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

ACTUALIZACIÓN DE LA MODELACIÓN DEL SISTEMA ACUÍFERO LA LIGUA-PETORCA

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

AC INGENIEROS

S.I.T. Nº442

Santiago, agosto 2019

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Civil Industrial Sr. Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas
Ingeniero Comercial Sr. Óscar Cristi Marfil

Jefa (S) División de Estudios y Planificación
Ingeniera Civil Andrea Osses Vargas

Inspector Fiscal
Hidrólogo Carlos Flores Arenas

Inspector Fiscal Subrogante
Ingeniera Agrícola Pamela García Serrano

AC INGENIEROS

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Guillermo Cabrera Fajardo

Profesionales

Ingeniero Civil Lem Mimica Viladrich
Ingeniero Civil Alex Samuel Cifuentes
Ingeniera Civil Ángela Fuentes Norambuena

CONTENIDO

CONTENIDO i
TABLAS iii
FIGURAS v
Capítulo 1 INTRODUCCIÓN 1
Capítulo 2 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 3
2.1 Pluviometría 3
2.1.1 Relleno de precipitaciones mensuales 3
2.1.2 Modelo de distribución de precipitaciones 8
2.2 Fluviometría 11
Capítulo 3 GEOLOGÍA 15
Capítulo 4 MODELO DE RECARGAS 23
4.1 Planteamiento conceptual 23
4.2 Recargas por precipitaciones 24
4.3 Recargas por riego 26
4.3.1 Riego con agua de origen superficial 26
4.3.2 Riego con agua de origen subterráneo 30
4.3.3 Infiltración de agua de riego 30
4.4 Recarga total 34
Capítulo 5 MODELO NUMÉRICO 37
5.1 Código numérico 37
5.2 Límites y geometría 37
5.2.1 Dominio activo modelado 37
5.2.2 Nivel de terreno 37
5.2.3 Geometría en planta 39
5.2.4 Geometría vertical 39
5.3 Condiciones de borde 42
5.3.1 Representación de cauces naturales 42
5.3.2 Representación del mar 50
5.3.3 Afloramientos 51
5.4 Bombeos en el tiempo 51
5.4.1 Datos obtenidos de catastros 51
5.4.2 Datos obtenidos de derechos 52

5.4.3 Correlación de catastro con derechos 52
5.5 Construcción de malla de diferencias finitas 55
5.6 Recargas efectivas 55
5.7 Niveles medidos 55
5.8 Calibración permanente 61
5.9 Calibración impermanente 62
5.9.1 Bombeos en el tiempo 62
5.9.2 Niveles simulados 62
5.10 Resultados escenario histórico 68
5.10.1 Balance global 68
5.10.2 Balances por S.H.A.C. 70
5.11 Permeabilidades y almacenamientos tras calibraciones 73
Capítulo 6 OPERACIÓN PREDICTIVA DEL MODELO 79
6.1 Período simulado 79
6.2 Condición inicial simulación futura 79
6.3 Hidrología futura 79
6.3.1 Recargas distribuidas en simulación futura 79
6.3.2 Celdas río en simulación futura 79
6.3.3 Extracciones futuras 80
6.4 Resultados simulación futura 81
6.4.1 Balance global simulación futura 81
6.4.2 Balances por S.H.A.C. simulación futura 81
6.4.3 Bombeo factible global en simulación futura 81
6.4.4 Bombeo factible por S.H.A.C. en simulación futura 84
6.4.5 Criterios de sustentabilidad DGA 86
Capítulo 7 SUGERENCIAS DE TRABAJO FUTURO 95
Capítulo 8 CONCLUSIONES 97
Capítulo 9 ANEXOS 101
9.1 Bibliografía 101
9.2 Precipitaciones 102
9.3 Cálculo de permeabilidades 135
9.4 Cambio climático 139
9.5 Resultados por S.H.A.C. 145
9.5.1 Balances escenario histórico 145
9.5.2 Balances escenario futuro 160
9.5.3 Bombeos factibles 174
9.6 Niveles simulados período histórico 181

TABLAS

Tabla 3-1. Unidades geológicas en el área de estudio 18
Tabla 3-2. Porosidades según bibliografía 19
Tabla 3-3. Parámetros asociados a unidades geológicas 20
Tabla 4-1. Distribución de áreas regadas según comunas 30
Tabla 4-2. Distribución de superficies cultivables 32
Tabla 4-3. Eficiencias de riego [1] 32
Tabla 4-4. Eficiencias de riego promedio por comuna [%] 32
Tabla 4-5. Eficiencias de riego promedio ponderadas por cuenca [%] 32
Tabla 4-6. Porcentaje de agua de riego disponible para infiltración 33
Tabla 5-1. Dimensiones de la Malla Base 39
Tabla 5-2. Valores del caudal promedio de precipitaciones 47
Tabla 5-3. Valores de caudales promedios de precipitaciones 47
Tabla 5-4. Estaciones fluviométricas asociadas a cada tramo de cauce 50
Tabla 5-5. Resumen de códigos y descripciones de unidades geológicas 73
Tabla 6-1. Períodos simulados 79
Tabla 6-2. Conductancias promedio por tramos [m^2/día] 80
Tabla 6-3. Bombeos factibles resultantes de la operación del modelo 85
Tabla 6-4. Variación del volumen almacenado en el acuífero 87
Tabla 6-5. Variación del flujo río-napa 89
Tabla 6-6. Satisfacción de la demanda 92
Tabla 6-7. Estimación de reducción del caudal demandado 93
Tabla 9-1. Precipitaciones mensuales estación Caimanes 102
Tabla 9-2. Precipitaciones mensuales estación Coirón 103
Tabla 9-3. Precipitaciones mensuales estación La Tranquilla 104
Tabla 9-4. Precipitaciones mensuales estación Cuncumén 105
Tabla 9-5. Precipitaciones mensuales estación Quilimarí 106
Tabla 9-6. Precipitaciones mensuales estación Los Cóndores 107
Tabla 9-7. Precipitaciones mensuales estación Culimo embalse 108
Tabla 9-8. Precipitaciones mensuales estación Quelón 109
Tabla 9-9. Precipitaciones mensuales estación Frutillar Alto 110
Tabla 9-10. Precipitaciones mensuales estación Pedernal Hacienda 111
Tabla 9-11. Precipitaciones mensuales estación Chalaco 112
Tabla 9-12. Precipitaciones mensuales estación El Sobrante hacienda 113
Tabla 9-13. Precipitaciones mensuales estación El Trapiche 114
Tabla 9-14. Precipitaciones mensuales estación Palquico 115
Tabla 9-15. Precipitaciones mensuales estación Hierro Viejo 116
Tabla 9-16. Precipitaciones mensuales estación El Salvador 117
Tabla 9-17. Precipitaciones mensuales estación Las Colmenas 118
Tabla 9-18. Precipitaciones mensuales estación Alicahue 119
Tabla 9-19. Precipitaciones mensuales estación Longotoma 120
Tabla 9-20. Precipitaciones mensuales estación Valle Hermoso 121
Tabla 9-21. Precipitaciones mensuales estación Artificio 122

Tabla 9-22. Precipitaciones mensuales estación Chacrilla 123
Tabla 9-23. Precipitaciones mensuales estación La Viña 124
Tabla 9-24. Precipitaciones mensuales estación Las Puertas 125
Tabla 9-25. Precipitaciones mensuales estación La Mostaza 126
Tabla 9-26. Precipitaciones mensuales estación Las Pataguas 127
Tabla 9-27. Precipitaciones mensuales estación El Tartaro 128
Tabla 9-28. Precipitaciones mensuales estación Mina Cerro Negro 129
Tabla 9-29. Precipitaciones mensuales estación Laguna de Zapallar 130
Tabla 9-30. Precipitaciones mensuales estación El Cobre 131
Tabla 9-31. Precipitaciones mensuales estación Jahuel 132
Tabla 9-32. Precipitaciones mensuales estación Catemu 133
Tabla 9-33. Precipitaciones mensuales estación San Felipe 134
Tabla 9-34. Permeabilidades calculadas 137
Tabla 9-35. Permeabilidades calculadas para capa 1 de modelo 137

FIGURAS

Figura 2-1. Estaciones meteorológicas seleccionadas 4
Figura 2-2. Disponibilidad de datos en estaciones meteorológicas 5
Figura 2-3. Estaciones seleccionadas, datos medidos y rellenados 6
Figura 2-4. Polígonos de modelo de distribución espacial de precipitaciones 9
Figura 2-5. Distribución espacial de precipitaciones 10
Figura 2-6. Caudales promedios mensuales medidos (y rellenados) 12
Figura 2-7. Caudales promedios mensuales nulos 14
Figura 3-1. Geología de superficie 17
Figura 3-2. Geología de unidades de roca 21
Figura 4-1. Esquema conceptual de fuentes de recarga 24
Figura 4-2. Precipitaciones mensuales, anuales y recargas potenciales 27
Figura 4-3. Caudal total, promedio anual (año abr-mar) 28
Figura 4-4. Caudal total, promedio anual (año abr-mar), captado por canales 28
Figura 4-5. Caudal total, promedio mensual, captado por canales (Petorca) 29
Figura 4-6. Caudal total, promedio mensual, captado por canales (La Ligua) 29
Figura 4-7. Caudales de bombeo de agua subterránea 31
Figura 4-8. Porcentajes del caudal de riego disponibles para infiltrar 33
Figura 4-9. Caudal de recarga potencial total proveniente del riego 35
Figura 4-10. Caudal de recarga potencial total proveniente de precipitaciones y riego 35
Figura 5-1. Base topográfica, ráster Áster 38
Figura 5-2. Niveles de grilla 40
Figura 5-3. Grilla modelo numérico 41
Figura 5-4. Tramos de cauces para celdas río 44
Figura 5-5. Ejes hidráulicos asociados a celdas río para cada tramo de cauce 45
Figura 5-6. Conductancia en celdas río 48
Figura 5-7. Ejemplo de extrapolación de caudales 49
Figura 5-8. Bombeos promedios mensuales históricos estimados 54
Figura 5-9. Puntos de control de niveles de la red de monitoreo de la DGA, ... 56
Figura 5-10. Niveles medidos en red de monitoreo de la DGA, ... 57
Figura 5-11. Ajuste entre niveles medidos y simulados tras calibración permanente 61
Figura 5-12. Caudales de bombeo para escenario histórico transiente 63
Figura 5-13. Niveles medidos y niveles simulados, en puntos de red de monitoreo DGA 64
Figura 5-14. Componentes del flujo subterráneo en dominio modelado 71
Figura 5-15. Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común 72
Figura 5-16. Distribución final de permeabilidades en capa 1 74
Figura 5-17. Distribución final de permeabilidades en capa 2 75
Figura 5-18. Distribución final de almacenamientos en capa 1 76
Figura 5-19. Distribución final de almacenamientos en capa 2 77
Figura 6-1. Caudales año 2018, derechos, bombeo 80
Figura 6-2. Bombeo inicial mensual incorporado a escenarios histórico y futuro 81

Figura 6-3. Componentes del flujo subterráneo en dominio modelado 82
Figura 6-4. Bombeo factible con relación al caudal de bombeo impuesto 83
Figura 6-5. Bombeo factible con relación al caudal total de derechos otorgados..... 83
Figura 9-1. Esquema de cálculo 138
Figura 9-2. Modelos seleccionados 139
Figura 9-3. Escenarios evaluados..... 139
Figura 9-4. Punto elegido 140
Figura 9-5. Resultados modelo de cambio climático 140
Figura 9-6. Resultados de modelo de precipitaciones..... 141
Figura 9-7. Precipitaciones para escenario futuro,..... 141
Figura 9-8. Resultados de modelo de precipitaciones con cambio climático 142
Figura 9-9. Recargas para escenario futuro..... 144
Figura 9-10. Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común 146
Figura 9-11. Componentes del flujo, escenario histórico, en dominio modelado 147
Figura 9-12. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río del Sobrante 148
Figura 9-13. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río Pedernal..... 149
Figura 9-14. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río Petorca oriente. 150
Figura 9-15. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector estero Las Palmas . 151
Figura 9-16. Componentes del flujo, esc. histórico, en sector río Petorca poniente 152
Figura 9-17. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector estero Alicahue 153
Figura 9-18. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río La Ligua oriente 154
Figura 9-19. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector estero Los Ángeles 155
Figura 9-20. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río La Ligua Cabildo 156
Figura 9-21. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector estero La Patagua . 157
Figura 9-22. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río La Ligua pueblo 158
Figura 9-23. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río La Ligua costa.. 159
Figura 9-24. Componentes del flujo, escenario futuro, en dominio modelado..... 161
Figura 9-25. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río del Sobrante 162
Figura 9-26. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río Pedernal 163
Figura 9-27. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río Petorca oriente 164
Figura 9-28. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector estero Las Palmas 165
Figura 9-29. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río Petorca poniente.. 166
Figura 9-30. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector estero Alicahue 167
Figura 9-31. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río La Ligua oriente... 168
Figura 9-32. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector estero Los Ángeles ... 169
Figura 9-33. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río La Ligua Cabildo .. 170
Figura 9-34. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector estero La Patagua..... 171
Figura 9-35. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río La Ligua pueblo ... 172
Figura 9-36. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río La Ligua costa 173
Figura 9-37. Bombeos factibles y derechos por S.H.A.C. cuenca río Petorca 175
Figura 9-38. Bombeos factibles y derechos por S.H.A.C. cuenca río La Ligua..... 177
Figura 9-39. Niveles medidos y simulados en puntos de red de monitoreo DGA 182

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

Las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca, ubicadas en la Región de Valparaíso, tienen desde hace ya varios años sus sistemas acuíferos en estado crítico. Reflejo de ello es que los acuíferos de la cuenca del río Petorca fueron declarados Áreas de Restricción para nuevas explotaciones de aguas subterráneas mediante Resolución Afecta DGA Nº216 del 15 de abril de 1997 y los del río La Ligua, mediante Resolución DGA Nº204 del 14 de mayo del 2004.

Posteriormente, mediante la Resolución Exenta DGA Nº1703 del 13 de junio del 2014, se dejó sin efecto los derechos de aprovechamiento provisionales de aguas subterráneas en los acuíferos de las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca.

Finalmente, la Resolución Afecta DGA Nº19 del 25 de julio del 2018, cambió tanto en la cuenca del río Petorca como del río La Ligua, las áreas de restricción a zonas de prohibición.

Lo anterior deja de manifiesto lo crítico de la sustentabilidad de los acuíferos de las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca. Por ese motivo, se ha realizado una actualización de la modelación de los acuíferos de estas cuencas, de forma de poder evaluar, con información actualizada, si las condiciones existentes en el acuífero permiten la aplicación del artículo 62 del Código de Aguas, evaluando además, el impacto que éste produciría en las condiciones del acuífero, de forma que bajo criterios fundados se pueda aplicar una reducción temporal del ejercicio de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, a prorrata de ellos, cumpliendo con los requerimientos del Reglamento de Aguas Subterráneas, establecidos en su artículo 29.

En los siguientes capítulos se describe el trabajo realizado.

CAPÍTULO 2 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Se realizó un análisis hidrológico que incluyó pluviometría y fluviometría, considerando datos hasta diciembre de 2018. Los datos bases fueron completados, usando un modelo de relleno estocástico desarrollado por este consultor. Además, se elaboró un modelo de distribución espacial de precipitaciones, para generar una distribución realista de recargas.

2.1 PLUVIOMETRÍA

2.1.1 Relleno de precipitaciones mensuales

Se seleccionaron estaciones vigentes de la DGA, en el entorno de las cuencas de los ríos Ligua y Petorca (43 estaciones, Figura 2-1).

Se descargaron las precipitaciones mensuales históricas medidas en cada una de las estaciones, ubicadas dentro del dominio adoptado (dominio estaciones pluviométricas, en Figura 2-1).

Se rellenaron los datos para un período de 40 años (1979-2018); debido a que antes de 1979, menos del 50 % de las estaciones tienen datos (ver Figura 2-2). De las 43 estaciones analizadas, para el proceso de relleno, se descartaron 10 estaciones, porque cuentan con menos del 50 % de los datos, para el período 1979-2018.

El relleno fue efectuado con un método estocástico multivariado y los resultados se presentan en el Anexo 9.2.

En la Figura 2-3 se incluyen sólo las estaciones seleccionadas y el período considerado, diferenciando datos medidos y rellenados.

El método estocástico multivariado busca reproducir el comportamiento de una variable aleatoria con una dependencia espacial y variación temporal, tal como lo es la precipitación. Toma como entrada muestras de dicha variable en distintos puntos del espacio, las cuales corresponden a las series de precipitación en distintas estaciones, y entrega, para cada estación, valores aleatorios de la variable que conservan, en promedio, la media, desviación estándar y correlación con otras estaciones que se han observado en dicha estación.

Para rellenar series se condicionan las precipitaciones modeladas (datos faltantes), de modo que se ajusten a las características generales de cada período de tiempo. En un mismo año puede existir una tendencia marcada que se refleja en todas las estaciones, determinando la ocurrencia de, por ejemplo, un año muy seco. El relleno estocástico multivariado conserva la tendencia asociada a cada período al mantener la correlación entre una estación con información faltante y otras que sí cuentan con registros. Sin ir esto último, en desmedro de la independencia temporal, supuesta para las precipitaciones.

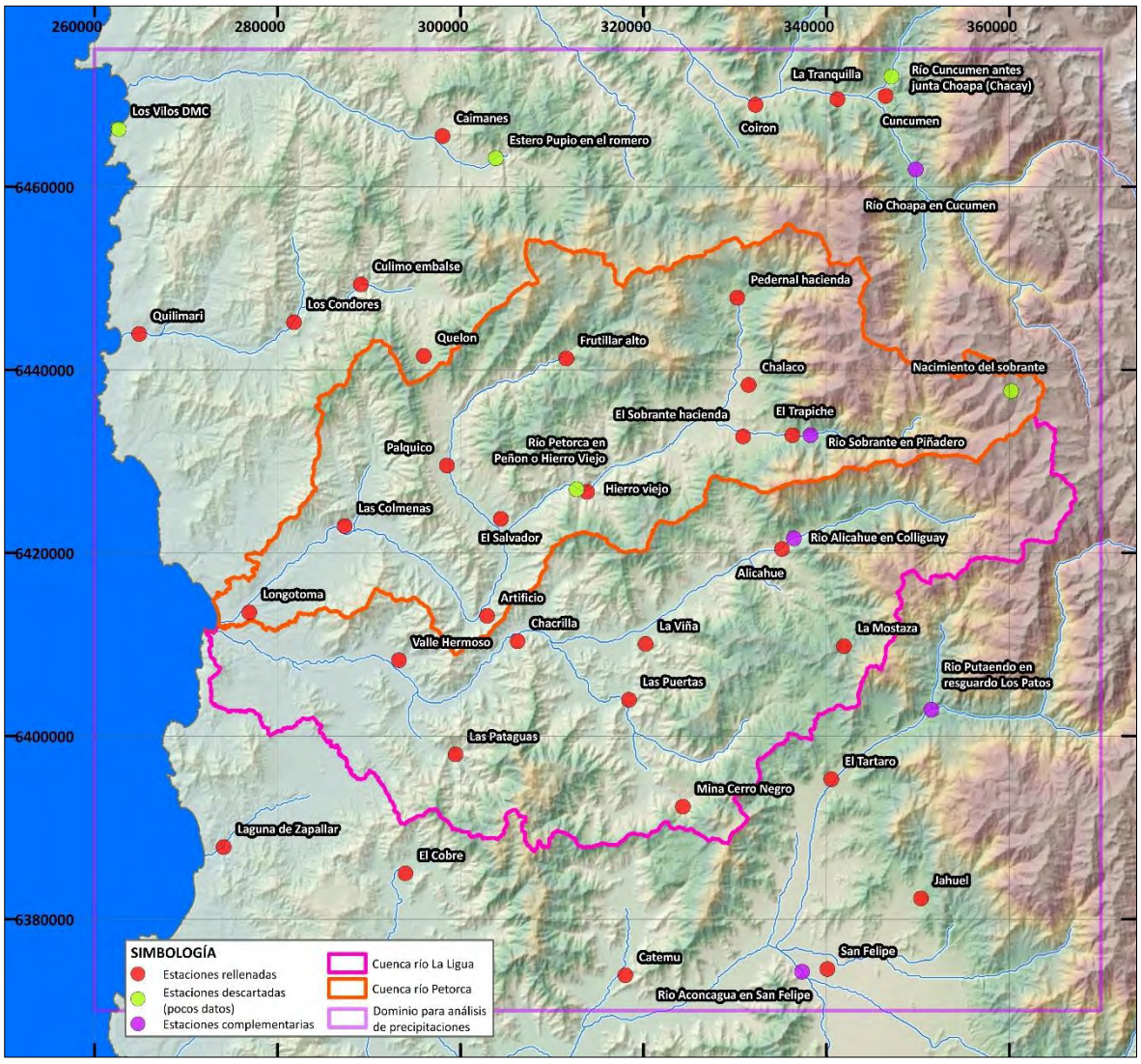


Figura 2-1. Estaciones meteorológicas seleccionadas
(Fuente: Elaboración propia. Datum WGS84 Huso 19S)

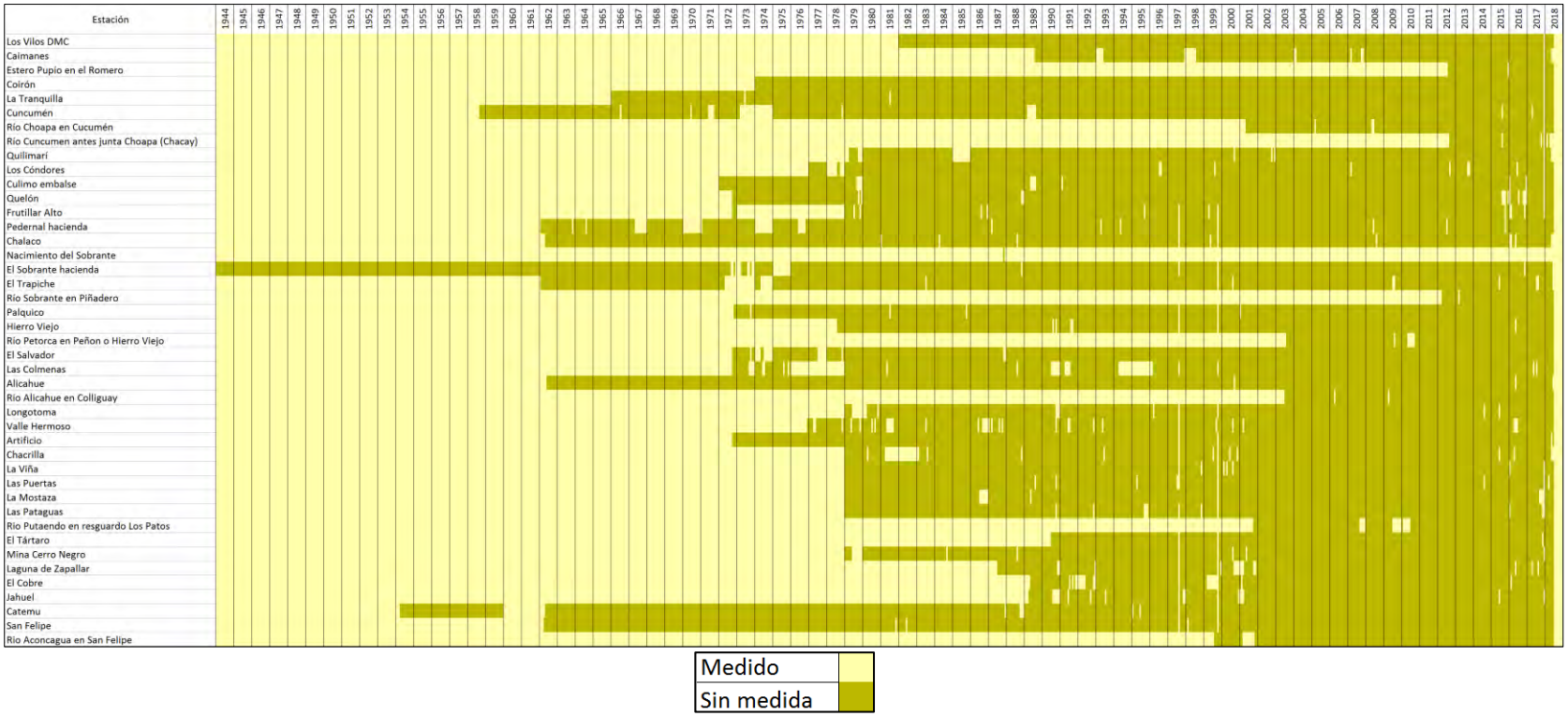


Figura 2-2. Disponibilidad de datos en estaciones meteorológicas
(Fuente: Elaboración propia)

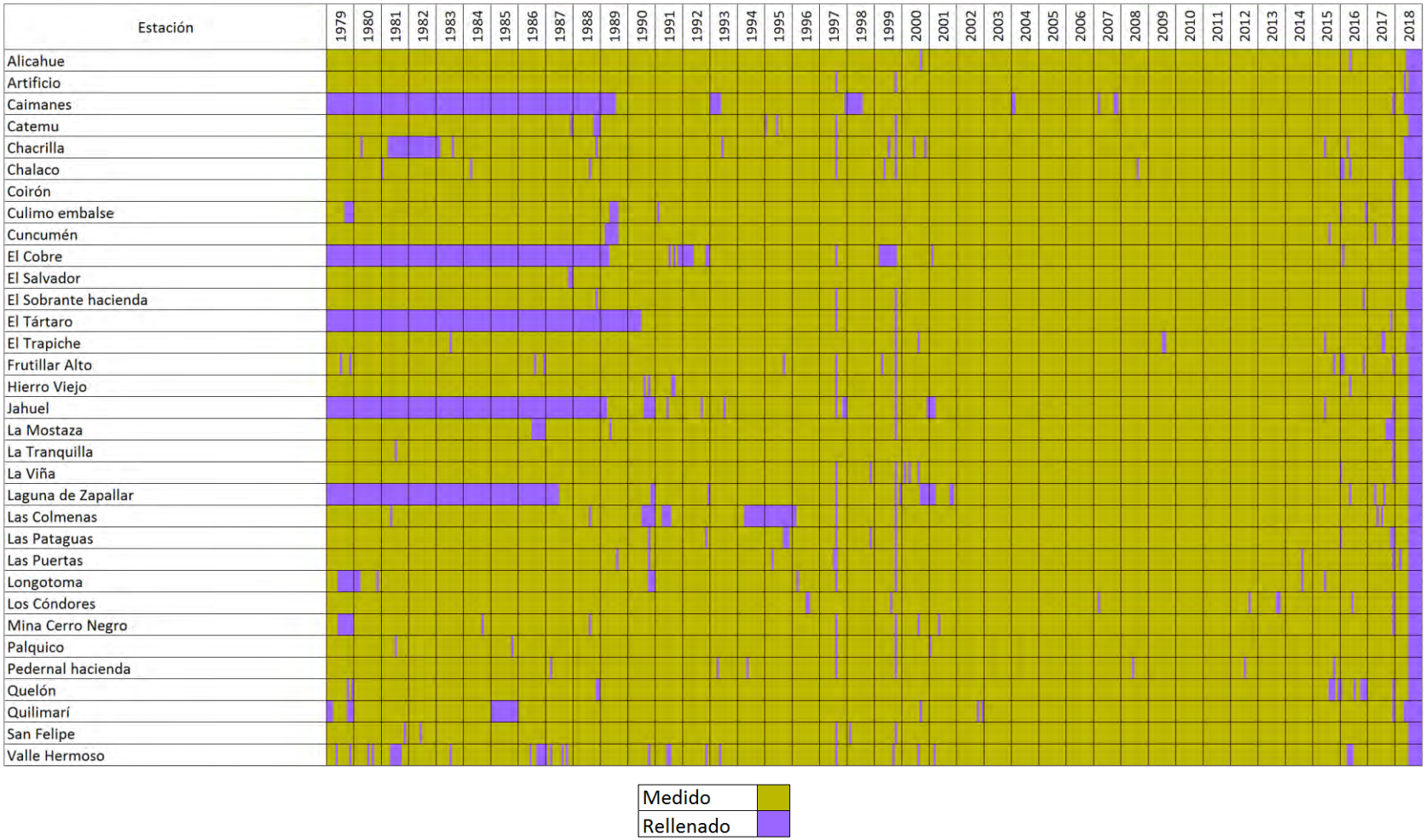


Figura 2-3. Estaciones seleccionadas, datos medidos y rellenados
(Fuente: Elaboración propia)

Formalmente, se realizan pruebas estadísticas para verificar que las series rellenadas conserven aproximadamente la media y desviación estándar de las series originales sin rellenar. Adicionalmente se comprueba que se conserve la probabilidad de no lluvia.

De forma de respetar la variación estacional de las precipitaciones, se construye un modelo para cada mes.

Los modelos multivariados se desarrollaron suponiendo una distribución normal estándar de las variables aleatorias. La aplicación de estos métodos entrega resultados más confiables, si las variables son previamente normalizadas. Para lograr esto, se deben ajustar las series de precipitación a una función distribución de probabilidad. Para ello, se estiman los parámetros que determinan el ajuste, en este caso: la media, deviación estándar y probabilidad de no lluvia de cada serie de precipitaciones.

Dada la complejidad del modelo a utilizar y a que se debe trabajar con muchas series de tiempo, se ha desarrolló una rutina con el programa Matlab para obtener los resultados requeridos, ingresando sólo la matriz de precipitaciones mensuales de todas las estaciones, para cada mes. Las principales ecuaciones utilizadas se resumen a continuación.

Para el relleno se no solo se recurre a la probabilidad de ocurrencia de distintas precipitaciones mensuales, también se deber utilizar la probabilidad condicional de una cierta precipitación que no se ha registrado, dadas las precipitaciones registradas en otras estaciones en el mismo período. La distribución de probabilidad conjunta de las variables no observadas, condicionadas a aquellas observadas, está dada por:

$$\begin{bmatrix} Z_f \\ Z_m \end{bmatrix} \sim N\left(\begin{bmatrix} M_f \\ M_m \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \Sigma_{ff} & \Sigma_{fm} \\ \Sigma_{mf} & \Sigma_{mm} \end{bmatrix}\right)$$

Donde Z_f corresponde al vector de de precipitaciones normalizadas estandarizadas para todas las estaciones con información faltante en un cierto período (es la variable que se genera a partir del modelo), Z_m es su equivalente para las precipitaciones medidas, M_f es el vector de las respectivas medias de las lluvias registradas en cada estación que tiene datos faltantes en el período que está siendo modelado y M_m es el equivalente para las estaciones con valores medidos en ese período. Las matrices de covarianza, Σ, según sus respectivos subíndices, se calculan entre las series que en el período de interés tienen datos faltantes, entre datos medidos, o entre datos medidos y faltantes.

La ecuación para obtener los valores faltantes es la siguiente:

$$Z_{f,t} = \Sigma_t^{1/2} \cdot \varepsilon_t + Z_{f,t} = \Sigma_t{}^{1/2} \cdot \varepsilon_t + M_t$$

Donde Σ y M son, respectivamente, la varianza y media de la Normal multivariada correspondiente a la distribución de probabilidad conjunta de las variables faltantes, condicionadas a las medidas:

$$M = M_f + \Sigma_{fm} \cdot \Sigma^{-1}{}_{mm} \cdot (X_m - M_m)$$

$$\Sigma = \Sigma_{ff} - \Sigma_{fm} \cdot \Sigma^{-1}{}_{mm} \cdot \Sigma_{mf}$$

2.1.2 Modelo de distribución de precipitaciones

Se elaboró un modelo de distribución espacial de precipitaciones. Éste consiste en una grilla que coincide con la grilla base del modelo numérico de flujo subterráneo (grilla de 640·640 m, ver Capítulo 5). Cada celda de la grilla tiene coordenadas espaciales (x,y,z) y el modelo entrega un valor de precipitación promedio anual en cada uno de los centros de las celdas.

El cálculo se basa en las precipitaciones promedios anuales de los datos rellenados de las estaciones meteorológicas, las que fueron seleccionadas según lo explicado en el punto 2.1.1. El dominio modelado se divide en polígonos (mayormente triángulos), y cada vértice, de cada polígono coincide con una de las estaciones consideradas (ver Figura 2-4). Para un polígono dado, las precipitaciones en las celdas interiores a éste, se estiman en función de las precipitaciones de las estaciones coincidentes con sus vértices. El cálculo es un promedio ponderado (según las distancias de cada celda a cada vértice) y corregido por elevación.

Para un punto cualquiera, de coordenadas (x,y,z), que está ubicado al interior del polígono P, en cuyos vértices, se ubican las estaciones E1, E2 y E3, las correcciones por elevación, se calculan según la recta de mejor ajuste, construida con las precipitaciones medias anuales y las elevaciones, correspondientes a las estaciones E1, E2 y E3.

Las precipitaciones de cada estación (E1, E2 y E3), se corrigen con la diferencia de precipitación ($\Delta PP = P(z_estación) - P(z_punto)$), que se obtiene de la recta de regresión. Tras la corrección de cada precipitación media anual de las estaciones, se calcula el promedio ponderado.

En la Figura 2-5 se muestra el resultado obtenido. Se puede observar que las precipitaciones mantienen la variabilidad local, dada por los valores de precipitaciones en las estaciones, sin embargo, el relieve también influye en la distribución estimada. De esa forma, fue posible reproducir las menores precipitaciones que se registran en los valles de La Ligua y Petorca, con respecto a estaciones ubicada más al norte o a menor elevación.

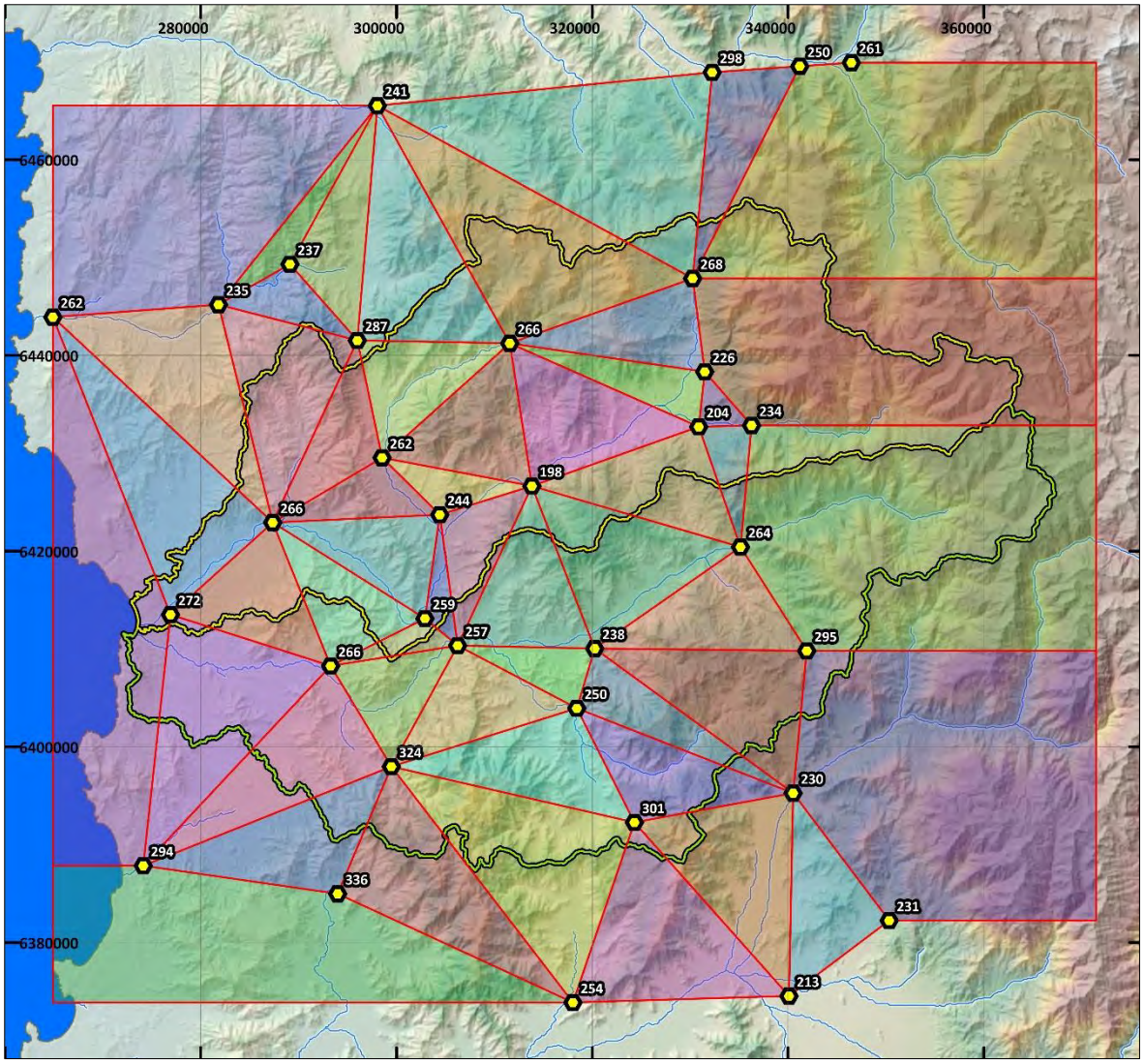
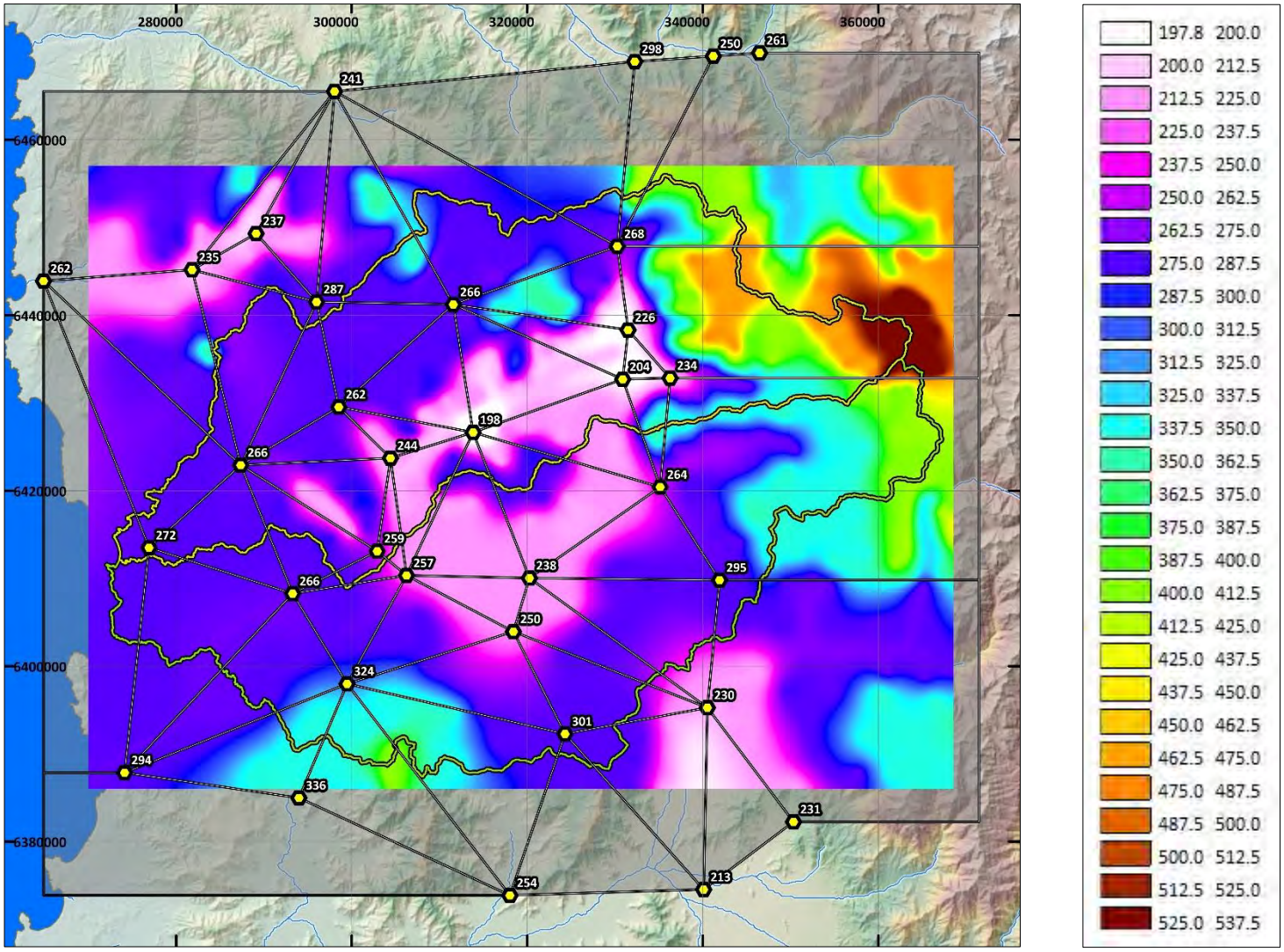


Figura 2-4. Polígonos de modelo de distribución espacial de precipitaciones
(Fuente: Elaboración propia. Datum WGS84 Huso 19S)



Precipitaciones promedios anuales [mm/año]

Figura 2-5. Distribución espacial de precipitaciones obtenidas con modelo de precipitaciones

(Fuente: Elaboración propia. Datum WGS84 Huso 19S)

2.2 FLUVIOMETRÍA

Existen 4 estaciones fluviométricas vigentes en la cuenca del río Petorca y 2, en la cuenca del río La Ligua. Se descargaron, desde la página de la DGA[1], los datos de caudales promedios mensuales históricos, medidos en las 6 estaciones vigentes y se correlacionaron entre sí, para rellenar los datos faltantes.

En los gráficos de la Figura 2-6 se pueden observar los caudales medios mensuales medidos, diferenciados de los valores rellenados. En la Figura 2-7, se destacaron los meses en los que los cauces han estado secos. Los meses secos se muestran como líneas de color verde. Si bien las líneas verdes tienen una altura (de 0.2 m^3/s), éstos corresponden a caudales nulos. La altura se asignó sólo para visualizar en cada gráfico, y de forma directa, los meses con caudal nulo en el cauce.

Las estadísticas de caudales medios mensuales obtenidas, se usaron para representar los ríos en el modelo de flujo subterráneo. El detalle de dicha representación, se presenta en el punto 5.3.1.

[1] http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes

Figura 2-6. Caudales promedios mensuales medidos (y rellenados) en estaciones fluviométricas
(Fuente: Elaboración propia)

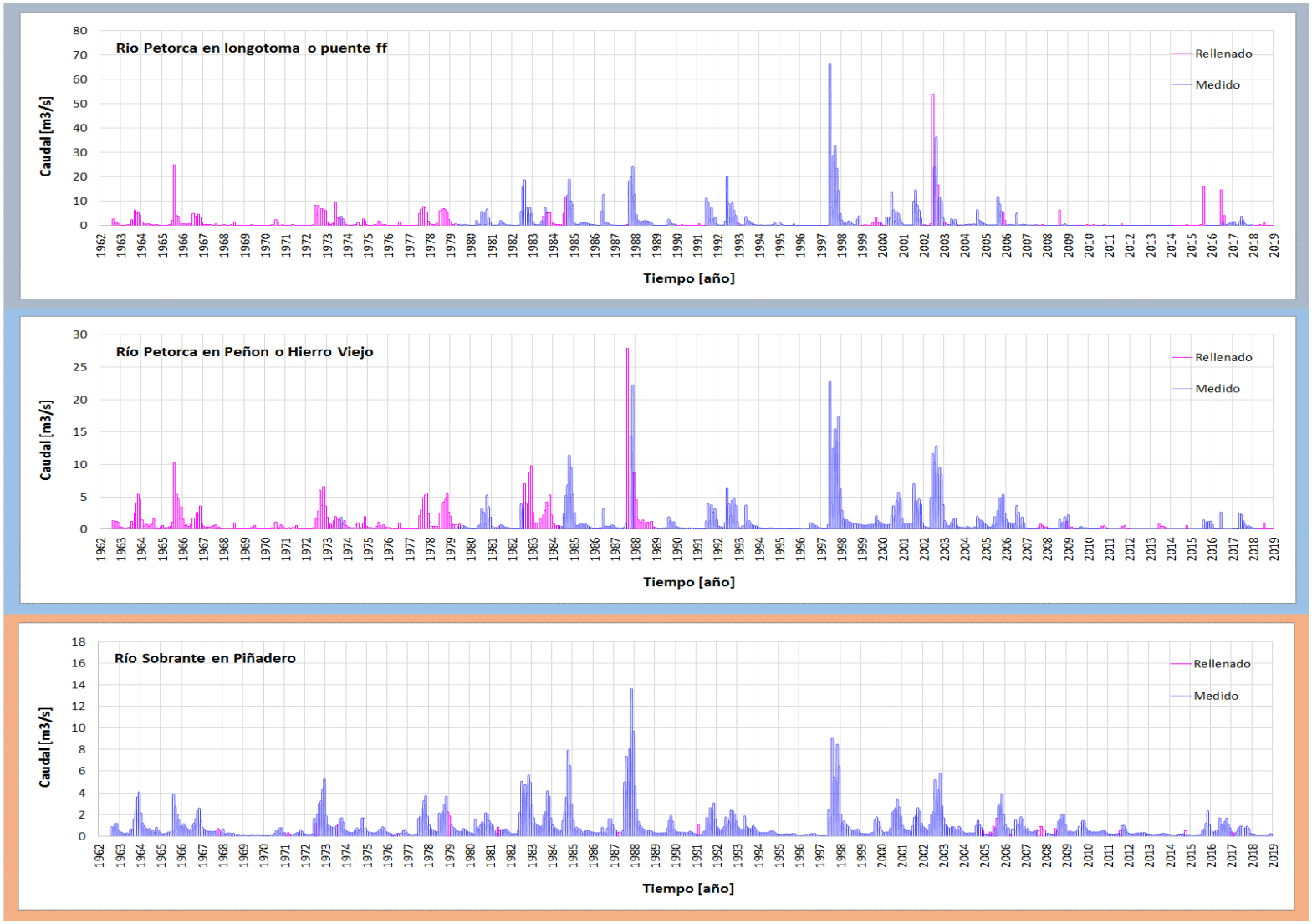


Figura 2-6. Caudales promedios mensuales medidos (y rellenados) en estaciones fluviométricas (continuación)
(Fuente: Elaboración propia)

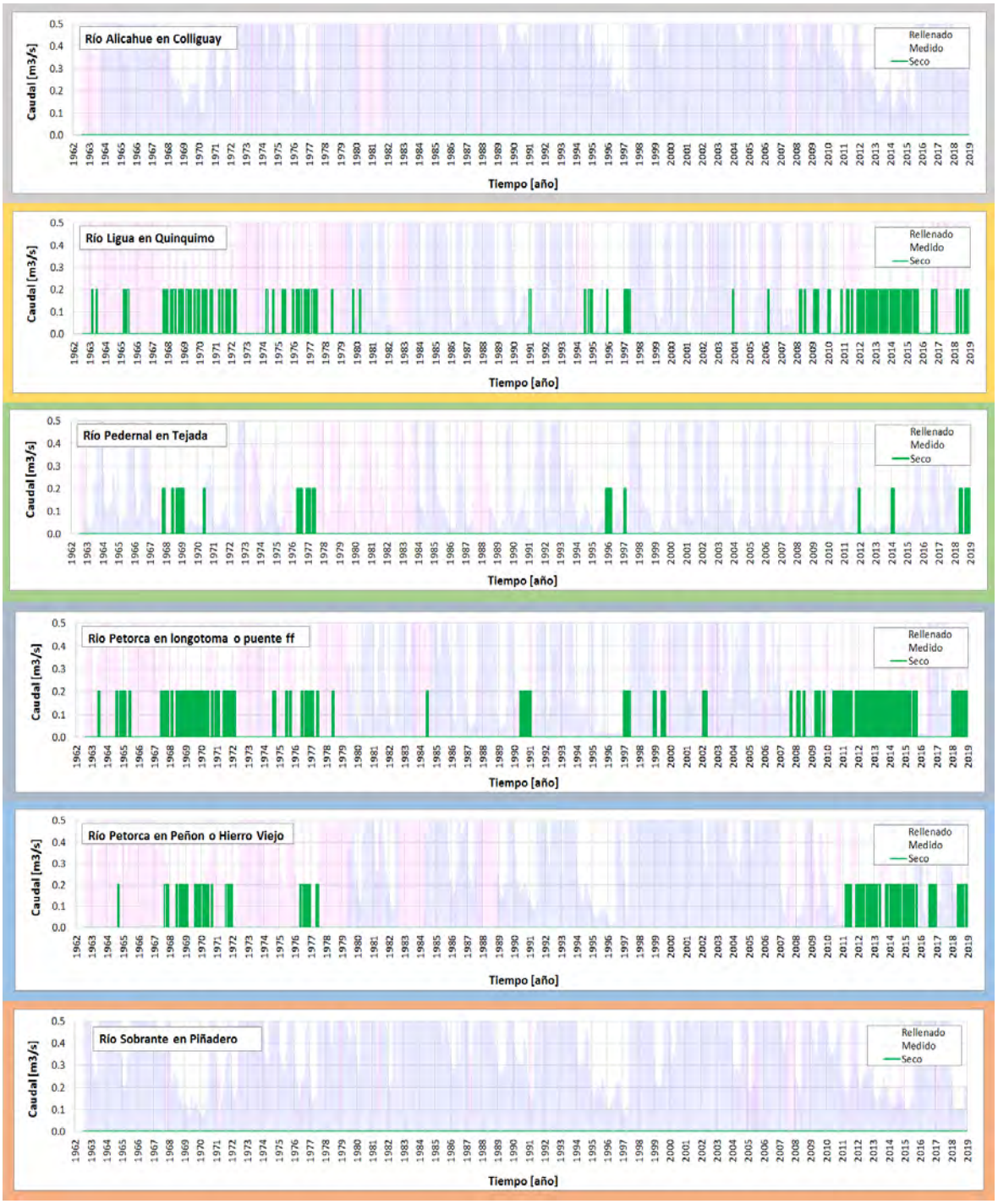


Figura 2-7. Caudales promedios mensuales nulos en estaciones fluviométricas
(Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO 3 GEOLOGÍA

Se realizó un análisis geológico con el objetivo de identificar unidades geológicas y representarlas en el modelo numérico. La definición de unidades geológicas permitió, además, diferenciar las recargas por precipitaciones, según zonas con distintas permeabilidades verticales y, por consiguiente, con mayor o menor potencial de admitir la infiltración de recarga.

Para la identificación de las unidades geológicas, existentes en el área de estudio, se usó el plano geológico del Sernageomin Quillota-Portillo[2] (ver Figura 3-1).

Se efectuó una categorización cualitativa de las unidades geológicas, identificadas en las cuencas de los ríos Petorca y La Ligua (ver leyenda de Figura 3-1). Los criterios fueron la edad y el tipo de unidad geológica. De esa forma, se asociaron valores de permeabilidad horizontal a cada unidad (ver Tabla 3-3) y posteriormente, en función de la permeabilidad horizontal, se estimó la permeabilidad vertical.

Para los valores de la relación k_H/k_V (permeabilidad horizontal vs permeabilidad vertical), se asumió como medios aproximadamente isotrópicos, en cuanto a la permeabilidad, todas las unidades de roca ($k_H/k_V=1$). Para las unidades sedimentarias, se supuso anisotropía horizontal, debido a la depositación más reciente y menos afectada por fuerzas tectónicas ($k_H/k_V=10$, ver Tabla 3-3). La razón $k_H/k_V=10$, adoptada para los rellenos sedimentarios cuaternarios, se basa en que los sedimentos de los cauces en la zona de estudio, corresponden a rellenos fluviales, compuestos materiales granulares (arenas y gravas con irregular presencia de finos), que, si bien están estratificados, poseen una permeabilidad vertical importante, que permite la infiltración de los flujos de recarga.

La permeabilidad vertical, es uno de los parámetros que determina la capacidad de conducción vertical para la infiltración de la recarga de origen superficial (ver Ecuación 4-3 en punto 4.2).

La porosidad efectiva, es otro parámetro necesario para el cálculo de las recargas. Las porosidades efectivas fueron obtenidas de la bibliografía[3], según la asociación de unidades incluidas en la Tabla 3-1 y los valores de la Tabla 3-2.

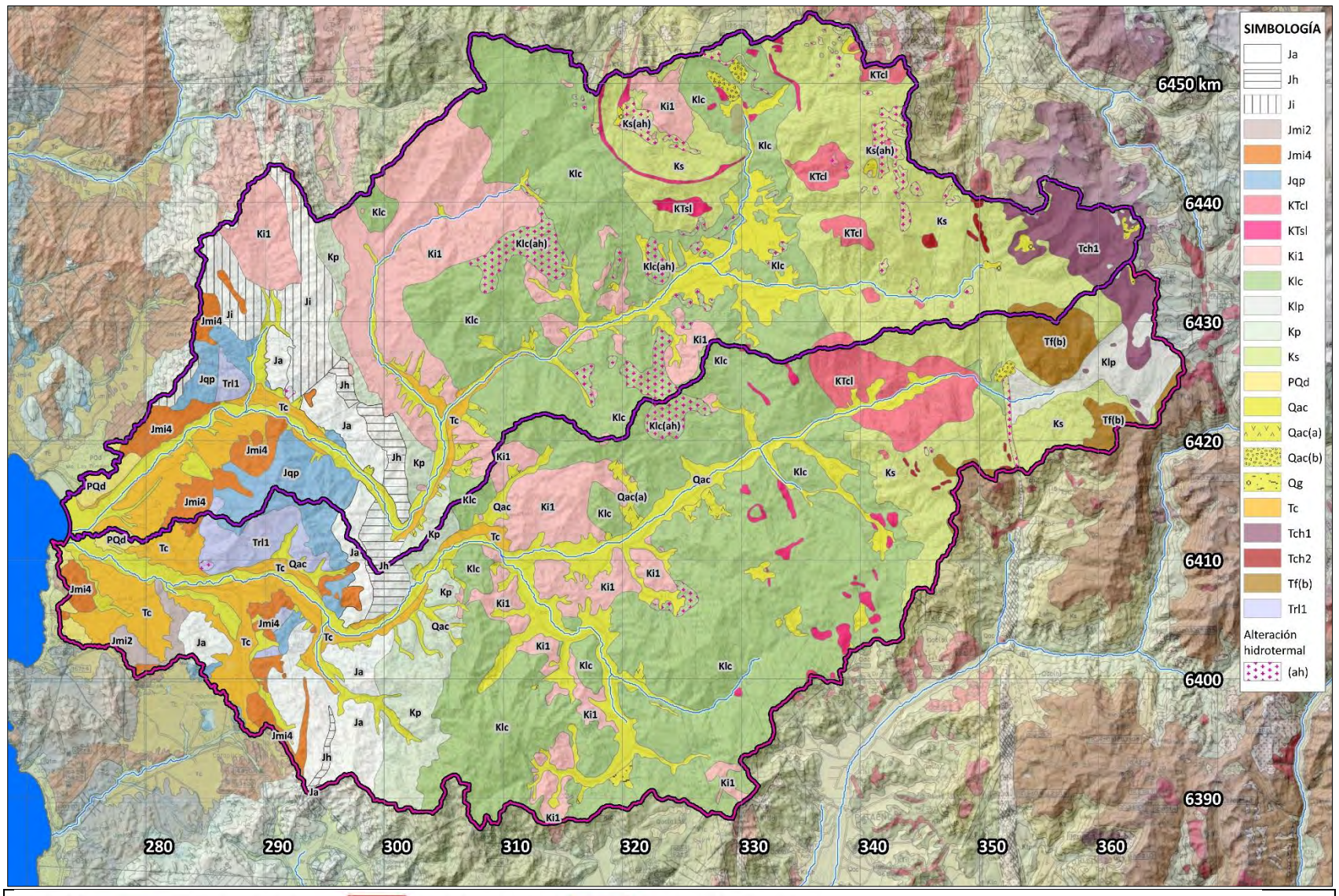
Para diferenciar las unidades alteradas, respecto a las correspondientes unidades sanas (alteración hidrotermal), se adoptó un factor de incremento de la permeabilidad, según cada unidad geológica (ver Tabla 3-3). Dado que no se cuenta con información cuantitativa del nivel de alteración de cada zona identificada con "alteración hidrotermal", los factores

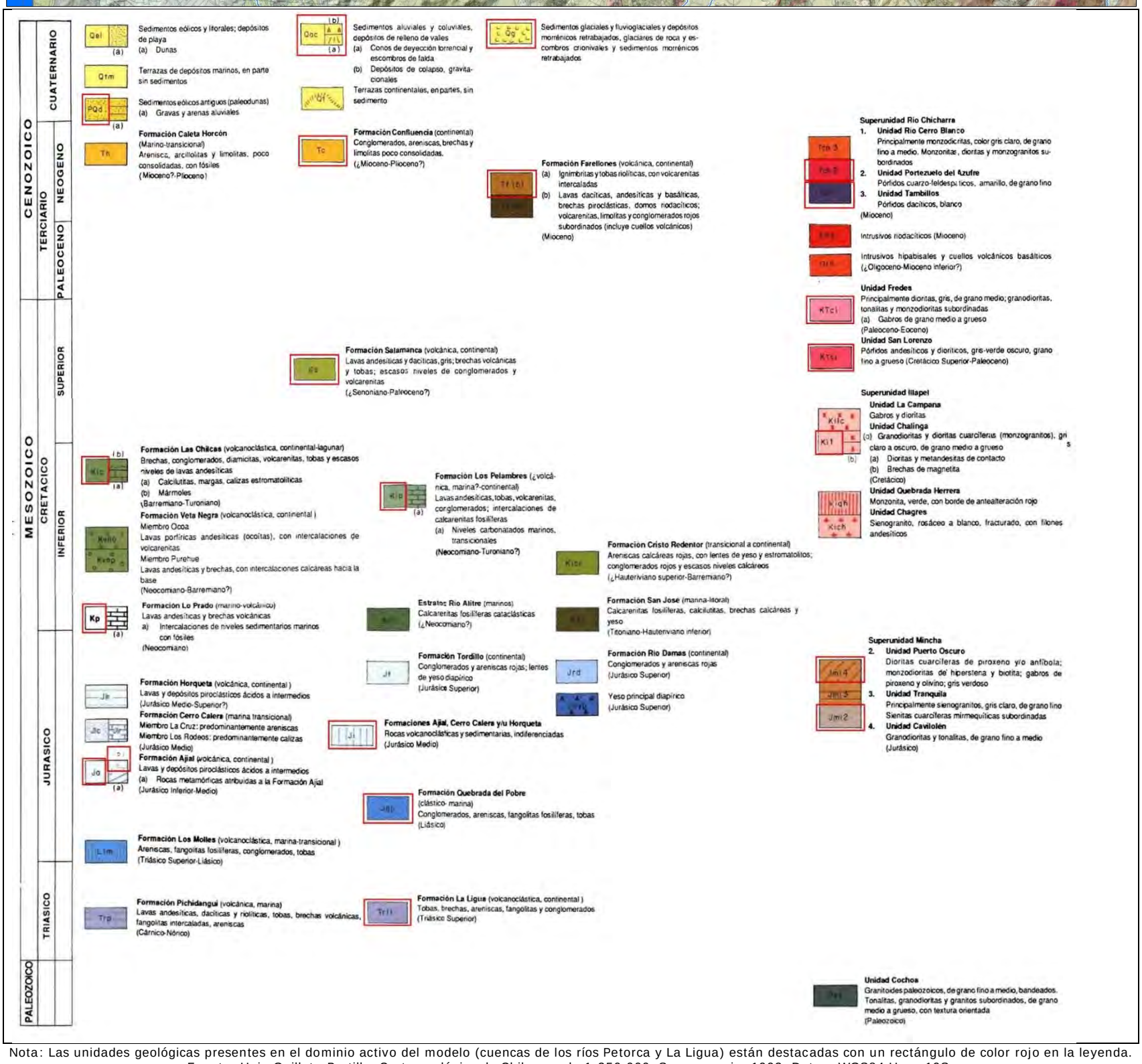
[2] Hoja Quillota-Portillo, Carta geológica de Chile, escala 1:250.000, Sernageomin, 1993.

[3] Fuente: Hidrología subterránea. Emilio Custodio/Manuel Ramón Llamas (directores de edición), Tomo 1, 1996.

fueron adoptados, según el criterio y la experiencia de este consultor, no obstante, los valores finales, resultaron del proceso de calibración del modelo.

Como se detalla más adelante, el modelo numérico contiene 2 capas. Con la primera capa (o capa más superficial), se representaron los rellenos. Bajo esta capa, se incorporó una segunda capa que permitió representar las unidades de roca, que subyacen a las unidades sedimentarias recientes. La geología de la capa inferior (sólo unidades de roca), se definió extendiendo la cobertura de las rocas identificadas según la geología de superficie (ver Figura 3-2).





Nota: Las unidades geológicas presentes en el dominio activo del modelo (cuencas de los ríos Petorca y La Ligua) están destacadas con un rectángulo de color rojo en la leyenda.
Fuente: Hoja Quillota-Portillo, Carta geológica de Chile, escala 1:250.000, Sernageomin, 1993. Datum WGS84 Huso 19S.

Figura 3-1. Geología de superficie

Tabla 3-1. Unidades geológicas en el área de estudio
y asociación con unidades de bibliografía para obtener valores de porosidad efectiva

Código	Descripción	Asociación según bibliografía (ver Tabla 3-2)
Trl1	Formación La Ligua (volcanoclástica, continental). Tobas, brechas, areniscas, fangolitas y conglomerados (Triásico Superior).	Areniscas
Jmi2	Superunidad Mincha, unidad Cavilolén. Granodioritas y tonalitas de grano fino a medio (Jurásico).	Basaltos densos, fonolitas
Jmi4	Superunidad Mincha, unidad Puerto Oscuro. Dioritas cuarcíferas de piroxeno y/o anfíbola; monzodioritas de hiperstena y biotita, gabros de piroxeno y olivino; gris verdoso.	Basaltos vacuolares
Ja	Formación Ajial (volcánica, continental). Lavas y depósitos piroclásticos ácidos e intermedios (Jurásico Inferior-Medio).	Piroclastos y tobas
Ja(b)	Formación Ajial (volcánica, continental). Lavas y depósitos piroclásticos ácidos e intermedios (Jurásico Inferior-Medio).	Piroclastos y tobas
Jh	Formación Horqueta (volcánica, continental). Lavas y depósitos piroclásticos ácidos a intermedios (Jurásico Medio-Superior).	Piroclastos y tobas
Ji	Formación Ajial, Cerro Calera y/u Horqueta. Rocas volcanoclásticas y sedimentarias, indiferenciadas (Jurásico Medio).	Piroclastos y tobas
Jqp	Formación Quebrada del Pobre (clástico- marina) Conglomerados, areniscas, fangolitas, fosilíferas, tobas (Liásico).	Areniscas
Ki1	Unidad Chalinga. Granodioritas y dioritas cuarcíferas (monzogranitos), gris claro a oscuro de grano medio a grueso (Cretácico).	Basaltos densos, fonolitas
KTcl	Unidad Fredes. Principalmente dioritas, gris de grano medio; granodioritas, tonalitas y monzodioritas subordinadas. Gabros de grano medio a grueso (Paleoceno-Eoceno).	Basaltos densos, fonolitas
KTsl	Unidad San Lorenzo. Pórfidos andesíticos y dioríticos, gris-verde oscuro, grano fino a grueso (Cretácico Superior-Paleoceno).	Basaltos densos, fonolitas
Klc	Formación Las Chilcas (volcanoclástica, continental-lagunar). Brechas, conglomerados, diamicitas, volcarenitas, tobas y escasos niveles de lavas andesíticas.	Areniscas
Tch1	Superunidad Río Chicharra, unidad Tambillos. Pórfidos dacíticos, blanco (Mioceno).	Basaltos densos, fonolitas
Tch2	Superunidad Río Chicharra, unidad Portezuelo del Azufre. Pórfidos cuarzo-feldespáticos, amarillo, de grano fino (Mioceno).	Basaltos densos, fonolitas
Klp	Formación Los Pelambres (volcánica, marina-continental) Lavas andesíticas, tobas, volcarenitas, conglomerados; intercalaciones de calcarenitas fosilíferas (Neocomiano-Turoniano).	Piroclastos y tobas
Kp	Formación Lo Prado (marino-valcánico) Lavas andesíticas y brechas volcánicas (Neocomiano).	Piroclastos y tobas
Ks	Formación Salamanca (volcánica, continental) Lavas andesíticas y dacíticas, gris; brechas volcánicas y tobas; escasos niveles de conglomerados y volcarenitas (Senoniano-Paleoceno).	Piroclastos y tobas
Tf(b)	Formación Farellones (volcánica, continental) Lavas dacíticas, andesíticas y basálticas, brechas piroclásticas, domos riodacíticos; volcarenitas, limolitas y conglomerados rojos subordinados (incluye cuellos volcánicos) (Mioceno).	Piroclastos y tobas
Tc	Formación Confluencia (continental) Conglomerados, areniscas, brechas y limolitas poco consolidadas (Mioceno-Plioceno).	Areniscas
PQd	Sedimentos eólicos antiguos (paleodunas) .	Dunas
Qg	Sedimentos glaciales y fluvioglaciales y depositos morrénicos retrabajados, glaciares de roca y escombros crionivales y sedimnetos morrénicos retrabajados.	Depósitos glaciales
Qac	Sedimentos aluviales y coluviales, depósitos de relleno de valles.	Aluviones
Qac(a)	Conos de deyección torrencial y escombro de falda.	Aluviones
Qac(b)	Depósitos de colapso, gravitacionales.	Gravas

Tabla 3-2. Porosidades según bibliografía

TABLA 8.2 *Tabla de porosidades totales y eficaces de diversos materiales. Datos tomados de Johnson (1967), Davis (1969), Schoeller (1962), Muskat (1937), Meinzer (1923 b), Ward (1967), etc., y del propio autor. Algunos datos, en especial los referentes a* m_e, *deben tomarse con precauciones y según las circunstancias locales.*

Material		Porosidad total % m					Porosidad eficaz % m_e			Observaciones
Tipo	Descripción	Media	Normal Máx.	Normal Mín.	Extraordinaria Máx.	Extraordinaria Mín.	Media	Máx.	Mín.	
Rocas masivas	Granito	0,3	4	0,2	9	0,05	<0,2	0,5	0,0	A
	Caliza masiva	8	15	0,5	20		<0,5	1	0,0	B
	Dolomia	5	10	2			<0,5	1	0,0	B
Rocas metamórficas		0,5	5	0,2			<0,5	2	0,0	A
Rocas volcánicas	Piroclastos y tobas	30	50	10	60	5	<5	20	0,0	C, E
	Escorias	25	80	10			20	50	1	C, E
	Pumitas	85	90	50			<5	20	0,0	D
	Basaltos densos, fonolitas	2	5	0,1			<1	2	0,1	A
	Basaltos vacuolares	12	30	5			5	10	1	C
Rocas sedimentarias consolidadas (ver rocas masivas)	Pizarras sedimentarias	5	15	2	30	0,5	<2	5	0,0	E
	Areniscas	15	25	3	30	0,5	10	20	0,0	F
	Creta blanda	20	50	10			1	5	0,2	B
	Caliza detrítica	10	30	1,5			3	20	0,5	
Rocas sedimentarias sueltas	Aluviones	25	40	20	45	15	15	35	5	E
	Dunas	35	40	30			20	30	10	
	Gravas	30	40	25	40	20	25	35	15	
	Loess	45	55	40			<5	10	0,1	E
	Arenas	35	45	20			25	35	10	
	Depósitos glaciares	25	35	15			15	30	5	
	Limos	40	50	35			10	20	2	E
	Arcillas sin compactar	45	60	40	85	30	2	10	0,0	E
	Suelos superiores	50	60	30			10	20	1	E

A = Aumenta m y m_e por meteorización.
B = Aumenta m y m_e por fenómenos de disolución.
C = Disminuye m y m_e con la edad.
D = Disminuye m y puede aumentar m_e con la edad.
E = m_e muy variable según circunstancias y tiempo.
F = Variable según el grado de cementación y su solubilidad.

Fuente: Hidrología subterránea. Emilio Custodio/Manuel Ramón Llamas (directores de edición), Tomo 1, 1996.

Tabla 3-3. Parámetros asociados a unidades geológicas en el área de estudio

N°	Código unidad geológica	Tipo de unidad	Antigüedad	k_H [m/s]	Factor de anisotropía vertical K_H/K_V	Porosidad efectiva [1]	k_V [m/s]
1	Trl1	Tobas	Triásico	2.50E-10	1	0.100	2.50E-10
2	Jmi2	Intrusivos	Jurásico	3.50E-10	1	0.005	3.50E-10
3	Jmi4	Intrusivos	Jurásico	3.50E-10	1	0.050	3.50E-10
4	Ja	Lavas	Jurásico	5.00E-10	1	0.025	5.00E-10
5	Jh	Lavas	Jurásico	5.00E-10	1	0.025	5.00E-10
6	Ji	Rocas volcanoclásticas y sedimentarias	Jurásico	5.00E-10	1	0.025	5.00E-10
7	Jqp	Conglomerados	Jurásico	5.00E-10	1	0.100	5.00E-10
8	Ki1	Intrusivos	Cretácico superior	5.20E-10	1	0.005	5.20E-10
9	KTcl	Intrusivos	Cretácico superior	5.20E-10	1	0.005	5.20E-10
10	KTsl	Intrusivos	Cretácico superior	5.20E-10	1	0.005	5.20E-10
11	Klc	Rocas volcánicas	Cretácico inferior	1.00E-09	1	0.100	1.00E-09
12	Tch1	Intrusivos	Terciario	1.00E-09	1	0.005	1.00E-09
13	Tch2	Intrusivos	Terciario	1.00E-09	1	0.005	1.00E-09
14	Klp	Lavas	Cretácico inferior	5.00E-09	1	0.025	5.00E-09
15	Kp	Lavas y rocas sedimentaricas	Cretácico inferior	5.00E-09	1	0.025	5.00E-09
16	Ks	Lavas	Cretácico superior	5.00E-08	1	0.025	5.00E-08
17	Tf(b)	Ignimbritas	Terciario	1.00E-07	1	0.025	1.00E-07
18	Tc	Sedimentos	Terciario	5.00E-07	10	0.100	5.00E-08
19	PQd	Sedimentos	Cuaternario	1.00E-06	10	0.120	1.00E-07
20	Qg	Sedimentos	Cuaternario	5.00E-06	10	0.120	5.00E-07
21	Qac	Sedimentos	Cuaternario	1.00E-05	10	0.120	1.00E-06
22	Qac(a)	Sedimentos	Cuaternario	1.00E-05	10	0.120	1.00E-06
23	Qac(b)	Sedimentos	Cuaternario	1.00E-05	10	0.120	1.00E-06
	Código unidad geológica con alteración hidrotermal	Tipo de unidad /antigüedad	Factor de aumento de k por alteración	k_H [m/s]	Factor de anisotropía vertical K_H/K_V	Porosidad efectiva	k_V [m/s]
24	Trl1(ah)	Tobas (Triásico)	500	1.25E-07	1	0.315	1.25E-07
25	Ji(ah)	Rocas volcanoclásticas y sedimentarias (Jurásico)	500	2.50E-07	1	0.068	2.50E-07
26	KTcl(ah)	Intrusivos (Cretácico superior)	50	2.60E-08	1	0.010	2.60E-08
27	Klc(ah)	Rocas volcánicas (Cretácico inferior)	50	5.00E-08	1	0.191	5.00E-08
28	Tch1(ah)	Intrusivos (Terciario)	50	5.00E-08	1	0.010	5.00E-08
29	Ks(ah)	Lavas (Cretácico superior)	5	2.50E-07	1	0.030	2.50E-07

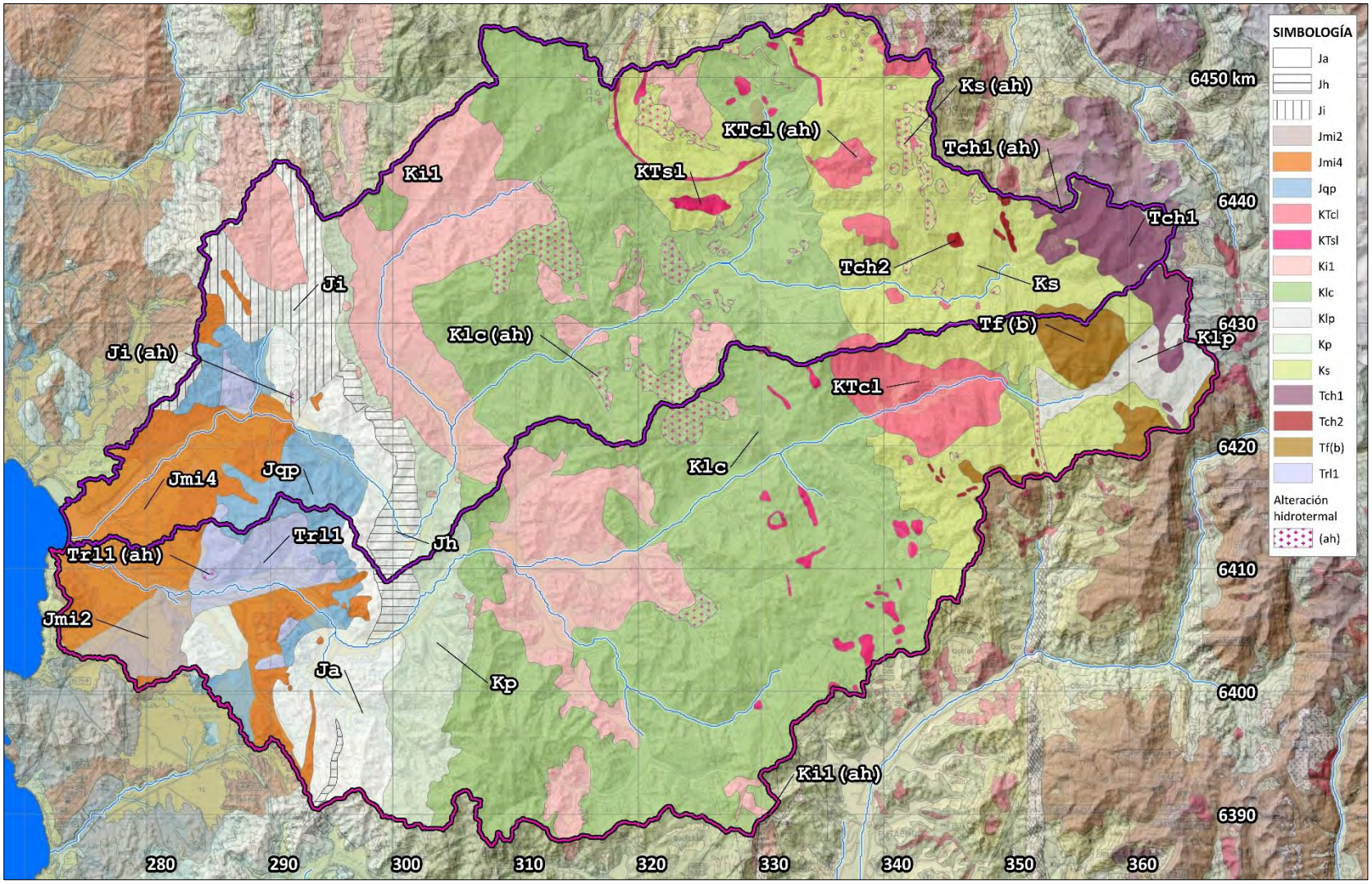


Figura 3-2. Geología de unidades de roca
bajo los rellenos sedimentarios (capa 2 en modelo numérico)
(Fuente: Elaboración propia basada en Hoja Quillota-Portillo, Carta geológica de Chile, escala 1:250.000, Sernageomin, 1993. Datum WGS84 Huso 19S.)

CAPÍTULO 4 MODELO DE RECARGAS

4.1 PLANTEAMIENTO CONCEPTUAL

En la Figura 4-1 se muestra un esquema con las fuentes de recarga del medio subterráneo. Las flechas de la figura son esquemáticas, se usaron colores para diferenciar componentes (azul: cauce natural-morado: canal-rojo: captaciones de aguas subterránea, pozos, norias, drenes, etc.). Los achurados permiten identificar las zonas que sólo se recarga con precipitación (líneas de achurado celeste) y aquellas que tienen recarga por riego (achurado verde), las que también son recargadas por precipitaciones.

Los flujos subterráneos pasantes en los bordes, que podría pensarse que corresponden a recargas laterales externas, en el presente modelo, dada su construcción, no participan del balance de recargas. Esto, debido a que el dominio activo modelado, corresponde a las cuencas íntegras de los ríos La Ligua y Petorca, por lo tanto, en los bordes del modelo, los flujos de entrada son nulos. Aceptando como hipótesis de representación, que las divisorias superficiales (límites de cuencas hidrológicas), coinciden, aproximadamente, con las divisorias subterráneas (cuencas hidrogeológicas).

Matemáticamente, la recarga total se puede expresar con la siguiente ecuación:

Ecuación 4-1:

$$R^{Total} = R^{RSC} + R^{RBC} + R^{PP} + R^{RN} + R^{CN}$$

Con:

R^{Total} =	Recarga total de origen superficial al medio subterráneo
R^{RSC} =	Recarga por riego en zonas sobre canal (riego con agua subterránea bombeada)
R^{RBC} =	Recarga por riego en zonas bajo canal (riego con agua superficial o subterránea)
R^{PP} =	Recarga proveniente de las precipitaciones
R^{CN} =	Recarga canal-napa (perdidas por infiltración en canales)
R^{RN} =	Flujo río-napa

Para la elaboración del modelo numérico, el flujo río-napa se representó con las celdas río (ver punto 5.3), por lo tanto, las recargas distribuidas (con dimensión L/T), que se incorporaron al modelo, incluyen las restantes componentes de la Ecuación 4-1.

Ecuación 4-2:

$$R^{Distribuida} = R^{RSC} + R^{RBC} + R^{PP} + R^{CN}$$

Con:

$R^{Distribuida}$ = Recarga distribuida, de origen superficial al medio subterráneo

En estricto rigor, las pérdidas por infiltración desde los canales, corresponden a recargas lineales semejantes al flujo río napa, sin embargo, dado que las redes de canales no se representaron de forma explícita en el modelo numérico, fueron consideradas de forma implícita en la recarga distribuida proveniente del riego.

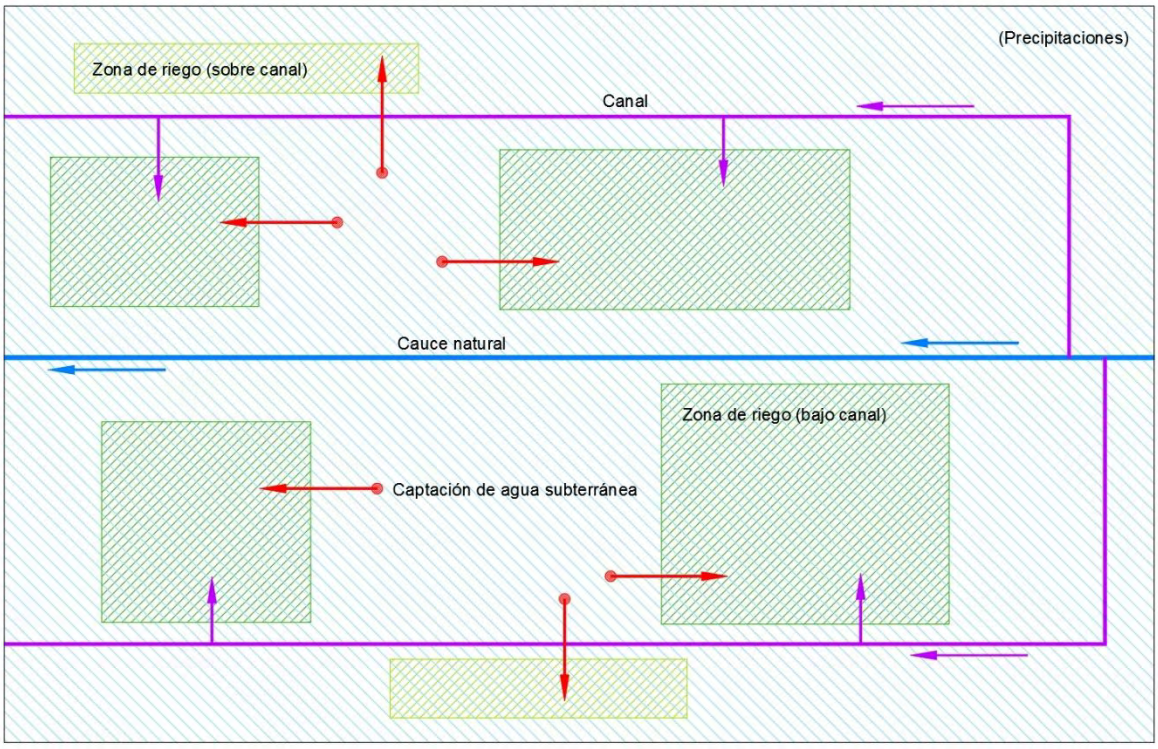


Figura 4-1. Esquema conceptual de fuentes de recarga de origen superficiales
(Fuente: Elaboración propia)

4.2 RECARGAS POR PRECIPITACIONES

El cálculo de la recarga proveniente de las precipitaciones, se realizó en función de las precipitaciones diarias y de la caracterización geológica del Capítulo 3. La precipitación diaria fue estimada en función de las precipitaciones diarias medidas históricamente en las estaciones Alicahue y Hacienda El Sobrante, pero escaladas al dominio activo del modelo numérico, según la variación espacial de las precipitaciones estimada en el punto 2.1.2.

El cálculo de la recarga por precipitaciones, se realizó considerando un balance diario de lámina de agua disponible para infiltración. La altura de agua diaria disponible para infiltrar se calculó como la precipitación diaria, menos la evaporación potencial diaria. La evaporación diaria fue descargada del sitio de la referencia[4] y corresponde a la evaporación

[4] http://www.cr2.cl/datos-informacion-integrada-por-cuencas/ CAMELSCL: Catchment Attributes and Meteorology for Large Sample Studies, Chile Dataset.

diaria media del dominio activo del modelo numérico, es decir, las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca.

Para cada valor de precipitación diaria que no evapora ($h_{PP}=H_{PP}$-EV) y para cada unidad geológica, se calculó una altura de agua que puede infiltrar (L(UG,t)). Para ello se usaron las siguientes ecuaciones:

Ecuación 4-3 $R'=k_V \cdot i \cdot \Omega$ con $i=(h_{PP}+L')/L'$ y $h_{PP}=H_{PP}-EV$ (EcuacióndeDarcyvertical)

Con:

$L'=$	Altura de infiltración base
$R'=$	Recarga asociada a L'
$k_V=$	Permeabilidad vertical
$i=$	Gradiente hidráulico
$\Omega=$	Área de sección vertical de flujo
$h_{PP}=$	Altura de precipitación disponible para recarga
$H_{PP}=$	Altura de precipitación diaria
$EV=$	Evaporación potencial diaria

Ecuación 4-4 $R'=V'/\Delta t=L' \cdot S_Y \cdot \Omega/\Delta t$ (Ecuación de balance)

Con:

$V'=$	Volumen de infiltración asociado a L'
$\Delta t=$	1 día = 86400 s
$S_Y=$	Porosidad efectiva

Combinando la Ecuación 4-3, con la Ecuación 4-4, es posible despejar L' y se obtiene:

Ecuación 4-3: $$L'=[k_V \cdot \Delta t+\{(k_V \cdot \Delta t)^2+4 \cdot S_Y \cdot k \cdot \Delta t \cdot h_{PP}\}^{0.5}]/(2 \cdot S_Y)$$

La Ecuación 4-3 permite calcular un parte de las precipitaciones que podría infiltrar, el resto de la precipitación escurre por la red de drenaje superficial del sistema o se evapora. La velocidad de infiltración de la recarga en el suelo, depende de las propiedades físicas del suelo (permeabilidad vertical), el recorrido L' y el intervalo de tiempo adoptado para el cálculo (1 día), ambas variables están implícitas en la Ecuación 4-3, por lo tanto, la velocidad de infiltración también.

