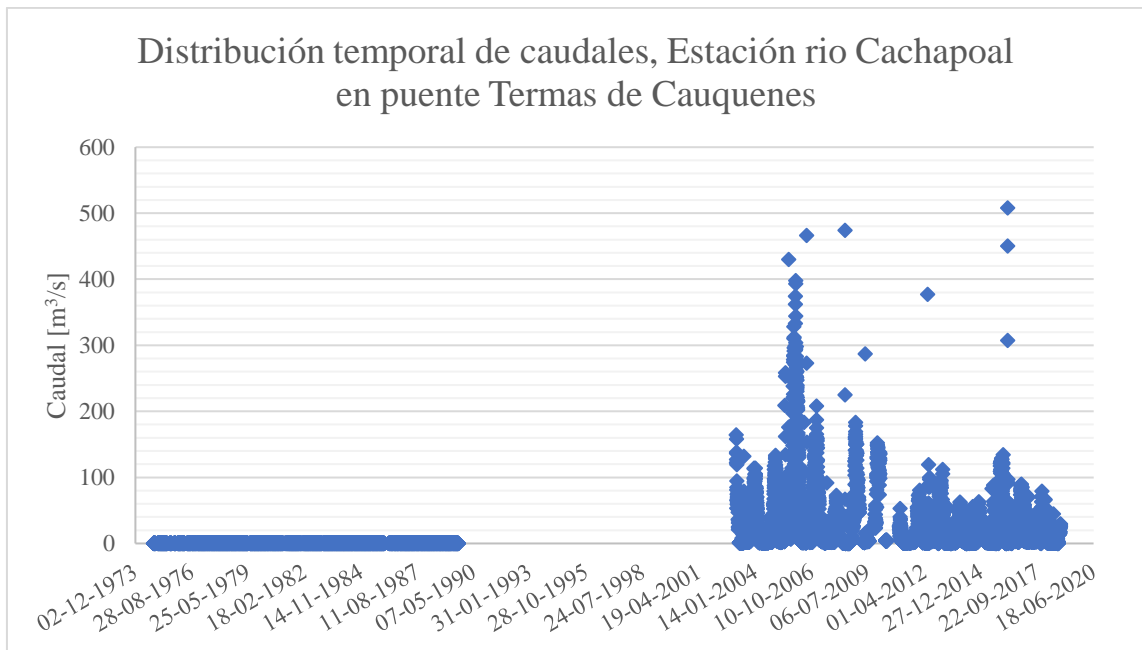


Gráfico 11. Distribución temporal de caudal en la estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, asociada a la data nueva extraída.

Es evidente que existe un problema de medición en el primer grupo de datos de caudal, además de una discontinuidad de mediciones entre los años 1989 y 2003, donde para la posterior realización de correlaciones todos estos fueron desestimados, considerando los valores posteriores del 2003.

En cuanto a la información registrada en el Canal Sauzal, esta se visualiza en el siguiente gráfico:

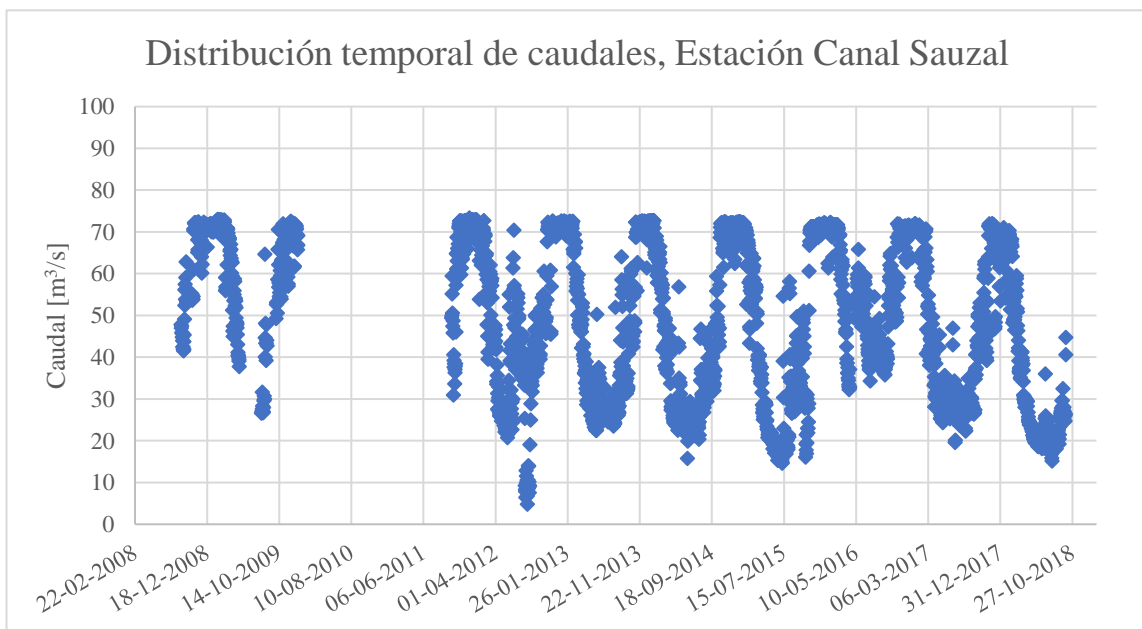


Gráfico 12. Distribución temporal de caudal en la estación Canal Sauzal, asociada a la data nueva extraída.

Para que la magnitud de caudal corresponda con el sentido estadístico que se está trabajando en este apartado, se debe realizar el siguiente condicional para la suma de los caudales:

- La concentración registrada en la estación del Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes es única para toda la cuenca.
- El caudal total generado por la cuenca es el medido en la estación del Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, más el medido en la obra de desvío por la estación Canal Sauzal.
- El caudal total queda condicionado por la suma de los caudales medidos en ambas estaciones, si y sólo si, la medición de caudal es registrada en ambas estaciones.
- El nuevo gasto sólido de la cuenca es el producto entre la suma de los caudales y el valor de concentración.

De tal manera que, en el siguiente gráfico, se presentan los datos medidos en ambas estaciones:

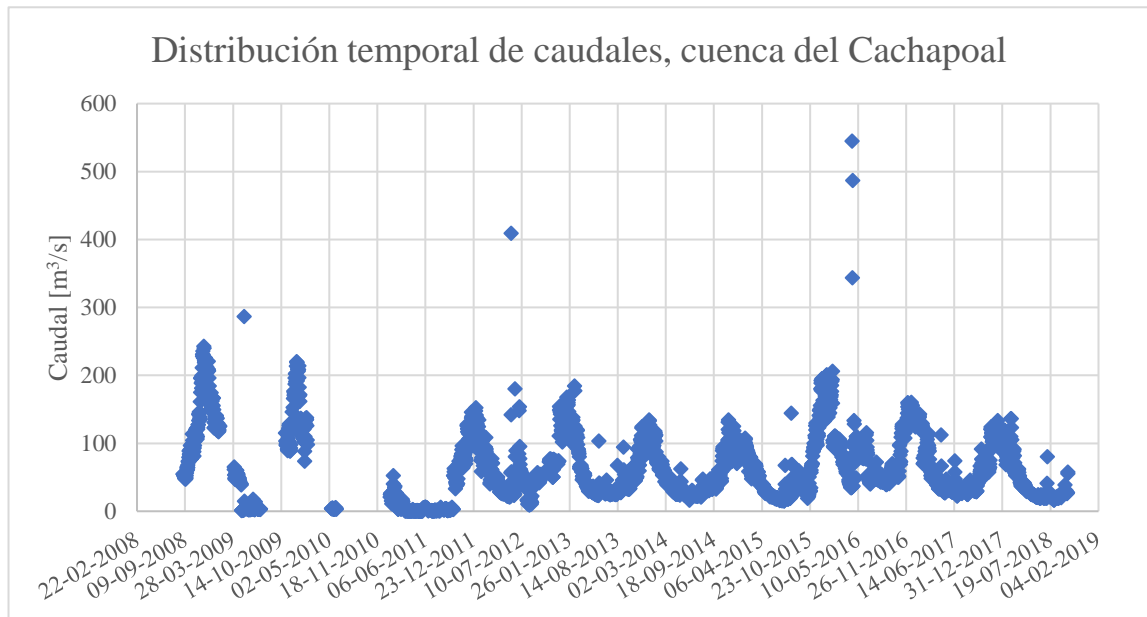


Gráfico 13. Distribución temporal de caudal en la cuenca del Cachapoal, asociada a la data nueva extraída.

Como se tiene información respecto a las alturas medidas en la estación del Río Cachapoal en puente Termas, se agregó la gráfica que corresponde a la curva de descarga para continuar estudiando la fiabilidad de los datos, obteniendo lo siguiente:

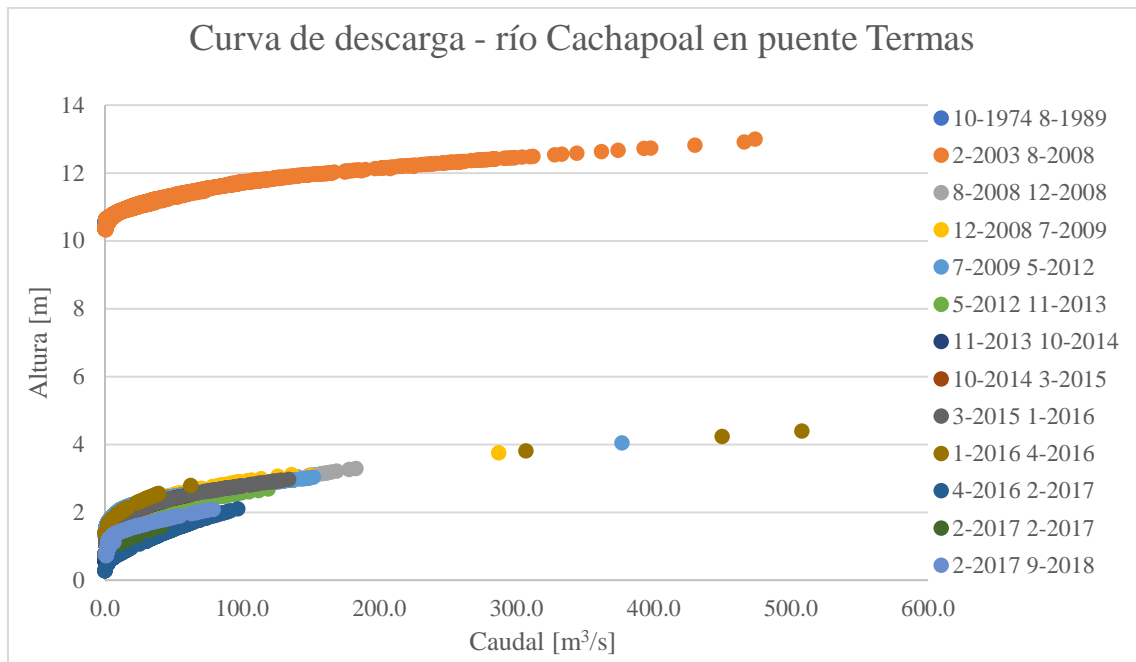


Gráfico 14. Curva de descarga, estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, asociada a la data nueva extraída.

Existe una diferencia considerable en la curva de descarga. Primero, existe una serie de datos (1974 a 1989) que no tienen incidencia en el estudio, pues apoyado en la Gráfica 14, son datos en los que, por algún error en la medición, sólo se registró la altura y no el caudal asociado. Estos datos, en la gráfica anterior, están ubicados uno encima del otro en el punto 0 y 10. Luego, existe una curva asociada a los años 2003-2008 donde se ve que la altura que se está midiendo siempre es superior a los 10 metros, en gran contraste con las mediciones que se realizan luego del año 2008, donde sólo en 3 casos puntuales se superan los 4 metros de altura. Dada la rareza que arrojan los datos, se decidió desestimar todos los datos anteriores a agosto del 2008.

Con todo lo anterior, y realizando la respectiva correlación entre el caudal y gasto sólido en suspensión, se obtiene la siguiente figura:

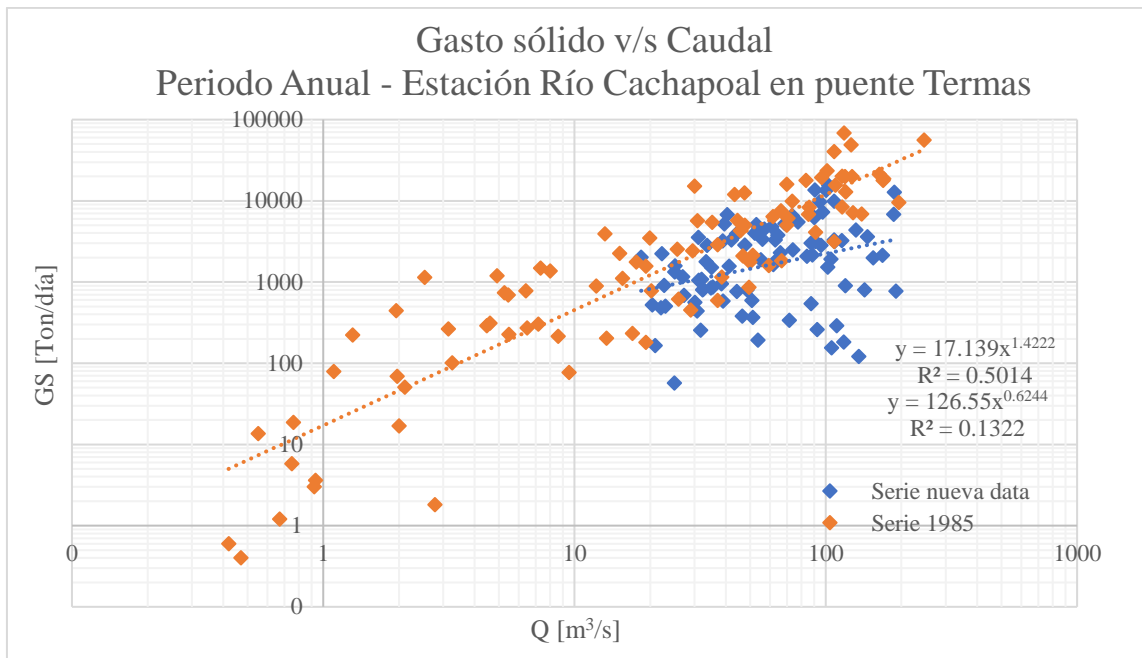


Gráfico 15. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie del estudio de 1985, desde 1974 al 1982; y data nueva, desde 2003 a 2018, estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, con serie total de caudal líquido y sólido.

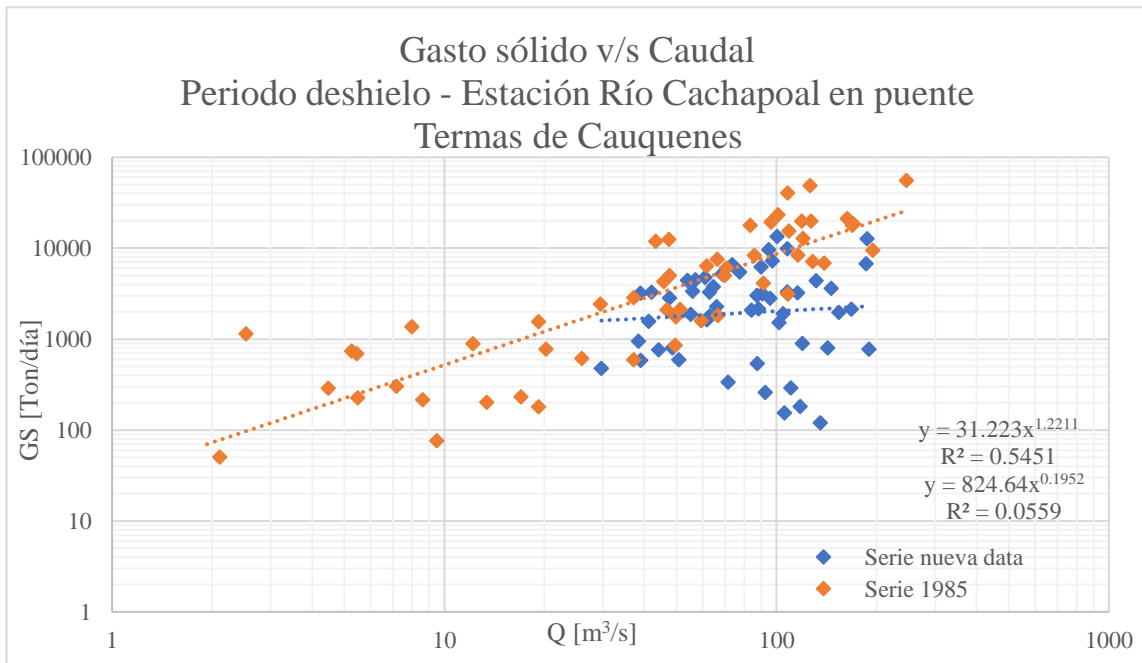


Gráfico 16. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo (septiembre a marzo), serie del estudio de 1985, desde 1974 al 1982; y data nueva, desde 2003 a 2008, estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, con serie total de caudal líquido y sólido.

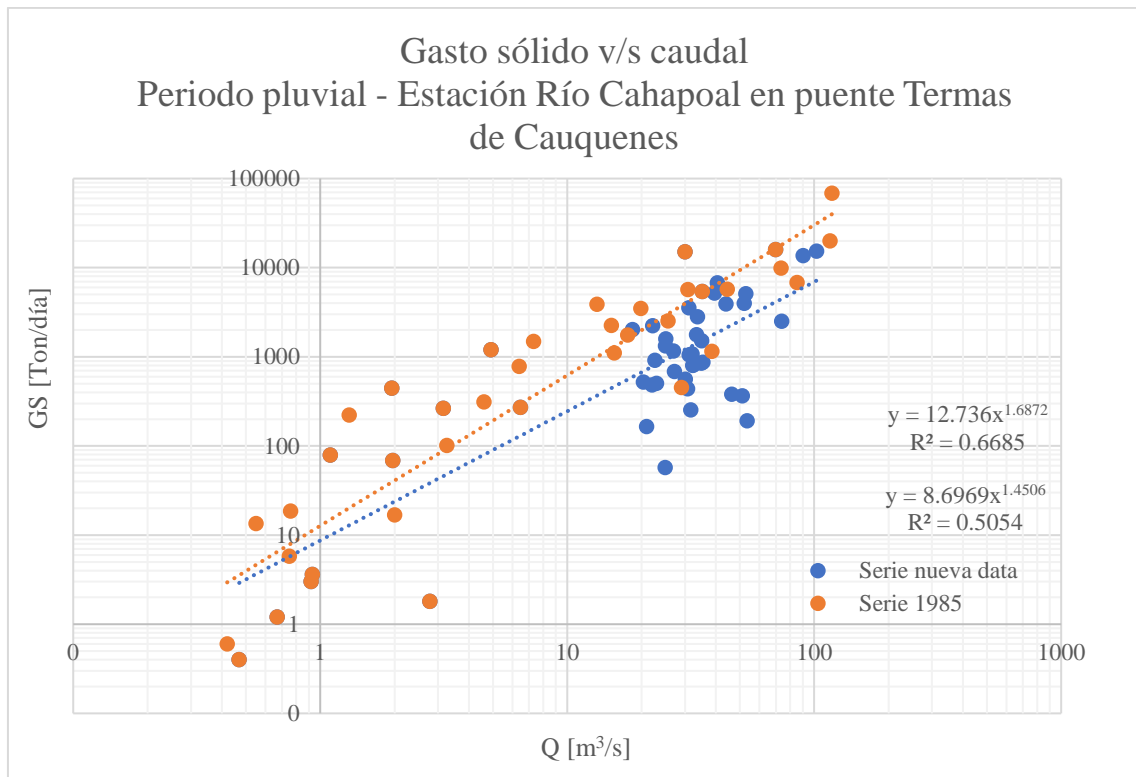


Gráfico 17. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial (abril a agosto), serie del estudio de 1985, desde 1974 al 1982; y data nueva, desde 2003 a 2008, estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, con serie total de caudal líquido y sólido.

Las Gráficas 15, 16 y 17, presentan las correlaciones realizadas entre la media mensual de los datos obtenidos del estudio de (Bzdigian, et al., 1985) y de la nueva serie extraída en base a la información disponible en la DGA, tanto de los valores de caudal líquido como sólido en suspensión. Los tres gráficos simbolizan los periodos: anual, hielo y deshielo; donde simbolizan los colores naranja a la primera serie temporal y al color azul a la nueva trabajada, ambas acompañadas por la respectiva regresión lineal.

Dentro de los valores presentes se tiene que, para el mismo valor de caudales, se presentan un valor de caudal sólido menor, por lo que se sugiere que exista un control de sedimentos aguas arriba de la estación.

De esta manera, al simbolizar dos trabajos en contextos diferentes, carece de sentido realizar una comparación de ambos trabajos en magnitud de los patrones sedimentológicos en estudio.



### 5.3 CUENCA DEL TENO, ESTACIÓN RÍO CLARO EN LOS QUEÑES

Los registros de la serie de concentración y caudal para la estación en la cuenca del Teno son los siguientes:

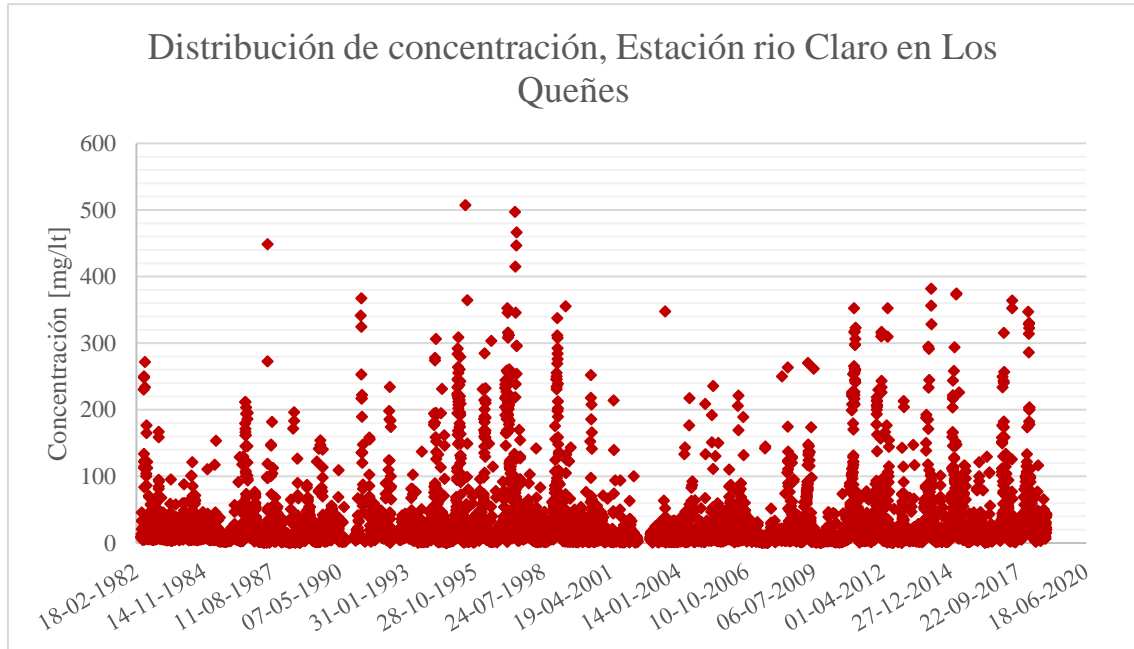


Gráfico 18. Distribución temporal de concentración en la estación Río Claro en Los Queñes, asociada a la data nueva extraída.

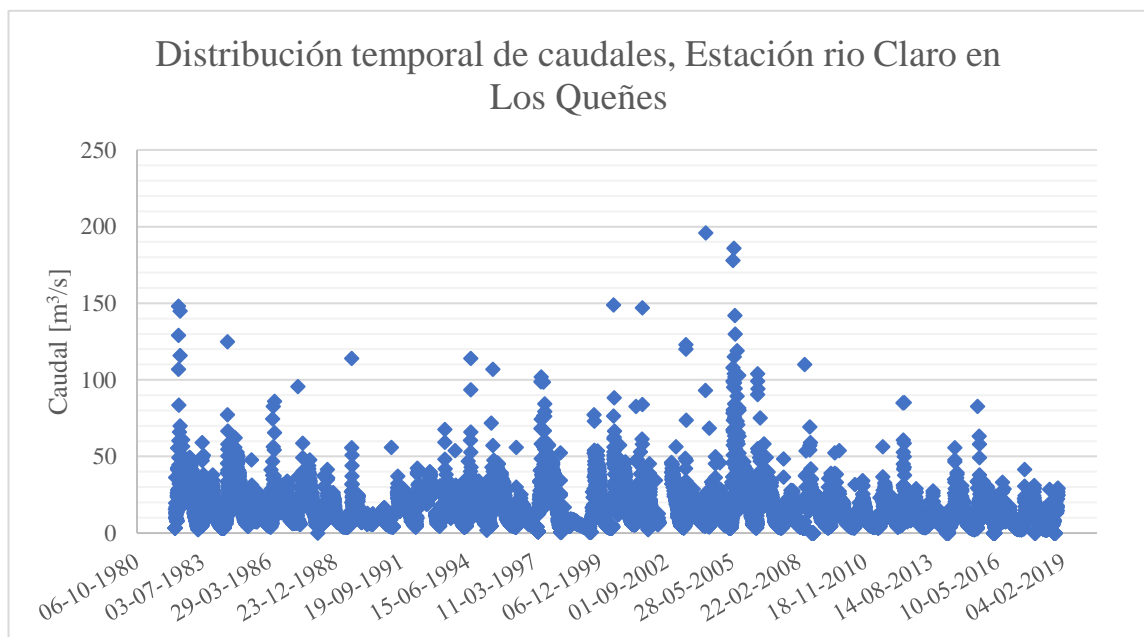


Gráfico 19. Distribución temporal de caudales en la estación Río Claro en Los Queñes, asociada a la data nueva extraída.

Para esta estación, existe una medición continua de los datos de caudal y de concentración, abarcando una gran cantidad de años (1982 – 2018).

Elaborando la curva de descarga como en los casos anteriores, existe una gran variedad de comportamientos de la relación entre el caudal y la altura.

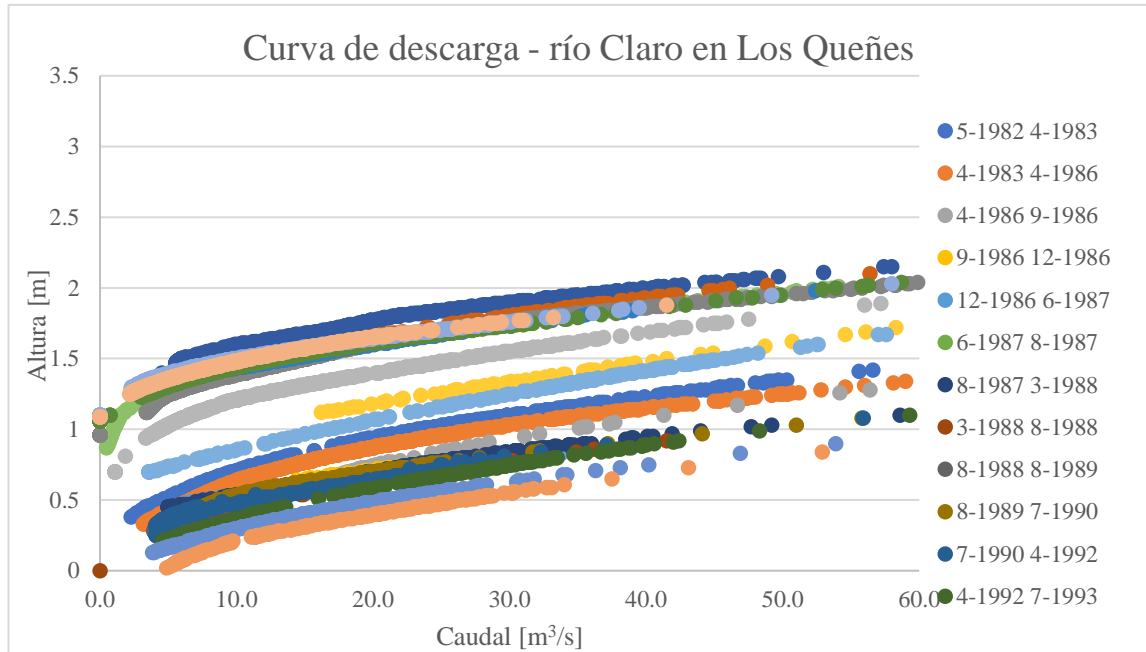


Gráfico 20. Curva de descarga, estación Río Claro en Los Queñes, asociada a la data nueva extraída.

En la curva de descarga presentada anteriormente, no existe relación en el aumento o disminución de la posición de la curva de caudal con altura. Lo único que se aprecia es que, en ciertas avenidas, se realiza una actualización de la curva de descarga.

Realizando la respectiva correlación entre el caudal y gasto sólido en suspensión, se obtiene la siguiente gráfica:

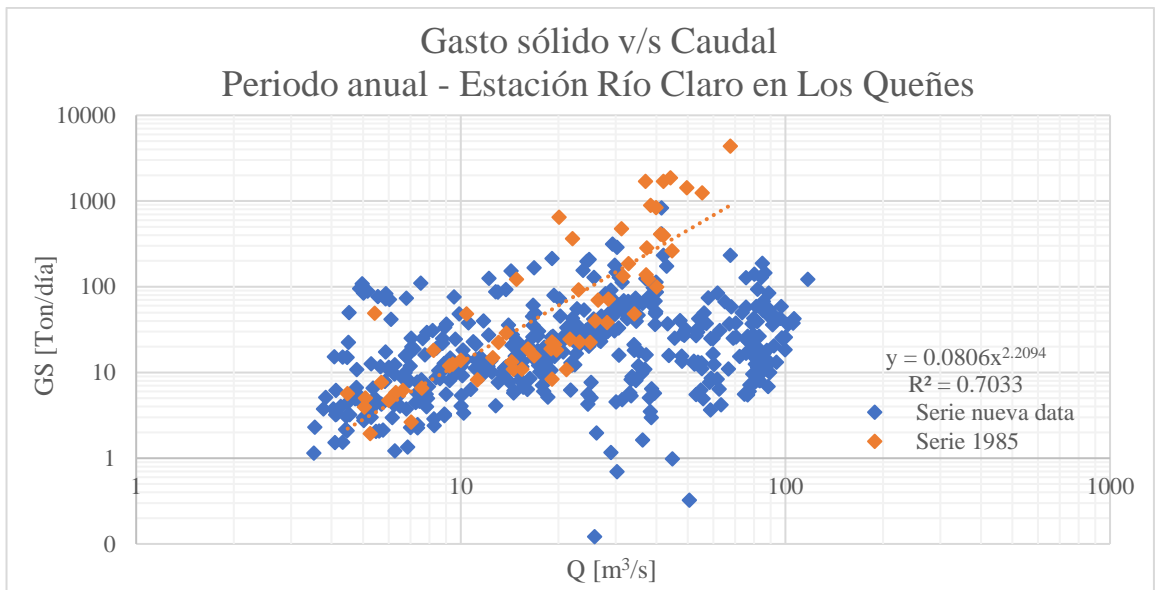


Gráfico 21. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie del estudio de 1985, desde 1977 al 1982; y data nueva, desde 1982 a 2019, estación Río Claro en Los Queñes.

A diferencia del resto de casos, la nube de puntos es evidente. Para estudiar el porqué de tanta dispersión, se realiza un estudio separando series de 5 años, de tal manera de ver si existe algún continuo en el comportamiento hasta cierto punto, y encontrar un nuevo desarrollo de estos patrones, que en una sola serie me entreguen la nube de puntos de la correlación anterior. De esta manera, se presentan los siguientes gráficos:

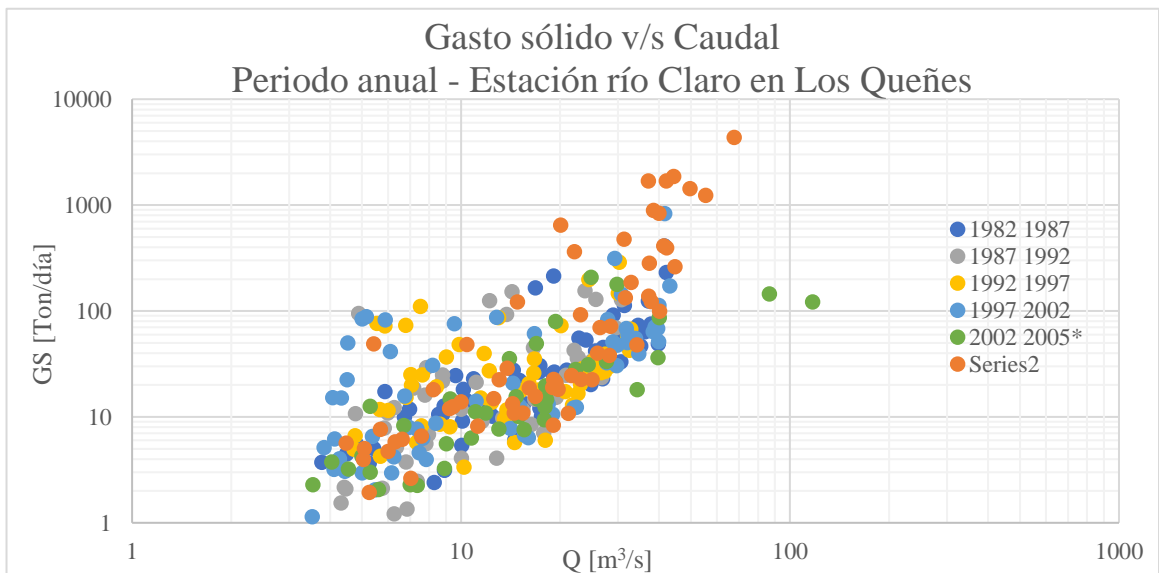


Gráfico 22. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie 1985 y data nueva, en intervalos de 5 años, estación Río Claro en Los Queñes.

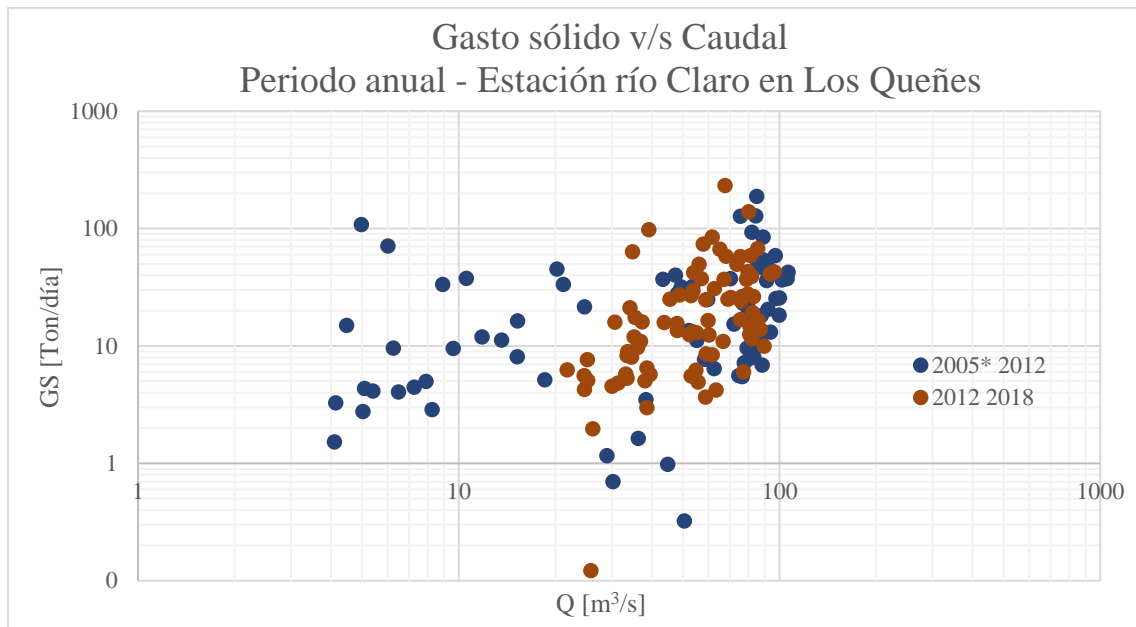


Gráfico 23. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie 1985 y data nueva, en intervalos de 5 años luego del cambio de patrón, estación Río Claro en Los Queñes.

Se hace especial mención al intervalo destacado. Dado que inicialmente el rango es de 5 años para ver si existe más de un comportamiento entre el caudal líquido y el sólido, para no cambiar la metodología inicial, en el momento en que se encuentra el cambio sólo se extiende ese intervalo. Luego de lo anterior, existe un sostenimiento de los patrones sedimentológicos hasta el año 2005. Luego de esta fecha, existe un nuevo comportamiento, aislado por una serie de puntos que no se rigen por ninguna de las series, para luego continuar con este nuevo comportamiento en el año 2012.

Dado que en esta cuenca no existe un patrón sostenido en el comportamiento de los caudales, no se realizó ningún cálculo de nuevos patrones. Incluso da la impresión de que sobre el año 2012 existe un cierto comportamiento, no se estima conveniente realizar el cálculo pues el nivel de datos con el que se encuentra disponible no es suficiente para un estudio más certero.

## 5.4 CUENCA DEL RÍO BÍO BÍO

Para la siguiente cuenca, la comparación que se realizará corresponderá a la estación de Bío Bío en Rucalhue con dos series registradas en el trabajo de (Bzdigian, et al., 1985). Como los puntos desarrollados en el estudio de la concentración con el tiempo, caudal con el tiempo y la elaboración de la curva de descarga, están asociados a la nueva disposición de datos extraída, sólo se presentará en la primera descripción. No así la correlación entre caudal y gasto sólido.

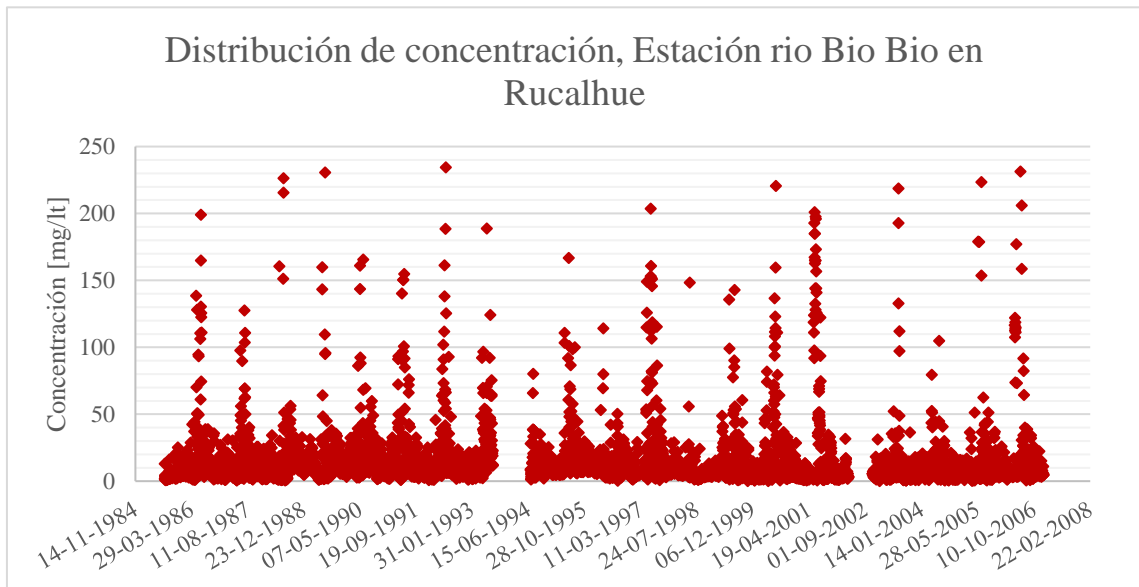


Gráfico 24. Distribución temporal de concentración en la estación Río Bío Bío en Rucalhue, asociada a la data nueva extraída.

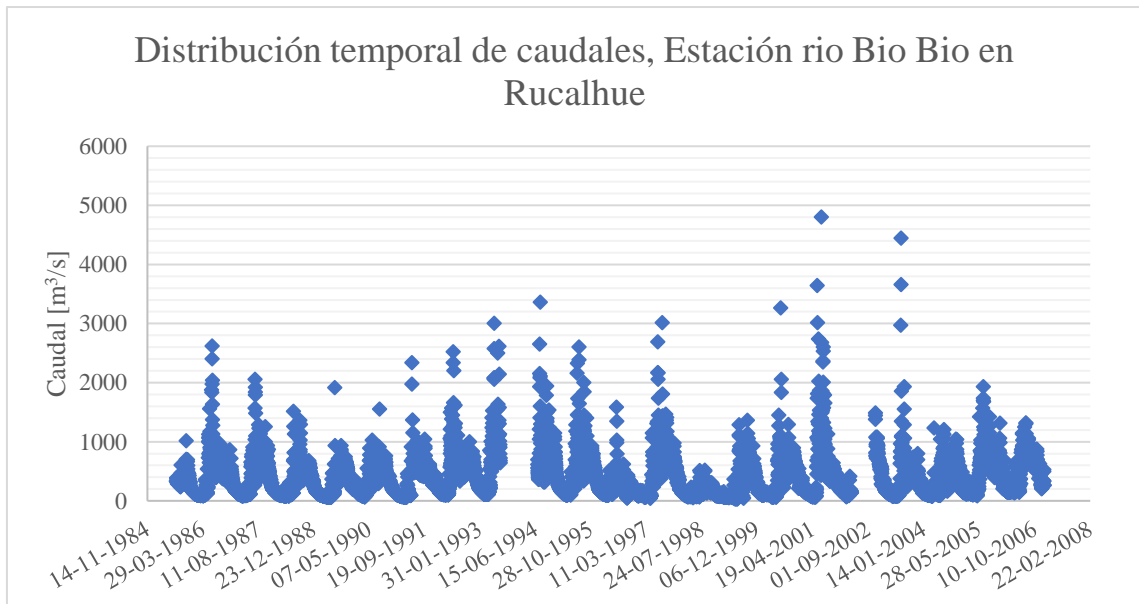


Gráfico 25. Distribución temporal de caudal en la estación Río Bío Bío en Rucalhue, asociada a la data nueva extraída.

En la estación de Rucalhue en el río Bío Bío, se presenta una medición continua de los datos de caudal y concentración por parte de la entidad gubernamental, teniendo saltos significativos de información en el año 1933-1994 y dentro del año 2002.

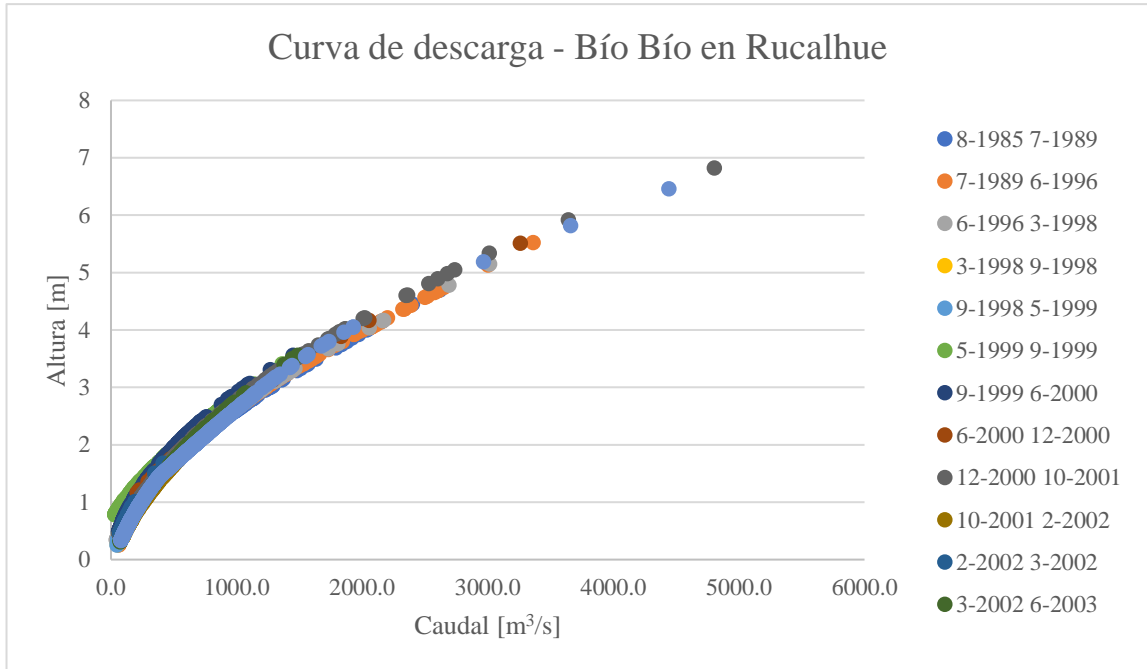


Gráfico 26. Curva de descarga, estación Río Bío Bío en Rucalhue, asociada a la data nueva extraída.

En esta cuenca, existen pequeñas variaciones, aproximadamente de 0.3 [m] para un mismo valor de caudal líquido. Se hace la mención, pero no parece tener una consideración crítica, a diferencia de los casos anteriores.

### 5.4.1 Cuenca del río Bío Bío, estación río Bío Bío en Rucalhue – San Pedro

Esta estación está ubicada en una posición en la cual no está se ve condicionada por el desarrollo de los embalses, registrando los valores considerados por el Río Pangué.

Realizando la respectiva correlación entre el caudal y gasto sólido en suspensión, se obtiene la siguiente figura:

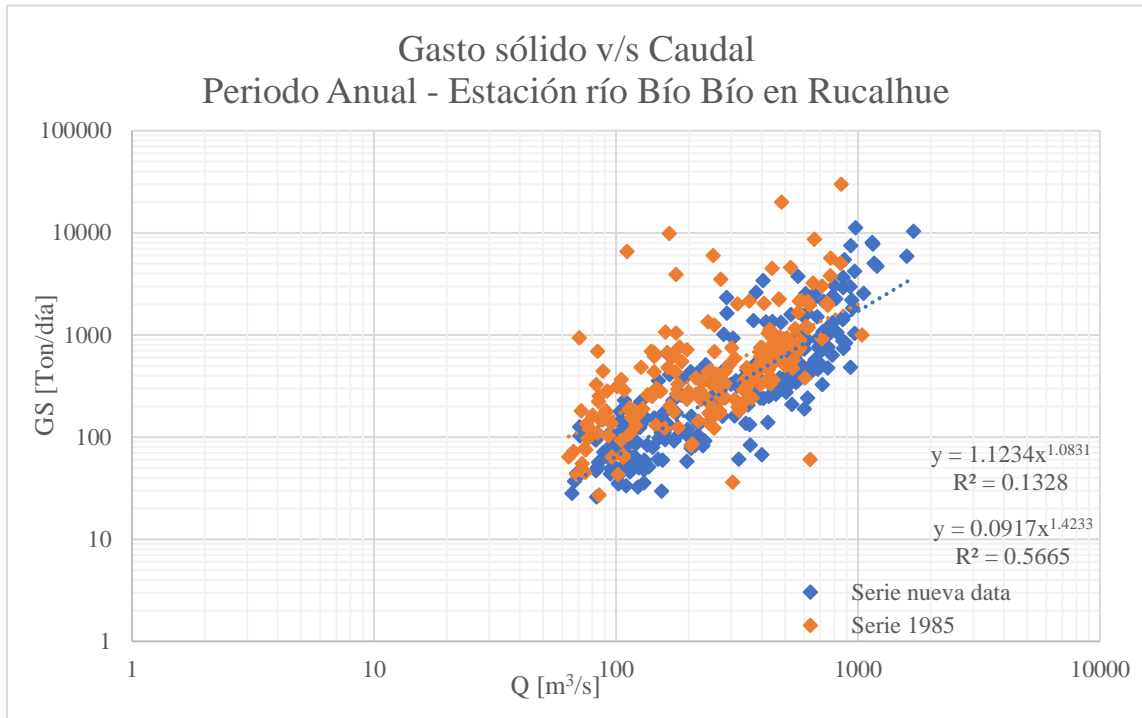


Gráfico 27. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie del estudio de 1985, desde 1964 al 1981; y data nueva, desde 1985 a 2006, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Bío Bío en San Pedro.

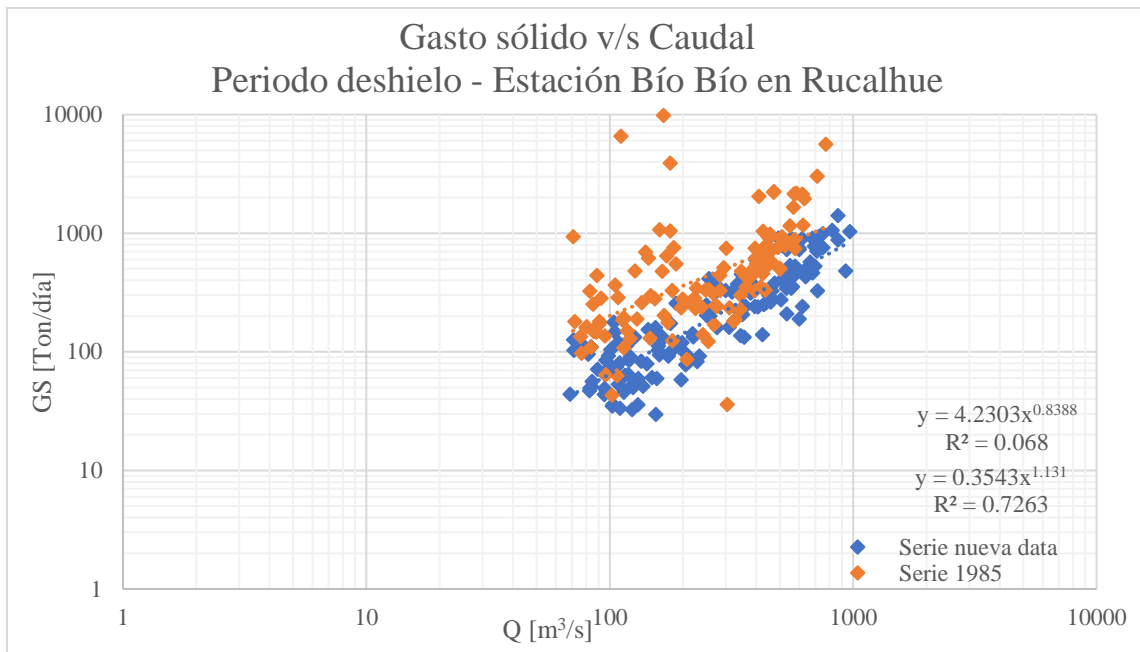


Gráfico 28. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo (septiembre a marzo), serie del estudio de 1985, desde 1964 al 1981; y data nueva, desde 1985 a 2006, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Bío Bío en San Pedro.

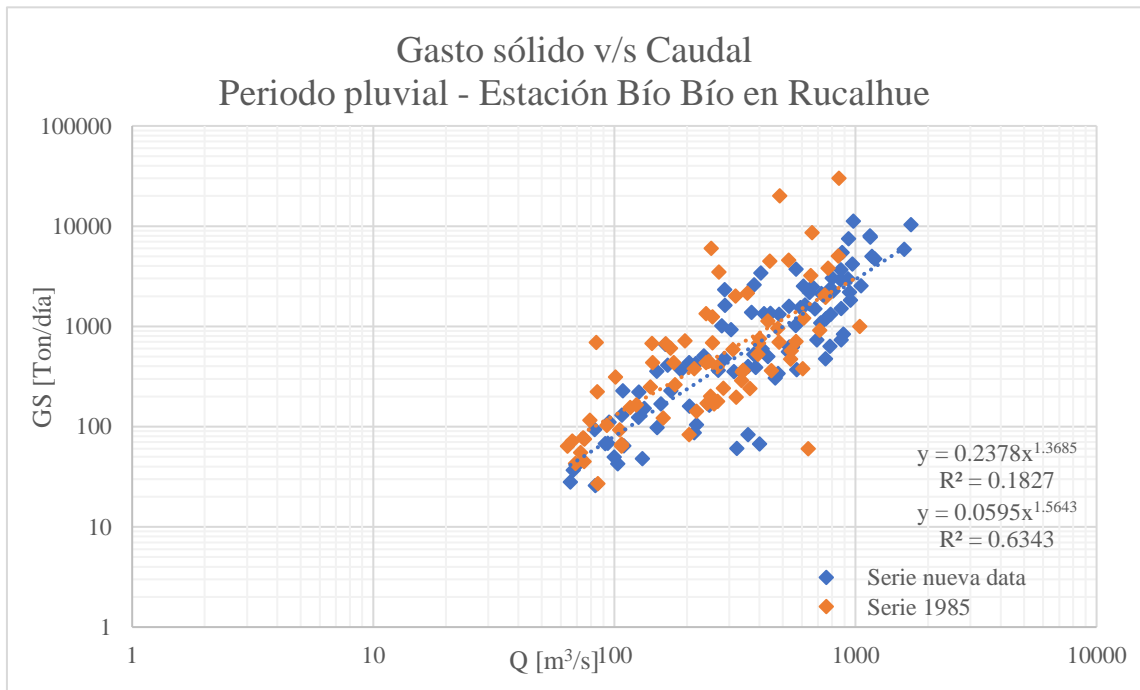


Gráfico 29. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial (abril a agosto), serie del estudio de 1985, desde 1964 al 1981; y data nueva, desde 1985 a 2006, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Bío Bío en San Pedro.

Las Gráficas 27, 28 y 29 presentan las correlaciones realizadas entre la media mensual de los datos obtenidos del estudio de (Bzdigian, et al., 1985) y de la nueva serie extraída en base a la



información disponible en la DGA, tanto de los valores de caudal líquido como sólido en suspensión. Los tres gráficos simbolizan los periodos: anual, hielo y deshielo; donde simbolizan los colores naranjas a la primera serie temporal y al color azul a la nueva trabajada.

Los valores mostrados en la figura anterior muestran una correlación muy buena en la extensión total de datos. Dicho lo anterior, se proponen nuevos valores de las constantes A y B con una sola serie extendida, resumida en las siguientes figuras y tabla:

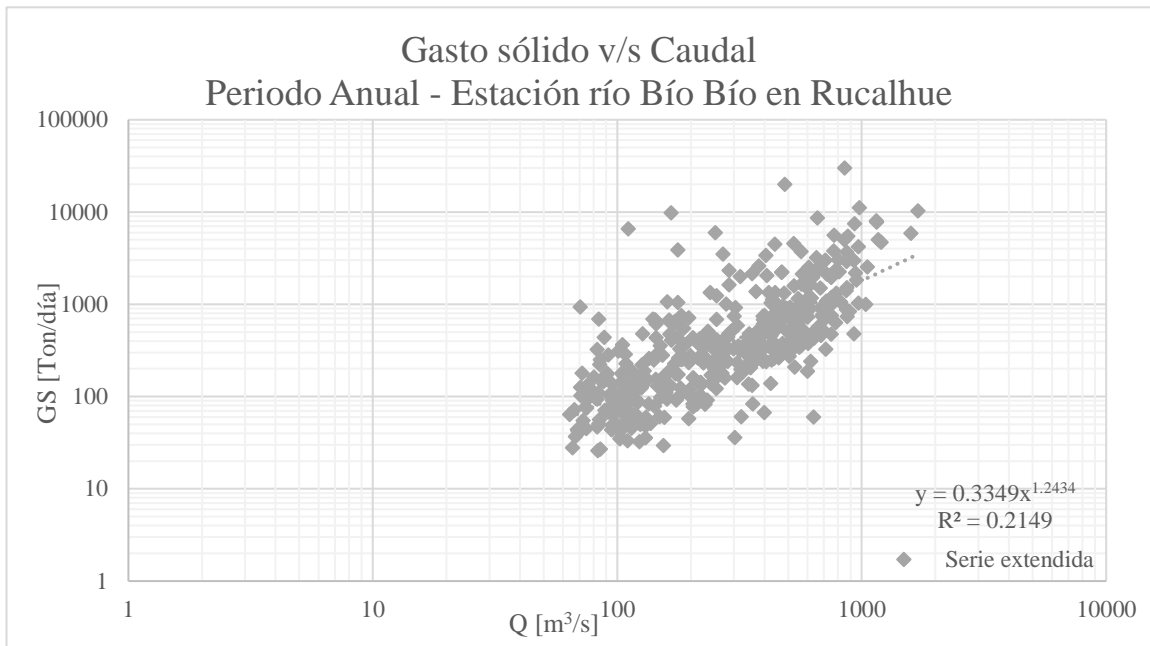


Gráfico 30. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie extendida, estación Río Bío Bío en Rucalhue.

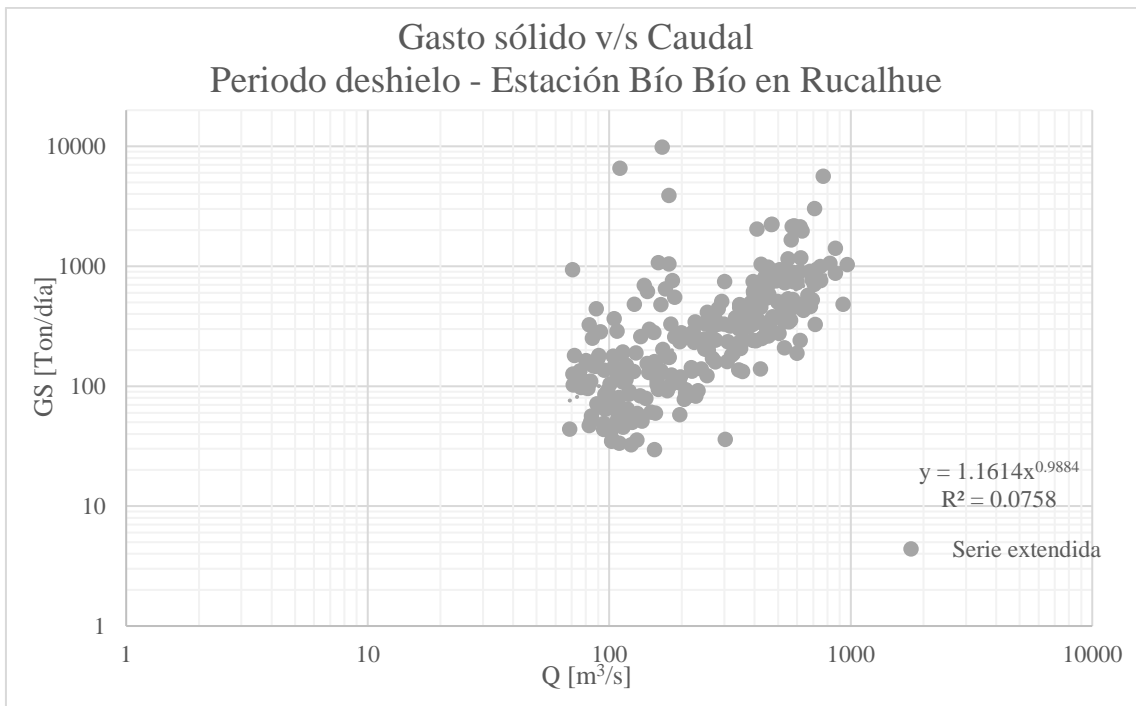


Gráfico 31. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo, serie extendida, estación Río Bío Bío en Rucalhue.

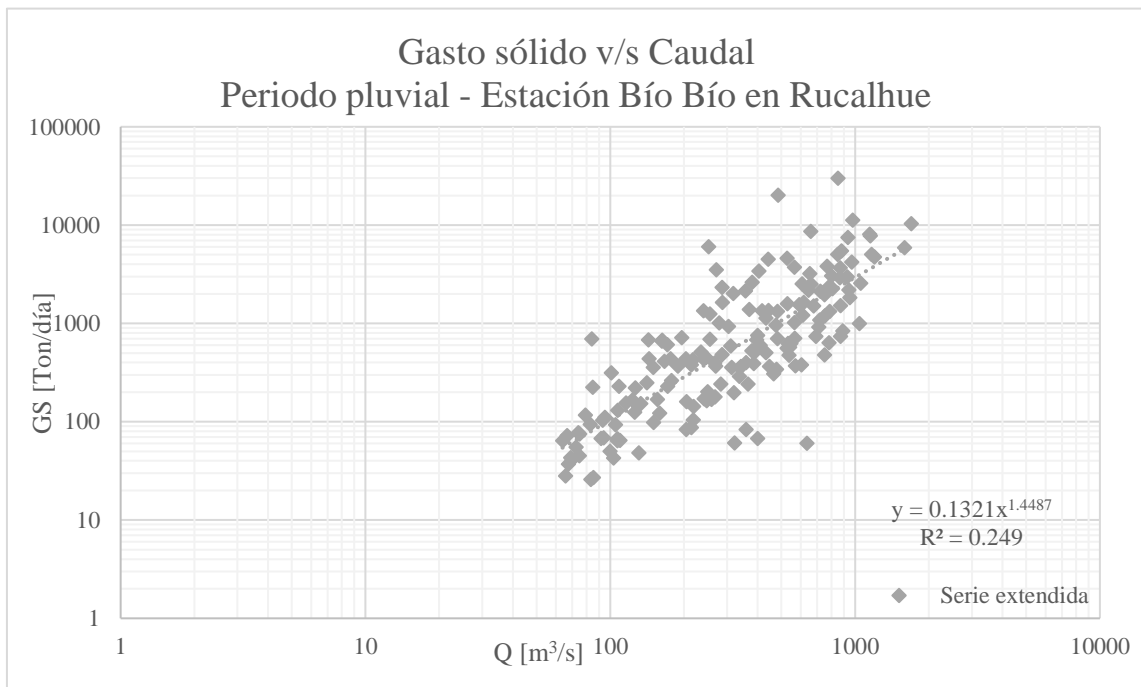


Gráfico 32. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial, serie extendida, estación Río Bío Bío en Rucalhue.

Tabla 15. Valores de las constantes A y B, discretizadas por año calendario, periodos estacionales, serie 1985, serie con data nueva y serie extendida, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Río Bío Bío en San Pedro.

Serie\Periodo	A			B		
	Anual	Deshielo	Pluvial	Anual	Deshielo	Pluvial
Serie 1985	1.1234	4.2303	0.2378	1.0831	0.8388	1.3685
Serie nueva	0.0917	0.3543	0.0595	1.4233	1.1310	1.5643
Serie extendida	0.3349	1.1614	0.1321	1.2434	0.9884	1.4487

#### 5.4.2 Cuenca del río Bío Bío, estación río Bío Bío en Rucalhue – Puente Queuco

La estación Río Bío Bío en puente Queuco, con la cual se realiza la comparación, está ubicada aguas debajo de la anterior, pero por su posición consideraría en cierta magnitud el desarrollo de los distintos embalses de la zona.

Realizando la respectiva correlación entre el caudal y gasto sólido en suspensión, se obtiene la siguiente figura:

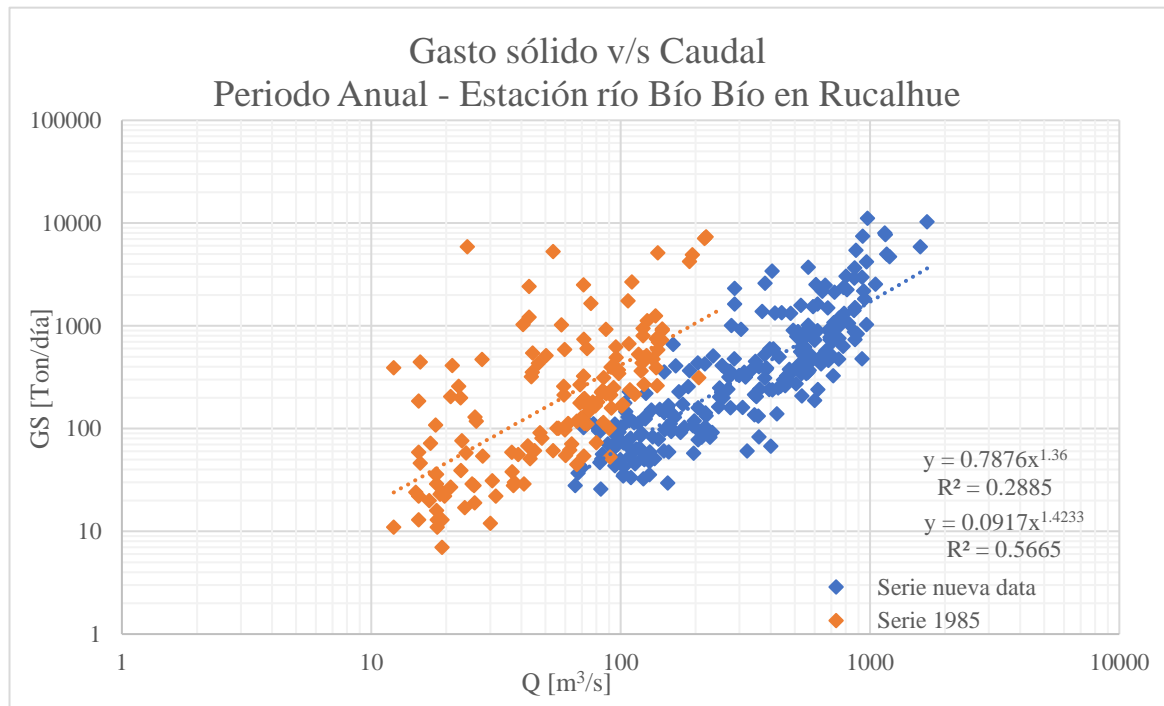


Gráfico 33. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie del estudio de 1985, desde 1964 al 1982; y data nueva, desde 1985 a 2006, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Bío Bío en Puente Queuco.

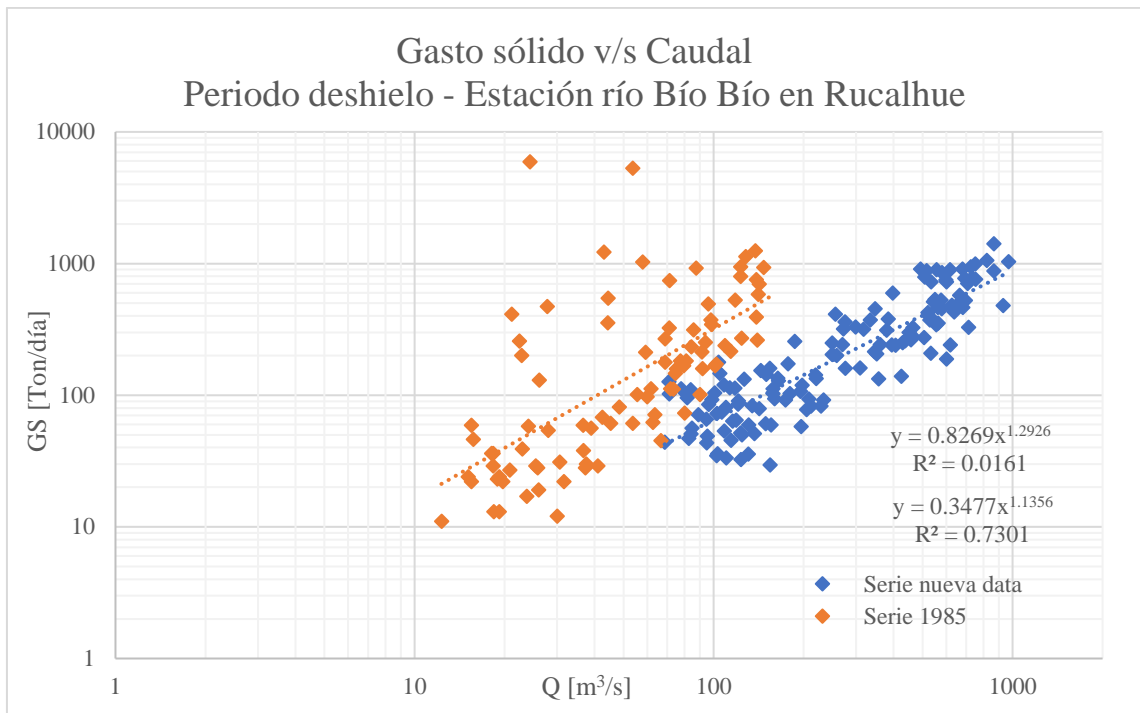


Gráfico 34. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo (septiembre a marzo), serie del estudio de 1985, desde 1964 al 1982; y data nueva, desde 1985 a 2006, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Bío Bío en Puente Queuco.