Finalmente, la lámina de agua que infiltra a nivel diario, en cada unidad geológica, es:

Ecuación 4-4: $$L(UG,t)=f_L \cdot f_{Ref} \cdot L'$$

Con:

$L(UG,t)=$	Altura de infiltración real el día t en la unidad geológica UG
$t=$	Tiempo (día)
$L=$	Altura de infiltración real
$f_L=$	Factor de infiltración, se adoptó como valor base $f_L=0.005$ para recarga potencial
$f_{Ref}=$	Para recarga potencial $f_{Ref}=1$. Para calcular la recarga efectiva y f_{Ref} asociado ésta, se operó el modelo numérico (ver explicación en párrafo siguiente)

El factor de ajuste de la recarga (f_{Ref}), determina la recarga efectiva por precipitaciones. La recarga efectiva es la que el acuífero puede admitir, según su estado transiente. El estado transiente se refiere al volumen libre que dispone el medio subterráneo para almacenar agua, en un instante cualquiera. A su vez, dicho volumen, recibe no sólo las recargas por precipitaciones, si no, además, las que provienen del riego (ver punto 4.3) y los flujos río-napa (ver punto 5.3.1). Por ello, la recarga efectiva por precipitaciones, se determinó iterativamente, pero en conjunto, con las restantes componentes del flujo, operando el modelo numérico en régimen permanente e incorporando, junto a las recargas por precipitaciones, las recargas del riego, además de las celdas río. El criterio para efectuar el ajuste entre recargas potenciales y recargas efectivas, fue simular un flujo de recarga, sin obtener niveles piezométricos surgentes fuera de los cauces principales. Los resultados se presentan en la Figura 4-2.

4.3 RECARGAS POR RIEGO

4.3.1 Riego con agua de origen superficial

De la referencia citada[5], modelo MOS, fue posible obtener los caudales captados por los canales del sistema de riego de las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca, para el período comprendido entre abril de 1950 y marzo de 2005. Como ambas cuencas son predominantemente pluviales, los caudales para el período 1950-2005, correlacionan bien con las precipitaciones anuales. Si se correlacionan los caudales totales (promedios anuales, sumados para ambas cuencas, captados por los canales, calculados en el estudio citado), con las precipitaciones anuales (registradas en la estación Alicahue), se obtiene un coeficiente de correlación de 90 % (R^2=0.9, ver Figura 4-3). La correlación del 90 % se obtiene al considerar años hidrológicos (abril a marzo), con años de calendario (enero a diciembre), ésta decrece a un 68 %.

Por lo tanto, se usó la expresión polinómica de mejor ajuste (cúbica), para extender los caudales hasta diciembre de 2018.

En la Figura 4-4 se muestran los mismos datos de la Figura 4-3, además de los caudales estimados para el período faltante (2005/2006 a 2017/2018). Para el cálculo, se usó la expresión cúbica incluida en la Figura 4-4, pero corregida con un pulso aleatorio, cuya distribución de probabilidad (Wakeby de parámetros α=16231, β=22.334, γ=812.77, δ=-0.53641 y ξ=-1224.5), se calculó en función de la dispersión de las diferencias entre los caudales generados con el MOS y los que se obtendrían con la ecuación cúbica.

En la Figura 4-5 y en la Figura 4-6, se muestran los caudales de los canales (obtenidos del MOS de 2004), extendidos hasta diciembre de 2018, en función de los caudales promedios anuales (extrapolados en función de las precipitaciones, Figura 4-4) y distribuidos según las proporciones promedios de cada mes.

Con los resultados mostrados en la Figura 4-5 y en la Figura 4-6, se cuenta con una estimación, del agua de origen superficial, usada en riego, para todo el período histórico.

[5] Modelo de operación del sistema (MOS), incluido en: Estudio Modelación integral de los recursos hídricos de los valles de los ríos la Ligua y Petorca. Elaborado por P. Isensee para la Dirección de Obras Hidráulicas en 2004.

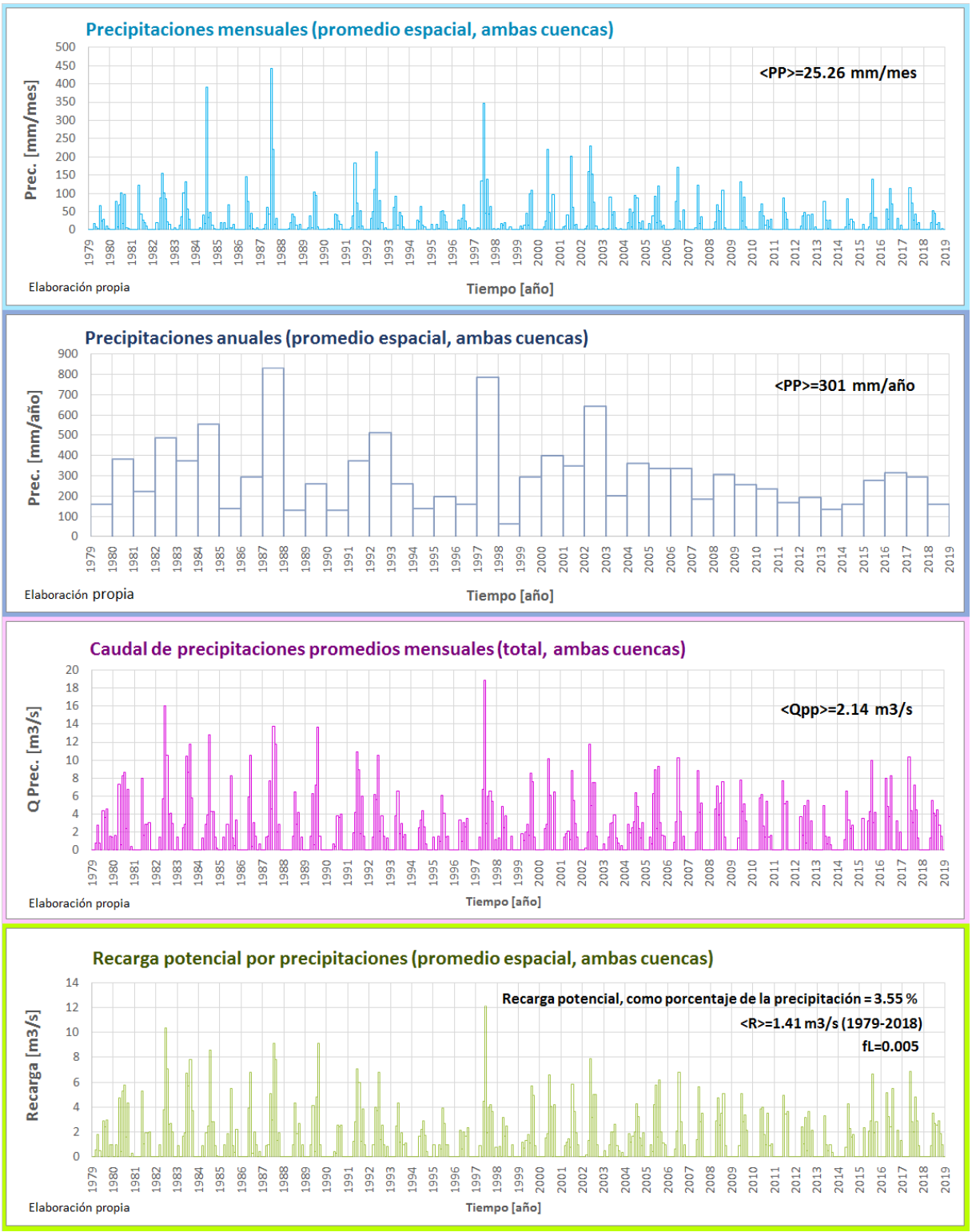


Figura 4-2. Precipitaciones mensuales, anuales y recargas potenciales por precipitaciones
(Fuente: Elaboración propia)

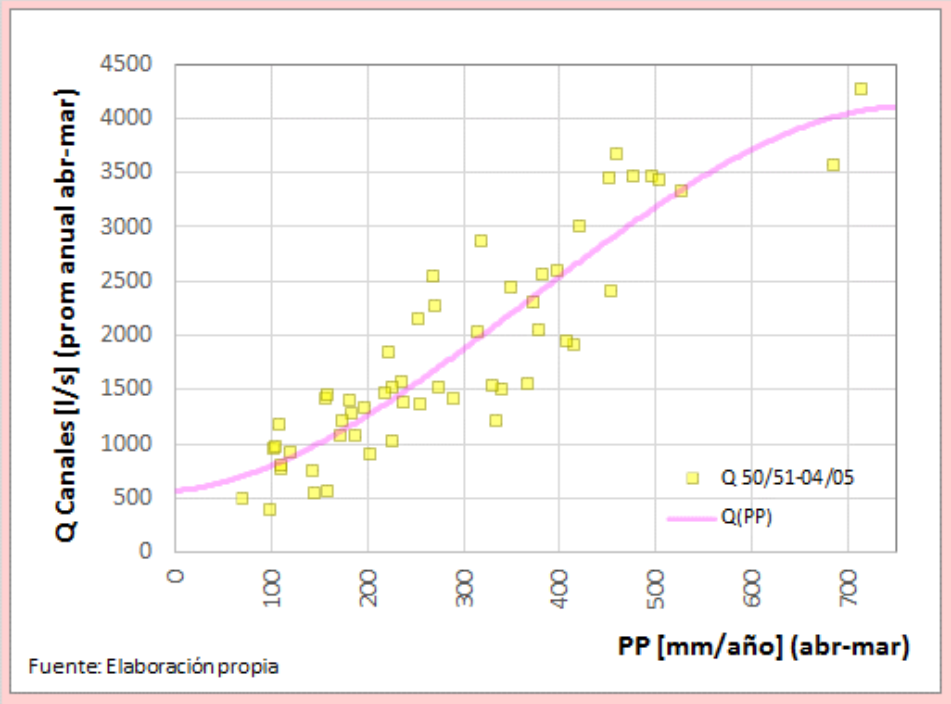


Figura 4-3. Caudal total, promedio anual (año abr-mar) captado por canales en cuencas de los ríos La Ligua y Petorca, según resultados de MOS de 2004, en función de la precipitación anual (abr-mar) de la estación Alicahue
(Fuente: Elaboración propia)

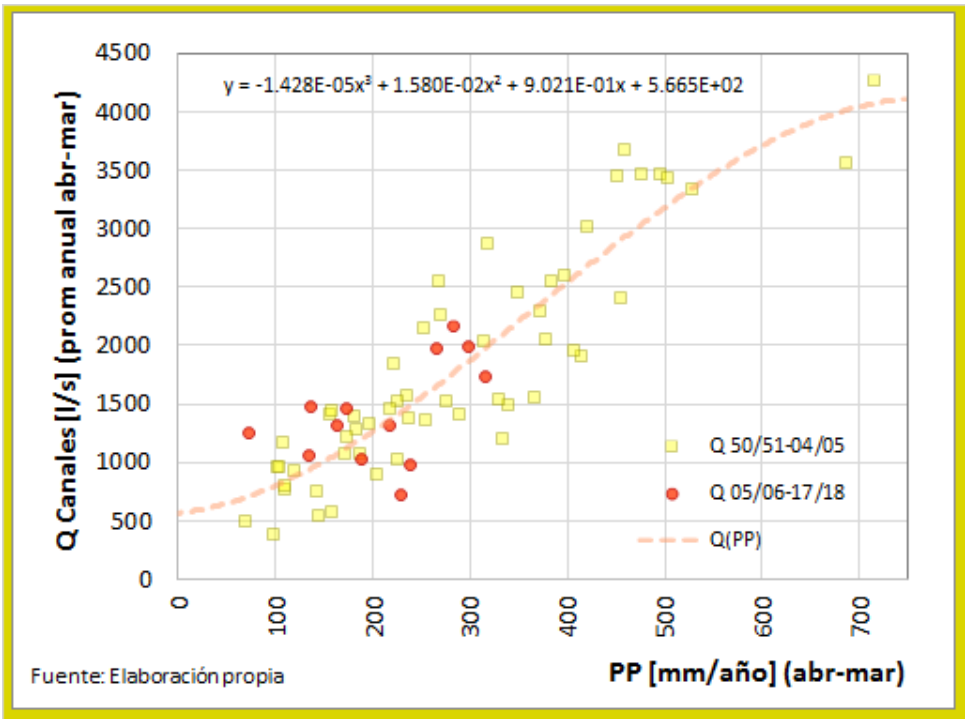


Figura 4-4. Caudal total, promedio anual (año abr-mar), captado por canales en cuencas de los ríos La Ligua y Petorca, según resultados de MOS de 2004, en función de la precipitación anual (abr-mar) de la estación Alicahue, extendido hasta marzo de 2018
(Fuente: Elaboración propia)

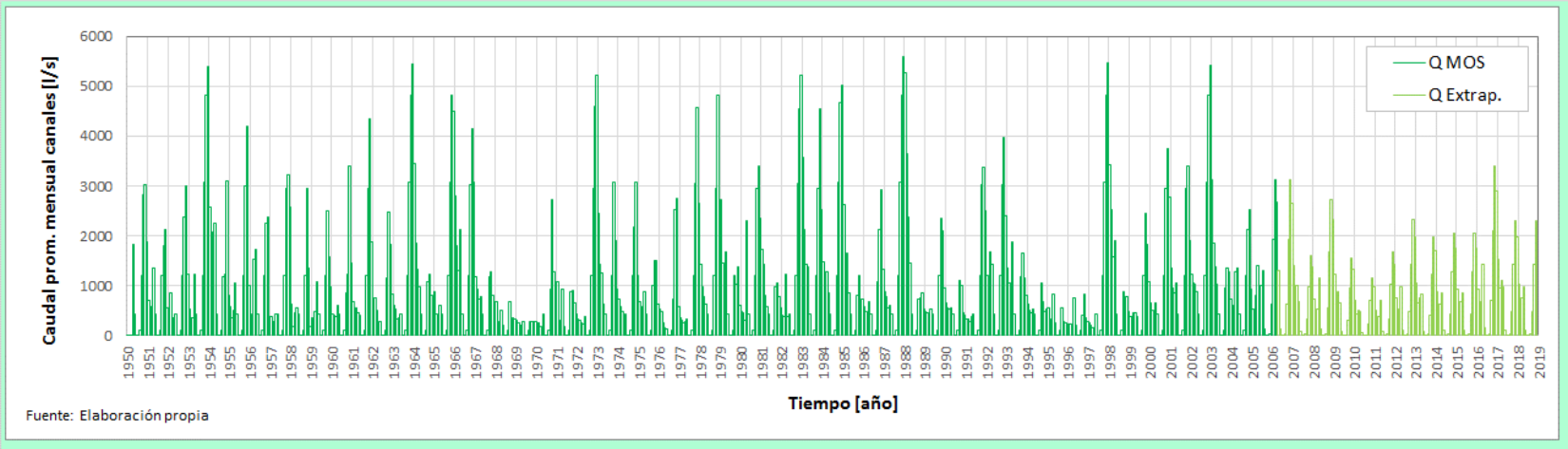


Figura 4-5. Caudal total, promedio mensual, captado por canales (Petorca) según resultados de MOS de 2004, y extrapolados hasta diciembre de 2018, en función de la precipitación anual (abr-mar) de la estación Alicahue
(Fuente: Elaboración propia)

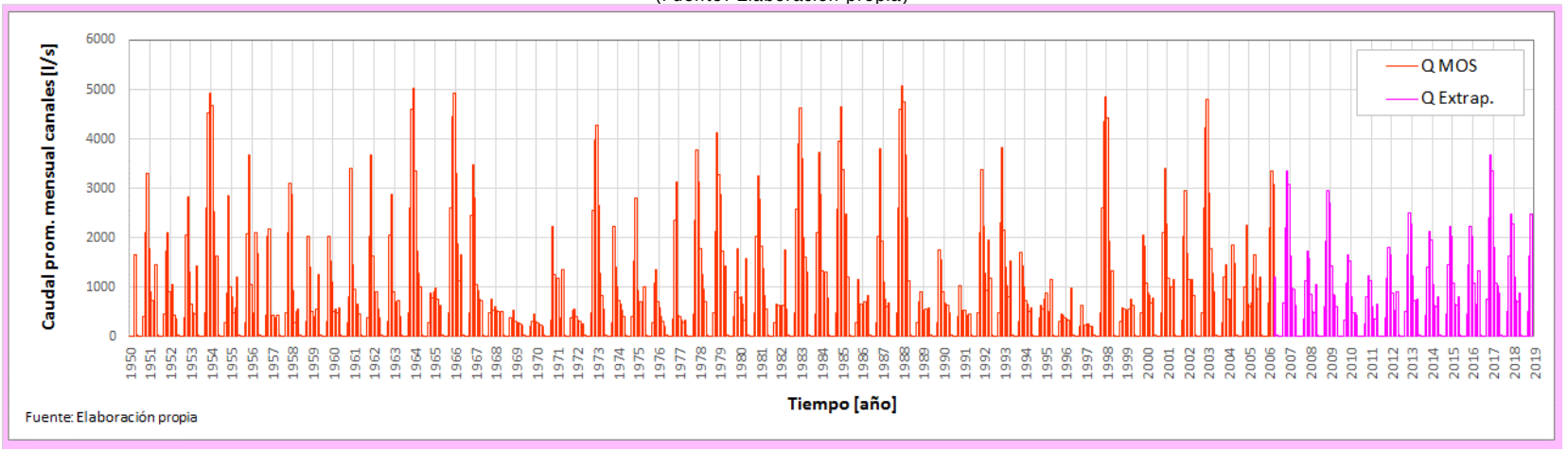


Figura 4-6. Caudal total, promedio mensual, captado por canales (La Ligua) según resultados de MOS de 2004, y extrapolados hasta diciembre de 2018, en función de la precipitación anual (abr-mar) de la estación Alicahue
(Fuente: Elaboración propia)

4.3.2 Riego con agua de origen subterráneo

En el estudio de la referencia[6] se realizó un catastro de captaciones de agua subterránea y se encuestó a los propietarios de las captaciones acerca de los caudales de extracción y la frecuencia de uso. Con esa información, junto con las fechas de construcción de las captaciones, se generó un historial de caudales de bombeo mensuales, para las zonas ubicadas bajo la red de canales de riego (zonas regables con aguas superficiales, gravitacionalmente) y para las áreas ubicadas sobre los canales (riego con elevación). Los caudales fueron calculados hasta diciembre de 2012.

Extrapolando esos datos, según la variación entre 2008 y 2011, se extendieron los caudales hasta diciembre de 2018 (ver Figura 4-7). La extrapolación efectuada es lineal y se basa en la variación mensual del período 2008-2011, es decir, para cada mes, se calcula la pendiente media y en función de éstas, se calculan los valores extrapolados de los meses correspondientes del período 2012-2018.

Con los resultados mostrados en la Figura 4-7, se cuenta con una estimación del agua de origen subterráneo, usada en riego, para todo el período histórico.

4.3.3 Infiltración de agua de riego

Para cuantificar qué parte del agua usada en riego, potencialmente podría infiltrar hacia los medios subterráneos, se usó la información del censo agropecuario de 2007[7]. Los censos agropecuarios se realizan cada 10 años, sin embargo, el correspondiente al año 2017, no se ha llevado cabo, por lo tanto, la información más reciente, es de 2007.

Las áreas regadas bajo canal y las zonas abastecidas exclusivamente con agua subterránea, se distribuyen en las comunas, según las superficies o los porcentajes de la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Distribución de áreas regadas según comunas

Superficies [Ha]

Cuenca	Subzona regada con	Comuna				Totales
		Cabildo	La Ligua	Petorca	Papudo	
Petorca	Canales	191.25	1914.75	3957.75	-	6063.75
	Pozos	2.25	501.75	713.25	-	1217.25
Ligua	Canales	5730.75	2551.50	-	639.00	8921.25
	Pozos	1080.00	699.75	-	24.75	1804.50

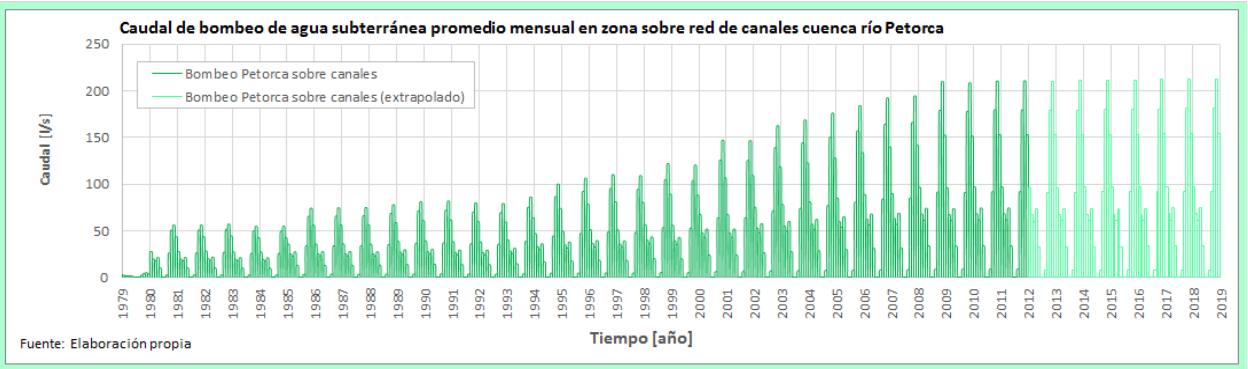
Porcentajes [%]

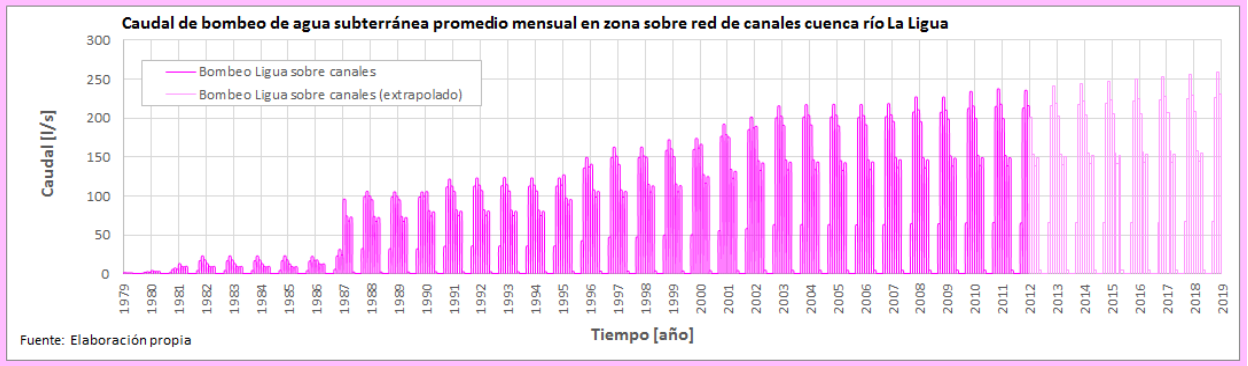
Cuenca	Subzona regada con	Comuna				Totales
		Cabildo	La Ligua	Petorca	Papudo	
Petorca	Canales	3.2	31.6	65.3	0.0	100
	Pozos	0.2	41.2	58.6	0.0	100
Ligua	Canales	64.2	28.6	0.0	7.2	100
	Pozos	59.9	38.8	0.0	1.4	100

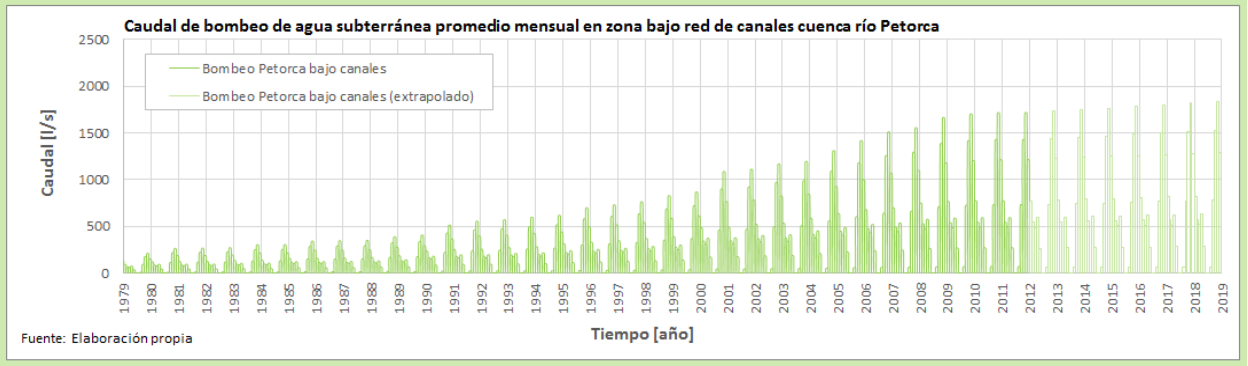
Fuente: VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, 2007. Obtenido de estudio: Mejoramiento de agua subterránea para riego Ligua y Petorca, modelos de flujo subterráneo, octubre 2012, GCF Ingenieros.

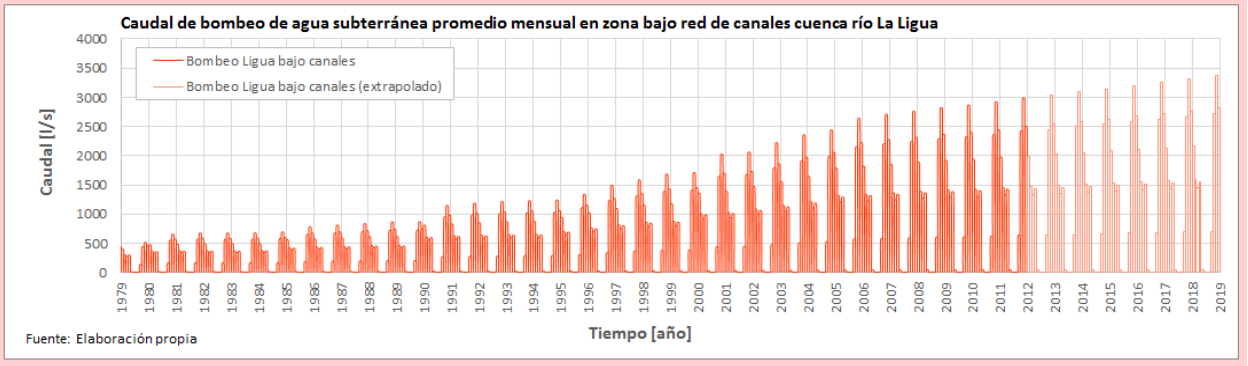
[6] Mejoramiento de agua subterránea para riego Ligua y Petorca, modelos de flujo subterráneo, octubre 2013, GCF Ingenieros para CNR.

[7] VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, 2007.









Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de estudio Mejoramiento de agua subterránea para riego Ligua y Petorca, modelos de flujo subterráneo, octubre 2012, GCF Ingenieros

Figura 4-7. Caudales de bombeo de agua subterránea promedios mensuales
(Fuente: Elaboración propia)

En la Tabla 4-2 se presenta la distribución de superficies por método de riego.

Tabla 4-2. Distribución de superficies cultivables según método de riego en Provincia de Petorca (Ha)

Comuna	Tendido	Surco	Otros tradicionales	Aspersión	Pivote	Goteo	Micro aspersión	Total
La Ligua	436.15	541.78	86.87	14.36	0.00	1335.93	1437.10	3852.19
Cabildo	587.00	689.10	17.60	44.30	0.10	1222.80	3345.70	5906.60
Papudo	257.50	111.75	0.90	0.00	0.00	38.53	2.55	411.23
Petorca	481.12	86.60	17.50	17.90	5.50	1058.79	1943.26	3610.67
Zapallar	70.30	7.30	0.00	0.00	0.00	49.90	124.50	252.00
Total Provincia de Petorca	1832.07	1436.53	122.87	76.56	5.60	3705.95	6853.11	14032.69

Fuente: VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, 2007. Obtenido de estudio: Mejoramiento de agua subterránea para riego Ligua y Petorca, modelos de flujo subterráneo, octubre 2012, GCF Ingenieros.

Las eficiencias de aplicación, para cada método de riego se incluyen en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. Eficiencias de riego [1]

Tendido	Surco	Otros tradicionales	Aspersión	Pivote	Goteo	Micro aspersión
0.35	0.50	0.65	0.75	0.75	0.90	0.85

Nota: Las eficiencias están asociadas a conducciones del tipo Californiano.
Fuente: Reglamento de la Ley 18.450 de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje.
Obtenido de estudio: Mejoramiento de agua subterránea para riego Ligua y Petorca, modelos de flujo subterráneo, octubre 2012, GCF Ingenieros.

Para calcular las eficiencias en las cuencas estudiadas, se adoptó en las zonas bajo canal, una eficiencia promedio, según la ponderación de áreas de la Tabla 4-2. Para las zonas regadas sólo con agua subterránea (zonas sobre canal), se usó una eficiencia promedio ponderada sólo por las áreas asociadas a riego tecnificado. De esa forma las eficiencias promedio por comuna y por cuenca son las incluidas en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4. Eficiencias de riego promedio por comuna [%]

Comuna	Bajo canal	Sólo pozos	Tradicionales
La Ligua	75.66	87.34	45.08
Cabildo	76.85	86.23	43.40
Petorca	78.80	86.67	39.60
Papudo	44.61	89.69	38.12

Fuente: obtenido de estudio: Mejoramiento de agua subterránea para riego Ligua y Petorca, modelos de flujo subterráneo, octubre 2012, GCF Ingenieros.

Las eficiencias promedio (η) para la zona de estudio, se presentan en la Tabla 4-5.

Tabla 4-5. Eficiencias de riego promedio ponderadas por cuenca [%]

Cuenca	Subzona	Eficiencia promedio
Petorca	Bajo canal	78.09
	Sólo pozos	86.49
	Trad. (1950)	40.97
Ligua	Bajo canal	73.78
	Sólo pozos	86.94
	Trad. (1950)	44.10

Fuente: obtenido de estudio: Mejoramiento de agua subterránea para riego Ligua y Petorca, modelos de flujo subterráneo, octubre 2012, GCF Ingenieros.

Según esos valores, se podría asumir que el factor de pérdida por aplicación del agua usada para riego es *fpa*=100-η% y esa porción del agua para riego, queda disponible para infiltrar. En rigor, parte de ella se evapora y no llega al acuífero, pero también existen pérdidas de conducción en la red de canales que suman al caudal de recarga; por consiguiente, se considera razonable adoptar dicho porcentaje como recarga potencial promedio por riego para las áreas cultivadas actuales. Se ha supuesto, de forma simplificada, que ese porcentaje, corresponde al excedente total del agua destinada al riego, es decir, el agua que potencialmente podría infiltrar, partiendo desde la captación (bocatoma del canal primario o pozo), y asociable a las pérdidas por conducción, distribución y aplicación.

Para la variación del porcentaje de infiltración de la recarga por riego a través del tiempo, se ha supuesto que el cambio mayor de sistemas de riego tradicionales a tecnificados, se produjo en la década de los ochentas, debido al apogeo de los frutales. Se consideró que, en 1950, el riego era predominantemente tradicional, por lo que se adoptó la eficiencia promedio obtenida con las áreas asociadas a métodos tradicionales (ver Tabla 4-5).

De acuerdo a las consideraciones anteriores y las eficiencias promedio, estimadas para ambas cuencas, se elaboraron las curvas de la Figura 4-8. Los valores extremos usados se incluyen la Tabla 4-6.

Tabla 4-6. Porcentaje de agua de riego disponible para infiltración

Zona de riego	Año 1950	Año 2012	Año 2019 (extrapolado)
Bajo canal Petorca	59.03	21.96	20.64
Sobre canal Petorca	50.62	13.55	12.23
Bajo canal Ligua	55.90	26.24	25.79
Sobre canal Ligua	42.73	13.07	12.62

Fuente: datos de 1950 y 2012 obtenidos de estudio: Mejoramiento de agua subterránea para riego Ligua y Petorca, modelos de flujo subterráneo, octubre 2012, GCF Ingenieros.

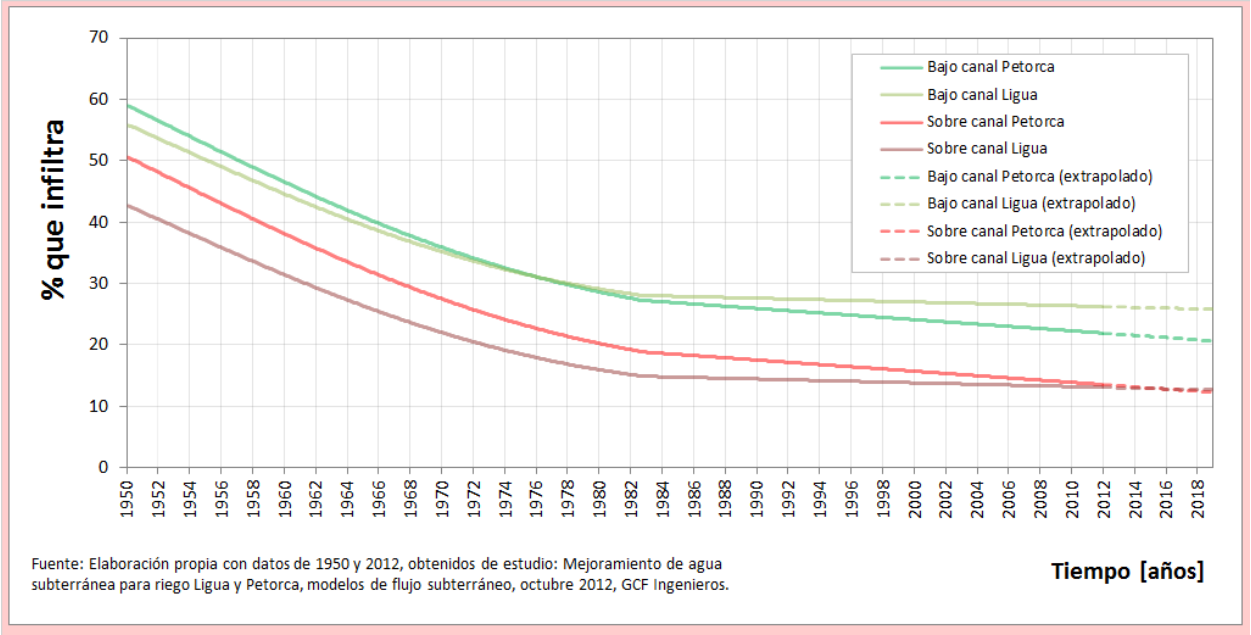


Figura 4-8. Porcentajes del caudal de riego disponibles para infiltrar
(Fuente: Elaboración propia)

Multiplicando los porcentajes de la Figura 4-8 con los caudales de riego totales, de acuerdo a la zonificación definida se obtienen las recargas potenciales por riego. Son potenciales, puesto que la recarga efectiva, es la que el acuífero puede admitir, según su estado transiente, en cuanto a volumen libre para almacenar agua. En la Figura 4-9 se presenta el resultado obtenido para la recarga potencial total (ambas cuencas) por riego.

La recarga efectiva proveniente del riego, fue estimada operando el modelo numérico, incorporándola junto con la recarga efectiva proveniente de las precipitaciones.

4.4 RECARGA TOTAL

En los puntos anteriores, se expuso la metodología para calcular las recargas potenciales provenientes de las precipitaciones y del riego. La suma de esos resultados constituye la recarga total potencial del sistema y que fue evaluada, operando el modelo para estimar la recarga efectiva o real. En la Figura 4-10 se muestra el resultado obtenido para las recargas totales y las recargas efectivas, obtenidas operando el modelo numérico, que se describe en el Capítulo 5.

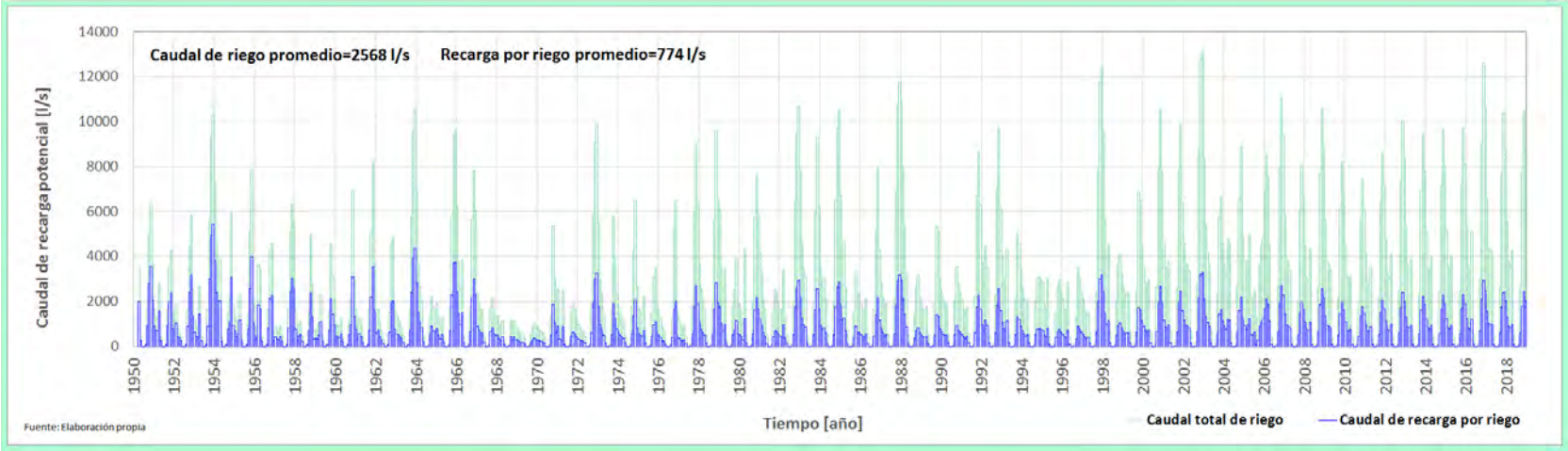


Figura 4-9. Caudal de recarga potencial total proveniente del riego
cuencas río La Ligua y Petorca (Fuente: Elaboración propia)

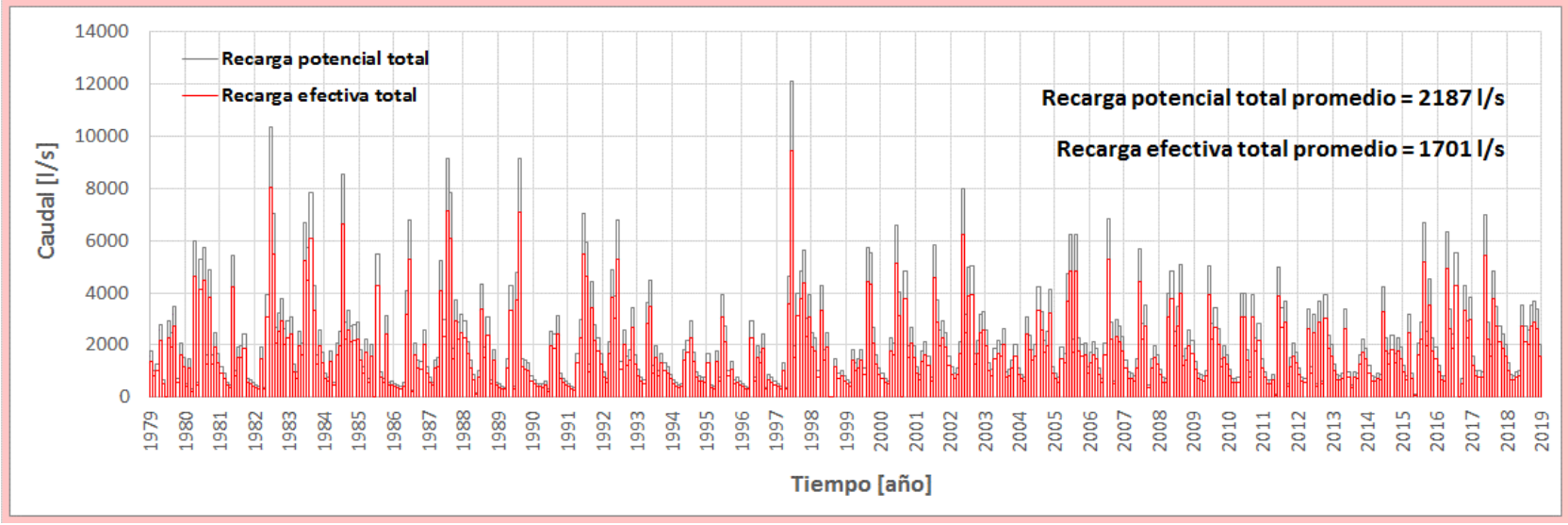


Figura 4-10. Caudal de recarga potencial total proveniente de precipitaciones y riego
cuencas río La Ligua y Petorca (Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO 5 MODELO NUMÉRICO

5.1 CÓDIGO NUMÉRICO

El modelo fue elaborado con el programa Groundwater Vistas, Versión 7.24, Build 15. Este programa permite utilizar distintos códigos bases de Modflow, de los cuales, se eligió Modflow-USG, debido a que, con éste, es posible construir mallas con grillas de dimensión local variable (unstructured grids). Entre las alternativas de mallas no estructuradas, se seleccionó la opción Quadtree Refinement, que permite reducir las dimensiones de las celdas según niveles, dividiendo por múltiplos de 2.

Las elecciones del programa y del tipo de malla, se basaron en la necesidad de modelar el área de interés de forma íntegra, además de poder representar los cauces superficiales y las áreas más explotadas (mayor densidad de captaciones de agua subterránea), con un nivel de discretización fino. Los cauces quedaron representados por celdas cuya dimensión varía entre 40·40 m y 20·20 m. A las áreas de mayor extracción, quedaron cubiertas por celdas de 20·20 m. Para la zona periférica de la malla (fuera de las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca), que corresponde a la zona inactiva de la malla, se usaron celdas de 640·640 m.

5.2 LÍMITES Y GEOMETRÍA

5.2.1 Dominio activo modelado

La zona de flujo, en el modelo numérico, se definió seleccionando las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca. Como se indicó anteriormente, el dominio inactivo, se extiende desde las divisorias de aguas de las cuencas mencionadas, hasta el límite del rectángulo que las envuelve.

5.2.2 Nivel de terreno

Para la generación del nivel de terreno, se usaron las elevaciones del ráster ASTER[8].

[8] La grilla ASTER o ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) corresponde a un reticulado de 29.11·29.11 m, con un dato de elevación en cada centro de celda.

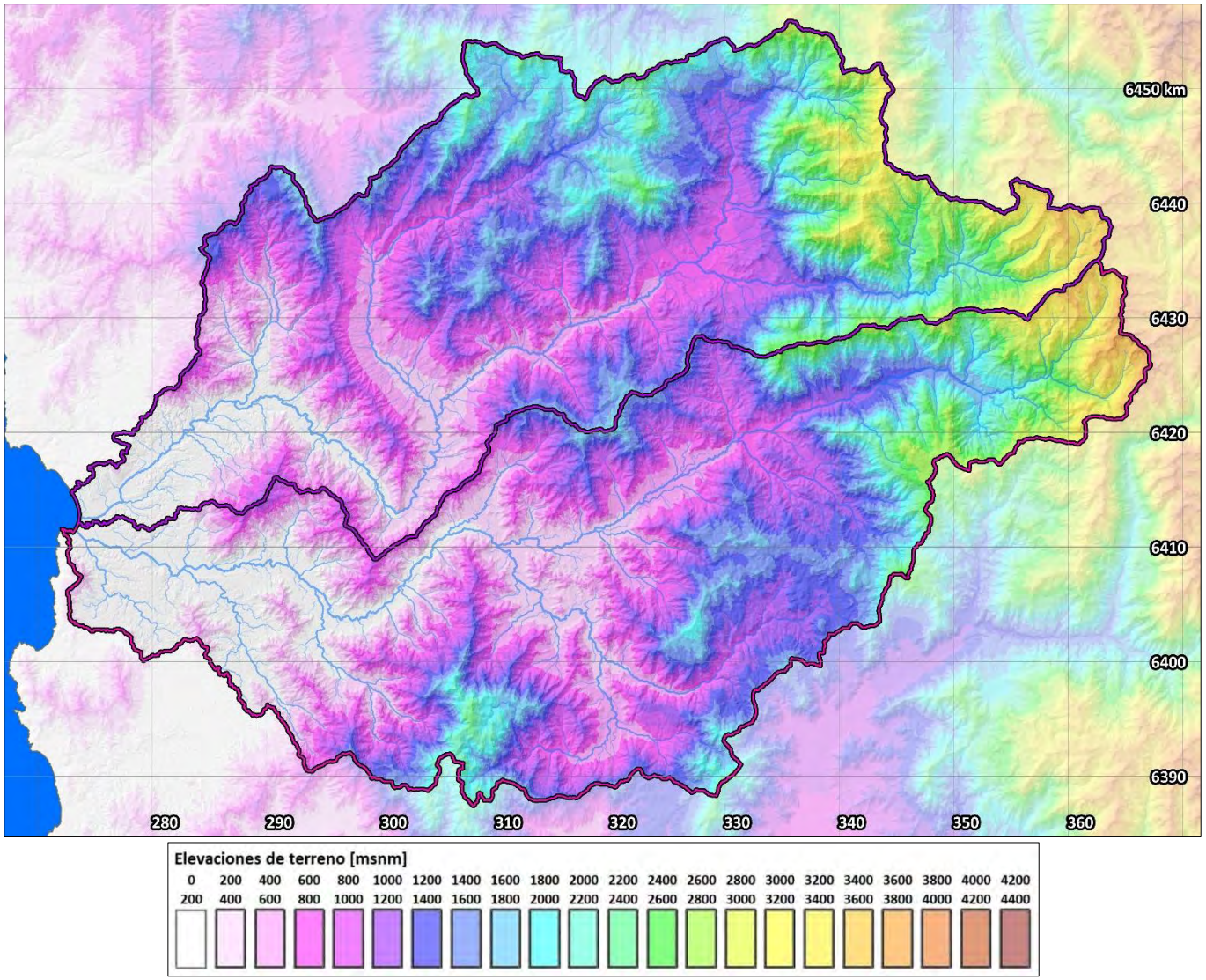


Figura 5-1. Base topográfica, ráster Áster
(Fuente: Elaboración propia)

5.2.3 Geometría en planta

La malla construida, incluye 6 niveles para las dimensiones de las celdas. Según esos niveles, la malla base (de 640·640 m, ver Figura 5-2) fue subdividida, y así, se generó una grilla refinada localmente (ver Figura 5-2 y Figura 5-3). Los niveles usados son los siguientes:

Nivel 1: celdas de 640·640 m	Nivel 2: celdas de 320·320 m	Nivel 3: celdas de 160·160 m	Nivel 4: celdas de 80·80 m	Nivel 5: celdas de 40·40 m	Nivel 6: celdas de 20·20 m

La red de drenaje quedó representada con celdas de 40·40 m y 20·20 m. Para las áreas más explotadas, es decir, en aquellas zonas con mayor densidad de captaciones de agua subterránea (pozos, norias, drenes, etc.), se usaron sólo celdas de 20·20 m.

Tabla 5-1. Dimensiones de la Malla Base

Coordenada X (este)		Coordenada Y (norte)	
X_{min} [m]	270000	Y_{min} [m]	6386000
X_{max} [m]	368560	Y_{max} [m]	6457040
ΔX [m]	98560	ΔY [m]	71040
Tamaño celda [m]	640	Tamaño celda [m]	640
N° de columnas [1]	154	N° de filas [1]	111

Coordenadas UTM WGS84 Huso 19S

5.2.4 Geometría vertical

El modelo está compuesto por 2 capas. La primera capa permitió representar los rellenos sedimentarios existentes en el área de estudio. La segunda capa, se usó para modelar las unidades de roca sobre las cuales se han depositados las unidades cuaternarias.

Las elevaciones de la superficie de terreno se obtuvieron del ráster Áster (ver punto 5.2.2). El fondo del relleno sedimentario (zona de relleno en capa 1), de cada celda, se obtuvo de la malla Visual Modflow del estudio anterior de la referencia[9]

[9] Modelación hidrogeológica de los acuíferos de Ligua y Petorca. Elaborado por Ayala & Cabrera, en 2014, para la Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas.

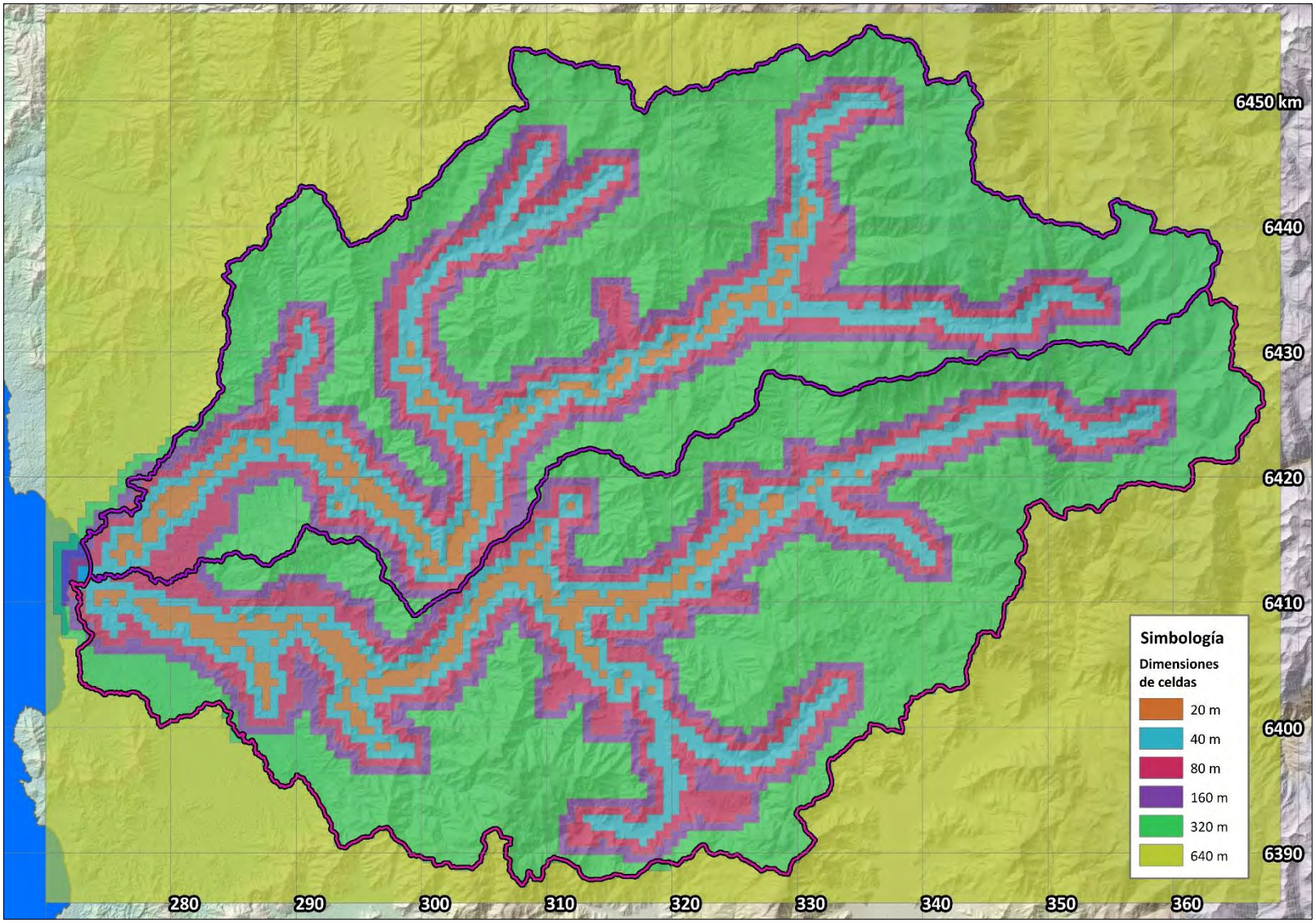


Figura 5-2. Niveles de grilla
(Fuente: Elaboración propia)

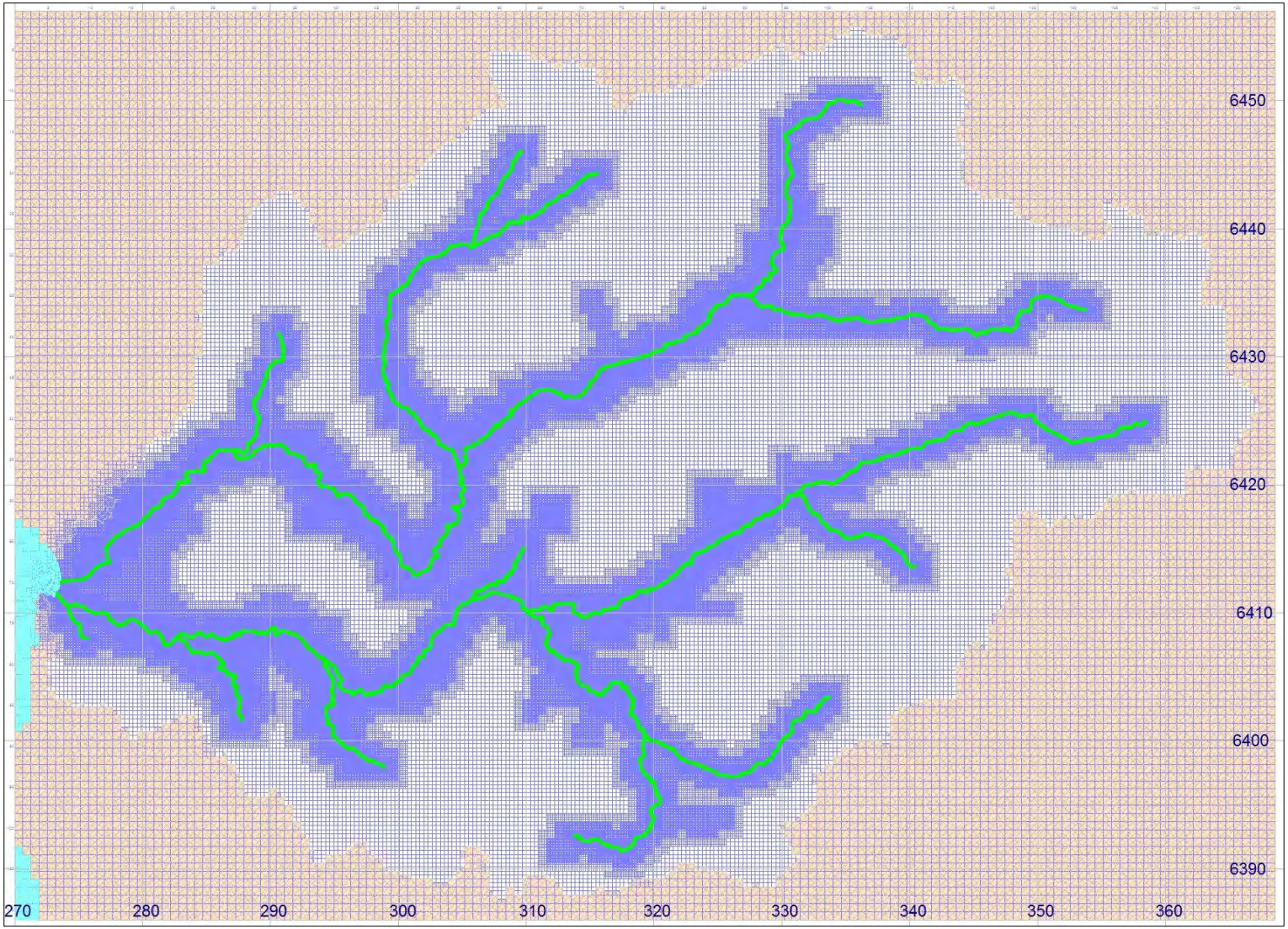


Figura 5-3. Grilla modelo numérico
(Fuente: Elaboración propia)

5.3 CONDICIONES DE BORDE

5.3.1 Representación de cauces naturales

Se redefinió la variación temporal y espacial de las celdas del tipo río (river b. c.), usando como información base, los datos generados en el análisis hidrológico, particularmente los datos fluviométricos recopilados hasta diciembre de 2018. De esa forma se aseguró que los cauces superficiales constituyan condiciones de borde realistas (río-napa o napa-río), según la escorrentía superficial que se generó a nivel mensual durante el período histórico, la que varía desde: el cauce totalmente seco hasta las crecidas pluviales de invierno.

La red de drenaje, compuesta por los cauces principales de las cuencas estudiadas, fue analizada por tramos, abarcando un total de 24 tramos de cauces. Éstos fueron definidos en función de las confluencias de la red de drenaje principal. De esa forma, cada tramo sólo recibe aportes laterales menores, correspondientes a la porción de cuenca de aporte superficial al tramo en cuestión. El extremo de aguas abajo de cada tramo, corresponde a la confluencia de éste con un río, estero o quebrada de la red de drenaje principal (ver Figura 5-4). Las elevaciones del eje hidráulico en cada celda se calcularon usando la base topográfica. Los ejes se determinaron por tramos, haciendo coincidir los niveles de agua en las confluencias. En los gráficos de la Figura 5-4, se pueden observar los niveles de terreno y los ejes hidráulicos definidos para cada tramo de cauce.

La existencia de escorrentía superficial en el tiempo se modeló con el parámetro de conductancia asociado a cada celda río. En la Figura 5-6 se muestra a qué corresponde la conductancia asociada a las celdas río y cómo se calcula. Los valores iniciales calculados para las conductancias se mantuvieron en la mayoría de los tramos de cauces. Excepto en algunos tramos de cauces, en lo que se modificó por un factor constante las conductancias iniciales, para mejorar la calibración del modelo.

Se calcularon conductancias bases para cada tramo de río modelado, proporcionales al volumen de precipitaciones promedio, correspondiente al área de aporte superficial hasta el inicio y el final de cada tramo. Para este cálculo se usó la distribución espacial de precipitaciones descrita en el punto 2.1.2. Los caudales de precipitaciones promedio para cada tramo se presentan en la Tabla 5-3. En la Figura 5-5 se muestran los resultados de los tramos ubicados aguas arriba de las estaciones fluviométricas existentes en el área de estudio.

La variación transiente, se modeló usando los datos de caudales medios mensuales medidos y rellenados en las estaciones fluviométricas (ver punto 2.2). La transposición realizada, para extrapolar los caudales, medidos en las estaciones, a cada tramo de cauce de la zona de estudio, se basó en las conductancias bases estimadas, es decir, en función de los caudales promedios de precipitaciones por tramos. En la Figura 5-7 se muestra como ejemplo, la transposición realizada para el tramo 1.

El efecto de las extracciones de los canales, sobre la escorrentía superficial, se consideró al asociar las estaciones fluviométricas a cada tramo de cauce. En la Tabla 5-4 se puede observar la estación usada para calcular los caudales en cada tramo. Los tramos ubicados en áreas cultivadas se asociaron a estaciones fluviométricas localizadas en secciones de cauces ubicadas aguas abajo de las bocatomas usadas para captar agua superficial para riego.

Los caudales (o las conductancias) asociados a cada celda en cada tramo se calcularon en función de los valores extremos de cada tramo de forma proporcional a la coordenada longitudinal del tramo.

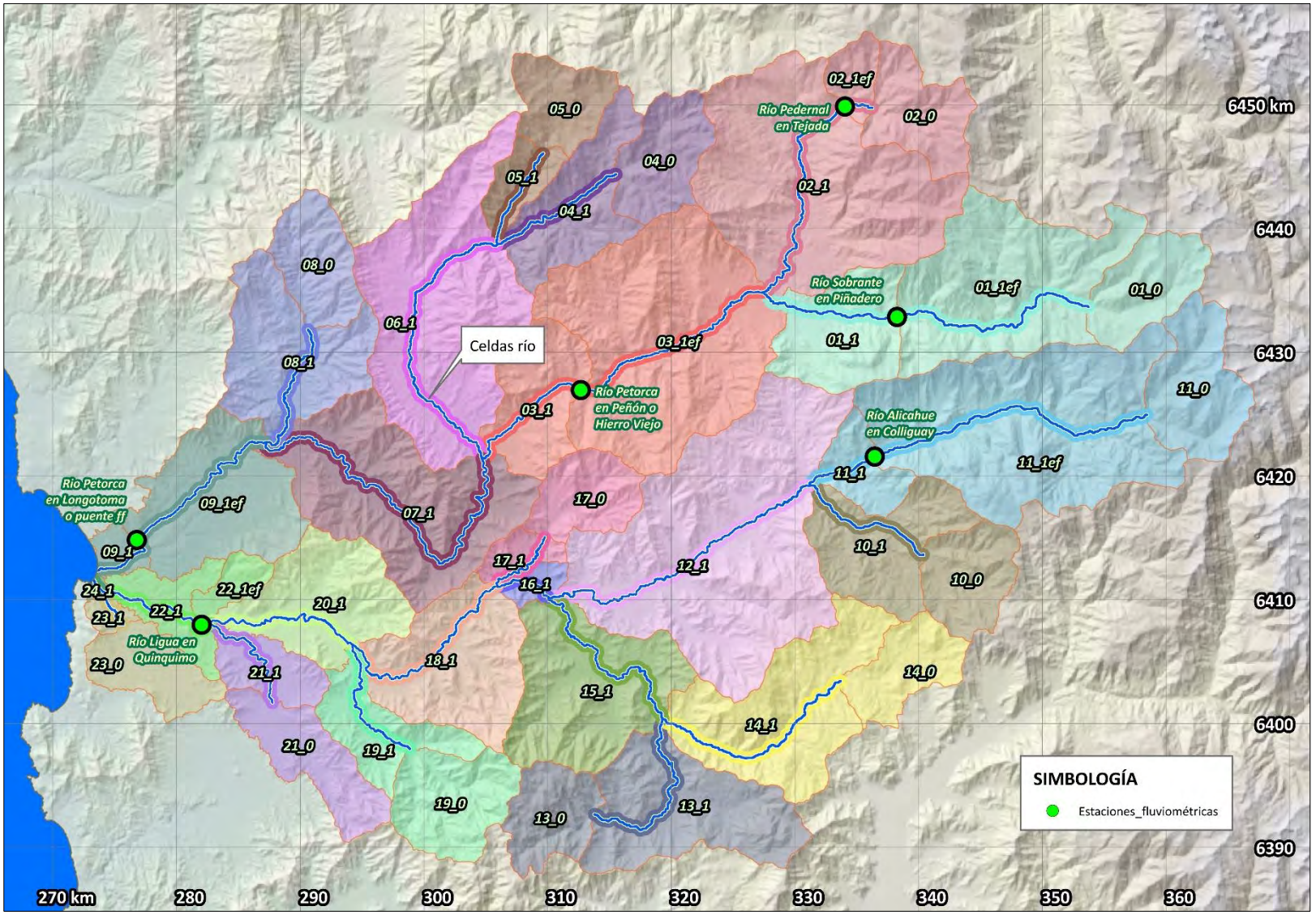


Figura 5-4. Tramos de cauces para celdas río
(Fuente: Elaboración propia)

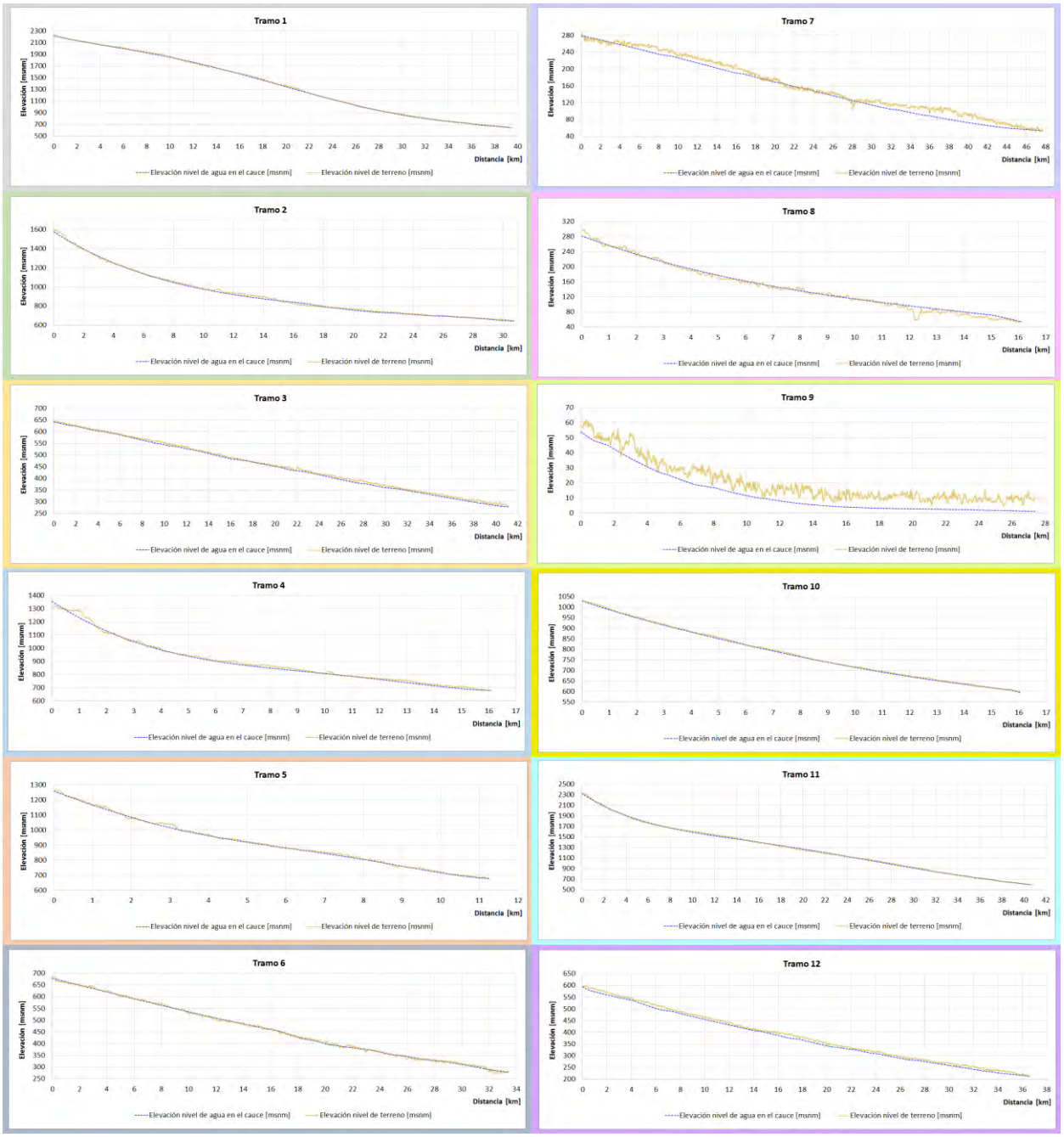


Figura 5-5. Ejes hidráulicos asociados a celdas río para cada tramo de cauce
(Fuente: Elaboración propia)

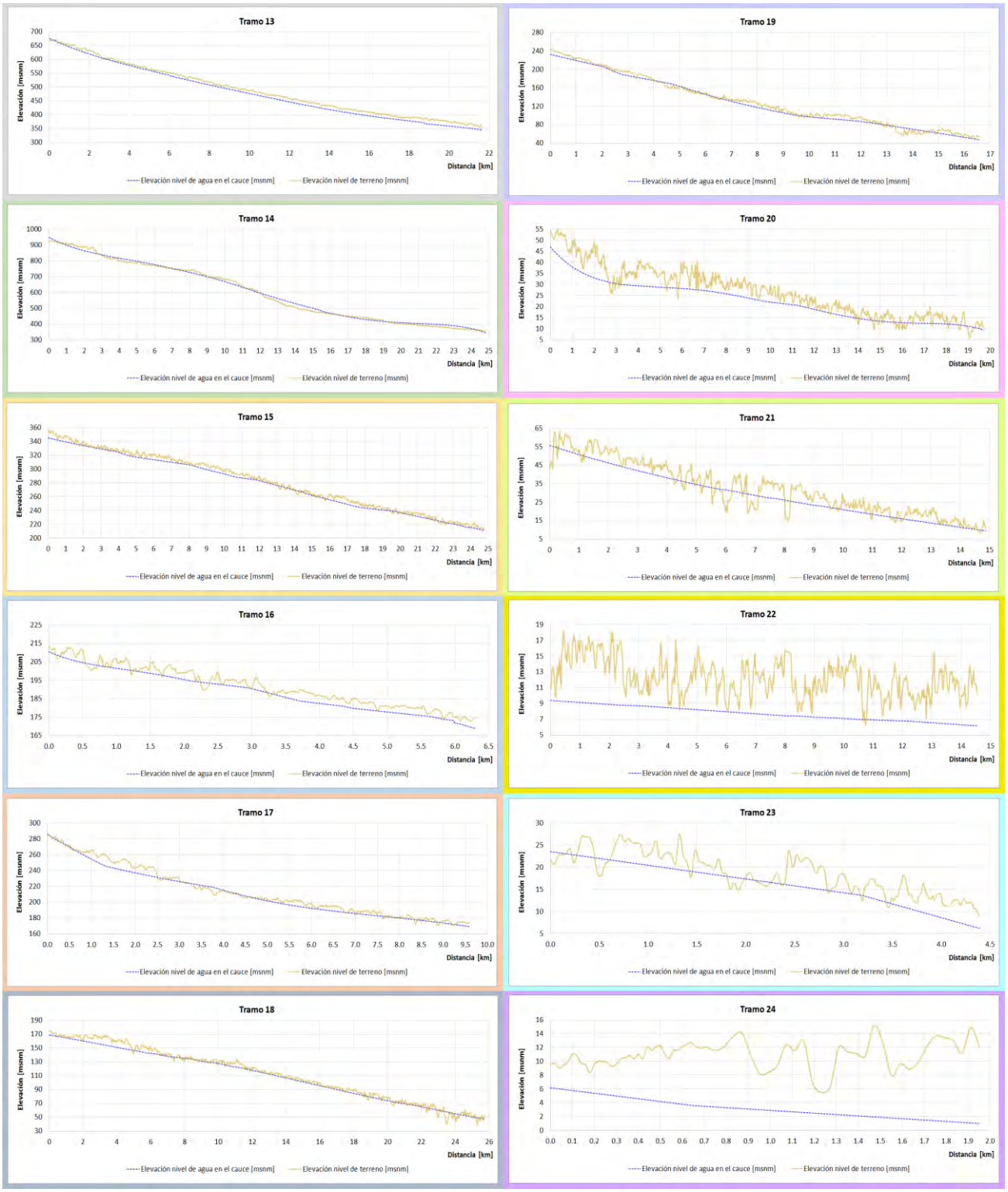


Figura 5-5. Ejes hidráulicos asociados a celdas río para cada tramo de cauce (continuación)
(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 5-2. Valores del caudal promedio de precipitaciones en extremos de tramos de cauces

Tramo N°	Tipo de cuenca asociada al tramo	Caudal de prec. prom. de entrada al tramo [m^3/s]	Caudal de prec. prom. de salida del tramo [m^3/s]	Caudal de prec. prom. [m^3/s] (prom. asociado al tramo)
1	Cabecera	0.850	3.802	2.326
2	Cabecera	0.756	3.704	2.230
3	Intermedia	7.505	10.423	8.964
4	Cabecera	0.596	1.408	1.002
5	Cabecera	0.471	0.746	0.608
6	Intermedia	2.154	4.362	3.258
7	Intermedia	14.785	16.531	15.658
8	Cabecera	0.531	1.595	1.063
9	Intermedia	18.126	19.477	18.801
10	Cabecera	0.560	1.404	0.982
11	Cabecera	1.001	4.191	2.596
12	Intermedia	5.594	8.405	7.000
13	Cabecera	0.573	1.816	1.195
14	Cabecera	0.480	1.857	1.168
15	Intermedia	3.673	4.907	4.290
16	Intermedia	13.312	13.419	13.365
17	Cabecera	0.430	0.578	0.504
18	Intermedia	13.997	15.145	14.571
19	Cabecera	0.813	1.383	1.098
20	Intermedia	16.528	17.507	17.018
21	Cabecera	0.641	1.005	0.823
22	Intermedia	18.512	19.087	18.799
23	Cabecera	0.478	0.561	0.520
24	Intermedia	19.648	19.673	19.660

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 5-3. Valores de caudales promedios de precipitaciones en tramos aguas arriba de estaciones fluviométricas

Tramo N°	Estación fluviométrica	Caudal de prec. prom. de entrada al tramo [m^3/s]	Caudal de prec. prom. de salida del tramo [m^3/s]	Caudal de prec. prom. [m^3/s] (prom. asociado al tramo)
1_ef	Río Sobrante en Piñadero	0.850	3.070	1.960
2_ef	Río Pedernal en Tejada	0.756	0.997	0.877
3_ef	Río Petorca en Peñon o Hierro Viejo	7.505	9.805	8.655
9_ef	Rio Petorca en longotoma o puente ff	18.126	19.337	18.731
11_ef	Río Alicahue en Colliguay	1.001	3.871	2.436
22_ef	Río Ligua en Quinquimo	18.512	18.696	18.604

(Fuente: Elaboración propia)

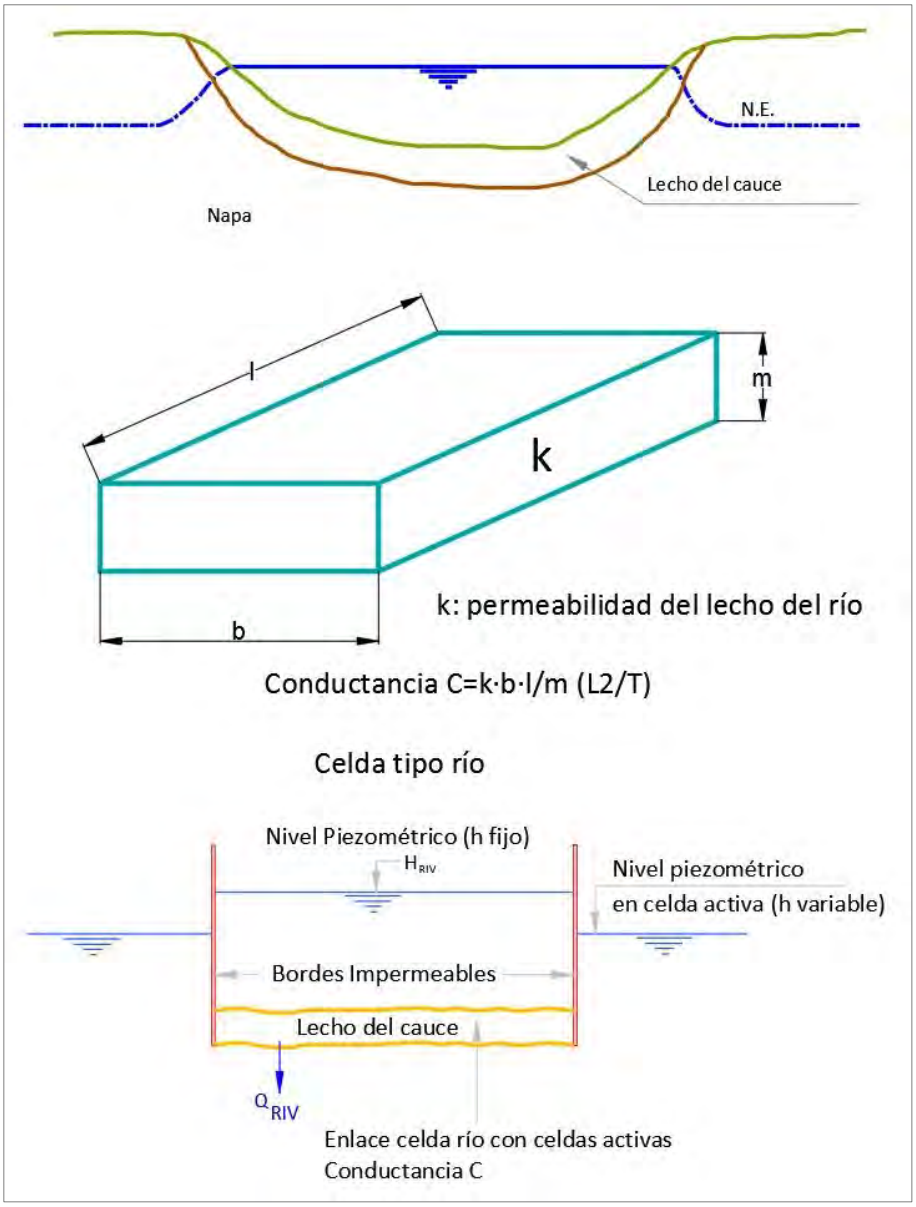


Figura 5-6. Conductancia en celdas río
(Fuente: Elaboración propia)

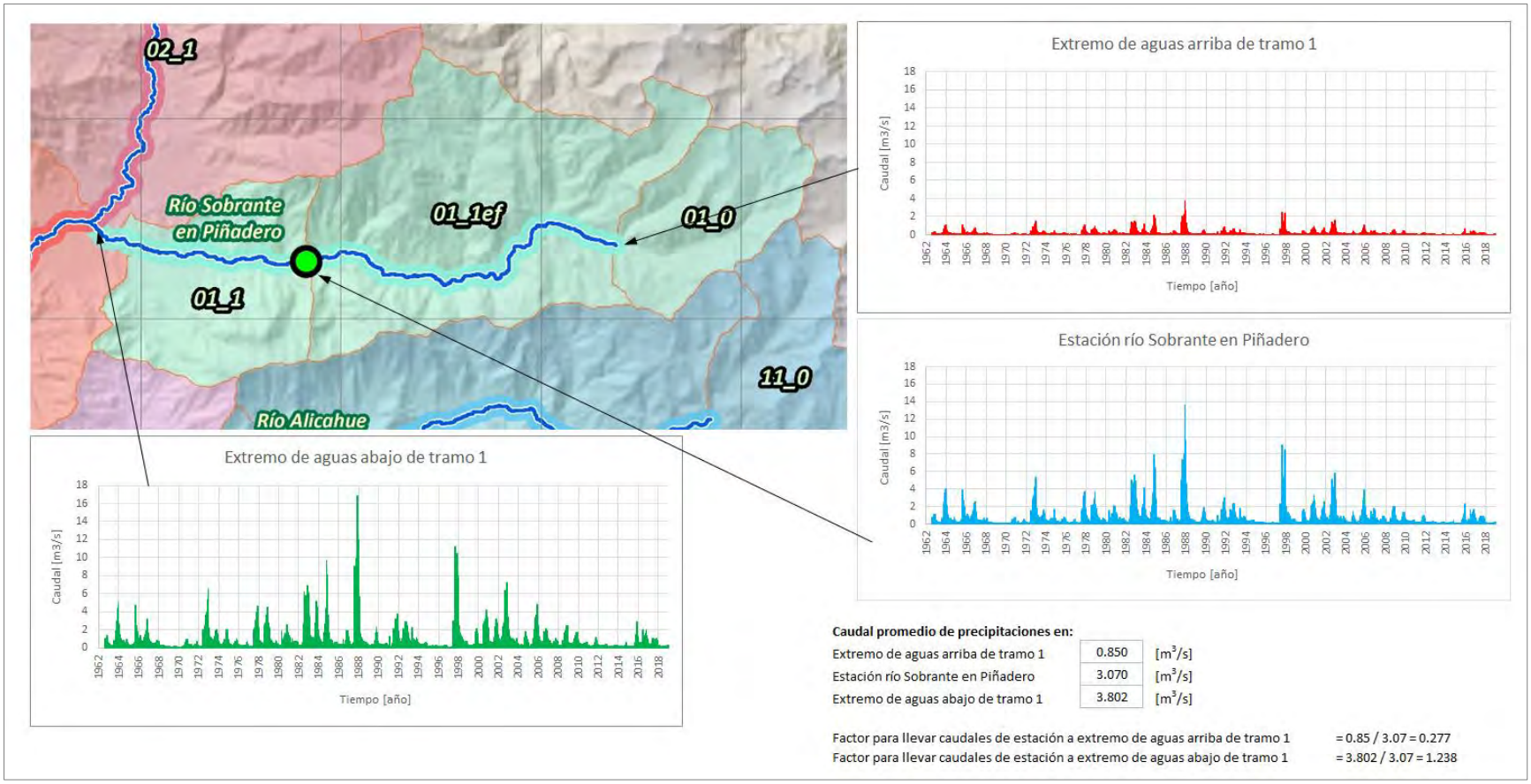
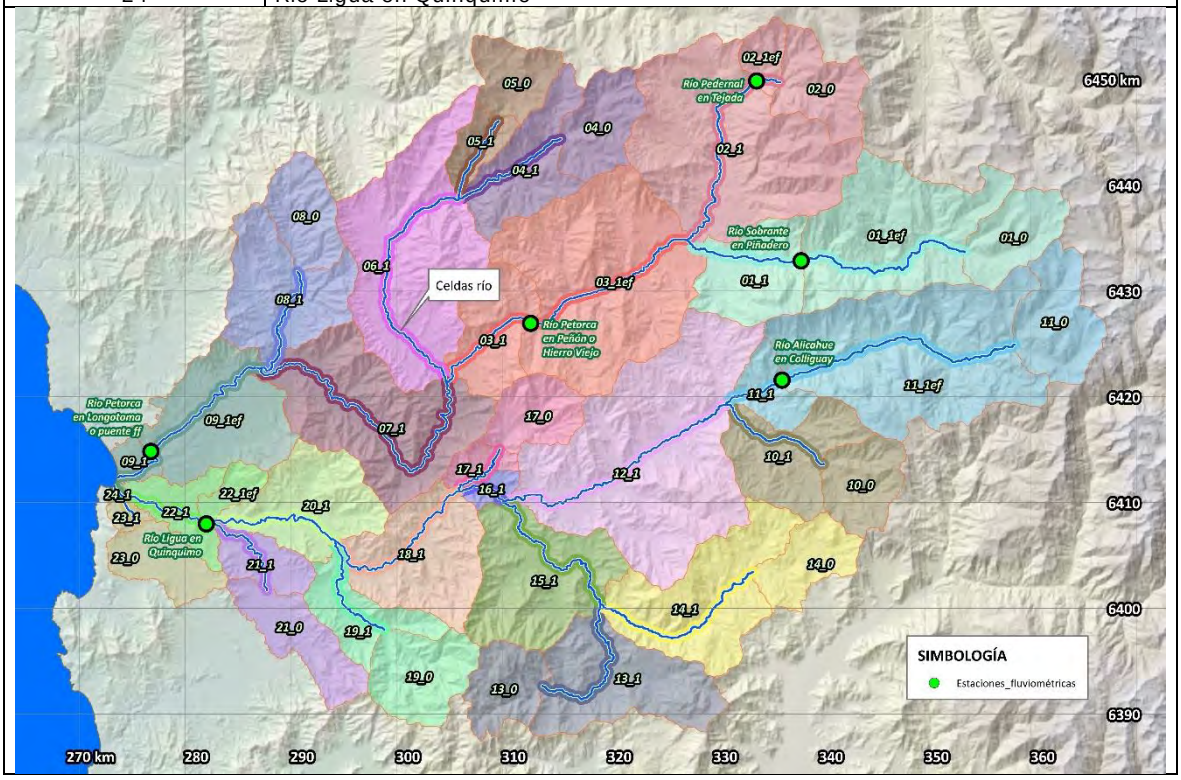


Figura 5-7. Ejemplo de extrapolación de caudales
de estación fluviométrica a extremos de tramos de cauces modelados
(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 5-4. Estaciones fluviométricas asociadas a cada tramo de cauce

Tramo N°	Estación fluviométrica asociada al tramo
1	Río Sobrante en Piñadero
2	Río Pedernal en Tejada
3	Río Petorca en Peñón o Hierro Viejo
4	Río Pedernal en Tejada
5	Río Pedernal en Tejada
6	Río Pedernal en Tejada
7	Río Petorca en Peñón o Hierro Viejo
8	Río Petorca en Peñón o Hierro Viejo
9	Rio Petorca en Longotoma o puente ff
10	Río Alicahue en Colliguay
11	Río Alicahue en Colliguay
12	Río Ligua en Quínquimo
13	Río Alicahue en Colliguay
14	Río Alicahue en Colliguay
15	Río Ligua en Quínquimo
16	Río Ligua en Quínquimo
17	Río Ligua en Quínquimo
18	Río Ligua en Quínquimo
19	Río Ligua en Quínquimo
20	Río Ligua en Quínquimo
21	Río Ligua en Quínquimo
22	Río Ligua en Quínquimo
23	Río Alicahue en Colliguay
24	Río Ligua en Quínquimo



(Fuente: Elaboración propia)

5.3.2 Representación del mar

Ambos ríos, La Ligua y Petorca fluyen de este a oeste, desembocando en el océano Pacífico. El modelo incluye las cuencas hidrológicas completas de ambos ríos, por consiguiente, es

necesario representar la descarga de éstos, junto con la descarga de los flujos subterráneos de los acuíferos, que también desembocan en el mar.