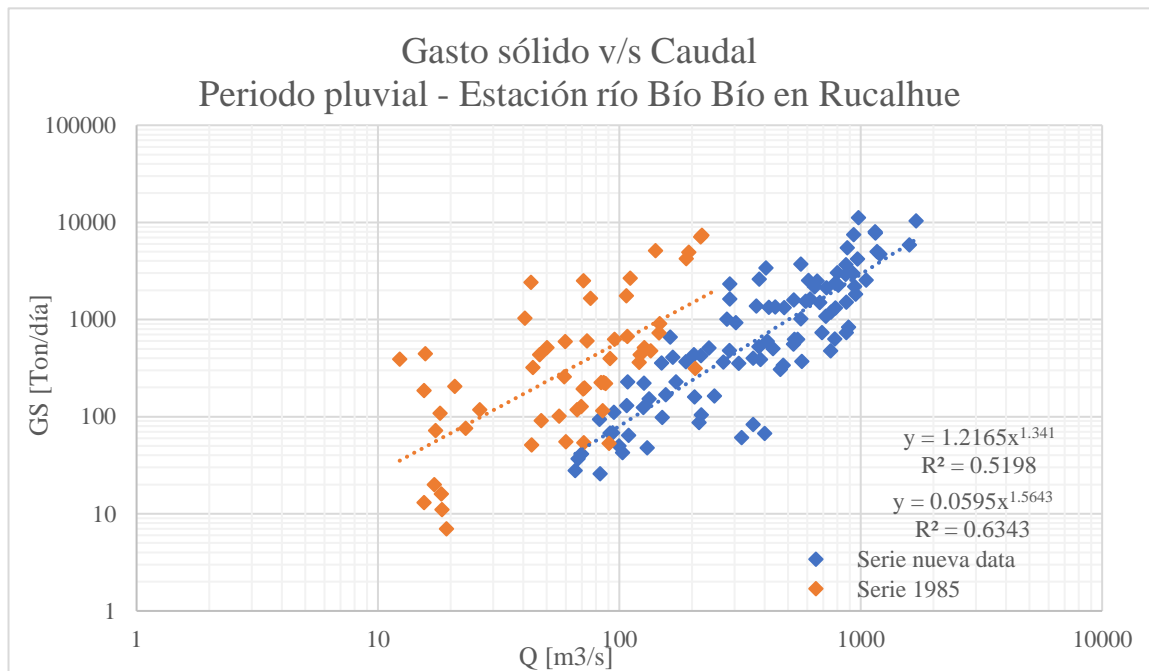


Gráfico 35. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial (abril a agosto), serie del estudio de 1985, desde 1964 al 1982; y data nueva, desde 1985 a 2006, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Bío Bío en Puente Queuco.

A diferencia de la comparación anterior, existe una traslación notable en el comportamiento de los datos. Dicho de otra manera, par aun mismo valor de caudal, el gasto sólido asociado es bastante menor, por lo que se considera algún tipo de control en los sedimentos aguas arriba. Esto tiene coherencia con lo que se plantea al inicio del estudio de esta estación, nombrando que, por la posición de esta misma, debería considerar de alguna manera algún tipo de efecto entregado por los embalses o centrales construidos aguas arriba.

Como el comportamiento evidentemente no es el mismo en toda la serie temporal, se presentan los cálculos de los parámetros A y B en las series separadas, resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 16. Valores de las constantes A y B, discretizadas por año calendario, periodos estacionales, serie 1985, serie con data nueva y serie extendida, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Río Bío Bío en Puente Queuco.

Serie\Periodo	A			B		
	Anual	Deshielo	Pluvial	Anual	Deshielo	Pluvial
Serie 1985	0.7876	0.8269	1.2165	1.3600	1.2926	1.3410
Serie nueva	0.0917	0.3477	0.0595	1.4233	1.1356	1.5643

### 5.4.3 Cuenca del río Bío Bío, estación río Bío Bío en Llanquén

Ubicada en el mismo sector que las dos cuencas anteriores, la estación Bío Bío en Llanquén presenta la diferencia de estar aguas arriba del cauce a una distancia en la cual no se ve involucrada por ningún tipo de obra hidráulica con el paso del tiempo.

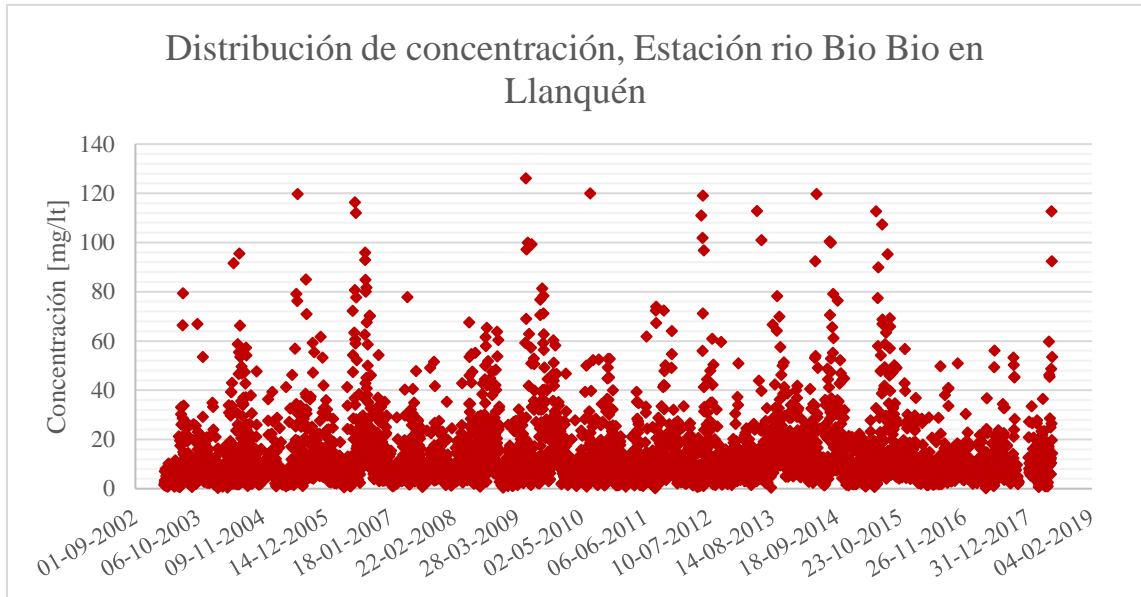


Gráfico 36. Distribución temporal de concentración en la estación Río Bío Bío en Llanquén, asociada a la data nueva extraída.

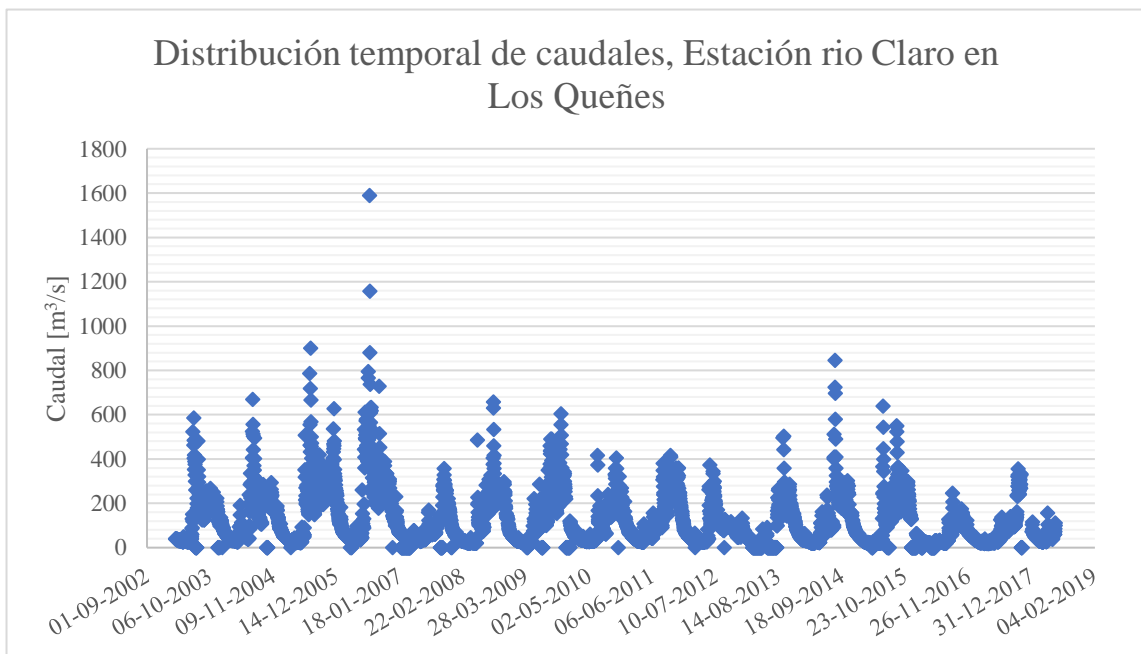


Gráfico 37. Distribución temporal de caudal en la estación Río Bío Bío en Llanquén, asociada a la data nueva extraída.

Dentro de los datos de caudal y concentración, se aprecia que el rango de datos disponibles para esta estación es menor a las vistas anteriormente, teniendo registros desde el año 2002 al 2017. Se destaca además una serie de mediciones con valor 0 de manera reiterativa, siendo todas dentro de los meses del periodo de verano.

La introducción a esta estación se condice con la curva de descarga, la cual no se ha visto manipulada de ninguna manera, como se evidencia en la siguiente gráfica:

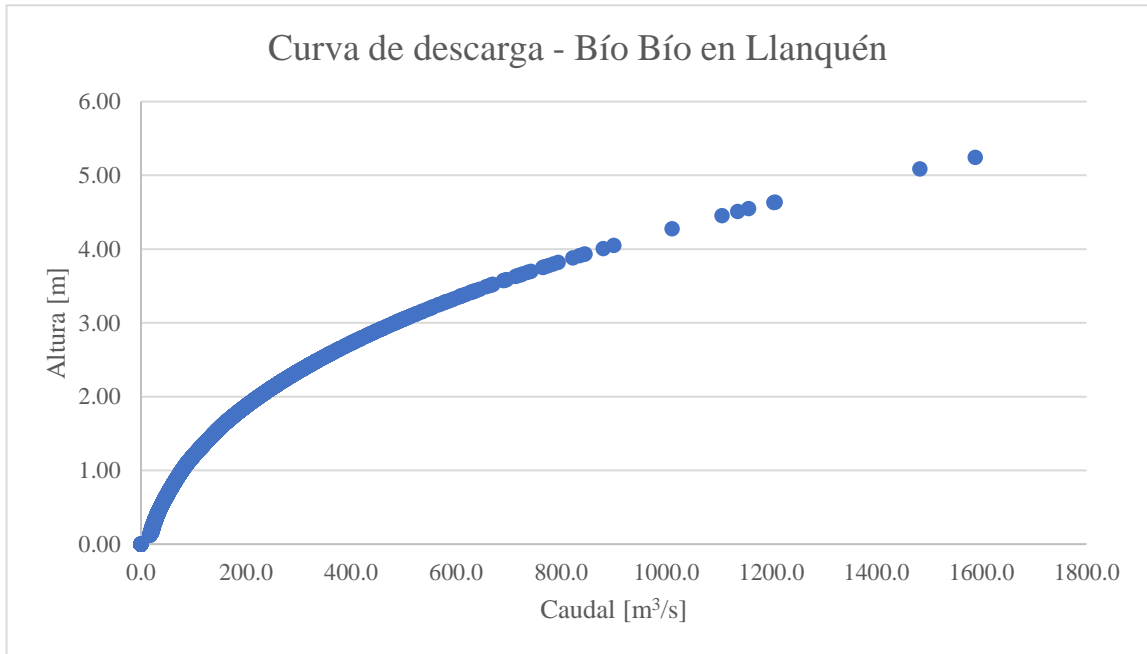


Gráfico 38. Curva de descarga, estación Río Bío Bío en Llanquén, asociada a la data nueva extraída.

Realizando la respectiva correlación entre el caudal y gasto sólido en suspensión, se obtiene la siguiente figura:

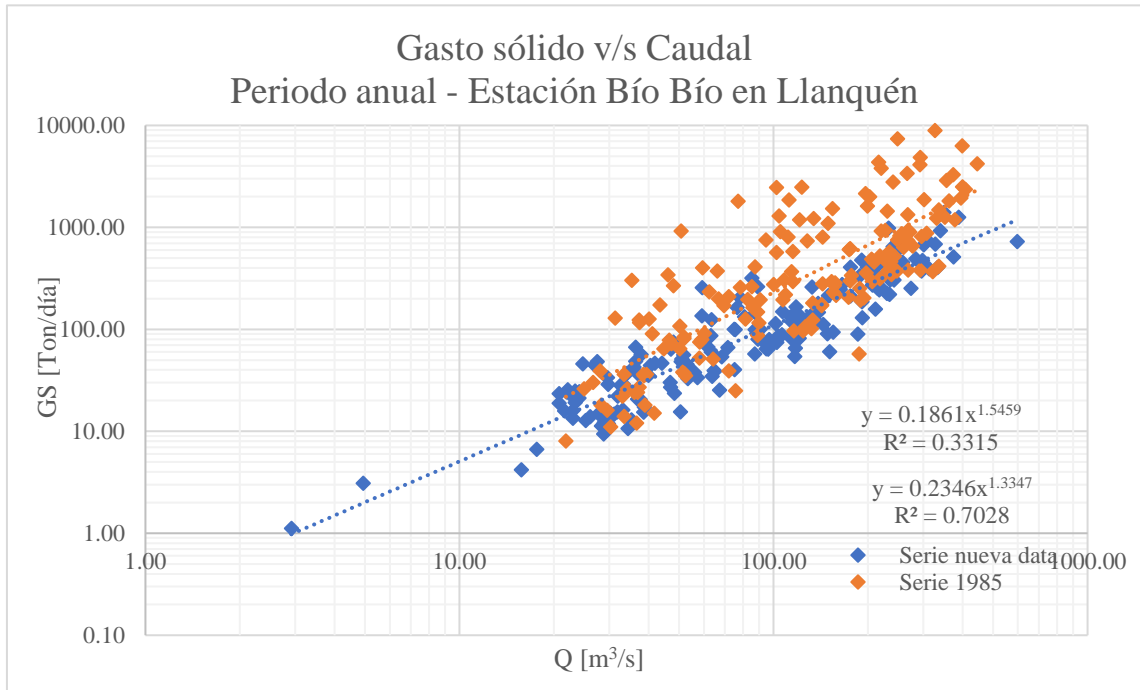


Gráfico 39. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie del estudio de 1985, desde 1965 al 1981; y data nueva, desde 2003 a 2018, estación Río Bío Bío en Llanquén.

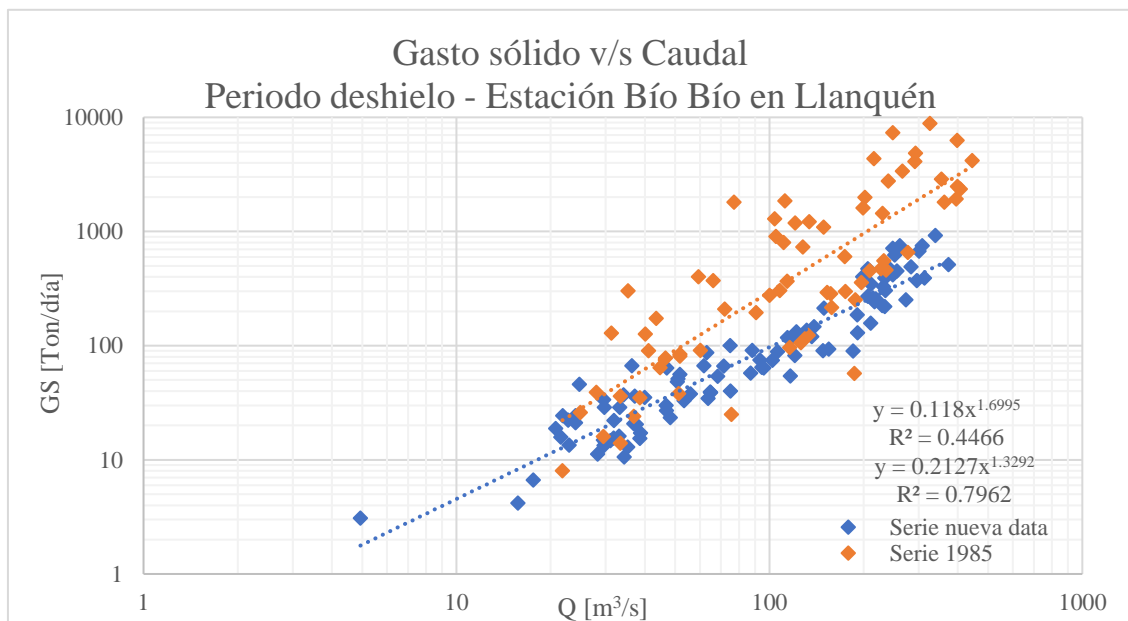


Gráfico 40. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo (septiembre a marzo), serie del estudio de 1985, desde 1965 al 1981; y data nueva, desde 2003 a 2018, estación Río Bío Bío en Llanquén.



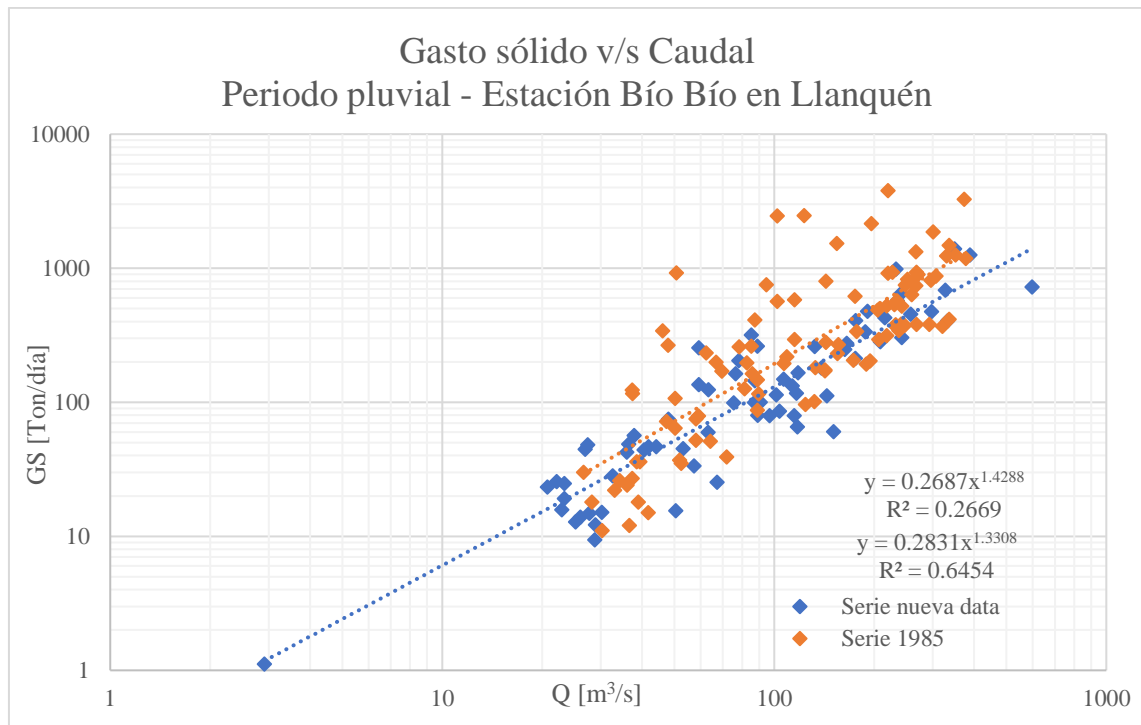


Gráfico 41. Comparación de correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial (abril a agosto), serie del estudio de 1985, desde 1965 al 1981; y data nueva, desde 2003 a 2018, estación Río Bío Bío en Llanquén.

Las Figuras 39, 40 y 41, presentan las correlaciones realizadas entre la media mensual de los datos obtenidos del estudio de (Bzdigian, et al., 1985) y de la nueva serie extraída en base a la información disponible en la DGA, tanto de los valores de caudal líquido como sólido en suspensión. Los tres gráficos simbolizan los periodos: anual, hielo y deshielo; donde simbolizan los colores naranjas a la primera serie temporal y al color azul a la nueva trabajada, ambas acompañadas por la respectiva regresión lineal (primero la serie más antigua, luego la nueva), las cuales responden a la Ecuación (2).

En este caso, existe una mantención del comportamiento en la relación gasto sólido y caudal líquido. Dicho lo anterior, se proponen nuevos valores de las constantes A y B con una sola serie extendida, resumida en los siguientes apartados:

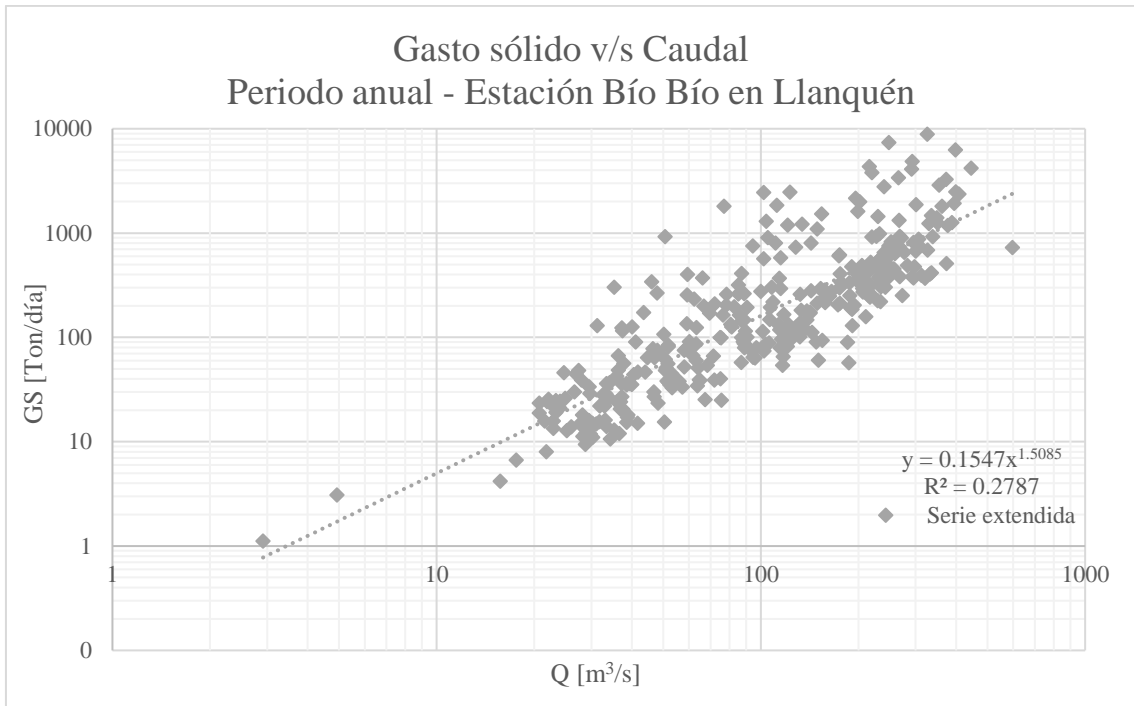


Gráfico 42. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo anual, serie extendida, estación Río Bío Bío en Llanquén.

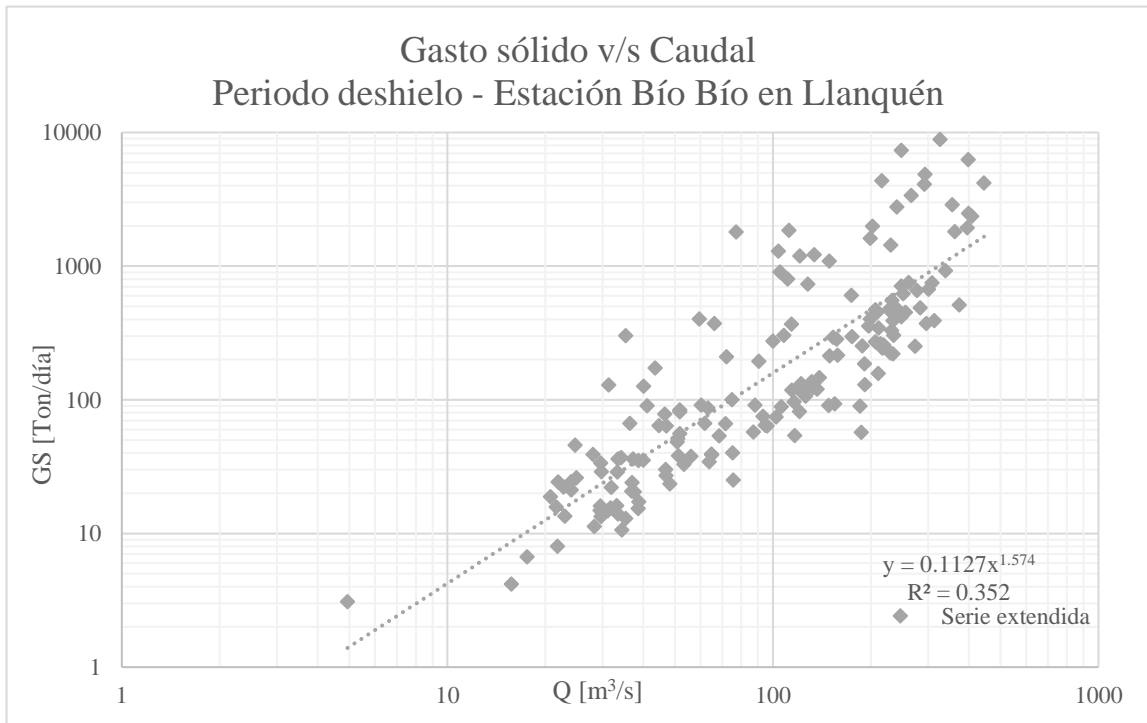


Gráfico 43. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo deshielo, serie extendida, estación Río Bío Bío en Llanquén.

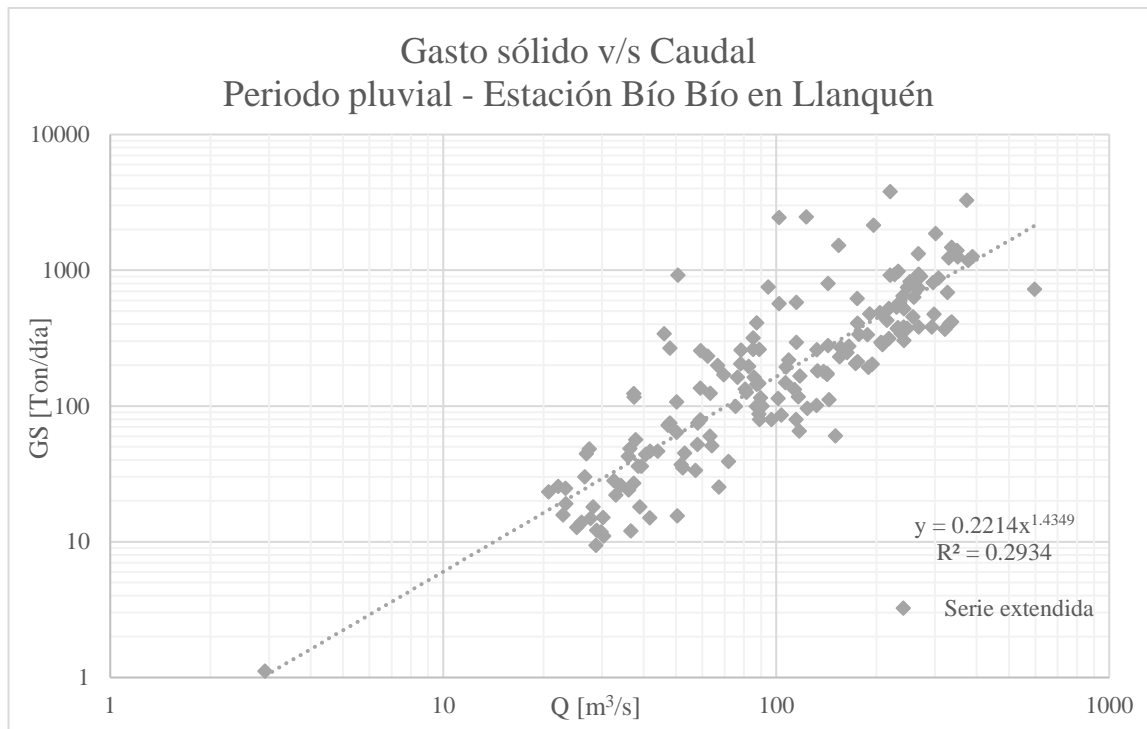


Gráfico 44. Correlaciones entre el caudal y el gasto sólido, periodo pluvial, serie extendida, estación Río Bío Bío en Llanquén.

Tabla 17. Valores de las constantes A y B, discretizadas por año calendario, periodos estacionales, serie 1985, serie con data nueva y serie extendida, estación Río Bío Bío en Rucalhue con estación Río Bío Bío en Llanquén.

Serie\Periodo	A			B		
	Anual	Deshielo	Pluvial	Anual	Deshielo	Pluvial
Serie 1985	0.1861	0.1180	0.2687	1.5459	1.6995	1.4288
Serie nueva	0.2346	0.2127	0.2831	1.3347	1.3292	1.3308
Serie extendida	0.1547	0.1127	0.2214	1.5085	1.5740	1.4349

## 6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo, se entregarán los resultados del apartado anterior. El contenido estará enfocado en dos subcapítulos. Primero, se hará mención de los coeficientes A y B asociado a los patrones sedimentológicos de las cuencas en estudio, acompañado de una breve descripción en cuanto a la variación y valides de estos. Luego, se estudiarán los parámetros en general de las cuencas, haciendo un breve comentario respecto al desarrollo de todas las presentadas.

### 6.1 ANÁLISIS DE LOS PATRONES SEDIMENTOLÓGICOS

#### 6.1.1 Cuenca del río Maipo

La expresión que representa la relación entre el caudal líquido y el gasto sólido en suspensión, para el periodo anual en los registros de la serie extendida corresponde a la siguiente:

$$GS = 0.0702 \cdot Q^{2.7864} \quad (3)$$

Para el periodo de deshielo, la expresión equivalente a la anterior en serie extendida corresponde a:

$$GS = 0.2425 \cdot Q^{2.4881} \quad (4)$$

La última expresión para la serie extendida, equivalente a la relación entre caudal sólido y líquido para el periodo estacional pluvial corresponde a:

$$GS = 0.4767 \cdot Q^{2.0074} \quad (5)$$

Con respecto a las ecuaciones que describen la situación anterior con la consideración de que sólo se tiene en cuenta la serie extraída para este documento, para el periodo anual se presenta la siguiente:

$$GS = 0.0830 \cdot Q^{2.7707} \quad (6)$$

Para el periodo de deshielo, la expresión es la siguiente:

$$GS = 0.1559 \cdot Q^{2.6337} \quad (7)$$

Finalmente, la expresión que describe el periodo estacional pluvial es la siguiente:

$$GS = 1.4770 \cdot Q^{1.6618} \quad (8)$$

De todos modos, se si realiza un estudio con respecto a estas expresiones, se entiende que la serie extendida corresponde a un valor medio entre las dos rectas generadas con las series disponibles.

Con los valores presentados, se entiende que el comportamiento que existe entre la relación de caudal sólido y líquido se mantiene constante en toda la extensión temporal, al tener coeficientes de igual magnitud.

### 6.1.2 Cuenca del río Cachapoal

En la cuenca del río Cachapoal, no se presentan resultados asociados a los patrones sedimentológicos, basado en los mismos criterios utilizados para determinar los coeficientes A y B de la cuenca inmediatamente anterior, esto dado principalmente porque existe un gran grado de incertidumbre de los datos y no se consideró todo el caudal de la cuenca.

### 6.1.3 Cuenca del río Teno

En la cuenca del río Teno, no se presentan resultados asociados a los patrones sedimentológicos, basado en los mismos criterios utilizados para determinar los coeficientes A y B de la cuenca del río Maipo, esto debido a que existe una alteración visible en el comportamiento del cauce desde el año 2005, mismo comportamiento que no tiene una tendencia que permita realizar algún tipo de diagnóstico.