Para ello, se representó el borde costero, usando celdas de nivel constante, con elevación 0 msnm.

5.3.3 Afloramientos

Los afloramientos se modelaron con celdas dren y se incorporaron en las zonas bajas del relleno sedimentario en torno a los cauces principales.

5.4 BOMBEOS EN EL TIEMPO

5.4.1 Datos obtenidos de catastros

Los datos del bombeo de agua subterránea fueron obtenidos del catastro realizado en el estudio de la primera referencia[10], el cual fue actualizado en una campaña de terreno en julio de 2012, que fue parte del estudio de la segunda referencia[11].

En el estudio citado, los datos de explotación de agua subterránea se obtuvieron de encuestas realizadas en terreno; se catastraron las captaciones existentes en el área. Entre éstas se identificaron pozos profundos, norias, punteras, drenes y zanjas, además de captaciones mixtas, tales como norias-drenes.

Los caudales de bombeo se estimaron según la información recopilada en las encuestas; entre los antecedentes consultados se encuentra el caudal de bombeo y la frecuencia de uso en semestres de verano (octubre-marzo) e invierno (abril-septiembre).

Los datos obtenidos fueron rellenados según una metodología probabilística. Ésta consiste en obtener la distribución de probabilidad de mejor ajuste para cada variable que se requiera rellenar, usando para ello la muestra de datos conocidos. Luego se usa la función densidad de probabilidad acumulada inversa, correspondiente a la distribución de probabilidad de mejor ajuste, para obtener un valor aleatorio de la variable a rellenar. El dato de entrada para evaluar la función inversa con fines de relleno, es un número rándom entre 0 y 1.

Las extracciones semestrales calculadas, fueron distribuidas mensualmente según las distribuciones promedio del riego superficial simulado con el MOS[12] y partiendo de la fecha de construcción de cada captación.

El proceso efectuado, en el estudio de la referencia11, permitió generar reglas de extracción mensuales para 1136 captaciones en la cuenca del río Petorca y 1050, en la cuenca del río La Ligua.

[10] Estudio Diagnóstico de los recursos subterráneos en el sistema hídrico Ligua y Petorca, GCF-CNR 2011.
[11] Mejoramiento de agua subterránea para riego Ligua y Petorca, GCF-CNR, 2013.
[12] Modelo de operación del sistema (MOS), incluido en: Estudio Modelación integral de los recursos hídricos de los valles de los ríos la Ligua y Petorca. Elaborado por P. Isensee para la Dirección de Obras Hidráulicas en 2004.

5.4.2 Datos obtenidos de derechos

Por otro lado, se analizaron los datos de derechos de aguas subterráneas del área de estudio. Para ello, se usó una planilla de datos de expedientes de derechos entregada por el departamento de estudios de la DGA.

La tabla incluida en la planilla contiene información de 4073 expedientes (14189 l/s). De esos expedientes, 144 captaciones no tienen coordenadas (650 l/s). Esto se debe, probablemente, a que los derechos más antiguos eran ingresados con una descripción cualitativa de su ubicación.

Entre los 3929 expedientes restantes, 945 de ellos, corresponden a captaciones que tienen las mismas coordenadas de captaciones asociadas a otros expedientes (2024 l/s). Lo anterior significa que, la misma captación se registró (en la planilla de derechos) más de una vez. Esto pudo ocurrir para rectificar datos objetados o completar datos faltantes. Sin embargo, en el listado de derechos, dicho reingreso, queda incorporado como otra entrada, lo que induce a duplicar (o incluso a repetir más de una vez) algunas captaciones, en la cuantificación de los caudales totales de derechos otorgados (2024 l/s). Para corregir aquello, se organizó la información en base a las coordenadas y a las fechas, se asumió que las captaciones con las mismas coordenadas corresponden a una única captación y se descartaron las que tienen coordenadas repetidas con fechas anteriores. De ese filtrado, quedaron 2984 expedientes (11485 l/s).

Se obtuvieron los caudales asociados a cada expediente, de la columna "Caudal otorgado final [l/s]". Existen 188 expedientes, cuyas captaciones aparecen con caudal nulo. Entre los restantes, 71 expedientes no tienen fecha asociable (375 l/s). Tanto los expedientes con caudal nulo y sin fecha, fueron excluidos. De esa forma, se llegó a un total de 2725 derechos otorgados (11109 l/s). De éstos, 1253 derechos se ubican en la cuenca del río La Ligua (6344 l/s) y 1472, en Petorca (4766 l/s).

Se definió la variable caudal de derecho mensual, para un mes t del período histórico, como la suma acumulada de caudales otorgados hasta el mes t.

5.4.3 Correlación de catastro con derechos

Se correlacionaron los caudales de bombeo promedios anuales, obtenidos del catastro del estudio anterior, con los caudales promedios otorgados, acumulados cada año y con dicha correlación, se extendieron los bombeos del catastro hasta diciembre de 2018. A los caudales de bombeo extrapolados en función de los derechos, se les asoció la variación promedio mensual del período 1979-2013. Es decir, se calcularon las proporciones mensuales de los bombeos del catastro, con relación al promedio anual y esas proporciones se usaron para estimar los caudales mensuales extrapolados anualmente, en función de los caudales de derechos acumulados.

Luego, se escalaron los caudales promedios de derechos otorgados, acumulados para cada mes, del período comprendido entre enero de 1979 y diciembre de 2018, usando los caudales de bombeo estimados con los datos del catastro del estudio anterior.

Los resultados obtenidos (ver Figura 5-8), se pueden interpretar como los bombeos efectivos, desde las captaciones con derechos otorgados. Se debe tener presente que las captaciones con derechos otorgados consideradas, corresponden a aquellas seleccionadas, tras el proceso de filtrado, descrito en el punto anterior. Con la metodología expuesta, se

logró mantener los volúmenes de extracción, calculados en el estudio anterior, extrapolados hasta diciembre de 2018, pero dichas extracciones se asociaron a los puntos con derechos, que son los mismos puntos a evaluar al operar el modelo para escenarios futuros.

Según los cálculos efectuados, el uso de los derechos otorgados es más intensivo en la cuenca del río La Ligua, puesto que en varios meses el bombeo efectivo coincide con el bombeo otorgado. En Petorca, el bombeo efectivo, corresponde a una menor proporción del caudal de derecho (ver Figura 5-8).

El desarrollo agrícola de la zona, la incorporación de nuevas áreas de cultivo (laderas de cerros, por ejemplo), ha generado un incremento de la demanda hídrica. La mayor demanda, se ha suplido, parcialmente, con la construcción de nuevas captaciones de agua subterránea. Esto ha originado un aumento progresivo de los caudales de agua subterránea bombeados en el sistema, tal como se puede apreciar en los gráficos de la Figura 5-8.

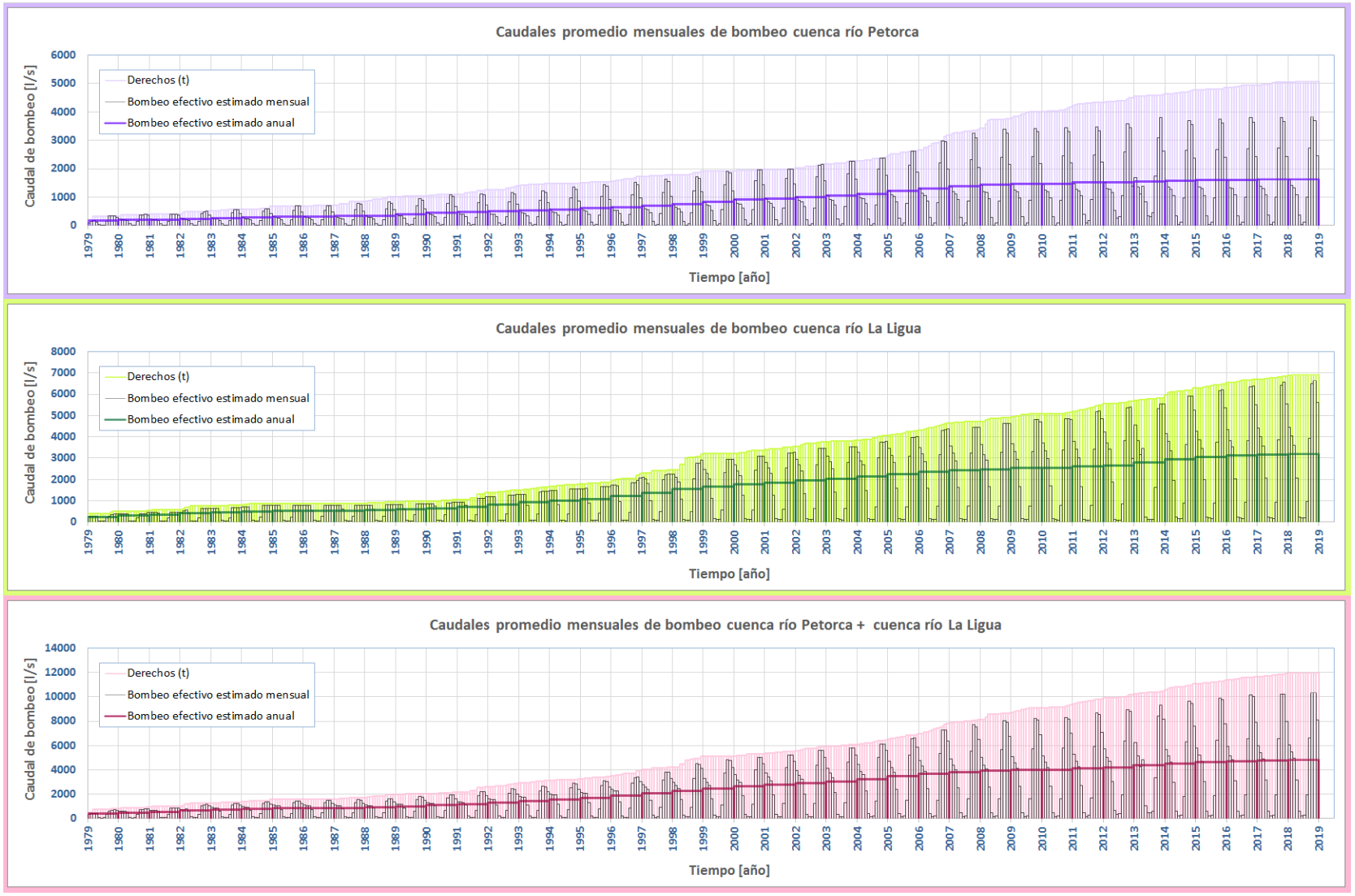


Figura 5-8. Bombeos promedios mensuales históricos estimados
(Fuente: Elaboración propia)

5.5 CONSTRUCCIÓN DE MALLA DE DIFERENCIAS FINITAS

Se construyó el modelo, desarrollado con el programa Groundwater Vistas con Modflow-USG, que incluye los mismos elementos que modelos anteriores, pero con algunas ventajas operativas, frente a Visual Modflow.

Para el objetivo específico de este estudio, GWV/Modflow-USG tiene la ventaja de que permite modelar captaciones y ajustar de forma automática los caudales de extracción, según los resultados transientes de las simulaciones. Con Visual Modflow (con versiones de Modflow previas a Modflow-USG), los caudales se imponen y si éstos exceden los flujos del sistema, las celdas se secan y quedan excluidos de la modelación.

5.6 RECARGAS EFECTIVAS

Como se indicó previamente (punto 4.4), las recargas potenciales provenientes de las precipitaciones y el riego fueron incorporadas al modelo y se redujeron gradualmente, de forma iterativa, hasta verificar que los afloramientos sólo ocurren en los cauces principales.

El proceso de ajuste comenzó con un caudal de recarga total de 2187 l/s y se llegó a un caudal de recarga de 1701 l/s. Con ese valor de recarga, los afloramientos se concentran en los cauces, en promedio la recarga total estimada para la zona de estudio corresponde a un 4.4 % de las precipitaciones. El resto de la precipitación se consume como evapotranspiración de los cultivos regados con agua superficial (canales con derechos), se evapora o fluye superficialmente, llegando al mar.

5.7 NIVELES MEDIDOS

Se cuenta con los datos de niveles medidos de agua subterránea en los pozos de la red de monitoreo de la DGA (ver Figura 5-9). En la Figura 5-10 se muestran los gráficos con los niveles medidos en 38 puntos de control que dispone la DGA en el área de interés. En los gráficos de la Figura 5-10 se han incorporado los niveles adoptados para el estado inicial del sistema. Éste corresponde a un estado promedio de los medios subterráneos, previos a la explotación intensa. Es decir, se podría interpretar como la superficie freática promedio para el período 1950-1979. Con esos niveles, se efectuó la calibración en régimen permanente del modelo numérico.

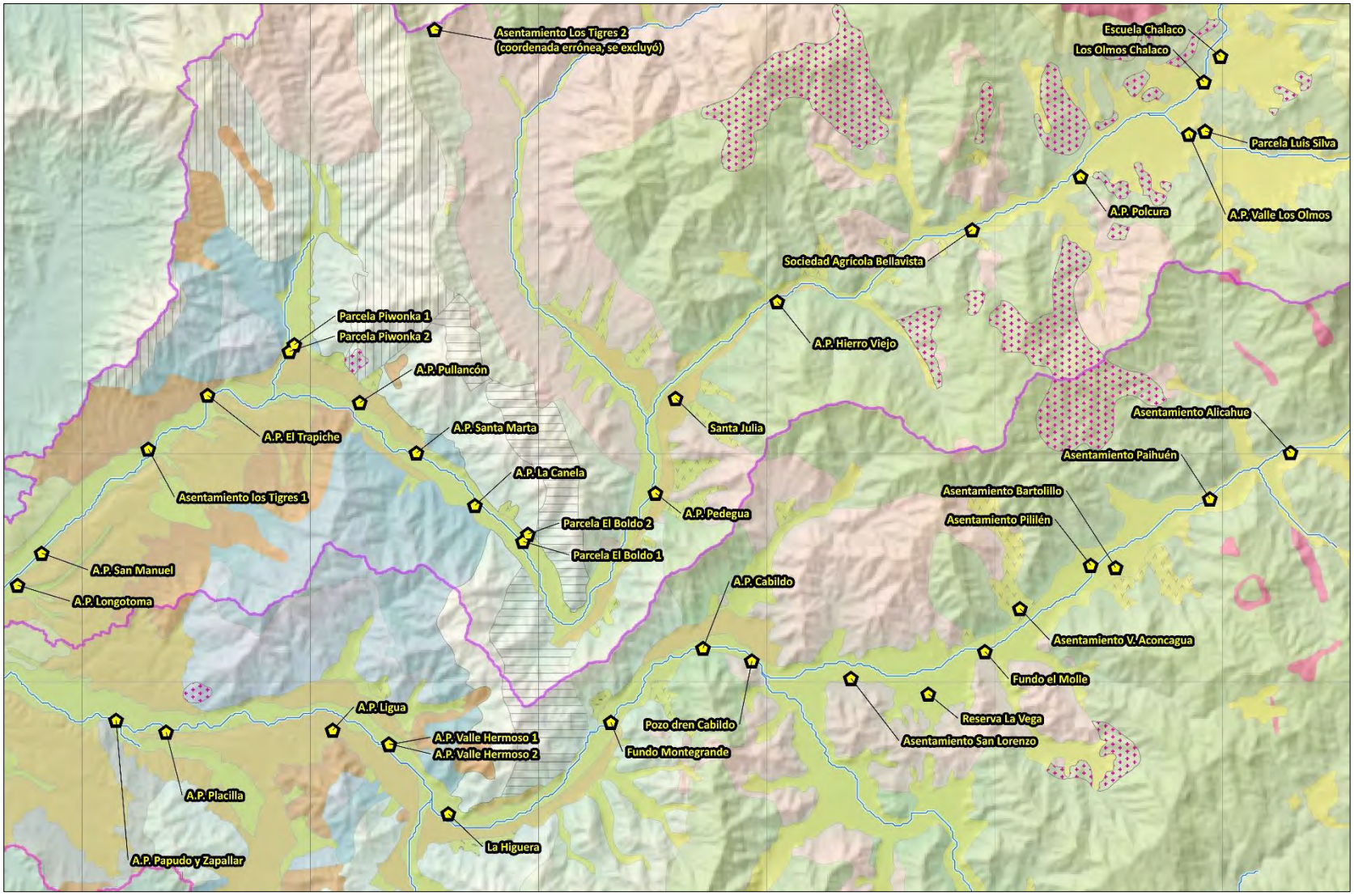


Figura 5-9. Puntos de control de niveles de la red de monitoreo de la DGA, en cuencas de los ríos La Ligua y Petorca
(Fuente: Elaboración propia)

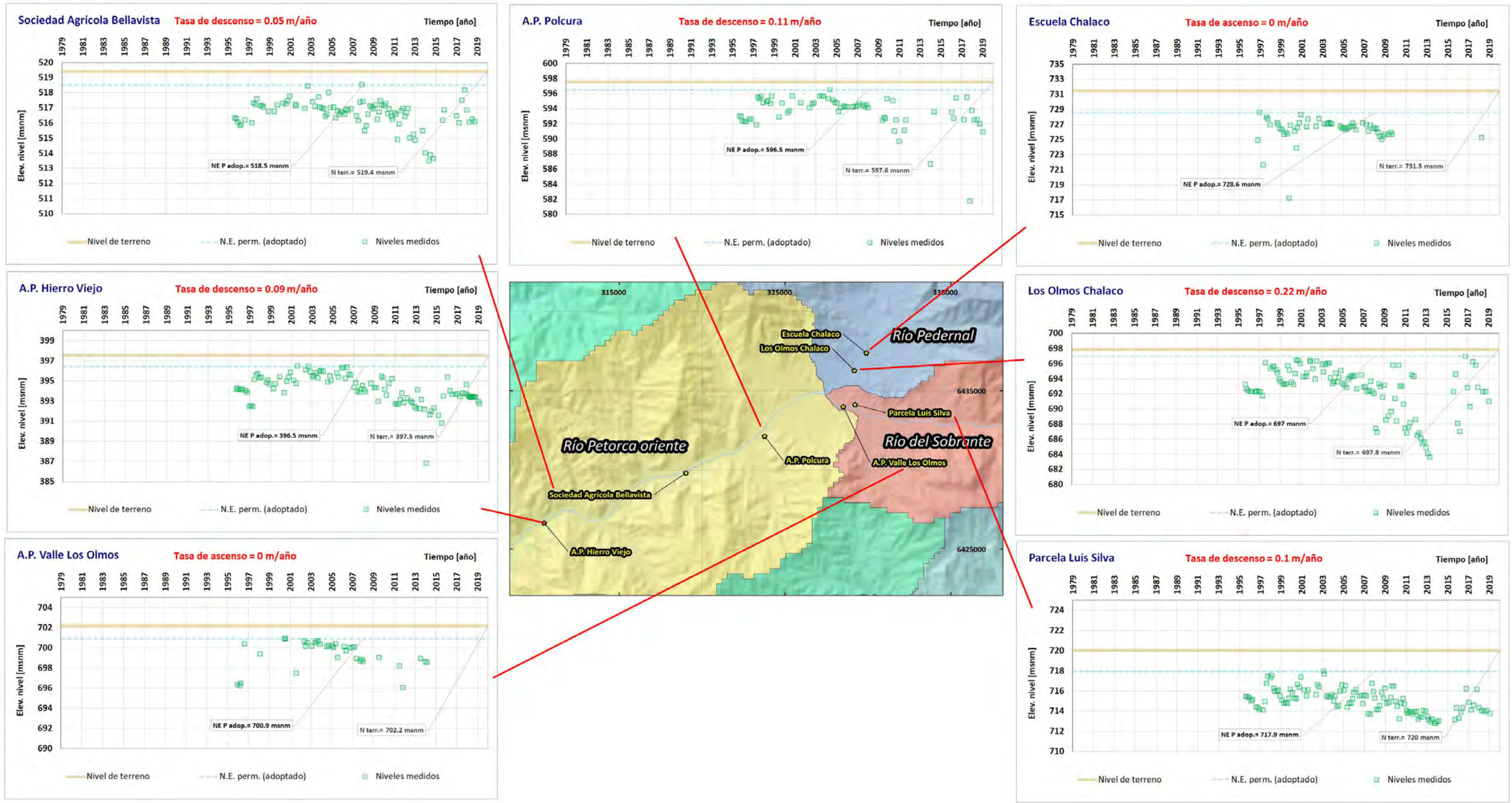


Figura 5-10. Niveles medidos en red de monitoreo de la DGA, cuencas ríos La Ligua y Petorca
(Fuente: Elaboración propia)

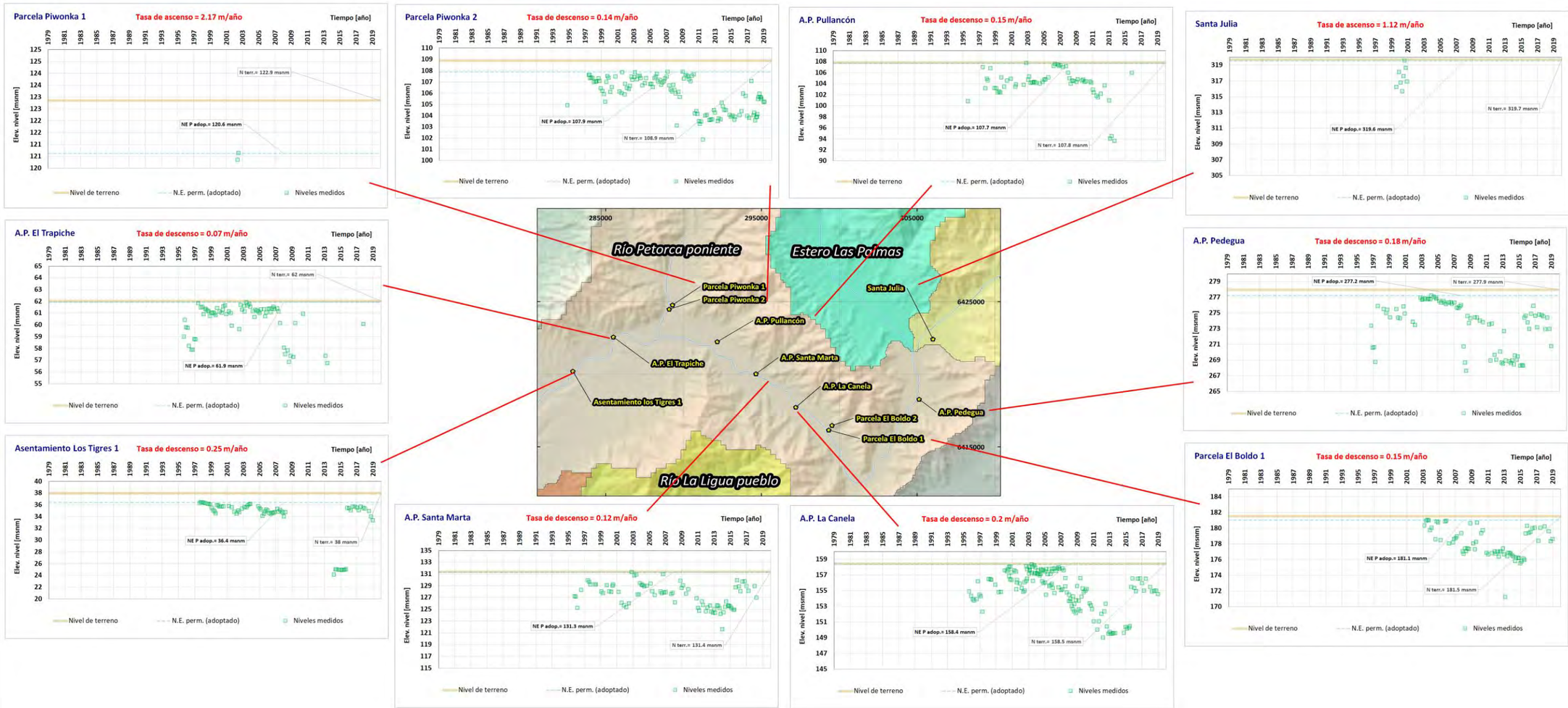


Figura 5-10. Niveles medidos en red de monitoreo de la DGA, cuencas ríos La Ligua y Petorca (continuación)
(Fuente: Elaboración propia)

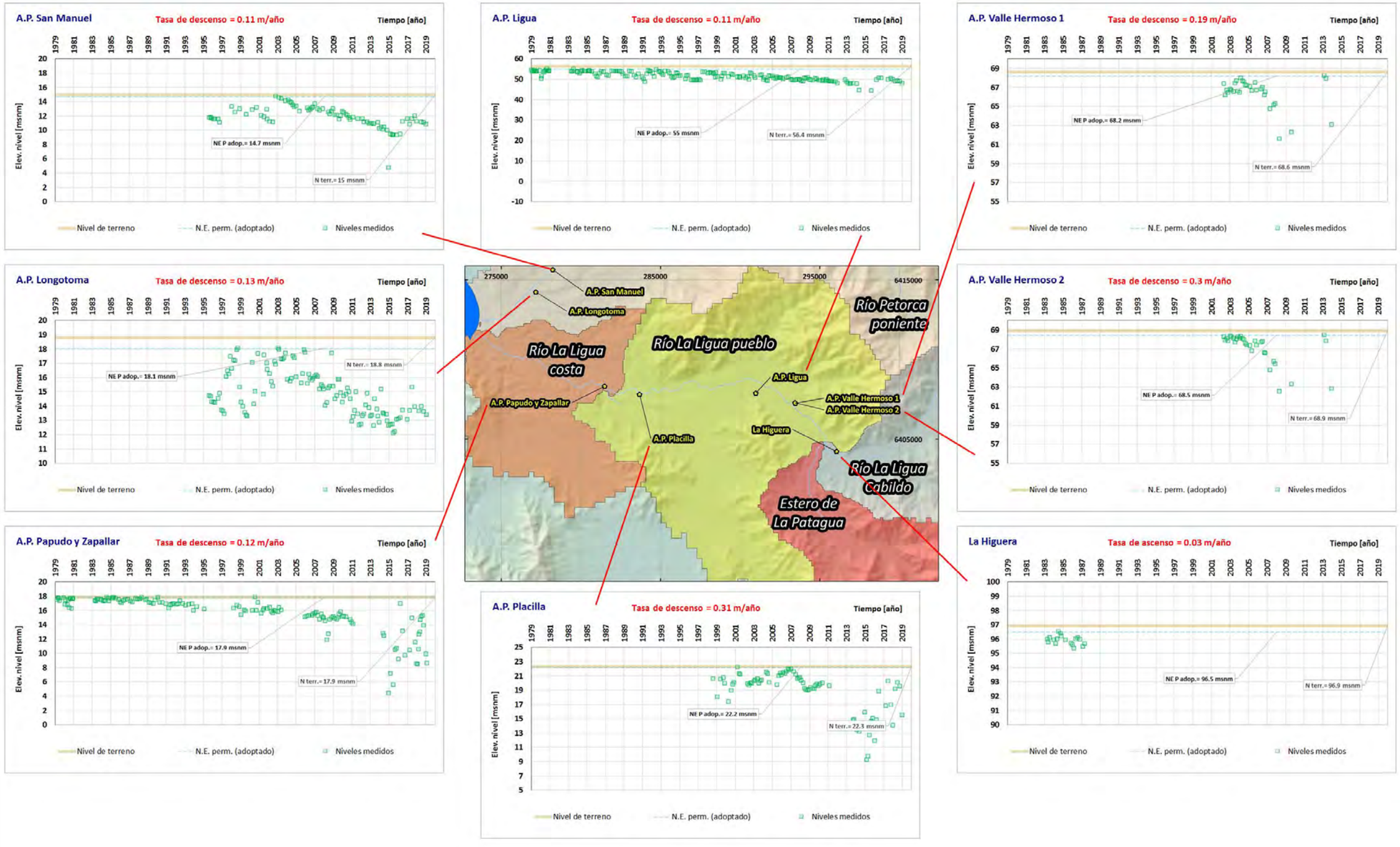


Figura 5-10. Niveles medidos en red de monitoreo de la DGA, cuencas ríos La Ligua y Petorca (continuación) (Fuente: Elaboración propia)

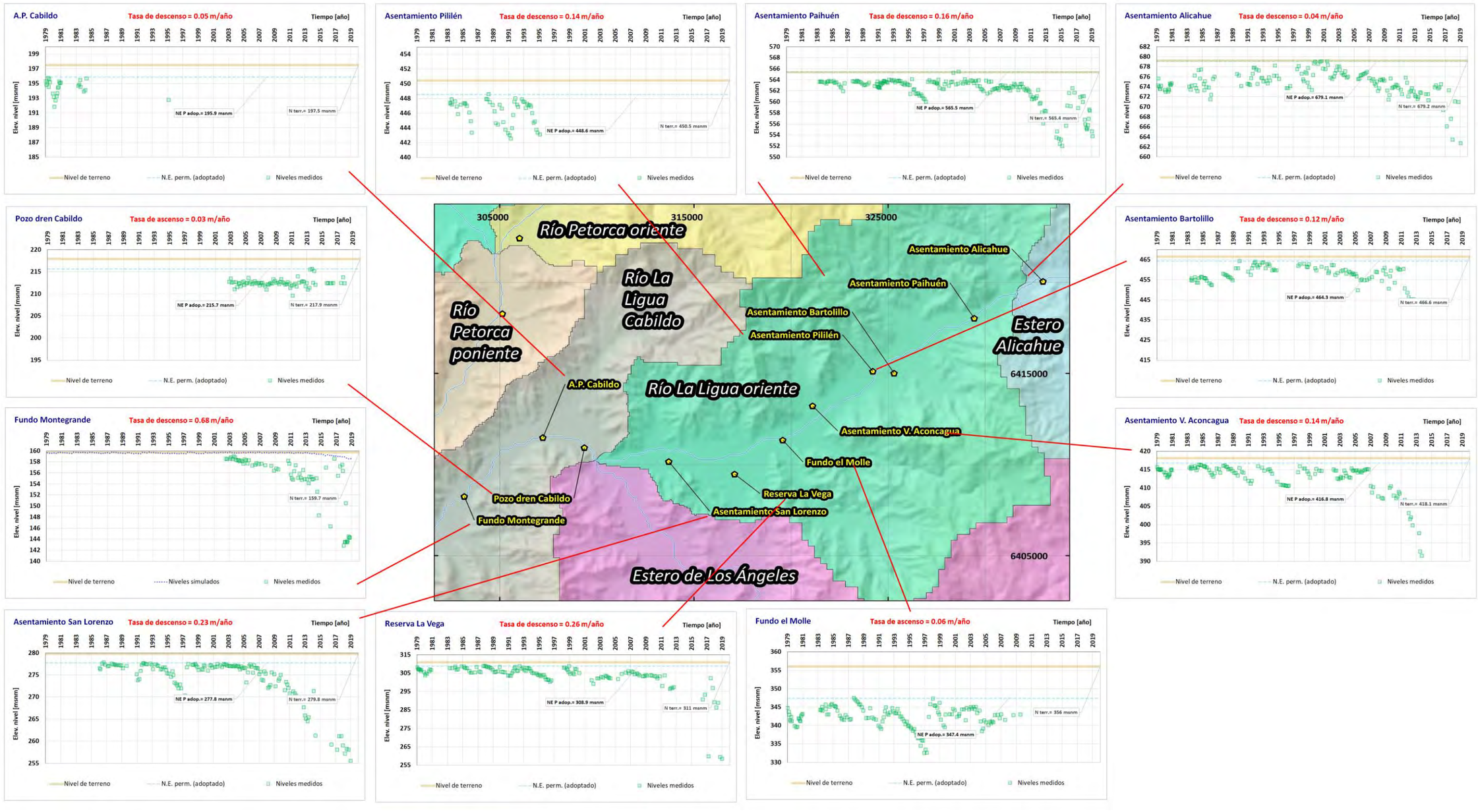
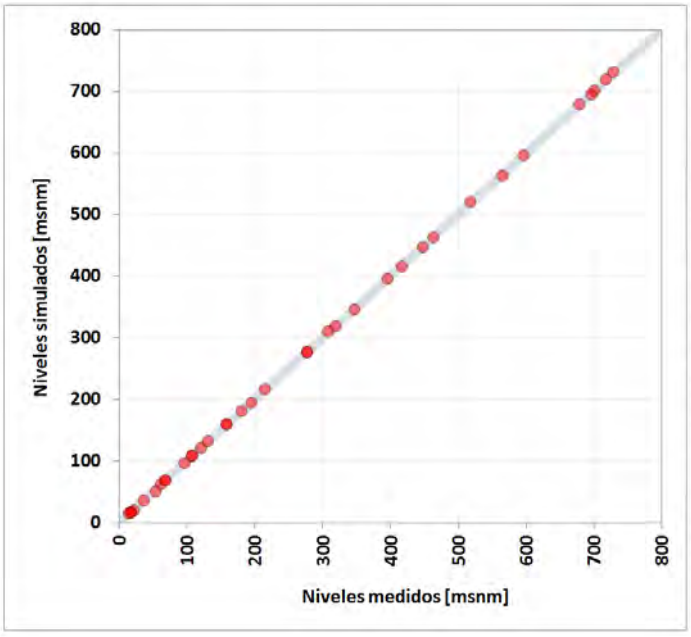


Figura 5-10. Niveles medidos en red de monitoreo de la DGA, cuencas ríos La Ligua y Petorca (continuación) (Fuente: Elaboración propia)

5.8 CALIBRACIÓN PERMANENTE

Se calibraron las permeabilidades del modelo, usando 36 puntos de control. Se cuenta con 38 puntos, sin embargo, dos fueron descartados, porque sus coordenadas son erróneas (Asentamiento Los Tigres 2 y Los Boldos 2, de la red DGA). El régimen permanente, representa un estado promedio del sistema, cuando éste se encontraba en equilibrio. En la Figura 5-11 se muestra el resultado obtenido para la calibración en régimen permanente.

Promedio de diferencias entre los valores absolutos de niveles simulados y medidos (en VMF "Mean abs. err.") [m]	Promedio de diferencias entre los niveles simulados y medidos (en VMF "Mean error") [m]	Error cuadrático medio (en VMF "RMS error") [m]	Error cuadrático medio normalizado (en VMF "Normalized RMS")	Máxima diferencia negativa (sim-med)
1.2 m	**-0.7 m**	**1.6 m**		**5.6 m**
$1/n \cdot \Sigma abs(NE^{sim}-NE^{med})$				
$1/n \cdot \Sigma(NE^{sim}-NE^{med})$			**0.23 %**	Máxima diferencia positiva (sim-med)
$(1/n\Sigma(NE^{sim}-NE^{med})^2)^{0.5}$				**2.3 m**
$[(1/n \cdot \Sigma(NE^{sim}-NE^{med})^2)^{0.5}]/[max(NE^{med})-min(NE^{med})] \cdot 100$				



N°	Pozo	Nivel sim. [msnm]	Nivel med. [msnm]	$\Delta h=h_{sim}-h_{med}$
1	A.P. La Canela	158.4	158.4	0.1
2	A.P. El Trapiche	62.0	61.9	0.1
3	A.P. Longotoma	17.5	18.1	-0.5
4	A.P. Pedegua	276.8	277.2	-0.4
5	A.P. Pullancón	107.8	107.7	0.1
6	A.P. San Manuel	14.7	14.7	0.0
7	A.P. Santa Marta	131.2	131.3	-0.1
8	Escuela Chalaco	730.9	728.6	2.3
9	Parcela Luis Silva	719.6	717.9	1.7
10	Santa Julia	318.3	319.6	-1.3
11	A.P. Hierro Viejo	395.2	396.5	-1.3
12	A.P. Polcura	595.7	596.5	-0.8
13	A.P. Valle Los Olmos	700.5	700.9	-0.4
14	Asentamiento los Tigres 1	35.0	36.4	-1.5
15	Los Olmos Chalaco	694.6	697.0	-2.4
16	Parcela El Boldo 1	180.7	181.1	-0.4
17	Parcela Piwonka 1	121.0	120.6	0.4
18	Parcela Piwonka 2	108.0	107.9	0.1
19	Sociedad Agrícola Bellavista	519.5	518.5	0.9
20	A.P. Cabildo	193.7	195.9	-2.2
21	A.P. Ligua	49.4	55.0	-5.6
22	A.P. Placilla	19.8	22.2	-2.4
23	A.P. Valle Hermoso 1	68.8	68.2	0.6
24	Asentamiento Alicahue	679.2	679.1	0.1
25	Asentamiento Bartolillo	462.3	464.3	-1.9
26	Asentamiento Pililén	447.1	448.6	-1.5
27	Asentamiento San Lorenzo	275.9	277.8	-1.9
28	Fundo el Molle	344.8	347.4	-2.6
29	A.P. Papudo y Zapallar	16.0	17.9	-1.8
30	Asentamiento Paihuén	563.0	565.5	-2.4
31	Asentamiento V. Aconcagua	415.6	416.8	-1.2
32	Fundo Montegrande	159.6	159.0	0.6
33	Pozo dren Cabildo	216.6	215.7	1.0
34	La Higuera	95.8	96.5	-0.7
35	Reserva La Vega	309.9	308.9	1.1
36	A.P. Valle Hermoso 2	68.7	68.5	0.2

Figura 5-11. Ajuste entre niveles medidos y simulados tras calibración permanente
(Fuente: Elaboración propia)

5.9 CALIBRACIÓN IMPERMANENTE

Se operó el modelo para el período comprendido entre enero de 1979 y diciembre de 2018 (40, años, 480 meses). Se incorporó recarga variable mensualmente y celdas río con conductancias variables espacial y temporalmente (a nivel mensual). Esto permitió representar el río seco, usando conductancia nula, en aquellos períodos y tramos de cauces, donde esto ocurrió.

5.9.1 Bombeos en el tiempo

Se ingresaron 2725 captaciones al modelo, con los caudales de extracción estimados, según lo explicado en el punto 5.4. No obstante, al bombear en conjunto las captaciones consideradas, con los caudales determinados, el modelo, según las condiciones de recarga y las propiedades físicas de los medios, definidas por las permeabilidades y los coeficientes de almacenamiento incorporados a la malla, simula descensos de niveles locales, que hacen infactibles algunos bombeos, desde ciertos puntos y períodos (stress periods, meses de primavera y verano principalmente). El paquete CLN, incluido en Modflow-USG, permite abordar esta problemática de forma realista. Los caudales de bombeo se van reduciendo, en un proceso iterativo, si los niveles resultantes con el caudal inicialmente impuesto, generan descensos excesivos (esto es, bajo el fondo de la capa de relleno). Dicho proceso, representa lo que ocurre en la realidad, ya que, al descender los niveles estáticos en torno a una captación, su rendimiento va disminuyendo.

Dada la incertidumbre asociada a la determinación de las reglas de extracción reales, se ajustaron los caudales de bombeo, a magnitudes que permiten que el modelo, con los parámetros ajustados en régimen permanente (permeabilidades, recargas y conductancias de celdas río), simule la superficie freática, sin que se inactiven celdas por secado. De esa forma, se llegó a la distribución final de extracciones que se usó para la calibración transiente del modelo (ver Figura 5-12). En la Figura 5-12, el bombeo inicial corresponde a una condición de extracción infactible. Por otro lado, el bombeo final, corresponde a la extracción ajustada iterativamente, que posibilita la representación de niveles freáticos activos en toda la malla, es decir, sin que se produzca un agotamiento de los acuíferos (en el sistema real) o el secado de celdas (en el modelo).

5.9.2 Niveles simulados

Los resultados de niveles simulados en algunos de los puntos de la red de monitoreo de la DGA, se presentan en la Figura 5-13. Todos los gráficos de los puntos de monitoreo se presentan en le Anexo 9.6.

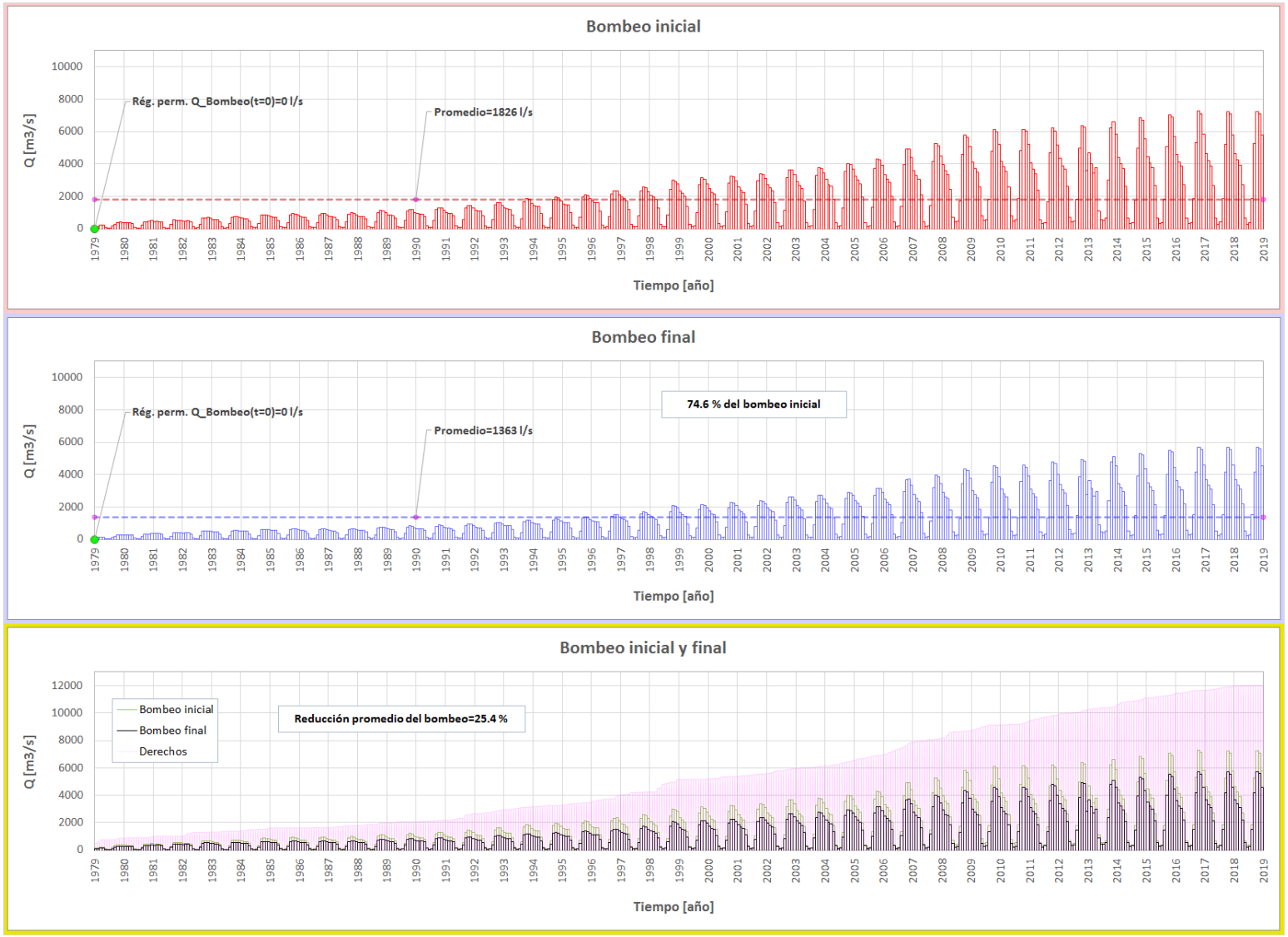


Figura 5-12. Caudales de bombeo para escenario histórico transiente
(Fuente: Elaboración propia)

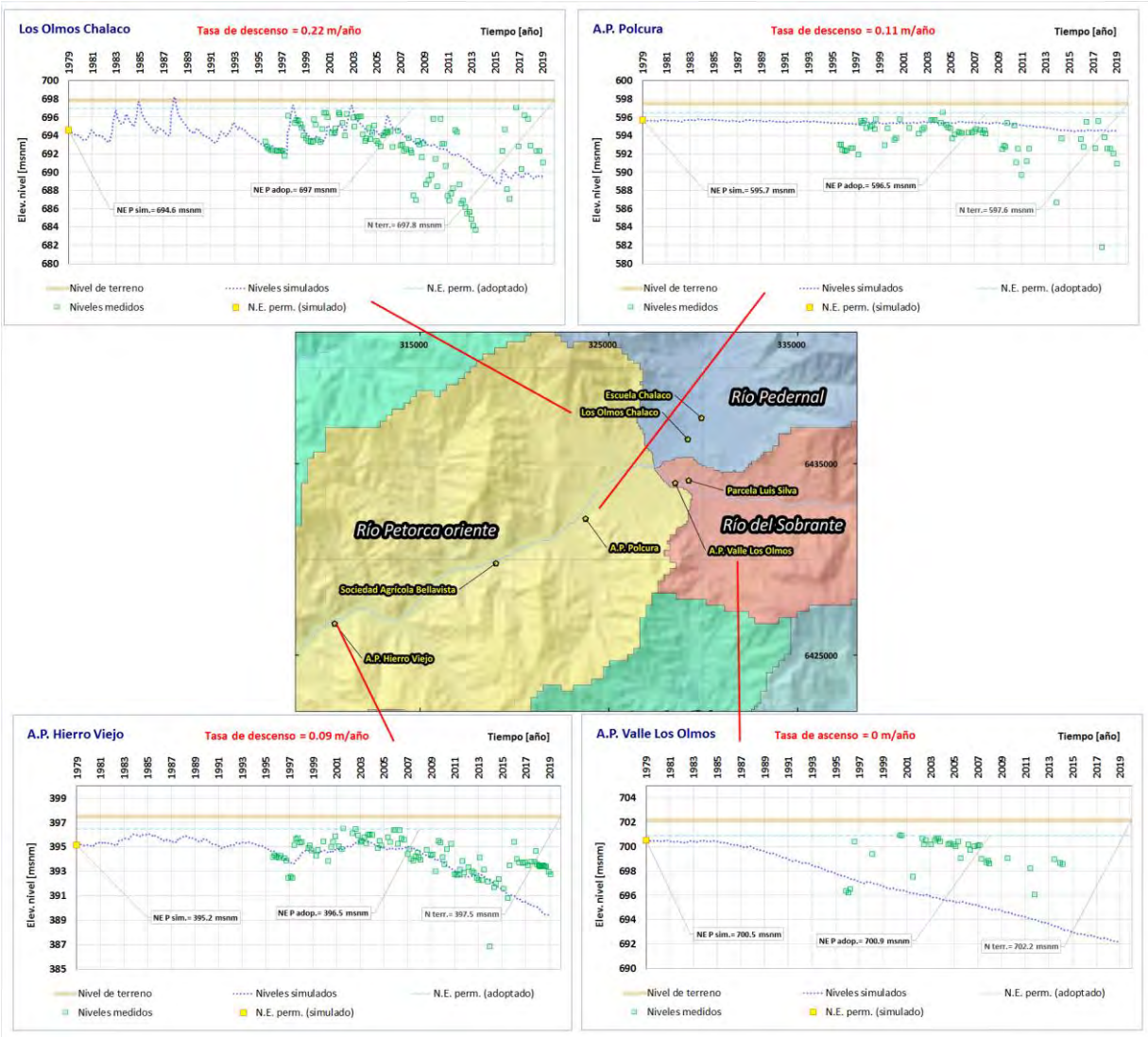


Figura 5-13. Niveles medidos y niveles simulados, en puntos de red de monitoreo DGA escenario histórico, calibración transiente (Fuente: Elaboración propia)

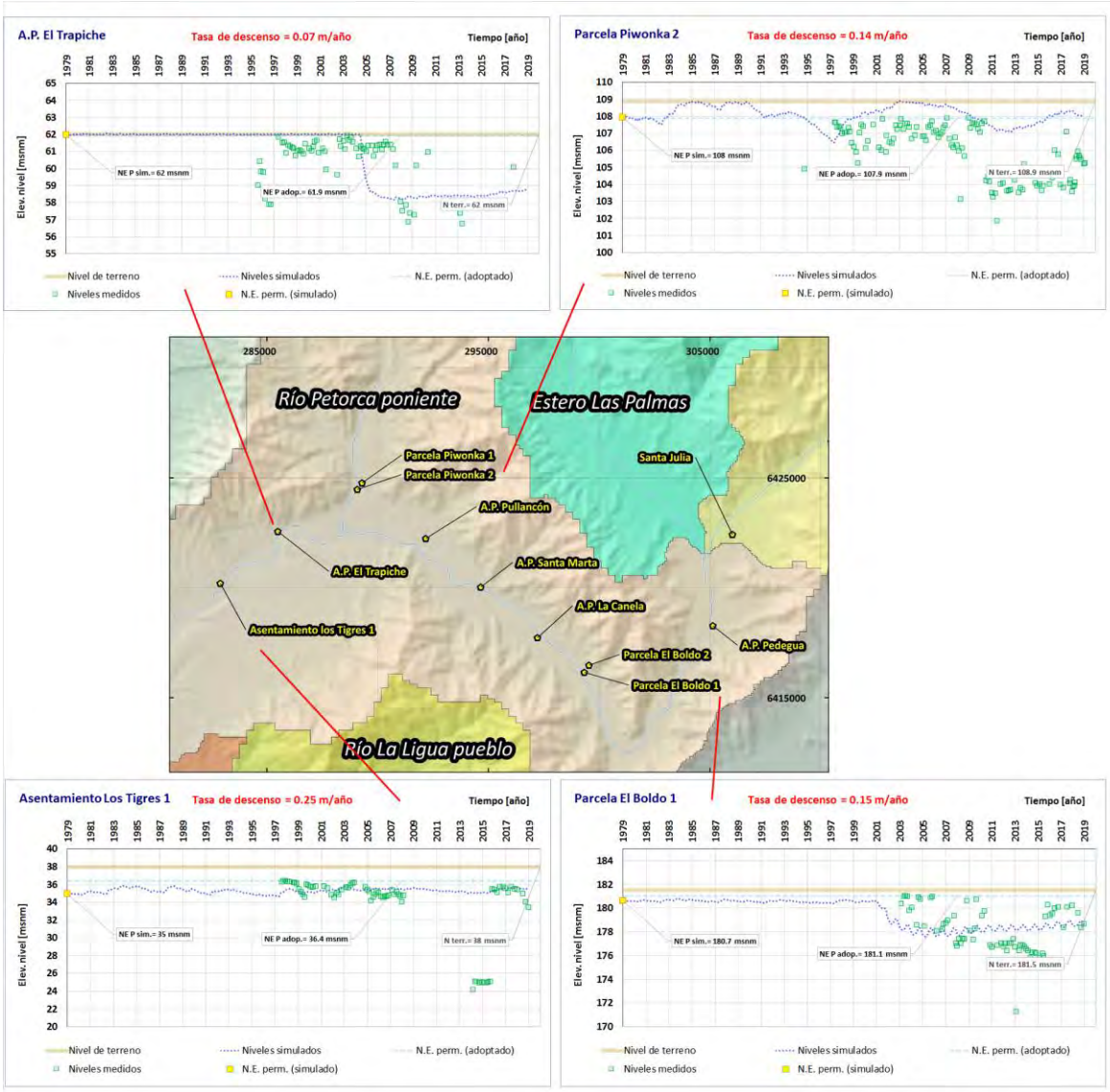


Figura 5-13. Niveles medidos y niveles simulados, en puntos de red de monitoreo DGA escenario histórico, calibración transiente (continuación) (Fuente: Elaboración propia)

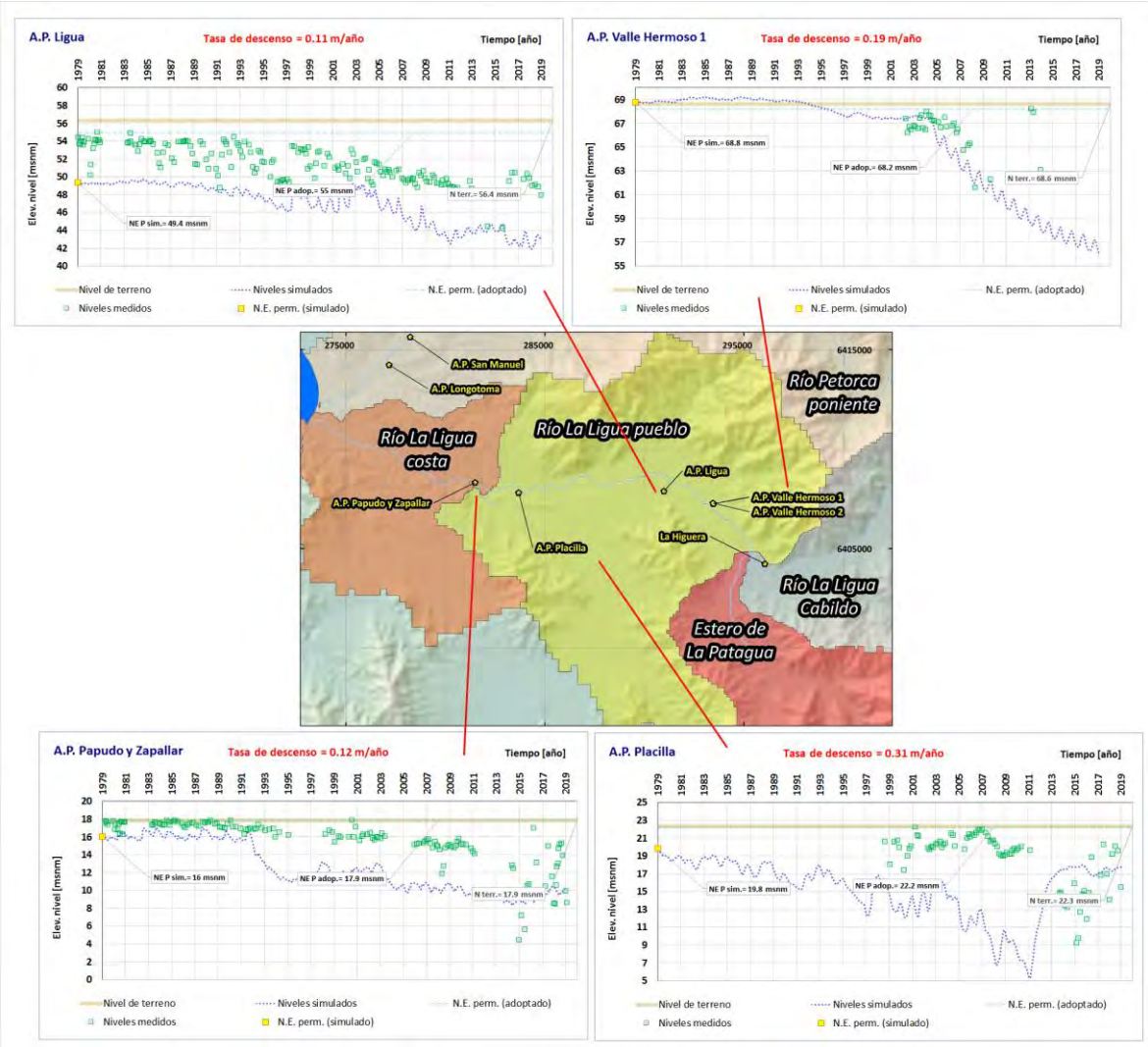


Figura 5-13. Niveles medidos y niveles simulados, en puntos de red de monitoreo DGA escenario histórico, calibración transiente (continuación) (Fuente: Elaboración propia)

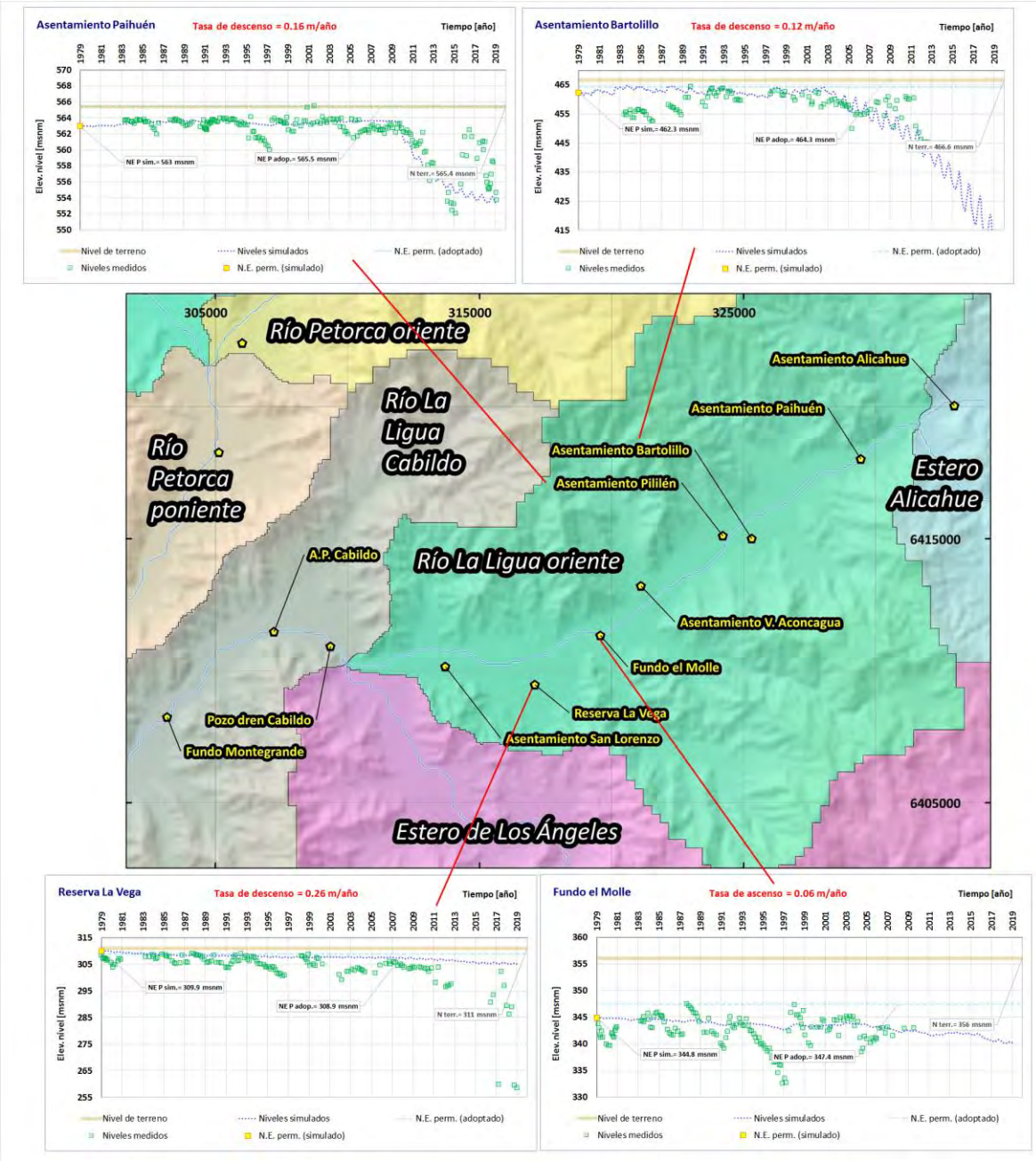


Figura 5-13. Niveles medidos y niveles simulados, en puntos de red de monitoreo DGA escenario histórico, calibración transiente (continuación) (Fuente: Elaboración propia)

5.10 RESULTADOS ESCENARIO HISTÓRICO

5.10.1 Balance global

En la Figura 5-14 se presentan los gráficos de cada componente del flujo subterráneo, para todo el dominio activo modelado, es decir, el balance global, integrando ambas cuencas (de los ríos Petorca y La Ligua).

Para visualizar los resultados se subdividió el período histórico en 3 subperíodos:

1) Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)
2) Transición 1994-2008 (15 años)
3) Actual 2009-2018 (10 años)

Las componentes del flujo, graficadas en la Figura 5-14, son:

Consumo de volumen almacenado (S^{IN}): Reducción del volumen de agua almacenada subterráneamente.

Aporte al volumen almacenado (S^{OUT}): Aumento del volumen de agua almacenada subterráneamente.

Intuitivamente, se podría pensar que S^{IN} debería corresponder al aumento en el volumen almacenado y S^{OUT} a la reducción del mismo. Sin embargo, el balance en todas las versiones de Modflow se plantea de forma abstracta. Esto es, considerar el volumen almacenado como un elemento más, externo a un volumen de control abstracto, para el que se efectúa el cálculo. Luego, ese elemento externo (el almacenamiento), puede aportar o recibir agua, para el cálculo del balance. Es por ello que, si se reduce el volumen almacenado, es decir, si existe un "aporte" de agua desde el almacenamiento al balance total, se considera como entrada (IN).

ΔS Neto [(+) Consumo / (-) Aporte]: Variación neta del almacenamiento (S^{IN}-S^{OUT}): Si es <0, aumenta el volumen de agua almacenada subterráneamente. Si es >0, se reduce el volumen de agua almacenada subterráneamente.

Bombeo de captaciones de agua subterránea (QB): Son las extracciones desde captaciones de agua subterránea.

Recarga distribuida superficial (R): Es la recarga distribuida superficial, incluye la infiltración de precipitaciones y las pérdidas por infiltración del sistema de riego.

Aporte desde cauces superficiales a acuíferos, flujo río-napa (RN^{IN}): Es el aporte a los medios subterráneos proveniente de la escorrentía superficial en cauces. Representado con celdas río (river cells).

Recarga total (distribuida + aporte río-napa) (R+RNIN): Es la recarga distribuida superficial más el aporte desde la escorrentía superficial.

Afloramientos (Af): Son los flujos surgentes en zonas donde los niveles freáticos exceden el nivel de terreno. Se producen en torno a los cauces y representan recuperaciones del flujo superficial, pero fuera de los cauces mismos. Representado con celdas dren con elevación coincidente con el nivel de terreno (drain cells).

Afloramientos (al flujo superficial de cauces), flujo napa-río (RN^{OUT}): Son las recuperaciones o afloramientos de agua subterránea en los cauces. Representado con celdas río (river cells).

Total afloramientos y recuperaciones ($Af+RN^{OUT}$): Son los afloramientos o recuperaciones fuera de los cauces más las recuperaciones que ocurren en los cauces mismos.

Flujo río-napa neto (RN^{IN}-RN^{OUT}): Es el aporte neto desde la escorrentía superficial a los medios subterráneos. Si es <0, son recuperaciones o afloramientos. Si es >0, la escorrentía superficial aporta a la subterránea.

Flujo subterráneo de salida al mar (FM): Flujo subterráneo pasante de descarga hacia el mar. Representado con celdas de nivel constante (constant head, con z=0 msnm).

Error porcentual: Es la diferencia porcentual entre el total de los flujos de entrada con el total de flujos de salida. Según la guía del SEA, no debe exceder ±1%.

En cada gráfico de la Figura 5-14 se han incorporado los promedios de cada componente para los 3 subperíodos. Por ejemplo, se observa de forma directa que los bombeos entre el subperíodo de transición y el actual, casi se duplicaron (de 1.56 a 2.73 m^3/s), lo que explica en gran medida el estado actual del sistema.

La variación neta del almacenamiento muestra peaks negativos, que corresponden a los aportes al volumen almacenado subterráneamente. Éstos ocurren en los meses de invierno, debido a la infiltración directa de las precipitaciones y al flujo río-napa, que se produce desde los cauces, cuando éstos conducen la escorrentía pluvial. En los meses restantes, la variación neta del almacenamiento se invierte, es decir, es positiva, y representa el desagüe de los medios subterráneos como afloramientos, flujo napa-río o bombeo. Este esquema de funcionamiento se mantiene en toda la simulación histórica, no obstante, en el pseudo equilibrio, la variación neta promedio es de 128 l/s, que es un caudal menor, que sustenta el bombeo promedio de este período (502 l/s). En un equilibrio real (sin bombeo), la variación promedio del almacenamiento neto, debería tender a cero.

Los afloramientos y las recuperaciones también han sufrido un cambio drástico entre el pseudo equilibrio y el subperíodo actual (de 2.9 a 1.4 m^3/s).

El flujo neto río-napa, que en el pseudo equilibrio era mayoritariamente recuperaciones, cambió de signo y en el estado actual es predominantemente infiltración, debido a los descensos de los niveles, que permiten aportes desde el río a los acuíferos (de -1.34 a +0.28 m^3/s), los meses en que existe escorrentía superficial.

La recarga distribuida, de origen superficial, se ha mantenido estable en todo el período histórico (≈1.7 m^3/s), puesto que depende las precipitaciones y del riego, los que en promedio han mantenido variado poco en los últimos 40 años, a pesar de las restricciones del suministro hídrico que ha sufrido la explotación agrícola, por la sobreexplotación del agua subterránea.

5.10.2 Balances por S.H.A.C.

En la Figura 5-15 se muestran los 12 sectores de aprovechamiento común. En el Anexo 9.5.2, se incluyen los resultados graficados de los balances para el período histórico y desagregados según los sectores hidrogeológicos.

En los gráficos presentados en el anexo, es posible observar las variaciones descritas a nivel global, pero con las diferencias dadas por las particularidades de cada sector hidrogeológico.

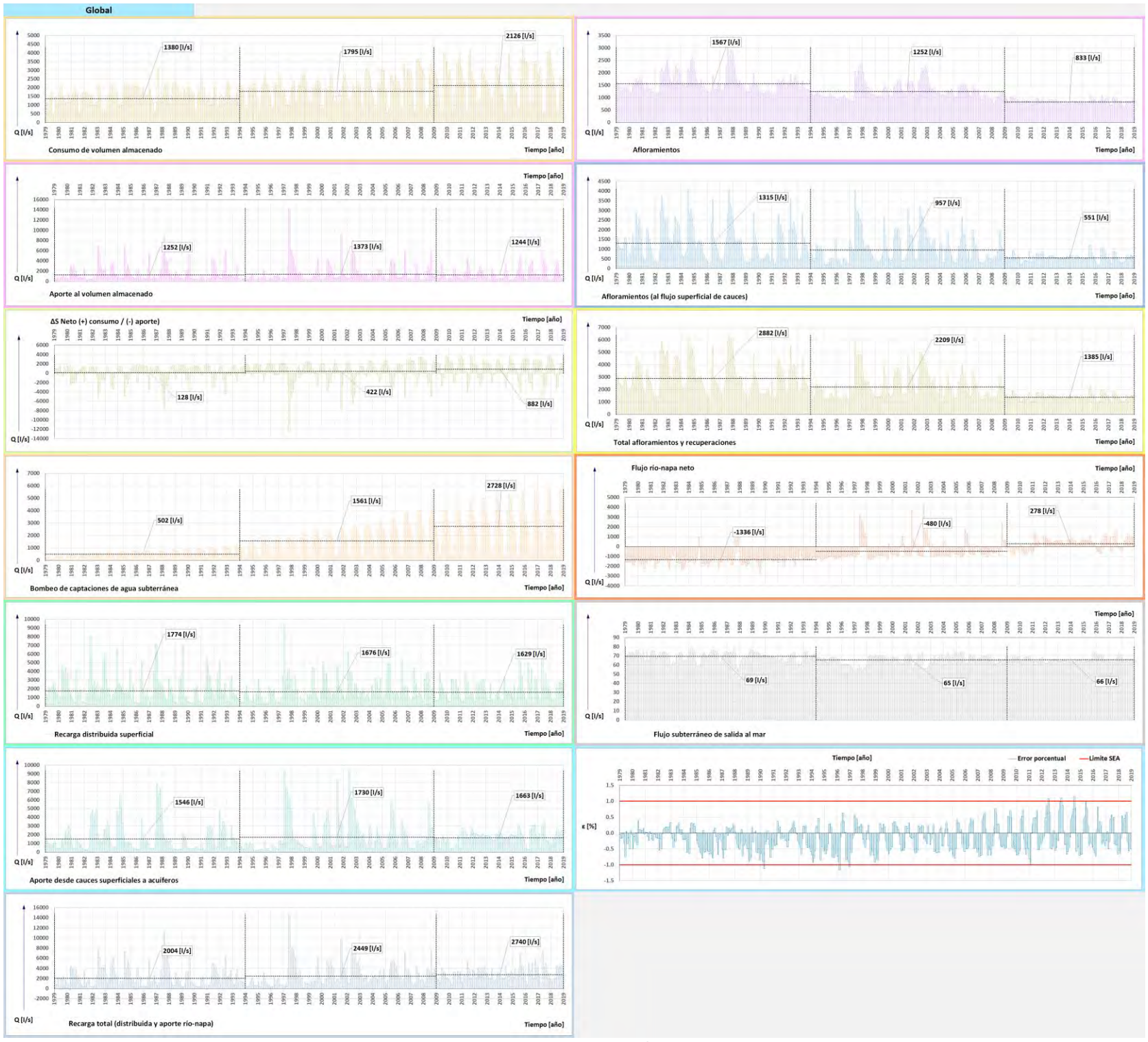


Figura 5-14. Componentes del flujo subterráneo en dominio modelado (cuencas ríos Petorca y La Ligua)
(Fuente: Elaboración propia)

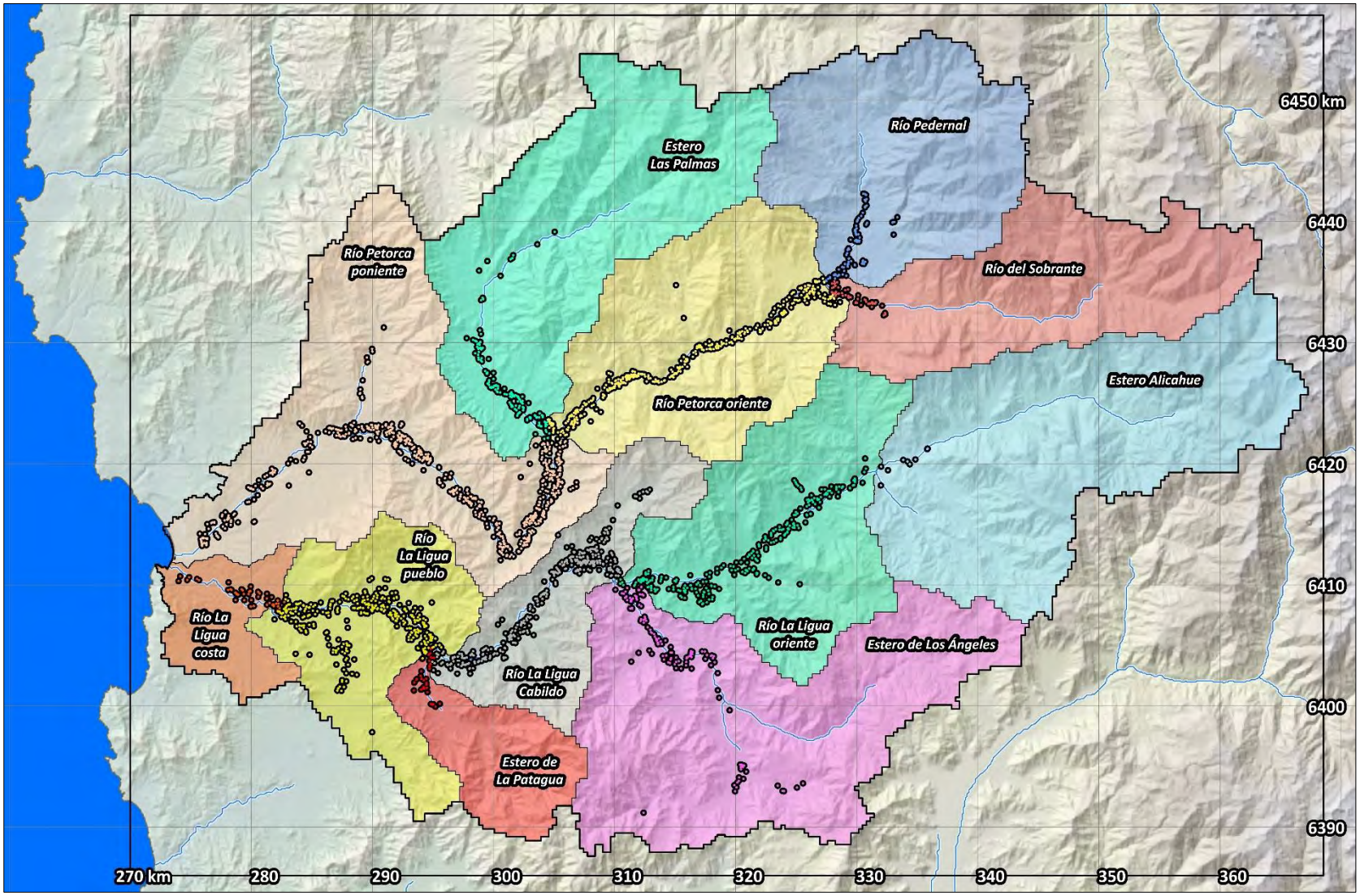


Figura 5-15. Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común
(Fuente: Elaboración propia)

5.11 PERMEABILIDADES Y ALMACENAMIENTOS TRAS CALIBRACIONES

Se modificaron los valores y las distribuciones de permeabilidades y almacenamientos, para mejorar el ajuste entre niveles medidos y simulados, con el modelo histórico transiente (1979-2018, 480 meses).

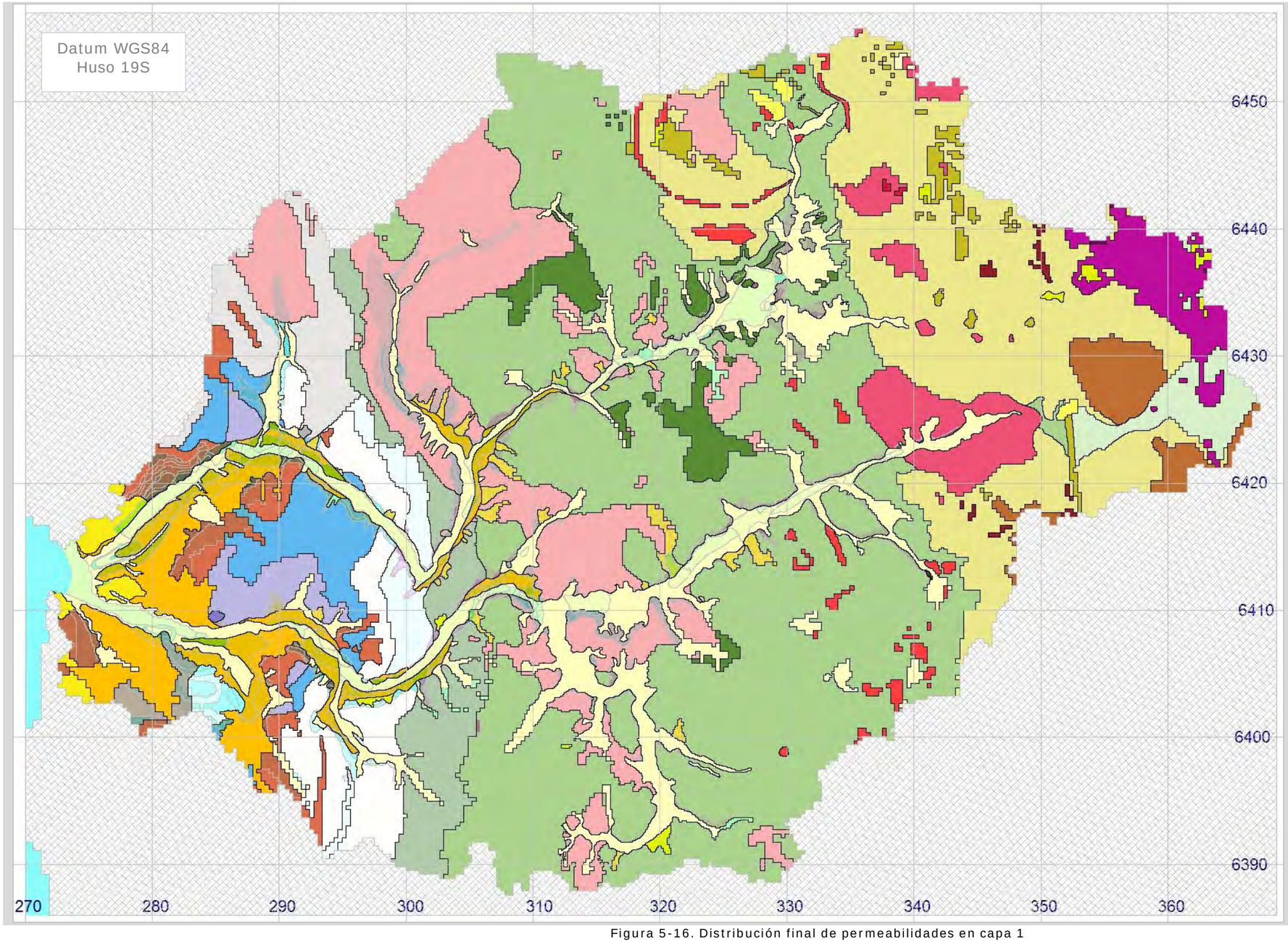
La distribución final de permeabilidades para la capa superior (que contiene los rellenos), se presenta en la . Las permeabilidades de las unidades de roca de la segunda capa (más profunda), se muestran en la Figura 5-17.

Las distribuciones de coeficientes de almacenamientos, se pueden apreciar en la Figura 5-18 y en la Figura 5-19, para las capas 1 y 2, respectivamente.

En las figuras de permeabilidades y almacenamientos, se han mantenido las tonalidades de las unidades geológicas de las figuras geológicas del Capítulo 3, para contextualizar, desde el punto de vista geológico, los valores de los parámetros obtenidos en el proceso de calibración. En la Tabla 5-5, se resumen los códigos de las unidades geológicas y sus descripciones resumidas.

Tabla 5-5. Resumen de códigos y descripciones de unidades geológicas

N°	Código unidad geológica	Tipo de unidad
1	Ja	Lavas (Jurásico)
2	Jh	Lavas (Jurásico)
3	Ji	Rocas volcanoclásticas y sedimentarias (Jurásico)
4	Ji(ah)	Rocas volcanoclásticas y sedimentarias con alteración hidrotermal (Jurásico)
5	Jmi2	Intrusivos (Jurásico)
6	Jmi4	Intrusivos (Jurásico)
7	Jqp	Conglomerados (Jurásico)
8	Ki1	Intrusivos (Cretácico superior)
9	Klc	Rocas volcánicas (Cretácico inferior)
10	Klc(ah)	Rocas volcánicas con alteración hidrotermal (Cretácico inferior)
11	Klp	Lavas (Cretácico inferior)
12	Kp	Lavas y rocas sedimentaricas (Cretácico inferior)
13	Ks	Lavas (Cretácico superior)
14	Ks(ah)	Lavas con alteración hidrotermal (Cretácico superior)
15	KTcl	Intrusivos con alteración hidrotermal (Cretácico superior)
16	KTcl(ah)	Intrusivos con alteración hidrotermal (Cretácico superior)
17	KTsl	Intrusivos (Cretácico superior)
18	PQd	Sedimentos (Cuaternario)
19	Qac	Sedimentos (Cuaternario)
20	Qac(a)	Sedimentos (Cuaternario)
21	Qac(b)	Sedimentos (Cuaternario)
22	Qg	Sedimentos (Cuaternario)
23	Tc	Sedimentos (Terciario)
24	Tch1	Intrusivos (Terciario)
25	Tch1(ah)	Intrusivos con alteración hidrotermal (Terciario)
26	Tch2	Intrusivos (Terciario)
27	Tf(b)	Ignimbritas (Terciario)
28	Trl1	Tobas (Triásico)
29	Trl1(ah)	Tobas con alteración hidrotermal (Triásico)

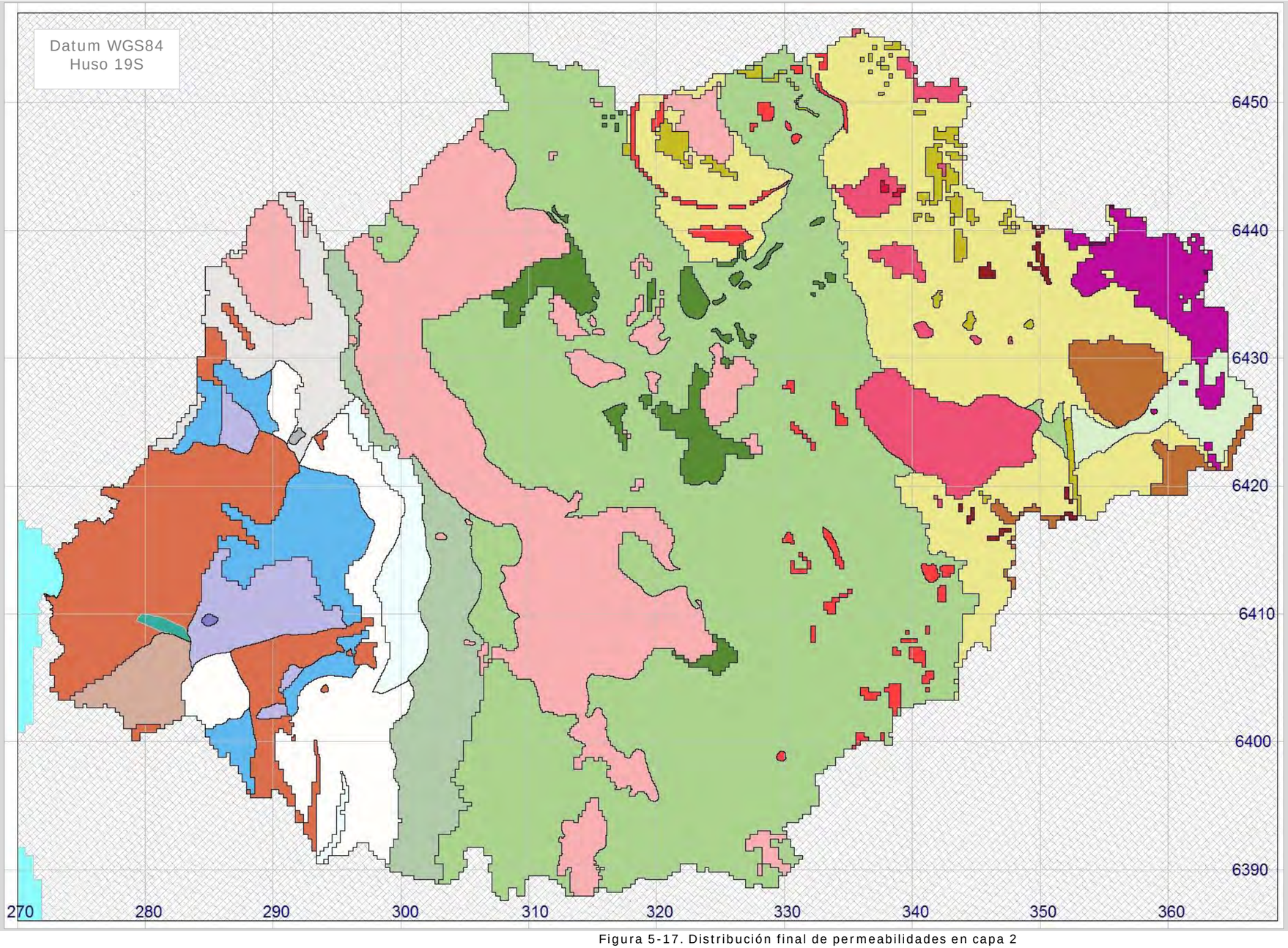


Unid. geol.	N°	$k_x=k_y=k_z$ [m/s]
NoFlow	1	-----
Ja	2	6.0E-08
	3	1.0E-07
	4	1.1E-08
	5	5.1E-08
	6	1.0E-08
	7	5.0E-06
	8	7.0E-06
	9	1.0E-05
	10	2.5E-05
	11	1.0E-07
	12	1.0E-08
Jh	13	2.0E-08
	14	1.1E-08
	15	7.0E-06
	16	1.0E-08
	17	5.0E-06
	18	1.0E-10
	19	1.0E-05
	20	1.0E-07
	21	5.1E-08
Ji	22	5.0E-10
	23	1.1E-08
	24	5.1E-08
	25	5.0E-06
Ji(ah)	26	2.5E-07
	27	5.0E-06
Jmi2	28	2.0E-10
	29	5.1E-08
	30	1.0E-07
	31	5.0E-06
	32	1.0E-08
	33	1.1E-08
	34	5.0E-08
	35	1.0E-08
	36	1.0E-06
	37	5.0E-06
	38	5.0E-09
Jmi4	39	2.0E-10
	40	1.1E-08
	41	5.1E-08
	42	1.0E-07
	43	5.0E-09
	44	5.0E-06
	45	8.3E-09
	46	1.0E-08
	47	1.0E-05
	48	5.0E-06
	49	1.0E-05
	50	7.0E-06
	51	2.5E-05
	52	5.0E-06
	53	7.0E-08
Jqp	54	4.0E-08
	55	1.1E-08
	56	1.0E-06
	57	5.1E-08
	58	5.0E-06
	59	1.0E-07
	60	7.0E-06
	61	1.0E-08
	62	8.3E-09
	63	5.0E-07
	64	1.0E-07

Unid. geol.	N°	$k_x=k_y=k_z$ [m/s]
Ki1	65	5.0E-09
	66	8.3E-09
	67	1.1E-08
	68	5.0E-06
	69	5.1E-08
	70	8.0E-06
	71	5.0E-06
	72	1.0E-08
	73	7.0E-06
	74	1.0E-07
	75	5.0E-05
	76	1.0E-07
	77	1.0E-05
	78	1.0E-08
	79	6.0E-06
Klc	80	3.0E-09
	81	1.1E-08
	82	5.1E-08
	83	5.0E-06
	84	8.3E-09
	85	5.0E-06
	86	7.0E-06
	87	1.0E-07
	88	1.0E-08
	89	1.0E-05
	90	5.8E-09
	91	1.0E-05
	92	2.0E-05
	93	5.0E-07
	94	1.0E-06
	95	5.0E-09
	96	2.5E-05
	97	5.0E-05
	98	6.0E-06
Klc(ah)	99	5.1E-08
	100	1.0E-07
	101	5.0E-06
	102	2.0E-05
	103	5.0E-06
	104	1.0E-05
Klp	105	5.8E-09
Kp	106	8.0E-09
	107	1.1E-08
	108	1.0E-06
	109	7.0E-06
	110	2.5E-05
	111	1.0E-07
	112	1.0E-05
	113	5.1E-08
	114	1.0E-08
	115	8.3E-09
	116	5.0E-06
	117	1.0E-07
	118	5.0E-06
	119	5.0E-05
Ks	120	5.1E-08
Ks(ah)	121	2.5E-07
KTcl	122	1.3E-09
	123	5.1E-08
	124	8.3E-09
	125	1.1E-08
KTcl(ah)	126	2.7E-08
KTsl	127	1.3E-09
	128	5.1E-08

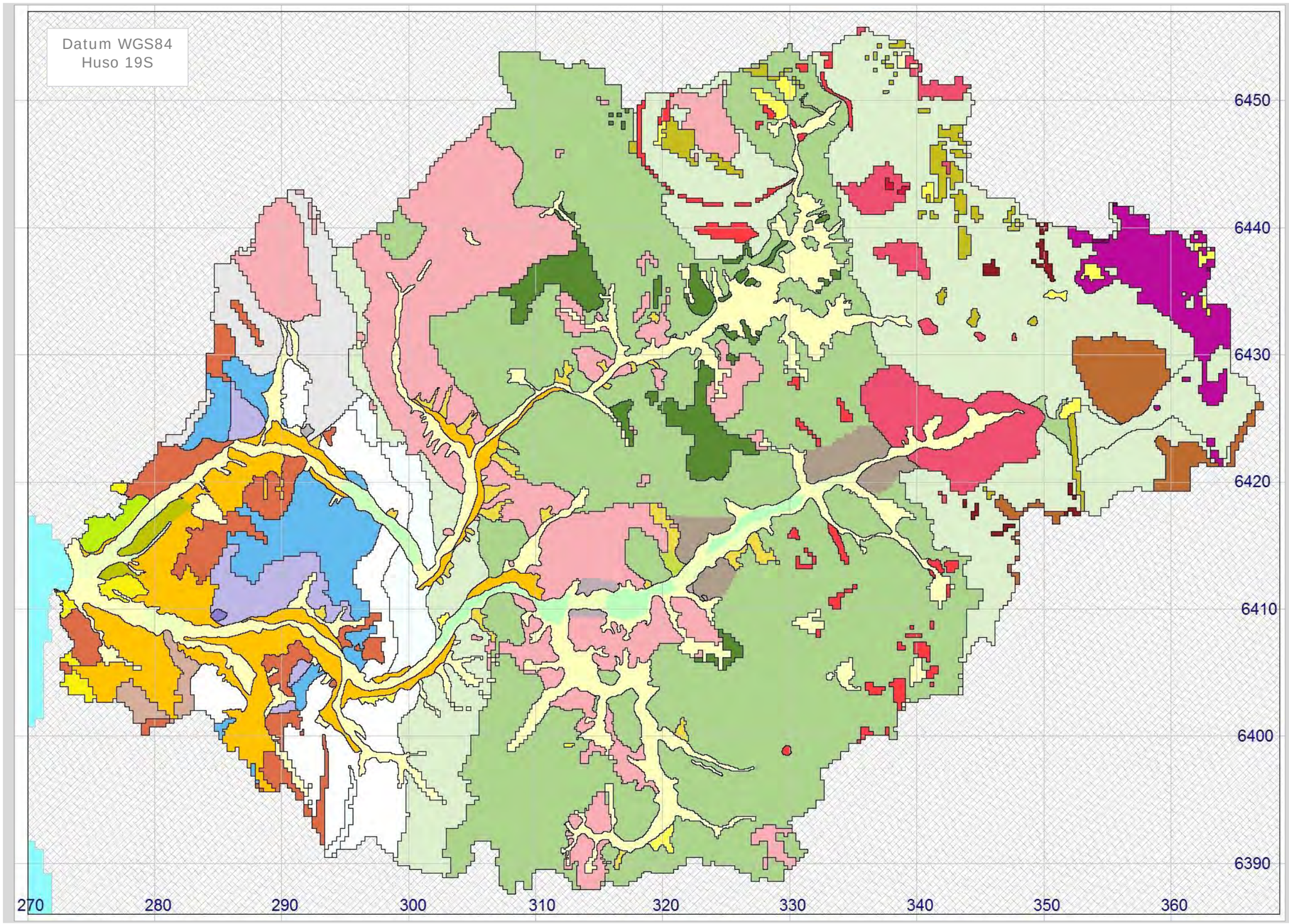
Unid. geol.	N°	$k_x=k_y$ [m/s]	k_z [m/s]
PQd	129	1.0E-06	1.0E-07
	130	1.0E-05	1.0E-06
	131	5.0E-06	5.0E-07
	132	7.0E-08	7.0E-09
	133	1.0E-06	1.0E-07
Qac	134	6.0E-06	6.0E-07
	135	1.0E-07	1.0E-08
	136	1.0E-08	1.0E-09
	137	2.0E-05	2.0E-06
	138	2.0E-04	2.0E-05
	139	2.5E-05	2.5E-06
	140	1.0E-05	1.0E-06
	141	5.0E-05	5.0E-06
	142	5.0E-08	5.0E-09
	143	1.0E-06	1.0E-07
	144	5.8E-09	5.8E-10
	145	2.0E-09	2.0E-10
	146	5.0E-07	5.0E-08
	147	5.0E-09	5.0E-10
	148	5.0E-06	5.0E-07
	149	1.1E-08	1.1E-09
	150	5.0E-07	5.0E-08
	151	1.0E-06	1.0E-07
	152	1.0E-08	1.0E-09
	153	1.0E-04	1.0E-05
	154	8.3E-09	8.3E-10
	155	7.0E-08	7.0E-09
	156	2.0E-09	2.0E-10
	157	1.0E-10	1.0E-11
	158	1.0E-08	1.0E-09
	159	2.0E-10	2.0E-11
	160	1.0E-07	1.0E-08
	161	5.0E-06	5.0E-07
Qac(a)	162	5.0E-07	5.0E-08
	163	1.0E-07	1.0E-08
	164	7.0E-06	7.0E-07
	165	6.0E-06	6.0E-07
	166	1.0E-05	1.0E-06
	167	2.0E-05	2.0E-06
	168	2.5E-05	2.5E-06
Qac(b)	169	1.0E-05	1.0E-06
Qg	170	5.0E-06	5.0E-07
	171	7.0E-06	7.0E-07
Tc	172	7.0E-08	7.0E-09
	173	5.0E-06	5.0E-07
	174	1.0E-06	1.0E-07
	175	3.0E-06	3.0E-07
	176	1.0E-05	1.0E-06
	177	6.0E-06	6.0E-07
	178	1.0E-08	1.0E-09
	179	2.5E-05	2.5E-06
	180	5.0E-05	5.0E-06
	181	1.0E-07	1.0E-08
	182	2.0E-06	2.0E-07
	183	5.0E-08	5.0E-09
	184	1.1E-08	1.1E-09
	185	2.0E-09	2.0E-10
	186	1.0E-08	1.0E-09
	187	2.0E-05	2.0E-06
	188	5.0E-07	5.0E-08
	189	1.0E-04	1.0E-05
	190	2.0E-04	2.0E-05
Tch1	191	1.8E-09	1.8E-09
Tch1(ah)	192	5.1E-08	5.1E-08
Tch2	193	1.8E-09	1.8E-09
Tf(b)	194	1.0E-07	1.0E-07
Trl1	195	1.0E-10	1.0E-10
	196	1.1E-08	1.1E-08
	197	1.0E-07	1.0E-07
	198	5.1E-08	5.1E-08
	199	5.0E-06	5.0E-06
	200	1.0E-08	1.0E-08
	201	5.0E-09	5.0E-09
Trl1(ah)	202	1.3E-07	1.3E-07

Figura 5-16. Distribución final de permeabilidades en capa 1
(más superficial, relleno y roca) (Fuente: Elaboración propia)



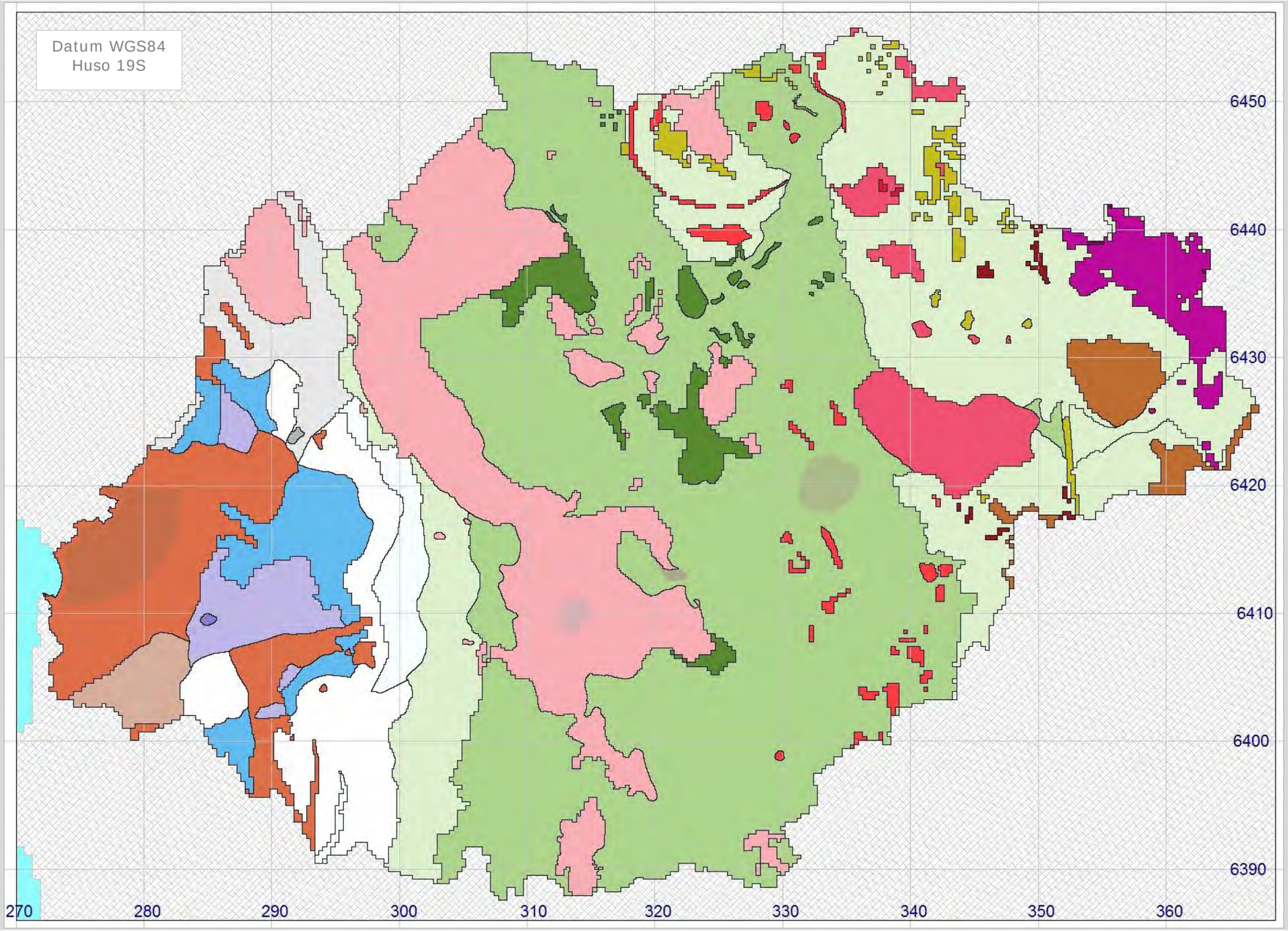
Unid. geol.	N°	$k_x=k_y=k_z$ [m/s]
NoFlow	1	-----
Ja	2	6.0E-08
Jh	13	2.0E-08
Ji	22	5.0E-10
Ji(ah)	26	2.5E-07
Jmi2	28	2.0E-10
	38	5.0E-09
Jmi4	39	2.0E-10
	43	5.0E-09
Jqp	54	4.0E-08
Ki1	65	5.0E-09
Klc	80	3.0E-09
Klc(ah)	99	5.1E-08
Klp	105	5.8E-09
Kp	106	8.0E-09
Ks	120	5.1E-08
Ks(ah)	121	2.5E-07
KTcl	122	1.3E-09
KTcl(ah)	126	2.7E-08
KTsl	127	1.3E-09
Tch1	191	1.8E-09
Tch1(ah)	192	5.1E-08
Tch2	193	1.8E-09
Tf(b)	194	1.0E-07
Trl1	195	1.0E-10
	201	5.0E-09
Trl1(ah)	202	1.3E-07

Figura 5-17. Distribución final de permeabilidades en capa 2
(más profunda, sólo roca) (Fuente: Elaboración propia)



Unid. geol.	N°	S_S [%]	S_Y [%]
NoFlow	1	-----	-----
Ja	2	0.025	2.5
Jh	3	0.025	2.5
Ji	4	0.025	2.5
Ji(ah)	5	0.068	6.8
Jmi2	6	0.005	0.5
Jmi4	7	0.050	5.0
Jmi4	8	0.001	0.1
Jmi4	9	0.030	3.0
Jmi4	10	0.050	5.0
Jqp	11	0.100	10.0
Ki1	12	0.005	0.5
Ki1	13	0.001	0.1
Ki1	14	0.005	0.5
Ki1	15	0.005	0.5
Klc	16	0.100	10.0
Klc	17	0.010	1.0
Klc	18	0.050	5.0
Klc	19	0.030	3.0
Klc(ah)	20	0.130	13.0
Klp	21	0.025	2.5
Ks(ah)	22	0.030	3.0
KTcl	23	0.005	0.5
KTcl	24	0.005	0.5
KTcl(ah)	25	0.010	1.0
KTsl	26	0.005	0.5
PQd	27	0.120	12.0
PQd	28	0.030	3.0
Qac	29	0.120	12.0
Qac	30	0.010	1.0
Qac	31	0.030	3.0
Qac	32	0.120	12.0
Qac	33	0.120	12.0
Qac	34	0.120	12.0
Qac(a)	35	0.120	12.0
Qac(a)	36	0.010	1.0
Qac(a)	37	0.030	3.0
Qac(b)	38	0.120	12.0
Tc	39	0.100	10.0
Tc	40	0.030	3.0
Tch1	41	0.005	0.5
Tch1(ah)	42	0.010	1.0
Tch2	43	0.005	0.5
Tf(b)	44	0.025	2.5
Trl1	45	0.100	10.0
Trl1(ah)	46	0.150	15.0

Figura 5-18. Distribución final de almacenamientos en capa 1
(más superficial, relleno y roca) (Fuente: Elaboración propia)



Unid. geol.	N°	S_S [%]	S_Y [%]
NoFlow	1	-----	-----
Ja	2	0.025	2.5
Jh	3	0.025	2.5
Ji	4	0.025	2.5
Ji(ah)	5	0.068	6.8
Jmi2	6	0.005	0.5
Jmi4	7	0.050	5.0
Jmi4	8	0.001	0.1
Jqp	11	0.100	10.0
Ki1	12	0.005	0.5
Ki1	14	0.005	0.5
Klc	16	0.100	10.0
Klc(ah)	20	0.130	13.0
Klp	21	0.025	2.5
Ks(ah)	22	0.030	3.0
KTcl	23	0.005	0.5
KTcl(ah)	25	0.010	1.0
KTsl	26	0.005	0.5
Tch1	41	0.005	0.5
Tch1(ah)	42	0.010	1.0
Tch2	43	0.005	0.5
Tf(b)	44	0.025	2.5
Trl1	45	0.100	10.0
Trl1(ah)	46	0.150	15.0

Figura 5-19. Distribución final de almacenamientos en capa 2
(más profunda, sólo roca) (Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO 6 OPERACIÓN PREDICTIVA DEL MODELO

6.1 PERÍODO SIMULADO

Se operó el modelo para escenarios futuros, el intervalo de tiempo considerado para el período de simulación futuro, se muestra en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1. Períodos simulados

Período histórico (calibración transiente)		
40 años		
Desde		Hasta
01 ene 1979		31 dic 2018

Período futuro (escenarios de operación)		
40 años		
Desde		Hasta
01 ene 2019		31 dic 2058

6.2 CONDICIÓN INICIAL SIMULACIÓN FUTURA

Los escenarios futuros parten con la distribución de niveles obtenida de la simulación histórica transiente, al final del stress period 480, es decir, el resultado correspondiente al final del día 31 de diciembre de 2018.

6.3 HIDROLOGÍA FUTURA

6.3.1 Recargas distribuidas en simulación futura

Se utilizó la distribución de recargas generadas para el período histórico (1979-2018), pero corregidas, según una estimación de la variación de las precipitaciones futuras, por efecto del cambio climático. En el Anexo 9.4 se describe el procedimiento desarrollado.

6.3.2 Celdas río en simulación futura

El estado de los cauces superficiales, para la operación del modelo, se representó como un estado promedio de los últimos 10 años (2009-2018). Se calcularon los caudales promedios mensuales para cada tramo de cauce y las conductancias correspondientes, según la misma metodología definida en el punto 5.3.1. Las conductancias promedio mensuales, se asociaron a valores fijos, según 5 rangos, para cada tramo de cauce. Las conductancias del primer rango (20 % de la conductancia máxima), se consideraron nulas, es decir, cauce seco.

De esa forma, para los escenarios futuros, los cauces superficiales se modelaron de forma conservadora y describiendo el estado promedio de los últimos años. Dicho estado

corresponde a cauces secos por períodos prolongados y escorrentía, generalmente coincidente con los eventos de precipitaciones invernales. En la Tabla 6-2 se presentan los valores promedios para cada tramo en cada mes.

Tabla 6-2. Conductancias promedio por tramos [m^2/día]

Tramo N°	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	13.7	13.7	19.1	19.1	24.6	24.6	13.7
2	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	10.5	18.8	18.8	14.7	18.8	10.5	0.0
3	16.6	0.0	0.0	0.0	16.6	29.9	16.6	23.3	10.0	23.3	10.0	10.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	6.6	11.8	11.8	9.2	11.8	6.6	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	4.0	7.2	7.2	5.6	7.2	4.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	17.9	32.3	32.3	25.1	32.3	17.9	0.0
7	21.3	0.0	0.0	0.0	21.3	38.3	21.3	29.8	12.8	29.8	12.8	12.8
8	3.3	0.0	0.0	0.0	3.3	5.9	3.3	4.6	2.0	4.6	2.0	2.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	153.3	51.1	153.3	0.0	0.0	0.0	0.0
10	4.5	4.5	4.5	2.7	2.7	4.5	4.5	6.3	6.3	8.1	8.1	6.3
11	11.6	11.6	11.6	7.0	7.0	11.6	11.6	16.2	16.2	20.9	20.9	16.2
12	8.2	13.6	0.0	0.0	0.0	13.6	24.5	19.1	8.2	0.0	0.0	0.0
13	5.6	5.6	5.6	3.3	3.3	5.6	5.6	7.8	7.8	10.0	10.0	7.8
14	5.4	5.4	5.4	3.3	3.3	5.4	5.4	7.6	7.6	9.8	9.8	7.6
15	5.4	9.1	0.0	0.0	0.0	9.1	16.3	12.7	5.4	0.0	0.0	0.0
16	17.0	28.3	0.0	0.0	0.0	28.3	51.0	39.6	17.0	0.0	0.0	0.0
17	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.8	1.5	1.1	0.5	0.0	0.0	0.0
18	12.0	20.1	0.0	0.0	0.0	20.1	36.1	28.1	12.0	0.0	0.0	0.0
19	1.3	2.1	0.0	0.0	0.0	2.1	3.8	2.9	1.3	0.0	0.0	0.0
20	17.3	28.9	0.0	0.0	0.0	28.9	52.0	40.4	17.3	0.0	0.0	0.0
21	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.8	1.5	1.1	0.5	0.0	0.0	0.0
22	19.0	31.7	0.0	0.0	0.0	31.7	57.1	44.4	19.0	0.0	0.0	0.0
23	2.1	2.1	2.1	1.3	1.3	2.1	2.1	2.9	2.9	3.8	3.8	2.9
24	30.5	50.9	0.0	0.0	0.0	50.9	91.6	71.3	30.5	0.0	0.0	0.0

(Fuente: Elaboración propia)

6.3.3 Extracciones futuras

Tras operar el modelo en régimen transiente, para el período histórico (1979-2018), se obtuvo como resultado, el bombeo que es factible extraer. Como se puede apreciar en el gráfico de la Figura 6-1, el nivel de extracción máxima (como promedio mensual), al que se pudo llegar, al final de la simulación histórica (año 2018), de acuerdo a los parámetros incorporados en el modelo, alcanza a un 48% del caudal de derechos otorgados. Si se considera el caudal promedio anual del año 2018, éste corresponde a un 25% del caudal de derechos otorgados.

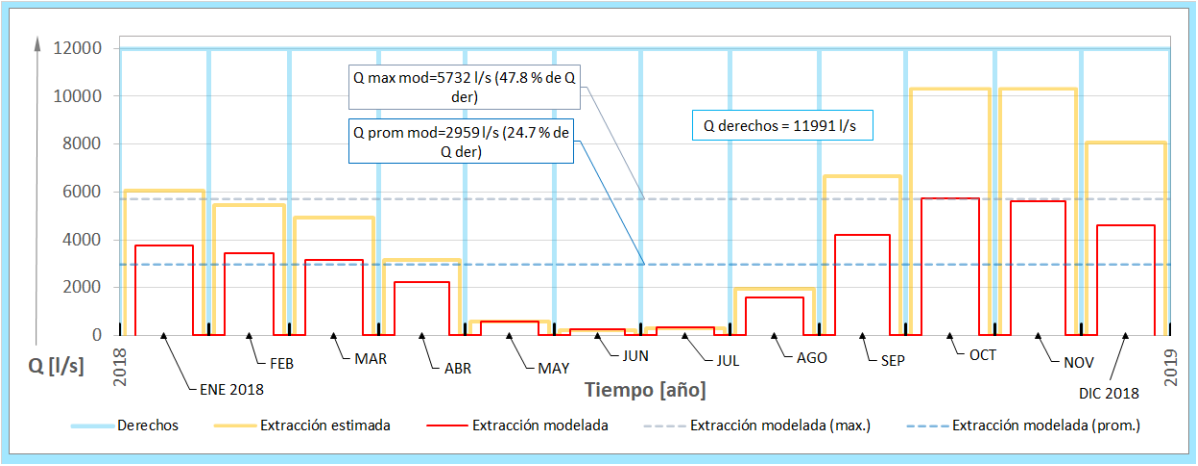


Figura 6-1. Caudales año 2018, derechos, bombeo efectivo estimado y bombeo efectivo modelado (Fuente: Elaboración propia)

Para el escenario de operación futuro, se ingresaron al modelo, los caudales mensuales del año 2018, impuestos inicialmente en el modelo histórico (serie de "extracción estimada" en Figura 6-1). En la Figura 6-2 se muestran los caudales bombeo totales (cuencas de los ríos La Ligua y Petorca), iniciales, para el período de simulación del escenario futuro (2019-2058).

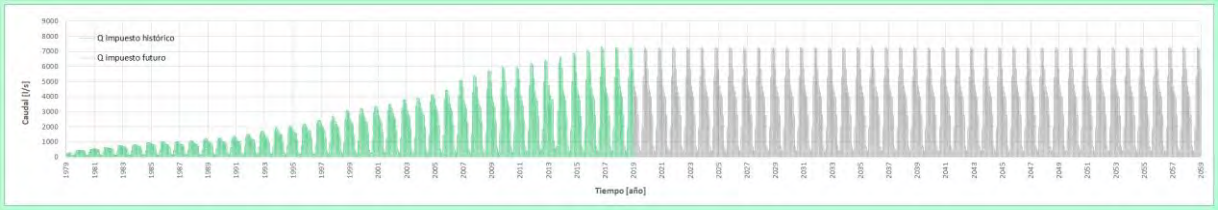


Figura 6-2. Bombeo inicial mensual incorporado a escenarios histórico y futuro
(Fuente: Elaboración propia)

6.4 RESULTADOS SIMULACIÓN FUTURA

6.4.1 Balance global simulación futura

En la Figura 6-3 se presentan los gráficos de cada componente del flujo subterráneo, para todo el dominio activo modelado, es decir, para las cuencas de los ríos Petorca y La Ligua. Las componentes del flujo gráficas, están descritas en el punto 5.10.1.

Para visualizar los resultados, se subdividió el período futuro en 4 subperíodos, de 10 años cada uno. Se agregaron en cada gráfico los promedios para cada subperíodo. De esa forma, se pueden observar los cambios en las componentes de forma temporalmente agregada.

6.4.2 Balances por S.H.A.C. simulación futura

En el Anexo 9.5.2 se incluyen los resultados graficados de los balances para el período histórico y desagregados según los sectores hidrogeológicos.

6.4.3 Bombeo factible global en simulación futura

El resultado del bombeo factible se muestra en la Figura 6-4. En la Figura 6-5 se puede apreciar el caudal de bombeo factible, en promedio, con relación al caudal de derechos, lo que es un indicador global del porcentaje de reducción de los derechos otorgados, para que sea factible la explotación futura del sistema.

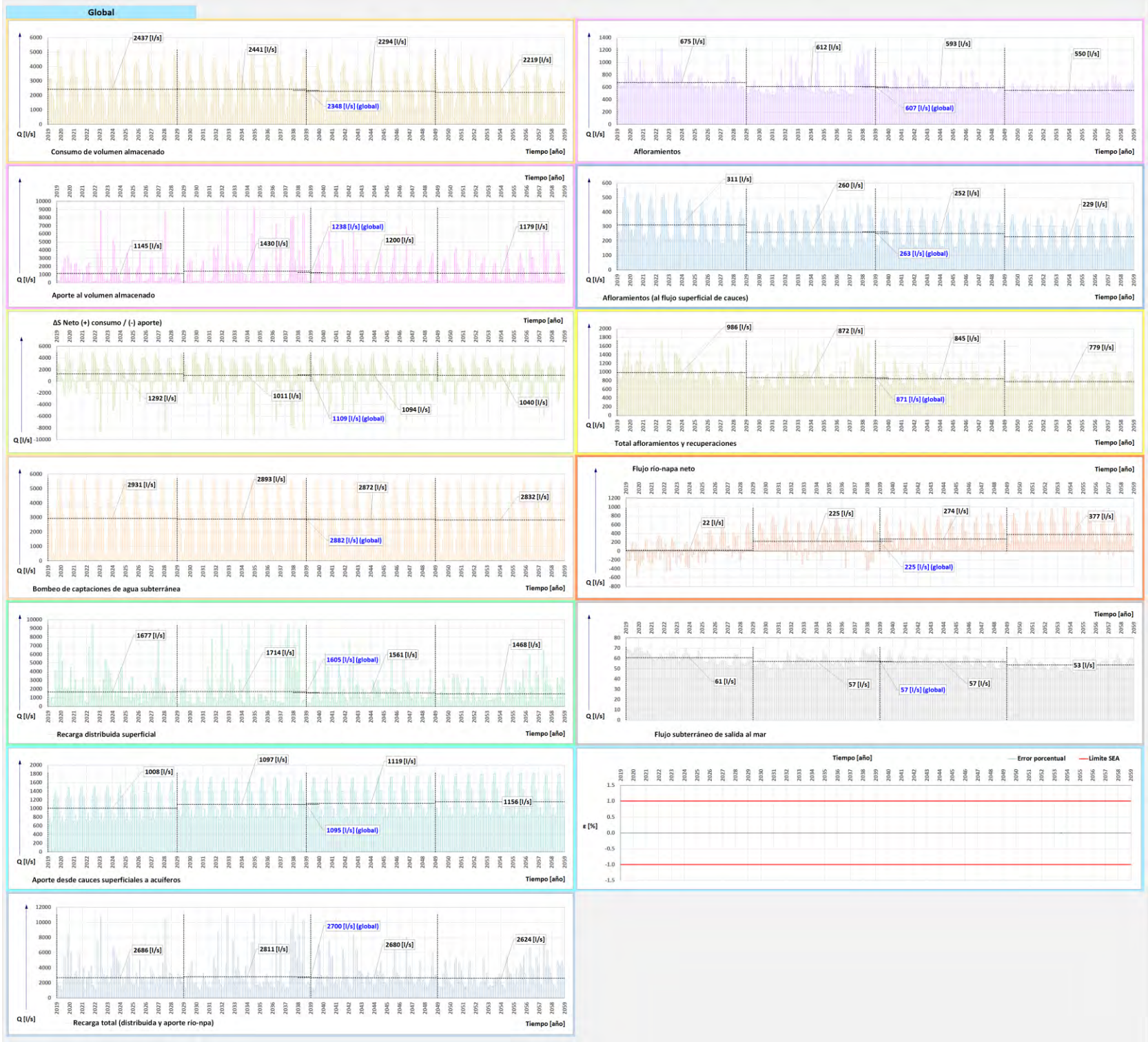


Figura 6-3. Componentes del flujo subterráneo en dominio modelado
(cuencas ríos Petorca y La Ligua)
Nota: El gráfico de error porcentual se aprecia como una línea horizontal porque resultó, en promedio, menor a 0.01 %

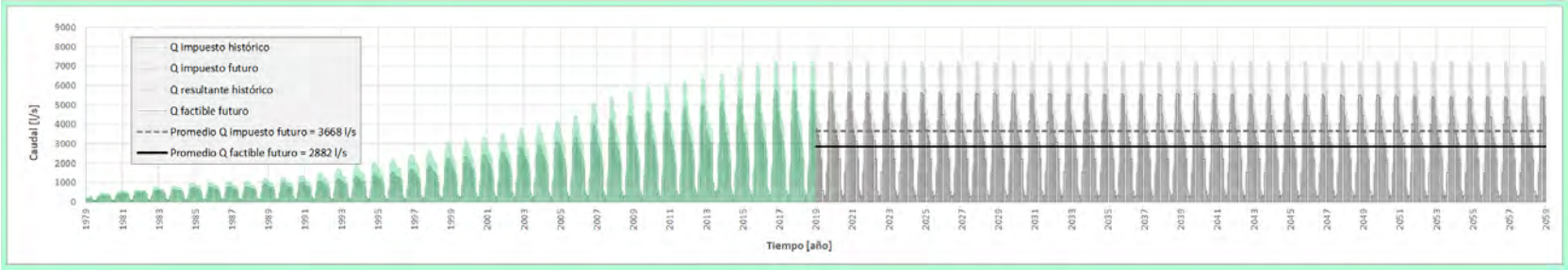


Figura 6-4. Bombeo factible con relación al caudal de bombeo impuesto al comenzar la simulación (caudal de 2018 del escenario histórico)
(Fuente: Elaboración propia)

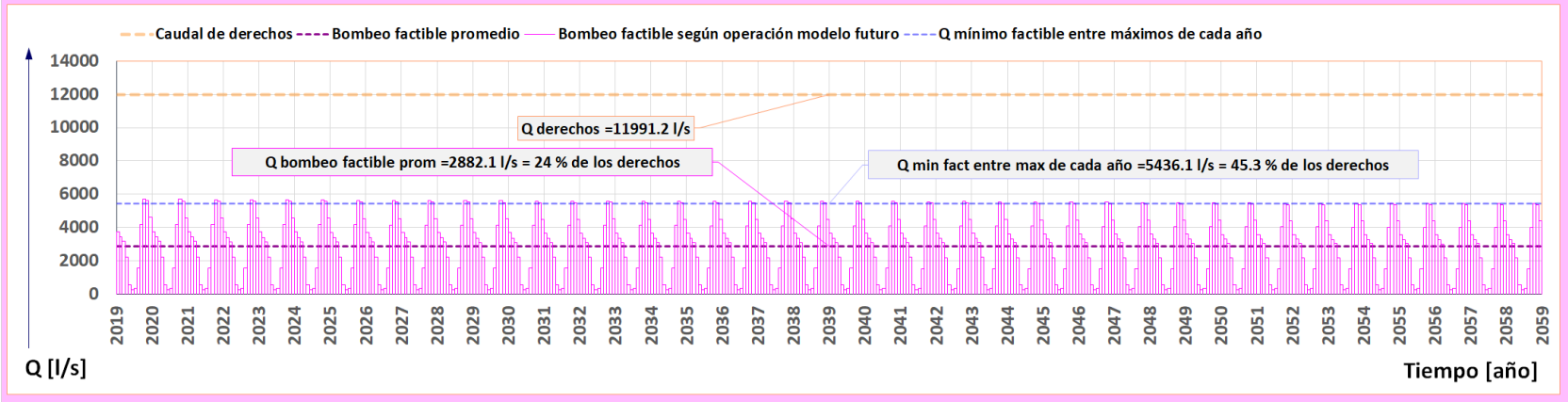


Figura 6-5. Bombeo factible con relación al caudal total de derechos otorgados
(Fuente: Elaboración propia)

6.4.4 Bombeo factible por S.H.A.C. en simulación futura

En la Tabla 6-3 se presentan los resultados promedios de los bombeos obtenidos tras operar el modelo de flujo subterráneo. Los caudales factibles de ser extraídos, de acuerdo al modelo desarrollado, fueron comparados con los caudales de derechos otorgados. Si se consideran los bombeos en términos volumétricos (caudales promedios), los derechos deberían restringirse a aproximadamente un quinto de los caudales actuales otorgados. Por otro lado, si se usa como referencia el caudal máximo factible[****], la reducción se acerca a la mitad de los caudales otorgados.

La restricción según los caudales de extracción factibles promedios, resulta independiente de los posibles cambios de uso de las captaciones. La reducción basada en el caudal máximo factible, en cambio, está ligada al uso y sería efectiva si se mantiene la distribución temporal dada por los caudales mensuales obtenidos tras operar el modelo.

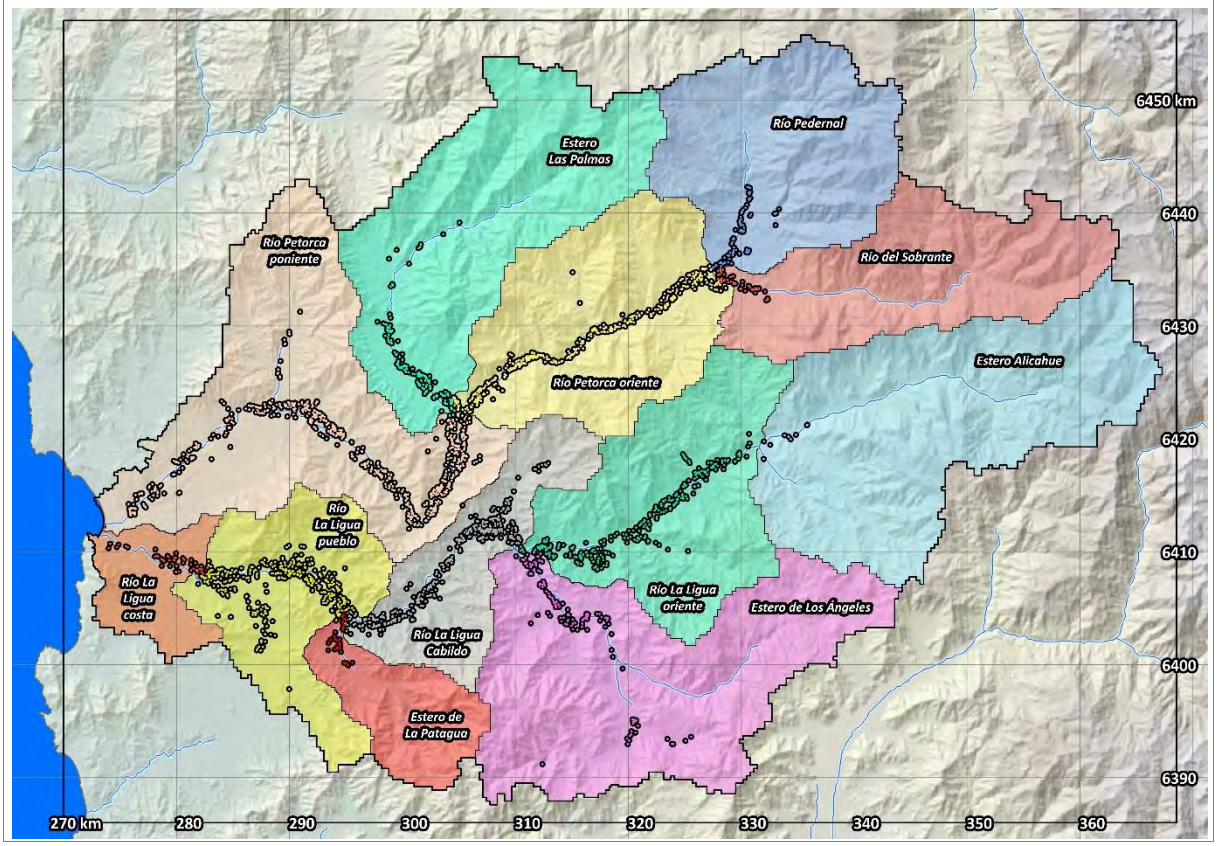
Los caudales de bombeo transientes factibles, comparados por los derechos desagregados, fueron incluidos en el Anexo 9.5.3.

[****] Se define "máximo factible" como el mínimo entre los máximos mensuales de cada año.

Tabla 6-3. Bombeos factibles resultantes de la operación del modelo

Zona N°	Cuenca	S.H.A.C.	Caudales [l/s]			Porcentajes con respecto al caudal de derechos otorgados [%]	
			Q^{der}	$[Q^{fac}]_{prom}$	$[Q^{fac}]_{max}$	$[P^{cr\ der}]_{prom}$	$[P^{cr\ der}]_{max}$
1	Río Petorca	Río del Sobrante	130	30	66	23.3 %	51 %
2	Río Petorca	Río Pedernal	227	70	161	31 %	71.1 %
3	Río Petorca	Río Petorca oriente	1673	324	651	19.4 %	38.9 %
4	Río Petorca	Estero Las Palmas	316	87	199	27.6 %	63 %
5	Río Petorca	Río Petorca poniente	2733	497	1010	18.2 %	36.9 %
Total cuenca río Petorca			5080	1009	2088	19.9 %	41.1 %
6	Río La Ligua	Estero Alicahue	86	11	21	13.3 %	24.5 %
7	Río La Ligua	Río La Ligua oriente	1825	501	895	27.5 %	49 %
8	Río La Ligua	Estero de Los Ángeles	926	332	619	35.8 %	66.8 %
9	Río La Ligua	Río La Ligua Cabildo	2068	417	699	20.2 %	33.8 %
10	Río La Ligua	Estero de La Patagua	152	51	96	33.2 %	62.8 %
11	Río La Ligua	Río La Ligua pueblo	1587	528	956	33.3 %	60.2 %
12	Río La Ligua	Río La Ligua costa	268	34	57	12.6 %	21.2 %
Total cuenca río La Ligua			6912	1873	3341	27.1 %	48.3 %
Total cuenca río Petorca y cuenca río La Ligua			11991	2882	5429	24 %	45.3 %

Nomenclatura:
S.H.A.C.: Sector hidrogeológico de aprovechamiento común
Q^{der}: Caudal de derechos otorgados en sector
$[Q^{fac}]_{prom}$: Caudal promedio que es posible (factible) extraer por sector, según operación de modelo de flujo subterráneo
$[Q^{fac}]_{max}$: Caudal máximo (como promedio mensual) que es posible (factible) extraer por sector, según operación de modelo de flujo subterráneo
$[P^{cr\ der}]_{prom}$: Porcentaje al que se debería reducir el caudal de derecho otorgado, para limitar la extracción al caudal promedio factible ($[Q^{fac}]_{prom}$)
$[P^{cr\ der}]_{max}$: Porcentaje al que se debería reducir el caudal de derecho otorgado, para limitar la extracción al caudal máximo factible ($[Q^{fac}]_{max}$)



(Fuente: Elaboración propia)

6.4.5 Criterios de sustentabilidad DGA

En el presente punto se analizan los resultados, según los criterios de sustentabilidad definidos por la DGA.

El primer criterio DGA es:

"Criterio 1: Descensos sustentables en el tiempo a nivel de sector acuífero

Los descensos generales en el sector a evaluar deben estar estabilizados para una operación del sistema de 50 años, en caso contrario se considera que los descensos son sostenidos.

Si los descensos son sostenidos:

Se considera que el volumen de afección sobre el acuífero en el largo plazo (50 años) no debe afectar más allá de un 5% del volumen total del acuífero. En caso contrario, el sistema acuífero será considerado con afección y se deberá cerrar el acuífero.

$$(V_0 - V_{50})/V_0 < 0.05$$

Donde:

V_{50} = Volumen del acuífero a los 50 años de operación indicado por el modelo.
V_0 = corresponde al volumen inicial en el acuífero antes de la operación del modelo.

En caso que los descensos sean sostenidos y no se cumpla la condición de cierre para volúmenes, se deberá aumentar la extracción hasta alcanzar la condición del 5%."

Si el acuífero, ya fue cerrado, el criterio es:

"Criterio 1: No se puede afectar el volumen almacenado del sector acuífero que ha sido cerrado, en más de un digito porcentual. Es decir, si el sector acuífero ha sido cerrado por descensos sostenidos con una afección sobre el volumen total almacenado de N%, no es permitido que esta afección aumente al (N+1) %. Si esto se produce, aquel sector abierto que provoque dicho efecto, deberá ser cerrado."

Se calculó el volumen inicial del acuífero con los niveles resultantes del modelo de régimen permanente. Se consideraron sólo las unidades geológicas de sedimentos fluviales. Además, se debe tener presente que, en profundidad, los estratos están más cementados y tienen, por lo general, mayor presencia de finos. Por ello, se consideró como volumen útil sólo los primeros 100 m del relleno. Para el cálculo se uso la siguiente ecuación:

$$V_0 = \Sigma \Omega_i \cdot \min(zNE^i_{perm} - z^i_{fondo}, 100\ m) \cdot [S_Y]^i$$

Con:

Ω_i = área de celda i
zNE^i_{perm} = elevación del nivel simulado en celda i en régimen permanente
z^i_{fondo} = elevación del fondo del relleno en celda i
$[S_Y]^i$ = Coeficiente de almacenamiento celda i

i=todas aquellas celdas coincidentes con unidades geológicas Q_{ac}, $Q_{ac}(a)$ y $Q_{ac}(b)$ (ver plano geológico de Figura 3-1).

El resultado obtenido es:

$$V_0 = 4679 \cdot 10^6 \ m^3$$

Según los resultados de los balances de las simulaciones históricas y futuras, de la componente de variación del almacenamiento neto, se obtienen los resultados que se presentan en la Tabla 6-4.

Tabla 6-4. Variación del volumen almacenado en el acuífero por intervalo de tiempo simulado (histórico y futuro)

Dominio	Intervalo de tiempo	Red. neta V [10^6 m^3]	Red. Neta ac. V [10^6 m^3]	V [10^6 m^3]	% de V [%]	% de red. de V [%]
Cuencas ríos Petorca y La Ligua	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	------	------	4679	100.0	0.0
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	74	74	4605	98.4	1.6
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	239	313	4365	93.3	6.7
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	293	607	4072	87.0	13.0
	5) Futuro: año 0 a año 10	408	1015	3664	78.3	21.7
	6) Futuro: año 10 a año 20	319	1334	3345	71.5	28.5
	7) Futuro: año 20 a año 30	345	1679	3000	64.1	35.9
	8) Futuro: año 30 a año 40	328	2007	2672	57.1	42.9
SHAC Río del Sobrante	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	------	------	207	100.0	0.0
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	0	0	207	99.8	0.2
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	5	6	202	97.3	2.7
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	13	19	189	91.0	9.0
	5) Futuro: año 0 a año 10	12	30	177	85.3	14.7
	6) Futuro: año 10 a año 20	8	38	169	81.6	18.4
	7) Futuro: año 20 a año 30	11	49	159	76.4	23.6
	8) Futuro: año 30 a año 40	10	59	149	71.6	28.4
SHAC Río Pedernal	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	------	------	362	100.0	0.0
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-3	-3	366	100.9	-0.9
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	5	2	361	99.5	0.5
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	17	18	344	94.9	5.1
	5) Futuro: año 0 a año 10	17	36	327	90.2	9.8
	6) Futuro: año 10 a año 20	11	47	315	87.0	13.0
	7) Futuro: año 20 a año 30	15	62	301	83.0	17.0
	8) Futuro: año 30 a año 40	14	76	286	79.0	21.0
SHAC Río Petorca oriente	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	------	------	481	100.0	0.0
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	6	6	475	98.8	1.2
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	22	28	453	94.3	5.7
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	21	49	432	89.9	10.1
	5) Futuro: año 0 a año 10	32	81	400	83.3	16.7
	6) Futuro: año 10 a año 20	18	99	382	79.5	20.5
	7) Futuro: año 20 a año 30	20	119	362	75.3	24.7
	8) Futuro: año 30 a año 40	18	136	345	71.7	28.3
SHAC Estero Las Palmas	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	------	------	167	100.0	0.0
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	0	0	167	100.1	-0.1
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	6	6	161	96.3	3.7
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	10	16	151	90.2	9.8
	5) Futuro: año 0 a año 10	11	27	140	83.7	16.3
	6) Futuro: año 10 a año 20	8	35	132	79.2	20.8
	7) Futuro: año 20 a año 30	8	43	124	74.4	25.6
	8) Futuro: año 30 a año 40	7	50	117	70.0	30.0
SHAC Río Petorca poniente	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	------	------	669	100.0	0.0
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	18	18	650	97.3	2.7
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	37	55	613	91.7	8.3
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	38	93	576	86.1	13.9
	5) Futuro: año 0 a año 10	47	140	529	79.1	20.9
	6) Futuro: año 10 a año 20	31	170	498	74.5	25.5
	7) Futuro: año 20 a año 30	34	205	464	69.4	30.6
	8) Futuro: año 30 a año 40	31	236	433	64.8	35.2
	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	------	------	321	100.0	0.0

Dominio	Intervalo de tiempo	Red. neta V [10^6 m^3]	Red. Neta ac. V [10^6 m^3]	V [10^6 m^3]	% de V [%]	% de red. de V [%]
SHAC Estero Alicahue	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	3	3	318	99.2	0.8
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	10	13	308	96.1	3.9
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	14	26	294	91.8	8.2
	5) Futuro: año 0 a año 10	13	40	281	87.6	12.4
	6) Futuro: año 10 a año 20	9	48	272	84.9	15.1
	7) Futuro: año 20 a año 30	12	60	261	81.3	18.7
	8) Futuro: año 30 a año 40	11	71	250	77.8	22.2
SHAC Río La Ligua oriente	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	------	------	639	100.0	0.0
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	20	20	619	96.8	3.2
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	32	52	587	91.9	8.1
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	54	106	533	83.5	16.5
	5) Futuro: año 0 a año 10	76	182	457	71.6	28.4
	6) Futuro: año 10 a año 20	61	243	396	62.0	38.0
	7) Futuro: año 20 a año 30	63	306	333	52.1	47.9
	8) Futuro: año 30 a año 40	60	366	273	42.7	57.3
SHAC Estero De Los Ángeles	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	------	------	878	100.0	0.0
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	4	4	874	99.5	0.5
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	26	31	848	96.5	3.5
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	32	63	815	92.8	7.2
	5) Futuro: año 0 a año 10	65	128	750	85.5	14.5
	6) Futuro: año 10 a año 20	61	189	689	78.5	21.5
	7) Futuro: año 20 a año 30	66	255	623	70.9	29.1
	8) Futuro: año 30 a año 40	66	321	557	63.4	36.6
SHAC Río La Ligua Cabildo	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	------	------	311	100.0	0.0
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	19	19	292	94.0	6.0
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	42	61	250	80.3	19.7
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	37	98	212	68.4	31.6
	5) Futuro: año 0 a año 10	60	158	153	49.2	50.8
	6) Futuro: año 10 a año 20	52	210	100	32.3	67.7
	7) Futuro: año 20 a año 30	52	262	48	15.5	84.5
	8) Futuro: año 30 a año 40	47	309	2	0.5	99.5
SHAC Estero de La Patagua	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	------	------	129	100.0	0.0
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	2	2	126	98.4	1.6
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	7	9	119	92.9	7.1
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	8	17	111	86.7	13.3
	5) Futuro: año 0 a año 10	15	32	97	75.1	24.9
	6) Futuro: año 10 a año 20	14	46	83	64.5	35.5
	7) Futuro: año 20 a año 30	14	60	69	53.6	46.4
	8) Futuro: año 30 a año 40	14	74	55	42.6	57.4
SHAC Río La Ligua pueblo	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	------	------	349	100.0	0.0
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	4	4	345	98.7	1.3
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	44	48	301	86.2	13.8
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	47	95	254	72.7	27.3
	5) Futuro: año 0 a año 10	57	153	196	56.3	43.7
	6) Futuro: año 10 a año 20	46	198	151	43.2	56.8
	7) Futuro: año 20 a año 30	48	246	103	29.5	70.5
	8) Futuro: año 30 a año 40	48	295	54	15.6	84.4
SHAC Río La Ligua costa	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	------	------	167	100.0	0.0
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	1	1	166	99.4	0.6
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	2	3	163	97.9	2.1
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	2	6	161	96.4	3.6
	5) Futuro: año 0 a año 10	4	10	157	94.2	5.8
	6) Futuro: año 10 a año 20	1	11	156	93.6	6.4
	7) Futuro: año 20 a año 30	2	13	154	92.2	7.8
	8) Futuro: año 30 a año 40	2	15	152	91.2	8.8

Nomenclatura	
Red. neta V [10^6 m^3]	Reducción neta del Volumen de almacenado [10^6 m^3]
Red. neta ac. V [10^6 m^3]	Reducción neta acumulada del Volumen de almacenado [10^6 m^3]
V [10^6 m^3]	Volumen almacenado [10^6 m^3]
% de V [%]	Porcentaje del volumen almacenado [%]
% de red. de V [%]	Reducción del porcentaje del volumen almacenado [%]

Nota: Valores negativos corresponden a incrementos del volumen almacenado

De los resultados obtenidos, se deduce que el criterio para acuífero abierto, al considerar el dominio activo (ambas cuencas), se superó en 30 años (1979-2008, reducción del 6.7%) y el de acuífero cerrado, se excede largamente, en todos los períodos posteriores, tanto histórico (2009-2018), como futuros (2019-2059). A nivel de SHACs, el 5% se supera en el período histórico (menos de 40 años), excepto en el sector Ligua costa, en el que ocurre en 50 años.

El segundo criterio DGA es:

"Criterio 2: Interferencia río acuífero. Este criterio busca no afectar los recursos superficiales ya comprometidos. El grado de interacción debe ser menor que 10% de los flujos superficiales pasantes en cada una de las zonas, evaluados como el caudal promedio anual de 85% de probabilidad de excedencia. La afección sobre el cauce superficial se define como ΔQ, término compuesto por dos variables:
a) Aumento de infiltración en el sector acuífero debido al aumento de la explotación.
b) Disminución de los afloramientos del río.
$\Delta Q \leq 10\% \cdot Q_{Anual,\ 85\%}$"

Si el acuífero, ya fue cerrado, el criterio es:

"No se puede aumentar el grado de interferencia río acuífero en un sector que ha sido cerrado en más de un dígito porcentual. Es decir, si el sector acuífero ha sido cerrado por interferencia río acuífero con una afección del N%, no es permitido que esta afección aumente al (N+1) %. Si esto sucede, el sector abierto que provoque este aumento deberá cerrarse."

Para evaluar los resultados según este criterio, se requiere conocer la distribución de caudales superficiales en toda la red de drenaje. El presente estudio, no incluye un modelo de flujo superficial, que permita efectuar este cálculo. Sin embargo, se ha realizado un análisis, basado en el flujo base río-napa, dado por el caudal obtenido en el régimen permanente y la posterior variación transiente histórica y futura. En la Tabla 6-5 se presentan los resultados obtenidos para el dominio activo completo y para cada SHAC.

Tabla 6-5. Variación del flujo río-napa
por intervalo de tiempo simulado (histórico y futuro)

Dominio	Intervalo de tiempo	Q^{R-N} [l/s]	$Q^{R-N}_{ac.}$ [l/s]	Red.Q^{R-N} [%]	Red.$Q^{R-N}_{ac.}$ [%]
Cuencas ríos Petorca y La Ligua	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	-1636	------	0	------
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-1441	-1441	12	12
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	-684	-1062	58	35
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	182	-751	111	54
	5) Futuro: año 0 a año 10	22	-597	101	64
	6) Futuro: año 10 a año 20	225	-460	114	72
	7) Futuro: año 20 a año 30	274	-355	117	78
	8) Futuro: año 30 a año 40	377	-263	123	84
SHAC Río del Sobrante	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	-38	------	0	------
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-44	-44	-14	-14
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	-50	-47	-30	-22
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	-63	-51	-64	-32
	5) Futuro: año 0 a año 10	-48	-50	-24	-31
	6) Futuro: año 10 a año 20	-40	-48	-3	-26
	7) Futuro: año 20 a año 30	-39	-47	0	-23
	8) Futuro: año 30 a año 40	-31	-45	19	-17
SHAC Río Pedernal	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	-108	------	0	------
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-97	-97	10	10
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	-100	-99	8	9
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	-80	-94	26	13
	5) Futuro: año 0 a año 10	-79	-91	27	16

Dominio	Intervalo de tiempo	Q^{R-N} [l/s]	$Q^{R-N}_{ac.}$ [l/s]	Red.Q^{R-N} [%]	Red.$Q^{R-N}_{ac.}$ [%]
	6) Futuro: año 10 a año 20	-67	-87	38	20
	7) Futuro: año 20 a año 30	-65	-84	40	23
	8) Futuro: año 30 a año 40	-56	-80	48	26
SHAC Río Petorca oriente	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	-261	------	0	------
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-250	-250	4	4
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	-147	-199	43	24
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	0	-149	100	43
	5) Futuro: año 0 a año 10	-33	-126	88	52
	6) Futuro: año 10 a año 20	8	-104	103	60
	7) Futuro: año 20 a año 30	16	-86	106	67
	8) Futuro: año 30 a año 40	33	-72	113	73
SHAC Estero Las Palmas	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	-35	------	0	------
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-36	-36	-5	-5
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	-18	-27	49	22
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	26	-14	176	61
	5) Futuro: año 0 a año 10	39	-3	212	91
	6) Futuro: año 10 a año 20	48	5	239	116
	7) Futuro: año 20 a año 30	51	12	248	135
	8) Futuro: año 30 a año 40	57	18	264	151
SHAC Río Petorca poniente	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	-243	------	0	------
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-194	-194	20	20
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	-43	-119	82	51
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	139	-54	157	78
	5) Futuro: año 0 a año 10	97	-24	140	90
	6) Futuro: año 10 a año 20	136	3	156	101
	7) Futuro: año 20 a año 30	146	23	160	110
	8) Futuro: año 30 a año 40	166	41	168	117
SHAC Estero Alicahue	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	-101	------	0	------
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-93	-93	7	7
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	-99	-96	2	4
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	-107	-99	-6	2
	5) Futuro: año 0 a año 10	-105	-100	-4	1
	6) Futuro: año 10 a año 20	-97	-99	4	1
	7) Futuro: año 20 a año 30	-93	-99	7	2
	8) Futuro: año 30 a año 40	-85	-97	16	4
SHAC Río La Ligua oriente	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	-264	------	0	------
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-201	-201	24	24
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	-83	-142	69	46
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	8	-104	103	61
	5) Futuro: año 0 a año 10	-33	-90	88	66
	6) Futuro: año 10 a año 20	-15	-78	94	71
	7) Futuro: año 20 a año 30	-10	-68	96	74
	8) Futuro: año 30 a año 40	-1	-60	99	77
SHAC Estero De Los Ángeles	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	-172	------	0	------
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-147	-147	15	15
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	-68	-107	61	38
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	43	-70	125	60
	5) Futuro: año 0 a año 10	20	-52	112	70
	6) Futuro: año 10 a año 20	29	-38	117	78
	7) Futuro: año 20 a año 30	30	-29	117	83
	8) Futuro: año 30 a año 40	38	-20	122	88
SHAC Río La Ligua Cabildo	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	-168	------	0	------
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-180	-180	-7	-7
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	-34	-107	80	37
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	110	-53	165	69
	5) Futuro: año 0 a año 10	62	-30	137	82
	6) Futuro: año 10 a año 20	75	-12	145	93
	7) Futuro: año 20 a año 30	79	1	147	101
	8) Futuro: año 30 a año 40	84	11	150	107
SHAC Estero de La Patagua	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	11	------	0	------
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-18	-18	258	258
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	7	-5	35	147
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	10	-1	12	113
	5) Futuro: año 0 a año 10	7	0	39	98
	6) Futuro: año 10 a año 20	7	1	39	88
	7) Futuro: año 20 a año 30	7	2	39	81
	8) Futuro: año 30 a año 40	7	3	39	76
SHAC	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	-236	------	0	------

Dominio	Intervalo de tiempo	Q^{R-N} [l/s]	$Q^{R-N}_{ac.}$ [l/s]	Red.Q^{R-N} [%]	Red.$Q^{R-N}_{ac.}$ [%]
Río La Ligua pueblo	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-141	-141	40	40
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	-25	-83	89	65
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	95	-38	140	84
	5) Futuro: año 0 a año 10	100	-11	142	95
	6) Futuro: año 10 a año 20	142	15	160	106
	7) Futuro: año 20 a año 30	151	34	164	114
	8) Futuro: año 30 a año 40	160	50	168	121
SHAC Río La Ligua costa	1) Histórico: Régimen permanente (sin explotación)	-22	------	0	------
	2) Histórico: Pseudo equilibrio 1979-1993 (15 años)	-40	-40	-82	-82
	3) Histórico: Transición 1994-2008 (15 años)	-25	-32	-14	-48
	4) Histórico: Actual 2009-2018 (10 años)	-1	-24	93	-13
	5) Futuro: año 0 a año 10	-6	-21	73	5
	6) Futuro: año 10 a año 20	-1	-17	96	20
	7) Futuro: año 20 a año 30	1	-15	105	32
	8) Futuro: año 30 a año 40	6	-12	126	44

Nomenclatura	
QR-N [l/s]	Flujo río-napa por intervalo de tiempo considerado [l/s]
QR-Nac. [l/s]	Flujo río-napa promedio acumulado hasta el intervalo considerado [l/s]
Red.QR-N [%]	Reducción porcentual del flujo río-napa promedio por intervalo con respecto al valor base [%]
Red.QR-Nac. [%]	Reducción porcentual del flujo río-napa promedio acumulado con respecto al valor base [%]

Nota: flujos negativos, corresponden a recuperaciones netas, flujos positivos, son aportes netos de los ríos a los acuíferos Reducciones porcentuales sobre el 100%, indican cambio de signo, es decir, se redujo el total de las recuperaciones (100%) y se pasó a un estado de aportes río-napa.

De los resultados de la Tabla 6-5, para el dominio activo y en todos los SHACs, es posible inferir, que el sistema ha tenido un gran cambio en el flujo río-napa. Las recuperaciones, del estado sin explotación (régimen permanente), se han reducido o incluso, se ha invertido el flujo, pasando de recuperaciones a una predominancia infiltraciones (aportes del río a la napa). Los descensos que se han producido en los niveles, han liberado espacio (volumen de almacenamiento libre), para admitir un mayor aporte río-napa, pero sólo si existe flujo superficial. Debido a que los últimos años, la escorrentía superficial ha sido mermada, los aportes río-napa están limitados a esa disponibilidad, representada en el modelo de flujo subterráneo con conductividades variables mensualmente.

El tercer criterio DGA es:

"Criterio 3: Satisfacción de la demanda. Para cada sector hidrogeológico, el modelo debe permitir una extracción mínima de un 95% del caudal ingresado como demanda y la oferta estará dada por el caudal de los pozos que el modelo indica que son factibles de obtener. $Q_{Oferta} > 95\ \%\ Q_{Demanda}$*"*

Si el acuífero, ya fue cerrado, el criterio es:

"No se puede disminuir el grado de cumplimiento de la demanda en un sector cerrado en más de un dígito porcentual. Es decir, si el sector acuífero ha sido cerrado por cumplimiento de la demanda de un N%, no es permitido que este cumplimiento disminuya a un (N-1) %. Si esto sucede, el sector abierto que provoque esta disminución deberá cerrarse."

La demanda puede considerarse como los derechos o como la demanda real, teniendo en cuenta los usos y el uso agrícola, como uso principal. En ese sentido, los caudales calculados en el punto 5.4 para el año 2018, son representativos de la demanda real.

Al analizar la situación al año 2018, se tiene un total de derechos de 11991 l/s, un caudal cercano a la demanda estimado en función de los datos de catastros (punto 5.4), de 4831 l/s (como promedio anual del año 2018) y el resultado del modelo del escenario futuro (2019-2059), de 2882 l/s (promedio anual simulado factible entre 2019 y 2059).

Con esos valores, se concluye que actualmente, sólo es posible extraer un 24% de los derechos y un 60 % de la demanda estimada (según la metodología expuesta en el punto 5.4). Por lo tanto, el sistema se encuentra bastante por abajo del umbral establecido para la extracción, según el tercer criterio DGA. En la Tabla 6-6 se muestran los valores desagregados, para cada SHAC. Sólo en el sector río Pedernal se estimó una extracción factible semejante a la demanda.

Tabla 6-6. Satisfacción de la demanda

Zona N°	SHAC	$Q_{Derechos}$ [l/s]	$(Q_{Demanda})^{2018}$ [l/s]	$(Q_{Factible})^{Futuro}$ [l/s]	% factible c/r a derechos [%]	% factible c/r a demanda [%]
6	Río del Sobrante	130	42	30	23.3	72.3
11	Río Pedernal	227	73	70	31.0	95.9
12	Río Petorca oriente	1673	539	324	19.4	60.2
5	Estero Las Palmas	316	102	87	27.6	85.4
13	Río Petorca poniente	2733	880	497	18.2	56.4
	Cuenca río Petorca	5080	1637	1009	19.9	61.6
2	Estero Alicahue	86	41	11	13.3	27.6
9	Río La Ligua oriente	1825	880	501	27.5	57.0
4	Estero de Los Ángeles	926	446	332	35.8	74.4
7	Río La Ligua Cabildo	2068	902	417	20.2	46.2
3	Estero de La Patagua	152	73	51	33.2	69.0
10	Río La Ligua pueblo	1587	764	528	33.3	69.1
8	Río La Ligua costa	268	88	34	12.6	38.4
	Cuenca río La Ligua	6912	3194	1873	27.1	58.7
1	Cuencas ríos Petorca y La Ligua	11991	4831	2882	24.0	59.7

Nomenclatura	
$Q_{Derechos}$ [l/s]	Caudal de derechos otorgados a diciembre de 2018
$(Q_{Demanda})^{2018}$ [l/s]	Caudal de demanda, promedio anual, estimado con datos de catastros (punto 5.4)
$(Q_{Factible})^{2018}$ [l/s]	Caudal promedio anual simulado factible año 2018
% factible c/r a derechos [%]	$=(Q_{Factible})^{2018}/Q_{Derechos}\cdot 100$
% factible c/r a demanda [%]	$=(Q_{Factible})^{2018}/Q_{Demanda}\cdot 100$

El cuarto criterio DGA es:

"Criterio 4: Pozos secos. En cada sector hidrogeológico no debe haber más de un 5% de pozos desconectados o colgados. En caso contrario el sector quedará cerrado. Esta condición apunta a respetar derechos de terceros sin importar la cantidad que extraiga cada pozo. $N_{POZOS\ SECOS}/N_{TOTAL\ POZOS}<5\%$*"*

Si el acuífero, ya fue cerrado, el criterio es:

"Si en uno de los sectores cerrados, se seca un nuevo pozo, se deberá cerrar aquel sector (abierto) en que se aumentó la demanda y que provocó este nuevo pozo seco en el sector cerrado."

El esquema planteado en este criterio obedece a las versiones de Modflow, previas al Modflow-USG, para las cuales, las simulaciones con bombeos excesivos, generaban secados puntuales en las ubicaciones de las captaciones subterráneas. El modelo elaborado en el presente trabajo, fue desarrollado con Modflow-USG, que permite abordar este problema de forma iterativa, reduciendo los caudales de los bombeos, sin secar celdas. Por lo tanto, este criterio se debería redefinir, para evaluar la reducción de los rendimientos de las captaciones. Los porcentajes estimados para los caudales factibles de extraer, son indicadores de la disminución de los rendimientos de las captaciones subterráneas.

Una alternativa es considerar $N_{POZOS\ SECOS}/N_{TOTAL\ POZOS} \approx 100 \cdot (Q_{impuesto}-Q_{factible})/Q_{impuesto}$ [%], dado que, $(Q_{impuesto}-Q_{factible})$ es el caudal que no fue posible bombear, según la operación del modelo. Los resultados obtenidos, se muestran en la Tabla 6-7.

Tabla 6-7. Estimación de reducción del caudal demandado como criterio semejante al criterio de sustentabilidad DGA de "pozos secos"

Zona N°	SHAC	$Q_{Impuesto}$ $(Q_{Demanda})^{2018}$ [l/s]	$(Q_{Factible})^{2018}$ [l/s]	P_Q [%]
6	Río del Sobrante	42	30	28
11	Río Pedernal	73	70	4
12	Río Petorca oriente	539	324	40
5	Estero Las Palmas	102	87	15
13	Río Petorca poniente	880	497	44
	Cuenca río Petorca	1637	1009	38
2	Estero Alicahue	41	11	72
9	Río La Ligua oriente	880	501	43
4	Estero de Los Ángeles	446	332	26
7	Río La Ligua Cabildo	902	417	54
3	Estero de La Patagua	73	51	31
10	Río La Ligua pueblo	764	528	31
8	Río La Ligua costa	88	34	62
	Cuenca río La Ligua	3194	1873	41
1	Cuencas ríos Petorca y La Ligua	4831	2882	40

Nota: $P_Q = 100 \cdot N_{POZOS\ SECOS} / N_{TOTAL\ POZOS} \approx 100 \cdot (Q_{impuesto} - Q_{factible}) / Q_{impuesto}$ [%]
(Fuente: Elaboración propia)

El quinto criterio DGA es:

"Criterio 5: Afección a sectores abiertos. Verificar que el aumento de extracciones desde un sector no afecte la disponibilidad sustentable desde otro sector aguas abajo. El cumplimiento de este criterio estará dado porque ninguno de los sectores abiertos en que se aumente la demanda provoque el no cumplimiento de los criterios para los otros sectores abiertos, o para los sectores cerrados (dichos criterios para los sectores cerrados se especifican en el siguiente punto)."

En el sistema estudiado, cada sector está sobre explotado, en distintos niveles, por lo que los efectos de la extracción de un sector afectan al mismo sector y, además, se producen efectos sinérgicos. No obstante, el sistema La Ligua-Petorca, está cerrado, por lo que no aplica el criterio de que algún sector abierto afecte a otro sector abierto o cerrado.

CAPÍTULO 7 SUGERENCIAS DE TRABAJO FUTURO

La calibración del modelo se basa en el ajuste de los niveles simulados con relación a los niveles medidos en puntos de control. Entre los puntos de control, se cuentan los pozos de la red de monitoreo de agua subterránea de la DGA. Se detectaron errores en las coordenadas en uno de los pozos, por lo que sería recomendable hacer un recorrido de la red y registrar las coordenadas de cada pozo, incluso aquellos que ya no se usan para este efecto, puesto que los niveles medidos en el pasado y que no se siguen midiendo, son útiles para las calibraciones.

Las extracciones, tanto actuales como históricas, son inciertas y se estimaron de forma indirecta en función de los datos de terreno obtenidos de un catastro de captaciones realizado en 2013[††††] y de la información de derechos de aguas subterráneas otorgados. Se sugiere realizar una campaña de terreno para estimar el nivel de extracción actual. Como existen más de 2600 captaciones de agua subterránea, en ambas cuencas en conjunto (Ligua y Petorca), es posible realizar un catastro muestral por sectores, para definir el consumo estacional del agua subterránea, desagregado mensualmente.

Si bien, la mayoría de las captaciones se usan para riego, sería de gran utilidad disponer de una base de datos de captaciones, en la que se tenga certeza del tipo de uso real de cada captación. En el marco legal, asociado al otorgamiento de derechos, esto podría estar considerado, puesto que es imprescindible para cuantificar el consumo efectivo del agua subterránea.

El catastro muestral, debería obtener información de captaciones con derechos y sin derecho, aunque resultaría difícil que una persona encuestada reconociese que su captación es clandestina. De esa forma, se podría estimar de forma más realista la extracción efectiva.

La información de derechos es incompleta y redundante, esto se puede comprobar al revisar los pasos realizados en el proceso de la planilla de derechos (ver punto 5.4.2). Los derechos deberían estar organizados por captación, no por expediente, puesto que existen casos en que aparecen varios registros o expedientes asociados a la misma captación, lo que podría originar una cuantificación duplicada. Para evitar lo indicado, se excluyeron los expedientes más antiguos, para casos con duplicidad de coordenadas (coordenadas redondeadas al metro). Cada captación registrada con derecho debería tener coordenadas, caudal solicitado y caudal otorgado, además de la especificación del tipo de uso que se le dará al recurso hídrico subterráneo, previamente mencionado. Existen varios registros que no cuentan con alguno de esos datos, en el punto 5.4.2 se detalla la cantidad de puntos usados y aquellos excluidos por la falta de alguno de esos datos.

[††††] Mejoramiento de agua subterránea para riego Ligua y Petorca, GCF-CNR, 2013.

La recarga de los medios subterráneos depende directamente de la escorrentía superficial, por lo que es necesario contar con un modelo de flujo superficial, que incluya la red de canales (podría incluir hasta los canales secundarios), las áreas regadas y los aportes naturales provenientes de las precipitaciones. Para este trabajo se usaron los resultados de un modelo de 2004[‡‡‡‡], extrapolados en función de las precipitaciones, hasta 2018. Por consiguiente, un paso natural para una mejor representación del sistema hídrico de Ligua-Petorca, sería el desarrollo de un nuevo modelo, usando alguna herramienta computacional actual (WEAP, MatLab o incluso Excel). Este modelo debería operarse integradamente con el modelo de flujo subterráneo desarrollado en el presente trabajo y permitiría definir las propiedades de las celdas río para los escenarios futuros y ajustar la parte de la recarga proveniente del riego.

Para complementar los estudios hídricos, sería de utilidad analizar cómo ha cambiado en el tiempo la calidad físico-química del agua subterránea. Parte importante de la recarga a los acuíferos, especialmente las zonas más bajas de la cuenca, proviene del aporte río-napa. Como es sabido, los últimos 10 años, los flujos superficiales son captados mayoritariamente en las zonas más altas, por las bocatomas de canales. Por lo que la escorrentía superficial, de las zonas más bajas, proviene en parte de los excedentes de riego (¿cuánto?, se podría estimar con un modelo de flujo superficial, como el sugerido previamente). Las recuperaciones de riego, pueden tener contaminación por el uso de pesticidas y fertilizantes, lo que podría estar induciendo un deterioro de la calidad del agua subterránea en el relleno directamente conectados con los ríos La Ligua y Petorca.

El modelo elaborado, podría ser mejorado con nuevos antecedentes geofísicos, para la definición espacial del relleno, en las áreas en las que se hayan realizado estudios geofísicos.

Con respecto a los escenarios futuros, se podría complementar el presente trabajo con un análisis de sensibilidad, variando las conductividades de las celdas río y su variación temporal, en el escenario futuro, dado que se consideró una distribución de conductividades representativa de los últimos 10 años, período en que muchos de los tramos de los cauces han pasado por prologados períodos sin escorrentía.

Complementariamente, se podría agregar un escenario con las recargas históricas, sin la corrección por cambio climático. Estas recargas son un poco mayores a las consideradas en el escenario evaluado.

Otro escenario interesante de evaluar es el operar el escenario futuro, partiendo de los bombeos de 2018 calculados en el punto 5.4.3. Esos caudales son mayores a los obtenidos al final de la simulación histórica, que son los que se usaron como bombeo de partida en el escenario futuro evaluado en el informe.

Los escenarios futuros complementarios entregarían rangos para las reducciones que deberían sufrir los derechos otorgados, que se obtendrían al variar levemente la configuración del escenario futuro.

[‡‡‡‡] Modelo de operación del sistema (MOS), incluido en: Estudio Modelación integral de los recursos hídricos de los valles de los ríos la Ligua y Petorca. Elaborado por P. Isensee para la Dirección de Obras Hidráulicas en 2004.

CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES

El sistema estudiado ha sido sometido a una intensa explotación, principalmente los rellenos sedimentarios asociados a los cauces de los ríos La Ligua y Petorca. La modelación realizada, para el período histórico (1979-2018), ha permitido entender cómo ha variado en el tiempo el estado del sistema y cómo se ha llegado al estado actual del mismo. A continuación, se resume la variación de las componentes hidrogeológicas para toda el área estudiada, es decir, las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca, según los resultados obtenidos con los modelos elaborados.

La componente más determinante en el estado de los acuíferos es la explotación del agua subterránea, la que pasó de un promedio (por período) de 421 l/s (1979-1993) a 1431 l/s (1994-2008) y posteriormente, a 2673 l/s (2009-2018).

Ese progresivo incremento de los bombeos, redujo los afloramientos y las recuperaciones en los cauces, que pasaron de un valor promedio neto de 1441 l/s de recuperaciones (1979-1993) a un flujo neto promedio en sentido inverso, de 182 l/s de infiltración desde los cauces a las napas (2009-2018).

El consumo del agua almacenada en los acuíferos ha ido aumentando sostenidamente, para poder alimentar las extracciones de agua subterránea que exceden la capacidad natural de recarga del acuífero. Los caudales de consumo neto del agua almacenada pasaron de 157 l/s (1979-1993) a 505 l/s (1994-2008) y finalmente, a 930 l/s (2009-2018).

Las recargas han aumentado en el transcurso del tiempo. Esto puede sonar paradójico, si se tiene en mente los efectos climáticos, del calentamiento global. No obstante, el incremento no se debe a un aumento de las precipitaciones (que no ha ocurrido), sino a una concatenación de efectos. El aumento de la explotación ha deprimido los niveles freáticos, generando un espacio para admitir recarga. De esa forma, una mayor proporción de la recarga potencial, que no tenía cabida en el estado de equilibrio (sin extracciones), actualmente logra infiltrar hacia las zonas deprimidas de los acuíferos. Este aspecto, se aprecia claramente, al ver los gráficos de los flujos netos río-napa, que pasan de recuperaciones (1441 l/s) a infiltraciones (182 l/s), tal como fue expuesto más arriba. Las recargas totales, calculadas como las recargas por lluvia, más los excedentes de riego y sumado al aporte neto río-napa, ha variado de 1891 l/s (1979-1993), a 2221 l/s (1994-2008) y finalmente, a 2609 l/s (2009-2018).

Con relación a la simulación futura realizada, es necesario aclarar que el análisis efectuado, considera la explotación factible del agua subterránea. No se evaluó la extracción sustentable. Para ello, se debería definir previamente, qué significa explotación sustentable para un sistema acuífero que está actualmente en un estado crítico, como el estudiado.

Evidentemente, los porcentajes de reducción de derechos que se obtendrían, resultarían aún más restrictivos, si se impone la sustentabilidad del medio subterráneo, sea cual sea su definición.

Con relación a los objetivos del estudio, particularmente el objetivo de restringir el usufructo de los derechos otorgados, con un objetivo de preservación del embalse subterráneo, es necesario definir, en primer lugar, el criterio a usar, para aplicar dicha restricción.

La extracción real es distinta a la demanda real y a su vez, ambas difieren del derecho de explotación de agua subterránea otorgado.

Para clarificar lo anterior, consideremos a un usuario que cuenta con un derecho explotación de agua subterránea, de 50 l/s. Este usuario, posee un terreno que cultiva y cuenta con derechos superficiales, conducidos por la red de canales. La demanda real de agua subterránea del usuario, es para suplir el déficit en el caudal de riego a la entrada del predio, que no alcanza a cubrir el suministro superficial. En promedio necesita bombear 20 l/s (demanda real), para suplir ese déficit. Sin embargo, dadas las condiciones del acuífero, los niveles freáticos deprimidos en su sector, sólo le permiten extraer 10 l/s (extracción real).

La aclaración anterior, se requiere para analizar los resultados obtenidos en el presente estudio.

Con el modelo se calculó la extracción histórica y futura factible, que es semejante o debería corresponder aproximadamente a la extracción real. Por otro lado, la demanda real, no se conoce, para ello se requiere un estudio agronómico (histórico, variable en el tiempo), integrado con un modelo de flujo superficial que considere la hidrología histórica, la red de canales usados para riego y retroalimentado con los resultados del modelo de flujo subterráneo, desarrollado en el presente estudio.

Al analizar extracción real se debe tener en cuenta que ésta, varía en el tiempo. En el modelo desarrollado, se discretizó a nivel mensual. La extracción real varía mes a mes, con un valor promedio anual y un máximo mensual. Por consiguiente, aparece la disyuntiva si restringir el derecho según el caudal máximo mensual o el caudal promedio anual, si se elige la opción del promedio anual, la restricción es mucho mayor. Los resultados obtenidos, para cada cuenca son los siguientes:

Zona	Caudales [l/s]			Porcentajes con respecto a los derechos [%]	
	Q^{der}	$[Q^{fac}]_{prom}$	$[Q^{fac}]_{max}$	$[P^{cr\ der}]_{prom}$	$[P^{cr\ der}]_{max}$
Cuenca río Petorca	5080	1009	2088	19.9 %	41.1 %
Cuenca río La Ligua	6912	1873	3341	27.1 %	48.3 %
Cuencas ríos Petorca y La Ligua	11991	2882	5429	24.0 %	45.3 %

Nomenclatura:
Q^{der}: Caudal de derecho otorgado
$[Q^{fac}]_{prom}$: Caudal promedio factible de extraer (extracción real como promedio anual)
$[Q^{fac}]_{max}$: Caudal máximo (promedio mensual) factible de extraer (extracción real como máximo mensual)
$[P^{cr\ der}]_{prom}$: % al que se debe reducir el derecho, para limitar la extracción a la extracción real, como promedio anual ($[Q^{fac}]_{prom}$)
$[P^{cr\ der}]_{max}$: % al que se debe reducir el derecho, para limitar la extracción a la extracción real, como máximo mensual ($[Q^{fac}]_{max}$)

Como es posible inferir de los resultados obtenidos, la restricción de los derechos, para ser aplicable, requiere una gran cantidad de información e infraestructura, que actualmente no existe. En primer lugar, la identificación de todas las captaciones, con coordenadas, caudales de extracción iniciales (prueba de bombeo de construcción), caudales de extracción actuales y situación legal (derecho otorgado, sí o no, fechas). Además, se debe cuantificar, de alguna forma (encuestas, modelos u otro), la demanda real.

Para el control de los caudales, se necesitan flujómetros y para el control de niveles freáticos, se requiere de medidores continuos o, a lo menos, la habilitación de líneas de aire. Si se considera que en el área estudiada existen del orden de 3000 captaciones de agua subterránea, los montos de inversión en equipos son muy grandes, incluso si se les solicita esto a los propios usuarios. La labor de fiscalización, si algo de esto se llevara a cabo, también resultaría logísticamente muy dificultosa.

CAPÍTULO 9 ANEXOS

9.1 BIBLIOGRAFÍA

1) Ayala & Cabrera (2014). Modelación hidrogeológica de los acuíferos de Ligua y Petorca. Elaborado para la Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas.

2) CAMELSCL. (s.f.). Datos de evaporación, obtenidos de: http://www.cr2.cl/datos-informacion-integrada-por-cuencas/ CAMELSCL: Catchment Attributes and Meteorology for Large Sample Studies, Chile Dataset.

3) CNR (2011). Estudio Diagnóstico de los recursos subterráneos en el sistema hídrico Ligua y Petorca.

4) CNR (2013). Mejoramiento de agua subterránea para riego Ligua y Petorca.

5) CR2. (s.f.). Los datos para definición de escenario hidrológico incorporando los efectos del cambio climático fueron obtenidos en: La Plataforma de Simulaciones Climáticas del $(CR)^2$ (Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia).

6) Custodio & Llamas (1996). Hidrología subterránea. Emilio Custodio/Manuel Ramón Llamas (directores de edición), Tomo 1, 1996.

7) DARH (2014). Informe Técnico DGA N° 70 que revoca derechos provisionales.

8) DEP (2014). Minuta DGA que propone revocar derechos provisionales.

9) DGOP (2014). Modelación hidrogeológica de los acuíferos de Ligua y Petorca.

10) Sernageomin (1993). Hoja Quillota-Portillo, Carta geológica de Chile, escala 1:250.000.

11) P. Isensee (2004). Modelo de operación del sistema (MOS), incluido en: Estudio Modelación integral de los recursos hídricos de los valles de los ríos la Ligua y Petorca. Elaborado por P. Isensee para la Dirección de Obras Hidráulicas en 2004.