### 6.1.4 Cuenca del río Bío Bío

En respuesta a los patrones presentados para la cuenca del río Bío Bío, la expresión que representa la relación entre el caudal líquido y el gasto sólido en suspensión, para el periodo anual en los registros de la serie extendida con la estación río Bío Bío en San Pedro corresponde a la siguiente:

$$GS = 0.3349 \cdot Q^{1.2434} \quad (9)$$

Para el periodo de deshielo, la expresión equivalente a la anterior en serie extendida corresponde a:

$$GS = 1.1614 \cdot Q^{0.9884} \quad (10)$$

La última expresión para la serie extendida, equivalente a la relación entre caudal sólido y líquido para el periodo estacional pluvial corresponde a:

$$GS = 0.1321 \cdot Q^{1.4487} \quad (11)$$

Con respecto a las ecuaciones que describen la situación anterior con la consideración de que sólo se tiene en cuenta la serie extraída para este documento, para el periodo anual se presenta la siguiente:

$$GS = 0.0917 \cdot Q^{1.4233} \quad (12)$$

Para el periodo de deshielo, la expresión es la siguiente:

$$GS = 0.3543 \cdot Q^{1.1310} \quad (13)$$

La expresión que describe el periodo estacional pluvial es la siguiente:

$$GS = 0.0595 \cdot Q^{1.5643} \quad (14)$$

Al realizar la correlación con la estación Queuco en puente Queuco, existe una variación en cuanto al aumento de los caudales. De tal manera, que para la siguiente estación sólo se entregan los valores de caudal respecto a la nueva serie de datos, siendo para el periodo anual la siguiente:

$$GS = 0.0917 \cdot Q^{1.4233} \quad (15)$$

Para el periodo de deshielo, la expresión es la siguiente:

$$GS = 0.3477 \cdot Q^{1.1356} \quad (16)$$

En cuanto a la expresión que describe el periodo estacional pluvial es la siguiente:

$$GS = 0.0595 \cdot Q^{1.5643} \quad (17)$$

Por último, la expresión que representa la relación entre el caudal líquido y el gasto sólido en suspensión, para el periodo anual en los registros de la serie extendida en la estación río Bío Bío en Llanquén corresponde a la siguiente:

$$GS = 0.1547 \cdot Q^{1.5085} \quad (18)$$

Para el periodo de deshielo, la expresión equivalente a la anterior en serie extendida corresponde a:

$$GS = 0.1127 \cdot Q^{1.5740} \quad (19)$$

La última expresión para la serie extendida, equivalente a la relación entre caudal sólido y líquido para el periodo estacional pluvial corresponde a:

$$GS = 0.2214 \cdot Q^{1.4349} \quad (20)$$

Con respecto a las ecuaciones que describen la situación anterior con la consideración de que sólo se tiene en cuenta la serie extraída para este documento, para el periodo anual se presenta la siguiente:

$$GS = 0.2346 \cdot Q^{1.3347} \quad (21)$$

Para el periodo de deshielo, la expresión es la siguiente:

$$GS = 0.2127 \cdot Q^{1.3292} \quad (22)$$

Finalmente, la expresión que describe el periodo estacional pluvial es la siguiente:

$$GS = 0.2831 \cdot Q^{1.3308} \quad (23)$$

Con los valores presentados, se entiende que el comportamiento que existe entre la relación de caudal sólido y líquido se mantiene constante, en toda la extensión temporal.

## **6.2 ANÁLISIS DE LAS CUENCAS**

Conformado la parte matemática del problema, en el siguiente capítulo se abarcará los resultados obtenidos en este trabajo, en conjunto con los datos obtenidos por (Bzdigian, et al., 1985), de tal manera de plantear, para un posterior capítulo, las discusiones respectivas con todo el abanico de datos.

En este documento, se trabajarán las cuencas del río Maipo y del río Cachapoal, las dos primeras cuencas planteadas en este documento, con un objetivo netamente académico, donde las siguientes cuencas en las que se recopiló información, quedarán como base para siguientes estudios.

De todos modos, el análisis que se realizará para una cuenca, como puede ser la del río Maipo, puede ser utilizada como modelo, de tal manera que esta metodología de estudio puede extrapolarse para las siguientes, con sus respectivas consideraciones.

### **6.2.1 Análisis cuenca del Maipo, estación río Colorado antes junta Maipo**

En los primeros capítulos de este trabajo, se hace mención de que se usó el trabajo (Bzdigian, et al., 1985) como base para la actualización de los patrones. Si bien este documento tiene toda la información y anexos necesarios para el respectivo trabajo, no se hace de gran dificultad realizar un nuevo cálculo, ya que hoy las tecnologías trabajan de manera mucho más rápida.

Bajo esta idea, es necesario destacar que, como se trabaja en base a estaciones fluviométricas, obtener la posición espacial de las estaciones es relevante para la cuenca que esta controla. Para el caso de la cuenca del río Maipo, las estaciones están relativamente cerca, de tal manera que se esperan valores similares en la parte morfométrica.

En cuanto a el valor de área, en unidades de kilómetros cuadrados, el estudio de 1985 entrega un valor de 2157.0 en comparación con los 1662.8 obtenidos a través de ArcGis. El último valor de área fue revisado, en conjunto con los datos disponibles por el Centro de Clima y la Resiliencia, arrojando que el valor medido es correcto. Esto fue realizado pues la diferencia es muy notoria, de tal manera que se considera que, en el estudio previo de esta geometría, existió un error en la medición de los datos.

Con respecto al valor de longitud del cauce principal, existe una diferencia donde la nueva medición registra un valor de 72.18 kilómetros de cauce, un aumento de 7.18 kilómetros, que parecen no tener relación con el aumento considerable del área de la cuenca. El valor de la pendiente media de la cuenca aumenta de 5% a 6.9%. La altura media medida si coincide, obteniendo un valor de 3427.30 metros sobre el nivel del mar, valor que se considera congruente con el medido en el estudio anterior, pero esta vez con mayor precisión. El número de cauces que se miden en la cuenca tiene la misma magnitud. Para este caso, no se puede asegurar de manera correcta la interpretación de este tópico, como uno de los objetivos del estudio anterior es cuantificar la importancia de cada una de estas variables dentro de los coeficientes A y B de cada cuenca. En este ejercicio, se puede guardar este valor para futuros estudios, o simplemente para tener una visión al estudiar los resultados y los órdenes de magnitud de caudal líquido y sólido, ya que no se tiene una correcta interpretación del número de órdenes de los cauces considerados por Bzdigian en el año 1985. Esto se puede apoyar con el último valor de longitud de los cauces aportantes ya que, al ser el mismo número de cauces, en la nueva medición realizada el valor

aumenta en 179.42 kilómetros. Se vuelve a lo mismo, rehacer estas mediciones es para acompañar los órdenes de magnitud de este documento, por sobre la influencia en los factores A y B.

El siguiente aspecto relevante para este trabajo, como en su mayoría consiste en un desarrollo estadístico para darle validez y confiabilidad a los resultados, es el grupo de datos utilizado para elaborar cada serie, que en este caso está abarcado por el número de datos medidos y por las fechas de estos datos.

En el caso del estudio de 1985, para la cuenca del río Maipo existe valores registrados desde enero de 1970, con ciertas interrupciones, y finalizando en junio de 1982, tanto para los valores de caudal líquido como de concentración de gasto sólido en suspensión. Para la nueva serie extraída, se consideran datos desde mayo de 1985, argumentando que no hay registros anteriores en la red de disponibilidad de información de la DGA, hasta marzo de 2010, con interrupciones en los años 1990 a 1993, 1998 a 2003, y sumado a varias mediciones discontinuas dentro del rango de fechas de esta nueva serie, en las mismas variables de caudal. La gran diferencia entre ambas series está en que en la entregada por (Bzdigian, et al., 1985) se presenta directamente los valores de caudal líquido y sólido mensual, y en la nueva serie es obtenida mediante la media de los valores acumulados en su respectivo mes. Esto es de suma relevancia, pues en ningún caso se asume una medición continua durante todo el rango de datos en ambas series y, por la data disponible en la nueva serie adjunta en el Anexo 3, 4 y 5, se entrega a los lectores acompañado a las magnitudes de media mensual, el número de datos con los cuales se realiza la ponderación, con el sólo objetivo de entrega mayor o menor confiabilidad, según sea el caso de los datos.

En cuanto a la curva de descarga presentada en el capítulo anterior, existe una gran discrepancia con respecto a las magnitudes asociadas a caudal versus altura en las distintas series dentro del rango de nueva data disponible. Como la DGA entrega los valores de caudal acompañado de la altura medida, se realizó la visión gráfica de estos datos, arrojando valores de 10 metros de altura en magnitud, convirtiéndose en el tiempo a valores de 2 metros de altura, de tal manera que existe un error en la medición, puesto que lo anterior no puede ser posible.

En cuanto a los gráficos presentados en la sección 4.1 del capítulo anterior, existe una evidente tendencia de los datos observados. Existe un punto que discrepa de el resto, registrado en el mes de diciembre del año 2009, el cuál registra un valor de 10.95 metros cúbicos por segundo para las 244.,29 toneladas día. Si bien puede ser que exista un error puntual en este dato, los valores asociados al coeficiente de correlación disminuyen considerablemente al omitirlo, por lo que se supone correcto.

En conjunto con todo lo anterior, y luego de los cálculos realizados, se puede tomar la idea de que los nuevos datos entregan una correlación que ha sido sostenida durante el tiempo, teniendo la misma tendencia de magnitudes de gasto sólido para un valor dado de caudal.

De esta manera, y reiterando lo presentado en el apartado anterior, se entregan dos expresiones que permiten determinar los valores de gasto sólido en suspensión a partir de las magnitudes medidas de caudal. Ambas expresiones están discretizadas en periodo anual y periodo estacional, respectivamente, donde la diferencia está en que una es realizada con la serie total de datos, es decir, los datos tomados del estudio de 1985 y los obtenidos de la DGA; la segunda expresión corresponde a la expresión para medir gasto sólido en suspensión, tanto para periodo anual como estacional, pero sólo teniendo en consideración los valores extraídos de la DGA, apelando a los criterios de confiabilidad que han sido agregado a lo largo de este capítulo.



Si se emplean los patrones para determinar el gasto sólido en función del caudal líquido, se obtiene la siguiente gráfica:

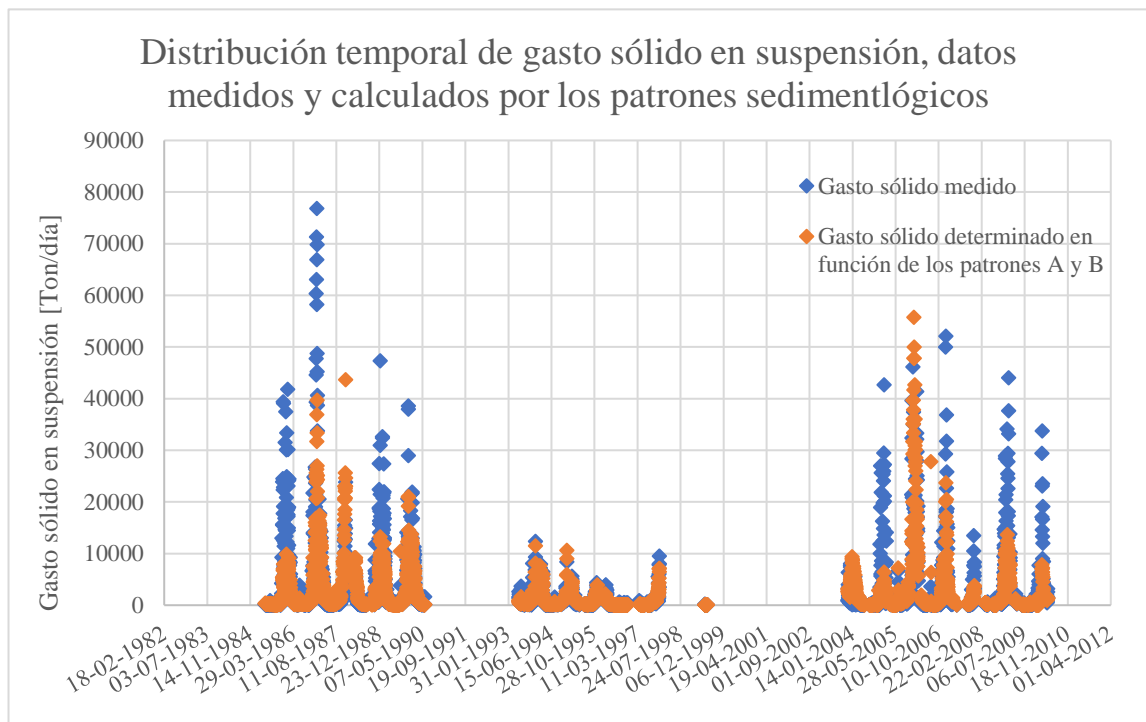


Gráfico 45. Distribución temporal de gasto sólido en suspensión, comparación de los datos medidos y calculados por los patrones sedimentológicos en unidades de [Ton/día]

En la Gráfica 45, los datos de color azul corresponden a los valores medidos por la estación del río Colorado antes junta río Maipo, y las de color anaranjado a los valores determinados a partir de los patrones sedimentológicos a nivel anual, para el horizonte de datos de caudal diario disponible de la estación.

De la misma manera, en la siguiente Gráfica 46, se presenta la misma información, pero con la discretización estacional de los patrones sedimentológicos, obteniendo lo siguiente:

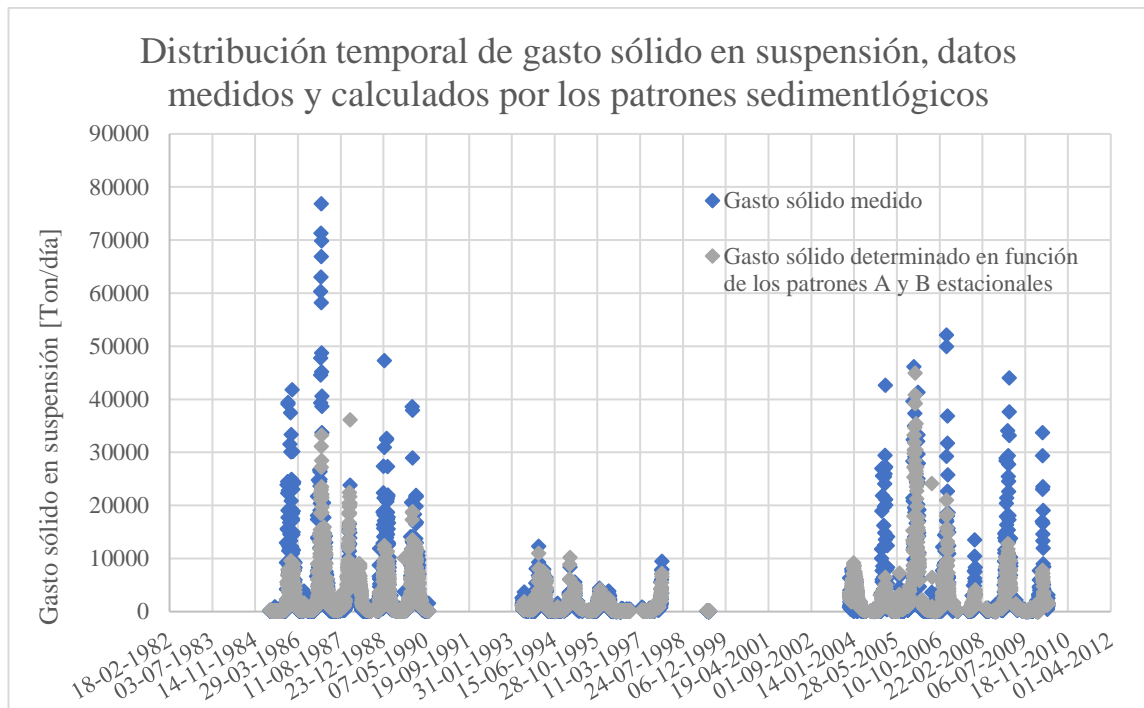


Gráfico 46. Distribución temporal de gasto sólido en suspensión, comparación de los datos medidos y calculados por los patrones sedimentológicos estacionales

En ambos casos, se presenta un ajuste que representa un buen nivel de información preliminar para valores medios, pero que tiene a no responder para crecidas importantes.

### 6.2.2 Análisis cuenca del Cachapoal, estación río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes

Este subcapítulo se desarrollará de la misma manera que en el caso de la cuenca del río Maipo, principalmente con objetivo de mostrar un caso con discrepancia de resultados.

La estación que está siendo asociada al comportamiento de la cuenca del río Cachapoal es la misma en ambos rangos de tiempo. En cuanto a el valor de área, en unidades de kilómetros cuadrados, el estudio de 1985 entrega un valor de 2367.0 en comparación con los 2461.61 obtenidos a través de ArcGis. A diferencia del caso anterior, los valores son muy similares, de lo cual se toma que, con las nuevas tecnologías, el valor del área es equivalente al anterior, pero con mayor precisión.

Con respecto al valor de longitud del cauce principal, los valores tienen gran similitud en cuanto a ordenes de magnitud, pasando de 66 kilómetros a 61.67 kilómetros, bajo el mismo argumento que en el caso del área.

De la misma manera se trabaja con la pendiente y la altura media, actualizando los valores a un 2% y a 2647.22 metros sobre el nivel del mar.

Con respecto al número de cauces y la longitud de estos, se considera la misma idea que en el caso de la cuenca del río Maipo, argumentando que no se tiene la definición utilizada para considerar la magnitud de importancia de estos cauces. Esto se ve reflejado en que, en una nueva medición, el número de cauces se duplicó, y la longitud acumulada de estos cambió de 260 kilómetros a

926.03 kilómetros. Se entrega la información haciendo un símil al caso anterior: el alcance de este trabajo no da para realizar la influencia de estos valores en los parámetros A y B, pero se entregan los valores para poder estudiar los resultados.

Pasando a la serie temporal de datos de caudal sólido y líquido, existe una particularidad. En el capítulo anterior se habla sobre la consideración de una estación extra, esto debido a que se trabaja bajo la hipótesis de que los niveles de concentración medidos en la estación de río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes representa los niveles de toda la cuenca. Pero, esta misma estación no representa los todos los valores de caudal líquido, pues existe una obra de extracción, valores que son registrados por la estación de Canal Sauzal.

Luego del trabajo realizado, y la gran discrepancia en los niveles de caudal por gasto sólido, se presenta que es posible que en el estudio de Bzdigian 1985 sólo se haya considerado los valores registrados por la estación de río Cachapoal en puente Termas.

Lo anterior, al hacer el mismo apartado que en la cuenca anterior, implica algo muy importante: no es posible realizar una serie extendida de datos. Esto es evidente, pues los dos estudios realizados, el primero de (Bzdigian, et al., 1985) y el segundo el del autor de este escrito, representan físicamente dos fenómenos distintos: (Bzdigian, et al., 1985) trabajo con los valores únicos de la estación, y el autor realiza la suma para obtener valores representativos de toda la cuenca que abarca la estación.

Siguiendo con los rangos de tiempo para cada serie, en el caso del estudio de Bzdigian para la cuenca del río Cachapoal los datos van desde enero de 1975 a diciembre del año 1982, de manera ininterrumpida.

## **7. MODELACIÓN NUMÉRICA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**

En el capítulo presente, se desarrollará un primer acercamiento a una modelización numérica de las cuencas en estudio en el software Iber. En un trabajo similar al capítulo anterior, se establecerá una base de trabajo para la cuenca del río Maipo, de la cual se puede extraer la metodología para extrapolar la labor al resto de cuencas.

El trabajo de modelación numérica es un proceso que requiere de mucho tiempo. El ajuste y calibración de modelos requiere de una gran cantidad de iteraciones con la información correcta en geometría, morfología e información hidráulica, conectado específicamente en que la resolución de estos procesos conlleva a tiempos de espera de horas, para modelos simplificados, e incluso de varios días para casos con gran nivel de detalle, siendo esto gran función del rendimiento computacional con el cual se disponga.

A continuación, dado la disponibilidad restante para el autor, se entregará una primera aplicación del río Cachapoal, cuenca del río Maipo, para la calibración de caudales, concentración y transporte de sedimentos en suspensión, entregando la base teórica y la metodología empleada para su posterior continuación.

### **7.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **7.1.1 Iber**

Iber corresponde a un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no permanente y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial (Bladé, et al., 2014). El espectro de aplicación de Iber abarca la hidrodinámica fluvial, simulación de rotura de presas, evaluación de zonas inundables, cálculo de transporte de sedimentos y el flujo de marea en estuarios. Iber consta actualmente de tres módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros.

En el módulo hidrodinámico, que es base de Iber, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (St. Venant en dos dimensiones). El módulo de turbulencia permite incluir las tensiones turbulentas en el cálculo hidrodinámico, pudiendo utilizar para ello diferentes modelos de turbulencia para aguas someras con diferente grado de complejidad. El módulo de transporte de sedimentos resuelve las ecuaciones de transporte de fondo y transporte turbulento en suspensión, calculando a partir del balance de masa de sedimento la evolución de la cota de fondo.

En los siguientes apartados, se hará énfasis en los módulos hidrodinámico y de transporte de sedimentos.

#### **7.1.2 Módulo hidrodinámico**

El módulo hidrodinámico resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad, conocidas como 2D Shallow Water Equations (2D-SWE) o ecuaciones de St. Venant en dos dimensiones. Dichas ecuaciones asumen una distribución de presión hidrostática y una

distribución relativamente uniforme de la velocidad en profundidad. La hipótesis de presión hidrostática se cumple razonablemente en el flujo en ríos, así como en las corrientes generadas por la marea en estuarios. De la misma manera, la hipótesis de distribución uniforme de velocidad en profundidad se cumple habitualmente en ríos y estuarios, aunque pueden existir zonas en las que dicha hipótesis no se cumpla debido a flujos locales tridimensionales o a cuñas salinas.

En la actualidad, los modelos numéricos basados en las ecuaciones de aguas someras bidimensionales son los más utilizados en estudios de dinámica fluvial y litoral, evaluación de zonas inundables, y cálculo de transporte de sedimentos y contaminantes.

En el módulo hidrodinámico se resuelven las ecuaciones de conservación de la masa y de momento en las dos direcciones horizontales:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = M_s \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h U_x}{\partial t} + \frac{\partial h U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial y} = & -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} - \frac{g h^2}{p} \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \Omega \sin \lambda U_y \\ & + \frac{\partial h \tau_{xx}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial y} + M_x \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h U_y}{\partial t} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial h U_y^2}{\partial y} = & -gh \frac{\partial Z_s}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} - \frac{g h^2}{p} \frac{\partial p}{\partial y} - 2 \Omega \sin \lambda U_x \\ & + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{yy}^e}{\partial y} + M_y \end{aligned} \quad (26)$$

en donde  $h$  corresponde al calado,  $U_x$ ,  $U_y$  son las velocidades horizontales promediadas en profundidad,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $Z_s$  es la elevación de la lámina libre,  $\tau_s$  es la fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento,  $\tau_b$  es la fricción debido al rozamiento del fondo,  $\rho$  es la densidad del agua,  $\Omega$  es la velocidad angular de rotación de la tierra,  $\lambda$  es la latitud del punto considerado,  $\tau_{xx}^e$ ,  $\tau_{xy}^e$ ,  $\tau_{yy}^e$  son las tensiones tangenciales efectivas horizontales, y  $M_s$ ,  $M_x$ ,  $M_y$  son respectivamente los términos fuente/sumidero de masa y de momento, mediante los cuales se realiza la modelización de precipitación, infiltración y sumideros.

También se incluyen los siguientes términos fuente en las ecuaciones hidrodinámicas: presión hidrostática, pendiente del fondo, tensiones tangenciales viscosas y turbulentas, rozamiento del fondo, Rozamiento superficial por viento, precipitación, infiltración.

Se modelan asimismo los frentes seco-mojado, tanto estacionarios como no estacionarios, que puedan aparecer en el dominio. Dichos frentes son fundamentales en la modelización de zonas inundables en ríos, así como en estuarios. De esta forma se introduce la posibilidad de evaluar la extensión de zonas inundables en ríos, así como el movimiento del frente de marea en estuarios y zonas costeras.

### 7.1.3 Módulo de transporte sólido no-estacionario

El módulo de transporte sólido resuelve las ecuaciones de transporte de sedimentos no-cohesivos en régimen no estacionario. Se resuelven tanto las ecuaciones de transporte de fondo como las ecuaciones de transporte en suspensión, modelándose el acoplamiento entre la carga de fondo y la carga en suspensión mediante un término de sedimentación/resuspensión.

El módulo de transporte de sedimentos utiliza el campo de velocidades, calados y de turbulencia proporcionado por los módulos hidrodinámico y de turbulencia. El caudal sólido de fondo se calcula mediante una formulación empírica, pudiéndose elegir entre la formulación de Meyer-Peter Muller y la de Van Rijn. El transporte de sedimentos en suspensión se modela mediante una ecuación de transporte turbulento promediada en profundidad.

La variación de la cota del fondo se calcula mediante la ecuación de conservación del sedimento de Exner:

$$(1 - p) \frac{\partial Z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_{sb,x}}{\partial x} + \frac{\partial q_{sb,y}}{\partial y} = D - E \quad (27)$$

donde  $p$  es la porosidad de los sedimentos que forman el lecho,  $Z_b$  es la cota del fondo,  $q_{sb,x}$  y  $q_{sb,y}$  son las dos componentes del caudal sólido de fondo. La diferencia  $D - E$  representa un balance entre carga de fondo y carga en suspensión.

El transporte de sedimentos en suspensión se modela mediante una ecuación promediada en profundidad. La ecuación implementada en el código es la siguiente:

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial hU_x C}{\partial x} + \frac{\partial hU_y C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \Gamma + \frac{v_t}{S_{c,t}} \right) h \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial D_{xs}}{\partial x} + \frac{\partial D_{sy}}{\partial y} + (E - D) \quad (28)$$

en donde  $C$  es la concentración de sólidos en suspensión promediada en profundidad,  $U_x$ ,  $U_y$  son

las dos componentes de la velocidad horizontal promediadas en profundidad,  $v_t$  es la viscosidad turbulenta,  $\Gamma$  es el coeficiente de difusión molecular de sólidos en suspensión, y  $S_{c,t}$  es el número de Schmidt, que relaciona el coeficiente de difusión turbulenta de momento con el coeficiente de difusión turbulenta de sólidos en suspensión.

Los términos  $D_{xs}$ ,  $D_{sy}$  modelan la dispersión de sedimento en suspensión debido a la no homogeneidad del perfil de velocidades y de concentración de sedimento en la dirección vertical. Normalmente su efecto se desprecia en los modelos 2D de aguas someras, a pesar de que su importancia puede ser relevante cuando las concentraciones y velocidades varíen en profundidad, como por ejemplo en canales con codos o radios de curvatura pequeños.

Los términos  $(E - D)$  modelan respectivamente la puesta en suspensión de sólidos que se encuentran en el fondo (resuspensión de sedimento) y la deposición de sólidos en suspensión en el fondo del lecho. Su diferencia representa un balance, y por lo tanto un acoplamiento, entre carga de fondo y carga en suspensión.

Se implementan formulaciones para el cálculo del término de resuspensión/deposición  $(E - D)$ : Van Rijn (Van Rijn, 1987), Smith (Smith, 1977) y Ariathurai y Arulanandan (Ariathurai &

Arulanadan, 1978). Las dos primeras son válidas para lechos de arena, mientras que la de Ariathurai es válida para lechos cohesivos. Las tres formulaciones están especialmente recomendadas en el último Manual de Transporte de Sedimentos del ASCE, entre ellas la más extendida es la formulación de Van Rijn.

▪ Van Rijn

En la formulación de (Van Rijn, 1987) el término  $(E - D)$  se evalúa a partir de la siguiente expresión:

$$E - D = W_s (c_a^* - c_a) = \alpha W_s (C^* - C) \quad (29)$$

en donde  $\alpha$  es un coeficiente que relaciona la concentración media de partículas en suspensión y la concentración cerca del lecho del río, cuyo valor se obtiene a partir del perfil de Rouse para la distribución de concentración de sedimentos en profundidad,  $W_s$  es la velocidad de sedimentación de las partículas sólidas,  $C$  es la concentración de sólidos en suspensión promediada en profundidad,  $C^*$  es la concentración de sólidos en suspensión promediada en profundidad en condiciones de equilibrio (capacidad de transporte de sólidos en suspensión),  $c_a$  y  $c_a^*$  son respectivamente la concentración instantánea y la concentración de equilibrio a una altura  $z = a$  sobre el lecho del río, siendo  $a$  el espesor de la capa en la cual se produce el transporte de fondo (límite teórico de separación entre el transporte de fondo y el transporte en suspensión). Dicho espesor se puede evaluar de forma aproximada a partir del diámetro del sedimento.

El coeficiente  $\alpha$  se calcula a partir de la distribución de concentración en la vertical (perfil de Rouse) a partir de la siguiente integral:

$$\alpha = \frac{h - a}{\int_a^h \left( \frac{h - z}{z} \frac{a}{h - a} \right)^{W_s/k \cdot u_*} dz} \quad (30)$$

Con  $a = 30 \cdot D_{50}$  y  $k = 0.41$  la constante de von Karman.

La concentración de equilibrio cerca del lecho del río propuesta por van Rijn (1987) es:

$$c_a^* = 0.015 \frac{D_{50} \cdot T^{1.5}}{a \cdot D_*^{0.3}} \quad (31)$$

Considerando  $a = k_s$ ,  $k_s = 3 \cdot D_s$ ,  $D_* = D \cdot \left( \frac{gR}{v^2} \right)^{1/3}$

▪ Smith

Esta formulación es similar a Van Rijn, diferenciándose únicamente en la expresión utilizada para el cálculo de la concentración de equilibrio, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula propuesta por (Smith, 1977):

$$c_a^* = \frac{1.56 \cdot 10^{-3} \cdot T}{1 + 2.4 \cdot 10^{-3} \cdot T} \quad (32)$$

$$a = 26.3(\tau_s^* - \tau_c^*)D_s + k_s \quad (33)$$

$$k_s = 3D_s \quad (34)$$

▪Ariathurai y Arulanandan

Para suelos cohesivos se utiliza la expresión propuesta (Ariathurai & Arulanandan, 1978), que hace depender la erosión de la diferencia entre la tensión tangencial y una tensión tangencial crítica de inicio de erosión  $\tau_{ce}$ , así como de un valor  $M$  representativo de la tasa de erosión (que sería la tasa de erosión cuando  $\tau_b = 2 \cdot \tau_{ce}$ ):

$$E = M \cdot \left( \frac{\tau_b}{\tau_{ce}} - 1 \right) \quad (35)$$

En suelos cohesivos se introduce asimismo una modificación al cálculo de  $D$  para considerar una tensión tangencial crítica de deposición  $\tau_{cd}$ . En este caso:

$$D = P \cdot \alpha \cdot W_s \cdot C \quad (36)$$

con:

$$P = \left( 1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}} \right) \quad (37)$$

Considerando  $\tau_b < \tau_{cd}$ . En caso contrario,  $P = 0$ .

La velocidad de sedimentación de las partículas se calcula en función de su diámetro como (Van Rijn, 1987):

$$W_s = \frac{R \cdot g \cdot D_{50}^2}{18 \cdot \nu} \rightarrow D_{50} < 10^{-4} [m] \quad (38)$$

$$W_s = \frac{10 \cdot \nu}{D_{50}} \left( \sqrt{1 + 0.01 \cdot D_*^3} - 1 \right) \rightarrow 10^{-4} < D_{50} < 10^{-3} [m] \quad (39)$$

$$W_s = 1.1 \cdot \sqrt{R \cdot g \cdot D_{50}} \rightarrow 10^{-3} < D_{50} \quad (40)$$

## 7.2 PREPARACIÓN DEL MODELO

Tanto las ecuaciones hidrodinámicas como las correspondientes a los modelos de turbulencia y de transporte de sedimentos, se resuelven en forma integral por el método de volúmenes finitos. El método de volúmenes finitos es uno de los más extendidos y comúnmente utilizados en dinámica de fluidos computacional.

Para resolver una ecuación diferencial por el método de volúmenes finitos es necesario realizar

previamente una discretización espacial del dominio a estudiar. Para ello se divide el dominio de estudio en celdas de tamaño relativamente pequeño (malla de cálculo). Iber trabaja con mallas no estructuradas formadas por elementos que pueden tener 3 o 4 lados. Se pueden combinar elementos irregulares de 3 y 4 lados dentro de la misma malla. La principal ventaja de trabajar con



mallas no estructuradas es la facilidad con que se adaptan a cualquier geometría, ya que no es necesario que la malla tenga ningún tipo de organización o estructura interna.

Para esta altura del documento, existe una gran ventaja en la información disponible, dada que toda esta esta georeferenciada, de tal manera que, como se mencionó al inicio del capítulo, esta metodología de mallado puede ser replicada con las excepciones pertinentes en cuanto a las condiciones de la cuenca, principalmente en el régimen hidrológico y la influencia del deshielo o de las precipitaciones.

Para la cuenca del río Maipo, se cuenta con información respecto al nivel del área de la cuenca, los cauces principales del río Olivares y del río Colorado, y con los cauces de menor orden que descargan a los dos principales.

Como la cuenca presente está condicionada por los ciclos de hielo y deshielo, existe una variabilidad a lo largo del año con respecto al nivel de la línea nival, por lo que el modelo que se desarrollará en este capítulo será una respuesta a un tiempo en específico, concretamente al mes de marzo, fecha en la cual está culminando el periodo de deshielo (fin de la estación verano). En el caso de estudiar otra fecha, se debe calcular nuevamente la posición de la línea de nieve.