9.2 PRECIPITACIONES

Tabla 9-1. Precipitaciones mensuales estación Caimanes

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	3.8	27.1	26.9	44.3	33.1	17.3	0.0	0.0	0.0	152.5
1980	0.0	0.0	0.0	4.2	11.0	75.9	16.5	37.8	88.8	45.9	0.0	0.0	280.1
1981	0.0	0.1	1.7	1.2	43.4	72.5	44.2	18.3	11.7	0.0	0.0	0.0	193.1
1982	0.0	0.0	54.8	0.0	31.5	84.6	62.0	74.2	0.0	0.0	0.0	0.0	307.0
1983	0.0	0.0	0.0	1.9	15.9	116.5	24.8	43.4	0.0	0.0	0.0	0.0	202.5
1984	0.0	0.0	0.0	2.0	11.1	63.6	44.6	47.5	51.3	26.5	0.0	0.0	246.7
1985	0.0	0.0	0.0	4.6	25.9	30.9	48.8	20.1	82.6	0.0	0.0	0.0	212.9
1986	0.0	0.0	0.0	4.5	23.1	76.9	58.9	45.8	0.0	0.0	0.0	0.0	209.2
1987	0.0	0.0	0.0	3.7	55.3	76.3	49.8	50.9	31.5	16.3	0.0	0.0	283.7
1988	0.0	0.0	0.0	3.8	10.1	68.6	14.9	28.5	26.3	0.0	1.8	0.0	154.0
1989	0.0	0.0	0.0	2.2	29.1	58.9	72.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	162.9
1990	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.7	18.7	10.0	5.0	0.0	0.0	74.4
1991	0.0	0.0	0.0	1.0	34.3	206.3	34.5	0.0	31.4	11.5	0.0	0.0	319.0
1992	0.0	0.0	18.0	26.9	63.3	227.6	0.0	138.0	19.0	0.0	1.5	0.0	494.3
1993	0.0	0.0	0.0	14.8	25.0	36.5	34.0	34.5	5.0	0.0	0.0	0.0	149.8
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	38.0	40.0	8.0	22.5	0.0	0.0	0.0	116.5
1995	9.0	0.0	0.0	13.5	1.0	45.2	50.0	37.5	7.0	0.0	0.0	0.0	163.2
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	24.7	0.0	18.5	0.0	3.0	0.0	0.0	49.2
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	92.0	374.7	21.0	193.5	41.0	72.7	4.0	0.0	798.9
1998	0.0	0.0	0.0	4.6	12.6	76.2	24.5	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	120.5
1999	0.0	0.0	0.0	4.9	9.0	45.0	11.5	92.5	96.0	5.0	0.0	0.0	263.9
2000	0.0	0.0	0.0	1.0	31.0	205.0	26.0	0.0	95.0	0.0	0.0	0.0	358.0
2001	0.0	0.0	1.0	4.0	55.5	0.0	196.5	46.5	10.0	0.0	0.0	0.0	313.5
2002	0.0	0.0	0.0	9.5	148.5	192.0	150.0	73.1	4.0	0.0	0.0	0.0	577.1
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	92.0	35.5	32.3	8.0	0.0	0.0	1.0	0.0	168.8
2004	0.0	0.0	18.0	60.4	5.5	37.0	77.5	84.5	4.0	0.0	2.5	0.0	289.4
2005	0.0	0.0	7.5	0.0	39.0	44.3	22.0	100.0	13.0	4.5	5.3	0.0	235.6
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	52.0	113.8	8.5	0.0	7.4	0.0	0.0	182.7
2007	0.0	0.0	2.9	0.0	4.5	90.0	12.0	44.5	0.0	10.1	0.0	0.0	164.0
2008	0.0	0.0	2.0	12.0	86.0	54.0	78.0	89.9	1.0	0.0	0.0	0.0	322.9
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.1	28.0	98.0	0.0	0.0	0.0	0.0	216.1
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	38.5	50.0	43.0	16.0	25.0	7.5	15.0	0.0	195.0
2011	0.0	5.0	0.0	0.0	1.5	111.0	45.0	32.5	0.0	0.0	0.0	0.0	195.0
2012	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	45.3	0.0	71.5	0.0	32.0	0.0	0.0	162.3
2013	0.0	0.0	0.0	0.1	71.0	22.5	4.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	114.6
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	123.0	0.0	12.5	9.0	0.0	0.0	0.0	148.5
2015	0.0	0.0	19.5	0.0	0.0	0.0	46.0	175.5	15.0	44.0	0.0	0.0	300.0
2016	0.0	0.0	0.0	35.5	22.5	144.0	54.5	0.0	0.0	42.5	0.0	0.0	299.0
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	169.0	69.5	13.5	19.5	30.0	0.0	0.0	0.0	301.5
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	70.8	69.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	160.3
$\bar{X}_{Medido}$	0.35	0.19	2.54	6.25	38.22	87.53	43.47	49.61	15.19	8.40	1.05	0.00	239.5
$\bar{X}_{Med+Rell.}$	0.23	0.13	3.14	5.50	33.18	81.55	43.72	46.16	18.75	8.35	0.78	0.00	241.5
σ_{Medido}	1.77	0.98	6.07	13.92	46.97	87.44	46.45	53.29	24.93	17.64	3.03	0.00	128.5
$\sigma_{Med.+Rell.}$	1.42	0.79	9.75	11.59	39.01	73.00	39.38	46.45	27.50	16.61	2.57	0.00	137.2

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-2. Precipitaciones mensuales estación Coirón

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	6.5	6.5	0.0	138.5	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	167.5
1980	0.0	0.0	0.0	187.0	0.0	73.3	148.0	11.5	63.5	0.0	0.0	0.0	483.3
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	131.5	21.0	24.0	36.0	12.0	0.0	0.0	0.0	224.5
1982	0.0	0.0	18.0	0.0	84.5	217.0	124.5	117.0	4.0	9.0	1.0	0.0	575.0
1983	3.5	0.0	0.0	6.5	37.0	96.5	171.5	44.0	27.5	0.0	0.0	0.0	386.5
1984	0.0	0.0	3.0	0.0	25.3	12.0	402.0	10.0	14.2	5.0	0.0	0.0	471.5
1985	0.0	0.0	17.0	0.0	5.0	1.5	96.5	6.0	0.0	6.2	0.0	0.0	132.2
1986	0.0	0.0	0.0	1.0	143.5	88.1	3.0	52.5	14.0	0.0	0.0	0.0	302.1
1987	0.0	0.0	11.0	16.0	35.0	51.0	597.5	298.0	13.0	35.0	0.0	0.0	1056.5
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	13.5	48.5	27.0	8.0	0.0	7.0	10.0	122.5
1989	0.0	0.0	0.0	7.0	44.0	7.0	109.0	129.0	4.0	0.0	0.0	0.0	300.0
1990	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	10.0	42.0	25.0	23.0	0.0	0.0	0.0	102.0
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	41.0	151.0	64.0	8.0	49.0	0.0	0.0	5.0	318.0
1992	0.0	0.0	29.0	79.9	73.0	183.0	3.0	76.0	21.0	0.0	6.0	0.0	470.9
1993	0.0	1.0	0.0	65.0	165.0	15.3	46.0	35.0	12.0	0.0	0.0	0.0	339.3
1994	0.0	0.0	0.0	2.0	19.0	12.1	57.0	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	97.8
1995	23.5	0.0	0.0	10.0	1.5	49.0	33.5	32.0	21.0	0.0	0.0	0.0	170.5
1996	0.0	0.0	0.0	38.0	0.0	33.0	60.8	65.5	0.0	0.0	0.0	0.0	197.3
1997	0.0	0.0	2.0	0.0	35.0	436.5	39.0	213.8	8.0	58.0	0.0	0.0	792.3
1998	0.0	0.0	0.0	23.0	14.8	31.0	0.0	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0	83.8
1999	0.0	0.0	0.0	7.0	5.0	46.0	0.0	83.0	92.3	12.0	0.0	0.0	245.3
2000	0.0	0.0	0.0	14.5	27.0	209.1	68.5	0.0	98.8	3.0	0.0	0.0	420.9
2001	0.0	0.0	10.1	4.5	51.2	0.0	226.2	56.4	5.5	11.1	0.0	0.0	365.0
2002	0.0	0.0	3.5	20.9	146.7	197.4	129.8	78.3	6.4	0.0	0.0	0.0	583.0
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	82.5	54.0	35.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	173.0
2004	0.0	0.0	7.0	26.0	0.0	19.0	43.7	55.0	6.0	0.0	10.0	0.0	166.7
2005	0.0	0.0	3.0	15.5	35.2	37.7	11.0	117.9	39.0	4.5	4.0	0.0	267.8
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.5	139.5	2.5	0.0	34.0	0.0	0.0	215.5
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	141.6	14.3	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	184.9
2008	0.0	0.0	0.0	0.0	46.7	76.7	47.7	151.0	1.2	0.0	0.0	0.0	323.3
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	117.7	41.5	64.8	15.1	0.0	0.0	0.0	239.1
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	43.5	63.0	32.0	1.0	20.5	9.0	38.0	0.0	207.0
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	111.0	62.5	44.0	0.0	0.0	0.0	0.0	217.5
2012	0.0	0.0	0.0	10.1	6.5	25.0	0.0	32.5	0.0	13.5	0.0	0.0	87.6
2013	1.2	0.0	0.0	0.0	72.5	14.2	2.0	15.9	0.0	0.0	0.0	0.0	105.8
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	12.3	103.7	0.0	13.5	15.7	0.0	0.0	0.0	145.2
2015	0.0	0.0	20.7	0.0	0.0	0.0	49.7	183.7	28.0	59.0	0.0	0.0	341.1
2016	0.0	0.0	0.0	45.5	45.0	122.0	55.0	0.0	0.0	16.0	0.0	8.0	291.5
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	235.0	90.0	17.0	27.5	21.0	7.0	0.0	0.0	397.5
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	81.0	33.0	4.0	22.0	0.0	0.0	0.0	149.0
$\overline{X}_{Medido}$	0.71	0.03	3.11	14.65	42.26	76.26	81.65	55.56	16.89	7.24	1.69	0.61	299.3
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.71	0.03	3.11	14.65	42.26	76.26	80.43	54.28	17.02	7.06	1.65	0.58	298.0
σ_{Medido}	3.74	0.16	6.80	33.31	54.24	84.79	114.33	65.62	23.36	14.68	6.35	2.18	202.3
$\sigma_{Med.+Rell.}$	3.74	0.16	6.80	33.31	54.24	84.79	113.12	65.29	23.08	14.54	6.28	2.12	199.1

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-3. Precipitaciones mensuales estación La Tranquilla

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	7.0	8.0	0.0	55.5	15.0	0.0	0.0	2.5	1.0	89.0
1980	9.0	0.0	0.0	156.5	0.0	51.0	67.0	5.0	40.0	6.0	0.0	0.0	334.5
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	88.0	21.0	52.6	38.5	6.0	0.0	0.0	0.0	206.1
1982	0.0	0.0	17.0	0.0	63.5	205.0	119.5	51.0	12.0	4.0	0.0	0.0	472.0
1983	9.5	0.0	0.0	30.5	16.5	43.0	123.0	27.6	9.5	0.5	0.0	0.0	260.1
1984	0.0	0.0	8.0	0.0	17.5	18.0	240.0	9.8	20.2	3.0	6.0	0.0	322.5
1985	0.0	0.0	7.5	0.0	6.2	1.6	55.8	1.2	1.0	10.1	0.0	0.0	83.4
1986	0.0	0.5	0.0	0.3	97.0	77.4	1.9	41.5	2.5	18.7	0.2	0.0	240.0
1987	0.0	7.0	6.5	11.9	18.9	50.0	398.5	238.0	7.0	19.3	0.0	0.0	757.1
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	9.6	24.0	14.5	4.7	0.0	7.7	1.7	76.7
1989	0.0	0.0	0.0	6.0	30.0	0.5	74.5	81.0	6.5	0.0	0.0	0.0	198.5
1990	0.0	0.0	1.0	0.0	2.0	11.5	31.5	21.5	26.5	0.0	0.0	0.0	94.0
1991	0.0	0.0	0.0	2.5	54.0	161.6	57.0	3.5	51.0	0.0	0.0	5.0	334.6
1992	1.5	0.0	15.0	52.0	62.5	181.5	8.0	83.0	18.0	0.0	10.0	0.0	431.5
1993	0.0	0.0	0.0	62.0	168.0	10.5	41.0	20.0	11.0	0.0	0.0	0.0	312.5
1994	0.0	0.0	0.0	4.5	16.5	13.5	56.0	6.0	1.0	0.0	0.0	0.0	97.5
1995	51.0	0.0	0.0	10.0	1.0	26.0	32.0	13.0	13.5	0.0	0.0	0.0	146.5
1996	0.0	0.0	0.0	31.0	1.5	30.5	54.5	36.0	0.0	0.0	0.0	0.0	153.5
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	429.0	18.0	218.0	7.0	40.5	0.0	3.0	738.5
1998	0.0	4.5	2.0	21.0	2.0	14.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	45.5
1999	0.0	0.0	8.0	8.0	9.0	30.5	1.6	54.0	95.0	6.0	0.0	0.0	212.1
2000	0.0	0.0	0.0	13.0	23.5	168.5	58.5	0.0	119.0	0.0	0.0	0.0	382.5
2001	0.0	0.0	8.0	9.0	39.0	0.0	181.9	39.0	6.5	13.0	0.0	0.0	296.4
2002	0.0	0.0	1.0	15.5	126.2	148.0	159.8	64.0	11.4	0.0	0.0	0.0	525.9
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	82.5	36.5	42.2	6.0	0.0	0.0	1.9	0.0	169.1
2004	0.0	0.0	11.0	42.0	0.0	20.5	48.1	70.0	11.5	1.0	11.0	0.0	215.1
2005	0.0	0.0	29.0	11.5	41.0	65.9	4.0	87.9	28.0	12.0	7.4	0.0	286.7
2006	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	52.0	124.5	5.0	0.0	22.0	0.0	0.0	205.0
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	86.0	23.0	28.0	0.0	0.0	0.0	0.0	139.5
2008	2.5	0.0	0.0	0.5	38.0	66.0	35.9	126.5	0.2	0.0	0.0	0.0	269.6
2009	0.0	1.0	0.0	0.0	1.5	100.5	30.5	76.5	1.5	0.0	0.0	0.0	211.5
2010	2.0	0.0	0.0	0.0	28.5	50.0	29.7	12.0	16.5	7.5	28.0	0.0	174.2
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	121.3	46.5	28.5	0.0	0.0	0.0	0.5	196.8
2012	0.0	0.0	0.0	19.0	6.1	19.5	0.0	36.5	0.0	4.0	0.0	0.0	85.1
2013	1.0	0.0	0.0	0.0	61.5	20.1	12.0	12.0	2.0	0.0	4.8	0.0	113.4
2014	0.0	0.0	0.0	1.0	6.5	77.1	3.5	12.0	11.5	0.0	0.0	0.0	111.6
2015	0.0	0.0	23.5	0.0	3.0	0.0	61.0	170.0	13.0	56.5	0.5	0.0	327.5
2016	0.0	0.0	0.0	32.0	50.0	135.0	47.0	0.0	0.0	1.0	1.0	24.0	290.0
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	160.5	54.0	9.0	14.5	14.0	0.0	0.0	0.0	252.0
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	72.8	22.4	10.1	17.9	2.5	7.0	0.0	142.7
$\overline{X}_{Medido}$	1.91	0.36	3.44	13.67	34.50	66.99	62.54	45.29	14.60	5.77	2.08	0.93	254.1
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	1.91	0.36	3.44	13.67	34.50	66.99	61.28	44.42	14.69	5.69	2.20	0.90	250.0
σ_{Medido}	8.23	1.32	6.89	27.78	43.16	80.69	77.30	56.81	24.66	11.84	5.18	3.96	166.7
$\sigma_{Med.+Rell.}$	8.23	1.32	6.89	27.78	43.16	80.69	75.57	56.35	24.35	11.70	5.18	3.91	161.3

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-4. Precipitaciones mensuales estación Cuncumén

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	11.0	7.0	0.0	54.0	22.0	0.0	0.0	3.5	0.0	97.5
1980	3.0	0.0	0.0	191.0	0.0	39.0	101.0	0.0	27.0	4.5	0.0	0.0	365.5
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	89.0	17.0	35.0	49.5	6.0	0.0	0.0	0.0	196.5
1982	0.0	0.0	15.0	0.0	93.0	231.0	137.0	51.0	15.5	3.0	0.0	0.0	545.5
1983	0.0	0.0	0.0	16.5	29.0	45.5	88.0	28.0	18.0	0.0	0.0	0.0	225.0
1984	0.0	0.0	13.0	0.0	19.0	18.5	373.5	13.0	14.0	6.0	12.5	2.0	471.5
1985	0.0	0.0	9.0	0.0	5.0	4.0	62.5	0.0	2.0	9.5	0.0	0.0	92.0
1986	0.0	2.0	0.0	2.0	106.0	103.0	2.0	58.0	2.0	12.0	0.0	0.0	287.0
1987	2.0	0.0	5.0	12.0	18.0	63.0	419.0	266.0	7.0	20.0	0.0	0.0	812.0
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	6.0	28.0	16.0	3.5	0.0	3.5	2.0	76.0
1989	0.0	0.0	0.0	14.8	29.7	37.2	111.9	33.0	0.0	0.0	0.0	0.0	226.6
1990	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	22.0	35.0	28.0	34.2	0.0	0.0	0.0	121.2
1991	0.0	0.0	0.0	8.0	62.2	156.5	46.0	6.5	50.5	0.0	2.0	0.0	331.7
1992	0.0	0.0	15.0	73.0	66.0	159.5	0.0	91.5	17.0	0.0	9.0	0.0	431.0
1993	0.0	13.5	0.0	65.0	174.0	8.0	37.0	20.0	15.0	0.0	0.0	0.0	332.5
1994	0.0	0.0	0.0	4.0	18.0	17.0	51.0	5.0	2.0	0.5	0.0	0.0	97.5
1995	26.0	0.0	0.0	13.0	4.0	20.0	35.0	7.5	19.0	0.0	0.0	4.0	128.5
1996	0.0	0.0	0.0	31.0	5.0	29.0	46.5	48.0	0.0	0.0	0.0	0.0	159.5
1997	0.0	0.0	16.0	0.0	28.0	447.0	25.0	206.0	21.0	45.0	0.0	0.0	788.0
1998	0.0	2.0	0.0	35.0	5.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.0
1999	0.0	0.0	15.0	14.0	12.0	37.0	0.0	68.0	86.5	10.0	0.0	0.0	242.5
2000	0.0	0.0	0.0	14.0	23.0	131.0	81.0	0.0	58.0	0.0	0.0	0.0	307.0
2001	0.0	0.0	16.0	8.0	39.0	0.0	198.5	36.0	12.0	13.0	0.0	0.0	322.5
2002	0.0	0.0	0.0	23.0	150.0	108.0	157.5	65.0	22.0	0.0	0.0	0.0	525.5
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	90.5	42.5	32.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	168.0
2004	0.0	0.0	13.0	42.0	0.0	25.0	55.0	50.0	14.0	0.0	20.0	0.0	219.0
2005	0.0	0.0	28.0	15.0	44.0	99.0	4.0	104.0	33.0	14.0	5.0	0.0	346.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.0	124.0	5.0	0.0	24.0	0.0	0.0	205.0
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	77.0	12.0	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	113.0
2008	0.0	7.0	0.0	0.0	51.0	67.0	48.0	130.0	0.0	0.0	0.0	0.0	303.0
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	101.0	44.0	89.0	5.0	0.0	0.0	0.0	242.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	43.0	22.0	17.0	17.0	6.0	27.0	0.0	154.0
2011	0.0	1.0	0.0	2.0	0.0	143.2	78.0	32.5	0.0	0.0	0.0	0.0	256.7
2012	0.0	0.0	0.0	14.0	13.0	21.0	0.0	42.0	0.0	3.0	0.0	0.0	93.0
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	76.0	25.0	19.0	15.0	0.0	0.0	6.0	0.0	141.0
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	105.5	3.0	9.5	10.0	0.0	0.0	0.0	137.0
2015	0.0	0.0	24.0	0.0	1.0	0.0	71.0	44.2	11.0	55.0	0.0	0.0	206.2
2016	0.0	0.0	0.0	37.0	52.0	124.0	52.2	0.0	0.0	5.0	0.0	19.0	289.2
2017	0.0	0.0	0.0	11.2	14.0	59.0	21.0	22.0	7.0	13.0	0.0	0.0	147.2
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	91.0	30.0	5.0	21.0	0.0	0.0	0.0	162.2
$\overline{X}_{Medido}$	0.78	0.64	4.33	16.59	35.00	70.52	68.36	43.92	13.57	6.24	2.27	0.71	268.8
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.78	0.64	4.23	16.41	34.87	69.69	68.49	42.68	13.76	6.09	2.21	0.68	260.5
σ_{Medido}	4.13	2.40	7.71	34.13	42.52	82.35	90.66	56.91	18.35	12.04	5.75	3.14	181.9
$\sigma_{Med.+Rell.}$	4.13	2.40	7.64	33.25	41.98	81.46	88.79	55.04	18.15	11.93	5.68	3.07	174.5

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-5. Precipitaciones mensuales estación Quilimarí

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	9.5	41.3	7.1	0.0	44.4	34.5	12.1	0.0	10.0	0.0	158.9
1980	0.0	0.0	0.0	62.2	10.3	69.4	157.1	13.2	10.9	0.0	0.0	0.0	323.1
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	141.1	40.5	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	191.6
1982	0.0	0.0	21.6	0.0	98.0	119.9	77.5	78.4	39.9	21.3	0.0	0.0	456.6
1983	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8	122.7	133.4	40.1	6.7	0.0	0.0	0.0	330.7
1984	0.0	0.0	7.8	0.0	44.4	0.0	312.8	47.2	23.4	0.0	1.3	0.0	436.9
1985	0.0	0.0	0.0	10.9	39.2	16.3	63.8	20.9	0.0	60.4	17.0	0.0	228.5
1986	0.0	0.0	0.0	11.5	55.8	62.9	0.0	58.2	0.0	0.0	42.2	0.0	230.6
1987	0.0	0.0	0.0	2.6	46.0	21.3	356.8	133.8	7.1	17.0	0.0	0.0	584.6
1988	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	48.2	39.8	32.4	7.4	0.0	4.9	0.0	134.5
1989	0.0	0.0	0.0	0.0	37.9	2.8	105.7	69.2	0.0	0.0	0.0	0.0	215.6
1990	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	41.2	19.3	13.5	9.9	0.0	0.0	86.2
1991	0.0	0.0	0.0	8.5	11.9	181.7	27.2	0.0	45.9	19.0	0.0	0.0	294.2
1992	0.0	0.0	25.5	11.0	126.5	241.0	0.0	92.0	16.3	0.0	1.8	0.0	514.1
1993	0.0	0.0	0.0	55.1	27.7	37.6	38.3	36.7	5.2	0.0	0.0	0.0	200.6
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	37.5	19.4	18.7	16.4	3.1	0.0	0.0	124.1
1995	2.5	0.0	0.0	15.4	0.0	32.7	64.6	47.8	0.0	0.0	0.0	0.0	163.0
1996	0.0	0.0	0.0	4.1	9.4	30.3	85.2	33.5	0.0	0.0	0.0	0.0	162.5
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	180.0	271.0	56.4	145.2	50.2	66.2	1.3	0.0	770.3
1998	0.0	0.0	0.0	12.6	5.1	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.8
1999	0.0	0.0	0.6	1.7	35.9	27.6	21.6	62.9	156.9	11.0	0.0	0.0	318.2
2000	0.0	0.0	0.0	3.5	14.2	294.9	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	315.6
2001	0.0	0.0	0.0	7.4	36.6	0.0	162.7	65.3	9.1	0.0	0.0	0.0	281.1
2002	0.0	0.0	3.3	2.5	113.5	268.9	88.7	83.7	6.3	0.0	0.0	0.0	566.9
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	115.4	27.8	27.2	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	172.4
2004	0.0	0.0	7.1	34.2	8.8	42.6	101.2	46.0	0.0	0.0	7.0	0.0	246.9
2005	0.0	0.0	7.3	0.0	50.2	81.6	6.5	117.9	17.3	6.1	18.0	0.0	304.9
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	129.1	13.8	0.0	61.3	0.0	0.0	301.1
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	88.7	3.0	36.8	0.0	0.0	0.0	0.0	128.5
2008	0.0	0.0	0.0	17.0	60.0	29.0	42.0	58.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.0
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	104.9	28.5	114.5	0.0	0.0	0.0	0.0	247.9
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	107.0	39.0	4.0	18.1	8.7	9.0	0.0	204.8
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	117.7	16.1	28.7	0.0	0.0	0.0	0.0	162.5
2012	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	100.3	0.0	32.5	0.0	67.4	4.2	0.0	232.4
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	82.2	22.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	108.7
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	86.0	7.5	35.5	17.0	0.0	0.0	0.0	160.5
2015	0.0	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	71.5	111.0	18.5	23.5	0.0	0.0	234.8
2016	2.0	0.0	0.0	28.0	22.8	70.2	80.2	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	212.2
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	96.1	128.4	27.4	57.8	8.0	3.0	0.0	0.0	320.7
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	98.0	9.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	141.0
$\overline{X}_{Medido}$	0.12	0.00	2.31	8.17	40.93	79.37	63.82	46.71	13.68	9.07	2.42	0.00	257.7
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.11	0.00	2.43	8.24	40.59	78.26	62.44	44.90	12.78	9.67	2.92	0.00	262.3
σ_{Medido}	0.51	0.00	5.71	15.45	46.15	79.80	79.15	39.82	27.42	18.37	7.57	0.00	150.5
$\sigma_{Med.+Rell.}$	0.50	0.00	5.69	15.26	44.99	78.43	77.58	39.68	26.54	19.40	7.73	0.00	149.6

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-6. Precipitaciones mensuales estación Los Cóndores

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	21.2	4.1	0.0	18.6	14.0	12.0	0.0	6.7	2.0	78.6
1980	0.0	0.0	0.0	37.4	3.8	50.0	114.9	17.4	71.5	0.0	0.5	0.0	295.5
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	158.0	43.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	202.8
1982	0.0	0.0	18.5	0.0	83.1	117.7	56.5	68.1	21.5	15.0	0.0	0.0	380.4
1983	1.7	0.0	0.0	4.0	27.0	62.3	96.0	45.2	9.8	0.0	0.4	0.0	246.4
1984	0.0	0.0	7.2	0.0	35.1	2.2	380.6	20.0	43.6	2.7	9.3	0.0	500.7
1985	0.0	0.0	10.5	0.0	9.3	2.1	54.5	1.0	0.0	5.7	0.0	0.0	83.1
1986	0.0	0.0	0.0	0.3	158.0	59.2	0.0	26.7	0.2	0.0	4.1	0.0	248.5
1987	0.0	0.0	0.0	3.4	48.8	31.6	392.2	164.2	4.1	25.3	0.0	0.0	669.6
1988	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	26.5	26.6	39.5	4.5	0.0	5.0	0.0	104.3
1989	0.0	0.0	0.0	0.4	35.0	0.0	104.2	72.0	0.0	0.0	0.0	0.0	211.6
1990	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.3	39.8	24.0	10.1	3.8	0.0	0.0	81.5
1991	0.0	0.0	0.0	0.6	17.8	165.8	29.5	0.5	30.1	6.4	0.0	0.0	250.7
1992	0.0	0.0	21.0	12.4	79.0	217.8	0.0	83.3	12.5	0.0	1.5	0.0	427.5
1993	0.0	0.0	0.0	22.4	56.2	10.5	36.8	42.0	4.8	0.0	0.0	0.0	172.7
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	25.5	20.1	58.0	9.0	6.3	0.0	0.0	0.0	118.9
1995	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	31.4	66.2	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	104.4
1996	0.0	0.0	0.0	12.5	3.5	16.0	46.8	22.8	0.0	0.0	0.0	0.0	101.6
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	124.0	162.0	48.0	143.0	0.0	71.0	3.0	0.0	551.0
1998	0.0	0.0	0.0	9.0	11.1	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.6
1999	0.0	0.0	23.0	0.0	17.0	32.0	15.0	35.3	88.0	6.0	0.0	0.0	216.3
2000	0.0	0.0	0.0	1.0	17.0	188.0	17.0	0.0	73.8	0.0	0.0	0.0	296.8
2001	0.0	0.0	0.0	7.0	37.0	0.0	165.0	37.0	7.5	0.0	0.0	0.0	253.5
2002	0.0	0.0	7.1	4.0	148.0	194.0	123.0	71.0	0.0	0.0	0.0	0.0	547.1
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	109.0	22.5	25.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	166.5
2004	0.0	0.0	13.5	36.8	7.0	41.0	86.5	73.0	4.0	0.0	11.3	0.0	273.1
2005	0.0	0.0	10.5	0.0	36.0	65.0	19.0	93.0	9.0	9.0	15.0	0.0	256.5
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.0	156.0	10.9	0.0	42.0	0.0	0.0	275.9
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	78.5	7.0	26.0	0.0	0.0	0.2	0.0	119.7
2008	0.0	0.0	0.6	19.5	36.0	23.0	41.3	60.8	3.0	0.0	0.0	0.0	184.2
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	119.7	21.5	84.0	0.0	0.0	0.0	0.0	225.2
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	29.3	62.5	38.1	6.0	15.0	5.5	4.0	0.0	160.4
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	123.0	39.0	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	179.9
2012	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	41.0	0.0	54.0	0.2	61.5	0.0	8.0	186.7
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	61.5	26.0	2.0	16.5	96.1	0.0	0.0	0.0	202.1
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	104.0	14.0	14.3	22.0	0.0	0.0	0.0	162.3
2015	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	34.0	131.0	16.5	42.0	0.0	0.0	231.5
2016	0.0	0.0	4.0	30.9	24.0	56.9	86.0	0.0	0.0	22.0	0.0	5.0	228.8
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	124.0	18.8	34.0	19.0	0.0	0.0	0.0	214.8
2018	0.0	0.0	0.0	20.0	20.0	67.0	39.2	12.4	16.1	0.0	0.0	0.0	174.7
$\overline{X}_{Medido}$	0.16	0.00	3.32	6.07	36.95	61.62	63.96	40.79	13.32	8.37	1.56	0.39	249.0
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.16	0.00	3.24	6.07	36.95	61.50	62.91	39.50	15.13	7.95	1.53	0.38	235.3
σ_{Medido}	0.75	0.00	6.25	10.68	44.93	60.74	88.15	42.28	21.81	17.46	3.47	1.53	151.3
$\sigma_{Med.+Rell.}$	0.75	0.00	6.19	10.68	44.93	59.96	85.99	40.96	24.81	17.11	3.44	1.50	139.1

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-7. Precipitaciones mensuales estación Culimo embalse

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	19.8	3.0	0.0	22.6	21.6	70.1	0.0	0.0	0.0	137.1
1980	0.0	0.0	0.0	119.8	1.8	39.3	141.3	25.5	80.2	0.0	0.0	0.0	407.9
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	134.6	36.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	174.6
1982	0.0	0.0	24.0	0.0	104.6	117.1	104.4	82.0	22.7	8.2	0.0	0.0	463.0
1983	0.8	0.0	0.0	5.2	36.5	76.3	124.0	54.8	13.1	0.0	0.0	0.0	310.7
1984	0.0	0.0	6.4	0.0	31.0	6.8	391.9	36.1	41.1	6.7	3.4	0.0	523.4
1985	0.0	0.0	14.2	0.0	7.0	1.0	55.2	0.0	1.0	9.2	0.0	0.0	87.6
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	153.4	37.5	0.0	23.4	0.0	0.0	0.0	0.0	214.3
1987	0.0	0.0	0.0	3.6	49.0	31.8	395.9	210.3	3.6	30.8	0.0	0.0	725.0
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.6	27.1	35.7	4.2	0.0	1.8	0.0	97.4
1989	0.0	0.0	0.0	1.8	30.8	30.6	103.4	37.1	0.0	0.0	0.0	0.0	203.7
1990	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	40.1	18.1	12.6	0.0	0.0	0.0	71.3
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	181.7	33.3	0.0	30.0	7.3	0.0	0.0	262.7
1992	0.0	0.0	28.0	10.0	68.0	209.9	0.0	105.7	15.1	0.0	0.0	0.0	436.7
1993	0.0	0.0	0.0	29.0	85.8	6.3	1.2	30.8	4.5	0.0	0.0	0.0	157.6
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	26.9	25.3	35.5	6.3	8.9	0.0	0.0	0.0	102.9
1995	4.2	0.0	0.0	14.9	0.0	23.1	52.7	44.3	3.2	0.0	0.0	0.0	142.4
1996	0.0	0.0	0.0	15.7	3.6	10.9	65.6	10.7	0.0	2.0	0.0	0.0	108.5
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	220.0	42.5	162.0	35.0	57.5	3.5	0.0	556.5
1998	0.0	0.0	0.0	4.5	4.0	7.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	17.0
1999	0.0	0.0	5.5	1.5	19.5	33.5	11.5	82.0	78.1	6.5	0.0	0.0	238.1
2000	0.0	0.0	0.0	1.0	21.5	161.5	14.5	0.0	76.4	0.0	0.0	0.0	274.9
2001	0.0	0.0	0.0	4.5	35.0	0.0	196.5	48.0	6.0	6.1	0.0	0.0	296.1
2002	0.0	0.0	1.0	6.0	147.0	168.0	135.0	53.5	2.9	0.0	0.0	0.0	513.4
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	77.8	20.1	28.5	8.5	0.0	0.0	3.2	0.0	138.1
2004	0.0	0.0	10.1	47.5	4.5	34.5	72.2	70.7	5.1	0.0	7.1	0.0	251.7
2005	0.0	0.0	9.5	0.0	34.8	49.3	27.5	76.8	13.6	2.0	16.0	0.0	229.5
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.1	100.5	9.6	0.0	57.2	0.0	0.0	231.4
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	72.3	1.1	19.5	0.0	0.0	0.0	0.0	96.1
2008	0.0	0.0	1.3	9.1	35.4	29.9	42.3	70.9	0.0	0.0	0.0	0.0	188.9
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.2	21.5	59.3	0.0	0.0	0.0	0.0	179.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	29.8	67.5	37.5	6.4	15.1	4.0	8.4	0.0	168.7
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.6	35.8	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	136.9
2012	0.0	0.0	0.0	0.0	15.4	21.3	0.0	64.0	0.0	55.6	0.0	9.0	165.3
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	47.3	17.2	2.0	12.3	0.0	0.0	0.0	0.0	78.8
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	94.6	10.6	17.9	14.1	0.0	0.0	0.0	139.2
2015	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	29.9	150.7	27.7	34.0	0.0	0.0	252.3
2016	0.0	0.0	0.0	23.5	17.2	83.0	62.0	0.0	0.0	36.4	28.4	0.0	250.5
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	116.6	109.1	18.6	22.2	13.0	20.1	0.0	0.0	299.6
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4	63.7	77.9	10.1	12.8	0.0	0.0	0.0	176.9
$\overline{X}_{Medido}$	0.13	0.00	2.76	7.94	35.26	59.73	62.76	43.63	13.90	9.04	1.89	0.25	240.4
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.13	0.00	2.76	7.94	35.15	59.00	64.15	42.63	15.28	8.59	1.80	0.23	237.6
σ_{Medido}	0.68	0.00	6.45	20.66	43.72	59.96	91.28	48.40	21.86	17.05	5.42	1.50	164.3
$\sigma_{Med.+Rell.}$	0.67	0.00	6.45	20.66	43.16	59.37	89.17	47.45	23.07	16.72	5.29	1.42	152.8

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-8. Precipitaciones mensuales estación Quelón

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	19.7	3.0	0.0	34.9	22.7	12.2	0.0	16.1	0.0	108.6
1980	0.0	0.0	0.0	58.0	0.0	64.3	101.5	29.5	88.1	2.6	0.0	0.0	344.0
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	149.8	57.4	3.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	216.7
1982	0.0	0.0	24.0	0.0	65.0	200.2	110.2	90.1	14.5	16.0	0.0	0.0	520.0
1983	0.0	0.0	0.0	5.2	37.4	103.8	130.4	58.5	26.1	0.0	0.0	0.0	361.4
1984	0.0	0.0	8.0	0.0	48.8	6.0	365.0	43.5	53.9	4.0	7.4	0.0	536.6
1985	0.0	0.0	21.0	0.0	13.0	3.0	60.3	3.5	3.5	13.4	0.3	0.0	118.0
1986	0.0	0.0	0.0	2.0	175.0	83.0	1.0	43.0	2.0	0.0	1.5	0.0	307.5
1987	0.0	0.0	0.0	6.2	69.0	38.0	455.4	251.5	5.5	55.0	0.0	0.0	880.6
1988	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	29.0	35.0	42.5	4.0	0.0	0.0	0.0	116.3
1989	0.0	0.0	0.0	6.9	29.0	1.5	96.0	76.5	2.5	2.0	0.0	0.0	214.4
1990	0.0	0.0	2.5	0.0	1.0	0.0	42.5	34.9	21.0	14.0	0.0	0.0	115.9
1991	0.0	0.0	0.0	1.5	44.0	197.8	34.0	4.2	23.0	11.8	0.0	0.0	316.3
1992	0.0	0.0	29.5	22.7	116.6	241.0	0.0	69.0	28.0	0.0	1.5	0.0	508.3
1993	0.0	0.0	0.0	48.0	121.5	8.5	46.0	46.0	8.5	1.0	0.0	0.0	279.5
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	21.3	48.5	13.0	16.0	1.0	0.0	0.0	129.8
1995	11.5	0.0	0.0	23.2	0.0	42.0	66.5	39.5	10.5	0.5	0.0	0.0	193.7
1996	1.5	0.0	0.0	30.0	6.0	24.5	49.5	34.0	3.0	3.5	0.0	0.0	152.0
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	129.5	275.0	54.0	155.5	95.4	62.5	5.0	0.7	777.6
1998	0.0	0.0	0.0	9.6	10.0	9.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	31.6
1999	0.0	0.0	8.0	0.0	9.0	50.0	19.5	91.5	116.5	9.0	0.0	0.0	303.5
2000	0.0	0.0	0.0	5.0	27.5	165.5	30.0	0.0	65.0	0.0	0.0	0.0	293.0
2001	0.0	0.0	3.0	5.0	33.5	0.0	179.0	39.0	22.0	7.0	0.0	0.0	288.5
2002	0.0	0.0	13.0	11.1	138.4	181.0	152.0	75.0	4.1	0.0	0.0	0.0	574.6
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	99.0	32.0	29.9	8.0	0.0	0.0	3.6	0.0	172.5
2004	0.0	0.0	21.0	55.0	8.2	60.0	69.3	98.0	10.5	0.0	14.2	0.0	336.2
2005	0.0	0.0	12.0	0.0	35.5	52.5	45.5	107.0	21.2	8.0	17.5	0.0	299.2
2006	0.0	0.0	0.0	0.8	4.3	57.0	162.0	14.1	1.0	38.2	0.0	0.0	277.4
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	124.0	8.0	29.7	0.0	0.0	0.0	0.0	165.7
2008	0.0	0.0	4.5	14.5	57.5	80.5	69.5	122.5	8.0	0.0	0.0	0.0	357.0
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	137.5	28.7	98.5	5.0	0.0	0.0	0.0	270.1
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	51.0	57.5	34.5	6.5	21.0	7.0	23.0	0.0	200.5
2011	0.0	3.0	0.0	0.0	1.0	93.1	48.4	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	170.5
2012	0.0	0.0	0.0	3.0	25.0	16.0	0.0	62.0	0.0	66.6	0.0	0.0	172.6
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	49.5	40.0	1.0	39.0	0.0	0.0	0.0	0.0	129.5
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	108.0	20.0	22.0	25.0	0.0	0.0	0.0	185.0
2015	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	45.0	54.7	94.3	45.4	0.0	0.0	250.4
2016	0.0	0.0	0.0	36.0	25.0	137.0	128.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	326.5
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	110.0	81.5	25.0	27.5	19.0	33.0	0.0	0.0	296.0
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	19.2	62.0	47.6	12.2	25.3	0.0	0.0	0.0	166.3
$\overline{X}_{Medido}$	0.33	0.08	4.08	9.09	43.92	73.51	71.08	50.77	19.45	9.89	2.44	0.02	300.0
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.33	0.08	4.08	9.09	43.92	73.51	71.93	49.90	21.46	10.04	2.25	0.02	286.6
σ_{Medido}	1.85	0.47	7.67	15.72	48.64	70.88	93.48	50.56	28.04	18.09	5.71	0.12	185.5
$\sigma_{Med.+Rell.}$	1.83	0.47	7.67	15.72	48.64	70.88	91.59	49.62	29.77	18.26	5.52	0.11	176.9

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-9. Precipitaciones mensuales estación Frutillar Alto

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	1.0	8.0	6.0	0.0	55.9	4.3	16.0	0.0	0.0	0.0	91.2
1980	0.0	0.0	0.0	77.0	1.5	45.5	103.5	24.5	84.5	0.0	0.0	0.0	336.5
1981	0.0	0.0	0.0	2.5	114.0	32.0	16.0	17.5	9.0	0.0	0.0	0.0	191.0
1982	0.0	0.0	20.0	0.0	80.8	140.1	87.0	92.5	13.1	11.3	0.0	0.0	444.8
1983	2.1	0.0	0.0	27.1	28.4	82.4	161.1	40.1	20.3	0.0	0.0	0.0	361.5
1984	0.0	0.0	8.5	0.5	30.5	4.5	447.9	33.3	19.1	5.3	0.8	0.0	550.4
1985	0.0	0.0	17.5	0.0	9.0	4.4	59.3	5.0	1.5	9.9	0.0	0.0	106.6
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	149.9	57.7	1.0	38.5	1.0	0.0	0.0	0.0	248.1
1987	0.0	0.0	0.0	15.5	67.5	33.0	497.5	198.0	8.0	24.5	0.0	0.0	844.0
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	20.0	38.5	34.0	13.0	0.0	11.0	0.0	117.0
1989	0.0	0.0	0.0	2.5	36.5	5.0	101.0	63.0	6.0	0.0	0.0	0.0	214.0
1990	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	53.1	27.5	21.5	3.0	0.0	0.0	106.6
1991	0.0	0.0	0.0	7.4	23.2	189.9	52.7	4.1	55.9	8.5	0.0	0.0	341.7
1992	0.0	0.0	25.0	33.4	77.0	200.2	1.4	108.4	15.0	0.0	3.7	0.0	464.1
1993	0.0	0.0	0.0	59.2	75.7	5.9	35.1	34.5	5.5	0.0	0.0	0.0	215.9
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	17.6	32.9	48.2	8.0	3.2	0.0	0.0	0.0	109.9
1995	14.0	0.0	0.0	8.5	1.0	34.8	57.0	38.0	53.6	0.0	0.0	0.0	206.9
1996	0.0	0.0	0.0	23.3	2.5	30.2	116.6	14.3	0.0	5.4	0.0	0.0	192.3
1997	0.0	0.0	1.4	0.0	100.6	316.6	38.5	115.7	25.8	56.0	0.0	0.0	654.6
1998	0.0	0.0	2.0	13.2	5.5	11.4	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	36.6
1999	0.0	0.0	7.5	7.0	18.5	45.5	9.5	78.7	94.0	0.0	0.0	0.0	260.7
2000	0.0	0.0	0.0	2.0	35.0	236.5	34.4	0.0	97.9	0.0	0.0	0.0	405.8
2001	0.0	0.0	2.2	7.2	47.0	0.0	204.4	66.0	9.5	14.5	0.0	0.0	350.8
2002	0.0	0.0	0.0	11.2	184.8	185.0	170.0	88.9	10.2	0.0	0.0	0.0	650.1
2003	0.0	0.0	0.0	4.5	95.7	31.2	34.5	6.2	0.0	0.0	4.0	0.0	176.1
2004	0.0	0.0	19.5	72.2	6.7	31.3	79.4	85.0	8.0	0.0	11.0	0.0	313.1
2005	0.0	0.0	9.5	0.0	34.2	68.1	5.0	82.7	11.0	9.3	9.0	0.0	228.8
2006	0.0	0.0	0.0	1.0	4.0	69.0	115.5	19.5	2.0	49.0	0.0	0.0	260.0
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	105.0	11.7	28.0	0.0	0.0	0.0	0.0	147.7
2008	0.0	0.0	4.0	9.2	44.0	46.5	57.4	100.5	9.6	0.0	0.0	0.0	271.2
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	115.5	16.3	87.1	4.0	0.0	0.0	0.0	225.2
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	37.5	61.5	42.0	5.0	30.0	8.5	20.5	0.0	205.0
2011	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	89.0	45.0	25.1	0.0	0.0	0.0	0.0	166.1
2012	0.0	0.0	0.0	4.5	16.0	49.0	2.5	52.5	0.0	25.0	0.0	0.0	149.5
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	70.2	29.6	2.7	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	126.9
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	80.0	6.0	17.0	19.0	0.0	0.0	0.0	125.0
2015	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	45.5	0.0	34.5	0.0	0.0	0.0	91.5
2016	0.0	0.0	0.0	44.0	11.5	108.0	59.0	0.0	0.0	40.0	0.0	16.0	278.5
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	61.0	66.0	0.0	56.0	18.0	33.0	0.0	0.0	234.0
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	49.0	39.2	10.0	18.2	0.0	0.3	0.8	137.5
$\bar{X}_{Medido}$	0.41	0.18	3.28	11.13	38.05	67.81	75.16	42.42	17.65	8.19	1.62	0.43	272.1
$\bar{X}_{Med+Rell.}$	0.40	0.18	3.28	11.02	38.05	67.81	73.78	43.35	18.56	7.58	1.51	0.42	265.9
σ_{Medido}	2.26	1.12	6.53	19.92	44.03	71.64	107.37	42.24	24.98	14.62	4.33	2.63	176.9
$\sigma_{Med.+Rell.}$	2.23	1.11	6.53	19.67	44.03	71.64	104.77	42.56	24.99	14.22	4.18	2.53	173.5

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-10. Precipitaciones mensuales estación Pedernal Hacienda

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	7.5	4.0	0.0	66.0	5.0	28.5	0.0	8.0	1.0	120.0
1980	0.0	0.0	0.0	135.9	0.0	55.0	102.0	10.0	80.0	0.0	0.0	0.0	382.9
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	82.9	26.0	15.5	29.0	6.0	0.0	0.0	0.0	159.4
1982	0.0	0.0	27.0	0.0	78.9	106.0	95.4	62.0	10.0	5.5	0.0	0.0	384.8
1983	5.4	0.0	0.0	0.0	49.0	79.5	177.5	52.0	25.5	0.0	0.0	0.0	388.9
1984	0.0	0.0	5.0	0.0	25.0	14.0	459.8	13.8	11.8	20.0	1.2	0.0	550.6
1985	5.4	0.0	19.3	0.0	10.8	1.5	57.6	7.1	0.0	12.4	0.0	0.0	114.1
1986	0.0	0.0	0.0	0.5	95.2	71.4	0.0	40.6	1.2	5.0	3.7	0.0	217.6
1987	0.0	0.0	0.0	14.3	57.6	38.5	461.1	290.5	15.0	16.5	0.0	0.0	893.5
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	10.0	37.8	18.4	8.3	0.0	8.5	2.4	91.8
1989	0.0	0.0	0.0	5.4	32.1	2.0	93.6	75.9	8.4	0.0	0.0	0.0	217.4
1990	0.0	0.0	0.3	0.0	1.0	0.2	36.0	23.4	22.3	4.5	0.0	0.0	87.7
1991	0.0	0.0	0.0	4.1	51.0	156.8	64.0	6.6	62.1	0.0	0.0	0.0	344.6
1992	0.0	0.0	30.0	59.4	74.8	161.5	2.4	71.4	12.0	0.0	7.0	0.0	418.5
1993	0.0	0.0	0.0	23.3	66.2	13.5	31.5	29.0	7.6	0.0	0.0	0.0	171.1
1994	0.0	0.0	0.0	1.6	25.5	14.2	45.4	6.0	0.2	0.2	0.0	0.0	93.1
1995	29.8	0.0	0.0	5.6	5.0	31.2	22.7	20.0	15.0	0.0	0.0	0.0	129.3
1996	0.0	0.0	0.0	24.2	1.5	19.6	59.9	20.4	0.0	0.0	0.0	0.1	125.7
1997	0.0	0.0	6.0	0.0	88.7	423.6	34.1	136.7	15.9	63.2	0.4	0.4	769.0
1998	0.0	1.0	1.5	18.2	7.7	14.1	0.0	0.2	7.0	0.0	0.0	0.0	49.7
1999	0.0	0.0	5.6	9.6	14.0	52.6	9.2	67.2	71.9	0.0	0.0	0.0	230.1
2000	0.0	0.0	0.0	7.7	19.0	168.2	30.8	0.0	102.9	0.0	0.0	0.0	328.6
2001	0.0	0.0	13.5	7.0	33.8	0.0	240.3	55.6	8.8	20.6	0.0	0.0	379.6
2002	0.0	0.0	0.8	10.7	167.5	191.6	163.3	49.4	13.3	0.0	0.0	0.0	596.6
2003	3.6	0.0	0.0	0.6	83.0	33.9	53.4	2.6	0.5	0.0	2.0	0.0	179.6
2004	0.0	0.0	14.8	51.8	2.4	36.4	86.2	102.5	24.9	1.4	5.8	0.0	326.2
2005	0.0	0.0	12.0	7.4	33.2	85.3	9.2	123.0	23.1	7.0	4.0	0.0	304.2
2006	3.3	0.0	0.0	0.0	2.0	64.9	130.6	6.8	0.4	38.0	0.0	0.0	246.0
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	119.4	11.4	36.7	0.0	0.0	0.0	1.9	175.3
2008	0.0	0.8	0.0	11.1	50.8	29.9	36.6	100.8	1.9	0.0	0.0	0.0	231.9
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	86.0	13.4	77.2	6.7	0.0	0.0	0.0	184.3
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	53.5	54.8	32.8	14.5	17.3	11.5	30.9	0.0	215.3
2011	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	101.4	45.2	37.0	2.5	0.5	0.0	0.0	187.2
2012	0.0	0.0	0.0	14.5	21.3	34.5	0.0	31.8	0.0	22.0	0.0	0.0	124.1
2013	1.2	0.0	0.0	0.0	63.0	12.1	4.5	12.5	1.6	0.0	0.0	0.0	94.9
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	85.7	2.3	11.6	15.3	0.0	0.0	0.0	124.2
2015	0.0	0.0	19.1	0.0	0.3	0.0	47.0	203.5	27.1	0.0	0.0	0.0	297.0
2016	2.6	0.0	0.0	52.0	29.0	167.0	42.5	0.0	0.0	19.0	2.0	13.5	327.6
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	205.0	60.3	15.0	23.5	15.8	10.0	0.0	0.0	329.6
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	57.1	40.7	12.1	7.9	0.0	0.0	0.0	127.3
$\bar{X}_{Medido}$	1.28	0.06	3.97	11.52	39.52	67.94	74.63	45.72	17.20	6.95	1.88	0.49	251.0
$\bar{X}_{Med+Rell.}$	1.28	0.06	3.87	11.81	39.17	66.99	71.92	47.16	16.97	6.43	1.84	0.48	268.0
σ_{Medido}	4.84	0.22	7.93	25.22	45.89	79.52	106.18	58.33	23.39	13.02	5.32	2.20	138.3
$\sigma_{Med.+Rell.}$	4.84	0.22	7.86	24.97	45.35	78.72	104.21	58.88	23.13	12.65	5.26	2.17	183.2

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-11. Precipitaciones mensuales estación Chalaco

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	8.0	3.0	0.0	57.0	8.0	38.5	0.0	5.5	0.0	120.0
1980	0.0	0.0	0.0	77.0	0.0	44.0	62.0	11.0	91.0	0.0	3.0	0.0	288.0
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	83.0	26.0	17.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	148.0
1982	0.0	0.0	11.0	0.0	60.5	79.0	38.5	69.0	16.0	4.5	4.0	0.0	282.5
1983	9.0	0.0	0.0	16.5	26.0	57.5	142.0	45.5	39.5	0.0	0.0	0.0	336.0
1984	0.0	0.0	5.3	9.6	31.8	11.4	323.9	16.8	22.2	10.4	2.0	0.0	433.4
1985	0.8	0.0	28.5	3.0	12.1	0.0	45.4	5.8	2.0	10.6	0.0	0.0	108.2
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	80.0	50.0	2.0	21.5	6.0	0.0	2.0	0.0	161.5
1987	0.0	0.0	9.0	14.0	46.0	37.0	320.2	173.0	24.0	20.5	0.0	0.0	643.7
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	9.0	36.8	22.6	14.3	0.0	8.0	2.5	99.4
1989	0.0	0.0	0.0	6.0	35.0	1.0	83.0	81.0	10.0	0.0	0.0	0.0	216.0
1990	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	29.0	29.5	11.0	1.5	0.0	0.0	74.0
1991	0.0	0.0	0.0	3.2	25.1	146.9	55.4	7.0	50.0	5.4	0.0	0.0	293.0
1992	0.0	0.0	21.0	57.6	68.5	159.5	5.7	47.3	12.0	0.0	6.1	0.0	377.7
1993	0.0	0.0	0.0	47.5	73.5	7.3	36.7	32.0	11.0	0.0	0.0	0.0	208.0
1994	0.0	0.0	0.0	2.5	11.0	14.0	39.2	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	74.2
1995	19.0	0.0	0.0	6.0	3.0	31.0	23.0	27.0	20.0	0.0	0.0	0.0	129.0
1996	0.0	0.0	0.0	18.4	3.0	16.0	116.0	13.0	0.0	5.9	0.0	0.0	172.3
1997	0.0	0.0	7.0	0.0	91.3	275.0	38.0	87.7	22.0	58.0	0.0	10.0	589.0
1998	0.0	1.0	0.0	15.2	3.0	18.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	48.2
1999	0.0	0.0	6.0	5.0	13.8	38.0	7.0	72.0	114.0	0.0	0.0	0.0	255.8
2000	0.0	0.0	0.0	7.0	21.0	156.0	71.0	0.0	92.5	0.0	0.0	0.0	347.5
2001	0.0	0.0	15.0	10.0	30.0	0.0	115.0	61.0	16.0	12.0	0.0	0.0	259.0
2002	0.0	0.0	2.5	12.0	131.0	167.0	120.0	40.0	10.6	0.0	0.0	0.0	483.1
2003	8.0	0.0	0.0	2.0	80.0	29.0	27.0	4.0	1.0	0.0	2.0	0.0	153.0
2004	0.0	0.0	11.0	47.0	2.0	30.2	73.0	73.0	20.0	8.0	10.4	0.0	274.6
2005	0.0	0.0	11.0	1.0	19.5	62.0	8.2	86.3	24.0	6.5	6.5	0.0	225.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	56.5	109.0	11.9	0.0	41.1	0.0	0.0	221.5
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	83.0	10.0	36.0	0.0	0.0	0.0	0.0	129.9
2008	0.0	0.0	0.0	17.0	44.0	16.5	35.8	33.7	0.0	0.0	0.0	0.0	147.0
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	92.0	10.0	69.0	9.2	0.0	0.0	0.0	183.2
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	53.5	41.5	24.1	14.0	22.4	11.3	40.0	0.0	206.8
2011	0.0	2.0	0.0	0.0	0.3	75.5	32.0	26.4	0.8	0.0	0.0	0.0	137.0
2012	0.0	0.0	0.0	9.0	8.0	23.6	0.0	28.1	0.0	17.0	0.0	0.0	85.7
2013	1.0	0.0	0.0	0.0	51.5	14.1	1.4	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.0
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	64.0	2.0	27.0	29.0	0.0	0.0	0.0	129.0
2015	0.0	0.0	20.5	0.0	1.0	0.0	29.5	121.0	22.5	38.5	0.0	0.0	233.0
2016	0.0	0.0	0.0	41.0	20.3	145.0	42.0	0.0	0.0	18.5	0.0	0.0	266.8
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	185.5	39.5	24.5	27.5	13.0	19.0	0.0	0.0	309.0
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	57.1	40.7	12.1	7.9	0.0	0.0	0.0	127.3
$\overline{X}_{Medido}$	0.99	0.08	3.72	10.92	35.25	54.28	56.73	36.86	19.88	7.60	2.29	0.32	218.5
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.95	0.08	3.72	10.89	33.70	54.35	56.33	37.08	19.59	7.22	2.24	0.31	226.4
σ_{Medido}	3.56	0.35	7.00	18.23	41.73	60.42	72.65	37.21	26.39	13.19	6.72	1.64	127.6
$\sigma_{Med.+Rell.}$	3.48	0.35	7.00	18.00	40.49	59.64	71.76	36.47	26.12	12.96	6.64	1.62	136.1

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-12. Precipitaciones mensuales estación El Sobrante hacienda

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	8.2	0.0	1.5	0.0	48.0	5.0	36.5	0.0	4.4	4.5	108.1
1980	0.0	9.0	0.0	54.5	0.0	61.0	65.3	12.8	80.5	0.0	3.0	0.0	286.1
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	90.1	26.5	29.0	32.0	7.0	0.0	3.0	0.0	187.6
1982	0.0	0.0	9.5	0.0	62.0	97.5	49.4	60.0	11.5	6.5	2.0	0.0	298.4
1983	8.0	0.0	0.0	19.0	19.5	58.7	128.8	45.0	39.9	0.0	0.0	0.0	318.9
1984	0.0	0.0	5.5	0.5	29.5	27.7	259.4	22.5	17.3	8.2	2.0	0.0	372.6
1985	0.5	0.0	21.7	1.4	14.2	0.0	40.1	6.1	4.1	12.8	0.0	0.0	100.9
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	71.6	43.7	1.6	21.6	8.0	0.8	1.0	0.0	148.3
1987	0.0	0.0	8.5	16.9	47.8	33.4	303.8	140.3	16.5	24.2	0.0	0.0	591.4
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	6.9	28.5	11.2	17.5	0.0	59.8	1.0	126.9
1989	0.0	0.0	0.0	5.3	38.1	0.4	55.6	73.6	7.4	0.0	0.0	0.5	180.9
1990	0.0	0.0	1.1	0.2	0.1	0.4	26.1	31.2	5.8	1.2	0.0	0.0	66.1
1991	0.0	0.0	0.0	4.1	14.8	123.6	53.9	5.3	48.8	5.0	0.0	0.0	255.5
1992	0.0	0.0	19.3	51.2	64.6	154.2	6.2	59.4	11.0	0.0	1.6	0.0	367.5
1993	0.0	0.0	0.0	30.1	69.1	3.0	39.1	28.2	4.5	0.0	0.0	0.2	174.2
1994	0.0	0.0	0.0	1.0	9.5	13.7	38.6	6.3	1.0	2.1	0.0	0.0	72.2
1995	15.0	0.0	0.0	8.5	2.0	25.7	31.1	27.0	18.5	0.0	0.0	0.0	127.8
1996	0.0	0.0	0.0	21.1	3.6	13.3	49.5	7.5	0.5	3.0	0.0	0.0	98.5
1997	0.0	0.0	8.5	0.0	81.9	211.0	32.6	94.8	12.8	33.2	0.8	5.1	480.7
1998	0.0	3.4	1.2	15.0	14.5	15.9	0.0	0.0	8.9	0.0	0.0	0.0	58.9
1999	0.0	0.0	6.5	4.9	7.0	32.7	3.2	78.2	79.3	0.0	0.0	0.0	211.8
2000	0.0	0.0	0.0	5.1	19.0	139.0	57.1	0.6	89.5	0.0	0.0	0.0	310.3
2001	0.0	0.0	16.2	11.2	29.7	4.4	108.3	45.3	16.3	12.2	0.0	0.0	243.6
2002	0.0	0.0	0.3	14.0	115.3	140.1	81.9	41.2	9.6	0.0	0.0	0.0	402.4
2003	1.8	0.0	0.0	6.7	40.7	26.8	20.3	2.7	1.8	0.0	3.2	0.0	104.0
2004	0.0	0.3	10.2	43.9	5.1	34.9	64.9	64.6	18.8	5.8	12.0	0.0	260.5
2005	0.0	0.0	11.8	3.2	14.8	34.3	10.3	54.1	25.7	10.8	6.2	0.0	171.2
2006	0.0	0.9	0.0	0.0	2.5	52.7	111.3	23.2	0.0	45.1	0.0	0.0	235.7
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	95.0	13.1	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	143.5
2008	0.0	0.0	0.0	18.0	45.2	20.4	28.7	79.1	2.8	0.0	0.0	0.0	194.2
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	93.8	16.8	61.7	12.1	1.5	0.0	0.0	189.5
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	44.7	36.3	21.6	13.0	29.0	8.4	31.0	0.0	184.0
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.2	24.2	24.1	1.5	0.0	0.0	0.0	110.0
2012	0.0	0.0	0.0	15.8	3.0	21.5	2.3	27.6	0.2	15.1	0.0	0.0	85.5
2013	1.6	0.0	0.0	0.0	33.0	17.1	2.2	14.2	2.9	0.0	0.0	0.0	71.0
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	53.5	8.4	12.8	20.6	0.0	0.0	0.0	99.3
2015	0.0	0.0	17.7	0.0	0.0	0.0	31.6	99.2	20.9	25.5	0.0	0.0	194.9
2016	0.0	0.0	0.0	52.1	26.2	86.0	26.5	0.0	0.0	17.8	0.0	14.0	222.6
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	141.5	32.0	10.0	34.0	19.3	8.9	0.0	0.0	245.7
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	17.3	31.1	16.1	16.1	0.0	0.0	0.7	86.8
$\overline{X}_{Medido}$	0.67	0.34	3.66	10.09	29.48	48.65	49.47	34.31	18.16	6.53	1.90	0.65	201.7
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.67	0.34	3.66	10.09	29.48	47.87	49.01	35.37	18.11	6.20	3.25	0.65	204.7
σ_{Medido}	2.66	1.51	6.21	15.61	34.39	49.98	62.88	31.21	22.24	10.48	5.45	2.44	116.4
$\sigma_{Med.+Rell.}$	2.66	1.51	6.21	15.61	34.39	49.58	62.14	32.02	21.95	10.31	10.57	2.41	119.6

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-13. Precipitaciones mensuales estación El Trapiche

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	11.0	2.0	0.0	65.0	14.5	31.4	0.0	4.0	6.0	133.9
1980	0.0	3.0	0.0	59.0	0.0	69.4	64.5	15.0	78.5	1.0	3.5	0.0	293.9
1981	0.0	0.0	0.0	2.0	57.6	32.5	24.0	32.5	11.5	0.0	0.0	0.0	160.1
1982	0.0	0.0	9.0	0.0	67.5	92.5	62.5	77.4	15.0	8.5	0.0	0.0	332.4
1983	8.0	0.0	0.0	11.5	23.0	67.0	23.5	48.0	33.5	0.0	2.0	0.0	216.5
1984	0.0	0.0	6.0	0.0	33.5	33.0	241.0	21.5	24.0	22.0	0.0	0.0	381.0
1985	1.0	0.0	23.5	0.0	15.5	0.0	62.5	10.0	2.6	13.0	0.0	0.0	128.1
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	84.0	46.0	1.5	26.5	7.5	1.5	1.3	0.0	168.3
1987	0.0	0.0	17.0	24.5	40.0	40.5	346.0	162.5	16.5	36.0	0.0	0.0	683.0
1988	0.0	0.0	0.2	0.0	3.5	8.5	46.3	13.9	9.0	0.0	9.0	2.5	92.9
1989	0.0	0.0	0.0	5.0	44.2	0.3	62.3	107.2	12.0	0.0	0.0	0.0	231.0
1990	0.0	0.0	2.2	0.0	3.5	1.0	29.4	34.8	14.5	1.4	0.0	0.0	86.8
1991	0.0	0.0	0.0	6.7	51.8	137.0	83.5	14.5	61.0	5.2	0.0	0.5	360.2
1992	0.0	0.0	19.0	74.0	82.0	160.0	7.0	63.0	16.0	0.0	5.5	0.0	426.5
1993	0.0	0.0	0.0	43.5	94.5	7.9	42.1	30.0	12.0	0.0	0.2	0.0	230.2
1994	0.0	0.0	0.0	2.5	14.4	24.0	47.2	8.0	1.5	5.0	0.0	0.0	102.6
1995	16.0	0.0	0.0	15.0	0.0	45.5	37.0	33.5	20.5	1.0	0.0	0.0	168.5
1996	0.0	0.0	0.0	33.0	3.0	21.5	40.0	19.0	3.5	3.5	0.0	0.0	123.5
1997	0.0	0.0	8.5	0.0	94.0	247.5	35.0	125.5	21.5	13.0	2.5	8.0	555.5
1998	0.0	8.0	0.0	25.5	17.2	25.0	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	93.7
1999	0.0	0.0	10.5	2.5	12.0	36.0	4.5	90.0	84.0	0.0	0.0	0.0	239.5
2000	0.0	0.0	0.0	12.0	29.0	168.0	65.0	6.9	104.0	0.0	0.0	0.0	384.9
2001	0.0	0.0	20.0	19.0	40.1	3.0	195.0	78.0	0.0	15.0	0.0	0.0	370.1
2002	0.0	0.0	4.0	12.0	121.0	170.0	150.0	124.0	21.0	0.5	0.0	0.0	602.5
2003	5.0	0.0	0.0	15.0	60.0	42.0	53.0	6.0	2.0	0.0	2.0	0.0	185.0
2004	0.0	1.0	15.0	40.0	5.0	53.5	66.5	55.0	16.0	8.0	12.0	0.0	272.0
2005	0.0	0.0	17.0	4.7	23.3	64.5	17.0	67.4	33.0	6.0	10.0	0.0	242.9
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	60.0	119.0	18.9	0.0	43.7	0.0	0.0	243.6
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	89.5	20.0	30.9	0.0	0.0	0.0	0.0	142.8
2008	0.0	0.0	0.0	18.0	48.0	20.5	37.6	83.0	0.0	0.0	0.0	0.0	207.1
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	100.6	11.3	59.1	11.9	1.0	0.0	0.0	186.9
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	48.8	38.4	25.8	16.0	24.5	8.7	38.0	0.0	200.2
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73.5	28.4	27.1	1.0	0.0	0.0	0.0	130.0
2012	0.0	0.0	0.0	16.1	4.0	26.2	2.7	28.8	0.0	18.5	0.0	0.0	96.3
2013	1.8	0.0	0.0	0.0	37.9	19.3	1.9	16.4	3.4	0.0	0.0	0.0	80.7
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	16.7	6.6	13.5	18.0	0.0	0.0	0.0	59.3
2015	0.0	0.0	26.0	0.0	0.0	26.5	11.6	99.8	25.6	28.5	1.0	0.0	219.0
2016	3.4	0.0	0.0	42.9	31.0	55.0	45.0	0.2	0.0	14.3	0.0	19.0	210.8
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	65.8	28.0	31.8	31.6	23.5	9.1	0.0	0.0	189.8
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	21.6	37.6	9.7	20.6	0.8	8.8	0.9	110.2
$\overline{X}_{Medido}$	0.88	0.30	4.45	12.39	31.98	55.89	59.62	44.79	19.95	6.96	2.33	0.92	236.2
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.88	0.30	4.45	12.39	31.98	54.30	56.27	42.99	19.96	6.63	2.49	0.92	233.6
σ_{Medido}	2.91	1.34	7.72	17.93	32.09	55.98	71.84	40.75	23.92	10.62	6.55	3.38	155.3
$\sigma_{Med.+Rell.}$	2.91	1.34	7.72	17.93	32.09	54.98	68.89	39.56	23.61	10.45	6.55	3.34	144.5

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-14. Precipitaciones mensuales estación Palquico

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	18.3	3.5	0.0	33.9	17.5	15.0	0.0	11.3	0.0	99.5
1980	0.0	0.0	0.0	45.0	6.5	48.5	104.0	21.5	79.0	0.0	0.0	0.0	304.5
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	116.5	41.0	56.1	0.3	8.5	0.0	0.0	0.0	222.4
1982	0.0	0.0	19.0	0.0	81.0	124.5	88.9	90.0	8.5	9.5	0.0	0.0	421.4
1983	0.0	0.0	0.0	4.5	37.0	75.0	120.5	70.0	17.0	0.0	0.0	0.0	324.0
1984	0.0	0.0	5.5	0.0	40.5	8.5	383.0	38.5	43.6	6.6	3.0	0.0	529.2
1985	0.0	0.0	8.0	0.0	14.0	3.0	62.6	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	89.6
1986	0.0	0.0	0.0	1.5	155.5	57.6	1.0	31.0	1.0	0.0	0.0	0.0	247.6
1987	0.0	0.0	0.0	5.0	65.0	29.0	407.0	189.0	3.0	25.0	0.0	0.0	723.0
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	31.0	38.0	7.0	0.0	6.0	0.0	107.0
1989	0.0	0.0	0.0	5.0	25.0	3.0	101.0	72.0	4.0	0.0	0.0	0.0	210.0
1990	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	31.0	35.3	10.1	4.0	0.0	0.0	85.4
1991	0.0	0.0	0.0	2.5	9.0	169.0	48.0	1.0	33.0	9.0	0.0	0.0	271.5
1992	0.0	0.0	37.0	19.0	86.0	190.0	1.0	88.0	18.0	0.0	4.0	0.0	443.0
1993	0.0	0.0	0.0	43.0	83.0	6.0	51.0	36.0	10.0	0.0	0.0	0.0	229.0
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	24.0	54.0	9.0	8.0	1.0	0.0	0.0	123.0
1995	10.0	0.0	0.0	11.0	1.0	26.0	51.0	45.0	6.0	1.0	0.0	0.0	151.0
1996	0.0	0.0	0.0	23.0	2.0	25.0	64.0	22.0	1.0	5.0	0.0	0.0	142.0
1997	0.0	0.0	2.0	0.0	160.0	272.0	37.0	159.4	63.0	72.0	5.0	0.0	770.4
1998	0.0	0.0	0.0	10.0	10.0	15.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	40.0
1999	0.0	0.0	9.0	1.0	8.0	43.0	11.0	84.0	100.0	0.0	0.0	0.0	256.0
2000	0.0	0.0	0.0	6.0	23.0	194.0	25.0	2.0	79.0	2.0	0.0	0.0	331.0
2001	0.0	0.0	0.0	6.0	33.0	0.0	168.0	52.0	7.0	8.0	0.0	0.0	274.0
2002	0.0	0.0	4.0	7.0	156.0	216.0	133.0	54.0	5.0	0.0	0.0	0.0	575.0
2003	0.0	0.0	0.0	2.0	81.0	35.0	37.0	5.0	0.0	0.0	4.0	0.0	164.0
2004	0.0	0.0	20.0	63.0	7.0	40.0	82.0	79.0	10.0	0.0	14.0	0.0	315.0
2005	0.0	0.0	14.0	0.0	32.0	69.0	27.0	98.0	11.0	9.0	17.0	0.0	277.0
2006	0.0	0.0	0.0	2.0	7.0	70.0	146.0	21.0	0.0	52.0	0.0	0.0	298.0
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	81.0	12.0	22.5	0.0	1.5	0.5	0.0	128.5
2008	0.0	0.0	6.5	17.0	37.5	28.5	40.8	83.5	6.0	0.0	0.0	0.0	219.8
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	121.5	23.0	75.0	21.5	0.0	0.0	0.0	242.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	39.5	74.0	47.0	6.0	21.0	6.0	7.0	0.0	200.5
2011	0.0	3.0	0.0	0.0	0.5	81.0	56.0	20.5	0.0	0.0	0.0	0.0	161.0
2012	0.0	0.0	0.0	6.0	30.0	39.0	1.0	43.2	0.0	56.0	0.0	8.0	183.2
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	57.0	22.0	2.0	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	103.5
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	86.0	13.0	25.5	22.0	0.0	0.0	0.0	153.5
2015	0.0	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0	46.0	178.0	42.0	32.0	0.0	0.0	313.0
2016	1.0	0.0	0.0	41.0	13.0	101.5	60.0	0.0	0.0	30.0	0.0	2.5	249.0
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	169.0	95.5	23.5	31.0	3.0	33.0	0.0	0.0	355.0
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	60.5	88.0	14.5	12.5	0.0	7.0	0.0	191.0
$\overline{X}_{Medido}$	0.28	0.08	3.63	8.47	41.09	64.99	69.03	44.94	17.16	9.80	1.84	0.27	256.5
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.28	0.08	3.63	8.47	41.09	64.99	69.18	47.04	17.04	9.07	1.97	0.26	263.1
σ_{Medido}	1.61	0.47	7.66	14.88	49.48	65.47	88.30	44.39	24.51	17.91	4.08	1.33	149.0
$\sigma_{Med.+Rell.}$	1.58	0.47	7.66	14.88	49.48	65.47	86.09	47.16	24.21	17.41	4.11	1.32	162.4

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-15. Precipitaciones mensuales estación Hierro Viejo

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	8.3	0.2	0.0	51.5	13.0	15.9	0.0	5.0	0.0	93.9
1980	0.0	0.0	0.0	23.0	2.0	47.5	63.0	9.5	64.4	0.0	0.0	0.0	209.4
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	97.9	26.5	9.0	11.0	3.0	0.0	0.0	0.0	147.4
1982	0.0	0.0	8.0	0.0	56.0	90.5	37.0	77.5	9.1	4.0	0.0	0.0	282.1
1983	2.0	0.0	0.0	9.0	22.5	60.0	108.0	29.0	26.0	0.0	0.0	0.0	256.5
1984	0.0	0.0	5.5	0.0	28.5	4.0	283.7	23.2	32.5	7.2	0.0	0.0	384.6
1985	0.0	0.0	12.1	0.0	9.6	0.2	47.9	0.2	0.6	11.0	0.0	0.0	81.6
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	134.7	44.3	0.0	24.5	0.0	2.5	2.0	0.0	208.0
1987	0.0	0.0	0.0	8.5	58.5	29.5	343.0	161.8	6.5	22.4	0.0	0.0	630.2
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	23.7	19.0	6.5	0.0	8.5	0.0	72.9
1989	0.0	0.0	0.0	2.2	28.3	7.2	63.9	57.7	6.5	0.0	0.0	0.0	165.8
1990	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	26.4	38.4	8.8	31.2	0.0	0.0	106.3
1991	0.0	0.0	0.0	3.3	17.7	117.9	35.9	23.6	0.0	5.9	0.0	0.0	204.3
1992	0.0	0.0	28.2	23.5	65.5	148.8	2.5	56.7	16.2	0.0	0.0	0.0	341.4
1993	0.0	0.0	0.0	53.9	63.5	2.5	44.5	27.3	4.5	0.0	0.0	0.0	196.2
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	10.3	47.3	4.3	4.5	0.0	0.0	0.0	85.4
1995	11.5	0.0	0.0	9.5	1.5	30.5	34.3	31.0	6.0	0.0	0.0	0.0	124.3
1996	0.5	0.0	0.0	19.2	1.0	29.1	54.5	6.3	0.0	0.3	0.0	0.0	110.9
1997	0.0	0.0	1.5	0.0	85.5	213.8	23.5	121.0	23.5	26.0	1.5	0.0	496.3
1998	0.0	0.1	0.0	2.1	2.0	3.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	11.2
1999	0.0	0.0	10.4	0.4	6.3	24.5	1.3	76.5	75.5	0.0	0.0	0.0	194.9
2000	0.0	0.0	0.0	0.1	11.4	146.8	29.0	0.0	68.5	0.0	0.0	0.0	255.8
2001	0.0	0.0	1.0	5.0	29.1	0.0	150.6	33.0	6.5	6.5	0.0	0.0	231.7
2002	0.0	0.0	0.0	9.0	91.0	223.0	107.0	38.0	2.0	0.0	0.0	0.0	470.0
2003	2.0	0.0	0.0	3.0	64.0	21.1	24.5	0.5	0.0	0.0	1.0	0.0	116.1
2004	0.0	0.0	17.5	35.0	6.3	33.0	71.0	63.0	6.0	0.0	18.0	0.0	249.8
2005	0.0	0.0	11.0	0.0	23.0	56.0	11.0	65.0	13.0	3.0	9.0	0.0	191.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	68.6	113.0	24.1	0.0	46.0	0.0	0.0	257.7
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	84.0	11.0	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0	124.5
2008	0.0	0.0	4.0	14.0	39.0	40.0	30.0	85.0	3.0	0.0	0.0	0.0	215.0
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	105.0	18.0	61.0	5.0	0.0	0.0	0.0	190.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	38.0	48.0	25.0	8.0	21.0	5.0	14.0	0.0	159.0
2011	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	54.0	31.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	101.0
2012	0.0	0.0	0.0	3.0	21.5	37.8	0.0	25.5	0.0	20.5	0.0	3.0	111.3
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	38.5	11.0	1.3	15.9	0.0	0.0	0.0	0.0	66.7
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	72.0	9.2	14.0	17.5	0.0	0.0	0.0	122.7
2015	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	28.6	105.5	17.0	8.0	0.0	0.0	169.3
2016	1.0	0.0	0.0	30.0	19.5	112.0	35.8	0.0	0.0	28.5	0.0	8.2	235.0
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	57.2	47.0	13.0	29.0	2.5	0.0	0.0	0.0	148.7
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	28.0	43.0	11.0	12.0	0.0	0.0	0.0	101.5
$\overline{X}_{Medido}$	0.43	0.10	2.77	6.55	29.53	52.32	51.54	34.15	12.53	5.32	1.51	0.29	193.6
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.43	0.10	2.77	6.55	29.28	52.32	51.32	35.59	12.20	5.70	1.48	0.28	198.0
σ_{Medido}	1.86	0.63	5.97	11.79	32.93	55.58	70.88	35.08	18.81	10.34	4.03	1.39	122.9
$\sigma_{Med.+Rell.}$	1.86	0.63	5.97	11.79	32.54	55.58	69.98	36.23	18.43	10.83	3.98	1.37	124.8

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-16. Precipitaciones mensuales estación El Salvador

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	14.0	5.0	0.0	59.9	26.0	26.0	0.0	11.0	0.0	141.9
1980	0.0	0.0	0.0	28.0	6.0	52.0	80.0	29.2	76.9	0.0	0.0	0.0	272.1
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	120.0	34.0	14.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	178.0
1982	0.0	0.0	15.0	0.0	97.0	149.0	93.0	68.0	15.0	8.0	0.0	0.0	445.0
1983	2.0	0.0	0.0	0.0	15.4	95.5	103.5	44.7	14.8	0.0	0.0	0.0	275.9
1984	0.0	0.0	2.1	0.0	38.6	13.8	258.6	45.2	50.9	2.1	0.0	0.0	411.3
1985	0.0	0.0	12.3	0.0	16.4	0.0	60.3	9.0	3.9	9.7	0.0	0.0	111.6
1986	0.0	0.0	0.0	2.5	168.3	69.8	0.0	30.4	4.5	0.0	7.5	0.0	283.0
1987	0.0	0.0	0.0	7.3	68.0	29.8	338.9	174.0	7.2	28.6	0.0	0.0	653.8
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	24.2	39.3	37.2	4.9	0.0	4.6	0.9	112.2
1989	0.0	0.0	0.0	3.7	20.9	3.0	84.1	82.5	6.5	0.0	0.0	0.0	200.7
1990	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	28.4	38.0	18.5	6.5	0.0	0.0	95.6
1991	0.0	0.0	0.0	2.2	31.3	139.7	43.2	3.2	29.6	9.2	0.0	0.0	258.4
1992	0.0	0.0	34.2	25.1	73.7	174.1	0.0	73.2	18.2	0.0	0.0	0.0	398.5
1993	0.0	0.0	0.0	44.7	85.4	10.1	51.0	42.5	18.2	0.0	0.0	0.0	251.9
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	29.5	13.7	41.4	13.8	11.8	0.0	0.0	0.0	110.2
1995	8.2	0.0	0.0	13.7	0.0	42.5	46.4	41.2	2.5	0.0	0.0	0.0	154.5
1996	0.0	0.0	0.0	18.4	0.0	36.8	56.9	20.2	0.0	7.2	0.0	0.0	139.5
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	138.7	212.6	45.7	124.7	58.5	64.1	0.0	0.0	644.3
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	5.8	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	26.9
1999	0.0	0.0	8.5	0.0	8.0	38.3	16.6	84.3	86.8	0.0	0.0	0.0	242.5
2000	0.0	0.0	0.0	2.8	29.5	166.9	22.4	0.0	79.0	0.0	0.0	0.0	300.6
2001	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	151.3	43.8	10.2	0.0	0.0	0.0	207.6
2002	0.0	0.0	3.2	12.8	135.0	182.6	118.2	53.4	7.5	0.0	0.0	0.0	512.7
2003	0.0	0.0	0.0	7.3	83.9	28.0	43.1	5.2	0.0	0.0	3.2	0.0	170.7
2004	0.0	0.0	20.5	60.2	5.6	45.6	85.7	66.9	12.8	0.0	14.8	0.0	312.1
2005	0.0	0.0	9.1	0.0	30.9	78.3	15.7	82.1	11.9	8.2	14.3	0.0	250.5
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	66.0	141.5	25.3	0.0	64.2	0.0	0.0	301.6
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	115.4	8.4	21.8	0.0	0.0	0.0	0.0	150.8
2008	0.0	0.0	6.5	17.6	48.4	54.4	50.1	88.6	10.7	0.0	0.0	0.0	276.3
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	125.0	22.4	83.8	1.8	0.0	0.0	0.0	234.1
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	53.8	61.3	38.3	8.3	17.5	8.2	10.8	0.0	198.2
2011	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	72.2	54.1	17.8	0.0	0.0	0.0	0.0	146.2
2012	0.0	0.0	0.0	7.8	30.7	33.0	1.1	44.8	0.0	50.5	0.0	18.8	186.7
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	55.4	27.1	0.0	21.1	0.0	0.0	0.0	0.0	103.6
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	8.9	73.2	19.5	22.2	23.8	0.0	0.0	0.0	147.6
2015	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	40.1	124.8	31.6	30.0	0.0	0.0	232.4
2016	0.0	0.0	0.0	52.8	12.1	90.0	65.8	0.0	0.0	37.3	0.0	0.0	258.0
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	42.8	73.7	25.5	19.9	25.5	22.5	0.0	0.0	209.9
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	60.1	59.6	15.6	18.3	0.0	0.0	0.0	161.8
$\overline{X}_{Medido}$	0.26	0.05	3.04	8.08	37.30	62.44	60.63	44.03	18.09	9.14	1.74	0.52	235.6
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.26	0.05	3.04	8.08	37.30	62.44	60.60	43.32	18.10	8.91	1.66	0.49	244.2
σ_{Medido}	1.33	0.33	6.91	14.86	44.20	56.73	68.10	39.38	22.66	17.48	4.14	3.05	122.6
$\sigma_{Med.+Rell.}$	1.33	0.33	6.91	14.86	44.20	56.73	67.22	39.13	22.37	17.32	4.05	2.97	137.2

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-17. Precipitaciones mensuales estación Las Colmenas

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	18.0	4.0	0.0	22.0	16.0	29.0	0.0	8.0	1.0	98.0
1980	0.0	0.0	0.0	49.0	7.0	50.0	98.5	19.5	108.5	8.0	0.0	0.0	340.5
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	52.6	35.0	13.0	1.5	7.5	1.5	0.0	0.0	111.1
1982	0.0	0.0	19.5	0.0	109.5	206.0	161.5	62.9	32.5	15.0	1.5	0.0	608.4
1983	0.5	0.0	0.1	10.0	42.5	101.5	166.0	67.1	10.0	3.5	0.0	2.0	403.2
1984	0.5	0.0	5.2	0.0	48.9	10.1	351.7	60.1	107.4	21.8	19.4	1.0	626.1
1985	4.6	0.0	7.3	0.0	33.1	6.6	86.4	3.1	6.5	14.7	0.0	1.2	163.5
1986	1.3	1.3	0.0	5.1	182.5	68.1	0.0	38.4	3.8	1.5	5.4	0.0	307.4
1987	0.0	0.0	0.0	5.1	41.0	27.2	412.1	199.3	7.4	45.6	0.0	0.0	737.7
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	34.6	25.6	0.0	0.0	17.0	0.0	101.2
1989	0.0	0.0	0.0	0.0	35.5	0.0	109.7	62.9	3.1	0.0	0.0	0.0	211.2
1990	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.5	49.4	67.3	0.0	0.0	0.0	165.2
1991	0.0	0.0	0.0	9.3	32.6	138.3	67.6	0.0	40.0	11.5	0.0	3.0	302.4
1992	0.0	0.0	25.0	14.7	105.7	195.8	2.0	70.5	19.2	0.0	7.5	0.0	440.4
1993	0.0	0.0	0.0	37.5	65.9	10.5	45.0	39.7	6.0	2.0	0.0	0.0	206.6
1994	0.0	0.0	0.0	9.3	31.2	45.6	111.6	22.9	12.4	0.0	0.0	0.0	232.9
1995	0.0	0.0	0.0	11.0	19.5	41.1	14.2	28.0	66.8	33.0	0.0	0.0	213.6
1996	0.0	0.0	0.0	8.1	5.5	14.5	26.1	20.1	0.0	8.5	0.0	0.0	82.8
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	179.2	199.0	54.0	118.0	45.0	67.5	5.5	0.0	668.2
1998	0.0	0.0	0.0	17.5	13.5	11.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	48.0
1999	0.0	0.0	7.0	0.0	14.0	38.5	18.5	66.0	103.5	0.0	0.0	0.0	247.5
2000	0.0	0.0	0.0	1.0	12.0	143.8	14.5	0.0	86.5	0.0	0.0	0.0	257.8
2001	0.0	0.0	0.0	13.9	45.0	0.0	154.8	50.9	16.0	0.0	0.0	0.0	280.6
2002	0.0	0.0	0.0	0.0	140.5	227.0	117.0	41.5	1.2	0.0	0.0	0.0	527.2
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	70.0	46.0	42.6	13.5	0.0	0.0	0.8	0.0	172.9
2004	0.0	0.0	15.0	28.5	10.5	52.5	87.6	65.0	3.8	0.0	15.5	0.0	278.4
2005	0.0	0.0	10.0	0.0	32.0	88.5	16.0	90.0	10.5	4.8	10.5	0.0	262.3
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	64.0	178.0	17.0	0.2	46.0	0.0	0.0	307.9
2007	0.0	8.0	0.0	0.0	0.8	99.5	8.1	27.3	0.0	0.0	0.0	0.0	143.7
2008	0.0	0.0	4.2	15.5	53.0	32.5	40.8	36.5	0.0	0.0	0.0	0.0	182.5
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	131.0	22.5	78.0	0.0	0.0	0.0	0.0	231.5
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	75.2	37.5	9.0	20.5	6.5	10.0	0.0	195.2
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	106.0	30.5	40.5	0.0	0.0	0.0	0.0	177.0
2012	0.0	0.0	0.0	2.0	33.0	69.5	0.0	41.5	0.0	56.0	0.0	10.5	212.5
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	76.0	35.2	0.3	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	128.9
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	91.0	16.0	29.5	17.0	0.0	0.0	0.0	158.5
2015	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0	108.0	40.6	13.0	0.0	0.0	195.6
2016	3.0	0.0	0.0	72.0	32.5	26.0	77.5	0.0	0.0	23.0	0.0	6.5	240.5
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	38.9	102.0	34.1	25.0	17.0	20.0	0.0	0.0	237.0
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	65.0	58.5	15.0	18.0	0.0	0.0	0.0	171.5
$\overline{X}_{Medido}$	0.26	0.24	2.39	8.05	41.49	66.28	72.91	41.70	20.80	10.58	2.81	0.70	280.8
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.25	0.23	2.33	8.19	40.68	66.94	70.33	41.92	22.83	10.09	2.53	0.63	266.9
σ_{Medido}	0.90	1.31	5.74	15.73	49.00	63.14	94.51	39.79	31.71	17.44	5.38	2.08	165.4
$\sigma_{Med.+Rell.}$	0.88	1.28	5.68	15.12	45.97	61.97	87.96	39.10	31.78	17.01	5.17	1.98	163.7

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-18. Precipitaciones mensuales estación Alicahue

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	14.5	3.5	0.0	67.0	18.5	33.5	0.0	16.0	20.5	173.5
1980	0.0	0.0	0.0	105.0	3.5	79.5	94.5	10.5	84.5	0.0	5.0	0.0	382.5
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	105.5	41.5	20.5	25.5	17.5	0.0	2.0	0.0	212.5
1982	0.0	0.0	13.0	0.0	73.0	164.5	89.0	75.5	20.5	15.0	2.0	0.0	452.5
1983	11.0	0.0	0.0	17.0	30.0	106.5	127.0	59.0	51.6	0.0	0.0	1.0	403.1
1984	0.0	0.0	5.0	1.0	31.0	10.0	339.0	23.0	33.5	12.5	3.0	0.0	458.0
1985	0.5	0.0	22.0	1.5	16.5	0.0	63.5	2.5	1.5	16.0	0.0	0.0	124.0
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	108.1	56.5	1.5	27.0	12.0	0.5	4.5	0.0	210.1
1987	0.0	0.0	10.5	23.0	35.0	43.5	375.0	188.0	15.5	34.0	0.0	0.0	724.5
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	9.0	42.5	27.5	27.0	0.0	9.5	0.5	117.5
1989	1.5	0.0	0.0	8.5	45.0	2.5	67.5	120.0	7.5	0.0	0.0	0.0	252.5
1990	0.0	0.0	2.5	1.0	3.0	3.0	33.5	47.0	20.5	1.5	0.0	0.0	112.0
1991	0.0	0.0	0.0	8.5	36.5	137.5	93.0	11.5	62.5	7.5	0.0	0.0	357.0
1992	0.0	0.0	15.4	76.0	119.5	164.5	13.0	56.5	15.5	0.0	9.0	0.0	469.4
1993	0.0	0.0	0.0	52.0	92.5	8.0	42.5	32.0	9.0	0.5	0.0	0.0	236.5
1994	0.0	0.0	0.0	0.5	17.0	15.0	41.5	10.5	4.0	3.5	0.0	0.0	92.0
1995	17.0	0.0	0.0	14.0	4.0	43.5	40.5	35.0	19.5	1.0	0.0	0.0	174.5
1996	0.0	0.0	0.0	30.5	1.5	31.0	44.0	18.5	2.5	1.0	0.0	1.5	130.5
1997	0.0	0.0	14.0	0.0	116.0	283.5	43.5	139.0	31.0	55.5	2.5	6.0	691.0
1998	0.0	7.5	1.0	31.0	24.0	25.0	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	100.0
1999	0.0	0.0	12.0	2.0	11.0	0.0	7.5	85.2	103.0	9.5	0.0	0.0	230.2
2000	0.0	0.0	0.0	10.0	18.5	171.4	67.1	0.0	0.0	1.0	2.0	0.0	270.0
2001	0.0	0.0	0.0	11.5	33.5	0.0	115.5	53.0	17.5	19.0	0.0	0.0	250.0
2002	0.0	0.0	3.0	17.5	149.3	151.5	95.5	65.0	17.5	0.0	0.0	0.0	499.3
2003	6.5	0.0	0.0	0.0	85.0	36.0	36.0	5.0	3.0	0.0	4.0	0.0	175.5
2004	0.0	0.0	27.7	48.0	9.5	51.0	82.0	86.0	36.0	5.0	28.0	0.0	373.2
2005	0.0	0.0	20.0	2.0	32.5	93.5	15.5	107.7	31.9	7.5	8.0	0.0	318.6
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	62.5	145.8	17.5	1.5	35.2	0.0	0.0	266.0
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	120.5	18.5	37.0	0.0	0.0	0.0	0.0	187.2
2008	0.0	0.0	2.0	23.5	87.5	58.0	39.0	104.0	3.5	0.0	0.0	0.0	317.5
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	114.0	35.0	74.0	9.7	0.0	0.0	0.0	239.2
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	52.0	60.0	29.5	11.0	32.7	8.5	34.0	0.0	227.7
2011	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	66.3	43.0	24.0	2.0	0.0	0.0	0.0	135.7
2012	0.0	0.0	0.0	16.0	17.0	25.0	1.3	33.0	2.0	36.5	0.0	1.0	131.8
2013	3.8	0.0	0.0	0.0	48.0	1.0	3.0	20.3	1.0	0.0	0.0	0.0	77.1
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	74.6	20.0	29.2	22.5	0.0	1.4	0.0	150.7
2015	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0	30.0	30.0	102.0	23.0	32.5	0.0	0.0	230.5
2016	0.0	0.0	0.0	63.0	28.0	89.0	50.2	0.0	0.0	31.5	0.0	22.0	283.7
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	54.5	47.0	9.3	50.5	11.5	0.0	0.0	0.0	172.8
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	48.4	29.0	14.3	0.0	0.0	0.0	1.2	106.4
$\overline{X}_{Medido}$	1.01	0.20	4.03	14.44	39.42	63.48	63.65	46.96	21.02	8.58	3.36	1.35	266.4
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	1.01	0.20	4.03	14.44	38.27	63.11	62.78	46.14	19.97	8.37	3.27	1.34	262.9
σ_{Medido}	3.32	1.19	7.29	23.78	40.45	62.75	77.98	43.19	22.77	13.86	7.40	4.80	157.6
$\sigma_{Med.+Rell.}$	3.32	1.19	7.29	23.78	40.14	61.99	77.16	42.95	22.66	13.75	7.33	4.73	153.5

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-19. Precipitaciones mensuales estación Longotoma

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	30.0	3.0	15.7	52.1	29.7	42.8	0.0	0.0	0.0	173.3
1980	0.0	0.0	0.0	32.0	21.0	66.5	129.5	13.0	71.0	0.0	1.4	0.0	334.4
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	230.0	54.0	6.0	1.0	3.5	0.0	0.0	0.0	294.5
1982	0.0	0.0	34.0	0.0	89.7	123.0	69.5	55.0	24.5	21.5	0.0	0.0	417.2
1983	2.0	0.0	0.0	3.5	33.5	105.0	113.5	75.0	12.0	0.0	0.0	0.0	344.5
1984	0.0	0.0	8.5	0.5	74.2	27.4	279.0	44.9	37.0	13.0	16.0	0.0	500.5
1985	0.0	0.0	9.0	0.0	13.5	7.0	51.5	2.0	0.5	9.6	0.0	0.0	93.1
1986	0.0	0.0	0.0	5.5	116.0	69.5	0.0	81.5	1.0	0.0	36.0	0.0	309.5
1987	0.0	0.0	0.5	3.5	71.0	23.0	394.0	137.0	15.5	25.0	0.0	0.0	669.5
1988	0.0	0.0	5.5	1.0	1.5	42.0	26.5	54.0	7.5	0.0	6.0	0.5	144.5
1989	0.0	0.0	0.0	3.0	32.0	6.5	96.0	73.5	1.5	0.0	0.0	0.0	212.5
1990	0.0	0.0	2.0	0.0	3.0	0.0	44.0	15.4	20.0	77.2	0.0	0.0	161.6
1991	0.0	0.0	0.0	4.5	19.0	171.9	26.0	0.0	34.0	23.0	0.0	0.0	278.4
1992	0.0	0.0	32.5	7.6	142.5	227.5	0.5	85.0	19.5	0.0	2.0	0.0	517.1
1993	0.0	0.0	0.0	54.5	51.5	14.5	41.0	40.5	5.5	2.0	0.0	0.0	209.5
1994	0.0	0.0	0.0	1.5	43.0	19.0	53.5	19.5	10.0	0.0	0.0	0.0	146.5
1995	1.5	0.0	0.0	18.0	0.0	46.0	40.1	40.0	4.5	2.0	0.0	0.0	152.1
1996	0.0	0.0	0.0	1.1	11.5	11.0	55.0	39.5	0.0	7.5	0.0	0.0	125.6
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	81.0	278.5	63.0	38.6	39.0	92.0	0.0	0.0	592.1
1998	0.0	0.0	0.0	8.0	8.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.5
1999	0.0	0.0	13.5	3.5	21.0	49.0	20.5	92.0	108.0	0.0	0.0	0.0	307.5
2000	0.0	0.0	0.0	5.9	11.0	216.0	9.0	0.0	69.8	1.0	0.0	0.0	312.7
2001	0.0	0.0	0.0	7.2	29.9	0.0	202.3	50.1	12.5	0.0	0.0	0.0	302.0
2002	0.0	0.0	0.0	2.0	140.3	262.6	84.9	66.0	6.3	0.0	0.0	0.0	562.1
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	68.9	44.2	44.0	6.0	0.0	0.0	0.7	0.0	163.8
2004	0.0	0.0	4.3	37.5	7.7	58.1	89.6	59.9	3.2	2.1	22.5	0.0	284.9
2005	0.0	0.0	12.0	0.0	47.2	79.8	21.8	104.3	15.5	6.1	11.3	0.0	298.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9	78.8	172.8	24.8	0.4	48.1	0.0	0.0	332.8
2007	0.0	5.5	0.0	0.0	2.0	94.9	6.5	30.3	1.0	0.0	0.0	0.0	140.2
2008	0.0	0.0	4.8	17.1	70.2	27.7	33.3	62.4	0.0	0.0	0.0	0.0	215.5
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.0	20.0	73.1	0.4	0.0	0.0	0.0	208.5
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	38.0	105.0	36.5	3.5	21.0	7.8	7.5	0.0	219.3
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.8	26.2	28.8	0.0	0.0	0.0	0.0	113.8
2012	0.0	0.0	0.0	0.0	56.7	113.3	2.0	30.4	0.8	81.6	0.0	13.4	298.2
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	127.3	48.2	0.6	18.8	0.0	0.0	0.0	0.0	194.9
2014	0.0	0.0	0.0	0.1	2.4	74.0	12.6	36.2	12.1	0.0	0.0	0.0	137.4
2015	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.3	48.3	125.9	35.8	42.0	0.0	0.0	296.3
2016	0.0	0.0	0.0	34.2	72.8	0.0	116.8	0.0	0.0	10.7	0.0	17.8	252.3
2017	5.5	0.0	0.0	0.0	114.1	117.1	26.4	46.5	27.4	15.5	0.0	0.0	352.5
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	22.6	78.1	28.0	15.0	12.1	0.0	0.0	0.2	156.0
$\overline{X}_{Medido}$	0.23	0.14	3.33	7.04	47.12	76.77	64.81	44.43	16.33	11.40	2.83	0.86	276.2
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.23	0.14	3.17	7.04	47.12	74.44	63.57	42.98	16.89	12.19	2.58	0.80	271.1
σ_{Medido}	0.95	0.88	7.96	12.83	51.57	72.23	81.48	36.60	23.56	21.99	7.55	3.61	143.3
$\sigma_{Med.+Rell.}$	0.94	0.87	7.79	12.83	51.57	71.18	79.60	35.07	23.34	23.54	7.19	3.48	143.2

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-20. Precipitaciones mensuales estación Valle Hermoso

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	26.0	32.3	0.0	71.5	21.0	8.0	0.0	14.7	0.0	173.5
1980	0.0	0.0	0.0	52.8	16.5	53.3	14.5	11.0	160.4	0.0	0.0	0.0	308.5
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6	50.8	61.4	17.3	22.8	9.0	0.0	0.0	216.9
1982	0.0	0.0	37.0	0.0	65.0	123.0	113.0	75.0	30.0	6.0	0.0	0.0	449.0
1983	0.5	0.0	0.0	3.0	38.8	76.0	26.3	36.0	0.0	0.0	0.0	0.0	180.6
1984	0.0	0.0	2.0	0.0	37.0	0.0	360.0	45.5	49.4	1.5	0.0	0.0	495.4
1985	0.0	0.0	15.4	0.0	22.4	4.5	61.5	0.0	0.0	18.7	0.0	0.0	122.5
1986	0.0	0.0	0.0	3.0	139.5	55.2	0.0	76.0	0.0	0.0	0.0	0.0	273.7
1987	0.0	0.0	0.0	3.0	51.5	22.5	304.5	46.9	11.0	0.0	0.0	0.0	439.4
1988	0.0	0.0	6.0	0.0	0.5	22.5	32.3	64.0	3.0	0.0	5.0	0.2	133.5
1989	0.0	0.0	0.0	1.0	15.0	5.0	156.0	78.0	1.5	0.0	0.0	0.0	256.5
1990	0.0	0.0	1.7	0.0	0.1	0.0	32.0	14.8	22.5	0.0	0.0	0.0	71.1
1991	0.0	0.0	0.0	1.0	25.0	154.3	70.4	1.0	49.0	9.0	0.0	1.0	310.7
1992	0.0	0.0	30.0	15.0	146.0	241.0	3.0	65.0	21.5	0.0	0.0	0.0	521.5
1993	0.0	0.0	0.0	42.2	29.5	6.5	32.8	39.0	0.0	0.0	0.0	0.0	150.0
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	41.0	16.0	74.0	11.0	21.5	0.0	0.0	2.0	165.5
1995	2.0	0.0	0.0	14.5	0.0	45.0	65.5	60.0	5.0	0.0	0.0	0.0	192.0
1996	0.0	0.0	0.0	16.0	1.5	27.5	78.4	22.0	0.0	14.0	0.0	0.0	159.4
1997	0.0	0.0	0.5	0.0	173.0	300.5	16.5	126.3	48.0	69.0	0.5	0.0	734.3
1998	0.0	4.0	0.0	6.0	15.0	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.5
1999	0.0	0.0	2.5	2.0	17.5	55.1	21.0	82.0	49.0	8.0	0.0	0.0	237.1
2000	0.0	0.0	0.0	8.0	11.0	215.9	17.5	8.2	109.0	3.0	0.0	0.0	372.6
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	48.5	0.0	210.5	47.0	8.0	1.0	0.0	0.0	315.0
2002	0.0	0.0	1.5	0.0	167.2	278.0	118.0	54.6	0.0	0.0	0.0	0.0	619.3
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	63.0	41.3	59.5	10.0	0.0	0.0	2.0	0.0	175.8
2004	0.0	0.0	10.5	41.0	8.5	41.0	114.0	84.5	9.0	0.0	23.5	0.0	332.0
2005	0.0	0.0	8.0	0.0	55.0	93.1	28.1	151.5	15.0	6.1	11.0	0.0	367.8
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	78.0	174.5	26.5	3.0	49.5	0.0	0.0	332.0
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	98.5	24.5	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	152.5
2008	0.0	0.0	8.1	25.5	67.0	37.7	51.7	91.0	0.0	0.0	0.0	0.0	281.0
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	125.0	23.0	87.0	4.0	0.0	0.0	0.0	239.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	39.8	106.0	35.0	5.5	14.0	2.0	13.0	0.0	215.3
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.1	51.5	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	141.6
2012	0.0	0.0	0.0	1.0	55.1	70.6	0.5	38.1	2.5	53.5	0.8	13.5	235.6
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	116.5	34.5	1.0	45.0	0.0	0.0	0.0	0.0	197.0
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	80.0	19.0	26.5	5.0	0.0	0.0	0.0	138.5
2015	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	39.0	99.0	29.9	39.0	0.0	0.0	209.9
2016	0.0	0.0	0.0	9.0	26.0	68.4	89.0	2.4	0.0	19.5	0.0	8.0	222.3
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	109.5	98.5	34.5	40.5	4.0	41.0	0.0	0.0	328.0
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	68.0	71.8	17.0	21.5	14.0	0.0	0.0	81.0
$\overline{X}_{Medido}$	0.06	0.10	3.32	6.69	43.58	71.03	71.79	44.54	13.54	9.72	1.55	0.65	249.4
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.06	0.10	3.16	6.75	42.81	72.15	68.86	45.07	18.10	8.97	1.81	0.63	264.9
σ_{Medido}	0.33	0.63	8.03	13.23	50.23	77.46	82.73	35.05	22.16	17.82	4.74	2.52	132.7
$\sigma_{Med.+Rell.}$	0.32	0.63	7.86	13.07	47.79	74.69	79.11	36.46	32.03	17.30	5.03	2.49	147.7

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-21. Precipitaciones mensuales estación Artificio

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	21.0	6.0	0.0	47.1	25.0	20.9	0.0	7.0	0.0	127.0
1980	0.0	0.0	0.0	39.0	12.0	57.0	98.0	17.0	75.0	0.0	0.0	0.0	298.0
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	145.0	33.0	8.0	4.0	4.0	0.0	0.0	0.0	194.0
1982	0.0	0.0	31.0	0.0	84.9	136.0	83.0	70.0	10.0	10.0	0.0	0.0	424.9
1983	1.0	0.0	0.0	3.1	32.2	81.6	128.1	36.4	3.8	0.0	0.0	0.0	286.2
1984	0.0	0.0	1.2	0.0	57.0	7.2	330.5	32.7	66.9	10.7	0.0	0.0	506.2
1985	0.0	0.0	14.3	0.0	18.3	2.6	71.3	0.0	0.0	9.4	0.0	0.0	115.9
1986	0.0	0.0	0.0	2.3	193.0	75.0	0.0	33.1	5.5	0.0	4.0	0.0	312.9
1987	0.0	0.0	0.0	4.5	63.6	25.9	393.7	191.9	7.0	25.3	0.0	0.0	711.9
1988	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	22.3	28.9	35.6	3.5	0.0	4.8	1.5	101.1
1989	0.0	0.0	0.0	4.0	29.5	3.1	96.5	84.4	3.7	0.0	0.0	0.0	221.2
1990	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	31.0	33.2	18.9	6.0	0.0	0.0	91.4
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	24.9	158.5	47.1	0.0	24.2	13.3	0.0	0.0	268.0
1992	0.0	0.0	36.7	18.3	69.7	183.3	2.6	69.0	18.6	0.0	3.0	0.0	401.2
1993	0.0	0.0	0.0	46.2	107.6	12.2	45.1	39.4	3.0	1.0	0.0	0.0	254.5
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	22.4	13.4	75.2	8.8	9.6	0.0	0.0	0.0	129.4
1995	7.5	0.0	0.0	13.0	0.0	46.2	59.4	39.6	5.6	0.0	0.0	0.0	171.3
1996	0.0	0.0	0.0	22.3	2.1	21.8	53.3	24.7	0.0	4.1	0.0	0.0	128.3
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	133.5	253.0	44.6	114.3	43.9	38.6	2.4	0.0	630.3
1998	0.0	0.0	0.0	2.9	14.0	10.9	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	30.0
1999	0.0	0.0	10.5	2.0	7.0	49.8	13.8	78.7	98.4	0.0	0.0	0.0	260.2
2000	0.0	0.0	0.0	3.1	19.4	213.5	19.9	0.0	78.2	0.0	0.0	0.0	334.1
2001	0.0	0.0	0.0	3.6	38.9	0.0	165.3	47.5	9.1	6.2	0.0	0.0	270.6
2002	0.0	0.0	2.0	5.2	112.2	212.6	132.0	60.9	3.3	0.0	0.0	0.0	528.2
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	65.6	41.4	41.5	3.5	0.0	0.0	4.5	0.0	156.5
2004	0.0	0.0	22.4	44.9	8.0	49.4	95.1	64.9	9.0	0.0	23.2	0.0	316.9
2005	0.0	0.0	25.4	0.0	33.1	76.9	29.7	117.0	10.9	6.4	12.4	0.0	311.8
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	68.5	148.3	30.6	0.0	54.0	0.0	0.0	303.5
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	110.7	9.0	21.6	0.0	0.0	0.0	0.0	143.3
2008	0.0	0.0	8.4	21.9	42.9	46.8	55.4	103.0	5.2	0.0	0.0	0.0	283.6
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	124.4	20.4	74.5	3.1	0.0	0.0	0.0	222.4
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	33.4	78.2	42.0	6.5	20.3	5.2	12.3	0.0	197.9
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.6	65.0	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0	166.1
2012	0.0	0.0	0.0	3.5	46.0	43.3	0.5	39.0	0.0	42.0	0.0	7.0	181.3
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	81.8	30.5	1.0	33.0	1.0	0.0	0.0	0.0	147.3
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	72.0	16.0	28.0	14.9	0.0	0.0	0.0	143.4
2015	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	59.0	137.5	33.5	44.0	0.0	0.0	280.0
2016	2.0	0.0	0.0	63.0	10.0	97.5	75.5	0.0	0.0	24.0	0.0	3.0	275.0
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	87.0	68.5	24.5	31.0	13.0	21.0	0.0	0.0	245.0
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	62.0	57.0	12.0	15.5	0.0	0.0	0.0	156.5
$\overline{X}_{Medido}$	0.26	0.00	4.12	8.10	41.48	66.72	68.14	43.25	16.06	8.45	1.89	0.29	250.8
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.26	0.00	4.12	8.10	40.69	66.72	67.86	44.25	16.04	8.03	1.84	0.29	258.2
σ_{Medido}	1.22	0.00	9.10	15.25	46.81	64.16	81.34	41.76	24.13	14.41	4.67	1.22	135.9
$\sigma_{Med.+Rell.}$	1.22	0.00	9.10	15.25	46.48	64.16	80.31	42.52	23.82	14.16	4.62	1.21	144.6

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-22. Precipitaciones mensuales estación Chacrilla

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	10.0	3.5	0.0	19.0	38.0	24.7	0.0	12.0	0.0	107.2
1980	0.0	0.5	0.0	6.3	5.0	58.0	93.0	15.0	72.9	0.0	0.0	0.0	250.7
1981	0.0	0.0	0.0	2.6	47.2	48.8	60.0	19.8	0.0	20.4	4.8	0.0	203.7
1982	0.0	0.0	18.8	0.0	36.0	60.9	90.0	69.2	0.0	59.8	0.0	0.0	334.7
1983	0.0	0.0	2.5	4.2	29.8	99.0	118.6	42.8	0.0	0.0	0.0	0.0	296.9
1984	0.0	0.0	4.5	0.0	32.5	12.2	344.0	30.1	59.7	0.0	0.0	0.0	483.0
1985	0.0	0.0	9.5	0.0	17.9	1.2	74.0	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	108.0
1986	0.0	0.0	0.0	2.3	179.4	74.8	0.0	38.0	5.5	0.0	4.5	0.0	304.5
1987	0.0	0.0	0.0	0.4	70.0	37.4	382.4	212.4	0.8	28.0	0.0	0.0	731.4
1988	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	16.7	32.3	31.2	0.0	0.0	77.4	0.0	159.9
1989	0.0	0.0	0.0	3.1	18.1	3.5	92.4	88.0	5.2	0.0	0.0	0.0	210.3
1990	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	31.5	35.8	20.8	6.3	0.0	0.0	96.7
1991	0.0	0.0	0.0	1.5	27.3	163.0	49.8	0.0	18.3	10.8	0.0	0.0	270.7
1992	0.0	0.0	33.8	20.2	80.7	202.2	3.2	80.8	23.1	0.0	3.5	0.0	447.5
1993	0.0	0.0	0.0	56.9	106.6	57.1	49.1	38.1	1.1	0.0	0.0	0.0	308.9
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	20.5	16.1	22.9	5.2	14.2	0.0	0.0	0.0	78.9
1995	9.1	0.0	0.0	15.6	2.2	42.4	53.0	47.7	18.1	0.0	0.0	0.0	188.1
1996	0.0	0.0	0.0	22.1	0.0	34.3	54.7	22.9	0.0	9.1	0.0	1.0	144.1
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	135.2	296.3	47.7	122.6	54.5	64.4	0.0	0.0	720.7
1998	0.0	0.0	0.0	5.6	9.3	20.4	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	40.4
1999	0.0	0.0	7.0	1.0	11.5	44.5	30.7	83.3	70.7	0.0	0.0	0.0	248.7
2000	0.0	0.0	0.0	4.1	22.2	162.7	42.3	0.0	85.0	0.0	0.0	0.0	316.3
2001	0.0	0.0	0.0	4.0	36.1	0.0	145.4	59.2	0.0	0.0	0.0	0.0	244.7
2002	0.0	0.0	1.2	12.1	114.9	203.8	141.0	78.1	0.0	0.0	0.0	0.0	551.1
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	66.6	49.4	50.5	5.0	0.0	0.0	5.4	0.0	176.9
2004	0.0	0.0	22.3	58.7	8.2	41.5	93.9	69.1	11.0	0.0	32.0	0.0	336.7
2005	0.0	0.0	11.1	0.0	36.6	60.4	16.6	108.4	13.0	6.3	13.1	0.0	265.5
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	66.3	159.2	26.6	0.0	68.3	0.0	0.0	323.5
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	109.4	21.0	25.2	0.0	0.0	0.0	0.0	156.6
2008	0.0	0.0	8.3	24.2	52.6	60.8	45.5	110.9	0.0	0.0	0.0	0.0	302.3
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.7	21.2	93.5	0.0	0.0	0.0	0.0	230.4
2010	0.0	0.0	0.0	0.1	39.3	55.1	34.2	9.2	16.2	4.0	8.1	0.0	166.2
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.2	50.3	19.2	0.0	0.0	0.0	0.0	135.7
2012	0.0	0.0	0.0	8.0	62.3	45.6	2.0	42.5	0.0	47.4	0.0	16.0	223.8
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	73.5	30.5	0.0	30.5	0.0	0.0	0.0	0.0	134.5
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	84.6	20.5	28.2	22.6	0.0	0.0	0.0	165.4
2015	0.0	0.0	8.2	0.0	0.0	37.1	0.0	144.4	21.8	21.2	0.0	0.0	232.7
2016	0.0	0.0	0.0	8.5	12.6	91.4	58.0	0.0	0.0	47.5	0.0	0.0	218.0
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	80.1	68.7	23.5	11.0	13.5	23.0	0.0	0.0	219.8
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	69.4	43.2	14.5	17.0	0.0	0.0	0.4	148.5
$\overline{X}_{Medido}$	0.24	0.01	2.90	7.06	36.98	66.81	66.46	46.50	15.62	9.49	2.25	0.46	244.4
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.23	0.01	3.29	6.79	36.38	67.68	65.41	47.41	14.87	10.55	4.02	0.43	257.1
σ_{Medido}	1.48	0.08	6.79	14.17	43.39	65.87	84.34	46.87	23.15	18.64	6.16	2.63	154.5
$\sigma_{Med.+Rell.}$	1.44	0.08	7.15	13.49	42.05	62.77	80.28	46.05	22.51	19.58	13.23	2.53	152.3

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-23. Precipitaciones mensuales estación La Viña

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	12.5	6.0	0.0	68.0	28.0	22.0	0.0	9.0	1.5	147.0
1980	0.0	0.0	0.0	79.0	7.0	54.0	93.5	11.0	66.0	0.0	0.0	0.0	310.5
1981	0.0	1.0	0.0	0.0	110.0	26.0	20.0	11.0	4.0	0.0	0.0	0.0	172.0
1982	0.0	0.0	12.0	0.0	63.0	116.0	73.0	70.0	9.0	11.0	0.0	0.0	354.0
1983	3.5	0.0	0.0	6.4	29.8	95.0	111.0	41.5	26.5	0.0	0.0	0.0	313.7
1984	0.0	0.0	3.6	0.0	29.7	8.1	321.9	23.4	67.0	6.3	1.3	0.0	461.3
1985	0.0	0.0	10.6	0.0	11.3	2.0	51.4	3.2	0.0	6.3	0.0	0.0	84.8
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	133.0	56.9	0.0	26.1	1.7	2.4	7.3	0.0	227.4
1987	0.0	0.0	0.0	9.4	56.4	27.1	361.7	199.0	5.0	22.3	0.0	0.0	680.9
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	26.5	29.5	3.0	0.0	8.3	1.0	74.7
1989	0.0	0.0	0.0	3.5	30.6	2.4	74.9	74.6	5.4	0.0	0.0	0.0	191.4
1990	0.0	0.0	1.5	0.0	1.0	0.0	33.9	39.4	13.0	3.5	0.0	0.0	92.3
1991	0.0	0.0	0.0	3.5	32.3	143.3	45.9	0.0	28.5	5.0	0.0	0.0	258.5
1992	0.0	0.0	36.2	31.0	79.9	156.4	2.5	60.8	20.5	0.0	4.8	0.0	392.1
1993	0.0	0.0	0.0	61.7	86.4	6.7	38.4	25.4	6.3	0.0	0.0	0.0	224.9
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	19.3	10.8	60.8	3.6	4.9	0.0	0.0	0.0	99.4
1995	11.0	0.0	0.0	11.7	0.0	48.3	40.5	35.6	12.1	0.0	0.0	0.0	159.2
1996	0.0	0.0	0.0	20.5	2.0	31.9	47.9	7.7	0.0	4.9	0.0	0.0	114.9
1997	0.0	0.0	2.9	0.0	93.8	310.8	31.4	107.5	30.0	48.0	0.0	0.0	624.4
1998	0.0	20.2	1.0	15.0	9.3	9.4	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	56.7
1999	0.0	0.0	5.2	3.3	4.4	34.0	12.3	98.9	105.4	0.0	0.0	0.0	263.5
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	18.4	200.2	31.8	7.8	84.8	0.0	0.0	0.0	343.0
2001	0.0	0.0	4.0	4.0	23.0	0.0	168.0	49.6	6.5	11.0	0.0	0.0	266.1
2002	0.0	0.0	1.4	9.4	110.4	172.5	117.7	42.2	6.9	0.0	0.0	0.0	460.5
2003	1.9	0.0	0.0	0.0	61.5	35.0	40.0	2.5	0.0	0.0	3.3	0.0	144.2
2004	0.0	0.0	10.9	61.0	2.5	29.0	74.6	68.5	11.4	0.0	29.9	0.0	287.8
2005	0.0	0.0	14.0	0.0	29.0	79.4	15.1	93.0	19.8	6.8	8.4	0.0	265.5
2006	0.0	0.0	0.0	1.0	5.0	68.1	156.9	17.0	0.0	55.0	0.0	0.0	303.0
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	115.0	13.5	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	164.5
2008	0.0	1.4	6.0	16.4	52.3	50.6	33.0	103.3	7.4	0.0	0.0	0.0	270.4
2009	0.0	1.0	0.0	0.0	1.5	106.3	17.3	72.2	4.1	0.0	0.0	0.0	202.4
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	39.5	56.2	29.5	11.9	16.9	3.8	22.5	0.0	180.3
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.9	40.9	18.4	0.0	0.0	0.0	0.0	111.2
2012	0.0	0.0	0.0	11.2	54.2	25.5	1.0	27.9	0.0	27.1	0.0	24.5	171.4
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	65.3	19.0	0.0	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0	106.0
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	10.7	69.0	10.4	26.3	17.3	0.0	0.0	0.0	133.7
2015	0.0	0.0	7.3	0.0	0.0	0.0	55.5	103.3	20.5	29.5	0.0	0.0	216.1
2016	0.0	0.0	0.0	40.0	17.4	85.0	35.4	0.0	0.0	34.0	0.0	17.0	228.8
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	78.3	61.0	18.0	42.8	21.2	19.5	0.0	0.0	240.8
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	42.9	39.0	11.0	18.5	0.0	0.0	0.0	50.4
$\overline{X}_{Medido}$	0.42	0.61	2.92	10.27	34.59	60.30	60.87	41.17	16.64	7.80	2.49	1.16	231.6
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.41	0.59	2.92	10.01	34.59	60.30	60.87	42.02	16.64	7.60	2.43	1.13	236.2
σ_{Medido}	1.85	3.24	6.60	19.07	36.51	65.12	77.42	40.51	24.25	13.86	6.31	4.77	130.8
$\sigma_{Med.+Rell.}$	1.83	3.19	6.60	18.89	36.51	65.12	77.42	41.22	24.25	13.73	6.24	4.71	141.2

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-24. Precipitaciones mensuales estación Las Puertas

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	20.5	4.0	0.0	62.0	23.0	17.0	0.0	10.5	0.0	137.0
1980	0.0	0.0	0.0	72.5	11.0	55.5	82.5	11.5	67.0	0.0	0.0	0.0	300.0
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	116.0	26.5	13.5	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	167.0
1982	0.0	0.0	18.0	0.0	69.5	147.0	110.0	64.0	10.5	3.5	0.0	0.0	422.5
1983	0.0	0.0	0.0	5.0	28.0	86.0	120.0	33.5	0.0	0.0	0.0	0.0	272.5
1984	0.0	0.0	5.0	0.0	26.0	8.0	365.0	25.0	59.0	8.3	0.0	0.0	496.3
1985	0.0	0.0	11.5	0.0	17.5	2.4	45.4	1.8	0.0	6.6	0.0	0.0	85.2
1986	0.0	0.0	0.0	0.2	160.7	70.6	2.3	32.6	0.0	3.3	9.1	0.0	278.8
1987	0.0	0.0	0.0	4.3	68.6	25.3	375.9	216.5	0.0	21.7	0.0	0.0	712.3
1988	0.0	0.0	0.3	0.0	0.4	12.1	19.0	27.7	2.0	0.0	11.0	0.0	72.5
1989	0.0	0.0	0.0	3.8	34.7	5.6	85.2	33.2	7.3	0.0	0.0	0.0	169.8
1990	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	38.4	39.7	18.4	42.7	0.0	0.0	141.7
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	25.6	149.3	49.2	0.0	32.5	5.0	0.0	0.0	261.6
1992	0.0	0.0	37.5	25.4	83.4	191.7	1.6	58.3	21.2	0.0	4.5	0.0	423.6
1993	0.0	0.0	0.0	62.1	83.4	9.5	33.4	25.6	0.5	0.0	0.0	0.0	214.5
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.4	34.0	5.0	8.0	0.0	0.0	0.0	60.4
1995	9.6	0.0	0.0	10.1	1.5	30.3	50.2	38.5	13.2	0.0	0.0	0.0	153.4
1996	0.0	0.0	0.0	21.9	0.0	42.0	50.3	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	122.1
1997	0.0	0.0	4.0	0.0	108.0	319.5	34.9	111.0	44.0	45.0	4.5	0.0	670.9
1998	0.0	8.0	0.0	7.0	12.5	8.7	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	37.2
1999	0.0	0.0	10.1	2.5	4.5	47.5	13.0	86.5	111.0	0.0	0.0	0.0	275.1
2000	0.0	0.0	0.0	4.0	18.0	194.2	24.0	0.0	81.8	0.0	0.0	0.0	322.0
2001	0.0	0.0	2.5	3.0	36.0	0.0	186.0	30.5	10.5	7.5	0.0	0.0	276.0
2002	0.0	0.0	0.0	8.5	102.4	191.5	124.5	50.5	5.5	0.0	0.0	0.0	482.9
2003	2.0	0.0	0.0	0.0	70.0	32.5	50.5	4.0	0.0	0.0	6.0	0.0	165.0
2004	0.0	0.0	13.5	61.0	4.0	30.5	75.5	61.0	12.5	0.0	36.5	0.0	294.5
2005	0.0	0.0	14.5	0.0	27.5	86.7	16.5	75.0	12.0	7.5	7.0	0.0	246.7
2006	0.0	0.0	0.0	3.0	4.5	68.5	159.4	17.0	0.0	60.0	0.0	0.0	312.4
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	124.3	13.4	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0	159.7
2008	0.0	0.0	5.5	21.9	53.5	69.0	42.0	96.5	7.0	0.0	0.0	0.0	295.4
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	104.5	15.5	85.5	4.5	0.0	0.0	0.0	211.5
2010	0.0	0.5	0.0	0.0	37.0	55.5	34.0	10.0	12.0	3.0	22.1	0.0	174.1
2011	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	50.5	46.5	20.3	0.0	0.0	0.0	0.0	120.3
2012	0.0	0.0	0.0	9.0	79.0	46.5	2.0	33.8	0.0	46.4	0.0	17.0	233.7
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	69.0	29.5	0.5	29.2	0.0	0.0	0.0	0.0	128.2
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	81.0	13.0	31.7	15.0	0.0	0.0	0.0	153.2
2015	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	47.5	131.0	25.3	39.5	0.0	0.0	251.3
2016	0.0	0.0	0.0	58.0	21.8	101.0	64.5	0.0	0.0	32.0	0.0	21.2	298.5
2017	0.0	0.0	0.0	0.5	82.5	55.5	12.5	90.5	14.0	0.0	0.0	0.0	255.5
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	47.0	0.0	36.0	13.0	14.3	0.0	0.1	0.3	110.8
$\overline{X}_{Medido}$	0.29	0.29	3.41	10.11	38.05	64.30	65.23	40.68	15.71	7.82	2.85	1.01	251.1
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.29	0.29	3.32	10.10	38.05	64.30	63.74	41.33	15.68	8.30	2.78	0.96	249.1
σ_{Medido}	1.54	1.34	7.35	19.56	40.22	69.41	85.12	44.25	24.89	15.68	7.15	4.35	143.7
$\sigma_{Med.+Rell.}$	1.54	1.34	7.27	19.31	40.22	69.41	83.17	43.66	24.57	16.16	7.07	4.24	149.7

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-25. Precipitaciones mensuales estación La Mostaza

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	23.6	4.5	0.0	81.4	37.3	38.0	0.0	11.0	12.0	207.8
1980	0.0	2.0	0.0	91.7	4.7	78.1	101.3	15.2	93.5	0.0	6.5	0.0	393.0
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	127.2	32.0	26.5	26.2	9.0	0.0	0.0	0.0	220.9
1982	0.0	0.0	14.6	0.0	87.7	211.3	107.7	57.7	52.0	16.8	5.3	0.0	553.1
1983	10.7	0.0	0.0	19.3	36.9	110.6	128.7	52.7	45.4	0.0	0.0	0.0	404.3
1984	0.0	0.0	4.3	0.0	25.0	13.5	297.8	25.4	43.5	19.2	7.2	0.0	435.9
1985	0.0	0.0	17.4	0.0	20.1	1.3	62.4	5.9	0.0	16.7	0.0	0.0	123.8
1986	0.0	0.0	0.0	0.9	122.4	86.6	89.4	46.4	0.0	0.0	0.0	0.0	345.7
1987	0.0	0.0	0.0	25.3	24.0	45.8	392.7	253.0	19.3	43.0	0.0	0.0	803.1
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	9.3	43.2	40.2	15.7	0.0	8.9	1.5	127.2
1989	0.0	0.0	0.0	8.6	36.6	3.0	85.9	130.1	10.2	0.0	0.0	0.0	274.4
1990	0.0	0.0	2.8	0.1	7.3	1.0	32.0	49.3	30.5	4.4	0.0	0.0	127.4
1991	0.0	0.0	0.0	8.3	39.8	164.6	109.0	1.1	76.8	8.5	0.0	0.3	408.4
1992	0.0	0.0	17.7	88.5	111.8	178.3	0.0	54.2	18.5	0.0	9.5	0.0	478.5
1993	0.0	0.0	0.0	57.5	115.2	6.0	42.5	30.0	8.5	1.5	0.0	0.0	261.2
1994	0.0	0.0	0.0	1.0	21.0	21.9	61.9	12.0	3.0	12.6	0.0	0.0	133.4
1995	16.0	0.0	0.0	11.5	4.0	60.0	41.2	37.9	30.6	0.0	0.0	0.0	201.2
1996	0.0	0.0	0.0	22.5	3.6	20.3	38.3	25.6	5.5	2.5	0.0	3.0	121.3
1997	0.0	0.0	25.2	0.0	117.0	345.4	41.0	53.0	28.7	67.5	0.0	8.0	685.8
1998	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	19.4	0.0	0.0	11.4	0.0	0.0	0.0	32.3
1999	0.0	0.0	12.8	4.5	0.0	40.2	9.0	103.4	101.0	0.0	0.0	0.0	270.9
2000	0.0	0.0	0.0	9.0	34.5	194.5	81.5	0.0	90.0	7.0	5.3	0.0	421.8
2001	0.0	0.0	9.0	11.5	33.9	5.0	169.6	57.0	25.0	13.2	0.0	0.0	324.2
2002	0.0	0.0	7.0	14.5	143.5	186.7	121.5	68.2	17.0	0.0	0.0	0.0	558.4
2003	4.0	0.0	0.0	0.0	103.0	33.0	40.1	3.5	3.5	0.0	6.0	0.0	193.1
2004	0.0	0.0	13.0	46.0	7.9	41.4	75.4	82.1	43.1	0.0	22.0	0.0	330.9
2005	0.0	0.0	28.4	1.4	36.7	97.4	14.0	134.0	22.3	9.9	11.0	0.0	355.1
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	69.0	195.3	16.5	6.0	37.0	0.0	0.0	328.2
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	129.0	24.0	41.5	0.0	0.0	0.0	0.0	201.6
2008	0.0	2.3	2.0	27.0	95.7	69.5	40.4	148.0	3.1	0.0	0.0	0.0	388.0
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	132.8	26.0	72.9	4.5	0.0	0.0	0.0	237.7
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	44.4	63.1	30.3	16.3	40.4	9.3	41.4	0.0	245.2
2011	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	84.5	46.8	27.4	0.0	4.7	0.0	0.0	168.9
2012	0.0	0.0	0.0	22.5	32.0	30.6	4.4	27.0	3.1	43.4	0.0	1.3	164.3
2013	5.3	0.0	0.0	0.0	58.0	19.0	5.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	114.3
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	97.5	18.0	38.5	24.4	0.0	2.0	0.0	182.4
2015	0.0	0.0	18.1	0.0	0.0	0.0	49.0	116.5	35.5	32.8	5.9	0.0	257.8
2016	0.0	0.0	0.0	62.9	32.2	120.9	57.0	0.0	0.0	31.0	12.0	2.0	318.0
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	116.3	32.0	47.1	36.5	0.0	0.0	0.0	0.0	231.9
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	57.4	23.9	18.4	20.5	0.0	1.3	0.0	135.6
$\overline{X}_{Medido}$	0.90	0.25	4.35	13.95	42.25	72.80	72.31	50.61	25.92	10.58	4.16	0.76	300.2
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.90	0.25	4.35	13.95	42.11	72.80	71.53	49.70	24.49	9.53	3.88	0.70	294.2
σ_{Medido}	3.13	0.98	7.74	23.68	45.65	74.48	79.96	51.20	27.44	16.28	8.06	2.38	171.9
$\sigma_{Med.+Rell.}$	3.13	0.98	7.74	23.68	45.07	74.48	78.31	50.14	26.99	15.76	7.81	2.29	163.2

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-26. Precipitaciones mensuales estación Las Pataguas

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	18.5	6.0	0.5	61.5	44.0	20.9	0.0	14.1	1.0	166.5
1980	0.0	0.0	0.0	80.9	19.2	44.9	155.7	15.3	96.5	0.0	0.0	0.0	412.5
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	221.3	45.5	10.8	6.5	7.0	0.0	0.0	0.0	291.1
1982	0.0	0.0	20.5	0.0	112.0	197.0	97.4	96.0	17.0	15.5	0.0	0.0	555.4
1983	1.0	0.0	0.0	7.0	45.0	120.0	135.0	63.0	15.0	0.0	0.0	0.0	386.0
1984	0.0	0.0	1.3	0.0	65.1	10.3	448.4	33.9	29.7	5.2	1.0	0.0	594.9
1985	0.0	0.0	15.3	0.0	27.4	4.9	68.5	0.0	1.8	15.2	0.0	0.0	133.1
1986	0.0	0.0	0.0	8.3	176.4	110.3	0.0	53.8	1.8	0.0	13.2	0.0	363.8
1987	0.0	0.0	0.0	3.6	59.2	47.2	474.5	213.6	11.8	24.2	0.0	0.0	834.1
1988	0.0	0.0	3.0	0.0	2.8	32.3	70.7	60.0	5.0	0.0	6.2	1.4	181.4
1989	0.0	0.0	0.0	9.5	29.6	7.1	119.9	102.3	1.3	0.0	0.0	0.0	269.7
1990	0.0	0.0	1.4	0.0	2.7	0.0	46.2	44.3	23.2	78.0	0.0	0.0	195.8
1991	0.0	0.0	0.0	6.5	38.6	218.2	90.2	1.9	35.8	11.0	0.0	0.0	402.2
1992	0.0	0.0	29.5	39.9	144.6	234.3	1.3	69.8	6.8	0.0	0.0	0.0	526.2
1993	0.0	0.0	0.0	110.1	84.4	24.2	41.5	44.8	1.6	0.0	0.0	0.0	306.6
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	56.0	23.5	90.0	26.3	19.5	0.0	0.0	3.5	218.8
1995	7.5	0.0	0.0	29.0	0.0	75.5	90.5	64.3	0.0	0.0	0.0	0.0	266.8
1996	0.0	0.0	0.0	21.1	8.2	30.7	57.9	45.2	1.3	13.0	0.0	1.8	179.2
1997	0.0	0.0	1.7	0.0	163.0	318.0	66.1	151.9	70.6	84.0	0.0	0.0	855.3
1998	0.0	0.0	0.0	15.1	14.8	35.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	72.4
1999	0.0	0.0	6.9	2.7	16.0	42.5	9.8	118.0	103.5	0.0	0.0	0.0	299.4
2000	0.0	0.0	0.0	7.3	5.6	294.7	21.6	0.0	115.9	0.0	0.0	0.0	445.1
2001	0.0	0.0	1.6	5.2	47.9	0.0	206.4	39.7	13.3	2.6	0.0	0.0	316.7
2002	0.0	0.0	1.2	3.5	132.8	234.7	146.1	71.1	3.5	0.0	0.0	0.0	592.9
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	85.5	50.0	66.0	10.5	0.0	0.0	5.3	0.0	217.3
2004	0.0	0.0	19.8	39.1	9.2	42.0	107.2	84.8	14.0	0.0	36.8	0.0	352.9
2005	0.0	0.0	16.0	0.0	46.9	94.0	47.8	194.5	14.0	6.1	19.3	0.0	438.6
2006	0.0	0.0	0.0	2.5	3.0	95.3	184.5	39.0	0.0	68.5	0.0	0.0	392.8
2007	0.0	1.2	0.0	0.0	1.3	112.5	22.2	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	171.2
2008	0.0	0.0	11.2	23.8	61.5	52.0	70.5	105.2	15.0	0.0	0.0	0.0	339.2
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	143.5	25.5	98.5	4.8	0.0	0.0	0.0	272.3
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	39.3	54.7	34.8	0.0	11.0	1.5	10.0	0.0	151.3
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.0	52.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	132.0
2012	0.0	0.0	0.0	1.5	55.5	45.0	0.0	32.0	0.0	42.0	0.0	14.0	190.0
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	101.0	28.5	2.5	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	159.0
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	57.0	15.0	29.0	8.0	0.0	0.0	0.0	120.0
2015	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	71.0	162.0	42.5	61.0	0.0	0.0	343.5
2016	0.0	0.0	0.0	89.5	25.4	98.5	107.5	0.0	0.0	29.0	0.0	7.0	356.9
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	90.5	101.0	24.5	29.0	4.5	41.0	0.0	0.0	290.5
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	72.5	75.0	9.5	18.2	6.4	1.7	0.2	111.1
$\overline{X}_{Medido}$	0.22	0.03	3.41	13.12	50.52	81.60	85.67	54.56	19.06	11.66	3.03	0.76	320.3
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.21	0.03	3.41	13.12	50.52	81.60	85.67	57.06	18.56	12.61	2.69	0.72	322.6
σ_{Medido}	1.21	0.19	7.07	25.68	55.33	81.60	102.61	52.18	29.34	21.57	7.57	2.56	165.5
$\sigma_{Med.+Rell.}$	1.19	0.19	7.07	25.68	55.33	81.60	102.61	53.79	28.73	23.18	7.13	2.49	180.9

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-27. Precipitaciones mensuales estación El Tartaro

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	3.0	14.6	29.6	17.6	37.5	22.6	19.7	0.0	3.3	0.0	147.9
1980	0.0	0.0	0.0	15.1	15.0	59.8	12.7	25.6	0.0	106.7	45.8	0.0	280.6
1981	0.0	0.0	0.0	9.0	42.3	56.7	37.4	12.8	22.5	8.9	0.0	0.0	189.6
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	68.0	54.2	48.9	66.9	26.5	11.4	0.0	309.2
1983	0.0	0.0	0.0	11.0	19.8	99.1	19.8	29.2	0.0	0.0	0.0	0.0	178.9
1984	0.0	0.0	11.8	11.1	15.1	48.6	37.8	31.9	76.2	0.0	13.0	0.0	245.5
1985	0.0	0.0	0.0	15.7	28.6	20.7	41.7	14.0	62.8	24.8	0.0	1.9	210.2
1986	0.0	0.0	0.0	15.5	26.3	60.7	51.3	30.8	9.9	3.9	1.7	0.0	200.2
1987	0.0	0.0	11.0	14.3	50.8	60.2	42.6	34.1	71.4	0.0	0.0	0.0	284.4
1988	0.0	0.0	0.0	14.6	14.0	53.0	11.3	19.5	37.1	0.0	0.0	0.0	149.4
1989	0.0	0.0	0.0	11.6	31.3	44.3	64.7	28.1	7.9	3.1	0.0	0.0	191.0
1990	0.0	0.0	0.0	8.1	22.3	58.0	33.9	35.0	27.5	0.1	0.0	0.0	184.9
1991	0.0	0.0	0.0	6.9	30.0	149.7	60.8	4.0	49.6	7.0	0.0	0.0	308.0
1992	0.0	0.0	12.0	40.0	98.0	148.7	8.2	41.5	14.0	0.0	7.5	0.0	369.9
1993	0.0	0.0	0.0	52.5	61.5	19.0	28.0	17.0	5.5	2.0	0.0	0.0	185.5
1994	0.0	0.0	0.0	2.0	22.0	14.0	51.6	5.3	4.5	2.0	0.0	0.0	101.4
1995	13.0	0.0	0.0	6.5	5.0	58.5	36.5	30.0	22.0	0.0	0.0	0.0	171.5
1996	0.0	0.0	0.0	25.0	4.0	26.5	32.0	13.0	0.0	7.0	0.0	2.0	109.5
1997	0.0	0.0	6.0	0.0	92.5	351.0	24.5	90.1	59.2	40.0	0.0	0.0	663.3
1998	0.0	1.0	2.0	16.0	8.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.0
1999	0.0	0.0	17.5	18.5	2.0	43.0	14.0	90.0	103.5	0.0	0.0	0.0	288.5
2000	0.0	0.0	0.0	4.0	23.0	198.5	46.0	0.0	89.7	0.0	0.0	0.0	361.2
2001	0.0	0.0	7.0	6.0	21.0	4.0	141.5	43.0	14.0	15.0	0.0	0.0	251.5
2002	0.0	0.0	1.0	14.5	121.5	152.0	133.7	50.5	14.0	0.0	0.0	0.0	487.2
2003	9.0	0.0	0.0	0.0	88.0	25.0	60.0	4.0	0.0	0.0	6.0	0.0	192.0
2004	0.0	0.0	13.0	43.0	9.5	28.0	69.0	79.0	27.0	0.0	37.0	0.0	305.5
2005	0.0	0.0	17.0	0.0	35.5	96.0	11.0	111.5	20.0	4.0	8.0	0.0	303.0
2006	0.0	0.0	0.0	2.0	3.5	61.0	140.5	12.5	0.0	33.0	0.0	0.0	252.5
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	120.0	11.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	149.0
2008	0.0	0.0	8.0	18.0	75.0	64.0	34.5	88.0	5.0	0.0	0.0	0.0	292.5
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	109.0	14.5	79.0	11.0	0.0	0.0	0.0	218.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	48.0	70.0	28.0	8.0	27.0	10.0	32.0	0.0	223.0
2011	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	60.0	41.0	12.0	3.0	5.0	0.0	0.0	124.0
2012	0.0	0.0	0.0	15.0	48.0	28.0	2.0	19.0	1.0	38.0	0.0	4.0	155.0
2013	1.2	0.0	0.0	0.0	72.0	19.0	2.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	116.2
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	56.0	8.0	22.0	17.0	0.0	1.0	0.0	112.0
2015	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	38.0	106.5	20.0	27.0	0.0	0.0	203.5
2016	0.0	0.0	0.0	68.0	10.0	122.0	42.0	0.0	0.0	32.0	4.0	13.0	291.0
2017	0.0	0.0	0.0	3.0	100.0	60.0	18.0	19.0	8.0	7.5	0.0	0.0	215.5
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	40.0	35.0	9.0	25.0	0.0	0.0	0.0	119.0
$\overline{X}_{Medido}$	0.83	0.14	3.41	12.18	35.88	76.32	40.36	34.29	19.38	8.50	3.54	0.68	221.8
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.58	0.10	3.03	12.03	33.32	69.59	39.40	33.06	23.55	10.09	4.27	0.52	229.6
σ_{Medido}	2.93	0.59	5.71	18.07	37.49	74.90	39.31	34.74	26.43	13.10	9.26	2.55	104.6
$\sigma_{Med.+Rell.}$	2.47	0.50	5.33	15.23	32.01	64.18	33.85	30.66	27.53	19.70	10.44	2.16	112.3

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-28. Precipitaciones mensuales estación Mina Cerro Negro

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	15.0	0.0	15.2	67.9	32.8	0.0	0.0	52.7	0.0	183.6
1980	0.0	0.0	0.0	99.9	24.0	79.7	111.9	8.8	77.0	0.0	0.0	0.0	401.3
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	139.0	36.0	22.4	7.5	4.0	0.0	0.0	0.0	208.9
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	96.5	206.9	137.6	74.0	12.6	8.9	0.0	0.0	536.5
1983	4.4	0.0	0.0	8.6	36.8	112.5	152.1	47.9	26.5	0.0	0.0	0.0	388.8
1984	0.0	0.0	0.0	0.0	26.0	0.0	560.0	34.0	0.0	4.9	0.0	0.0	624.9
1985	0.0	0.0	13.5	0.0	24.0	2.5	48.9	7.1	0.0	9.9	0.0	0.0	105.9
1986	0.0	0.0	0.0	0.1	180.0	96.3	0.0	62.2	0.0	5.8	14.0	0.0	358.4
1987	0.0	0.0	0.0	7.0	81.5	32.5	442.6	246.0	12.0	24.1	0.0	0.0	845.7
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	8.6	29.9	28.4	0.0	0.0	9.0	1.2	80.0
1989	0.0	0.0	0.0	9.0	39.5	6.5	103.5	70.0	7.0	0.0	0.0	0.0	235.5
1990	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	46.4	55.8	25.0	3.9	0.0	0.0	135.6
1991	0.0	0.0	0.0	4.8	47.9	183.2	65.8	6.0	54.0	9.0	0.0	0.0	370.7
1992	0.0	0.0	30.0	23.5	93.5	152.5	3.0	59.5	25.0	0.0	5.5	0.0	392.5
1993	0.0	0.0	0.0	70.0	51.9	23.5	43.0	31.0	6.5	0.0	0.0	0.0	225.9
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	24.0	50.0	6.0	9.0	0.0	0.0	0.0	116.0
1995	9.0	0.0	0.0	8.0	0.0	39.5	51.3	0.0	19.7	0.0	0.0	0.0	127.5
1996	0.0	0.0	0.0	22.0	4.5	42.5	66.0	19.5	0.0	4.5	0.0	0.0	159.0
1997	0.0	0.0	3.5	0.0	130.0	405.0	40.5	131.0	57.5	46.0	5.0	0.0	818.5
1998	0.0	4.0	0.0	28.5	9.0	12.0	0.0	0.0	8.8	0.0	0.0	0.0	62.3
1999	0.0	0.0	7.0	4.5	6.0	60.0	17.5	72.5	110.0	0.0	0.0	0.0	277.5
2000	0.0	0.0	0.0	5.0	19.5	209.6	22.5	8.9	97.5	0.0	0.0	0.0	363.0
2001	0.0	0.0	0.0	7.5	29.7	0.0	230.5	50.0	20.5	12.0	0.0	0.0	350.2
2002	0.0	0.0	0.0	11.0	140.0	208.0	167.0	69.0	9.5	0.0	0.0	0.0	604.5
2003	5.0	0.0	0.0	0.0	83.0	41.5	71.0	4.5	0.0	0.0	5.3	0.0	210.3
2004	0.0	0.0	19.0	59.5	6.5	43.0	103.0	83.5	20.0	3.0	35.0	0.0	372.5
2005	0.0	0.0	16.2	1.6	51.0	134.1	32.5	125.5	24.0	7.0	7.0	0.0	398.9
2006	0.0	0.0	0.0	1.5	5.0	74.5	164.3	31.0	0.0	65.5	0.0	0.0	341.8
2007	0.0	4.5	0.0	0.0	0.5	125.0	16.0	35.1	0.0	0.0	0.0	0.0	181.1
2008	0.0	0.0	7.5	16.5	82.5	66.0	40.0	90.0	6.0	0.0	0.0	0.0	308.5
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	108.0	22.0	94.0	9.0	0.0	0.0	0.0	233.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0	69.0	41.5	8.5	22.5	7.0	41.0	0.0	222.5
2011	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	72.0	48.5	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	145.6
2012	0.0	0.0	0.0	8.7	109.5	60.5	4.0	29.5	0.0	46.5	0.0	34.0	292.7
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	99.5	29.5	0.0	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	157.5
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	85.0	10.0	44.0	19.5	0.0	0.0	0.0	159.8
2015	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	51.5	191.5	27.0	26.0	0.0	0.0	308.5
2016	2.5	0.0	0.0	73.5	15.0	112.0	58.0	0.0	0.0	53.0	0.0	18.0	332.0
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	94.0	62.5	20.0	44.0	13.0	24.5	0.0	0.0	258.0
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.5	53.0	12.0	16.5	0.0	0.0	0.0	136.0
$\overline{X}_{Medido}$	0.52	0.25	2.84	12.14	45.14	78.93	81.44	50.28	19.54	9.77	3.21	1.44	288.4
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.52	0.25	2.84	12.14	44.75	77.34	80.39	49.33	18.49	9.04	4.36	1.33	300.8
σ_{Medido}	1.76	0.96	6.56	23.13	49.43	80.58	114.43	52.92	26.83	16.92	8.89	6.25	164.8
$\sigma_{Med.+Rell.}$	1.76	0.96	6.56	23.13	48.86	80.17	111.57	52.05	26.14	16.46	11.69	6.01	181.9

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-29. Precipitaciones mensuales estación Laguna de Zapallar

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	8.1	39.6	21.6	54.5	36.7	18.8	0.0	3.6	0.0	183.0
1980	0.0	0.0	0.0	8.6	16.3	71.2	14.2	41.4	83.0	80.3	15.8	7.2	338.0
1981	0.0	0.0	0.0	3.6	63.0	67.6	54.5	21.4	22.2	0.0	0.0	0.0	232.2
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	46.0	80.7	86.5	77.0	37.4	36.2	7.1	0.0	370.9
1983	0.0	0.0	0.0	5.0	23.4	116.5	24.7	47.0	0.0	0.0	0.0	0.0	216.6
1984	0.0	0.0	0.0	5.2	16.5	58.1	55.2	51.1	93.5	0.0	17.8	0.0	297.4
1985	0.0	0.0	6.6	9.2	37.9	25.3	62.3	23.2	44.7	43.2	0.0	3.9	256.3
1986	0.0	0.0	0.0	9.0	33.8	72.3	80.6	49.5	0.0	0.0	0.0	0.0	245.3
1987	0.0	0.0	0.0	7.9	79.8	71.7	414.4	205.4	20.3	26.3	0.0	0.0	825.8
1988	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	36.5	52.5	49.8	10.7	0.0	7.2	0.0	163.7
1989	0.0	0.0	0.0	0.0	26.0	12.6	148.8	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	218.4
1990	0.0	0.0	2.3	0.0	1.0	0.0	50.2	13.5	17.8	10.2	0.0	0.0	95.0
1991	0.0	0.0	0.0	5.4	49.9	203.5	53.1	0.0	50.1	20.2	0.0	0.0	382.2
1992	0.0	0.0	23.2	16.2	159.3	205.9	2.1	79.9	28.6	0.0	0.0	0.0	515.2
1993	0.0	0.0	0.0	93.0	24.4	24.4	39.5	32.3	4.2	4.2	0.0	0.0	222.0
1994	0.0	0.0	0.0	2.4	70.4	27.6	50.0	21.5	15.2	0.0	0.0	0.0	187.1
1995	0.0	0.0	0.0	17.2	0.0	33.6	89.4	48.4	3.6	0.0	3.2	0.0	195.4
1996	0.0	0.0	0.0	7.6	8.6	30.9	111.4	50.3	0.0	16.3	0.0	3.5	228.6
1997	0.0	0.0	0.7	0.4	170.1	290.5	60.8	138.3	60.1	66.3	7.0	2.5	796.7
1998	0.0	0.0	0.0	20.9	5.5	9.0	2.5	0.0	0.7	0.2	0.0	0.0	38.8
1999	0.0	0.2	3.0	3.5	26.0	35.5	14.0	95.0	76.6	1.5	0.0	0.0	255.3
2000	0.0	0.0	0.0	7.1	15.0	290.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	313.9
2001	0.0	0.0	37.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	248.4	0.0	0.3	286.5
2002	0.0	0.0	1.5	1.0	186.2	278.5	115.7	92.2	11.5	0.0	0.0	0.0	686.6
2003	0.0	0.0	0.0	1.8	87.0	30.2	54.7	10.0	4.0	0.5	3.0	0.0	191.2
2004	0.0	0.0	4.0	44.5	19.7	63.0	87.5	77.5	11.0	3.5	41.0	0.0	351.7
2005	0.0	0.0	16.0	0.0	82.5	77.0	21.0	113.0	21.0	18.5	13.0	0.0	362.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	75.5	207.0	37.0	0.0	55.0	0.0	0.0	386.0
2007	0.0	11.5	0.0	0.0	1.5	98.0	24.5	30.0	0.0	0.0	2.0	0.0	167.5
2008	0.0	0.0	5.0	10.0	103.5	47.5	51.5	93.0	6.0	0.0	0.0	0.0	316.5
2009	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	133.0	19.0	76.0	3.5	0.0	0.0	0.0	232.5
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	105.0	24.0	4.0	12.0	2.5	4.8	0.0	202.3
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.5	43.5	21.6	0.0	0.0	0.0	0.0	131.6
2012	0.0	0.0	0.0	0.0	67.0	77.0	0.0	53.0	0.0	76.0	1.5	19.0	293.5
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	140.8	40.1	0.0	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	204.4
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	116.5	28.0	25.5	28.5	1.0	0.0	0.0	207.0
2015	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	44.5	162.0	49.1	51.5	0.0	0.0	310.1
2016	0.0	0.0	1.0	88.5	32.9	64.0	96.0	0.0	0.0	14.0	0.0	13.0	309.4
2017	0.0	0.0	0.0	3.5	102.5	134.5	32.0	40.0	5.5	46.5	1.0	1.0	366.5
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	78.5	64.0	15.0	17.5	4.0	0.0	0.0	102.5
$\overline{X}_{Medido}$	0.00	0.42	2.22	10.65	48.00	86.61	62.56	49.84	14.67	14.74	2.99	1.46	258.1
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.00	0.32	2.78	9.49	45.73	81.75	60.82	50.54	18.97	21.08	3.28	1.29	292.1
σ_{Medido}	0.00	2.10	5.13	23.72	56.68	84.57	80.71	50.13	20.01	22.75	8.05	4.35	129.1
$\sigma_{Med.+Rell.}$	0.00	1.82	7.29	20.61	49.97	75.85	72.58	46.11	25.09	44.14	7.63	3.81	166.4

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-30. Precipitaciones mensuales estación El Cobre

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	11.1	38.5	15.8	72.0	46.2	43.6	0.0	0.0	0.0	227.2
1980	0.0	0.0	0.0	11.7	17.7	79.0	23.9	51.1	116.7	97.2	0.0	0.0	397.3
1981	0.0	0.0	4.3	5.4	58.0	73.6	71.9	29.3	39.8	0.0	0.0	0.0	282.3
1982	0.0	0.0	10.1	0.0	44.0	93.6	105.1	86.0	93.5	0.0	0.0	0.0	432.4
1983	0.0	0.0	0.0	7.3	24.3	153.7	37.6	56.8	0.0	0.0	0.0	0.0	279.7
1984	0.0	0.0	0.0	7.5	17.8	60.0	72.7	61.0	134.6	0.0	0.0	0.0	353.6
1985	0.0	0.0	0.0	12.5	37.1	19.5	80.4	31.4	68.6	57.1	0.0	2.3	308.8
1986	0.0	0.0	0.0	12.3	33.5	80.6	99.3	59.3	9.7	0.0	1.3	0.0	295.9
1987	0.0	0.0	0.0	10.9	71.5	79.7	82.2	64.3	93.5	0.0	0.0	0.0	402.0
1988	0.0	0.0	0.0	11.1	16.3	67.4	21.2	41.1	63.6	0.0	8.6	0.0	229.3
1989	0.0	0.0	0.0	7.9	2.3	16.0	146.8	102.5	2.3	2.5	1.3	0.0	281.6
1990	0.0	0.0	0.2	0.0	23.0	1.0	51.0	41.0	19.5	16.0	0.0	0.0	151.7
1991	0.0	0.0	0.0	7.5	47.5	190.0	79.9	11.5	0.0	21.0	0.0	0.0	357.4
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	89.7	224.0	5.5	93.5	22.5	0.0	0.0	0.0	435.2
1993	0.0	0.0	0.0	67.5	87.5	22.0	34.0	51.0	8.5	8.0	3.5	0.0	282.0
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	64.0	21.0	156.3	17.5	24.5	0.0	0.0	0.0	283.3
1995	0.0	0.0	0.0	17.0	0.0	72.0	118.0	66.5	24.0	0.0	0.0	0.0	297.5
1996	0.0	0.0	0.0	25.0	5.5	48.5	54.5	67.0	0.0	23.0	0.0	0.0	223.5
1997	0.0	0.0	6.5	0.0	202.5	401.0	94.5	140.8	109.5	113.5	10.0	0.0	1078.3
1998	0.0	0.0	0.0	27.5	10.0	34.5	0.0	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0	81.5
1999	0.0	0.0	0.0	6.3	22.9	41.7	38.5	59.2	75.9	63.2	0.0	0.0	307.7
2000	0.0	0.0	0.0	7.5	14.0	348.0	9.0	0.0	123.0	0.0	0.0	0.0	501.5
2001	0.0	0.0	0.0	9.0	57.5	3.5	211.0	64.0	18.5	0.0	0.0	0.0	363.5
2002	0.0	0.0	1.0	1.5	184.5	328.2	159.0	86.5	13.5	4.0	0.0	0.0	778.2
2003	1.0	0.0	0.0	0.5	0.0	59.0	55.0	10.0	5.0	0.0	5.0	0.0	135.5
2004	0.0	0.0	32.0	49.5	7.5	64.5	98.5	111.0	26.5	0.0	33.0	0.0	422.5
2005	0.0	0.0	12.5	1.0	55.5	107.5	34.4	171.0	16.0	27.0	15.5	0.0	440.4
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	78.5	175.0	41.9	2.0	57.5	0.0	0.0	369.9
2007	0.0	5.0	0.5	0.0	3.0	83.2	43.5	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	164.2
2008	0.0	0.0	8.0	22.0	134.1	49.0	61.8	91.5	11.0	0.0	0.0	0.0	377.4
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	149.0	17.0	104.5	10.8	2.5	0.0	0.0	283.8
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	42.0	145.0	62.0	8.0	21.0	10.0	8.0	0.0	296.0
2011	0.0	3.5	0.0	6.0	0.0	120.0	61.5	49.5	1.0	0.0	0.0	0.0	241.5
2012	0.0	0.0	0.0	3.0	69.0	128.0	0.0	39.5	3.5	77.0	2.0	14.2	336.2
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	85.0	48.5	3.4	34.0	3.0	0.0	0.0	0.0	173.9
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	121.0	43.5	47.0	18.0	0.0	0.0	0.0	236.5
2015	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	83.0	146.0	44.0	67.0	0.0	0.0	345.5
2016	0.0	0.0	0.0	88.0	26.5	72.5	149.5	0.0	0.0	34.5	0.0	7.5	378.5
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	117.5	103.0	32.5	69.5	16.0	29.0	1.5	0.0	369.0
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	99.0	66.5	26.0	15.5	4.0	0.0	0.0	235.0
$\overline{X}_{Medido}$	0.04	0.33	2.45	12.31	45.87	108.19	72.60	57.53	20.49	17.59	2.96	0.80	308.7
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.03	0.21	2.02	10.91	43.89	97.55	70.29	57.65	32.70	17.85	2.24	0.60	335.9
σ_{Medido}	0.19	1.17	6.67	22.41	55.96	103.12	59.98	44.82	29.58	28.62	7.08	3.04	149.1
$\sigma_{Med.+Rell.}$	0.16	0.95	5.72	18.56	48.26	91.14	51.32	40.17	38.85	29.86	6.02	2.53	168.7

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-31. Precipitaciones mensuales estación Jahuel

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	1.8	16.5	31.9	12.9	39.7	28.9	9.5	0.0	1.5	0.0	142.7
1980	0.0	0.0	0.0	16.9	12.6	50.5	14.6	32.2	88.0	46.8	0.0	0.0	261.6
1981	0.0	0.0	0.0	10.9	51.9	47.5	39.6	17.8	8.4	4.4	0.0	0.0	180.5
1982	0.0	0.0	11.2	0.0	37.3	58.3	55.8	56.1	58.6	0.0	9.5	0.0	286.8
1983	0.0	0.0	0.0	13.0	18.4	88.9	22.0	36.1	0.0	0.0	0.0	0.0	178.4
1984	0.0	0.0	0.0	13.1	12.7	40.0	40.0	38.9	73.8	0.0	12.0	0.0	230.5
1985	0.0	0.0	0.0	17.5	30.4	15.4	43.8	19.2	72.7	0.0	0.0	0.0	199.0
1986	0.0	0.0	0.0	17.4	27.0	51.4	53.0	37.8	3.4	0.0	0.0	0.0	190.0
1987	0.0	0.0	0.0	16.2	66.5	50.9	44.7	41.2	29.7	15.8	0.0	0.0	265.0
1988	0.0	0.0	0.0	16.5	11.5	44.1	13.1	25.6	33.3	0.0	0.0	0.0	144.1
1989	0.0	0.0	0.0	4.0	51.0	3.5	76.3	72.5	0.0	0.0	0.0	0.0	207.3
1990	0.0	0.0	1.5	1.5	0.0	2.0	41.3	44.9	27.8	14.8	0.0	0.0	133.8
1991	0.0	0.0	0.0	9.0	42.5	133.0	73.3	11.6	60.6	27.0	0.0	0.0	357.0
1992	0.0	0.0	12.5	31.0	123.0	151.0	9.5	47.0	0.0	0.0	0.0	0.0	374.0
1993	0.0	0.0	0.0	59.5	83.0	13.0	15.8	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	202.3
1994	0.0	0.0	0.0	4.5	28.5	18.0	60.0	8.5	4.5	0.0	0.0	0.0	124.0
1995	12.2	0.0	0.0	8.0	6.5	49.8	50.7	34.5	26.0	0.0	0.0	0.0	187.7
1996	0.0	0.0	0.0	37.3	6.7	33.9	19.0	16.5	0.0	2.5	0.0	0.0	115.9
1997	0.0	0.0	9.5	0.0	102.0	341.5	21.5	94.7	66.0	52.1	0.0	0.0	687.3
1998	0.0	0.0	0.0	17.8	16.4	15.5	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	56.7
1999	0.0	0.0	16.1	19.0	0.0	52.5	18.5	76.0	96.1	0.0	0.0	0.2	278.4
2000	0.0	4.0	0.0	14.0	19.5	176.0	99.0	0.0	63.0	10.5	1.5	0.0	387.5
2001	0.0	0.0	0.0	12.8	27.1	8.2	108.6	41.2	19.1	16.4	0.0	0.0	233.4
2002	0.0	0.0	1.5	12.4	125.8	136.4	109.9	62.3	15.0	0.0	0.0	0.0	463.3
2003	14.2	0.0	0.0	0.0	76.0	24.8	41.7	5.0	6.0	0.0	2.0	0.0	169.7
2004	0.0	0.0	11.5	44.0	5.0	38.6	74.6	64.7	23.6	5.0	44.0	0.0	311.0
2005	0.0	0.0	30.5	8.5	30.5	109.6	13.1	88.6	20.7	5.5	5.0	0.0	312.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	64.5	159.6	19.5	0.0	36.0	0.0	0.0	283.2
2007	0.0	6.4	0.0	0.0	0.1	113.1	14.0	33.1	0.0	0.0	0.0	0.0	166.7
2008	0.0	0.0	11.0	8.3	78.2	57.5	20.9	99.0	0.0	0.0	0.0	0.0	274.9
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.8	15.4	88.5	16.3	0.0	0.0	0.0	213.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	41.0	63.1	16.5	9.6	17.5	2.5	31.0	0.0	181.2
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.3	15.5	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	86.2
2012	0.0	0.0	0.0	20.5	30.3	45.0	0.0	29.9	0.0	51.5	0.0	28.5	205.7
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	69.5	20.0	7.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	110.5
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	56.2	4.5	28.4	24.9	0.0	3.0	0.0	125.5
2015	0.0	0.0	17.4	0.0	0.0	36.8	31.5	123.8	24.5	26.0	2.0	0.0	262.0
2016	0.0	0.0	0.0	70.0	25.5	83.5	66.1	0.0	0.0	31.0	0.0	38.0	314.1
2017	0.0	0.0	0.0	6.5	91.1	55.5	9.0	22.0	20.5	24.5	0.0	0.0	229.1
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	37.5	35.1	10.0	16.1	0.8	0.1	0.5	106.1
$\overline{X}_{Medido}$	0.94	0.37	3.98	12.95	36.58	68.55	42.04	38.58	18.94	10.76	3.28	2.67	205.6
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.66	0.26	3.11	13.17	34.94	63.73	39.85	38.13	23.31	9.33	2.79	1.68	231.0
σ_{Medido}	3.47	1.40	7.58	18.26	39.02	69.87	40.54	34.22	24.90	16.35	10.10	9.31	103.4
$\sigma_{Med.+Rell.}$	2.92	1.18	6.68	15.96	34.87	61.03	34.80	30.33	27.35	15.42	8.57	7.41	115.5

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-32. Precipitaciones mensuales estación Catemu

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	8.5	9.0	0.0	36.5	40.0	22.0	0.0	12.0	1.5	129.5
1980	0.0	0.0	0.0	48.5	26.5	40.0	90.5	13.0	67.0	0.0	0.5	0.0	286.0
1981	0.0	0.0	0.5	0.0	140.5	32.0	17.0	9.5	4.5	4.6	0.0	0.0	208.6
1982	0.0	0.0	14.5	0.0	99.0	146.5	117.5	70.0	11.5	7.0	0.0	0.0	466.0
1983	4.5	0.0	0.0	22.5	32.5	81.0	93.0	42.0	22.5	0.0	0.0	0.0	298.0
1984	0.0	0.0	1.5	0.0	38.5	10.0	280.5	39.5	53.2	5.3	0.7	0.0	429.2
1985	0.0	0.0	17.5	0.0	24.1	5.2	45.2	0.0	1.0	16.5	0.0	0.0	109.5
1986	0.0	0.0	0.0	5.3	102.4	171.0	0.0	39.0	0.0	0.0	26.4	0.0	344.1
1987	0.0	0.0	0.0	4.4	67.0	10.0	328.5	157.0	1.5	15.5	0.0	0.0	583.9
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	17.6	24.8	3.4	0.0	0.0	0.0	46.5
1989	0.0	0.0	0.0	5.9	49.8	7.4	105.6	59.7	7.5	0.0	0.0	0.0	235.9
1990	0.0	0.0	6.0	0.0	0.5	0.0	48.8	38.1	12.0	6.0	0.0	0.0	111.4
1991	0.0	0.0	0.0	3.3	39.4	177.1	65.5	6.4	37.1	10.5	0.0	2.8	342.1
1992	0.0	0.0	35.0	22.5	92.0	197.2	12.5	64.4	16.7	0.0	0.0	0.0	440.3
1993	0.0	0.0	0.0	52.7	81.3	12.6	23.9	29.9	3.0	0.0	0.0	0.0	203.4
1994	0.0	0.0	0.0	0.3	41.8	13.5	50.1	6.2	8.1	0.7	0.0	0.0	120.7
1995	0.0	0.0	0.0	13.1	3.4	26.8	72.3	33.2	18.7	0.0	0.0	0.0	167.5
1996	0.0	0.0	0.0	28.8	9.1	21.7	50.8	24.9	0.0	9.4	0.0	3.1	147.8
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	152.1	291.3	30.4	109.1	45.8	53.5	6.8	3.0	692.0
1998	0.0	3.0	0.0	14.9	6.5	14.6	1.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	43.9
1999	0.0	0.0	10.5	4.0	14.1	51.3	19.8	94.9	71.6	0.0	0.0	0.0	266.2
2000	0.0	0.0	0.0	5.8	18.5	234.3	13.1	0.0	92.4	0.0	0.5	0.0	364.6
2001	0.0	0.0	0.5	8.3	37.8	0.1	173.3	39.9	12.8	6.0	0.0	0.0	278.7
2002	0.0	0.0	0.2	7.3	103.4	184.8	128.2	56.5	4.6	0.0	0.0	0.0	485.0
2003	2.5	0.0	0.5	0.2	54.5	19.0	41.4	1.5	1.3	0.0	4.5	0.0	125.4
2004	0.0	0.0	13.5	41.1	11.3	32.3	67.3	53.5	8.8	0.0	36.8	0.0	264.6
2005	0.0	0.0	17.8	1.8	30.7	89.8	13.0	79.5	8.5	4.3	14.0	0.0	259.4
2006	0.0	0.0	0.0	0.1	6.1	65.7	151.1	17.8	0.8	59.0	0.0	0.0	300.6
2007	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	67.2	13.1	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	110.5
2008	0.0	0.0	6.5	19.3	56.0	42.7	39.9	108.2	10.3	0.0	0.0	0.0	282.9
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	108.4	15.4	72.0	12.0	0.0	0.0	0.0	207.8
2010	0.0	1.0	0.0	0.2	36.8	90.9	39.2	5.5	16.0	6.2	10.5	0.0	206.3
2011	0.0	2.0	0.0	1.3	0.0	66.6	54.6	31.6	0.0	0.0	0.0	0.0	156.1
2012	0.0	0.0	0.0	15.4	80.7	85.0	0.0	37.0	0.5	34.5	0.0	29.8	282.9
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	78.9	22.0	1.4	20.6	0.0	0.0	0.0	0.0	122.9
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	62.8	16.7	27.0	23.9	0.0	0.0	0.0	137.4
2015	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	45.5	132.5	32.0	33.7	6.0	0.0	261.2
2016	2.0	0.0	0.0	101.8	22.7	83.5	57.5	0.0	0.0	0.5	0.0	14.5	282.5
2017	0.0	0.0	0.0	1.0	78.0	62.0	19.0	34.0	12.5	23.0	0.0	0.0	229.5
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	54.0	56.8	9.0	7.7	0.0	0.7	0.4	135.6
$\overline{X}_{Medido}$	0.23	0.30	3.40	10.96	41.47	68.06	61.45	40.36	16.60	8.01	3.12	1.48	243.4
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.23	0.30	3.40	10.96	41.47	67.03	61.34	41.30	16.38	7.41	2.99	1.38	254.2
σ_{Medido}	0.86	1.09	7.34	19.98	40.64	72.06	71.18	36.71	21.99	14.69	7.77	5.39	112.0
$\sigma_{Med.+Rell.}$	0.85	1.09	7.34	19.98	40.64	71.43	70.27	37.73	21.76	14.27	7.59	5.19	141.7

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-33. Precipitaciones mensuales estación San Felipe

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1979	0.0	0.0	0.0	6.8	6.7	0.0	45.0	17.0	20.0	0.0	9.8	2.0	107.3
1980	2.0	0.5	0.0	59.3	9.0	48.5	56.6	10.5	68.3	0.0	1.0	2.0	257.7
1981	0.0	0.4	0.0	1.0	95.1	26.1	11.4	11.2	0.5	0.5	31.0	0.0	177.2
1982	0.0	0.0	10.0	0.0	73.9	37.6	74.5	70.0	13.8	7.6	0.0	0.0	287.4
1983	6.9	0.0	0.0	17.6	32.3	84.5	113.4	27.0	24.3	0.0	0.0	0.0	306.0
1984	0.0	0.0	4.6	2.2	25.9	15.9	275.2	19.1	47.3	7.6	0.1	0.2	398.1
1985	0.2	0.0	12.0	0.0	17.3	1.7	49.4	4.0	0.7	12.2	0.0	0.0	97.5
1986	0.0	0.0	0.0	1.3	103.2	44.8	0.0	28.6	2.0	9.3	14.0	0.0	203.2
1987	0.0	0.0	4.5	14.3	28.9	1.1	339.9	182.5	7.5	24.3	0.0	0.0	603.0
1988	0.0	0.0	0.2	0.0	3.3	1.8	16.2	19.4	6.5	0.0	12.8	1.5	61.7
1989	0.0	0.0	0.0	4.5	35.3	5.4	62.5	49.5	3.0	0.0	0.0	0.0	160.2
1990	0.0	0.0	3.2	1.2	0.0	2.0	29.3	33.7	9.3	1.6	0.0	0.0	80.3
1991	0.0	0.0	0.0	4.6	29.1	157.7	58.0	0.9	28.3	5.7	0.0	0.4	284.7
1992	0.0	0.0	17.2	25.6	93.3	124.7	8.5	40.2	11.8	0.0	3.7	0.0	325.0
1993	0.0	0.0	0.0	54.7	60.4	13.4	27.3	25.7	2.2	1.2	0.0	0.0	184.9
1994	0.0	0.0	0.0	4.1	26.3	8.9	34.9	1.4	2.6	1.0	0.0	0.0	79.2
1995	6.2	0.0	0.0	8.4	4.4	22.2	45.5	28.6	17.5	0.0	0.0	0.0	132.8
1996	1.5	0.0	0.0	25.9	9.1	16.2	29.7	14.1	0.0	0.6	0.0	0.6	97.7
1997	0.0	0.0	9.4	0.0	96.4	315.7	26.6	95.9	25.2	30.4	1.8	0.0	601.4
1998	0.0	0.0	1.2	14.7	7.8	5.9	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	34.5
1999	0.0	0.0	1.8	10.6	0.9	42.7	10.4	81.2	57.0	0.0	0.0	0.0	204.6
2000	0.0	0.0	0.0	5.7	12.9	194.9	20.8	0.0	62.8	5.3	0.0	0.0	302.4
2001	0.0	0.0	16.7	7.0	25.6	0.7	112.9	48.0	6.5	12.8	0.0	0.0	230.2
2002	0.0	0.0	0.0	8.3	97.9	185.3	117.6	34.2	10.8	0.0	0.0	0.0	454.1
2003	7.8	0.0	0.0	0.0	65.3	16.5	31.6	1.9	0.9	0.0	2.9	0.0	126.9
2004	0.0	0.2	13.1	45.9	2.8	31.8	60.0	48.3	13.6	1.0	38.2	0.0	254.9
2005	0.0	0.0	16.6	8.3	24.7	93.2	13.2	68.4	18.8	3.5	4.3	0.0	251.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.3	5.2	68.1	126.0	20.1	0.0	48.5	0.0	0.0	268.2
2007	0.0	6.1	0.3	0.0	1.4	84.4	9.8	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	118.3
2008	0.0	0.0	9.4	6.5	65.8	34.3	30.5	82.6	12.0	0.0	0.0	0.0	241.1
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	90.6	11.6	69.8	10.4	0.0	0.0	0.0	183.2
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	54.7	25.3	4.7	17.1	2.5	36.5	0.0	180.8
2011	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	52.7	37.6	10.3	4.2	8.9	0.0	0.0	114.5
2012	0.0	0.0	0.0	24.5	34.5	16.8	0.4	21.0	0.4	49.1	0.0	34.7	181.4
2013	1.8	0.0	0.0	0.0	58.3	18.2	0.0	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	95.4
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	51.3	7.6	22.3	15.8	0.0	1.3	0.0	106.8
2015	0.0	0.0	14.5	0.0	0.0	0.0	29.9	101.3	20.3	28.6	9.1	0.0	203.7
2016	1.8	0.0	0.0	45.2	20.9	66.6	34.0	0.0	0.0	25.4	0.0	29.1	223.0
2017	0.0	0.0	0.0	2.4	92.7	53.6	11.9	28.2	19.5	22.4	0.0	0.0	230.7
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	27.6	35.0	5.4	13.7	0.0	0.5	0.0	84.9
$\overline{X}_{Medido}$	0.71	0.18	3.37	10.29	32.97	53.35	51.15	33.13	14.51	8.16	3.57	1.81	210.2
$\overline{X}_{Med+Rell.}$	0.71	0.18	3.37	10.29	32.97	52.95	50.75	34.01	14.49	7.75	4.17	1.76	213.4
σ_{Medido}	1.89	0.98	5.67	15.73	33.66	65.89	69.35	36.04	17.39	13.14	8.84	7.13	116.6
$\sigma_{Med.+Rell.}$	1.89	0.97	5.67	15.73	33.66	65.09	68.50	36.77	17.16	12.93	9.66	7.05	129.6

Nomenclatura

54.0	Dato medido
0.0	Dato rellenado directamente. Precipitaciones nulas en todas las restantes estaciones con datos medidos
0.0	Dato rellenado con modelo multivariado anual, precipitación nula
45.9	Dato rellenado con modelo multivariado anual
3.8	Dato rellenado con modelos multivariados mensuales
22.4	Dato de 2018 rellenado con correlaciones bivariadas

(Fuente: Elaboración propia)

9.3 CÁLCULO DE PERMEABILIDADES

Se cuenta con datos de niveles y caudales obtenidos de pruebas de bombeo realizadas en 13 captaciones de ESVAL. Con esos datos fue posible estimar valores de permeabilidades, asociables al medio donde se ubica cada captación.