Lo anterior se puede representar en la siguiente figura:

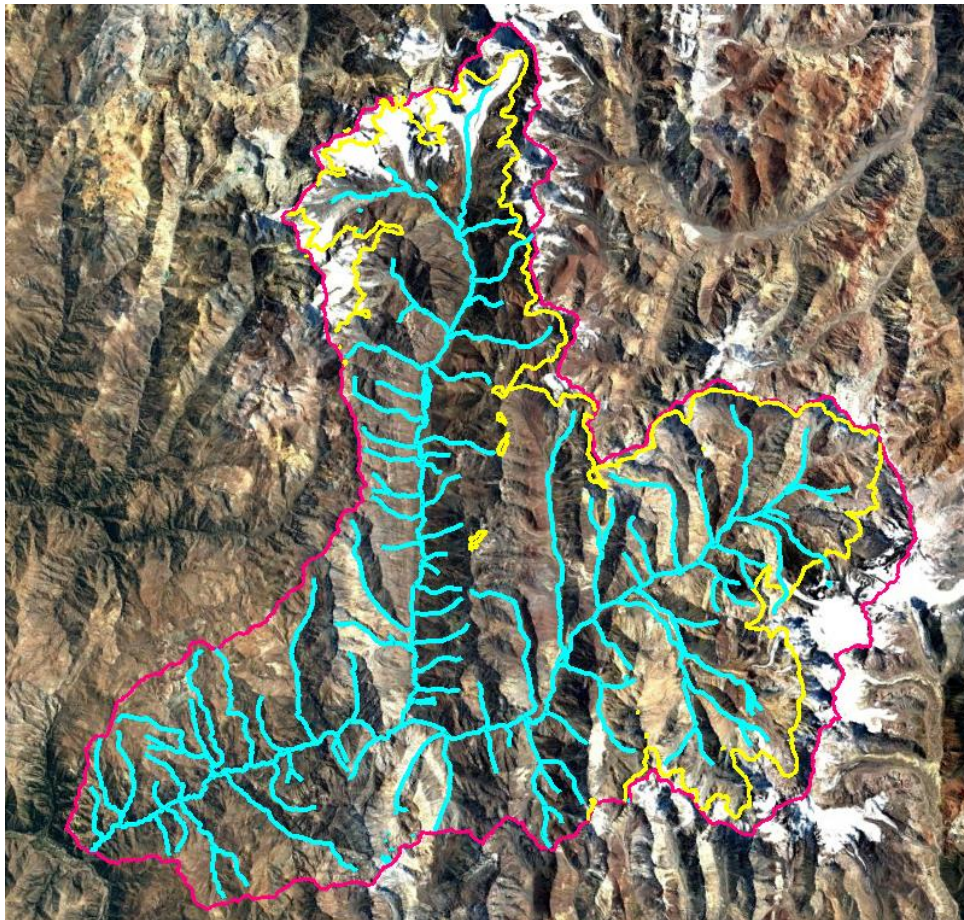


Figura 6. Cuenca del río Colorado ante junta río Maipo. Delimitación de cuenca, línea de nieve y cauces aportantes.



De la Figura 6, se entiende por la delimitación de la cuenca a la línea de color rosa, los cauces con las líneas de color celeste y la línea de nieve para el color amarillo.

Para el cálculo en concreto de la línea de nieve, se puede estimar en base a las temperaturas medidas en las estaciones meteorológicas de la cuenca y realizando una extrapolación sencilla para ubicar a que nivel se encuentra el 1°C, valor asociado en el cual existe la energía para derretir la nieve, dado que a baja altura en la superficie terrestre, la temperatura tiene tendencia a decrecer de manera lineal.

Las estaciones, en cuanto a su posición y valor medido, para determinar la línea de nieve son las siguientes:

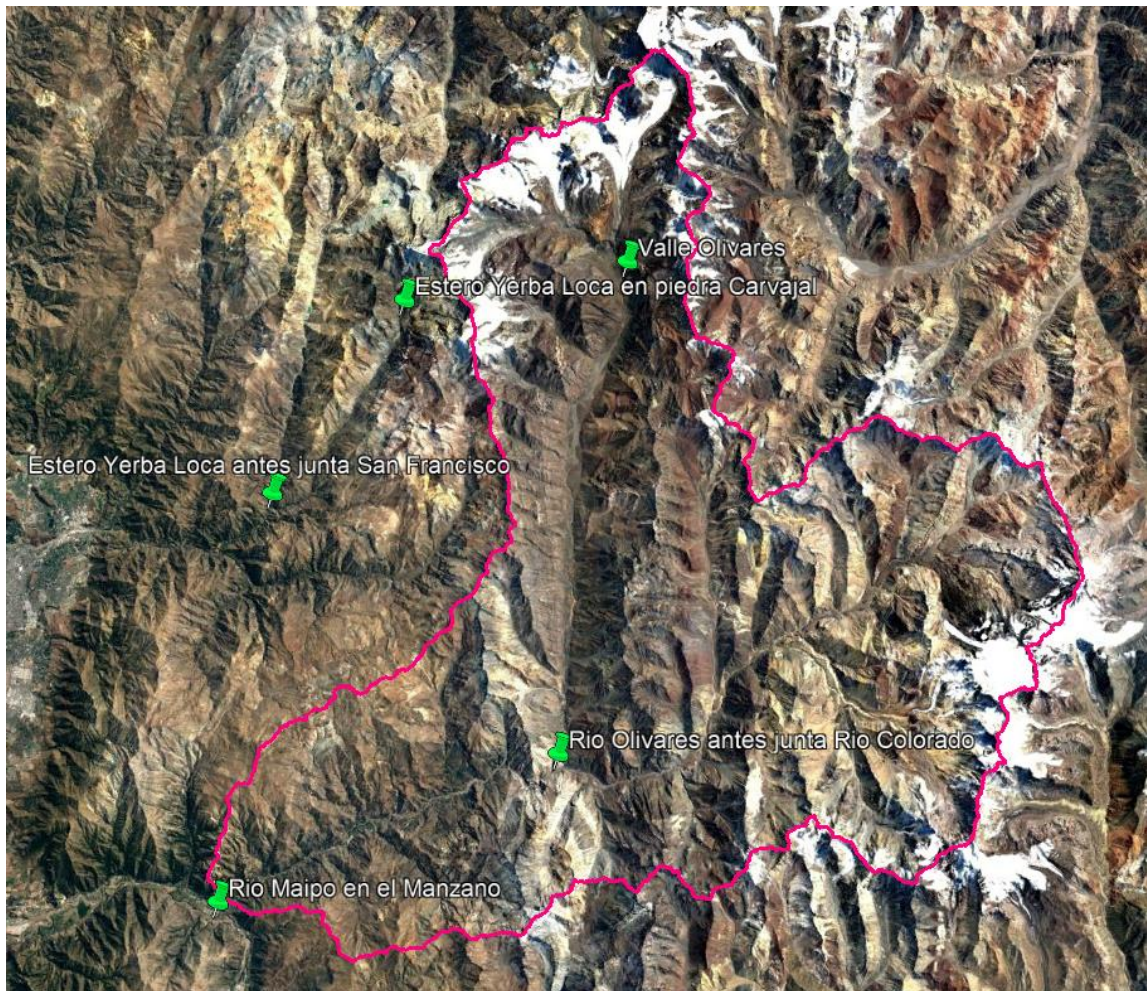


Figura 7. Cuenca del río Colorado ante junta río Maipo. Estaciones meteorológicas.

Tabla 18. Cuenca del río Colorado ante junta río Maipo. Estaciones meteorológicas, valores medidos de temperatura para el evento a modelar, en unidades de °C.

Estación	Estero Yerba Loca antes junta San Francisco	Estero Yerba Loca en piedra Carvajal	Rio Maipo en el Manzano	Río Olivares ante junta Río Colorado	Valle Olivares
Altura [m.s.n.m]	1350	3250	850	1500	2787
Fecha	Temperatura °C				
10-03-2017	13.9	6.0	17.5	16.1	10.0
11-03-2017	13.7	6.8	15.9	15.4	10.8
12-03-2017	17.5	7.9	21.4	20.0	11.5
13-03-2017	18.0	8.8	20.7	20.7	14.9
14-03-2017	15.4	7.8	16.9	17.1	10.2
15-03-2017	14.9	6.1	17.9	16.6	8.3
16-03-2017	16.0	6.0	18.9	17.9	9.5
Promedio	15.6	7.1	18.5	17.7	10.7

Como existe cierta dispersión, se obtiene un valor medio en los rangos de fecha mostrado en la Tabla 18, se realiza la extrapolación y de esta manera, se obtiene el valor que corresponde a 4570 metros sobre el nivel del mar, para la fecha del mes de marzo de 2017, respaldado en el Gráfico 47.

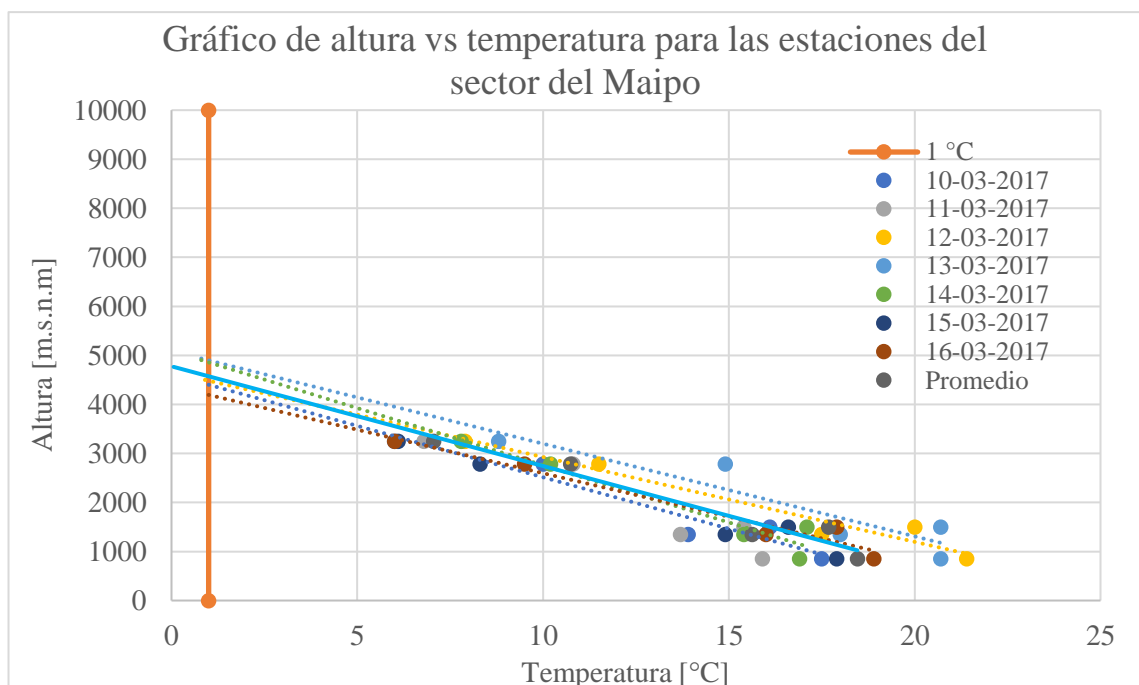


Gráfico 47. Temperatura medida en las estaciones de la cuenca del río Colorado en los eventos estudiados del mes de marzo, extrapolados interceptando recta equivalente a 1 °C.

Lo que sigue es un trabajo sencillo para los softwares de Gis, dado que sólo consta de determinar la curva de nivel correspondiente a la cuenca para 4570 metros.

Con toda la data mencionada, el modelo de Iber queda de la siguiente manera:

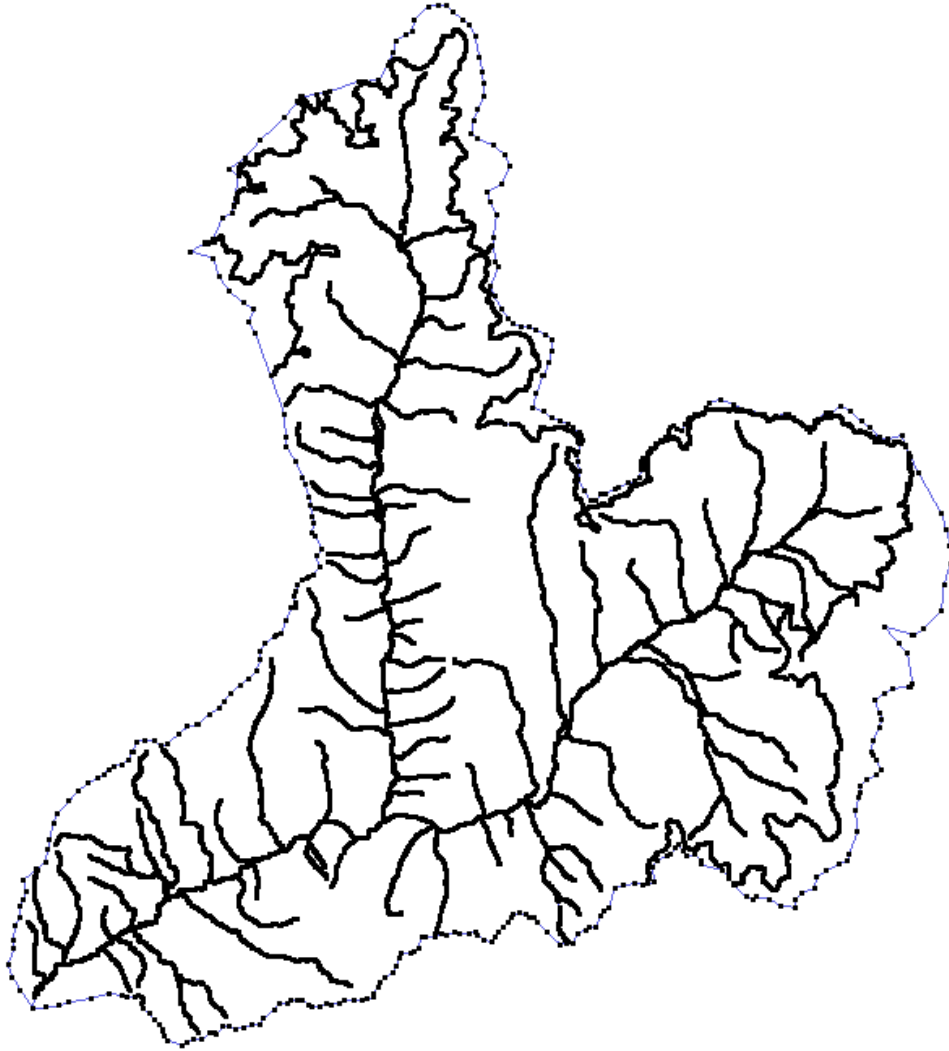


Figura 8. Geometría visualizada en Iber, considerando área, cauces principales, cauces aportantes y línea de nieve de la cuenca.

La cuenca es de régimen nival, por lo que las variaciones de caudal que existen en la cuenca están principalmente condicionadas por el ciclo de hielo y deshielo. Esto arroja una simplificación considerable al poder descartar toda la geometría superficial de la cuenca, y sólo realizar el trabajo con los cauces. Como este es una primera instancia para una posterior calibración del modelo, y al ver que la magnitud del largo de los cauces principales del río Olivares y río Colorado son mucho mayores que los cauces de menor orden anexos a estos, el modelo queda determinado de la siguiente manera.

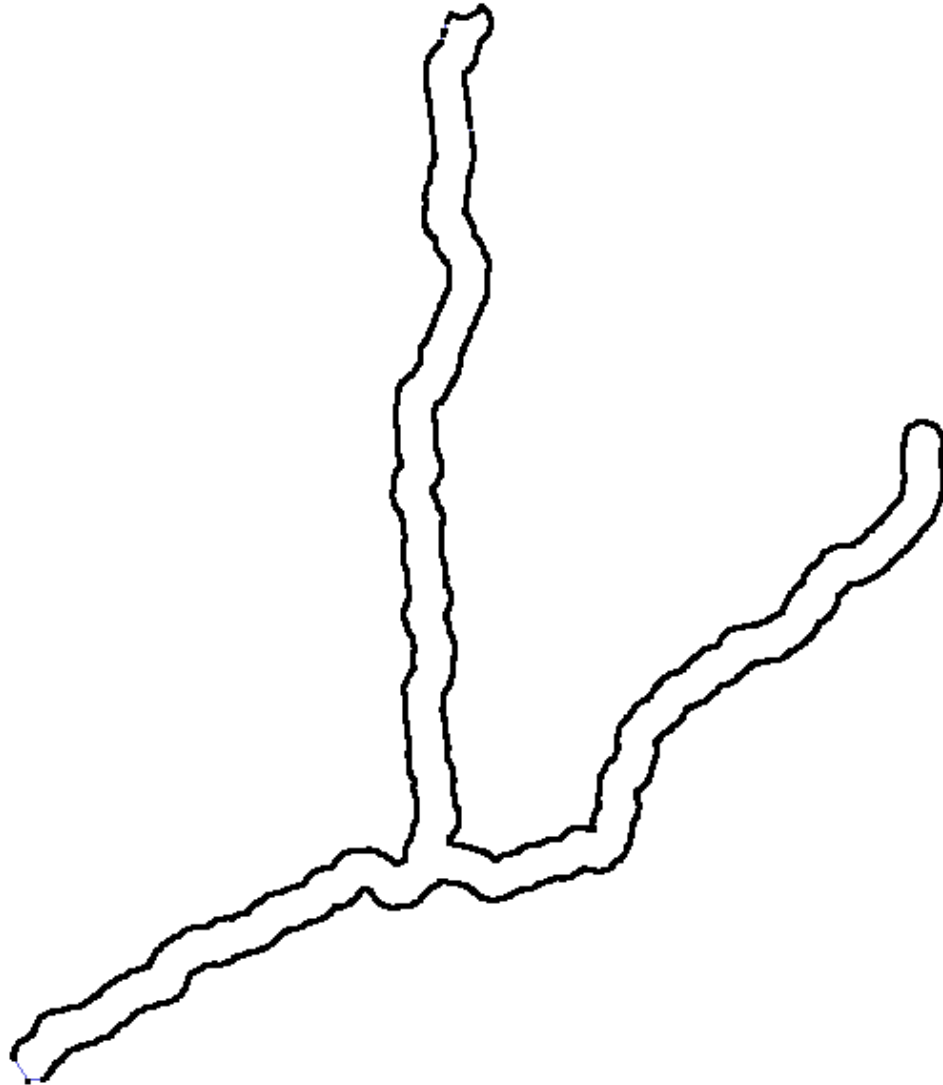


Figura 9. Geometría visualizada en Iber, considerando sólo cauces principales.

El modelo se desarrolla en base a un modelo de elevación digital de PALSAR con resolución de 12.5 metros por píxel de información.

Para continuar con simplificaciones de la malla con objeto de optimizar tiempos de cálculo para las primeras simulaciones del modelo, se realiza un primer cálculo para obtener los elementos de la malla que no son parte del cauce principal. Esto se lleva a cabo agregando un valor inicial de caudal, para el caso del río Olivares de 37.6 [m<sup>3</sup>/s] y para el río Colorado de 70.0 [m<sup>3</sup>/s], valores que corresponden al doble del caudal máximo diario medido para el año 2017, de tal manera que consideran un evento de gran magnitud, poder determinar qué elementos presentan un valor de caudal en cualquier intervalo de tiempo, y reducir la malla de cálculo sólo a elementos que trabajan

bajo la condición anterior. Para el cálculo correcto, se entregarán los valores que corresponden en base a la data de la DGA.

Dado lo descrito en el párrafo anterior, el modelo queda reducido a la siguiente geometría.

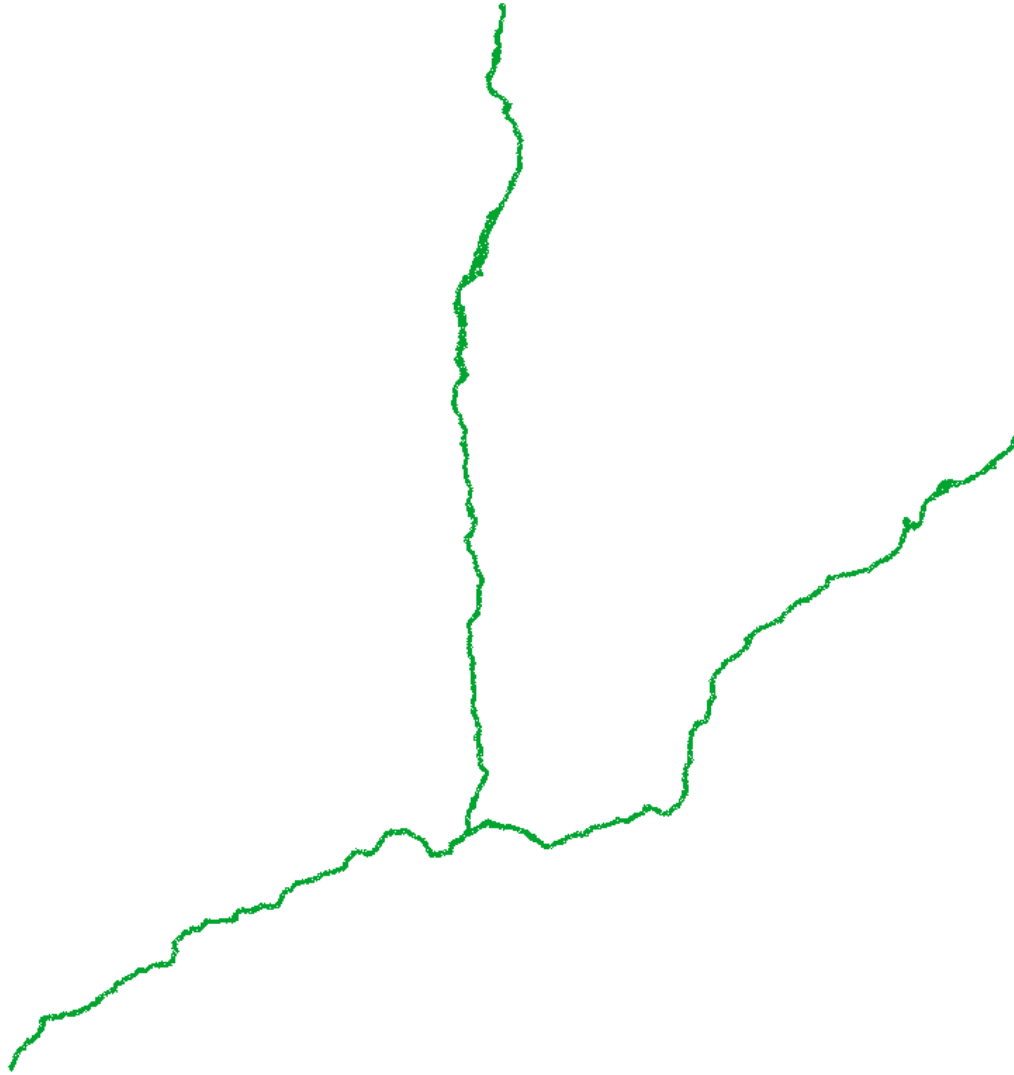


Figura 10. Malla visualizada en Iber. Modelo simplificado para modelado del río Olivares y río Colorado.

La cuenca del río Maipo cuenta con tres estaciones para calibrar el caudal que circula: una estación pluviométrica en el río Olivares antes de la junta con el río Colorado, otra estación en el río Colorado antes de la junta con el río Olivares, y una última estación en el punto de salida de la cuenca, en el río Colorado antes de juntarse al río Maipo.

Sumado a lo anterior, existen dos importantes puntos de captación para la generación eléctrica de la central Alfafal, las cuales corresponden a centrales de paso.



Los puntos mencionados se pueden visualizar en la siguiente figura:



Figura 11. Cuenca del río Colorado ante junta río Maipo. Puntos de extracción de caudal para generación eléctrica en la central Alfalfal.

Los caudales medidos para las tres estaciones se pueden resumir en la siguiente gráfica:

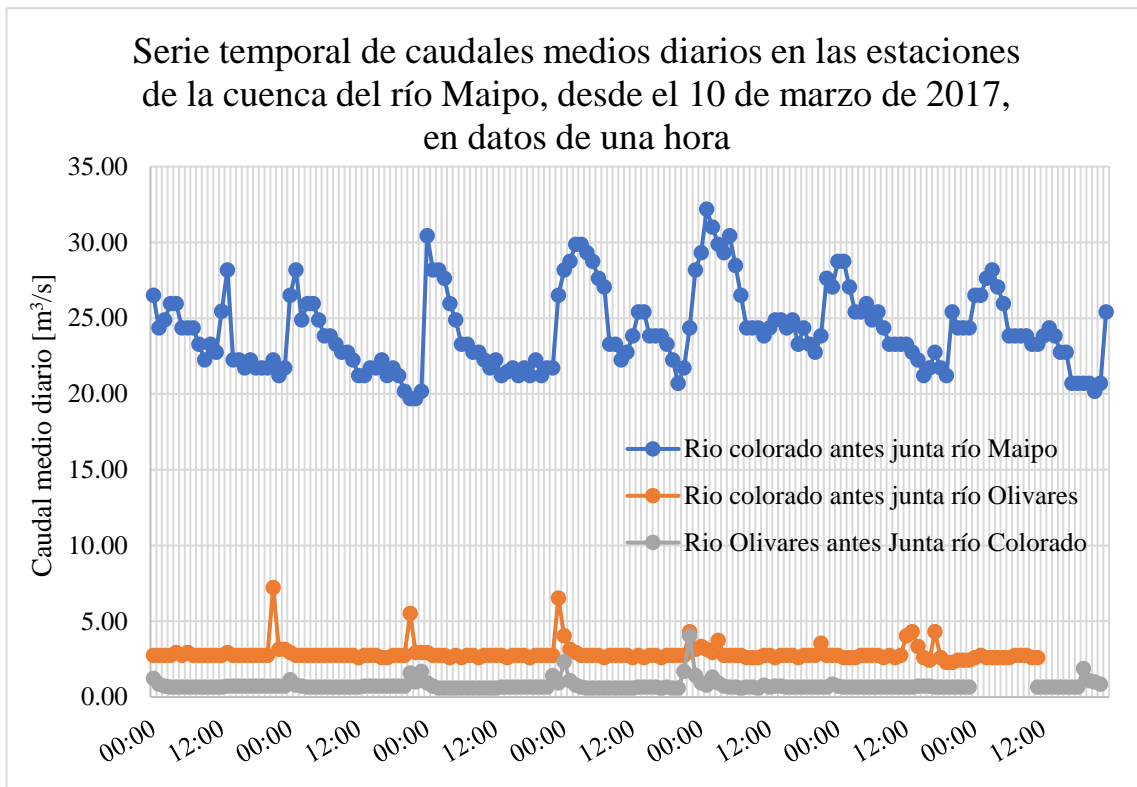


Gráfico 48. Serie temporal de caudales medios diarios medidos por las estaciones de la Dirección General de Aguas en la cuenca del río Maipo. 10 de marzo en datos cada una hora.

La simplificación por realizar es la siguiente: el caudal que es medido en la estación del río Colorado ante junta río Maipo equivale a la suma de los caudales medidos en las dos estaciones pluviométricas aguas arriba más las dos extracciones. Por lo tanto, para obtener el caudal que debe circular aguas arriba de cada captación, que es diferente al medido en las estaciones respectivas, se realizará un sencillo cálculo de rendimiento de caudales en función de las áreas que captan cada una de las estaciones, con la reposición de estos caudales salientes en la ubicación de la central Alfalfal. El cálculo anterior realizado se resume en la siguiente tabla:

Tabla 19. Datos de área captados por las estaciones del río Colorado y río Olivares, en conjunto con el caudal esperado en función del rendimiento de caudales.

Estación	Área [m <sup>2</sup> ]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]
Río Colorado ante junta Río Maipo	1662.68	21.72
Río Colorado ante junta Río Olivares	783.4	10.23
Río Olivares ante junta Río Colorado	541.6	7.08
Extracción Colorado	-	7.48
Extracción Olivares	-	6.38



De esta manera, para simular el flujo base de cada cauce, se distribuyen los caudales anteriores de manera uniforme, tal como se ve en la siguiente figura:

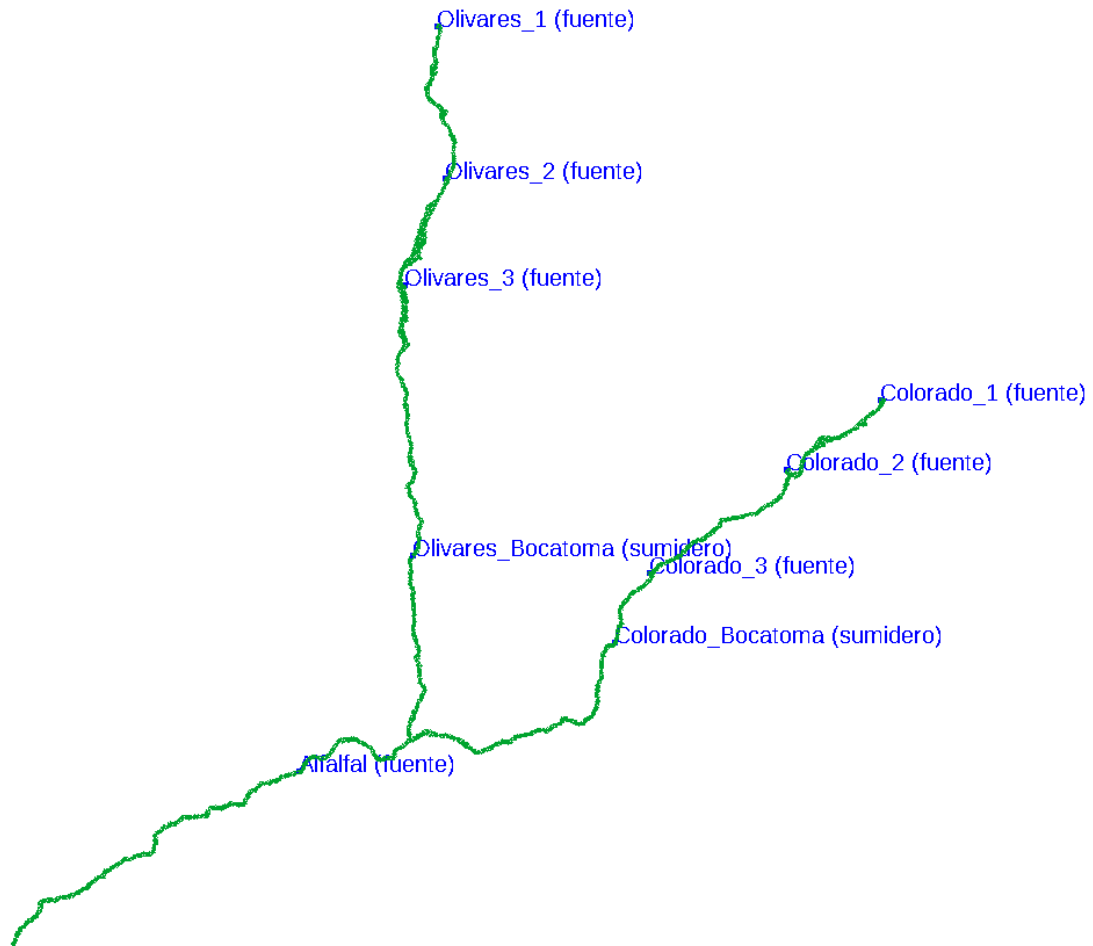


Figura 12. Malla visualizada en Iber. Modelo final para respuesta de caudales de la cuenca del río Colorado ante junta río Olivares.

### 7.3 MODELACIÓN

El primer cálculo realizado se llevó a cabo en dos partes: una primera etapa de calibración de caudales y una segunda de activación del módulo de transporte de sedimentos.

Con la información presentada en el apartado anterior, se realizó el cálculo en Iber y se extrajo la información en los puntos que coinciden con las estaciones de aforo de la DGA, con objeto de visualizar resultados que entreguen una equivalencia a los valores representados en la Gráfica 48.

Para resumir los datos de entrada del modelo, se presenta el siguiente apartado:

- Caudales río Olivares: en base a la Tabla 19, se distribuyen 10.23 [m<sup>3</sup>/s] a lo largo del cauce principal a altura de influencia de la línea de nieve en tres fuentes.

- Caudales río Colorado: en base a la Tabla 19, se distribuyen 7.08 [m<sup>3</sup>/s] a lo largo del cauce principal a altura de influencia de la línea de nieve en tres fuentes.
- Extracción río Olivares: en base a la Tabla 19, se extraen 6.38 [m<sup>3</sup>/s] en la coordenada equivalente a la posición de la central de paso de Alfalfal en el río Olivares.
- Extracción río Colorado: en base a la Tabla 19, se extraen 7.48 [m<sup>3</sup>/s] en la coordenada equivalente a la posición de la central de paso de Alfalfal en el río Colorado.
- n Manning: se utiliza un valor medio del coeficiente de Manning de 0.035 para suelos montañosos (Chow, 1994).
- Condición inicial: se consideró como condición inicial un calado de 0 metros de altura.
- Tiempo de cálculo: se consideró un tiempo de ejercicio de una semana, entregando valores cada una hora, todo en unidades de segundos.