Las captaciones mencionadas se ubican en Cabildo, Chincolco y Petorca.

En las pruebas realizadas, se midió la variación de la profundidad del nivel freático en el pozo de bombeo, al extraer un caudal constante, hasta llegar a un nivel de equilibrio.

La permeabilidad se calculó con ecuación de Theis:

Para el caso de acuíferos confinados es válida la siguiente expresión:

$$k = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \Delta \cdot H} \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right)$$

Con:
Q =Caudal de bombeo [m^3/s]
Δ= Diferencia entre nivel de equilibrio y el nivel estático [m]
H = Espesor acuífero [m]
R = Radio de influencia [m], se adoptó $R = 200$ m
r = Radio de la captación [m]

Si se trata de acuíferos libres, se debe reemplazar Δ con Δ', según la siguiente ecuación:

$$\Delta' = \Delta - \frac{\Delta^2}{2 \cdot H}$$

Como el objetivo del cálculo es obtener valores de permeabilidades medias o equivalentes, asociables al medio perforado por cada captación, se adoptó como espesor saturado aportante, la profundidad de la captación menos la profundidad del nivel freático.

En la Tabla 9-34 se muestran los resultados obtenidos.

Para compatibilizar las permeabilidades estimadas en función de los datos obtenidos de las pruebas de bombeo, con las permeabilidades que se asociarán a la capa de relleno del modelo de flujo subterráneo, es necesario calcular una permeabilidad equivalente para el espesor saturado total de la primera capa del modelo, en función de la permeabilidad correspondiente sólo a la profundidad de la captación.

Los rellenos en la zona de estudio están compuestos por materiales fluviales de distintas granulometrías, pero según lo observado, en estratigrafías de sondajes perforados, a mayor profundidad aumenta la probabilidad de encontrar medios menos permeables (con más finos o más consolidados), con relación a los medios más superficiales. Es por ello, que en esta zona se recurre a menudo a captaciones tipo dren, para aprovechar los acuíferos más permeables, ubicados en los estratos más superficiales. Teniendo en cuenta lo anterior, se ha adoptado como criterio, el asumir que el espesor no perforado del relleno en la ubicación de cada captación, tiene una permeabilidad un orden de magnitud menor, a la calculada para la captación misma. Con ese supuesto, se calculó la permeabilidad equivalente en cada punto (ver esquema en Figura 9-1).

$$k_{eq.\ capa\ 1\ mod.} = \frac{e_{sat.\ capt.} \cdot k_{capt.} + (e_{sat.\ mod.} - e_{sat.\ capt.)} \cdot 0.1 \cdot k_{capt.}}{e_{sat.\ mod.}}$$

$$k_{eq.\ capa\ 1\ mod.} = \frac{e_{sat.\ capt.} + 0.1 \cdot (e_{sat.\ mod.} - e_{sat.\ capt.})}{e_{sat.\ mod.}} \cdot k_{capt.}$$

Con:

$e_{sat.capt.}$: Espesor acuífero asociado a captación
$e_{sat.\ mod.}$: Espesor acuífero en capa 1 de modelo subterráneo
$k_{capt.}$: Permeabilidad calculada con datos de prueba de bombeo
$k_{eq.\ capa\ 1\ mod.}$: Permeabilidad equivalente en capa 1 de modelo subterráneo

En la Tabla 9-35. Permeabilidades calculadas para capa 1 de modelo se presentan los resultados finales obtenidos, según el procedimiento de cálculo descrito.

Tabla 9-34. Permeabilidades calculadas

N°	Pozo ID	x [m]	y [m]	Profundidad habilitada [m]	Diámetro [in]	Nivel estático [m]	Depresión [m]	Espesor acuífero [m]	k [m/s]	Tipo de acuífero
1	Pozo 1	310478	6410098	76	12	11	49	64	$1.4 \cdot 10^{-6}$	Confinado
2	Pozo 3	310641	6410199	76	10	14	27	62	$1.1 \cdot 10^{-5}$	Confinado
3	Pozo 4	310634	6410146	85	10	11	69	74	$3.6 \cdot 10^{-6}$	Libre
4	Pozo 5	310365	6410049	86	10	4	74	82	$1.1 \cdot 10^{-5}$	Libre
5	Pozo 6	310438	6410022	68	10	6	53	63	$8.3 \cdot 10^{-6}$	Libre
6	Pozo 7	310604	6410141	68	8	11	51	57	$8.2 \cdot 10^{-6}$	Libre
7	Sondaje 2048	328882	6433861	61	12	6	21	55	$7.2 \cdot 10^{-7}$	Libre
8	Pozo el Sobrante N° 1	328829	6434000	100	12	6	79	94	$8.4 \cdot 10^{-7}$	Libre
9	Sondaje 2050	324118	6433000	49	12	7	14	42	$2.7 \cdot 10^{-6}$	Libre
10	Sondaje N° 1 Chimba Sur	320341	6430872	33	10	10	8	23	$1.6 \cdot 10^{-5}$	Confinado
11	Sondaje N° 2 Chimba Sur	320226	6430758	56	12	3	35	53	$1.3 \cdot 10^{-5}$	Libre
12	Sondaje N° 2 Chimba Sur nuevo	320648	6430800	50	12	5	34	45	$5.9 \cdot 10^{-6}$	Libre
13	Son N° 3 La Chimba	320845	6430952	50	12	7	35	43	$8.2 \cdot 10^{-6}$	Confinado

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9-35. Permeabilidades calculadas para capa 1 de modelo

N°	Pozo ID	Profundidad captación [m]	k [m/s] en profundidad perforada	Elevación nivel fondo del relleno en modelo [msnm]	Elevación nivel terreno en modelo[msnm]	Espesor relleno en modelo [m]	k [m/s] en tramo no atravesado por captación	k [m/s] equivalente en relleno modelado
1	Pozo 1	75.7	$1.4 \cdot 10^{-6}$	105.0	232.1	127.2	$1.4 \cdot 10^{-7}$	$7.9 \cdot 10^{-7}$
2	Pozo 3	75.7	$1.1 \cdot 10^{-5}$	101.5	235.8	134.3	$1.1 \cdot 10^{-6}$	$5.6 \cdot 10^{-6}$
3	Pozo 4	84.9	$3.6 \cdot 10^{-6}$	101.8	234.9	133.1	$3.6 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{-6}$
4	Pozo 5	86.1	$1.1 \cdot 10^{-5}$	106.7	234.2	127.5	$1.0 \cdot 10^{-6}$	$6.9 \cdot 10^{-6}$
5	Pozo 6	68.4	$8.3 \cdot 10^{-6}$	105.7	234.2	128.5	$8.3 \cdot 10^{-7}$	$4.5 \cdot 10^{-6}$
6	Pozo 7	67.7	$8.2 \cdot 10^{-6}$	101.8	234.9	133.1	$8.2 \cdot 10^{-7}$	$4.0 \cdot 10^{-6}$
7	Sondaje 2048	61.0	$7.2 \cdot 10^{-7}$	617.4	711.7	94.3	$7.2 \cdot 10^{-8}$	$4.5 \cdot 10^{-7}$
8	Pozo el Sobrante N° 1	100.0	$8.4 \cdot 10^{-7}$	616.3	709.8	93.5	$8.4 \cdot 10^{-8}$	$8.4 \cdot 10^{-7}$
9	Sondaje 2050	49.0	$2.7 \cdot 10^{-6}$	502.5	600.0	97.5	$2.7 \cdot 10^{-7}$	$1.3 \cdot 10^{-6}$
10	Sondaje N° 1 Chimba Sur	33.0	$1.6 \cdot 10^{-5}$	443.9	539.1	95.2	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$4.9 \cdot 10^{-6}$
11	Sondaje N° 2 Chimba Sur	56.0	$1.3 \cdot 10^{-5}$	439.5	538.7	99.2	$1.3 \cdot 10^{-6}$	$7.6 \cdot 10^{-6}$
12	Sondaje N° 2 Chimba Sur nuevo	50.0	$5.9 \cdot 10^{-6}$	449.7	543.0	93.2	$5.9 \cdot 10^{-7}$	$3.1 \cdot 10^{-6}$
13	Son N° 3 La Chimba	50.0	$8.2 \cdot 10^{-6}$	450.7	547.0	96.3	$1.4 \cdot 10^{-6}$	$4.1 \cdot 10^{-6}$

(Fuente: Elaboración propia)

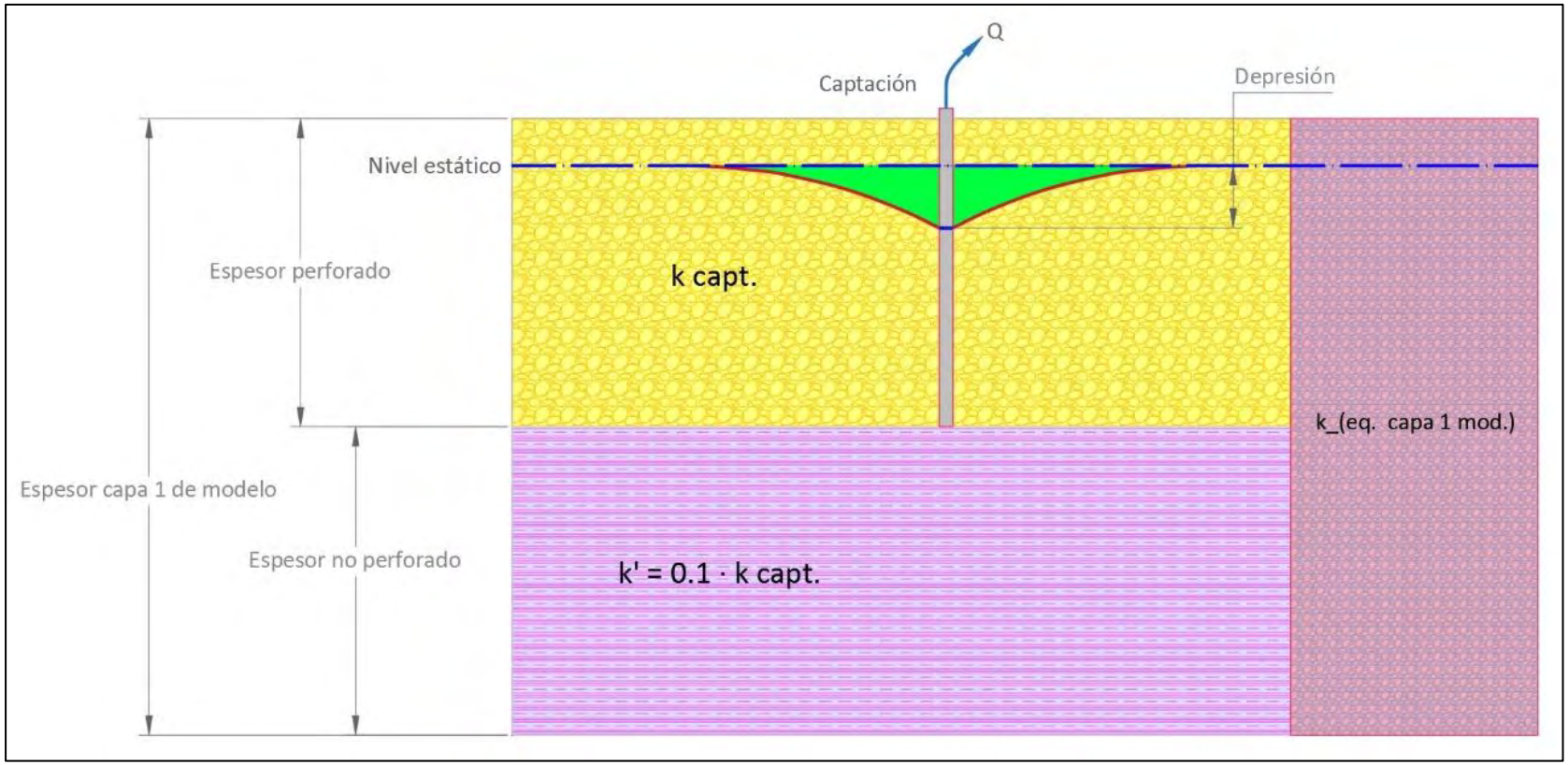


Figura 9-1. Esquema de cálculo
(Fuente: Elaboración propia)

9.4 CAMBIO CLIMÁTICO

Se desarrolló una metodología basada en los resultados que entregan los modelos disponibles en la Plataforma de Simulaciones Climáticas del $(CR)^2$ (Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia). El $(CR)^2$ es un centro de investigación, que cuenta con simulaciones para la variación meteorológica futura, debida al cambio climático.

Se usaron los promedios de las precipitaciones mensuales generadas con los modelos que se muestran en la Figura 9-2.

Figura 9-2. Modelos seleccionados
(Fuente: $(CR)^{2)}$

Las precipitaciones se generaron para el escenario histórico y para el escenario RCP85 (ver Figura 9-3).

Figura 9-3. Escenarios evaluados
(Fuente: $(CR)^{2)}$

El punto en el que se simularon las precipitaciones se muestra en la Figura 9-4 y corresponde a un punto al interior del dominio activo del modelo de flujo subterráneo. Como el objetivo es generar una variación porcentual de la recarga, el punto a elegir para generar precipitaciones, no es relevante para dicho efecto.

Se dividió el período de simulación del modelo de flujo subterráneo en 2 intervalos:

1) Histórico 1: desde 1979 a 1998 (H1)
2) Histórico 2: Desde 1999 a 2018 (H2)

Y se definió un horizonte futuro de 40 años, dividido en 2 intervalos:

3) Futuro 1: desde 2019 a 2038 (H1)
4) Futuro 2: Desde 2039 a 2058 (H2)

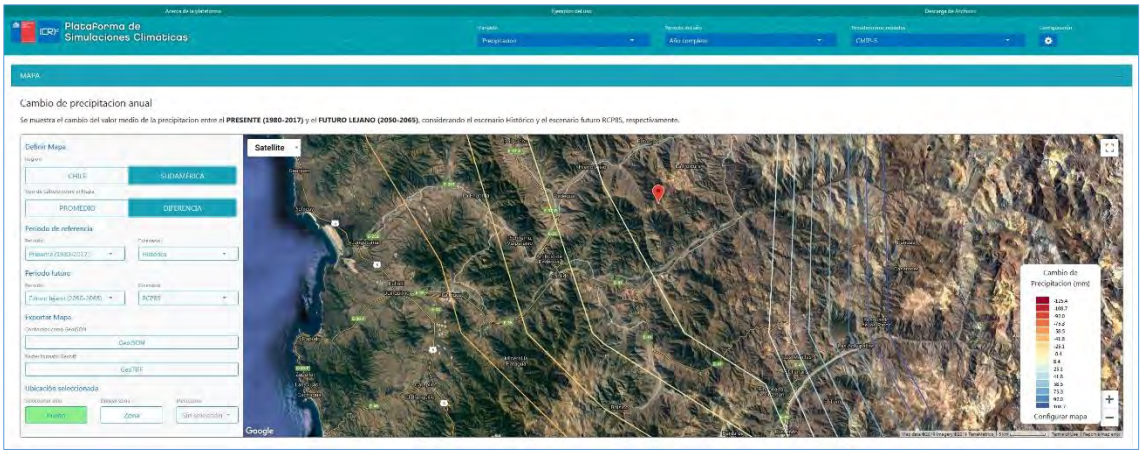


Figura 9-4. Punto elegido
(Fuente: (CR)[2])

Los resultados graficados, que se obtiene de la página interactiva se presentan en la Figura 9-5.

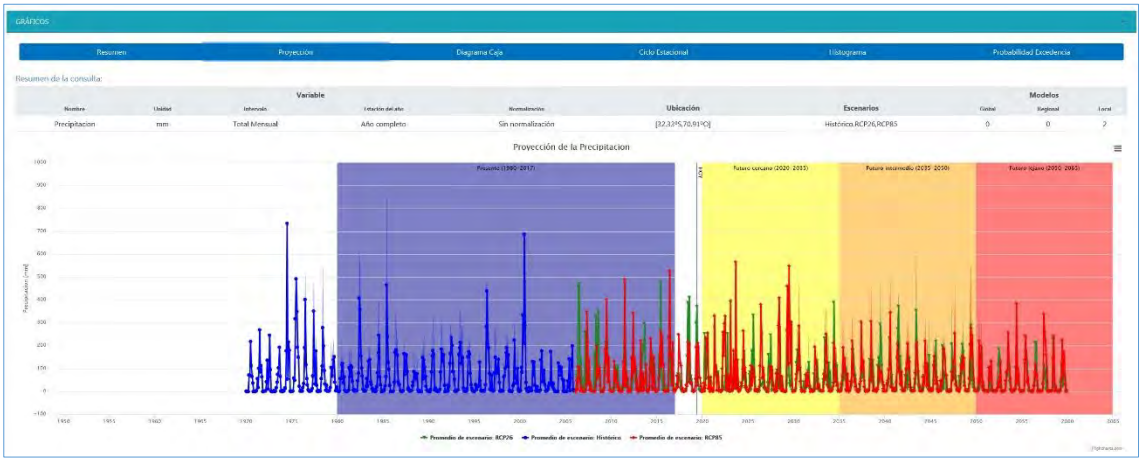


Figura 9-5. Resultados modelo de cambio climático
(Fuente: (CR)[2])

Los resultados del modelo de cambio climático, para los intervalos definidos se muestran en la Figura 9-6.

Las precipitaciones, promedios espaciales, para las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca, para el período 1979-2018, fueron usadas como base para generar las precipitaciones del período futuro.

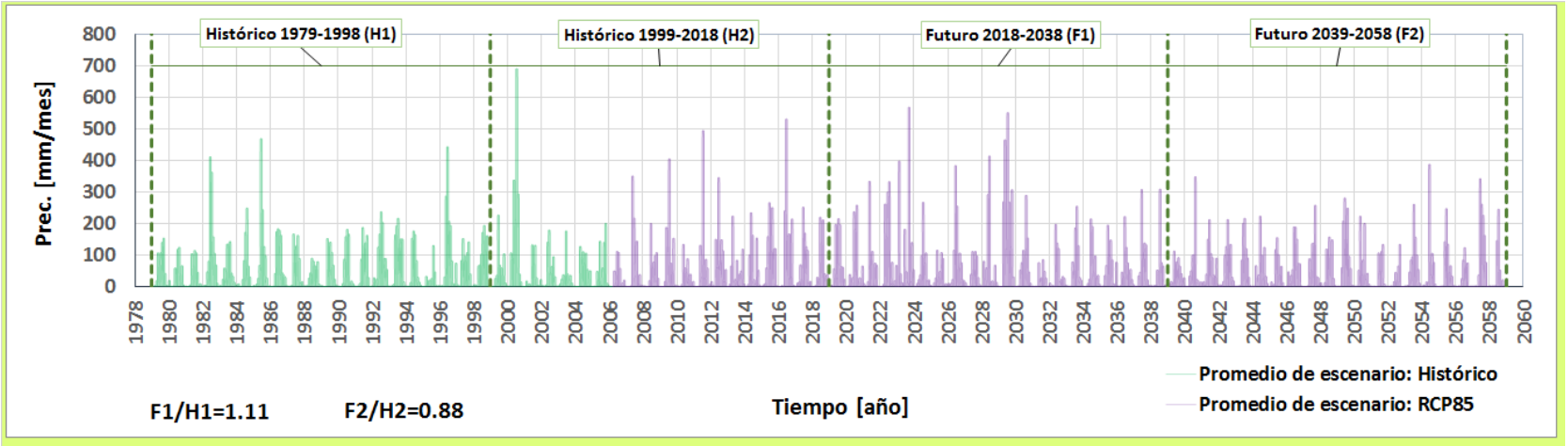


Figura 9-6. Resultados de modelo de precipitaciones con cambio climático e intervalos temporales definidos
(Fuente: Elaboración propia)

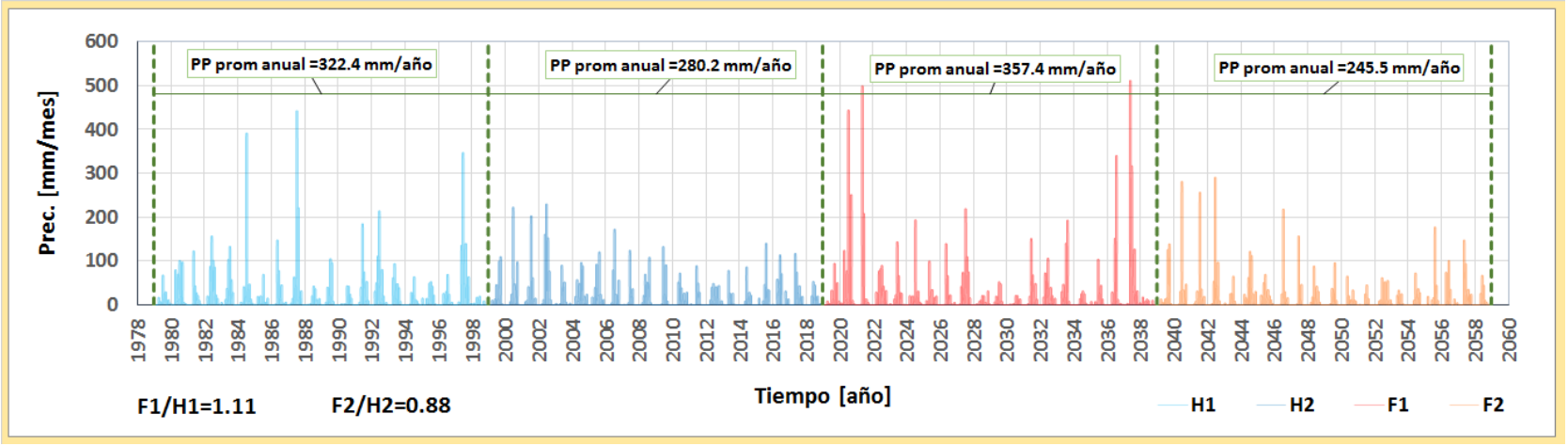


Figura 9-7. Precipitaciones para escenario futuro, corregidas según modelo de cambio climático
(Fuente: Elaboración propia)

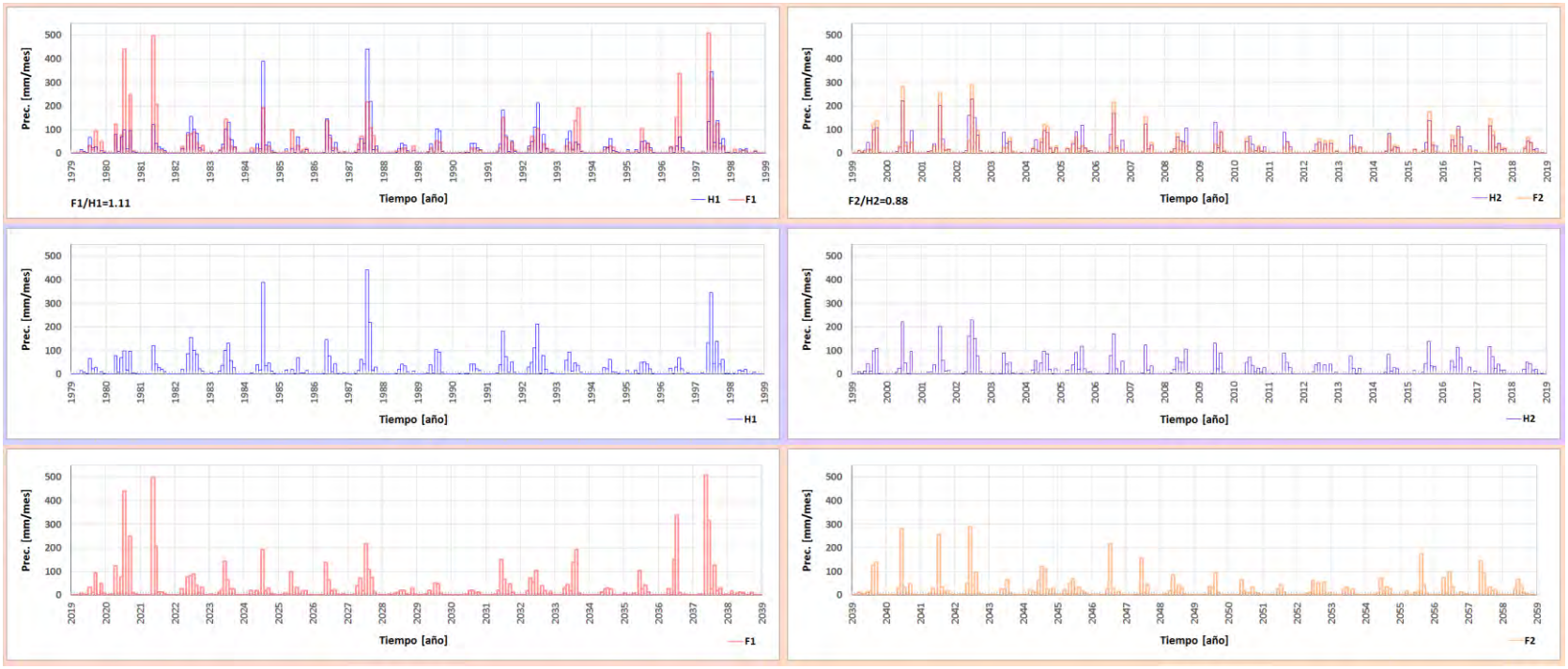


Figura 9-8. Resultados de modelo de precipitaciones con cambio climático
e intervalos temporales definidos (acercamiento y superposición de series H con F)
(Fuente: Elaboración propia)

El procedimiento consistió en establecer la forma de variación de las precipitaciones, generadas con el modelo de cambio climático (en adelante MCC), para los intervalos H1-F1 y H2-F2. Dicha variación se usó para corregir las precipitaciones bases, y así, obtener las precipitaciones del período futuro.

Para definir la forma de variación de las precipitaciones generadas con el MCC, se usaron los factores de corrección promedios para cada mes, modificados con una variable aleatoria que distribuye según la dispersión de dichos promedios.

Es decir:

$$PP^{Cuencas}(t)^{Fj} = f^{j}_{t} \cdot PP^{Cuencas}(t)^{Hj}$$

Con:

t= mes evaluado, varías desde 1 a 480. Para los intervalos históricos va desde enero de 1979 a diciembre de 2018. Para los intervalos futuros, va desde enero de 2019 a diciembre de 2058.
$PP^{Cuencas}(t)^{Fj}$= Precipitación promedio (espacial dominio activo del modelo) para el mes t del intervalo futuro (Fj), con j=1 ó j=2.
$PP^{Cuencas}(t)^{Hj}$= Precipitación promedio (espacial dominio activo del modelo) para el mes t del intervalo histórico (Hj), con j=1 ó j=2.
f^{j}_{t}=Factor de corrección para el mes t, para el intervalo j (j=1 ó j=2), se calcula como:

$$f^{j}_{t} = <PP^{MCC}(k_t)>^{Hj} / <PP^{MCC}(k_t)>^{Fj} + \delta^{j}(t)$$

Con:

$<PP^{MCC}(k_t)>^{Hj}$=precipitación promedio entre todos los meses k_t (k varía entre enero y diciembre) del intervalo histórico j, generada con MCC.
$<PP^{MCC}(k_t)>^{Fj}$= precipitación promedio entre todos los meses k_t (k varía entre enero y diciembre) del intervalo futuro j, generada con MCC.

$\delta^{j}(t)$= variable aleatoria que distribuye según la distribución de mejor ajuste para la dispersión de los cocientes de las precipitaciones mensuales generadas con el MCC ($\delta_{Dispersión} = PP^{MCC}(k_t)^{Hj}/PP^{MCC}(k_t)^{Fj} - <PP^{MCC}(k_t)>^{Hj}/<PP^{MCC}(k_t)>^{Fj}$).

Como ejemplo, se calcula la precipitación en el dominio activo del modelo de flujo subterráneo, para el mes N°135, del escenario futuro. Ese mes, en el escenario histórico, corresponde a marzo de 1990 y se ubica en el intervalo H1. Para el período futuro, ese mes corresponde a marzo de 2031 (intervalo F1). Las precipitaciones promedio de marzo para H1 y F1, generadas con el MCC, son: 4.5 y 7.0 mm/mes, respectivamente. El factor de ajuste promedio del mes N°135 es, por consiguiente, 7.0/4.5=1.54. Para ese mes, la función de dispersión aleatoria (es un valor rándom para cada mes), resulta -0.80. Con lo que $f^{j=1}_{t=135}$ =1.54-0.80=0.74. La precipitación para el dominio de marzo de 1990 es 2.3 mm/mes, por lo tanto, la precipitación para marzo de 2031 (corregida según modelo de cambio climático), es 0.74·2.3=1.7 mm/mes.
Para corregir las recargas del modelo de flujo subterráneo, según los efectos del cambio climático, calculados para las precipitaciones, se aplicaron los coeficientes de corrección de las precipitaciones, a las recargas, pero, manteniendo la recarga mensual máxima histórica, de cada zona, como límite superior, suponiendo que es la máxima recarga mensual que el medio puede admitir como infiltración. En la Figura 9-9 se muestra el resultado obtenido.

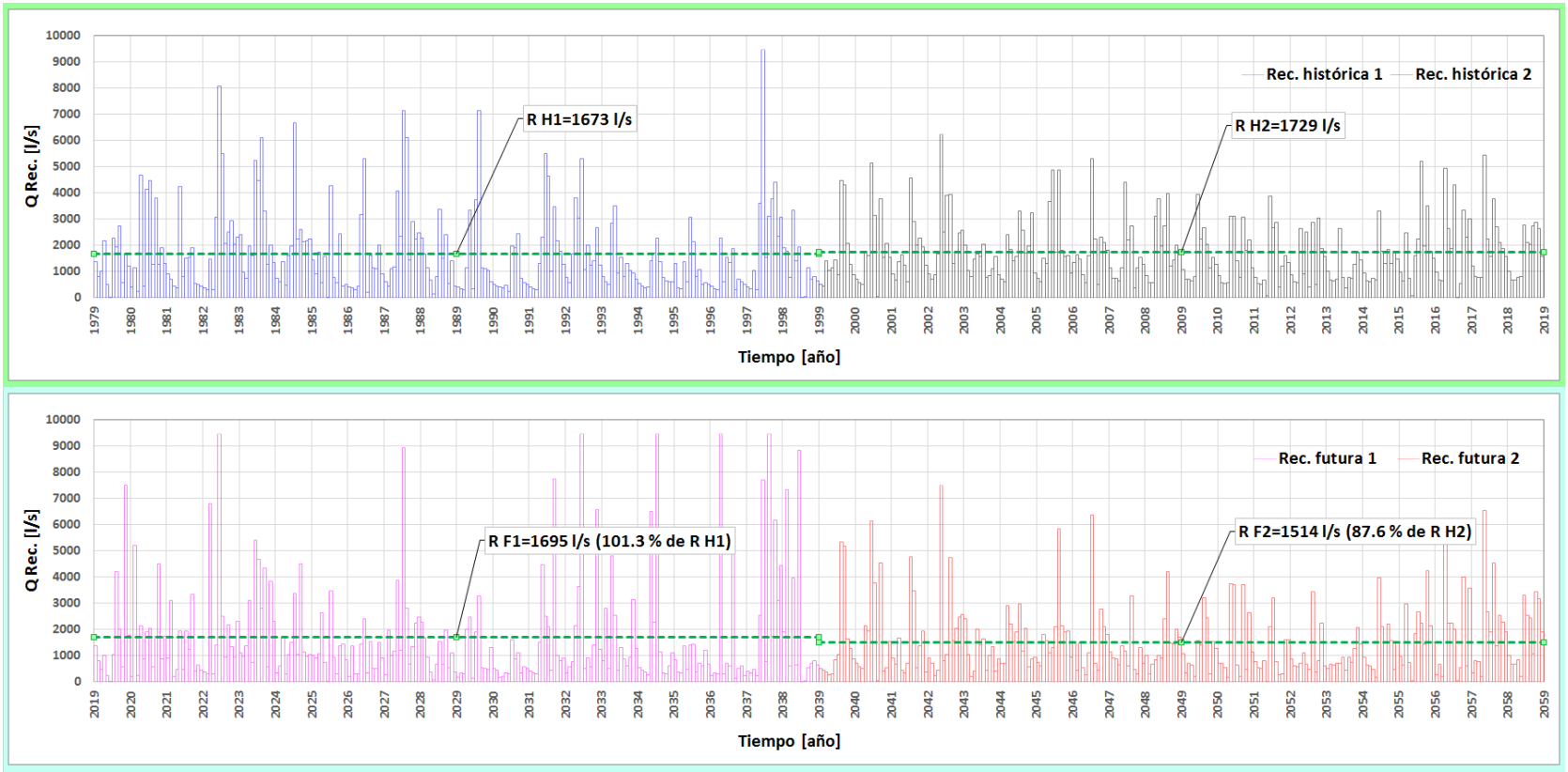


Figura 9-9. Recargas para escenario futuro
(Fuente: Elaboración propia)

9.5 RESULTADOS POR S.H.A.C.

9.5.1 Balances escenario histórico

En la Figura 9-10 se muestran los 12 sectores de aprovechamiento común. Entre la Figura 9-11 y la Figura 9-23, se presentan los gráficos de la simulación transiente de cada componente del flujo, para el período histórico y desagregados según los sectores hidrogeológicos.

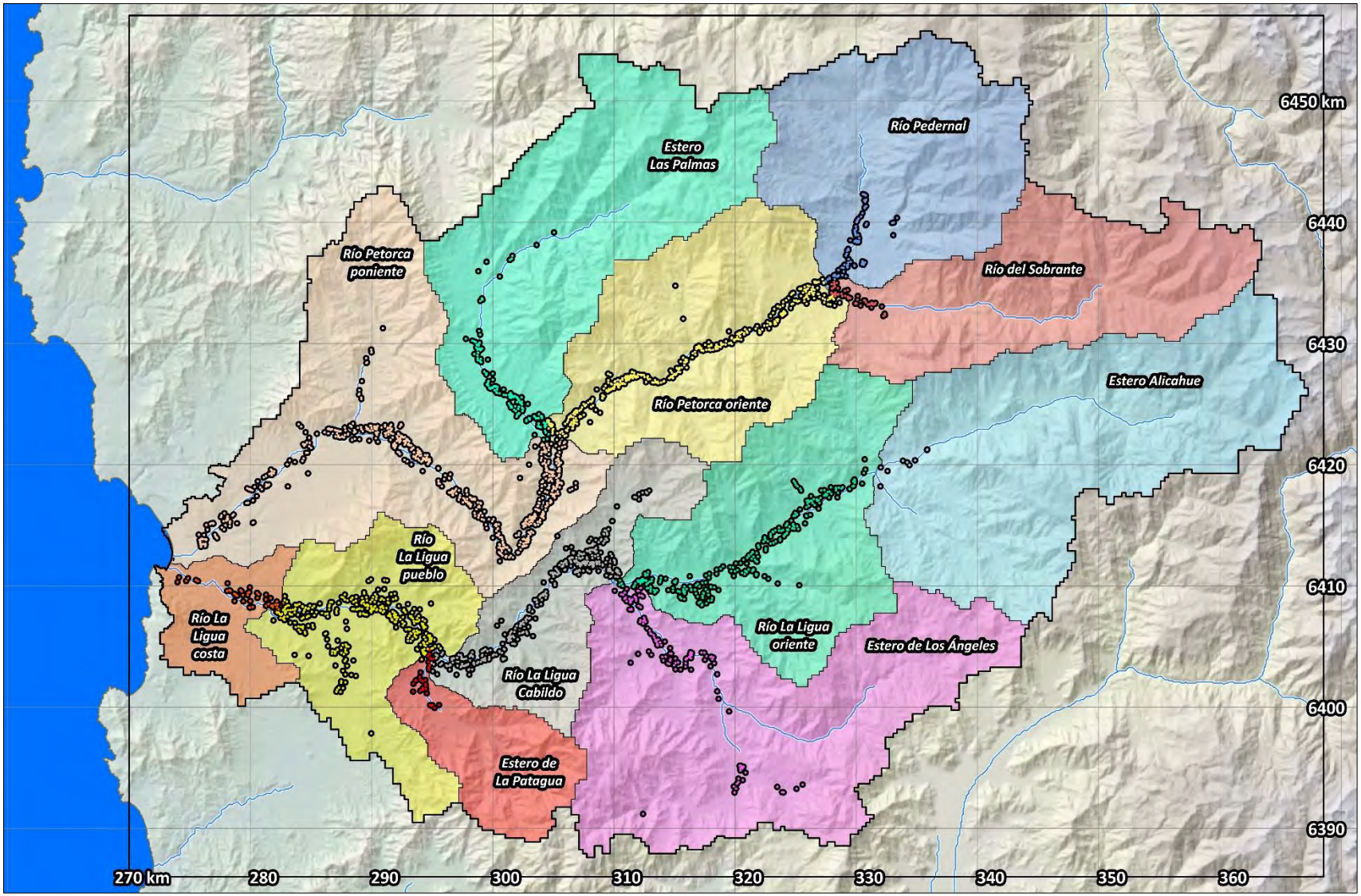


Figura 9-10. Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común
(Fuente: Elaboración propia)

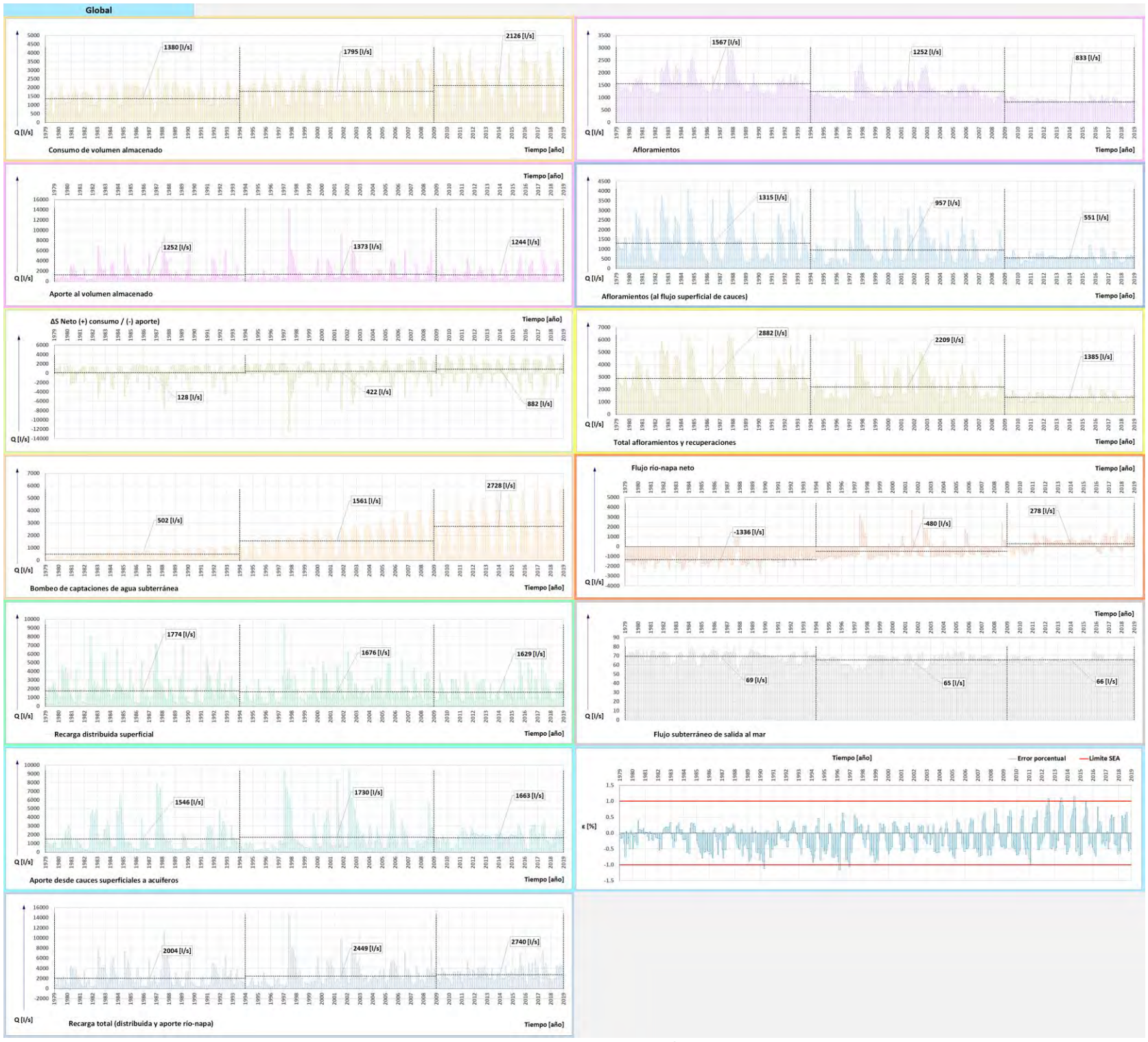


Figura 9-11. Componentes del flujo, escenario histórico, en dominio modelado (cuencas ríos Petorca y La Ligua)
(Fuente: Elaboración propia)

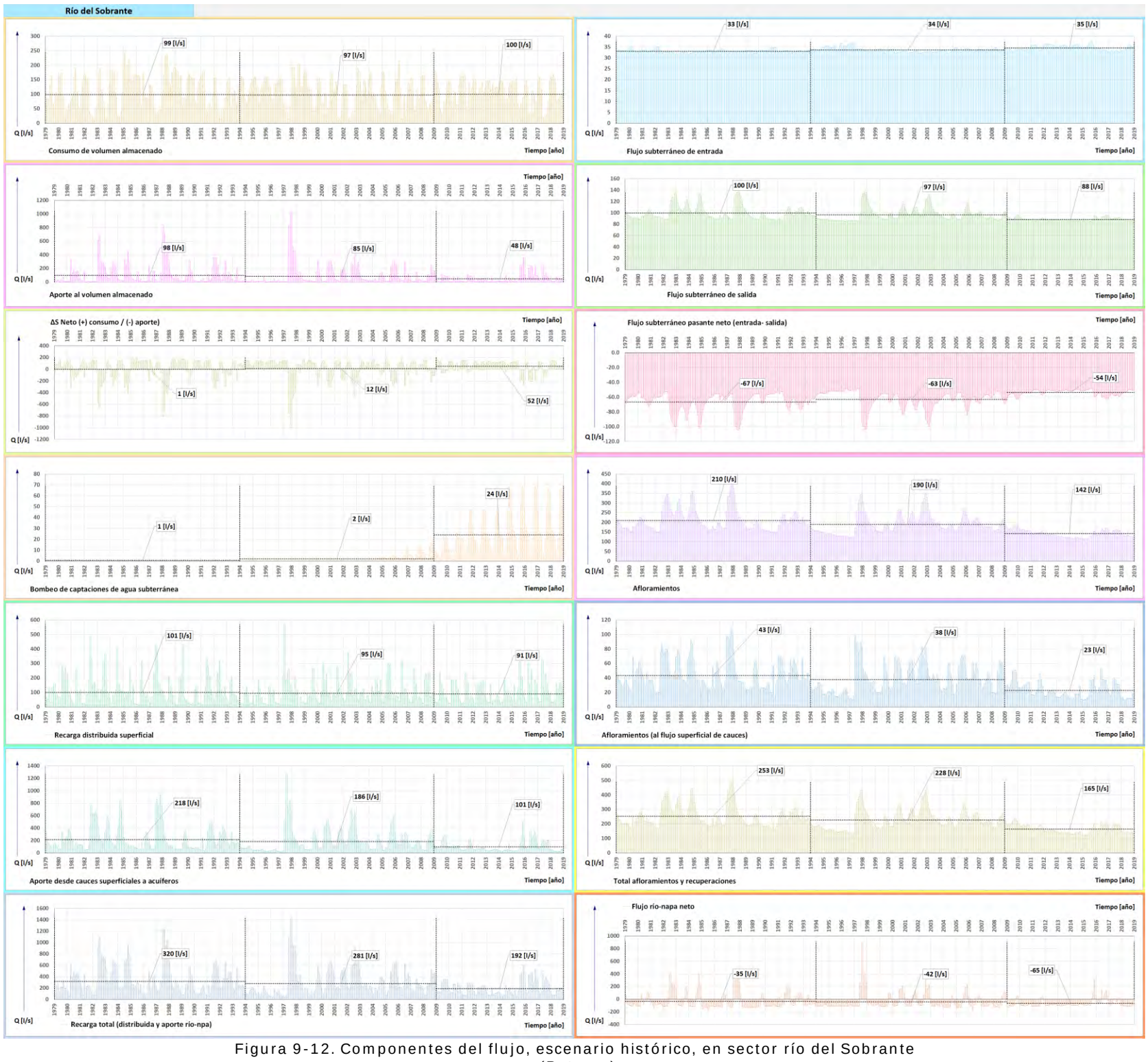


Figura 9-12. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río del Sobrante (Petorca)

(Fuente: Elaboración propia)

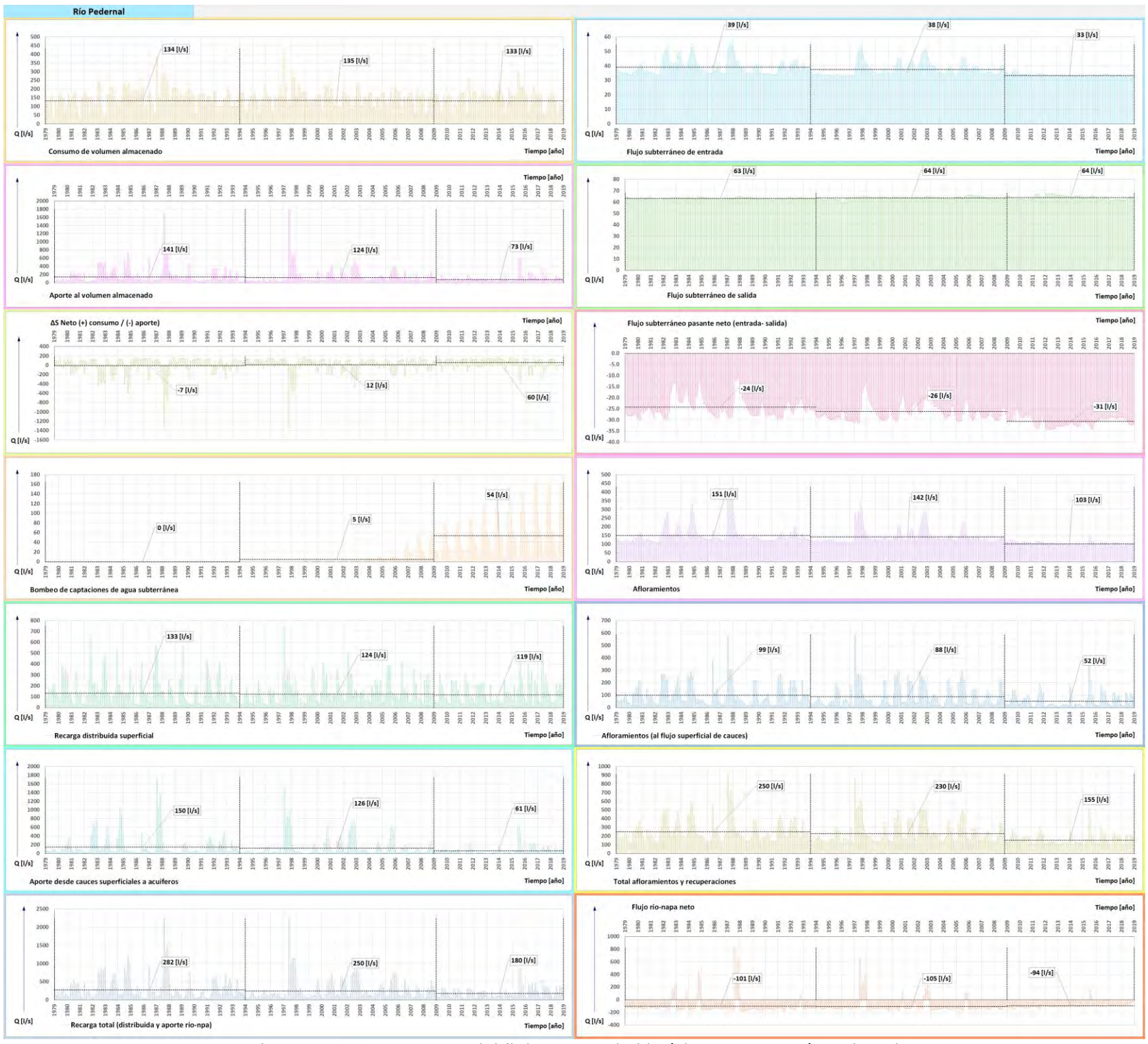


Figura 9-13. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río Pedernal (Petorca)

(Fuente: Elaboración propia)

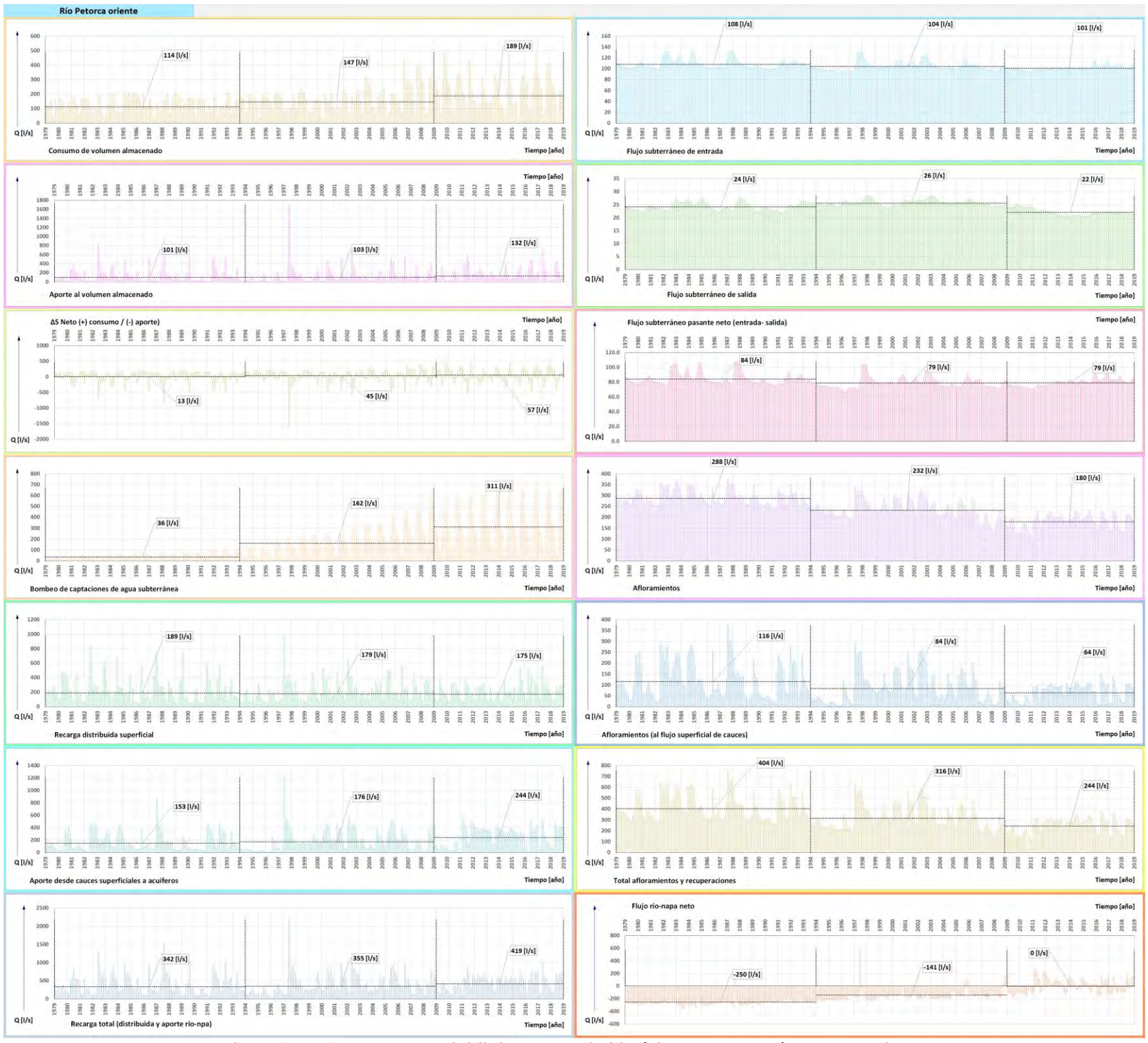


Figura 9-14. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río Petorca oriente
(Fuente: Elaboración propia)

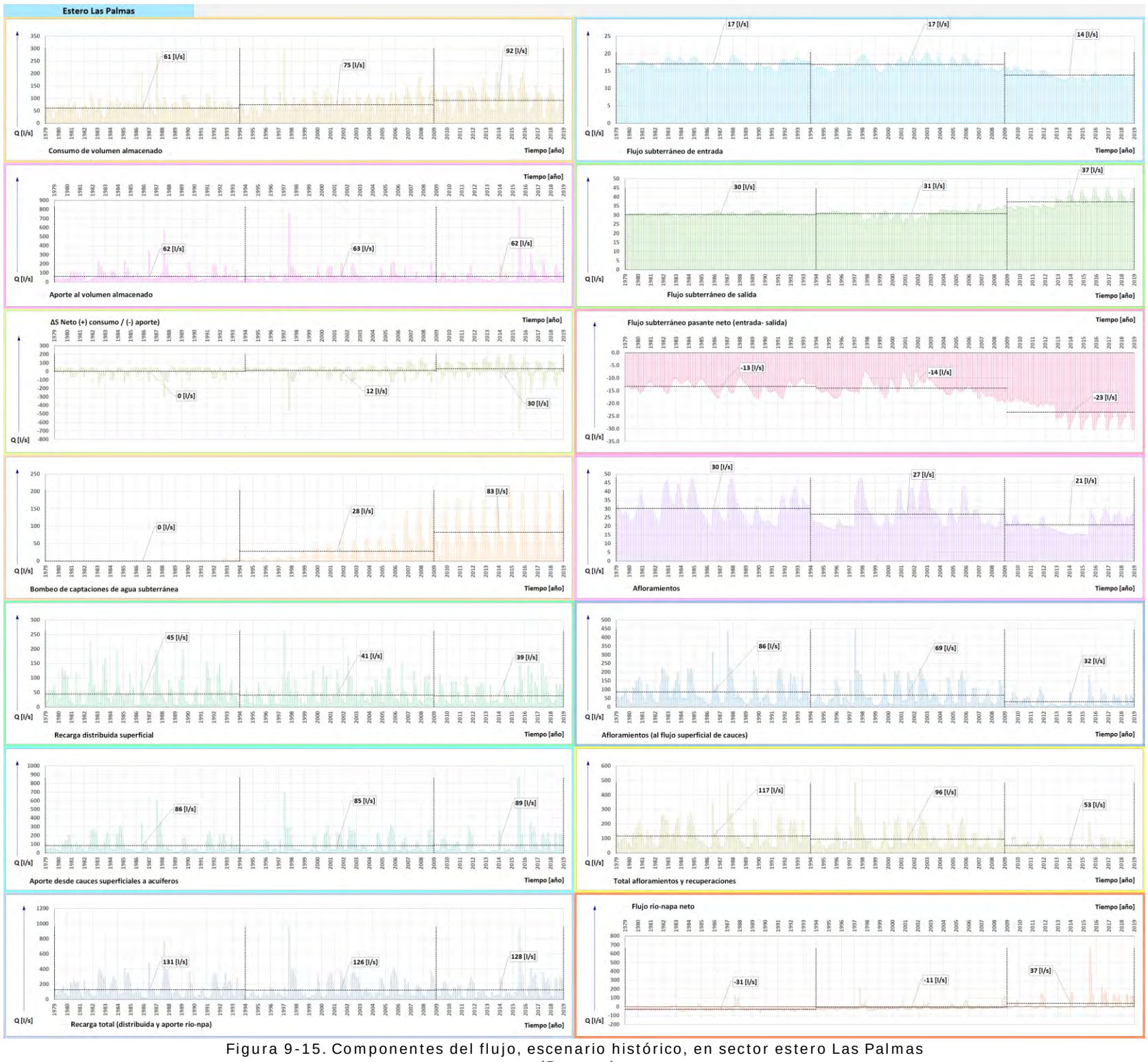


Figura 9-15. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector estero Las Palmas (Petorca)

(Fuente: Elaboración propia)

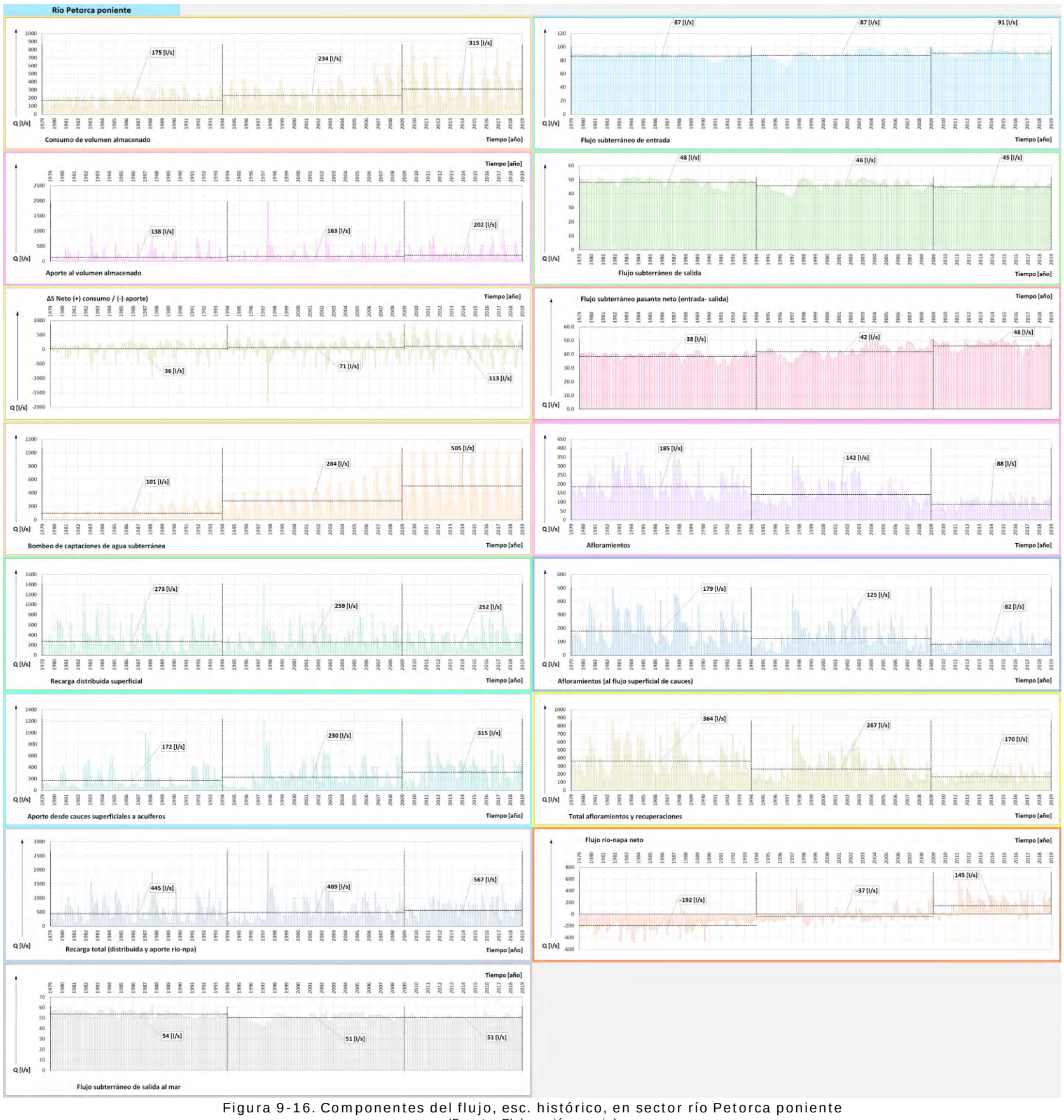


Figura 9-16. Componentes del flujo, esc. histórico, en sector río Petorca poniente
(Fuente: Elaboración propia)

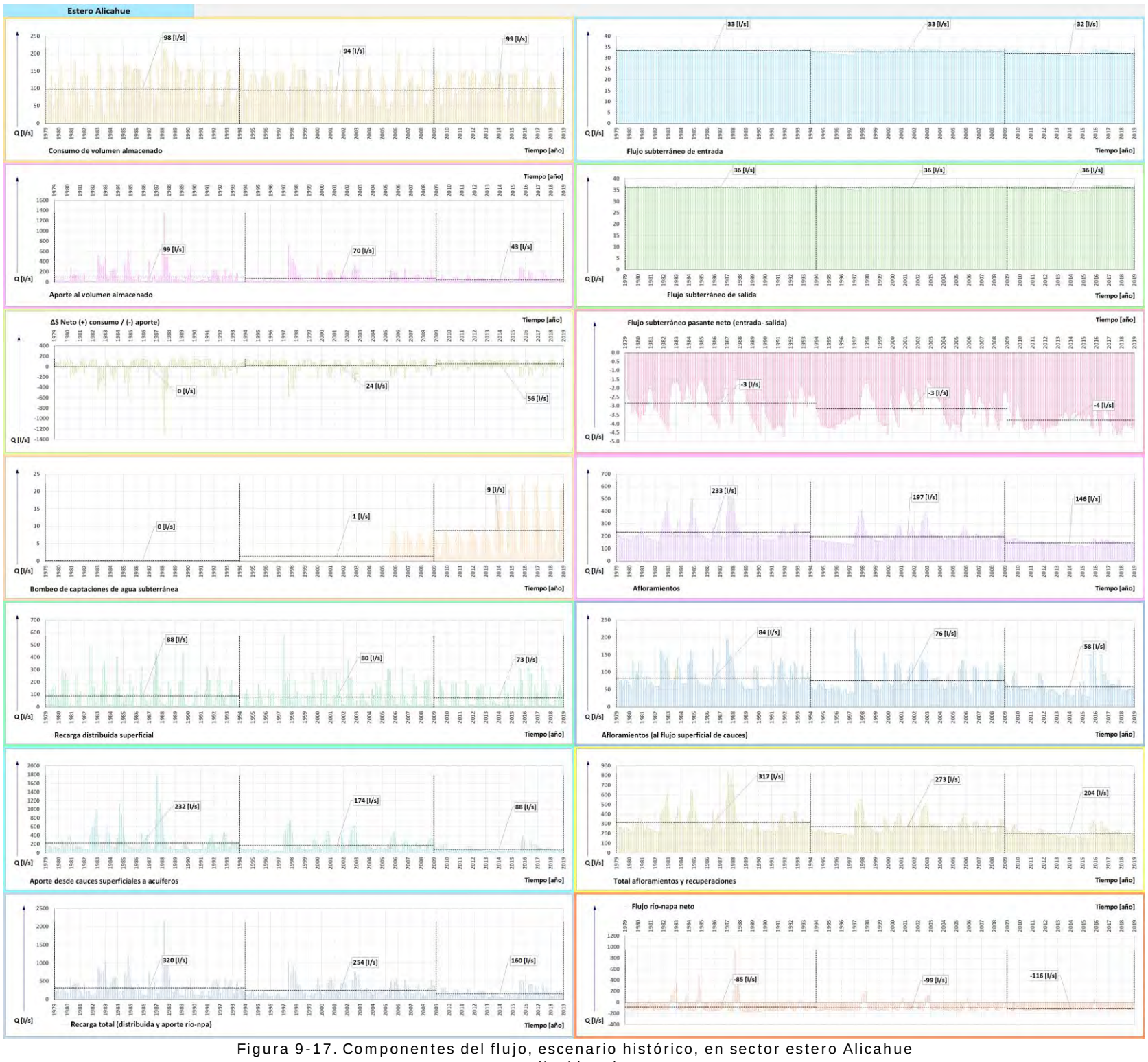


Figura 9-17. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector estero Alicahue (La Ligua)

(Fuente: Elaboración propia)

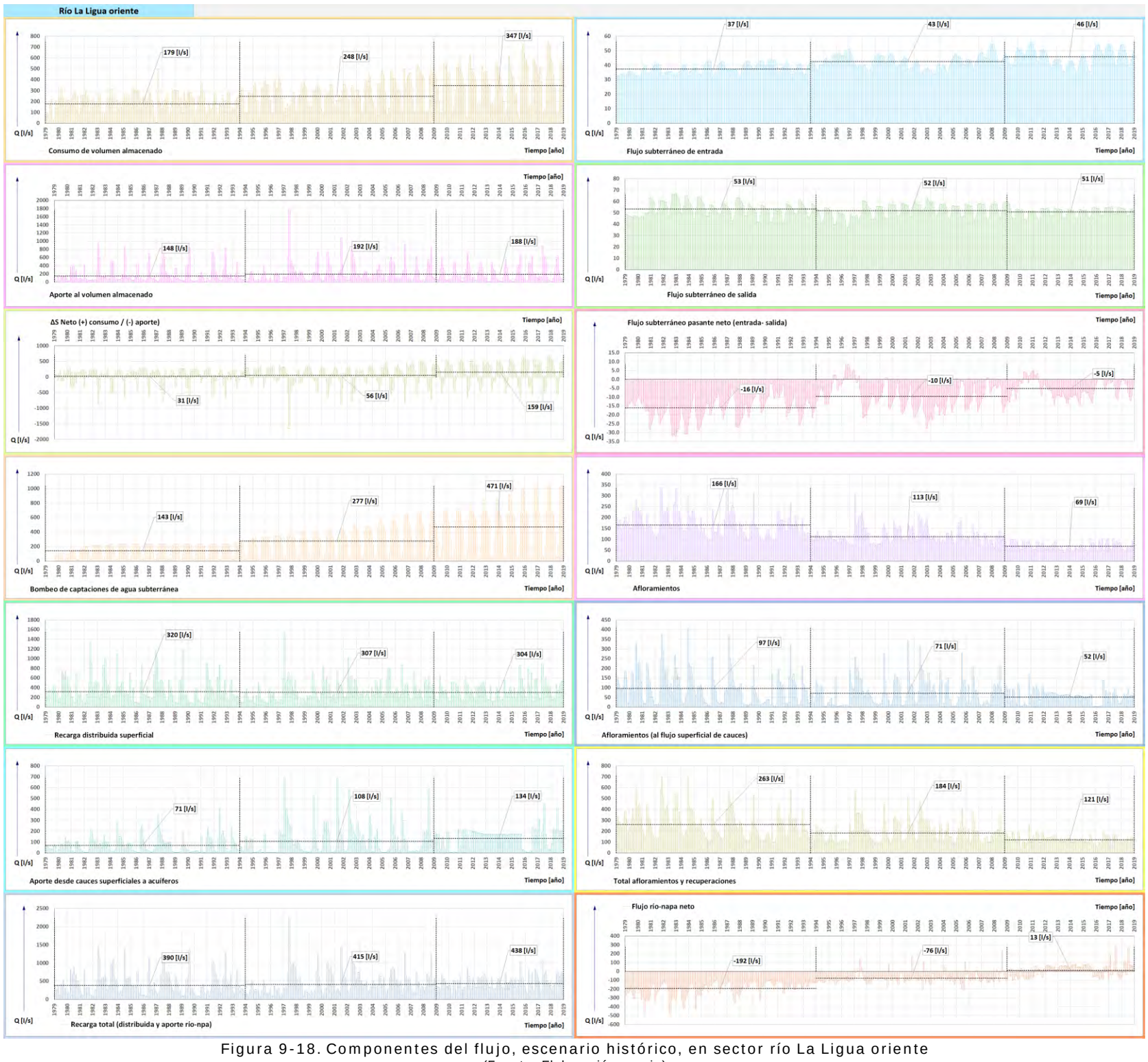


Figura 9-18. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río La Ligua oriente
(Fuente: Elaboración propia)

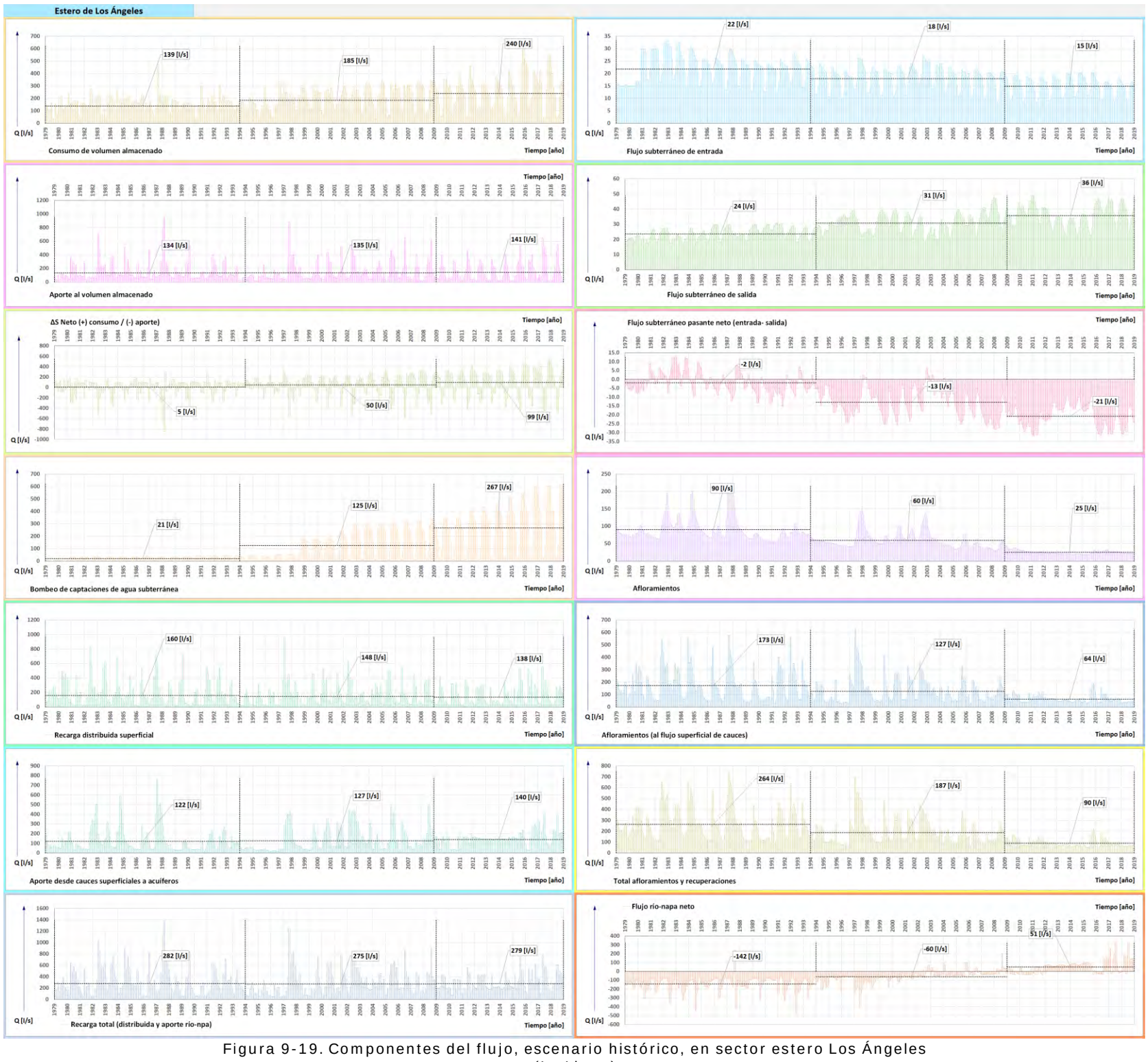


Figura 9-19. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector estero Los Ángeles (La Ligua)

(Fuente: Elaboración propia)

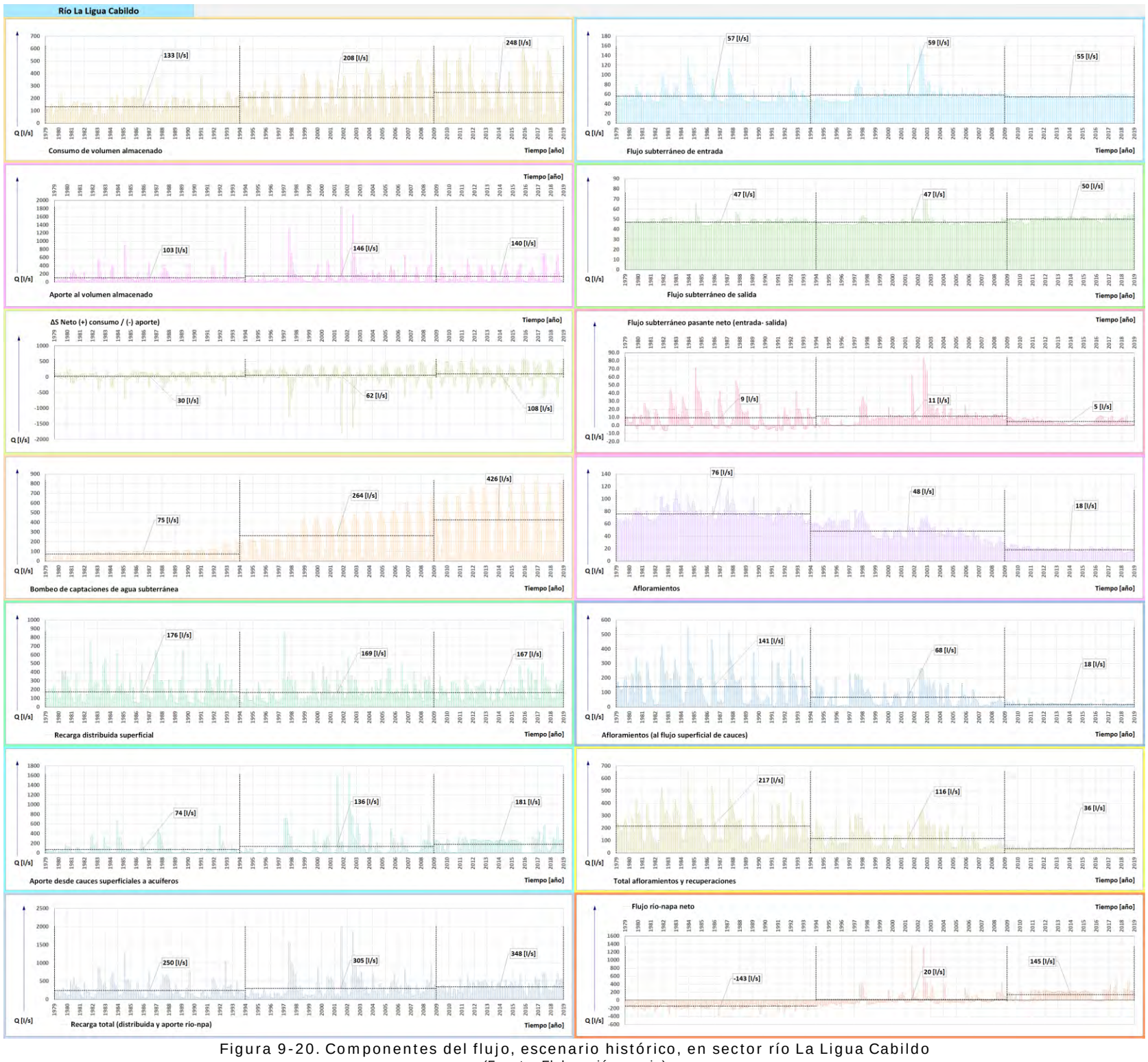


Figura 9-20. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río La Ligua Cabildo
(Fuente: Elaboración propia)

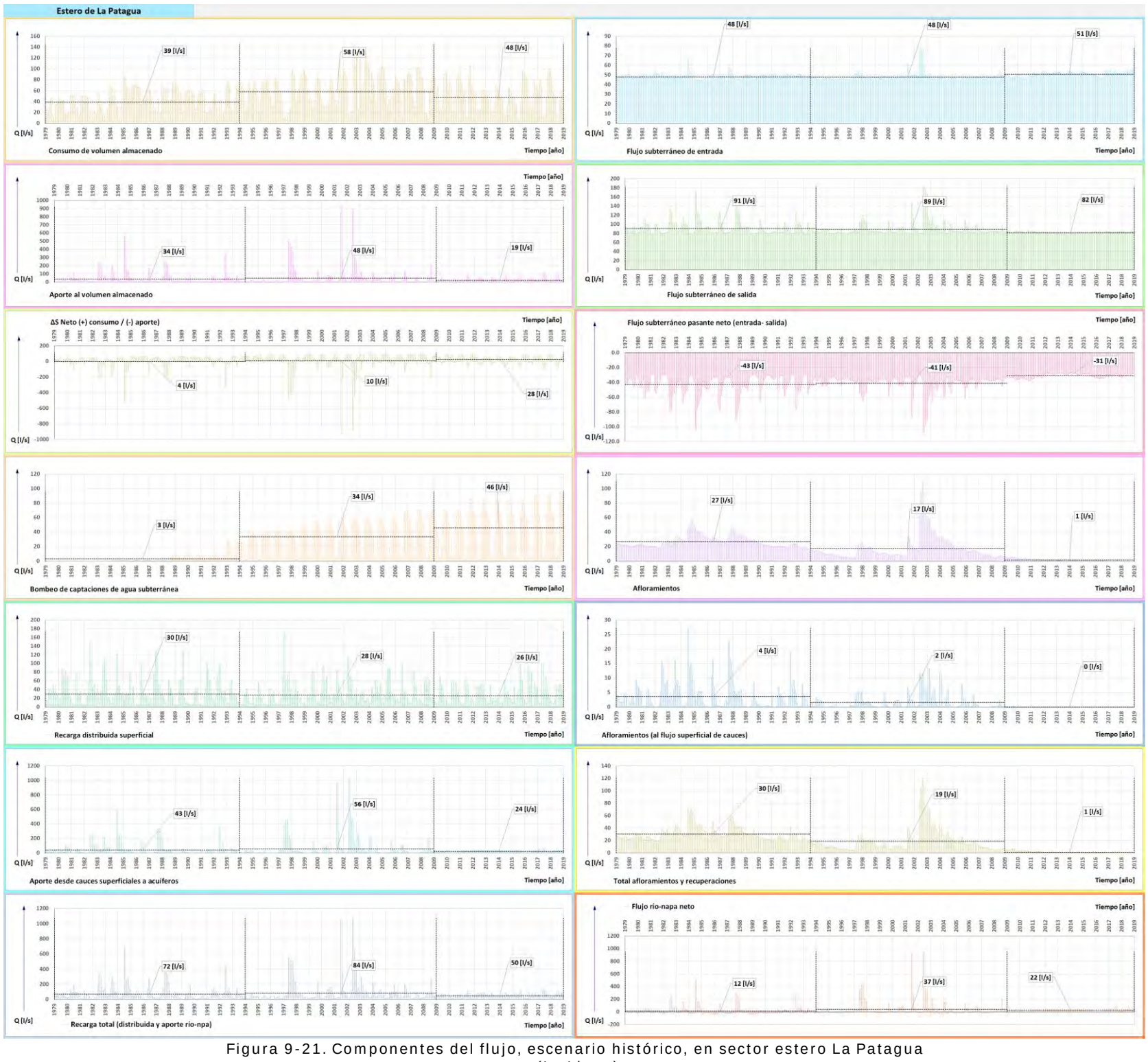


Figura 9-21. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector estero La Patagua (La Ligua)
(Fuente: Elaboración propia)

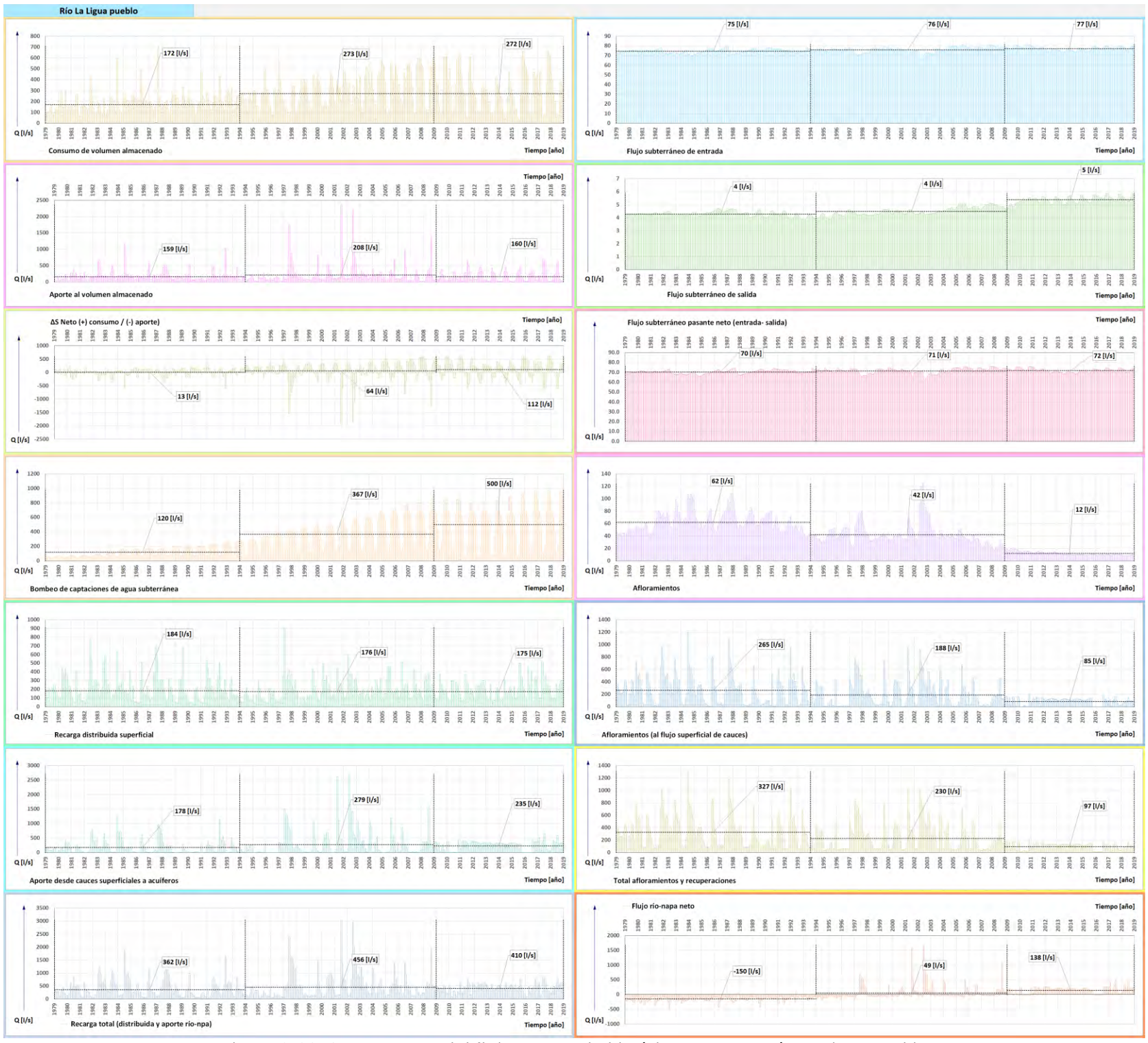


Figura 9-22. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río La Ligua pueblo
(Fuente: Elaboración propia)

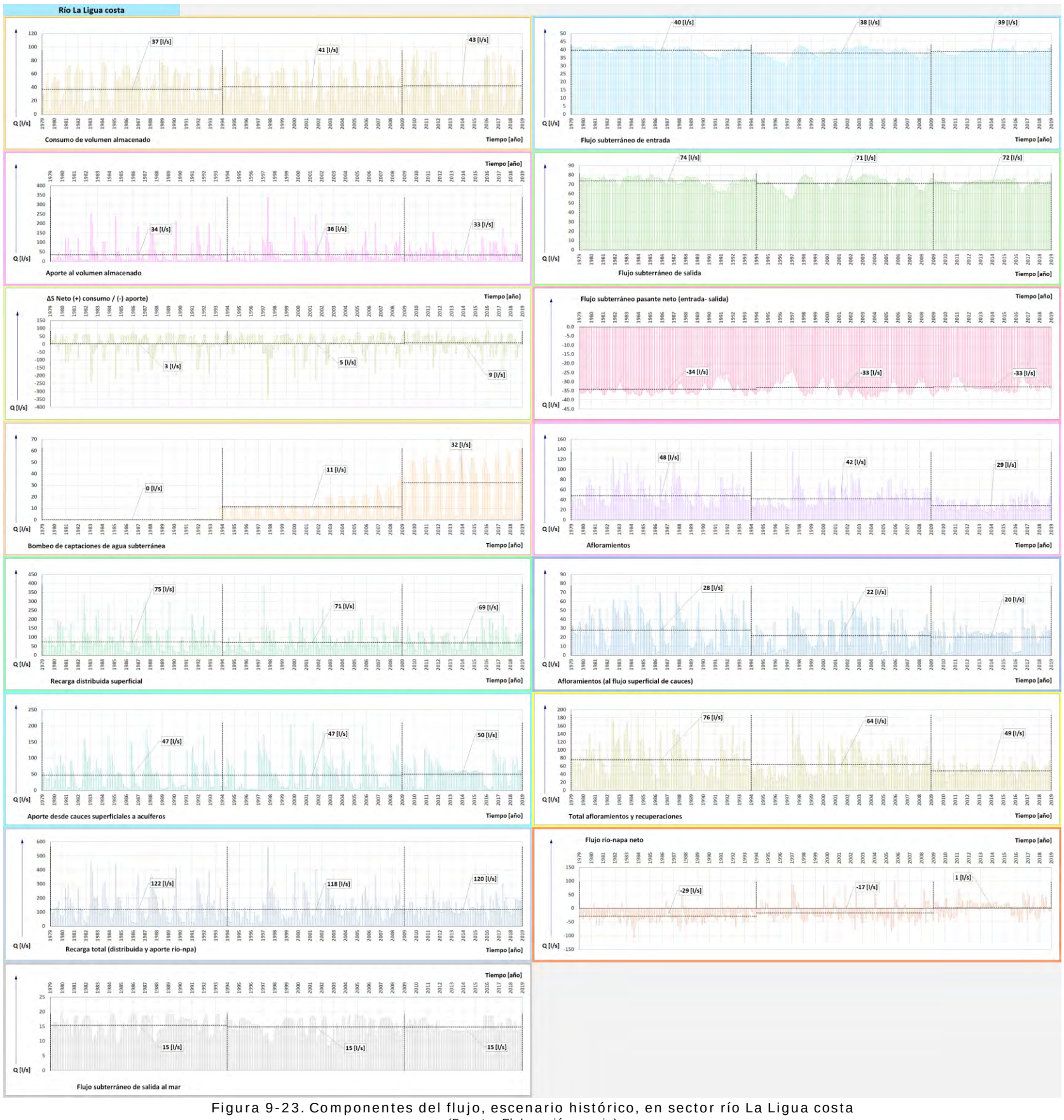


Figura 9-23. Componentes del flujo, escenario histórico, en sector río La Ligua costa
(Fuente: Elaboración propia)

9.5.2 Balances escenario futuro

Entre la Figura 9-24 y la Figura 9-36, se presentan los gráficos de la simulación transiente de cada componente del flujo, para el período futuro y desagregados según los sectores hidrogeológicos.