Los resultados que representan la calibración de caudales del modelo de la cuenca del río Colorado antes junta río Maipo se presentan en la siguiente gráfica:

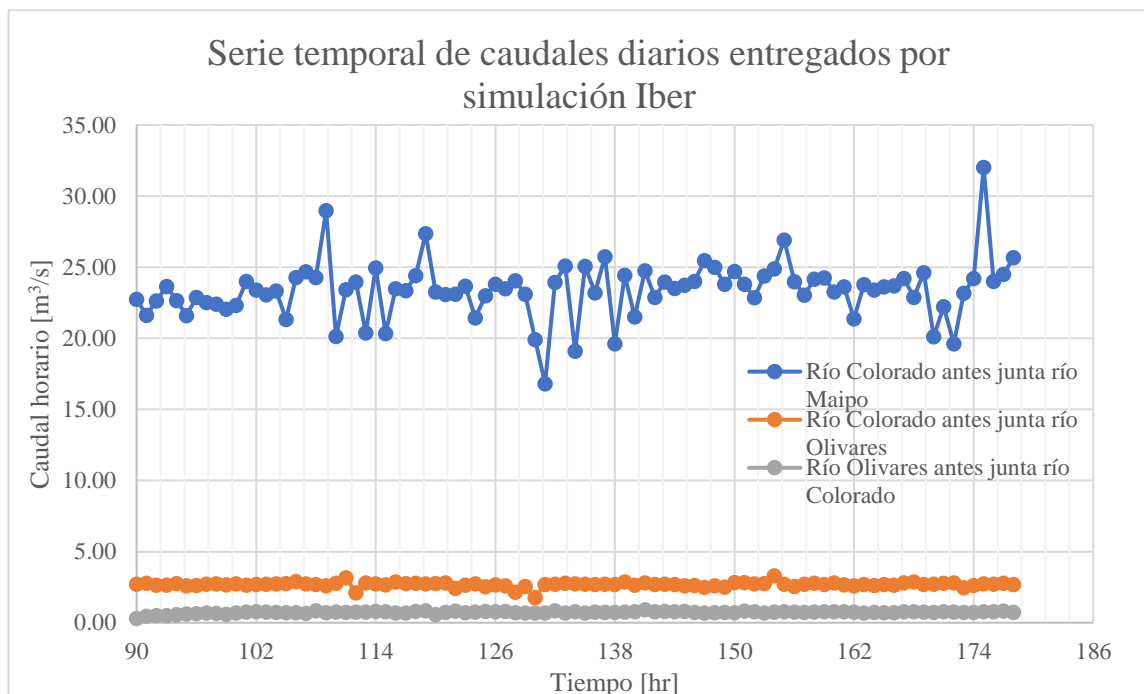


Gráfico 49. Serie temporal de caudales diarios entregados por la simulación en Iber para la cuenca del río Colorado ante junta río Maipo en las 3 estaciones de control consideradas por la DGA

El gráfico anterior muestra que existe una gran equivalencia en los caudales mostrados por el modelo de Iber y los datos medidos. Se aprecia que el valor inicial de tiempo da de 90 horas, equivalente a 3 días y 18 horas, donde los caudales cubren todo el cauce principal de la cuenca.

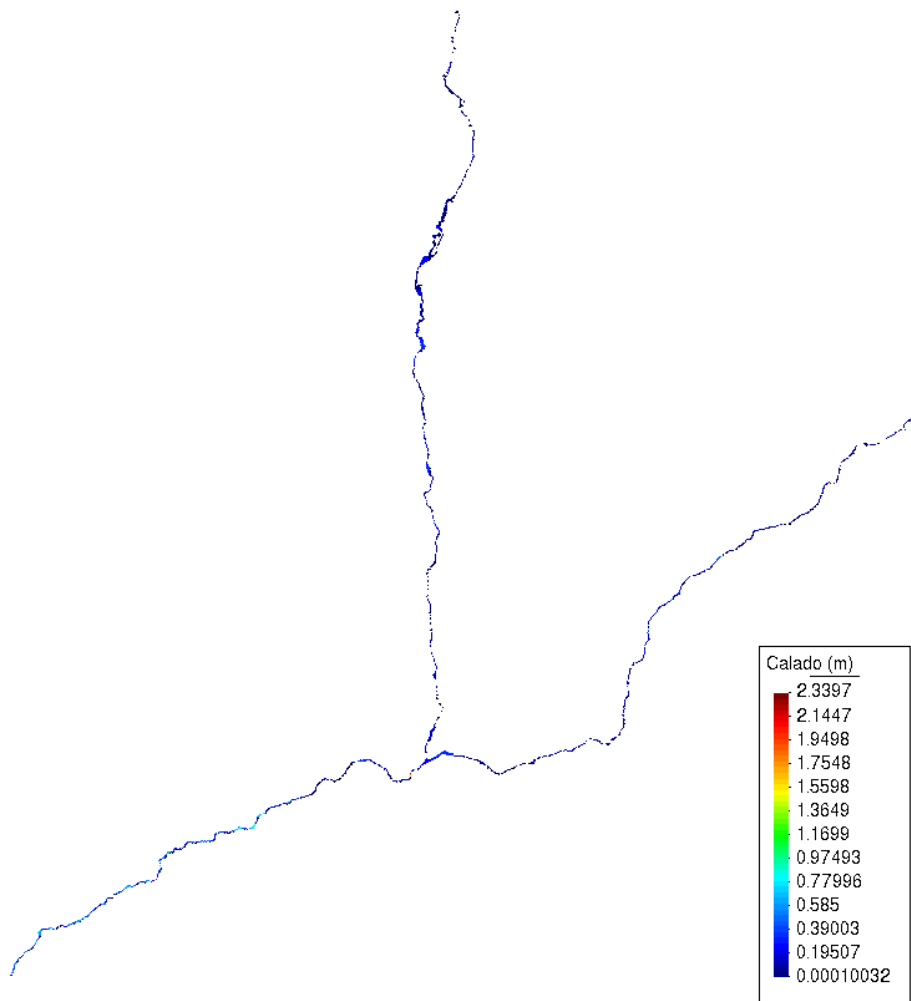


Figura 13. Resultados de calado visualizados en Iber. Modelo final para respuesta de caudales de la cuenca del río Colorado ante junta río Olivares

Con todo lo anterior, se prosiguió a la activación del módulo de transporte de sedimentos en suspensión. Considerando el tiempo de trabajo disponible y la falta de información en cuanto a la clasificación de suelos, se aplicó la ecuación de Van Rijn, con objeto de evaluar el funcionamiento del módulo de Iber y el correcto funcionamiento, por sobre la base teórica que no es alcanzable para este trabajo.

Considerando la siguiente granulometría entregada por (AESGENER, 2008) y agregando al módulo de Iber un valor de diámetro característico de sedimentos finos de órdenes de magnitud 0.0002 [m], se obtuvo el siguiente resultado:

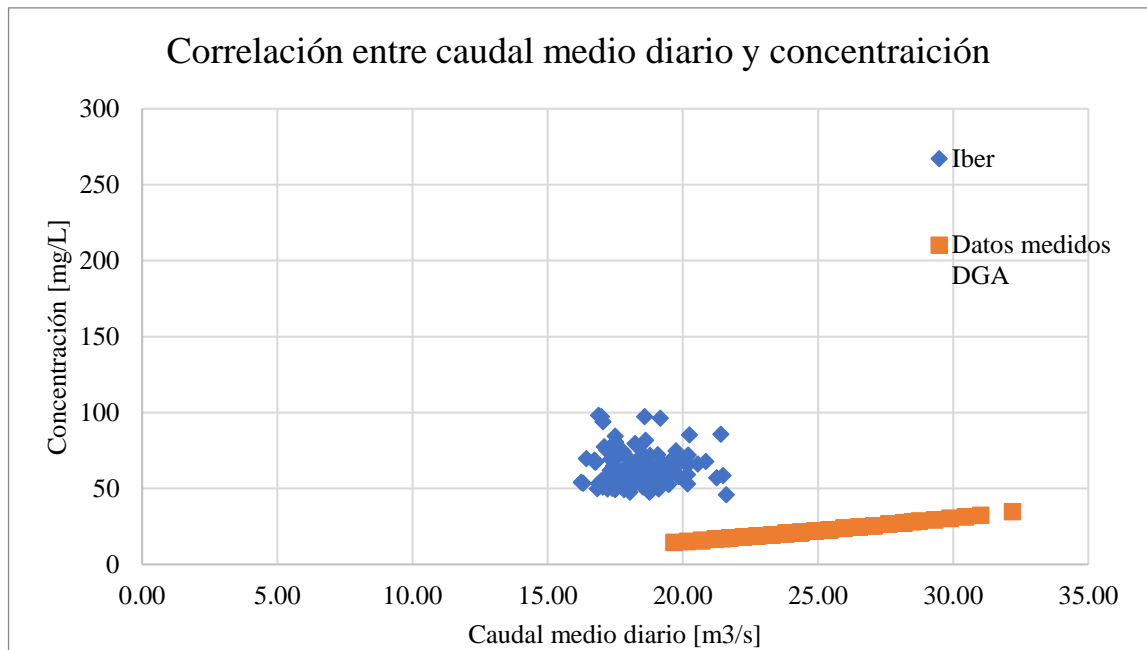


Gráfico 50. Primer acercamiento a resultados de la calibración de transporte de sólidos en suspensión en Iber, cuenca del río Colorado antes junta río Maipo

En el gráfico anterior, se ve cierta proporcionalidad al entregar resultados. Ciertamente los caudales son menores que los datos medidos, lo que concuerda con la hipótesis de que el modelo de Iber está siendo calibrado sólo con el flujo base del mes de marzo. A pesar de esto, los resultados se encuentran alejados de la realidad y se deben considerar más detalles, los cuales serán tratados en el siguiente apartado.

#### 7.4 PROPUESTA DE TRABAJO

El modelado en Iber de transporte de sólidos en suspensión queda abierto a continuación.

Es evidente que falta gran cantidad de detalles, los cuales deben ser estudiados, investigados y, en el peor de los casos, trabajados en terreno. De esta manera, se propondrá una serie de puntos a considerar para continuar el modelado:

- En la medida de lo posible, considerar un modelo de elevación digital de los cauces principales con una resolución más fina sobre los 12.5 metros trabajados.
- En la medida de acceso a mejores recursos computacionales, trabajar con un tamaño de elementos menor, acercándose a los valores del modelo de elevación digital del terreno.
- Dado los caudales presentes, considerar obtener el diámetro característico en función del diagrama de Shields, valor que asocia el tamaño de partícula que puede ser transportada.
- Realizar un estudio del tipo de suelo para distinguir el uso de los tres autores con los cuales trabaja el módulo de transporte de sedimento en suspensión.
- Considerar un tiempo de estabilización de caudales de 4 días. A partir de este valor, comenzar a estudiar los hidrogramas de resultados de concentración.

- Realizar cálculos sobre mallados simplificados, como el presentado en este capítulo, para disminuir el tiempo de cálculo.
- En la medida de lo posible, considerar la posible vegetación en tramos puntuales de los ríos, y de esta manera discretizar los coeficientes de Manning a lo largo del cauce.
- Considerar trabajar en meses donde exista información de caudales, y obtener los valores de gasto sólido y concentración en base a los patrones sedimentológicos propuestos en este documento.
- Considerar los ciclos de variación de caudal dentro del mismo día para responder a las variaciones medidas en las estaciones de aforo de la DGA.
- Al responder el comportamiento de los cauces principales, considerar los cauces de menor orden anexos a los cauces principales, siendo más importantes los cauces que tienen descarga de derretimiento de nieve para el mes en el que se esté trabajando.
- En menor importancia, existe registro de los derechos de agua superficiales presentes dentro de la cuenca delimitada por la estación del río Colorado ante junta río Maipo. Si se quisiese, se pueden considerar estos puntos como coordenadas de extracción de caudal líquido.

## 8. DISCUSIONES

El siguiente capítulo se subdividirá en una serie de temáticas en función de todo el proceso realizado durante esta investigación, encontrando una serie de enfrentamientos que están abiertos a debate, desde la recopilación informativa hasta la variación de los resultados.

- Disponibilidad de información: Es evidente que existe una discontinuación de las estaciones que miden el sedimento en los cauces, por lo que la primera idea de comparación no puede realizarse en el abanico completo de estaciones iniciales. Esto no tiene por qué ser desalentador, pues sirve para dejar un registro de la falta de mediciones en las cuales pueden verse involucrados otros estudiantes/investigadores que busquen trabajar en esta área. En este caso en particular, existe una continuidad en las cuencas del río Maipo, río Cachapoal y río Teno con una estación sedimentométrica para cada una, y dos estaciones para la cuenca del río Bio Bio, en contexto de cuencas de alta montaña. Se da por descartada la cuenca del río Maule, aunque existe la posibilidad de que se mantenga una medición por parte de instituciones privadas en la altura de Los Baños, cercano a la comunidad de Colbún.

- Correlación de caudales: En conjunto con el punto anterior, dentro de una misma cuenca de estudio, al tener los coeficientes asociados a los patrones sedimentológicos, es posible realizar una calibración en función de estos parámetros, dado que el abanico de estaciones fluviométricas (con medición de caudal horario) es considerablemente mayor que la medición sedimentológica, teniendo bien en claro cuando es una aplicación de los coeficientes y cuando es una medición directa.

- Morfología de las cuencas: Como se explicó anteriormente, un factor importante de los parámetros calculados en este punto está asociada al avance en la tecnología y la precisión. Los softwares de georreferenciación pueden estimar en periodos muy cortos de tiempo valores como la longitud total de los cauces aportantes en una cuenca con una precisión muy alta. Existen datos que fueron calculados nuevamente donde la variación es por sobre un margen de error. Si bien antes existían métodos menos sofisticados, es considerado correcto partir por el cálculo de todos los parámetros para verificar la veracidad de estos.

- Agentes externos: En conjunto con la disponibilidad de información, existe un gran factor para estudiar estas estaciones: el desarrollo de nuevos embalses. En las cuencas que trabajará este proyecto, se tiene la influencia de las centrales Pangue, Ralco y Angostura, embalses a los cuales hay que trabajar con las precauciones necesarias para trabajar con datos representativos. En esto se hace referencia a adicionar caudales en las secciones de extracción, o en estudiar las series de datos en años en los cuales estas centrales no tengan influencia.

- Continuidad de estaciones: Existe una fuerte crítica con respecto a las mediciones por parte de la DGA. En el capítulo 4 de este documento, se puede apreciar que existe una variación muy importante en la medición de caudales de algunas estaciones, claramente visible en la visualización de la curva de descarga. Sumado a lo anterior, existen periodos muy amplios, siendo la estación de río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes el caso más urgente, de una discontinuidad de 10 años de datos, lo cual complica el análisis que se pueda realizar para cualquier tipo de obra ligada a esta estación. Sumado a lo anterior, existe una serie de horizonte similar con datos mal registrados.

- Curva de descarga: En este caso, no se tiene claridad de lo que pasa con el lecho de fondo. La variación de la sección transversal en las secciones de aforo puede ser una condicionante

importante a la hora de la validez de los datos obtenidos. Existen una serie de recomendaciones con respecto a este punto, desarrollados en el apartado final.

- **Eventos fuera de la correlación:** Un método más profundo para realizar el trabajo de puntos fuera de tendencia con respecto a las correlaciones realizadas (o a los aumentos sin justificación de concentración o de caudal líquido) es llevar a cabo una labor periodística, pues las fechas de cada uno de estos puntos puede ser investigada con objeto de relacionarlos con crecidas importantes o eventos climáticos anormales, por sobre un error en la medición o toma de muestra.

- **Patrones sedimentológicos, Maipo:** Desarrollando el propio cálculo de coeficientes de cada cuenca, existen consideraciones particulares para cada una de las cuencas. Con respecto a la cuenca del río Maipo, se sostiene el comportamiento en cuando al transporte de sedimento en suspensión, lo cual entrega valores asociado a estos coeficientes de igual magnitud, que incluso al ser trabajados en un espectro de datos mayores, se asegura una mayor confiabilidad. Para este caso, se pueden asegurar nuevos valores para los patrones A y B tanto para la serie extendida como para los valores agregados de información, en periodo anual y estacional.

- **Patrones sedimentológicos, Cachapoal:** Para la cuenca del río Cachapoal, existen varias situaciones. Primero, ambos estudios no son equiparables, dado que el estudio de (Bzdigian, et al., 1985) no considero la obra de desvío medida en el Canal Sauzal, de tal manera que la concentración de caudal sólido no responde al caudal total generado en la cuenca. Si bien existe la posibilidad de obtener estos coeficientes sólo con la nueva serie de datos, se presentan estos errores, o más bien anomalías, en la curva de descarga y en la serie de mediciones, que generan desconfianza en los datos. En este caso, los coeficientes A y B no fueron determinados, pero se sostiene que los datos están presentes en el caso de que un usuario acceda a trabajar y determinar los coeficientes respectivos.

- **Patrones sedimentológicos, Teno:** En el caso de la estación del río Claro, no es posible determinar los valores de A y B, dado que la correlación entrega una nube de puntos sin tendencia. Se trabajó en alguna distribución temporal que pueda entregar cierto comportamiento de los datos, pero se consideró que es necesario continuar con las mediciones para obtener una serie más extensa y poder realizar este trabajo con mayor confiabilidad

- **Patrones sedimentológicos, Bío Bío:** Además de considerar estaciones en ambos estudios, en la cuenca del río Bío Bío existen dos estaciones con las cuales poder establecer comparaciones. La estación con mejor correlación es la estación de San Pedro, estación que se anexa al río Bío Bío aguas debajo de esta estación. Durante el intervalo de tiempo entre estos estudios, se realizaron las intervenciones de la central hidroeléctrica de Pangue y la central hidroeléctrica de Ralco. La ubicación de la estación de San Pedro no esta aguas abajo de las centrales, sino que paralela, de tal manera que los datos se sostienen en esta estación con respecto a los medidos en la estación de Rucalhue, obteniéndose nuevos coeficientes A y B para obtener la relación de gasto sólido. No así para el caso de la estación de Queuco, donde la verse condicionada por el desarrollo de embalses, la relación que existe entre caudal líquido y gasto sólido no es sostenida. Bajo estos dos escenarios, para elaborar un trabajo en la estación necesaria, se puede comparar estos resultados en favor de lo que sea requerido por el usuario.

- **Actores en patrones sedimentológicos:** en las distintas cuencas se evidencian distintos comportamientos. El factor que refleja ser el más influyente es la acción antrópica y el desarrollo de embalses, dado que genera un almacenamiento de caudal en sectores y de depositación de sedimento. Esto se ve reflejado en las gráficas de correlación de cada cuenca donde, en los casos

que se puntualiza desarrollo de embalses, los valores medidos de caudal tienden a ser de mayor magnitud que en estudios previos. Para poder relacionar cambio climático, en su consecuencia con disminución de precipitaciones, se debe estudiar en particular las precipitaciones de las cuencas de régimen pluvial y estudiar sus series temporales para ver la influencia que tienen en los caudales medidos, y a su vez en los coeficientes A y B presentados.

- **Modelación numérica:** El modelo realizado para trabajar la cuenca del río Maipo responde a los caudales medidos en las estaciones pluviométricas. Si bien el caudal medido debe ser uniforme, la aproximación del modelo da un resultado que corresponde dentro del orden de magnitud. A pesar de esto, la malla trabajada es contiene elementos de longitud 50 [m], esto quiere decir que, acompañado de la resolución dispuesta en el modelo digital de elevación, se puede reducir el tamaño de elementos al equivalente a la resolución de la capa. Dicho eso, por motivos de tiempo de entrega y de tiempo de generación de la malla, se optó por mantener el tamaño de 50 [m], con el compromiso de generar un futuro cálculo con mejores condiciones.

- **Iber y los modelos en régimen nival:** Actualmente, Iber no cuenta con módulos particulares para considerar los ciclos de hielo-deshielo, principal actor en los caudales de las cuencas de régimen nival. Esto implica generar una serie de supuestas para emular el caudal base y los picos de crecida de caudal que, a diferencia de las cuencas pluviales, si son agregadas mediante la base teórica hidrológica conocida. Esto también se puede conectar con la discretización estacional realizada en el cálculo de patrones sedimentológicos, de tal manera que se puede comparar con los coeficientes en intervalo anual y los obtenidos para las estaciones pluviales y de deshielo.

- **Línea de nieve:** Aunque este tópico ya fue presentado en el capítulo respectivo, se hace énfasis en que el modelo responde a una temporada en específico, la cual corresponde al mes de marzo. En el caso de querer considerar otras fechas, se debe hacer el estudio de la posición de la línea de nieve. Es posible que la dinámica de la posición de esta pueda ser de debate para Iber, de tal manera que se presente a futuro un modelo de posición de línea de nieve la cual, se insiste, es dinámica a lo largo del año.

- **Granulometría y clasificación de suelos:** Se considera necesario contar con mejores datos de granulometría y clasificación de suelos. Más que en una búsqueda de granulometrías de la cuenca, que las mediciones de caudal sólido por parte de la institución gubernamental traiga consigo una clasificación granulométrica y de tipo de suelo se considera de gran aporte para todos los aspectos asociados a la ingeniería.

- **Caudales y derechos de uso:** Se cuenta con la información de puntos de captación en todo el recorrido de la cuenca. En caso de ser necesario, se puede agregar esta información al modelo para realizar la calibración en conjunto con las estaciones de aforo. De todos modos, la mayor magnitud de caudales captados para la generación de energía de la central Alfalfal si fueron considerados.

- **Modelación en Iber, caudales:** Los resultados de la calibración de caudales entregan una buena aproximación a los datos medidos. Se visualiza que los resultados tienen una uniformidad constante en el tiempo, a diferencia de los datos medidos que, dado que se tienen registros cada una hora, entregan información de que existen ciclos de deshielo dentro de un mismo día. Para el caso de la estación de aguas abajo que registra caudales de magnitud 21 [m<sup>3</sup>/s], existe una mayor variabilidad, la cual puede ser debida a el tamaño del mallado el cuál, con mayor disposición de tiempo y recursos computacionales, puede reducirse en tamaño 4 veces hasta llegar a la resolución de 12.5 del modelo de elevación digital.



- Modelación en Iber, transporte de sólidos y concentración: Dado el tiempo disponible, no es posible acercarse más a una calibración del modelo. Al realizar un primer cálculo en función de parámetros por defecto del software y sólo considerando la granulometría, se puede visualizar que el software si procede con los cálculos, pero que estos carecen de fundamentos teóricos en los tópicos de tipo de suelo para calificar la ecuación de cálculo y de un posible error en el agregado del diámetro característico del problema.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para concluir este proyecto, se van a redactar una serie de conclusiones y recomendaciones, en pro de la finalizar al estudio de patrones de este documento y de las labores continuas de seguimiento de información y modelación hidráulica.

En primera instancia, luego de estudiar la información disponible por la Dirección General de Aguas, se ve influenciada en una reducción del alcance del estudio de cuencas, de tal manera que queda reducida el número de cuencas a estudiar a un tercio. Esto complica hasta cierto punto el objetivo del trabajo descrito en el estudio con el cual se compara dado que, en función de la cantidad de cuencas de régimen pluvial y nival, la continuación a estos resultados conlleva a evaluar los parámetros morfológicos y cuantificar la importancia de estas variables para determinar un set de coeficientes A y B para las cuencas del mismo régimen y características similares.

Si bien el desarrollo de este documento es en actualizar los coeficientes, ya con las cuencas reducidas se visualizan los distintos comportamientos según la data trabajada. Esto quiere decir que, de las 5 cuencas finalmente trabajadas, se actualizan los coeficientes A y B, o por el contrario estudiar las diferencias dado los factores externos, como lo fueron la no consideración del caudal completo de la cuenca, o de nuevas series de puntos que no se comportan de igual manera en cierto horizonte de años.

Realizar la verificación y confiabilidad de los datos entrega un nivel de información respecto a la calidad de mediciones que es muy relevante. Las diferencias observadas en la curva de descarga de la cuenca del río Cachapoal hace dudar de la veracidad de los datos presentes, por lo cual se considera responder a las metodologías de medición y, en su debido caso, una mejor labor en cuanto a la captura de información.

En conjunto con el párrafo anterior, se recomienda a la DGA acompañar las mediciones de caudal sólido con: la granulometría respectiva a la medición, de manera que se pueda contar con una primera estimación de la magnitud de las partículas que son transportadas, que en este caso corresponden a las mediciones de gasto sólido en suspensión; los métodos de obtención de muestra y en lo posible a la clasificación de suelo.

Dentro de la información obtenida para el cálculo de correlaciones, se recomienda a la DGA disminuir lo más posible la cantidad de mediciones incompletas. Lo anterior hace referencia a evitar intervalos de tiempo en los cuales, por error de medición o por caída de estaciones, no se registran datos.

Con este estudio se pueden estudiar las variables, en las estaciones que se ve un cambio, la influencia del cambio climático basado en la variación de precipitaciones, temperatura y vegetación, tanto para las cuencas que respondan a un régimen pluvial como nival.

Según los resultados obtenidos, se presenta la posibilidad de establecer Patrones Sedimentológicos de las cuencas, valores que pueden ser definidos considerando la información a nivel anual y estacional.

Las mayores variaciones en los patrones sedimentológicos están presentes en las cuencas que, durante este horizonte que separa el 1985 con el 2021, desarrollaron nuevos embalses, generando cambios al almacenar caudal influyendo en el control aguas abajo y en la depositación de sedimento.

Existen cuencas en las cuales se interrumpió, de manera definitiva hasta la fecha, la medición de caudal sólido. Una respuesta es que en algunos sectores el interés de medición pasa por un particular.

El Patrón Sedimentológico, para el gasto sólido en suspensión, expresado a través de la relación  $GS = A \cdot Q^B$  resulta aceptable para las cuencas estudiadas, quedando representada para la cuenca del río Maipo que responde de manera muy aceptable a las magnitudes de caudal sólido para un nivel promedio. A pesar de esto, se recomienda realizar un estudio particular para las crecidas importantes dado que, a partir de cierta magnitud, obtener el caudal sólido a partir de los patrones sedimentológicos subestime los resultados.

Se puede obtener una nueva magnitud para los coeficientes A y B en las cuencas del río Colorado y río Bío Bío en la estación de San Pedro, tanto por el sostenimiento del comportamiento entre caudal líquido y sólido. Para el caso de la cuenca del río Cachapoal como para el río Bío Bío en la estación de Quecuo, es posible obtener estos coeficientes A y B sólo para la nueva serie de información, dado que existe un nuevo comportamiento evidente. Para el resto, es necesario contar con un mayor estudio de detalle.

Las ecuaciones que se definen a partir de los Patrones Sedimentológicos que fueron obtenidas, representan las características propias de las cuencas andinas de la zona central de Chile. La extrapolación de estas cuencas a otras cuencas de características similares no puede suponerse como semejante.

La aplicación de estas ecuaciones se entiende como una aproximación válida para estudios preliminares. En caso de otras situaciones, se recomienda un estudio particular, un uso responsable de cada persona o derechamente no utilizar.

Se recomienda ampliar este trabajo, no con el fin de comparar comportamiento a lo largo del tiempo, sino con objeto de catastrar los coeficientes para las estaciones que tengan registros de caudal sólido, basado en criterios estadísticos, calidad, confiabilidad, seguridad y disponibilidad de información.

El avance de nuevas tecnologías aumenta la precisión de la información geométrica de las cuencas, medición de datos hidráulicos y reducción de tiempo de cálculos, de tal manera que se considera

que los nuevos coeficientes tienen un argumento de mayor confiabilidad.

En cuanto a la modelación numérica en Iber, se puede concluir y recomendar lo presentado a continuación.

En cuencas que responden a un régimen nival, el software no cuenta con módulos para el cálculo de tasa de hielo-deshielo, como tampoco con la dinámica anual de posición de línea de nieve, lo cual implica que se debe desarrollar la geometría computacional para eventos en particular y con supuestos que puedan equivaler al aumento de caudal líquido en función del derretimiento de nieve. Ambos puntos anteriores son recomendables para nuevas actualizaciones.

La precisión de la topografía es muy influyente para uniformizar las mediciones de caudal en el modelo. En este estudio se visualizó la diferencia entre trabajar con modelos de elevación digital de 30 metros y de 12.5 metros. En condiciones normales, un cauce puede tener anchos de, aproximadamente, 30 metros donde se incluye el encausamiento y las planicies de inundación. Hablando en términos de resolución de 30 metros por pixel de información, se tiene que la representación transversal del cauce es una línea recta con pendiente, lo cual se aleja de la precisión en las mediciones. Se recomienda la mejor resolución posible, destacando que en lugares como Catalunya, se realizaron campañas para obtener modelos de elevación digital de resolución 2 metros.

También se puede aumentar la precisión de estas mallas numéricas en función de la longitud de los elementos. Este valor es recomendable reducir hasta que el valor corresponda a la precisión de la topografía (en este caso, 12.5 metros), pero hay que tener en consideración que el aumento de la precisión va de la mano con un aumento exponencial de los tiempos de cálculo. Se recomienda dejar los modelos de mayor precisión para instancias finales.

En caso de cuencas que dan respuesta a ciclos de hielo-deshielo, no se considera relevante tener criterios de mallado amplios en contexto espacial. Esto quiere decir que, como el transporte de sólido en suspensión está dado principalmente por el caudal que transporta el cauce principal, la geometría de mallado puede ser reducida a los cauces con mayores magnitudes de caudal líquido.

Se validó el comportamiento de caudales en la cuenca en base a los supuestos presentados en el cuerpo del informe. Se recomienda realizar un modelo en tiempos prolongados, donde el estudio de los resultados puede considerar luego de 4 días de resultados, tiempo en el cual los caudales se encuentran estabilizados.

Se trabajó con la equivalencia de caudales del modelo y de las estaciones medidas, de tal manera que el trabajo que continúa corresponde a los gráficos de concentración para corroborar con los valores medidos por la DGA, pero el tiempo y la información disponible no son suficientes para realizar un estudio certero de hidrogramas de concentración del modelo de Iber. Para esto se requiere mayor nivel de detalle en cuanto a la granulometría y, principalmente, al tipo de suelo presente (limo, arcilla, arena, cohesivo o no cohesivo). Así, se puede obtener un mejor criterio para calibrar los coeficientes y las ecuaciones con las que trabaja el módulo de Iber.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- AESGENER, 2008. Estudio sedimentológico en el río Maipo. Santiago: Departamento de ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- Ayala, L., López, A. & Marín, P., 1995. Factores Hidráulicos y mecánico fluviales condicionantes del control hidrométrico en ríos de montaña, Santiago: Centro de recursos hidráulicos. Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Universidad de Chile.
- Bladé, E. y otros, 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería, 30(1), pp. 1-10.
- Bzdigian, K., Lopez, A., Ayala, L. & Alvarado, L., 1985. Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile, Santiago, Chile: Memoria.
- Chow, V. T., 1994. Hidrología aplicada. s.l.:McGraw-Hill, Inc..
- ENDESA Chile, 2015. Monitoreo de material particulado y régimen sedimentológico en el río Bío Bío. Centrales hidroeléctricas Ralco y Pangué, Chile: Centro de ecología aplicada.
- López, A. & Bzdigian, K., 1988. Influencia de factores geomorfológicos en la producción de sedimentos en cuencas andinas chilenas. Cuba, Congreso Latinoamericano de hidráulica.
- López, A. & Bzdigian, K., 1985. Resultados preliminares de un estudio destinado a definir patrones sedimentológicos en algunas cuencas de la zona central de Chile. Concepción, Sociedad Chilena de Ingeniería hidráulica.
- Maza, J. A. & García, M., 1996. Transporte de sedimentos. Capítulo 10 del Manual de Ingeniería de Ríos. México: Manual de Ingeniería de Ríos, Comisión Nacional del Agua..
- Oneto, F., López, A. & Castro, G., 2013. Análisis d emuestreos rutinarios e integrados de sedimentos en suspensión en cuencas de Chile, Valparaíso: s.n.
- Soto, K., Alcayaga, H., San Miguel, D. & Escauriaza, C., 2021. Análisis de la red de medición de sedimentos en Chile. Santiago, XXV congreso chileno de ingeniería hidráulica.

## 11. ANEXOS

### ANEXO 1. CAUDALES MEDIOS MENSUALES. BZIDIGIAN ET AL, 1989.

Anexo 1. Caudal medio mensual, estación Colorado en Desembocadura, información del documento “Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989.”

Colorado en Desembocadura												
Caudales medios mensuales [m <sup>3</sup> /s]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1970	45.75	45.59	27.75	17.02	11.48	9.70	9.47	9.54	11.72	13.98	20.48	24.83
1971	22.43	23.41	17.22	11.40	9.66	9.61	12.98	12.47	15.64	24.49	42.71	50.52
1972	58.54	45.27	22.24	13.82	21.11	25.13	15.82	22.98	25.79	31.08	49.60	94.63
1973	108.08	88.50	59.82	34.57	24.25	19.71	20.78	17.21	17.89	19.58	33.85	39.89
1974	60.63	45.89	31.64	19.71	15.13	16.61	16.78	15.41	17.10	24.22	-	61.66
1975	72.53	46.57	31.18	18.89	13.35	12.71	12.34	12.46	13.92	20.25	20.73	35.39
1976	40.89	27.05	19.09	12.64	11.04	12.32	10.49	9.56	10.59	14.07	23.52	29.53
1977	33.57	29.25	26.76	15.96	13.83	15.23	19.06	15.57	22.79	40.75	51.70	80.74
1978	66.72	51.44	32.15	22.23	17.09	14.61	22.39	17.87	20.91	35.71	55.16	98.83
1979	98.03	56.86	36.60	23.98	15.59	14.71	13.24	15.47	16.37	24.63	28.49	40.32
1980	63.41	45.90	37.55	39.21	52.83	-	23.30	21.54	22.55	29.75	42.68	84.42
1981	74.43	70.95	45.08	23.94	24.17	-	17.21	17.37	15.56	21.35	33.39	44.11
1982	56.68	46.80	19.74	17.85	17.85	28.86	-	-	-	-	-	-

Anexo 2. Caudal medio mensual, estación Cachapoal en puente Termas, información del documento “Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989.”

Cachapoal en Puente Termas												
Caudales medios mensuales [m <sup>3</sup> /s]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1975	127.00	45.70	8.60	2.78	0.47	0.55	7.56	4.61	1.93	7.99	51.20	109.00
1976	85.70	29.50	5.26	1.97	2.09	19.90	0.76	0.42	2.53	5.45	47.40	66.30
1977	61.60	20.20	5.48	6.47	1.95	6.39	118.00	25.60	49.80	47.60	119.00	170.00
1978	108.00	49.50	9.50	0.67	1.10	1.31	116.00	29.00	17.00	37.10	116.00	195.00
1979	169.00	66.60	19.20	0.93	3.15	0.75	7.32	15.10	12.20	25.90	46.80	120.00
1980	139.00	70.60	37.10	30.00	69.80	44.50	30.80	17.60	4.47	19.20	69.80	163.00
1981	126.00	108.00	43.30	4.92	35.30	13.20	3.26	2.00	2.11	7.17	96.20	101.00
1982	83.30	134.50	13.40	0.92	15.50	73.40	85.30	38.57	91.11	59.32	128.31	246.00

Anexo 3. Caudal medio mensual, estación Claro en Los Queñes, información del documento “Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989.”

Claro en Los Queñes												
Caudales medios mensuales [m <sup>3</sup> /s]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1977	-	-	-	-	-	28.86	55.46	37.20	28.46	32.87	42.07	37.87
1978	23.20	14.51	7.03	5.08	5.43	13.99	67.60	19.08	28.23	38.42	44.74	40.13
1979	25.02	15.43	7.58	5.05	8.24	5.26	20.10	39.96	31.29	21.17	23.24	34.25
1980	21.67	13.07	10.00	22.10	44.26	42.13	31.61	19.43	12.56	16.12	19.11	23.06
1981	13.82	9.23	6.31	5.69	37.38	25.96	14.84	16.82	11.25	14.36	19.73	18.97
1982	9.45	6.63	6.00	4.48	10.41	41.29	49.64	26.47	37.10	-	-	-

Anexo 4. Caudal medio mensual, estación Bío Bío en San Pedro, información del documento “Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989.”

Bío Bío en San Pedro												
Caudales medios mensuales [m <sup>3</sup> /s]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1964	220.00	130.00	87.00	71.00	93.00	180.00	140.00	186.00	400.00	500.00	435.00	470.00
1965	210.00	160.00	105.00	176.00	365.00	1040.00	610.00	710.00	395.00	510.00	770.00	710.00
1966	255.00	146.00	114.00	144.00	240.00	320.00	540.00	267.00	310.00	454.00	550.00	583.00
1967	283.00	171.00	107.00	75.00	178.00	159.00	196.00	310.00	303.00	567.00	575.00	301.00
1968	135.00	177.00	92.00	79.00	93.00	105.00	141.00	163.00	227.00	225.00	223.00	180.00
1969	127.00	88.40	70.60	84.00	240.00	659.00	400.00	482.00	425.00	381.00	509.00	361.00
1970	164.00	108.00	82.80	80.70	24123.00	318.00	289.00	283.00	276.00	383.00	451.00	363.00
1971	207.00	173.00	102.00	85.20	271.00	219.00	527.00	447.00	345.00	426.00	420.00	293.00
1972	183.00	113.00	85.30	74.70	484.00	769.00	467.00	806.00	417.00	451.00	576.00	347.00
1973	181.00	121.00	90.70	72.40	171.00	268.00	342.00	250.00	241.00	455.00	434.00	214.00
1974	140.00	96.20	75.70	63.80	107.00	247.00	246.00	604.00	268.00	441.00	396.00	238.00
1975	113.00	144.00	83.70	126.00	252.00	396.00	432.00	242.00	271.00	445.00	618.00	411.00
1976	196.00	114.00	85.80	68.90	74.00	441.00	259.00	204.00	254.00	490.00	393.00	247.00
1977	147.00	95.50	76.50	84.80	356.00	393.00	475.00	339.00	472.00	630.00	622.00	409.00
1978	166.00	111.00	80.20	66.70	143.00	214.00	848.00	337.00	418.00	572.00	526.00	265.00
1979	129.00	90.20	71.80	635.00	116.00	107.00	255.00	652.00	523.00	394.00	498.00	458.00
1980	167.00	177.00	153.00	255.00	750.00	746.00	566.00	537.00	327.00	343.00	284.00	199.00
1981	187.00	118.00	87.90	101.00	852.00	531.00	509.00	410.00	322.00	339.00	260.00	143.00

Anexo 5. Caudal medio mensual, estación Bío Bío en Puente Queuco, información del documento “Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989.”

Bío Bío en Puente Queuco												
Caudales medios mensuales [m <sup>3</sup> /s]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1964	41.70	24.80	17.30	15.30	39.10	36.20	38.70	54.90	98.30	93.80	77.40	85.60
1965	36.60	27.80	18.30	40.60	90.70	189.00	127.00	146.00	66.70	109.00	139.00	142.00
1966	42.40	25.40	19.20	23.10	43.80	66.80	147.00	69.60	74.50	91.80	101.00	147.00
1967	71.20	36.70	22.80	17.10	47.50	36.30	56.30	91.50	80.00	141.00	102.00	57.90
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1970	30.60	19.70	15.50	15.50	-	-	-	-	-	-	-	-
1971	-	-	-	-	82.50	59.60	-	112.00	-	96.00	79.30	68.80
1972	40.60	23.30	21.10	21.10	-	199.00	104.00	206.00	140.00	128.00	114.00	75.00
1973	41.00	30.00	19.20	19.20	50.20	73.40	86.20	71.20	63.60	89.90	71.10	-
1974	28.00	18.90	15.50	15.50	26.40	59.10	83.90	70.90	62.60	84.30	59.20	48.40
1975	25.80	26.10	15.70	15.70	71.10	108.00	122.00	71.70	73.40	97.90	123.00	80.90
1976	38.90	23.70	18.40	18.40	17.30	111.00	60.10	43.30	45.20	71.70	124.00	87.40
1977	24.00	15.10	12.30	12.30	76.00	87.60	135.00	85.30	123.00	139.00	138.00	91.40
1978	37.50	24.30	18.30	18.30	46.80	75.70	242.00	72.90	118.00	138.00	111.00	54.20
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1980	37.20	53.60	43.00	43.00	194.00	217.00	141.00	121.00	61.70	59.90	55.50	44.30
1981	44.40	26.00	20.80	20.80	220.00	107.00	122.00	95.60	77.80	68.80	53.60	31.60
1982	22.90	22.40	18.10	18.10	59.60	144.00	166.00	101.00	152.00	155.00	113.00	94.40



Anexo 6. Caudal medio mensual, estación Bío Bío antes junta con Llanquén, información del documento “Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989.”

Bío Bío antes Junta con Llanquén												
Caudales medios mensuales [m <sup>3</sup> /s]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	102.00	75.70	46.80	77.00	174.00	445.00	242.00	365.00	168.00	236.00	340.00	334.00
1966	140.00	75.00	44.00	70.00	116.00	157.00	255.00	152.00	171.00	243.00	284.00	283.00
1967	156.00	88.80	50.20	36.90	76.40	74.90	98.70	165.00	179.00	330.00	321.00	177.00
1968	66.70	50.70	37.40	31.30	43.50	46.80	59.40	72.00	115.00	123.00	118.00	102.00
1969	62.30	37.30	26.60	35.30	104.00	292.00	202.00	266.00	227.00	220.00	307.00	205.00
1970	85.20	47.90	34.20	41.10	51.80	128.00	134.00	149.00	154.00	220.00	271.00	206.00
1971	115.00	87.30	46.10	38.60	121.00	112.00	248.00	240.00	196.00	260.00	268.00	175.00
1972	102.00	58.00	38.90	33.40	216.00	395.00	232.00	408.00	232.00	231.00	336.00	194.00
1973	88.80	51.80	36.60	28.00	75.60	153.00	187.00	133.00	132.00	247.00	268.00	124.00
1974	71.90	41.70	30.30	22.10	46.50	90.60	108.00	158.00	142.00	259.00	241.00	133.00
1975	64.10	69.50	37.30	60.20	111.00	175.00	209.00	126.00	155.00	267.00	373.00	237.00
1976	107.00	58.10	38.50	29.50	33.40	230.00	157.00	116.00	142.00	252.00	234.00	143.00
1977	81.30	47.30	33.20	40.10	199.00	227.00	236.00	188.00	267.00	377.00	351.00	218.00
1978	85.80	50.20	33.00	24.90	66.10	100.00	399.00	197.00	230.00	336.00	296.00	143.00
1979	59.10	36.00	28.20	21.80	51.80	51.30	105.00	326.00	301.00	242.00	293.00	248.00
1980	89.70	94.50	78.30	114.00	355.00	362.00	293.00	277.00	189.00	218.00	173.00	109.00
1981	82.70	52.40	39.40	44.70	398.00	275.00	244.00	207.00	161.00	192.00	141.00	67.50

**ANEXO 2. GASTO SÓLIDO EN SUSPENSIÓN MEDIOS MENSUALES. BZDIGIAN ET AL, 1989.**

Anexo 7. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Colorado en desembocadura, información del documento “Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989.”

Colorado en Desembocadura												
Gastos solidos en suspensión medios mensuales [Decenas de Ton/día]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1970	661.26	510.82	248.37	19.34	3.79	1.76	2.53	-	4.67	8.95	67.52	109.30
1971	291.13	138.59	8.17	2.97	3.20	3.12	3.38	7.33	12.93	26.74	312.25	523.10
1972	855.37	200.23	49.03	9.26	14.13	22.54	4.95	14.55	70.87	83.93	281.56	-
1973	-	431.33	70.92	5.11	3.72	4.75	11.70	-	-	-	-	-
1974	1324.20	393.38	52.28	9.92	4.33	21.04	13.04	6.10	5.89	-	-	-
1975	1046.30	393.19	91.25	8.15	5.62	2.65	5.97	3.73	-	207.74	105.62	834.60
1976	719.58	162.00	73.60	-	-	15.86	4.64	1.72	6.23	22.88	273.13	224.70
1977	389.05	198.51	128.54	18.07	-	37.55	162.80	7.88	64.41	287.62	423.10	1196.00
1978	447.71	232.83	32.77	17.06	8.65	6.63	41.36	10.39	34.85	37.70	210.76	914.30
1979	1724.60	144.21	78.59	20.13	9.83	4.80	10.98	13.52	8.21	53.07	117.64	289.10
1980	581.34	212.69	332.01	313.45	-	-	-	10.00	16.60	85.95	299.65	1215.00
1981	314.21	711.24	225.74	35.94	86.69	-	9.42	11.32	25.20	45.82	362.94	247.90
1982	984.01	605.60	-	21.89	36.62	283.50	-	-	-	-	-	-

Anexo 8. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Cachapoal en puente Termas, información del documento “Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989.”

Cachapoal en Puente Termas												
Gastos solidos en suspensión medios mensuales [Decenas de Ton/día]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	206.15	575.84	1965.00
1975	1986.60	427.12	21.44	0.18	0.04	1.35	-	31.13	-	136.62	212.24	1549.00
1976	831.52	242.61	73.63	6.88	-	347.22	1.86	0.06	114.05	69.24	1254.40	753.90
1977	639.06	77.51	22.62	27.00	44.42	77.86	6828.50	251.97	176.38	498.40	1988.60	1859.00
1978	314.14	85.55	7.65	0.12	7.88	22.11	1994.80	45.26	23.23	286.79	841.20	948.20
1979	1786.00	181.73	17.97	0.36	26.35	0.58	148.51	225.36	88.76	61.34	209.18	1279.00
1980	684.88	608.67	59.19	1505.40	1589.50	573.78	568.01	175.20	28.85	156.19	501.54	2121.00
1981	4867.30	4035.50	1188.70	119.41	540.93	389.43	10.12	1.68	5.04	30.22	1938.60	2330.00
1982	1781.50	-	20.22	0.30	110.78	985.10	678.51	115.14	410.25	159.22	711.42	5567.00

Anexo 9. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Claro en Los Queñes, información del documento “Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989.”

Claro en Los Queñes												
Gastos solidos en suspensión medios mensuales [Ton/día]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1977	-	-	-	-	-	-	1238.20	137.52	71.70	186.40	1693.40	122.60
1978	22.51	10.88	2.63	5.01	48.85	-	4349.00	8.34	38.15	888.10	261.39	99.26
1979	22.37	10.89	6.57	3.96	18.07	1.93	648.30	835.31	474.87	10.82	-	47.99
1980	24.48	22.41	13.84	363.21	1861.40	394.89	132.79	21.13	14.87	18.70	22.53	92.12
1981	28.76	11.98	5.83	7.63	282.49	39.98	121.82	15.64	8.20	13.27	18.17	18.94
1982	12.51	6.15	4.71	5.67	48.35	410.87	1428.50	69.60	1685.70	-	-	-

Anexo 10. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Bío Bío en San Pedro, información del documento “Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989.”

Bío Bío en San Pedro												
Gastos solidos en suspensión medios mensuales [Ton/día]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1964	-	-	-	-	-	-	-	-	550.00	498.00	330.00	2218.00
1965	-	1068.00	365.00	436.00	240.00	997.00	1209.00	915.00	746.00	880.00	5622.00	3012.00
1966	334.00	130.00	108.00	436.00	435.00	197.00	570.00	394.00	234.00	691.00	1151.00	2172.00
1967	442.00	644.00	63.00	75.00	262.00	122.00	716.00	588.00	36.00	1654.00	890.00	745.00
1968	259.00	1044.00	283.00	116.00	103.00	93.00	249.00	673.00	342.00	232.00	283.00	328.00
1969	480.00	440.00	935.00	691.00	1342.00	8639.00	755.00	697.00	455.00	432.00	933.00	434.00
1970	477.00	287.00	325.00	-	165.00	2004.00	-	241.00	241.00	487.00	545.00	351.00
1971	86.00	176.00	43.00	27.00	3495.00	142.00	4568.00	363.00	299.00	1035.00	652.00	509.00
1972	756.00	184.00	251.00	45.00	20020.00	3803.00	-	-	352.00	912.00	743.00	478.00
1973	124.00	129.00	180.00	55.00	605.00	179.00	364.00	201.00	139.00	979.00	763.00	262.00
1974	691.00	64.00	134.00	64.00	66.60	-	447.00	378.00	170.00	799.00	614.00	238.00
1975	-	615.00	109.00	-	5986.00	680.00	1129.00	171.00	245.00	947.00	2128.00	526.00
1976	234.00	193.00	148.00	43.00	77.00	4481.00	168.00	83.00	122.00	755.00	511.00	332.00
1977	298.00	136.00	97.00	223.00	2142.00	526.00	956.00	352.00	2236.00	1959.00	1169.00	2042.00
1978	9847.00	6554.00	163.00	72.00	678.00	378.00	5019.00	288.00	599.00	2140.00	843.00	312.00
1979	189.00	171.00	180.00	60.00	155.00	64.00	1244.00	3208.00	786.00	326.00	507.00	581.00
1980	202.00	3893.00	280.00	688.00	1956.00	2058.00	705.00	472.00	187.00	228.00	328.00	278.00
1981	550.00	150.00	146.00	312.00	29953.00	-	-	-	181.00	-	-	-

Anexo 11. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Bío Bío en Puente Queuco, información del documento “Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989.”

Bío Bío en Puente Queuco												
Gastos solidos en suspensión medios mensuales [Ton/día]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1964	-	-	-	-	-	-	-	-	345.00	251.00	182.00	313.00
1965	59.00	471.00	29.00	1031.00	53.00	4233.00	514.90	729.00	45.00	238.00	391.00	697.00
1966	68.00	29.00	13.00	76.00	320.00	118.00	905.00	127.00	146.00	159.00	167.00	930.00
1967	739.50	38.00	200.00	19.90	91.00	-	101.00	397.00	73.00	584.00	172.00	1024.00
1968	23.00	4262.00	140.00	43.00	134.00	-	44.50	-	332.00	89.00	197.00	-
1969	63.00	65.10	69.00	849.00	989.00	9019.00	186.00	-	177.00	117.00	213.00	192.00
1970	31.00	22.00	59.00	186.00	126.00	-	-	-	-	-	-	-
1971	-	-	-	-	-	-	-	-	21.00	493.00	167.00	267.00
1972	-	-	411.00	-	-	-	-	314.00	262.00	1126.00	215.00	158.00
1973	29.00	12.00	24.00	7.00	514.00	603.00	225.00	54.00	71.00	101.00	324.00	-
1974	54.00	23.00	22.00	13.00	118.00	258.00	225.00	193.00	62.00	232.00	212.00	81.00
1975	28.00	130.00	46.00	445.00	2512.00	670.00	-	197.00	111.00	373.00	945.00	182.00
1976	56.00	17.00	13.00	11.00	72.00	2674.00	55.00	51.00	61.00	112.00	270.00	923.00
1977	58.00	24.00	11.00	391.00	1653.00	219.00	476.00	115.00	799.00	754.00	1251.00	213.00
1978	30.00	5908.00	36.00	16.00	433.00	-	-	-	527.00	-	-	-
1979	58.00	127.00	12.00	14.00	283.00	66.00	1937.00	6544.00	796.00	182.00	324.00	481.00
1980	28.00	5293.00	1218.00	2413.00	4940.00	7097.00	5125.00	363.00	112.00	97.00	101.00	354.00
1981	545.00	19.00	27.00	205.00	7376.00	1756.00	436.00	625.00	-	178.00	61.00	22.00
1982	39.00	258.00	36.00	108.00	591.00	-	-	-	-	-	-	-

Anexo 12. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Bío Bío antes junta con Llanquén, información del documento “Patrones sedimentológicos de los principales ríos de la zona central de Chile. Bzdigian et Al, 1989.”

Bío Bío antes Junta con Llanquén												
Gastos solidos en suspensión medios mensuales [Ton/día]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	-	-	-	1803.00	603.00	4190.00	-	-	-	-	-	-
1966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1967	269.00	147.00	107.00	24.00	-	-	-	-	-	1230.00	367.00	336.00
1968	199.00	921.00	115.90	129.00	173.00	-	401.00	209.00	580.00	2464.00	-	566.00
1969	233.00	123.00	30.00	301.00	1290.00	4096.00	1985.00	3372.00	929.00	3793.00	873.00	487.00
1970	261.00	266.00	26.00	90.00	81.00	732.00	1217.00	1089.00	1526.00	917.00	897.00	294.00
1971	294.00	410.00	340.00	35.00	1187.00	1847.00	7341.00	2768.00	2147.00	781.00	932.00	617.00
1972	2446.00	52.00	18.00	14.00	4337.00	1928.00	552.00	2354.00	377.00	372.00	416.00	203.00
1973	87.00	37.00	12.00	39.00	25.00	293.00	57.00	123.00	101.00	373.00	381.00	96.00
1974	39.00	15.00	11.00	-	78.00	194.00	303.00	215.00	174.00	633.00	382.00	181.00
1975	51.00	170.00	27.00	91.00	801.00	297.00	454.00	106.00	230.00	739.00	3269.00	343.00
1976	194.00	75.00	36.00	16.00	36.00	1435.00	284.00	96.00	171.00	824.00	572.00	799.00
1977	126.00	72.00	-	126.00	1610.00	472.00	458.00	252.00	1325.00	1180.00	1252.00	313.00
1978	163.00	64.00	22.00	26.00	371.00	275.00	2482.00	356.00	534.00	1475.00	813.00	279.00
1979	79.00	24.00	18.00	8.00	84.00	38.00	903.00	8861.00	1863.00	519.00	381.00	749.00
1980	115.00	750.00	258.00	367.00	2869.00	1808.00	4844.00	654.00	192.00	523.00	205.00	218.00
1981	196.00	35.00	36.00	64.00	6273.00	-	-	-	-	-	-	-

### ANEXO 3. CAUDALES MEDIOS MENSUALES, SERIE ACTUALIZADA.

Anexo 13. Caudal medio mensual, estación Colorado en Desembocadura, serie actualizada.

Colorado en Desembocadura												
Caudales medios mensuales [m <sup>3</sup> /s]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1985	-	-	-	-	18.92	16.02	15.59	13.83	12.79	17.76	34.14	54.50
1986	59.73	48.02	32.03	17.90	15.34	20.48	18.03	17.92	19.21	25.59	44.62	80.28
1987	79.78	64.26	43.58	25.37	18.92	17.96	20.68	30.77	31.22	52.60	79.07	0.00
1988	0.00	0.00	46.23	37.59	22.60	17.14	14.36	13.60	12.75	19.21	36.17	47.53
1989	57.40	63.08	34.70	19.72	14.56	12.46	11.70	18.36	21.56	34.81	63.74	69.22
1990	62.87	48.03	30.79	20.12	14.98	12.73	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	23.73	21.92	18.90	20.65	25.80	33.02	49.32
1994	-	50.42	37.39	17.51	16.03	14.81	16.18	15.65	15.10	19.85	28.92	48.78
1995	-	48.78	30.04	-	18.80	-	14.18	13.90	18.51	19.63	39.22	-
1996	-	-	30.69	17.74	14.56	11.71	10.63	10.40	9.98	9.55	10.79	-
1997	-	-	-	13.49	10.12	10.60	13.05	16.61	-	28.61	47.81	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	11.27	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43.69	47.17
2004	58.24	48.61	34.46	20.78	15.03	-	8.72	9.94	15.06	12.79	24.92	37.67
2005	44.80	36.85	20.90	13.38	12.43	21.10	22.77	23.92	-	38.62	-	96.86
2006	91.25	70.17	35.32	25.09	18.69	16.10	20.13	13.89	15.60	25.52	38.99	61.56
2007	48.66	0.00	13.95	0.00	1.22	0.00	-	-	17.46	25.13	36.58	-
2008	-	-	-	18.70	15.98	-	12.31	14.23	-	28.74	55.34	64.65
2009	31.55	0.00	19.88	11.07	0.00	10.71	11.64	12.97	17.19	17.60	12.82	10.95
2010	60.83	45.44	34.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo 14. Caudal medio mensual, estación Cachapoal en puente Termas, serie actualizada.

Cachapoal en Puente Termas												
Caudales medios mensuales [m <sup>3</sup> /s]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2003	-	95.63	52.84	0.91	2.94	14.02	7.18	2.23	2.77	13.40	51.30	66.23
2004	86.97	44.74	3.36	2.56	0.92	2.41	1.84	1.67	5.28	3.26	18.54	85.75
2005	87.45	21.21	5.21	1.96	-	47.62	35.67	59.48	16.19	47.40	224.98	267.41
2006	241.70	144.87	23.93	4.29	8.22	9.14	53.45	16.90	6.27	24.62	84.97	123.00
2007	121.00	46.08	13.57	3.04	0.93	2.93	7.27	2.43	2.37	4.81	20.39	47.61
2008	-	25.59	-	0.57	26.33	0.00	0.00	0.00	13.01	40.73	116.55	118.77
2009	63.97	-	-	1.85	14.93	4.88	3.84	-	-	-	37.05	117.10
2010	119.98	-	-	-	4.04	-	-	-	-	-	-	-
2011	26.42	11.70	4.16	0.97	1.53	4.20	1.13	2.89	2.76	3.52	18.87	33.21
2012	28.12	10.18	4.37	3.16	12.20	19.14	16.60	7.16	8.04	12.53	9.16	24.89
2013	40.16	28.17	8.73	2.43	3.92	4.38	5.52	6.40	7.72	7.64	15.37	29.42
2014	18.22	4.18	2.64	0.75	3.63	5.31	6.24	13.15	11.54	13.30	19.91	19.81
2015	16.37	8.64	3.43	2.29	1.90	2.29	7.74	15.74	11.01	15.68	27.51	59.36
2016	47.47	18.42	6.57	39.84	22.41	15.60	11.57	8.91	7.37	8.53	29.05	38.03
2017	30.12	17.19	7.26	5.93	4.97	8.13	6.01	7.45	9.14	18.02	25.14	27.45
2018	14.94	16.72	3.54	2.16	2.01	3.24	6.49	3.65	2.36	17.10	26.13	-

Anexo 15. Caudal medio mensual, estación Canal Sauzal, serie actualizada.

Canal Sauzal												
Caudales medios mensuales [m <sup>3</sup> /s]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2005	-	-	-	-	-	-	48.30	65.19	70.62	70.81	71.17	71.76
2006	71.20	71.15	71.74	57.10	42.07	52.74	51.44	60.40	60.47	70.50	71.99	71.90
2007	72.02	72.20	68.45	40.54	26.53	24.02	30.46	25.67	36.23	57.15	68.49	70.80
2008	71.17	71.26	54.10	34.43	38.04	54.03	42.11	54.00	49.85	59.58	69.49	70.94
2009	71.36	72.39	64.56	49.28	37.70	-	-	35.58	-	59.22	68.14	69.72
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51.55	69.47	72.16
2012	70.17	63.39	51.24	30.91	27.10	41.66	41.62	16.96	42.78	49.13	67.65	71.56
2013	72.01	69.60	51.17	34.62	27.14	30.33	26.68	28.99	39.44	47.56	68.30	71.62
2014	70.04	58.68	42.31	25.78	28.60	23.97	23.93	32.85	36.93	55.23	69.74	70.45
2015	71.70	62.56	52.94	32.02	21.72	17.74	20.79	32.61	36.46	36.32	70.78	71.30
2016	70.79	70.73	56.93	35.49	54.37	50.88	41.49	41.48	45.50	55.80	69.25	69.99
2017	71.29	63.63	45.22	30.83	28.62	28.95	28.92	28.11	34.16	49.70	62.40	65.17
2018	65.63	61.31	45.06	30.17	21.82	19.84	21.66	19.26	27.21	36.64	59.45	64.78
2019	66.68	64.36	43.71	29.12	19.75	16.58	15.40	15.07	17.70	17.45	42.70	52.05
2020	61.14	52.18	42.80	24.53	16.31	14.48	-	-	-	-	-	-

Anexo 16. Caudal medio mensual, caudal total cuenca del Cachapoal, serie actualizada.

Caudal total, cuenca del Cachapoal												
Caudales medios mensuales [m <sup>3</sup> /s]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	62.86	100.31	186.03	189.72
2009	135.33	-	-	51.13	39.13	-	-	-	-	-	107.74	187.33
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55.06	88.23	117.72
2012	108.23	77.39	53.97	32.02	44.04	52.18	52.88	22.05	48.56	-	71.50	105.48
2013	142.37	119.66	64.45	35.51	30.74	32.54	26.95	31.12	42.06	50.80	87.40	110.34
2014	92.35	62.91	44.18	27.22	30.09	25.11	25.05	35.04	38.36	61.73	89.86	94.61
2015	97.11	73.48	55.89	33.39	22.69	18.40	22.23	39.49	38.91	41.18	104.70	167.82
2016	154.10	101.76	68.56	102.49	90.39	73.85	53.61	46.44	49.91	60.86	115.77	146.12
2017	131.65	90.60	56.94	40.54	33.68	34.90	31.71	32.26	38.98	65.97	95.51	107.79
2018	87.29	83.97	47.57	31.20	23.01	20.96	24.96	20.37	29.70	-	-	-



Anexo 17. Caudal medio mensual, estación Claro en Los Queñes, serie actualizada.

Claro en Los Queñes												
Caudales medios mensuales [m <sup>3</sup> /s]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1982	-	-	-	-	10.37	41.55	42.07	25.66	30.77	26.95	30.61	37.80
1983	31.39	17.30	8.79	4.49	5.43	12.13	17.37	15.51	15.06	20.95	26.87	19.22
1984	10.92	6.98	4.81	3.78	5.87	10.15	36.31	17.54	24.82	34.52	35.20	39.81
1985	27.08	15.30	10.11	6.84	8.88	10.04	17.76	8.90	8.29	14.59	17.37	12.45
1986	8.55	6.73	5.26	9.63	23.95	37.14	19.11	16.83	14.41	22.81	19.00	29.02
1987	18.32	10.02	7.36	6.85	7.95	14.28	13.76	30.74	23.83	29.54	33.29	26.73
1988	17.85	11.56	5.76	6.27	6.36	7.86	11.13	16.61	12.82	16.75	20.88	14.82
1989	8.78	7.18	5.84	4.42	4.47	4.78	5.99	23.82	19.51	19.46	22.07	13.38
1990	8.78	-	-	7.76	-	6.80	7.82	-	-	-	-	15.43
1991	10.01	6.27	4.88	12.22	4.32	-	25.69	16.34	22.72	24.98	22.54	-
1992	16.72	8.63	6.00	5.66	24.48	-	-	-	22.68	26.08	32.06	28.34
1993	-	11.48	6.80	8.41	10.20	13.00	28.23	16.65	14.54	17.23	20.70	25.33
1994	16.08	9.03	6.79	7.07	7.57	20.11	30.08	18.02	18.40	21.83	27.38	23.28
1995	11.75	7.53	5.55	4.77	7.33	30.29	23.08	23.30	32.54	26.61	32.78	27.42
1996	12.18	7.63	5.87	5.69	4.73	9.88	9.24	15.19	13.52	13.80	12.39	7.04
1997	5.88	5.01	4.52	4.32	9.54	41.56	27.90	43.07	38.35	39.64	38.91	40.00
1998	32.00	18.39	7.84	8.19	5.37	8.39	5.48	5.01	6.24	7.64	7.34	6.75
1999	6.10	5.16	4.51	4.13	4.27	4.08	4.11	16.70	39.89	29.88	34.67	21.99
2000	11.12	6.94	4.43	3.84	3.53	29.35	30.74	15.58	32.12	29.73	28.93	33.93
2001	22.44	15.08	7.47	6.15	12.82	14.38	-	31.76	18.99	16.03	14.13	27.75
2002	14.71	11.89	9.28	7.00	7.35	-	-	-	-	-	39.72	34.27
2003	27.69	14.98	8.91	4.55	4.99	29.81	17.93	10.74	13.04	18.07	19.33	15.57
2004	11.07	6.69	5.30	19.37	5.61	14.04	16.94	18.00	24.36	17.14	22.30	18.20
2005	9.02	5.30	4.05	3.55	24.85	86.47	40.02	117.14	97.46	93.79	106.39	105.57
2006	97.06	88.98	80.76	62.55	48.12	84.98	82.09	88.88	85.30	100.05	101.94	99.83
2007	92.12	82.72	74.71	44.84	30.26	28.98	43.34	36.29	52.18	77.02	89.65	85.28
2008	79.29	76.57	58.37	38.35	49.40	75.64	59.79	84.29	50.55	79.62	92.65	88.37
2009	82.40	79.64	70.37	53.68	47.35	10.56	15.22	55.30	18.55	77.71	83.29	87.69
2010	11.83	6.50	5.40	4.14	4.10	7.26	8.27	9.61	13.62	21.21	15.27	8.92
2011	6.02	4.97	4.47	6.25	5.03	5.09	7.90	20.24	24.66	72.24	91.31	88.55
2012	80.17	70.56	56.17	36.11	34.17	67.61	61.74	26.19	53.07	61.66	82.11	87.12
2013	82.94	75.87	55.85	38.60	31.39	36.88	37.27	39.53	52.44	59.08	81.02	81.82
2014	75.59	62.72	45.61	25.85	34.61	33.19	35.45	54.03	58.93	75.54	89.54	85.67
2015	81.24	68.16	57.05	35.23	24.63	21.78	34.85	57.83	55.15	59.91	96.43	93.50
2016	82.43	79.75	58.81	43.71	63.42	60.33	53.01	53.83	54.94	66.80	80.83	77.35
2017	76.43	67.13	48.03	33.67	33.51	39.15	38.08	38.66	47.91	69.08	79.01	79.87
2018	73.61	65.15	48.81	33.50	24.65	25.21	30.68	25.22	30.06	53.73	85.59	-
2019	66.68	64.36	43.71	29.12	19.75	16.58	15.40	15.07	17.70	17.45	42.70	52.05

Anexo 18. Caudal medio mensual, estación Bío Bío en Rucalhue, serie actualizada.

Bío Bío en Rucalhue												
Caudales medios mensuales [m <sup>3</sup> /s]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1985	-	-	-	-	-	-	-	321.29	344.14	406.00	450.22	194.94
1986	118.97	100.75	94.65	155.62	607.21	1145.70	531.52	716.41	474.67	542.43	350.80	378.71
1987	173.97	117.61	96.14	102.97	150.38	481.31	869.10	786.47	531.37	731.87	520.46	220.00
1988	136.71	102.65	98.58	109.38	126.32	379.23	384.81	590.67	396.64	491.93	533.37	298.47
1989	153.96	104.82	83.73	69.84	65.66	286.40	378.26	547.23	515.12	556.71	333.87	249.19
1990	149.77	103.90	81.62	188.78	369.63	528.60	358.29	616.25	616.75	437.48	275.16	157.71
1991	103.00	77.84	71.04	166.28	404.76	660.74	677.12	464.45	600.14	457.32	394.13	317.11
1992	204.52	123.31	113.30	171.50	968.42	1167.28	564.81	-	527.83	664.84	694.82	464.61
1993	249.13	149.07	120.62	217.69	808.03	1695.70	1199.32	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	1053.65	476.77	750.15	968.33	575.76	597.34
1995	218.94	134.50	109.78	149.73	234.75	866.90	929.19	690.61	820.04	690.94	678.63	346.90
1996	163.63	121.10	126.48	203.69	204.71	432.70	247.48	312.74	271.66	255.39	186.59	108.46
1997	114.22	88.90	-	162.38	442.67	1151.58	721.21	870.35	864.42	655.72	636.93	383.23
1998	177.48	115.60	82.61	93.77	107.17	99.66	218.45	214.00	211.53	208.06	130.83	84.55
1999	83.96	68.60	70.80	67.44	108.40	416.50	285.74	526.69	865.50	578.91	423.83	196.19
2000	102.38	122.95	108.31	82.67	125.61	878.41	644.40	569.92	724.14	707.38	549.63	360.74
2001	233.10	154.29	110.06	83.17	565.49	978.43	1590.13	750.03	463.17	508.00	356.50	228.26
2002	130.44	95.15	159.79	-	-	-	-	-	-	-	929.50	555.26
2003	275.65	157.96	124.42	91.63	94.91	934.44	870.74	399.87	529.33	532.52	428.50	269.65
2004	143.65	106.38	94.82	278.56	132.94	409.64	751.68	358.35	599.97	563.45	618.41	344.61
2005	142.03	179.93	164.52	130.60	304.16	783.43	951.94	889.93	712.50	580.15	625.69	505.06
2006	257.60	155.70	197.65	286.85	269.68	800.57	943.62	781.58	751.04	681.60	561.52	309.52

Anexo 19. Caudal medio mensual, estación Bío Bío antes junta con Llanquén, serie actualizada.

Bío Bío antes Junta con Llanquén												
Caudales medios mensuales [m <sup>3</sup> /s]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2003	-	-	34.35	29.80	28.76	190.76	208.38	150.67	191.00	214.57	154.63	93.17
2004	55.98	35.26	29.62	80.71	53.08	175.56	326.92	143.97	191.50	185.21	-	114.24
2005	50.78	31.85	28.25	25.20	87.40	257.46	332.15	297.52	231.64	273.35	373.83	218.97
2006	94.69	48.24	33.12	41.80	63.34	388.36	596.61	232.42	300.61	295.65	234.69	131.56
2007	64.67	0.00	4.93	40.52	35.92	36.39	75.48	67.24	106.14	149.26	210.63	88.17
2008	46.79	31.07	24.00	23.32	78.17	106.64	175.42	241.90	308.03	247.74	206.19	75.12
2009	37.55	29.48	22.73	22.12	85.30	132.38	114.68	240.15	261.00	214.08	339.23	24.70
2010	74.91	46.90	36.85	30.21	32.56	88.89	113.34	116.52	148.27	251.35	216.93	120.63
2011	64.86	38.76	29.76	47.95	50.46	87.23	96.76	187.82	233.69	313.17	283.31	121.94
2012	53.31	39.95	37.16	26.05	59.27	208.64	163.00	89.05	102.36	96.02	63.72	71.49
2013	51.73	33.26	0.00	0.00	37.82	0.00	0.00	165.33	248.00	198.83	138.76	63.10
2014	36.32	29.56	21.57	27.44	76.43	117.33	138.69	348.83	211.15	242.59	136.68	68.33
2015	38.53	24.02	15.71	20.73	26.92	214.96	117.84	234.62	255.46	233.97	206.50	0.00
2016	47.01	17.58	20.74	2.91	27.70	23.33	44.03	101.30	116.76	128.80	87.10	51.03
2017	31.76	22.93	21.88	22.89	28.89	63.21	90.61	103.51	119.62	229.43	-	-
2018	61.80	34.16	29.72	57.23	59.15	-	-	-	-	-	-	-

**ANEXO 4. GASTO SÓLIDO EN SUSPENSIÓN MEDIO MENSUAL, SERIE ACTUALIZADA.**

Anexo 20. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Colorado en Desembocadura, serie actualizada.

Colorado en Desembocadura												
Gastos solidos en suspensión medios mensuales [Ton/día]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1985	-	-	-	-	99.36	91.23	153.68	110.06	117.77	349.86	7010.55	14691.48
1986	17765.26	7393.14	1606.80	263.48	130.05	1081.26	357.05	196.92	166.09	982.10	7125.20	32077.67
1987	14544.09	7281.60	2379.40	238.93	71.87	277.21	487.56	812.83	386.85	2730.04	8222.80	0.00
1988	0.00	0.00	2238.33	618.04	145.70	90.65	142.71	210.92	285.59	662.53	3277.15	8750.30
1989	12527.39	14678.75	1771.05	390.59	196.29	210.23	179.39	452.05	438.46	1581.37	10548.26	8078.69
1990	10204.27	3994.88	1071.92	276.86	136.48	605.83	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	1000.36	215.61	84.21	260.14	608.46	2800.68	5346.85
1994	-	3866.66	1837.52	93.22	89.68	53.30	350.19	139.79	95.89	246.31	948.61	2808.52
1995	-	3580.67	517.13	-	128.25	-	100.49	76.67	153.13	180.48	1874.06	-
1996	-	-	1641.81	98.75	46.37	36.07	26.70	320.76	82.00	116.79	250.04	-
1997	-	-	-	289.39	73.93	53.79	132.58	197.35	-	581.68	3534.57	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	29.91	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2480.26	2609.30
2004	844.95	470.18	917.94	120.15	85.30	-	63.00	88.56	56.25	80.20	1060.16	7459.41
2005	13521.97	5589.26	630.64	333.14	73.30	780.97	323.84	171.43	-	1229.51	-	19242.77
2006	16467.17	14754.36	476.01	132.15	71.20	56.32	288.61	40.72	132.56	409.58	3464.04	10115.78
2007	10788.76	0.00	109.16	0.00	3.84	0.00	-	-	86.84	479.82	3314.61	-
2008	-	-	-	155.32	102.57	-	60.81	214.93	-	849.41	11805.02	15324.86
2009	4677.11	0.00	840.46	259.03	0.00	65.42	22.31	109.21	108.83	66.01	316.61	2440.29
2010	20014.23	6664.52	1382.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo 21. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Cachapoal en puente Termas, serie actualizada.

Cachapoal en Puente Termas												
Gastos solidos en suspensión medios mensuales [Ton/día]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2003	-	2576.10	1108.36	43.57	235.37	634.95	233.81	68.69	159.42	802.15	1895.98	3018.53
2004	5176.93	1047.92	138.59	179.75	42.26	203.85	202.14	149.22	124.89	85.69	733.34	3957.52
2005	2918.68	313.77	36.84	26.77	-	3972.44	508.76	1997.99	776.31	1148.57	7815.88	13243.31
2006	10102.59	2631.95	339.76	25.15	270.00	365.52	666.10	253.39	67.43	179.40	4197.95	4912.00
2007	1988.22	207.20	201.14	2.54	0.91	50.76	124.58	44.30	77.43	81.53	93.97	996.74
2008	-	1986.82	-	8.37	285.61	0.00	0.00	0.00	398.46	1079.68	8300.00	3912.58
2009	475.75	-	-	51.03	1033.93	239.94	417.89	-	-	-	2550.49	7034.98
2010	6403.06	-	-	-	36.14	-	-	-	-	-	-	-
2011	862.26	354.37	55.38	41.97	2.89	28.17	9.54	67.95	91.29	63.12	190.29	223.80
2012	663.91	412.38	84.36	25.67	467.66	663.97	556.64	53.90	132.73	8.37	108.44	768.53
2013	1695.34	552.59	376.98	3.21	112.36	25.01	22.38	49.94	27.24	100.67	304.18	1730.84
2014	451.24	165.71	65.26	27.37	59.90	52.72	21.86	73.91	54.89	8.77	986.90	908.95
2015	390.72	78.25	34.88	44.60	15.11	5.61	39.72	126.39	41.83	94.48	1410.70	3045.44
2016	1550.52	1649.46	274.52	3019.55	1090.77	1673.59	558.07	102.70	168.07	276.76	1423.42	2813.41
2017	2644.14	1301.39	208.84	202.88	202.60	601.37	73.17	161.98	143.50	749.12	1164.44	1096.11
2018	524.98	728.28	107.66	40.77	45.05	37.17	134.78	50.34	55.33	29.43	67.41	-

Anexo 22. Gasto sólido en suspensión medio mensual, cuenca del Cachapoal, serie actualizada.

Gasto sólido total, cuenca del Cachapoal												
Gastos solidos en suspensión medios mensuales [Ton/día]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	3282.90	13392.47	6770.93	771.96
2009	120.44	-	-	364.46	-	-	-	-	-	-	9847.20	12727.77
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1873.66	2145.98	181.72
2012	3139.53	5477.63	4425.39	1075.11	3925.80	3970.20	5075.97	481.15	801.08	-	336.06	154.38
2013	800.10	895.91	3765.41	868.80	438.16	809.55	1161.97	3531.72	3279.13	594.22	539.83	289.87
2014	258.32	1797.71	759.97	685.24	559.44	1581.33	1328.76	1504.78	951.69	1638.48	6232.62	9650.48
2015	7242.49	6580.60	3363.69	1773.42	909.13	2023.86	2227.13	5165.62	3210.94	1568.86	1904.66	2126.01
2016	1975.25	1514.74	5221.58	15332.34	13593.37	2493.81	191.33	378.92	1845.47	4757.73	3220.59	3616.88
2017	4376.17	3156.34	4490.47	6741.36	2814.50	843.45	253.97	801.77	583.59	2282.41	2813.53	3301.61
2018	3013.69	2078.63	2844.18	1047.74	501.11	164.34	57.01	520.86	476.22	-	-	-

Anexo 23. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Claro en Los Queñes, serie actualizada.

Claro en Los Queñes												
Gastos solidos en suspensión medios mensuales [Ton/día]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1982	-	-	-	-	14.25	412.38	231.45	42.03	58.73	22.98	33.13	75.45
1983	112.64	26.58	10.47	4.45	5.02	11.78	30.35	13.42	22.16	27.64	31.30	26.49
1984	22.84	11.84	5.54	3.73	17.38	18.25	63.68	10.13	20.22	73.17	46.61	48.78
1985	45.23	11.13	9.13	8.13	12.68	5.40	13.41	3.13	2.40	6.11	12.10	10.11
1986	10.56	9.93	3.64	24.51	53.18	124.09	213.88	165.64	27.62	55.28	25.64	91.29
1987	10.39	4.07	2.46	1.35	6.83	152.08	92.88	127.95	24.13	69.45	56.04	23.55
1988	7.07	9.05	2.12	1.21	5.16	29.30	21.25	45.02	4.07	14.66	24.68	10.50
1989	21.84	18.77	7.82	2.16	2.10	10.75	10.84	155.02	19.58	15.31	42.62	9.72
1990	24.94	-	-	16.01	-	3.76	5.58	-	-	-	-	11.65
1991	11.80	12.27	94.89	124.71	1.53	-	128.24	8.47	36.34	33.55	35.85	-
1992	35.19	8.51	11.48	11.71	197.38	-	-	-	16.57	26.26	58.64	30.10
1993	-	15.08	15.28	19.26	3.35	86.37	39.16	26.02	5.74	17.94	17.35	34.17
1994	20.68	36.64	73.30	19.85	8.20	72.45	147.33	6.01	9.86	12.95	26.87	28.46
1995	39.69	110.19	76.38	6.65	5.75	288.94	20.32	23.42	42.42	26.14	67.53	39.21
1996	27.23	24.83	72.11	4.25	4.95	48.13	8.07	17.64	9.54	11.64	13.68	25.04
1997	82.52	84.25	49.95	15.05	75.98	831.38	82.84	172.85	63.77	68.12	70.95	112.48
1998	50.18	13.24	3.96	30.74	6.53	8.71	2.04	2.96	4.19	6.28	7.69	15.74
1999	41.51	88.38	22.42	6.18	4.02	15.24	3.20	60.90	51.32	47.67	39.49	12.13
2000	14.03	7.97	3.07	5.12	1.14	312.52	143.92	6.74	59.46	30.46	50.96	55.13
2001	12.29	12.57	4.60	2.96	86.95	20.72	-	68.52	10.61	6.35	7.79	32.36
2002	15.47	10.90	14.72	2.28	2.26	-	-	-	-	-	36.32	18.06
2003	33.30	10.05	3.27	3.21	4.25	177.87	9.37	6.33	7.66	19.66	21.69	7.58
2004	11.21	8.30	2.99	79.33	2.07	35.55	49.13	12.44	31.15	14.63	27.94	14.57
2005	5.58	12.54	3.76	2.29	207.79	145.17	86.54	121.69	25.32	13.12	42.27	37.38
2006	58.61	54.16	7.81	6.39	28.09	187.87	93.03	84.51	52.92	25.67	36.38	18.32
2007	20.44	9.18	5.59	0.98	0.70	1.16	36.93	1.63	13.53	23.08	12.94	12.28
2008	9.55	5.48	7.67	3.49	31.69	127.00	24.89	127.87	0.32	21.66	45.50	6.84
2009	8.16	18.47	37.46	32.07	40.06	37.73	8.09	11.10	5.15	7.15	8.01	18.08
2010	11.94	4.04	4.14	3.27	1.52	4.46	2.87	9.52	11.21	33.36	16.36	33.45
2011	70.89	108.34	14.91	9.55	2.75	4.33	4.98	45.16	21.49	15.32	36.07	46.40
2012	139.32	25.86	49.54	9.71	21.13	232.78	84.53	1.96	5.53	8.37	11.47	13.91
2013	26.31	24.14	4.93	2.97	4.82	10.90	16.03	5.73	12.49	8.55	14.62	39.05
2014	57.71	30.77	25.05	0.12	8.02	5.77	17.54	42.18	24.77	16.76	9.95	16.51
2015	58.73	58.04	37.36	11.92	5.56	6.23	63.20	73.79	12.91	16.38	42.57	41.07
2016	19.22	27.65	3.65	15.80	4.20	12.38	26.85	13.19	6.22	10.94	12.50	6.00
2017	26.28	36.96	13.50	8.93	5.31	97.85	5.05	6.47	15.51	25.06	37.01	42.87
2018	49.73	66.71	27.08	8.27	4.27	7.65	15.95	5.08	4.53	29.43	67.41	-

Anexo 24. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Bío Bío en Rucalhue, serie actualizada.

Bío Bío en Rucalhue												
Gastos solidos en suspensión medios mensuales [Ton/día]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1985	-	-	-	-	-	-	-	60.17	135.55	238.27	297.90	106.32
1986	64.38	103.81	65.36	167.79	2523.46	8020.60	624.46	1077.46	377.13	511.90	204.80	311.41
1987	91.30	113.04	84.58	42.44	97.61	1320.43	3656.73	1318.50	342.04	778.00	421.17	132.91
1988	50.72	72.41	92.15	63.96	220.35	2603.02	387.72	1544.26	596.07	907.53	724.18	327.93
1989	159.56	146.11	109.56	41.18	27.84	2323.83	524.76	623.83	879.99	895.99	371.03	248.10
1990	143.82	177.68	95.35	366.33	1378.31	1584.85	399.33	1633.09	898.10	258.21	360.58	102.87
1991	35.88	111.65	102.34	408.87	3403.21	2490.97	1501.56	305.38	726.32	262.41	240.65	317.15
1992	77.63	32.47	113.55	227.80	4194.18	5009.25	1018.53	-	372.60	571.56	524.91	276.95
1993	203.29	60.47	85.28	425.65	2255.57	10324.42	4719.47	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	2547.37	338.72	993.22	1032.29	525.88	748.19
1995	141.91	83.00	80.62	355.84	508.91	2911.25	2976.38	735.15	1057.82	771.82	906.22	451.81
1996	134.50	90.56	132.19	434.12	159.70	500.55	163.53	354.75	317.98	412.65	256.44	53.20
1997	45.33	70.91	-	660.17	1346.56	7759.94	2123.89	1510.28	1408.65	492.50	427.20	377.78
1998	179.55	63.20	46.80	68.04	129.95	49.83	104.13	86.53	82.37	93.19	59.28	56.20
1999	50.70	43.75	126.05	36.82	228.34	1337.13	478.64	559.42	874.42	451.33	138.66	57.50
2000	34.72	51.72	119.70	93.67	123.91	5460.52	2173.36	370.14	940.53	704.24	533.95	241.98
2001	91.45	29.50	33.21	25.82	3728.01	11186.16	5878.83	473.37	325.30	789.14	132.20	82.36
2002	35.61	48.91	93.68	-	-	-	-	-	-	-	479.81	343.20
2003	159.36	111.49	49.79	67.46	110.56	7468.60	734.39	66.72	392.40	207.62	249.30	241.86
2004	153.73	74.37	43.44	1010.33	152.29	598.51	1187.66	83.19	188.03	352.56	239.67	213.85
2005	86.14	102.78	128.73	47.82	925.37	2366.50	1828.88	834.54	326.45	849.25	480.49	273.60
2006	199.80	59.39	118.72	1626.70	365.04	3036.60	2184.94	630.49	755.62	461.60	461.96	162.45

Anexo 25. Gasto sólido en suspensión medio mensual, estación Bío Bío antes junta con Llanquén, serie actualizada.

Bío Bío antes Junta con Llanquén												
Gastos solidos en suspensión medios mensuales [Ton/día]												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2003	-	-	10.60	11.81	9.40	475.52	282.28	60.35	185.46	252.61	93.20	74.93
2004	37.74	12.94	13.33	132.68	44.91	406.48	684.06	111.31	129.62	89.59	-	117.86
2005	48.18	22.01	11.23	12.75	144.34	453.22	404.13	473.70	328.72	251.76	510.92	256.47
2006	64.31	23.47	16.10	46.45	123.87	1256.01	724.21	982.43	671.83	371.43	303.38	136.00
2007	39.19	0.00	3.09	43.99	42.42	48.48	98.99	25.22	88.46	212.49	157.50	91.01
2008	30.00	14.74	21.08	24.74	203.89	148.32	211.74	303.08	750.19	416.44	470.71	40.10
2009	20.45	14.88	22.20	25.53	317.17	259.46	79.49	646.07	750.65	262.50	924.14	45.70
2010	99.85	27.05	20.69	15.05	28.17	261.35	132.16	116.76	90.43	621.26	242.88	81.72
2011	38.79	17.20	14.54	74.84	15.46	99.31	79.42	334.35	389.87	391.21	488.12	131.99
2012	32.88	35.19	36.14	13.89	255.09	291.00	246.99	79.59	74.21	63.61	34.40	66.17
2013	55.86	28.76	0.00	0.00	56.33	0.00	0.00	275.04	710.08	402.04	146.61	86.52
2014	66.48	33.59	15.78	48.14	162.83	65.37	179.46	1394.84	344.90	468.04	119.85	53.69
2015	15.36	24.39	4.16	23.33	44.44	426.47	165.77	570.75	450.79	219.51	270.92	0.00
2016	63.64	6.66	18.80	1.11	14.80	19.07	46.51	113.63	54.04	125.55	57.22	51.08
2017	15.51	13.40	24.29	15.76	12.15	59.74	100.01	85.85	120.43	223.75	-	-
2018	66.65	36.90	28.84	33.45	135.31	-	-	-	-	-	-	-



## ANEXO 5. DATOS DIARIOS MEDIDOS

Anexo 26. Número de datos diarios medidos, estación Río Maipo en Desembocadura, serie actualizada.

Datos diarios medidos - Estación Río Maipo en Desembocadura													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1985	-	-	-	-	25	28	31	31	27	28	16	29	215
1986	29	25	30	28	26	20	26	28	30	26	27	28	323
1987	31	26	20	26	31	28	19	24	26	10	29	22	292
1988	23	28	30	24	26	30	30	2	2	31	30	30	286
1989	31	24	30	29	30	29	31	28	26	31	30	31	350
1990	30	28	31	30	29	3	-	-	-	-	-	-	151
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	24	21	7	25	25	9	11	122
1994	-	20	22	26	30	27	19	18	1	10	5	11	189
1995	-	11	26	-	5	-	30	24	28	22	24	-	170
1996	-	-	28	29	18	30	31	20	30	27	15	-	228
1997	-	-	-	30	29	2	31	19	-	15	19	-	145
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	28	-	-	-	-	-	-	-	28
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	31	41
2004	31	28	31	29	29	-	4	31	28	17	29	28	285
2005	27	8	20	25	29	27	30	20	-	25	-	29	240
2006	25	14	16	30	31	2	29	31	30	31	30	31	300
2007	30	28	31	8	31	16	-	-	25	30	28	-	227
2008	-	-	-	30	4	-	31	12	-	27	27	31	162
2009	26	28	18	26	13	30	17	28	27	2	18	22	255
2010	9	9	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36

Anexo 27. Número de datos diarios medidos, estación Río Cachapoal en puente Termas de Cauquenes, serie actualizada.

Datos diarios medidos - Estación Río Cachapoal en Puente Termas de Cauquenes													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	30	31	30	31	122
2009	31	-	-	30	30	29	20	-	-	-	30	31	201
2010	31	-	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	52
2011	22	28	31	30	29	18	30	22	30	31	29	31	331
2012	31	26	22	30	30	30	31	31	30	-	30	31	322
2013	30	28	31	30	31	30	31	31	30	28	30	31	361
2014	31	28	31	30	31	30	31	21	30	29	30	31	353
2015	23	28	31	30	29	30	31	31	30	31	30	31	355
2016	31	29	30	30	31	30	31	29	30	31	30	25	357
2017	31	28	31	27	31	30	30	31	30	31	30	31	361
2018	31	28	31	30	31	30	31	31	30	-	-	-	273

Anexo 28. Número de datos diarios medidos, estación Canal Sauzal, serie actualizada.

Datos diarios medidos - Estación Canal Sauzal													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
2005	-	-	-	-	-	-	3	31	30	31	30	31	156
2006	31	28	31	30	31	30	31	30	30	31	30	31	364
2007	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
2008	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366
2009	31	28	31	30	1	-	-	24	-	31	30	31	237
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	30	31	92
2012	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366
2013	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
2014	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
2015	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
2016	31	29	31	14	31	30	31	31	30	31	30	31	350
2017	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
2018	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
2019	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
2020	31	29	31	29	26	5	-	-	-	-	-	-	151

Anexo 29. Número de datos diarios medidos, estación Río Claro en Los Queñes, serie actualizada.

Datos diarios medidos - Estación Río Claro en Los Queñes													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1982	-	-	-	-	27	30	27	30	26	30	30	31	231
1983	31	28	31	29	31	23	27	31	30	31	30	29	351
1984	31	29	31	30	31	29	31	31	30	18	30	31	352
1985	26	28	31	30	30	30	29	31	30	29	30	31	355
1986	31	27	31	27	29	14	20	12	15	13	23	29	271
1987	31	28	31	30	30	29	12	25	30	19	28	31	324
1988	31	29	31	30	30	29	31	29	29	28	27	31	355
1989	31	28	31	30	31	30	31	25	30	31	29	31	358
1990	23	-	-	30	-	30	22	-	-	-	-	11	116
1991	31	8	11	8	14	-	17	31	27	30	29	-	206
1992	31	29	31	27	22	-	-	-	6	31	26	23	226
1993	-	18	30	30	2	1	30	30	30	31	30	30	262
1994	30	28	23	30	30	28	26	31	30	30	30	31	347
1995	31	28	31	22	30	29	31	31	29	31	24	31	348
1996	31	28	31	30	31	24	30	30	30	31	21	22	339
1997	18	26	29	21	24	22	30	31	20	30	28	31	310
1998	31	28	31	30	30	29	31	31	30	30	30	31	362
1999	17	28	31	30	31	30	31	28	28	28	30	31	343
2000	31	27	31	30	31	24	30	31	27	31	27	31	351
2001	31	28	31	29	29	29	-	30	30	31	29	30	327
2002	31	28	31	29	11	-	-	-	-	-	16	31	177
2003	30	28	31	30	31	29	31	31	29	30	29	31	360
2004	31	29	30	28	31	30	31	31	28	30	29	31	359
2005	31	28	21	30	31	23	29	30	30	31	28	31	343
2006	31	28	31	26	29	30	28	24	30	30	30	31	348
2007	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
2008	31	29	31	30	21	27	31	29	29	30	26	31	345
2009	31	28	29	22	30	30	29	30	26	31	30	31	347
2010	31	26	31	30	31	30	31	30	30	30	28	15	343
2011	28	23	30	22	31	30	31	31	30	31	29	25	341
2012	17	25	22	30	27	30	31	31	30	30	30	30	333
2013	31	28	31	30	29	30	31	31	29	31	30	15	346
2014	10	25	28	30	28	30	30	30	29	31	30	31	332
2015	31	21	22	30	29	28	31	29	30	31	28	31	341
2016	31	29	30	25	31	30	31	31	30	30	30	31	359
2017	31	20	31	29	31	30	31	31	28	30	28	31	351
2018	30	11	31	29	30	30	31	31	27	28	9	-	287

Anexo 30. Número de datos diarios medidos, estación Río Bío Bío en Rucalhue, serie actualizada.

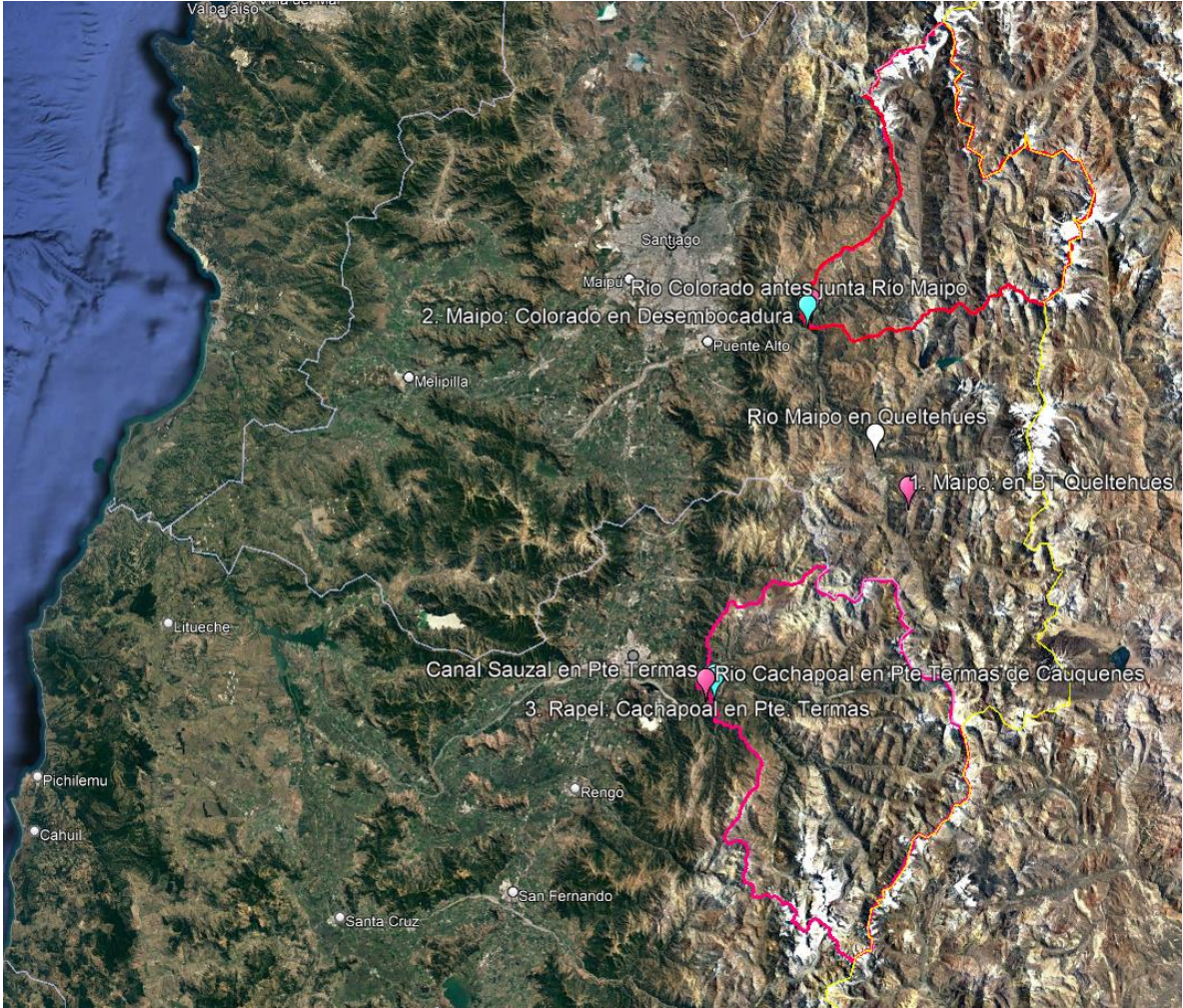
Datos diarios medidos - Estación Río Bío Bío en Rucalhue													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1985	-	-	-	-	-	-	-	31	29	30	27	31	148
1986	30	24	29	28	28	27	31	27	30	30	25	24	333
1987	31	28	29	30	31	29	31	30	30	30	26	31	356
1988	28	29	27	30	30	30	31	30	28	29	27	30	349
1989	28	26	31	30	31	29	31	31	25	31	30	21	344
1990	26	20	28	28	30	30	31	24	20	29	25	31	322
1991	31	28	30	29	22	27	26	31	28	31	30	27	340
1992	31	29	30	30	31	29	31	-	30	31	28	31	331
1993	30	28	29	29	29	10	31	-	-	-	-	-	186
1994	-	-	-	-	-	-	31	31	27	30	29	29	177
1995	31	28	31	30	4	30	31	31	28	31	30	31	336
1996	30	29	27	29	31	30	31	31	30	31	27	30	356
1997	30	26	-	25	30	24	28	26	26	29	29	30	303
1998	28	28	31	30	30	30	31	31	30	31	30	26	356
1999	31	28	30	30	28	28	30	25	30	22	30	31	343
2000	21	19	29	30	31	29	20	26	28	29	24	31	317
2001	30	28	31	30	30	30	30	31	30	26	30	31	357
2002	28	25	22	-	-	-	-	-	-	-	30	31	136
2003	31	28	31	30	31	29	23	31	30	31	30	31	356
2004	31	29	31	16	30	28	31	31	30	29	29	31	346
2005	29	28	31	30	29	28	31	30	30	27	29	31	353
2006	30	27	31	27	25	21	21	31	28	30	29	29	329

Anexo 31. Número de datos diarios medidos, estación Río Bío Bío en Llanquén, serie actualizada.

Datos diarios medidos - Estación Río Bío Bío en Llanquén													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1989	19	27	31	7	-	-	-	-	-	-	-	-	84
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	30	29	31	25	29	30	30	30	30	29	293
2004	29	29	29	23	30	26	26	30	30	28	-	29	309
2005	25	26	31	29	26	28	27	29	28	31	30	31	341
2006	30	27	31	27	30	27	28	24	28	31	29	29	341
2007	31	27	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31	363
2008	31	29	28	30	26	30	30	31	29	31	27	28	350
2009	31	28	28	24	20	29	31	31	27	24	26	23	322
2010	30	28	31	29	31	28	31	31	30	23	29	28	349
2011	30	25	30	29	31	30	30	31	29	30	29	31	355
2012	31	24	28	30	30	30	31	31	30	31	30	31	357
2013	28	27	31	30	31	30	30	31	22	29	22	29	340
2014	27	24	27	27	30	26	30	23	26	29	25	31	325
2015	29	27	31	29	30	28	25	26	28	31	30	31	345
2016	30	29	30	30	31	30	30	29	30	31	30	29	359
2017	31	28	25	30	29	30	29	31	30	30	-	-	293
2018	24	23	24	28	28	-	-	-	-	-	-	-	127

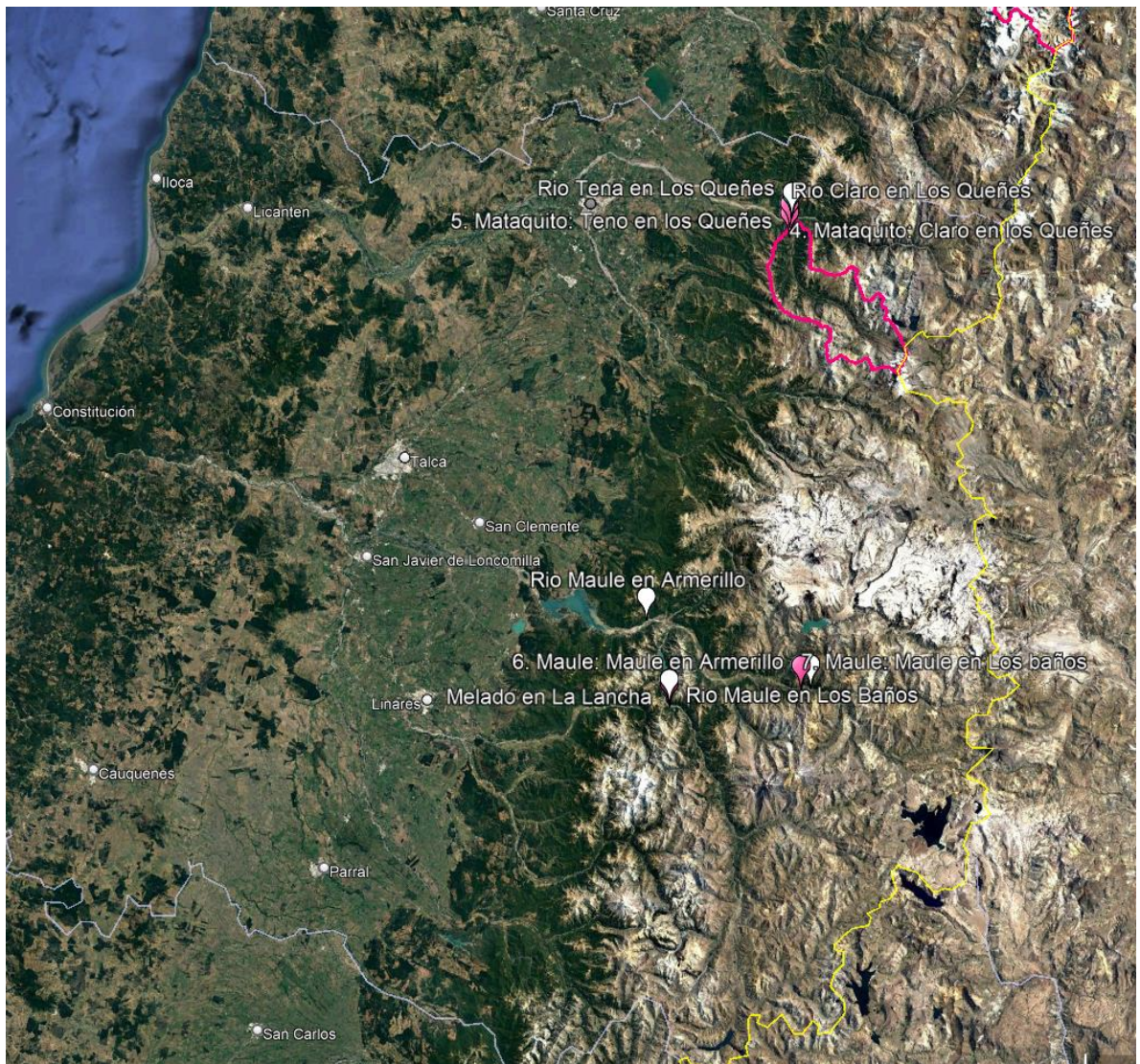
**ANEXO 6. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS CUENCAS**

Anexo 32. Ubicación geográfica, región Metropolitana y del libertador Bernado O'Higgins





### Anexo 33. Ubicación geográfica, región del Maule





### Anexo 34. Ubicación geográfica, región del Bío Bío