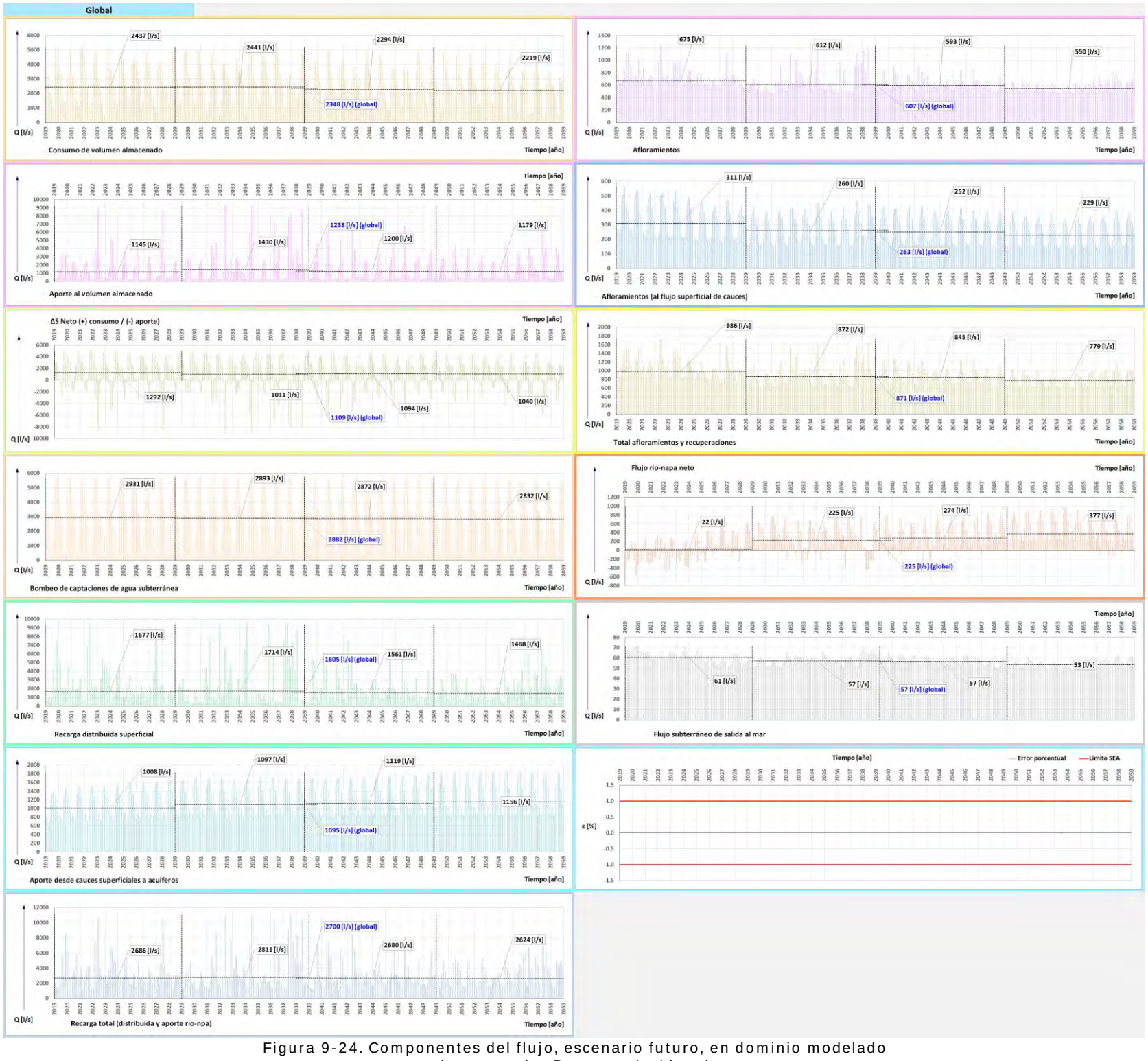


Figura 9-24. Componentes del flujo, escenario futuro, en dominio modelado (cuencas ríos Petorca y La Ligua)

(Fuente: Elaboración propia)

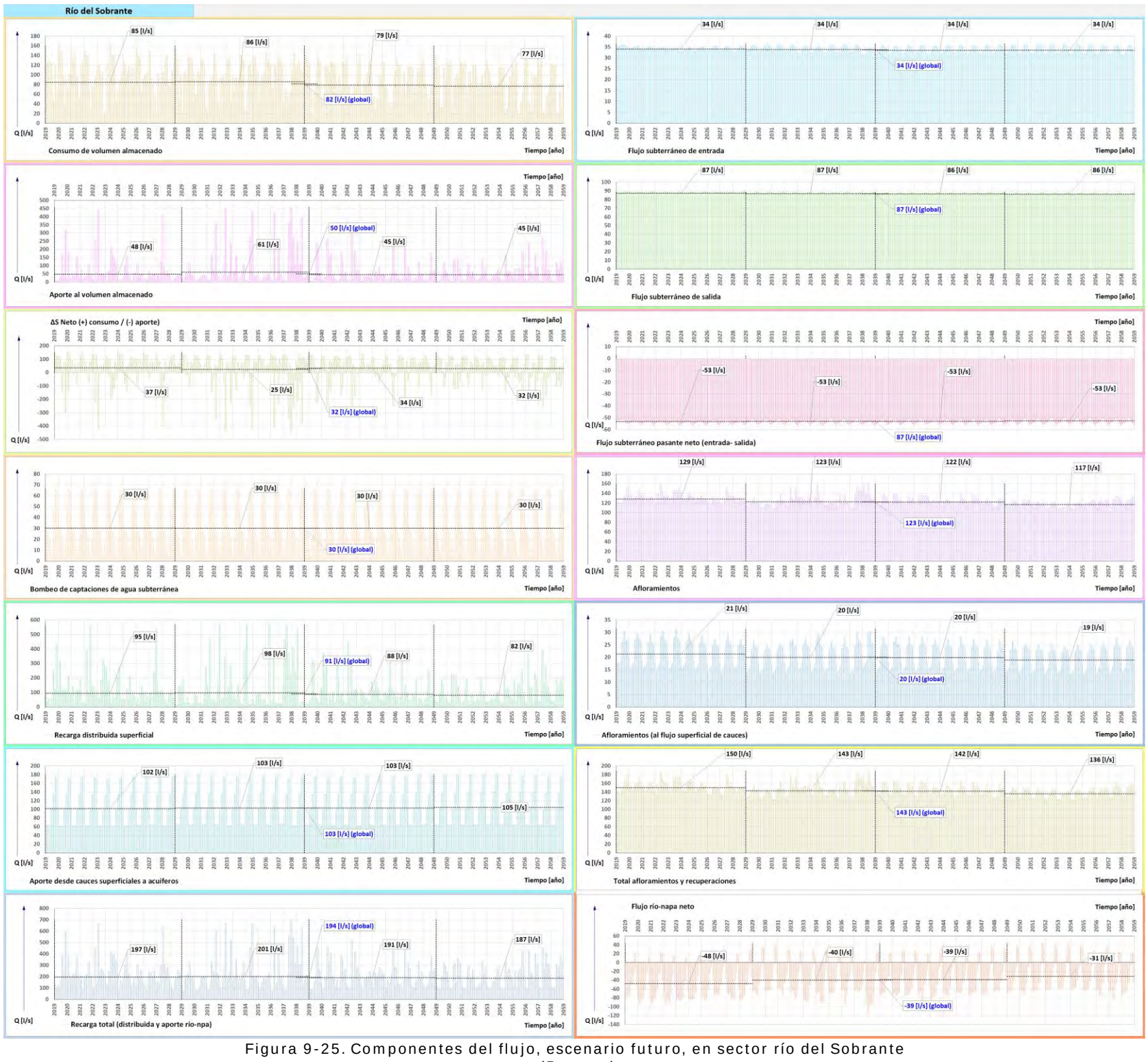


Figura 9-25. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río del Sobrante (Petorca)

(Fuente: Elaboración propia)

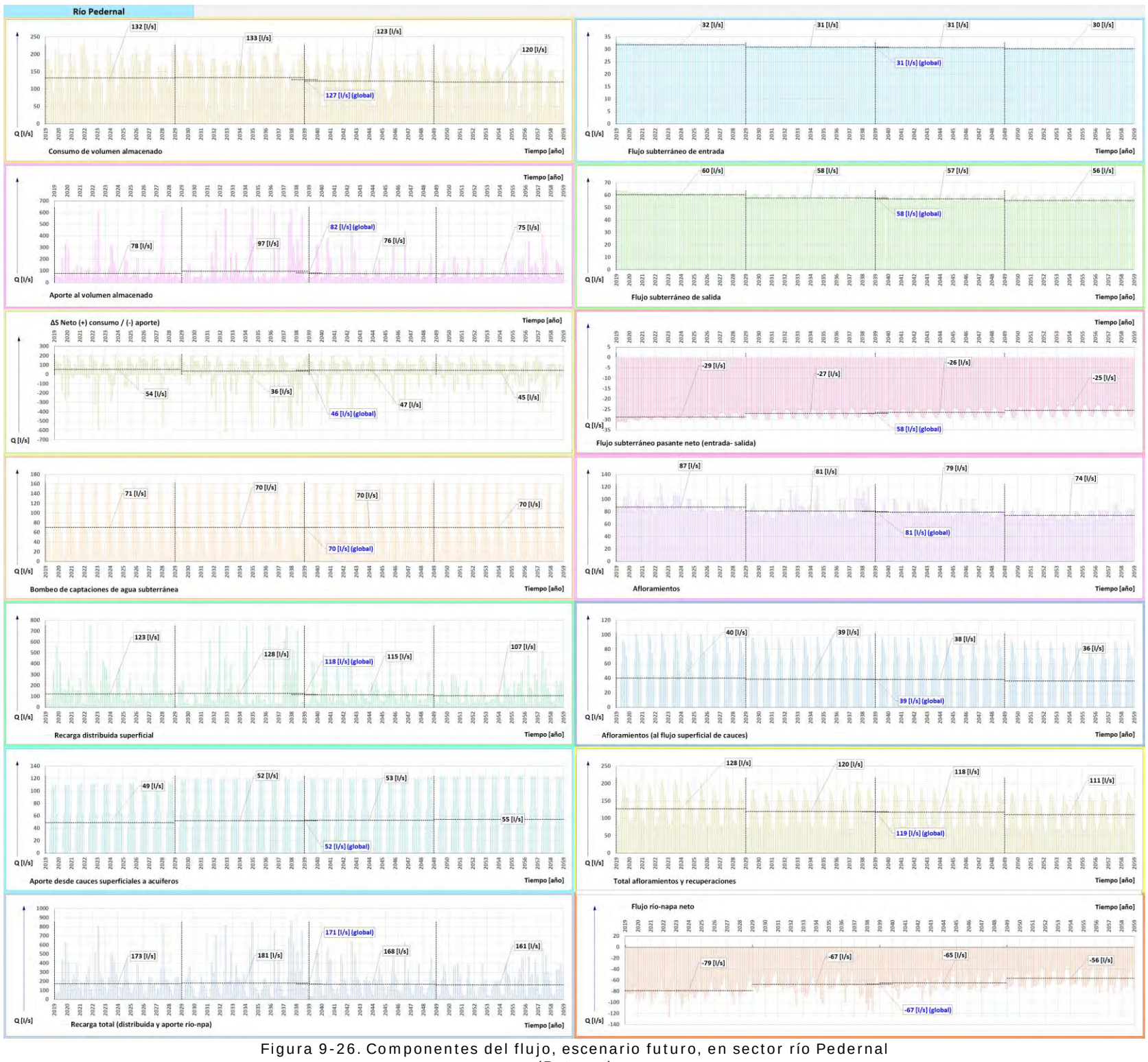


Figura 9-26. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río Pedernal (Petorca)

(Fuente: Elaboración propia)

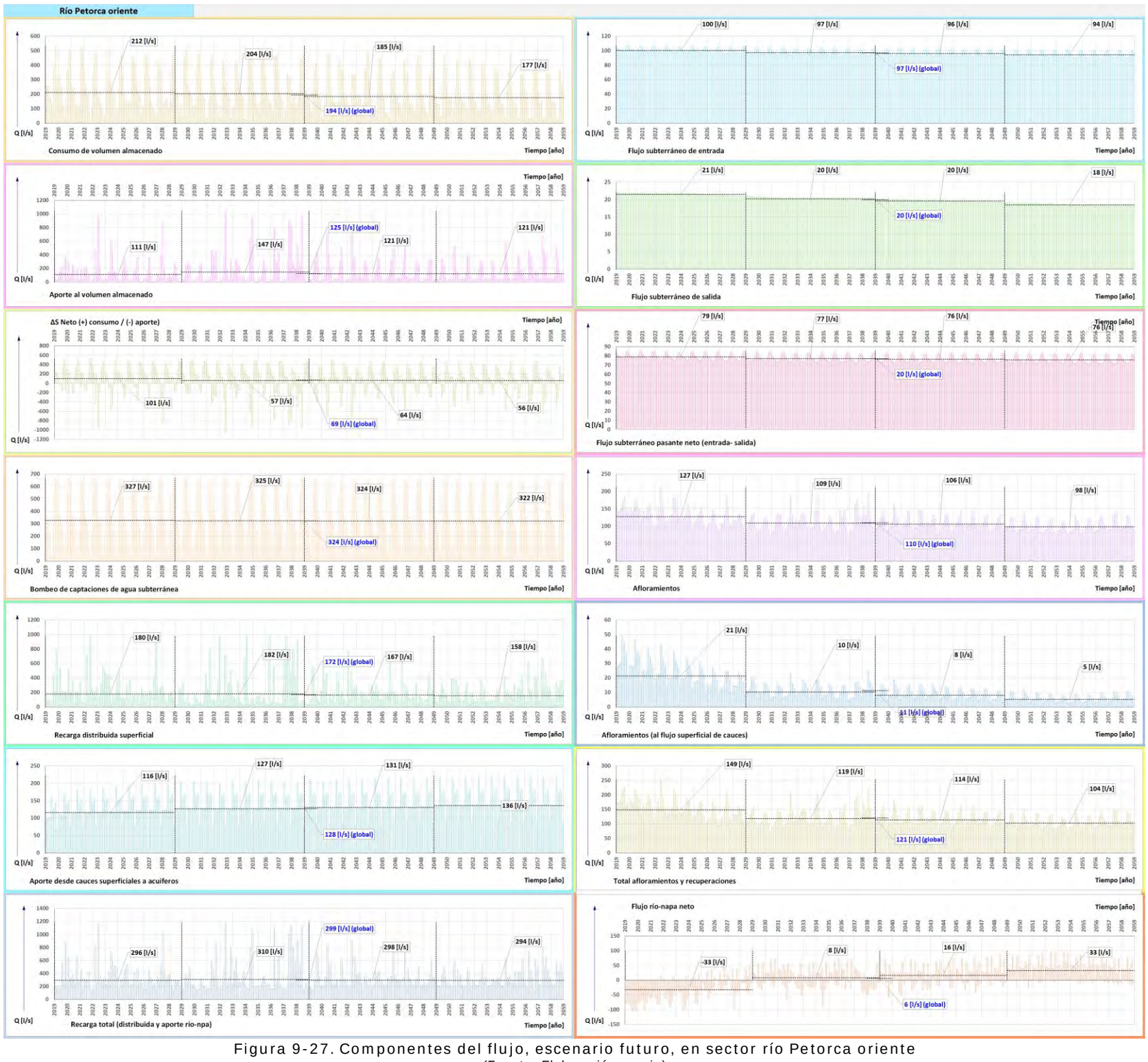


Figura 9-27. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río Petorca oriente
(Fuente: Elaboración propia)

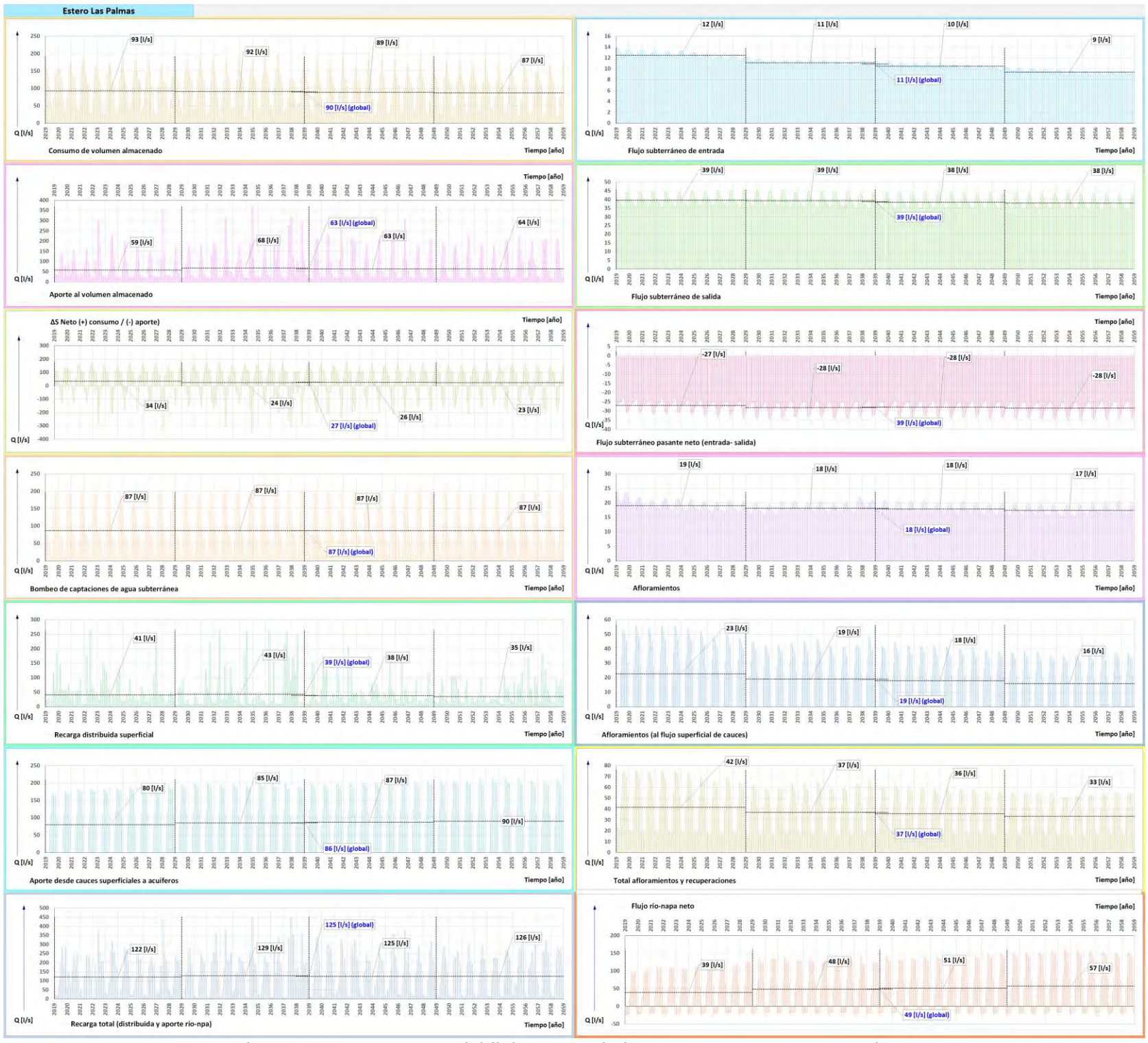


Figura 9-28. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector estero Las Palmas (Petorca)

(Fuente: Elaboración propia)

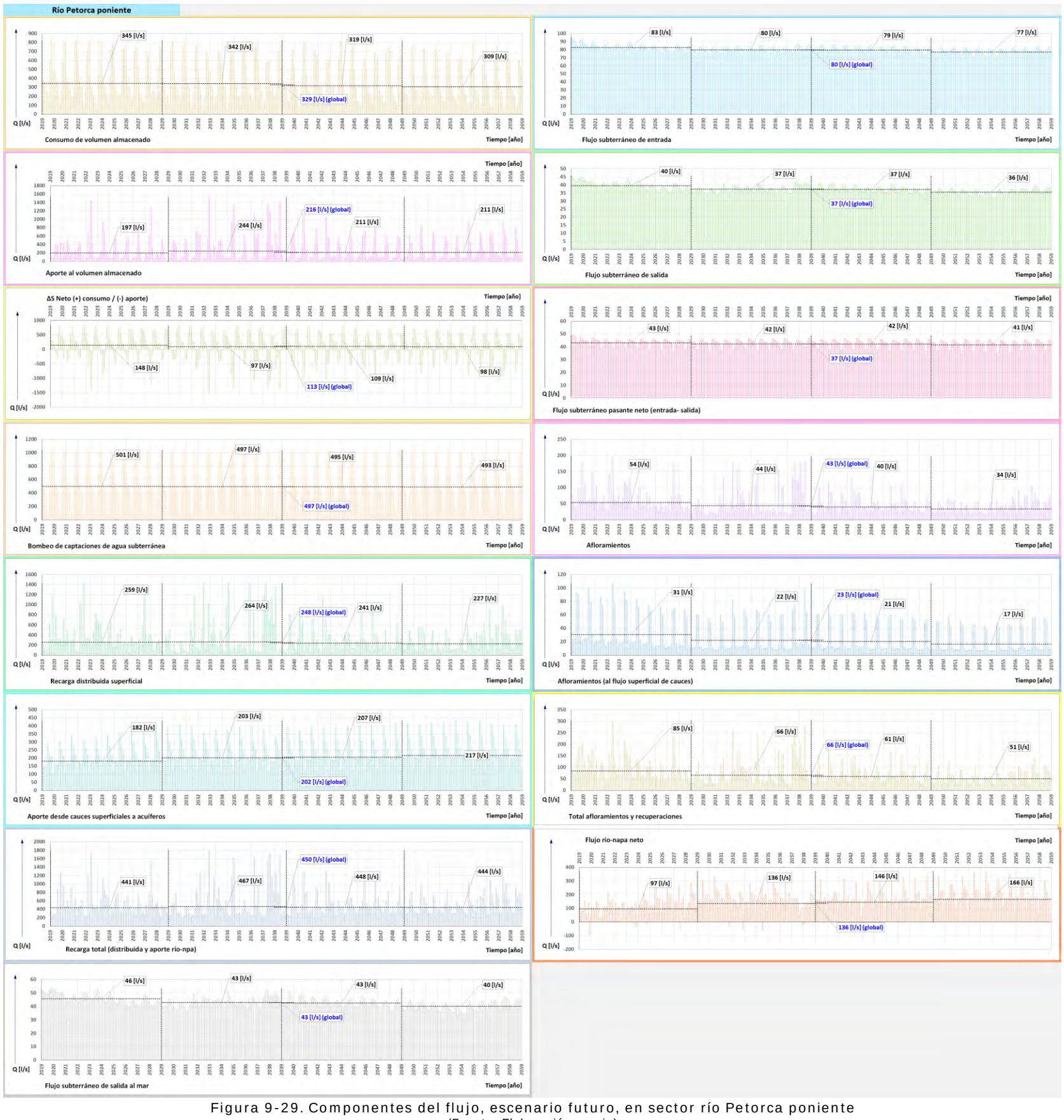


Figura 9-29. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río Petorca poniente
(Fuente: Elaboración propia)

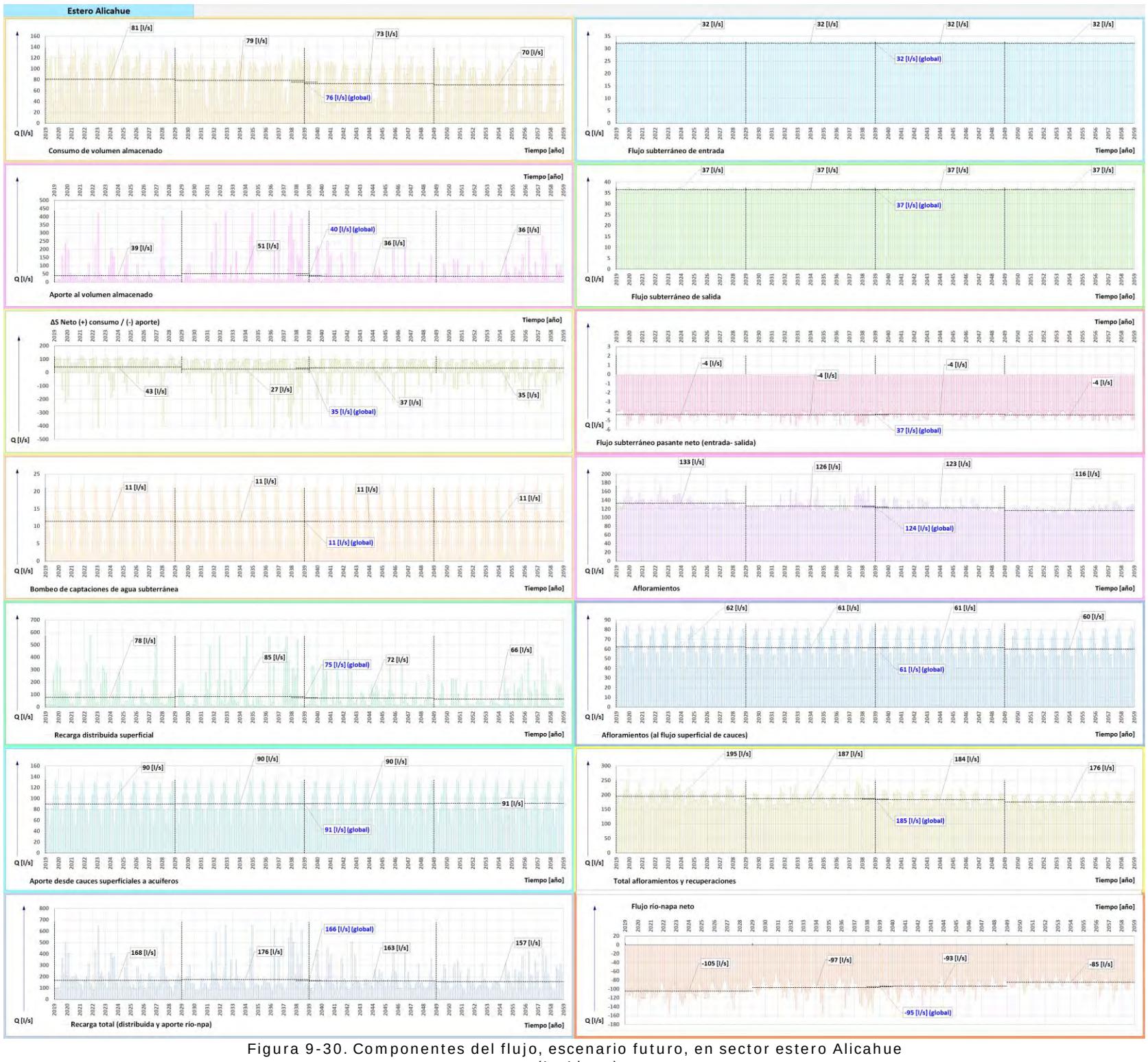


Figura 9-30. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector estero Alicahue (La Ligua)
(Fuente: Elaboración propia)

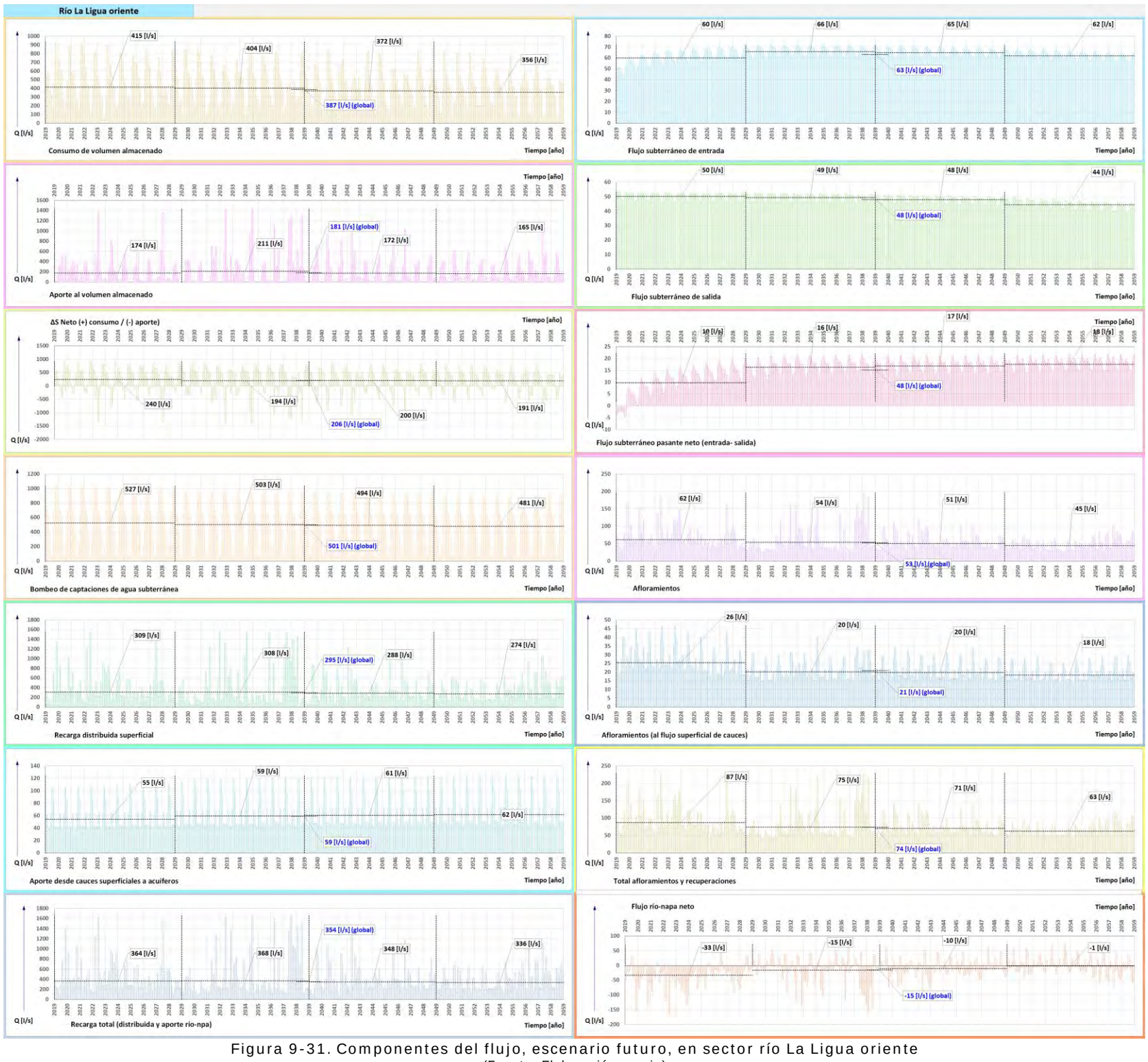


Figura 9-31. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río La Ligua oriente
(Fuente: Elaboración propia)

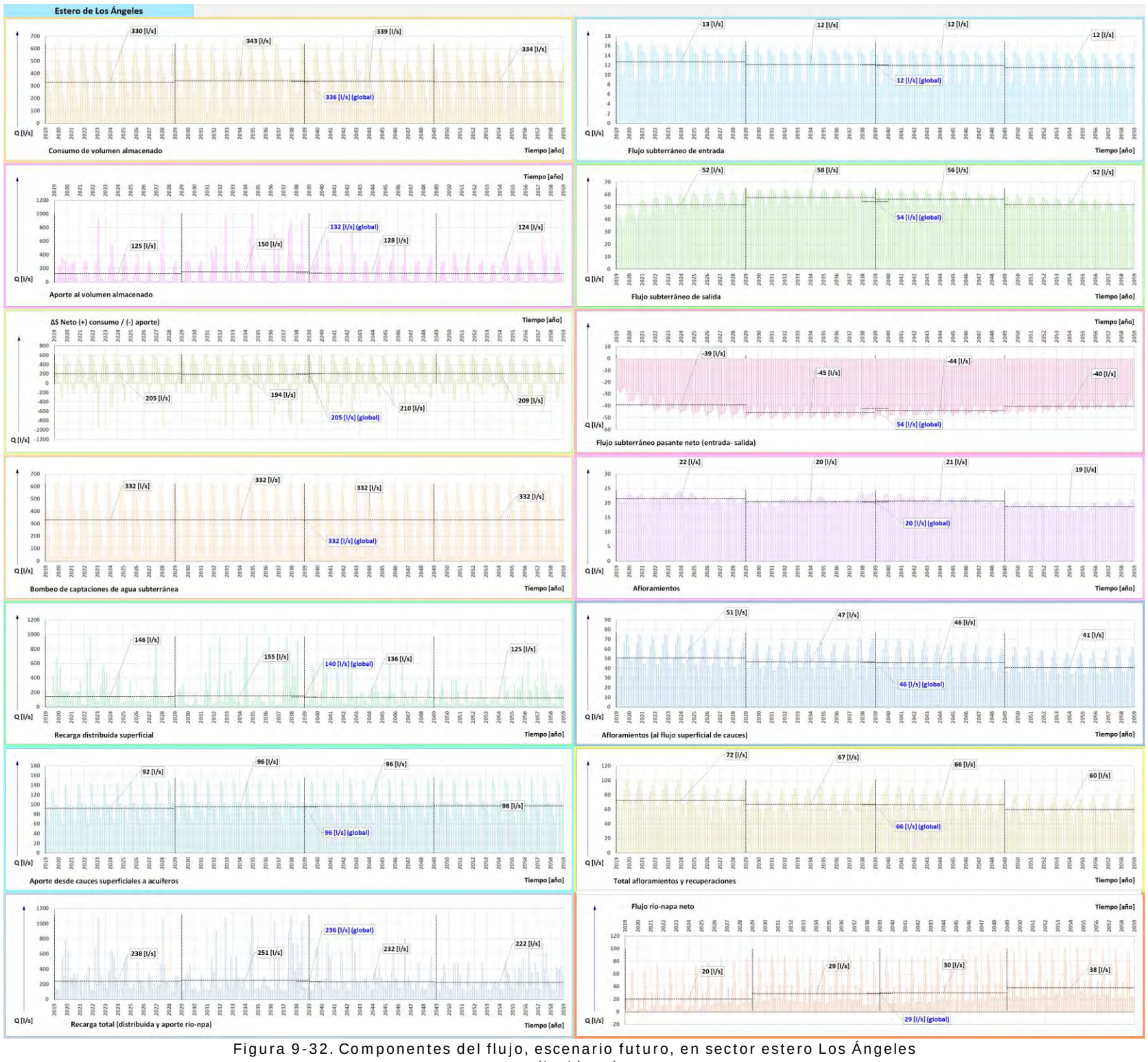


Figura 9-32. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector estero Los Ángeles (La Ligua)

(Fuente: Elaboración propia)

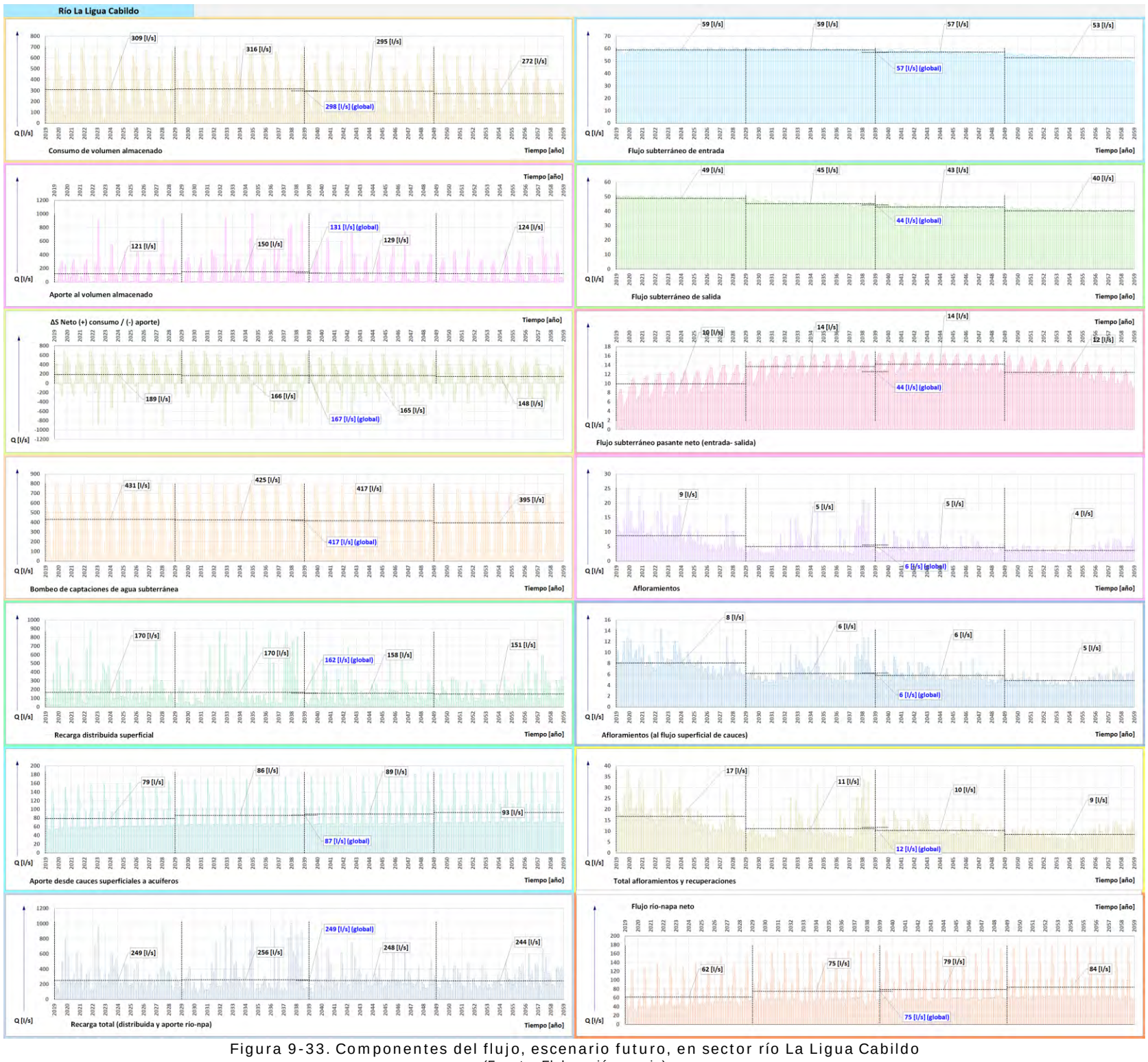


Figura 9-33. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río La Ligua Cabildo
(Fuente: Elaboración propia)

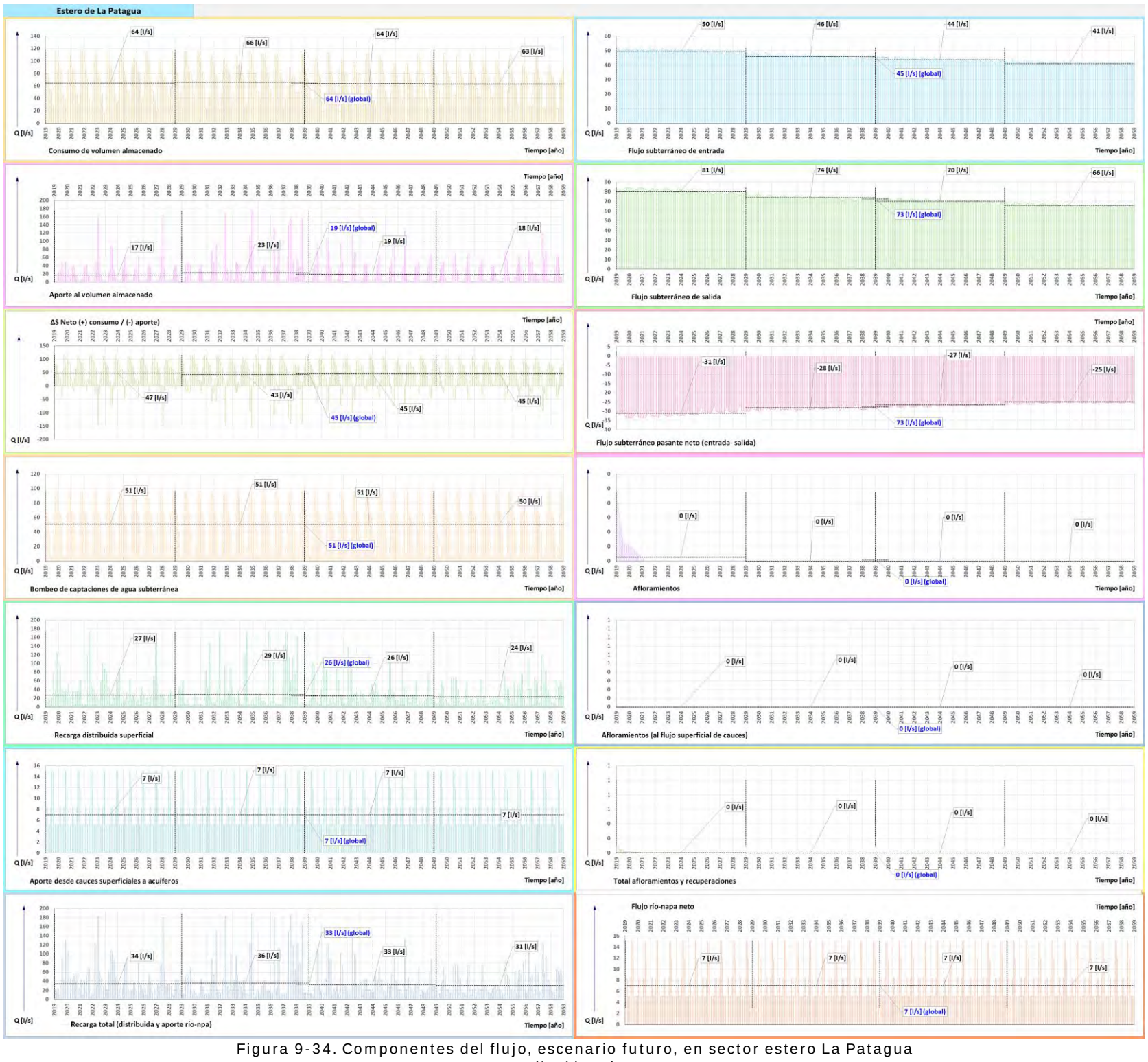


Figura 9-34. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector estero La Patagua (La Ligua)
(Fuente: Elaboración propia)

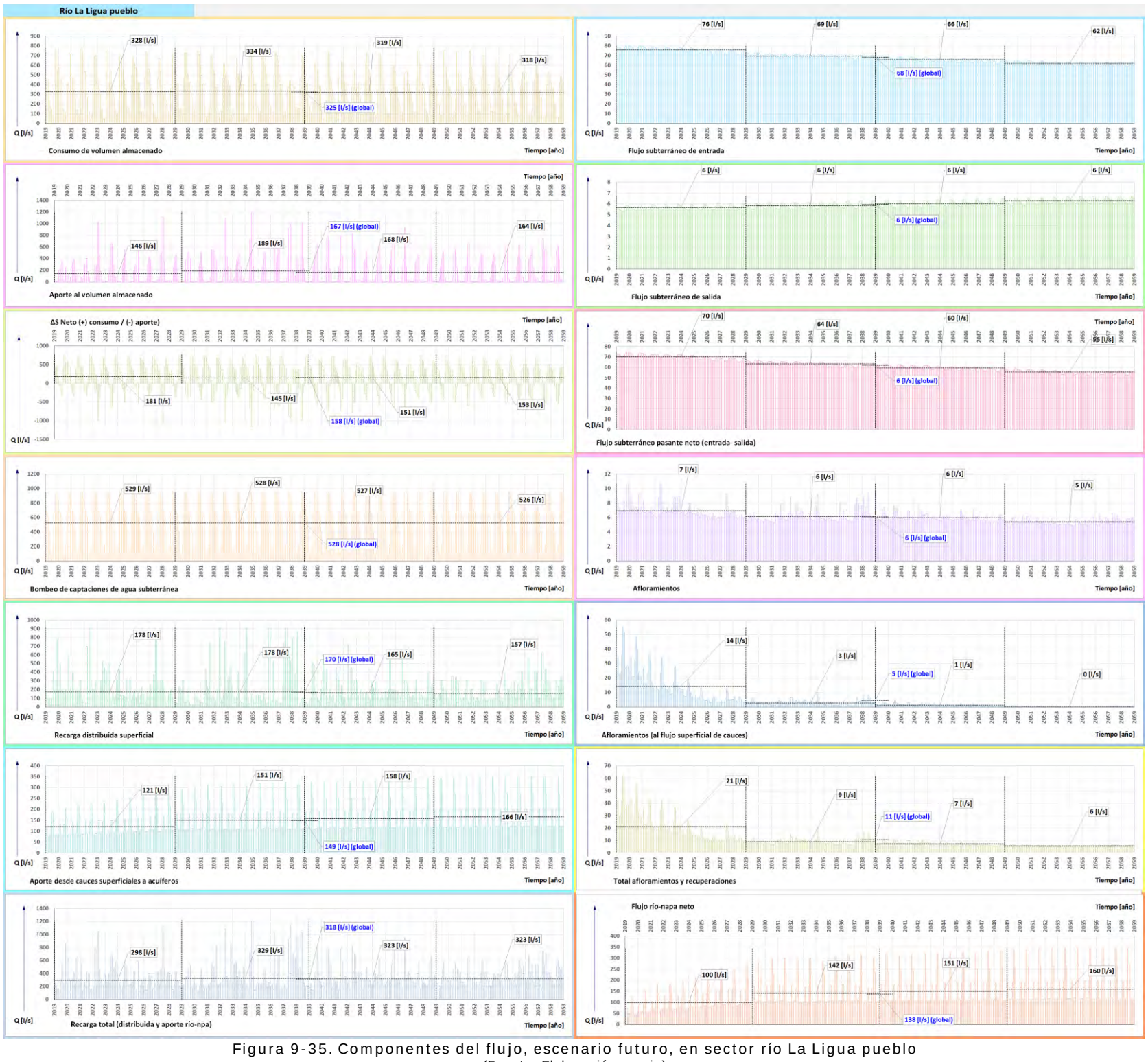


Figura 9-35. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río La Ligua pueblo
(Fuente: Elaboración propia)

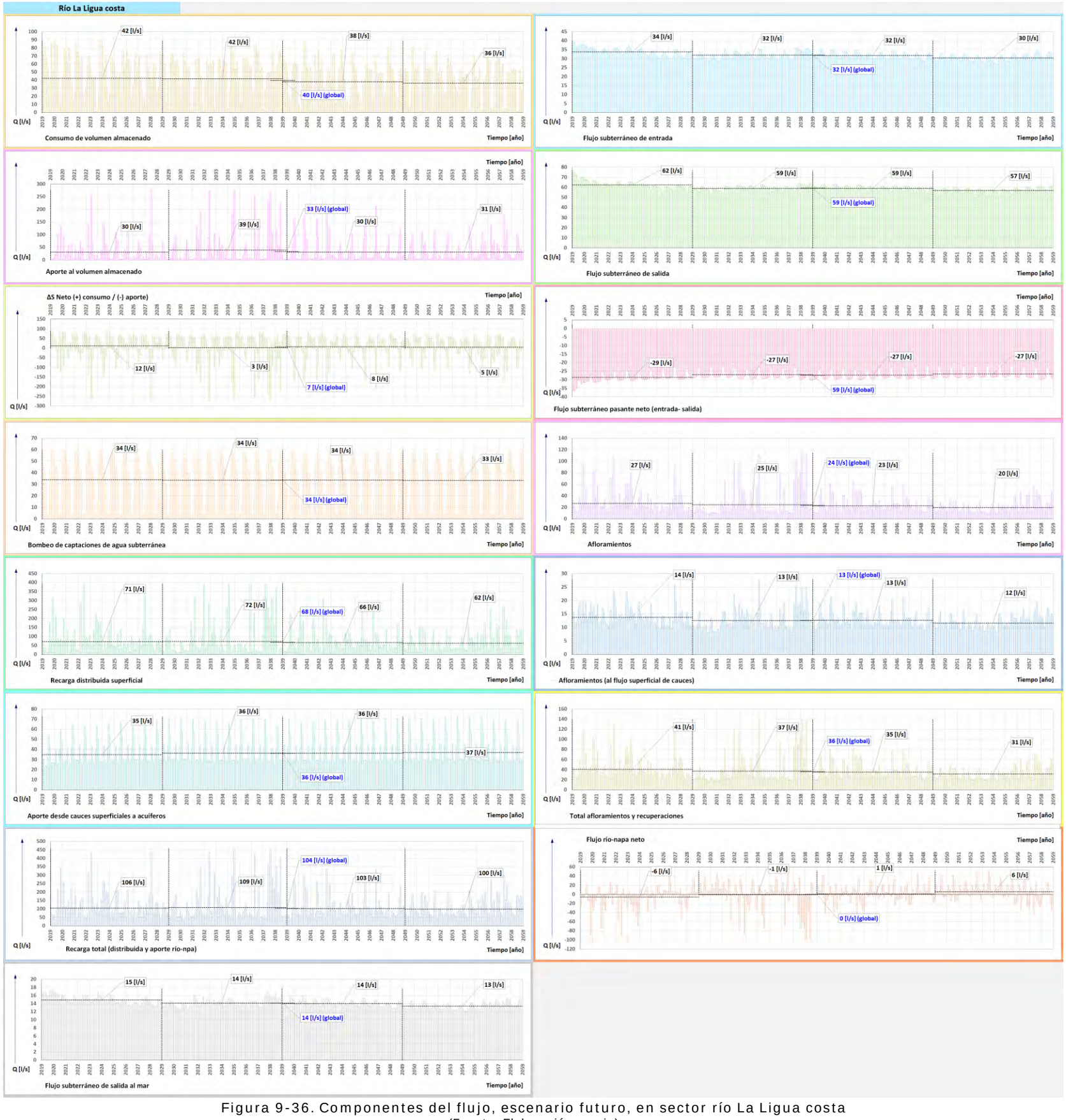


Figura 9-36. Componentes del flujo, escenario futuro, en sector río La Ligua costa
(Fuente: Elaboración propia)

9.5.3 Bombeos factibles

En los gráficos de la Figura 9-37 se presentan los bombeos factibles, resultantes de la operación del modelo flujo subterráneo para la cuenca del río Petorca. En la Figura 9-38, se muestran los resultados para la cuenca del río La Ligua.

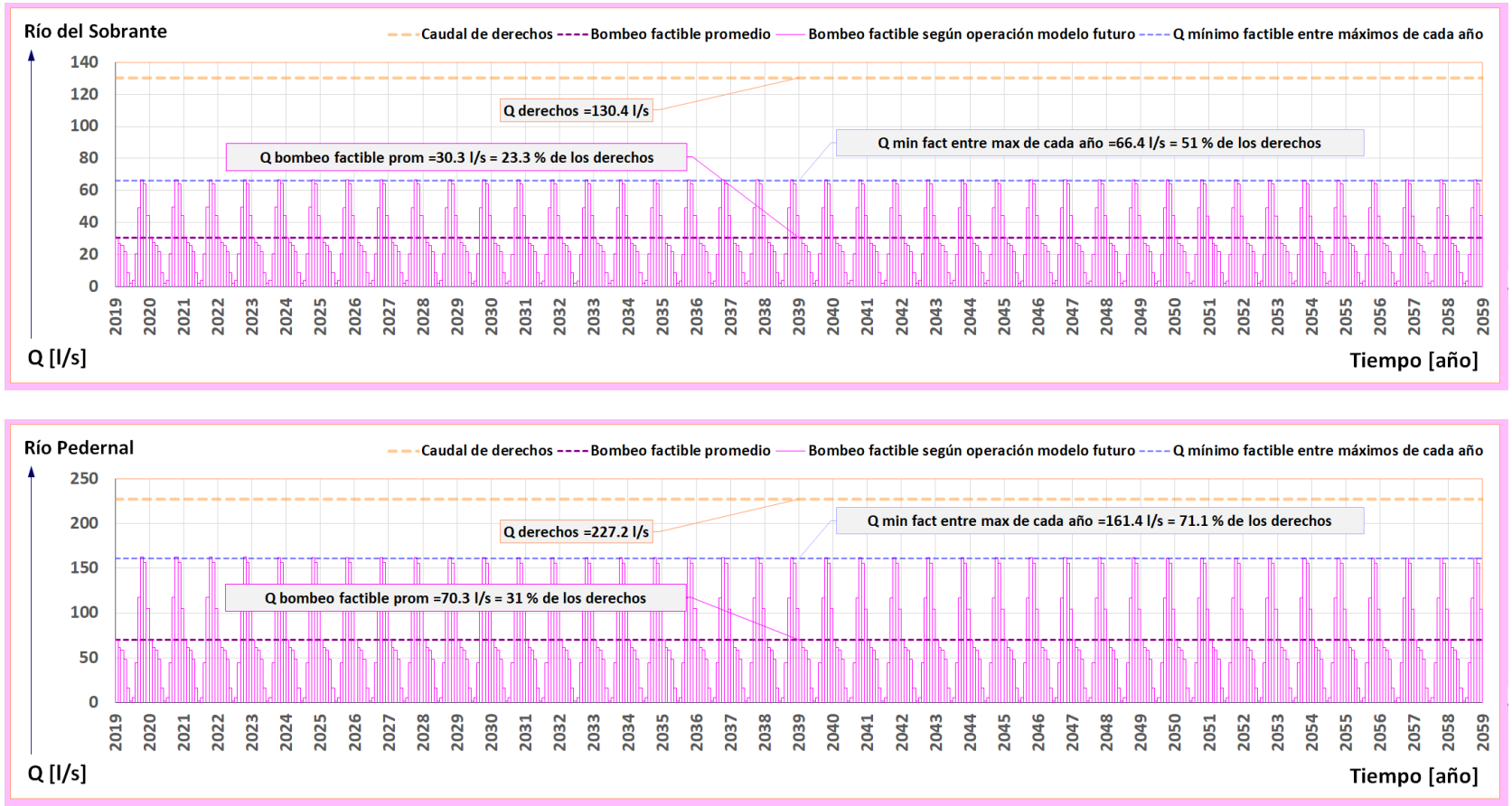


Figura 9-37. Bombeos factibles y derechos por S.H.A.C. cuenca río Petorca
(Fuente: Elaboración propia)

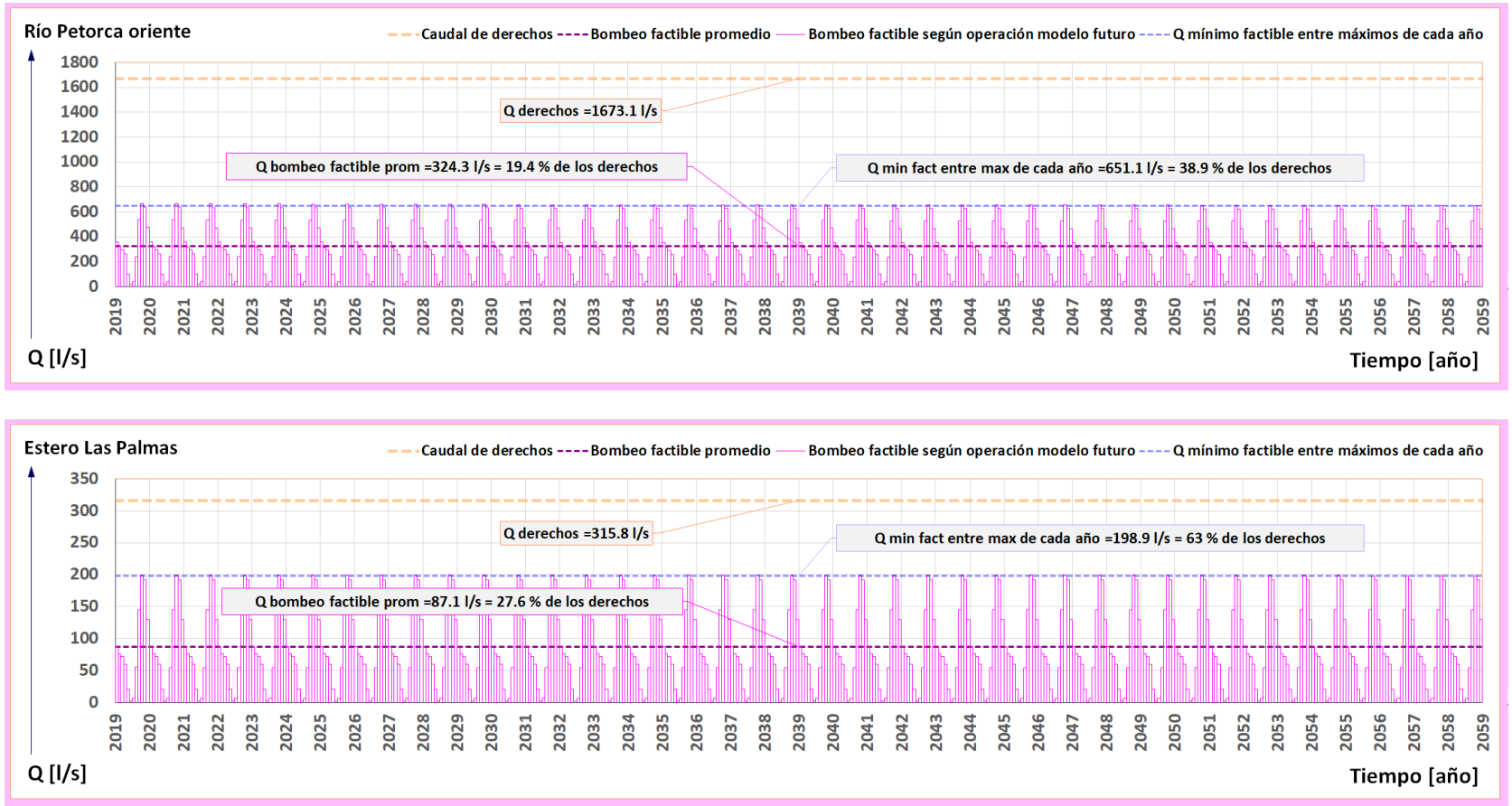


Figura 9-37. Bombeos factibles y derechos por S.H.A.C. cuenca río Petorca (continuación)
(Fuente: Elaboración propia)

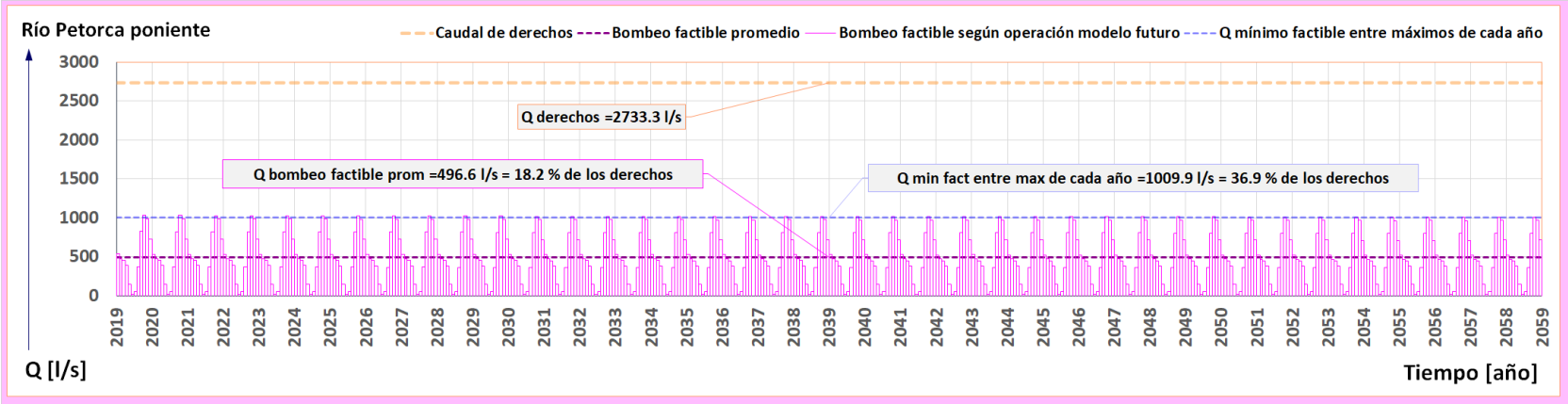


Figura 9-37. Bombeos factibles y derechos por S.H.A.C. cuenca río Petorca (continuación)

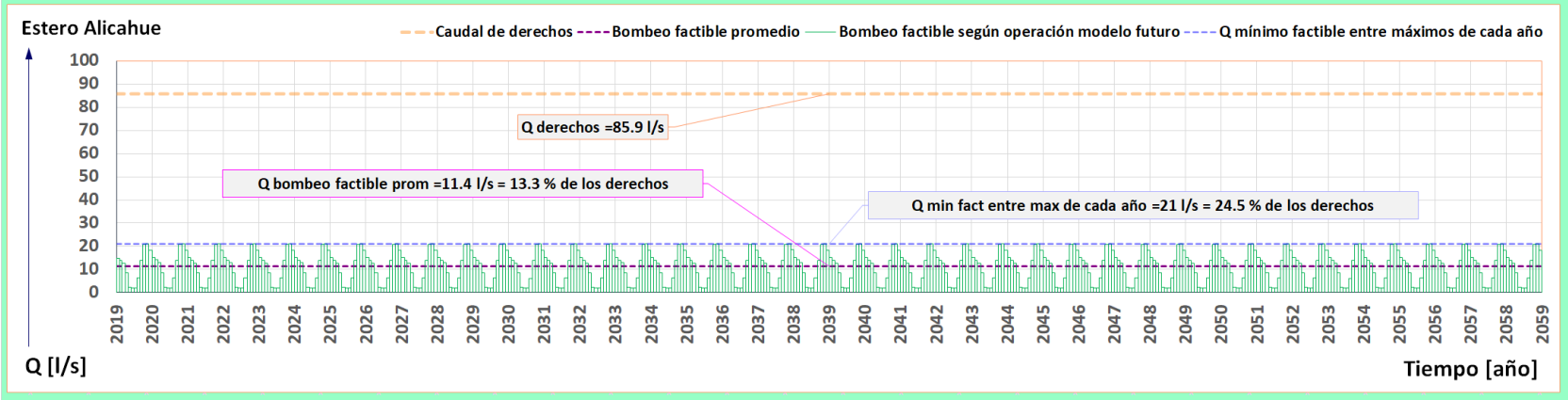
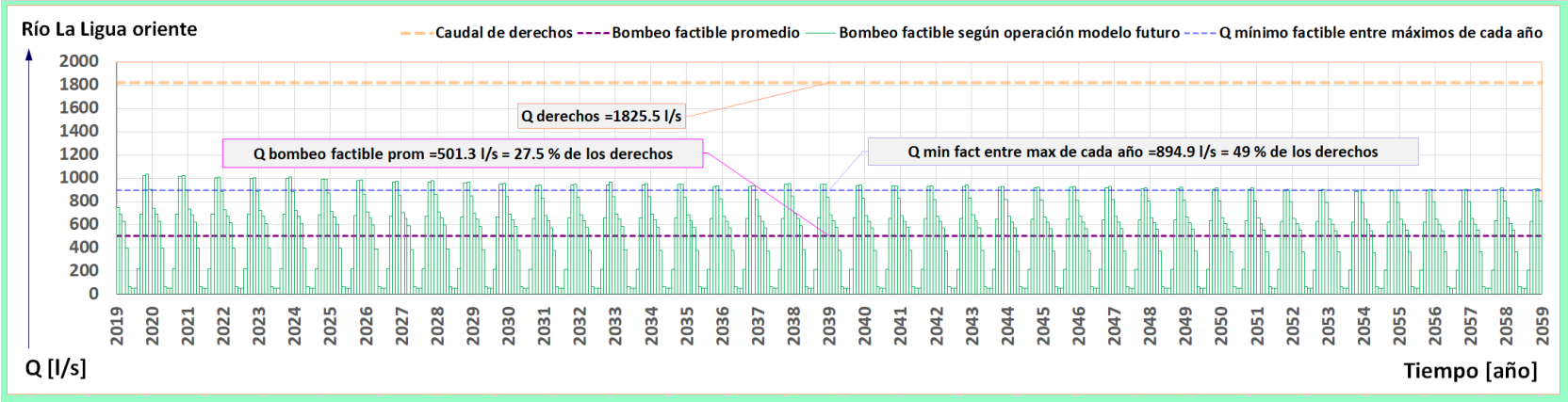


Figura 9-38. Bombeos factibles y derechos por S.H.A.C. cuenca río La Ligua
(Fuente: Elaboración propia)



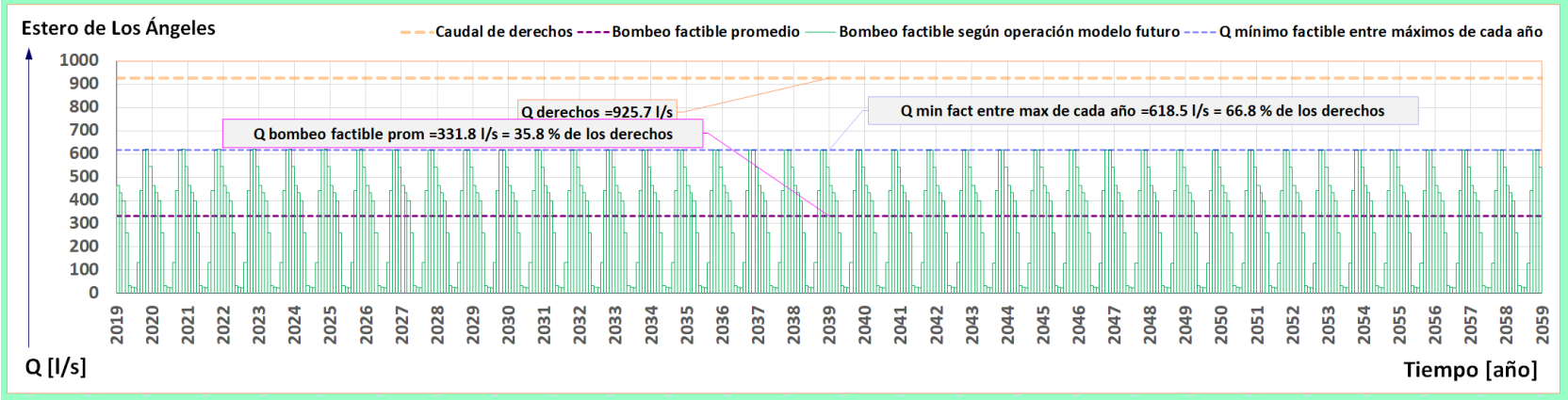


Figura 9-38. Bombeos factibles y derechos por S.H.A.C. cuenca río La Ligua (continuación)
(Fuente: Elaboración propia)

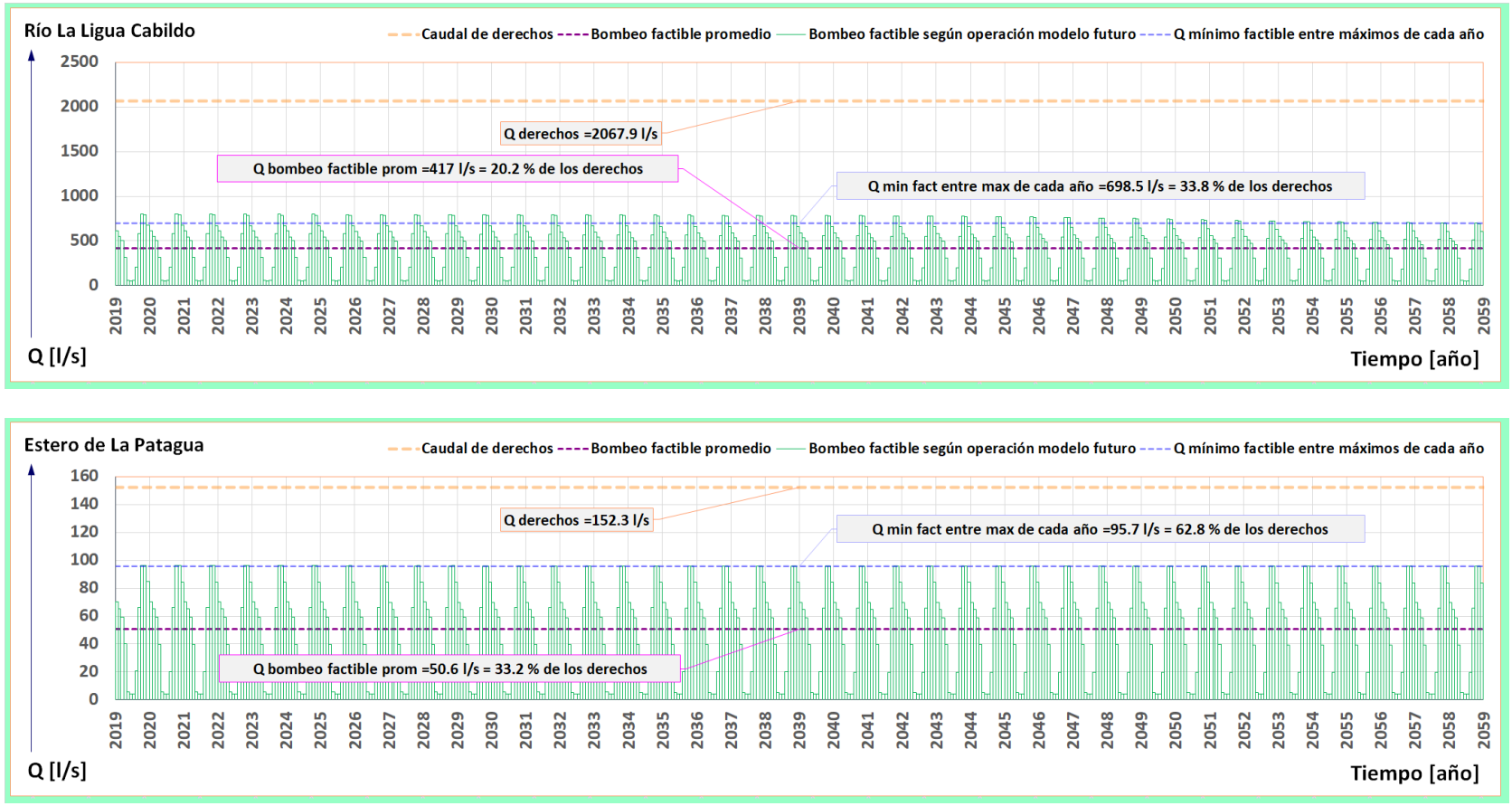
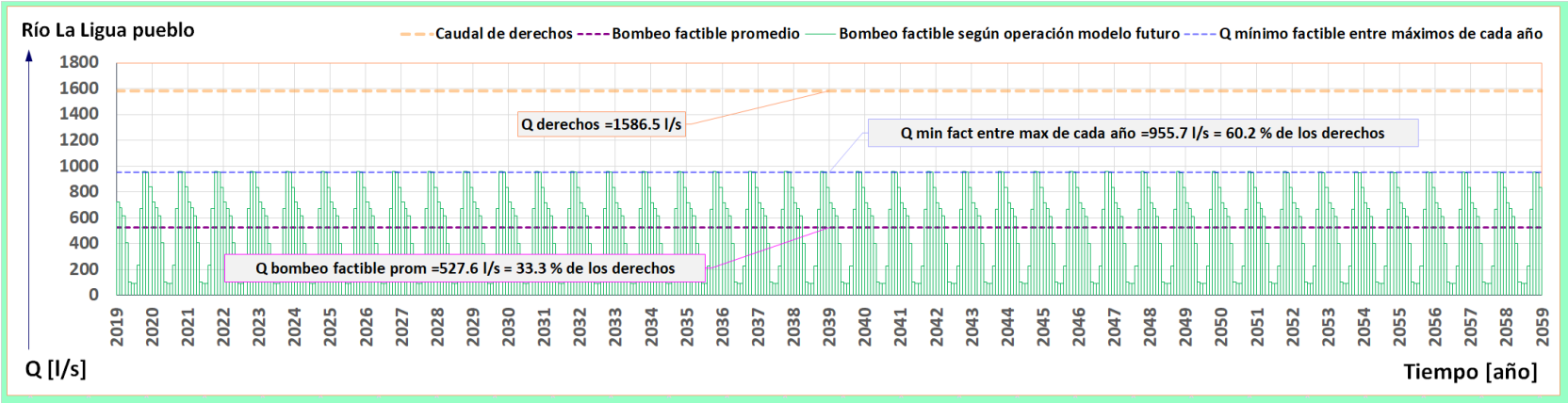


Figura 9-38. Bombeos factibles y derechos por S.H.A.C. cuenca río La Ligua (continuación)
(Fuente: Elaboración propia)



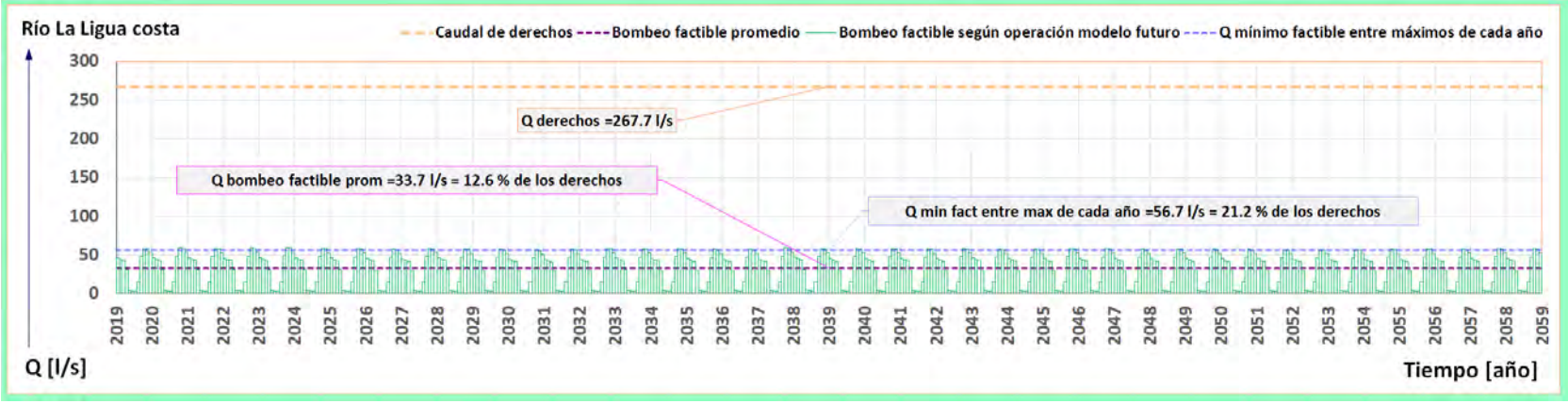


Figura 9-38. Bombeos factibles y derechos por S.H.A.C. cuenca río La Ligua (continuación)
(Fuente: Elaboración propia)

9.6 NIVELES SIMULADOS PERÍODO HISTÓRICO

En la Figura 9-39 se muestran los niveles medidos y simulados en el proceso de calibración transiente del modelo de flujo subterráneo.

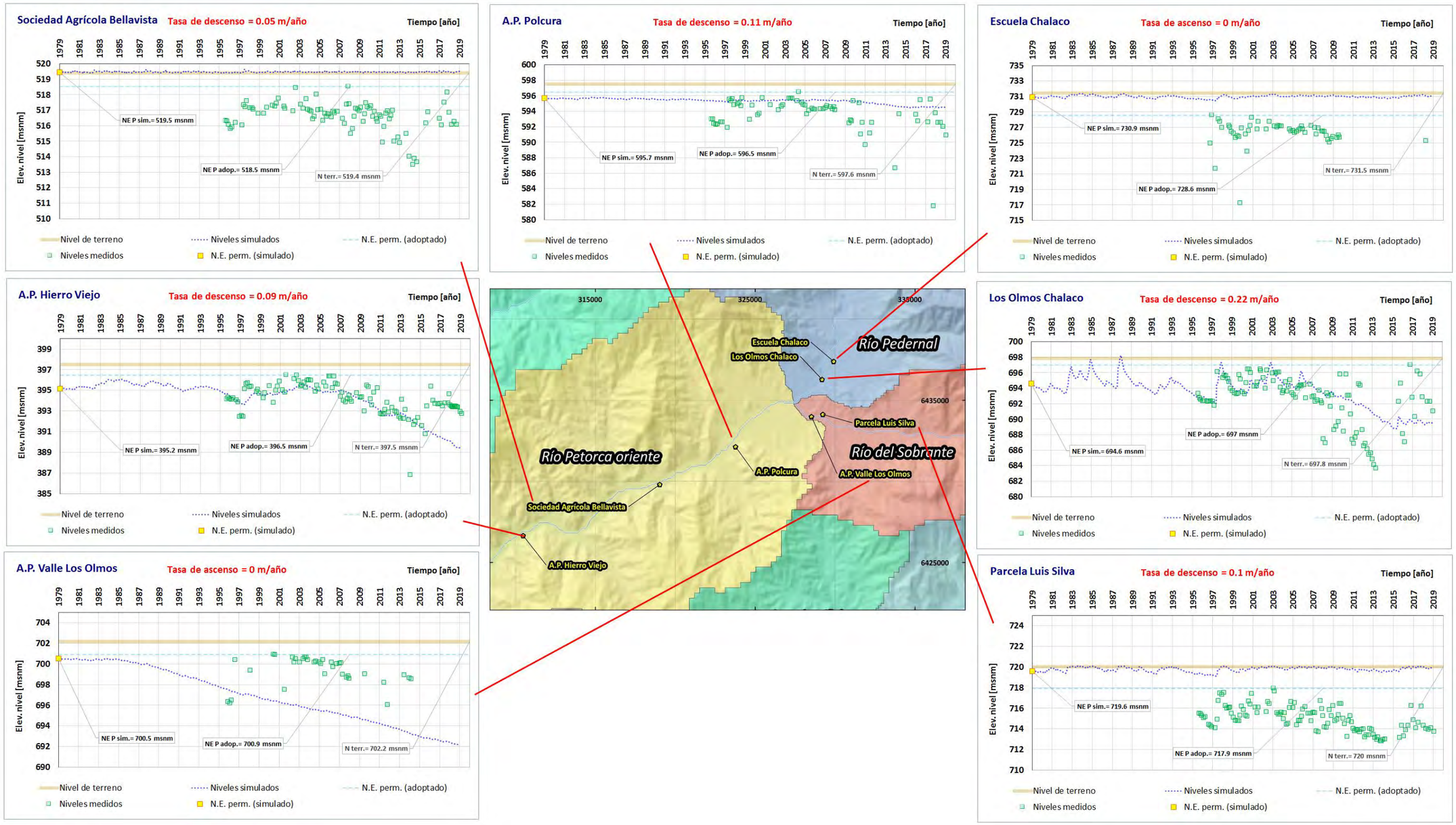


Figura 9-39. Niveles medidos y simulados en puntos de red de monitoreo DGA escenario histórico, calibración transiente (Fuente: Elaboración propia)

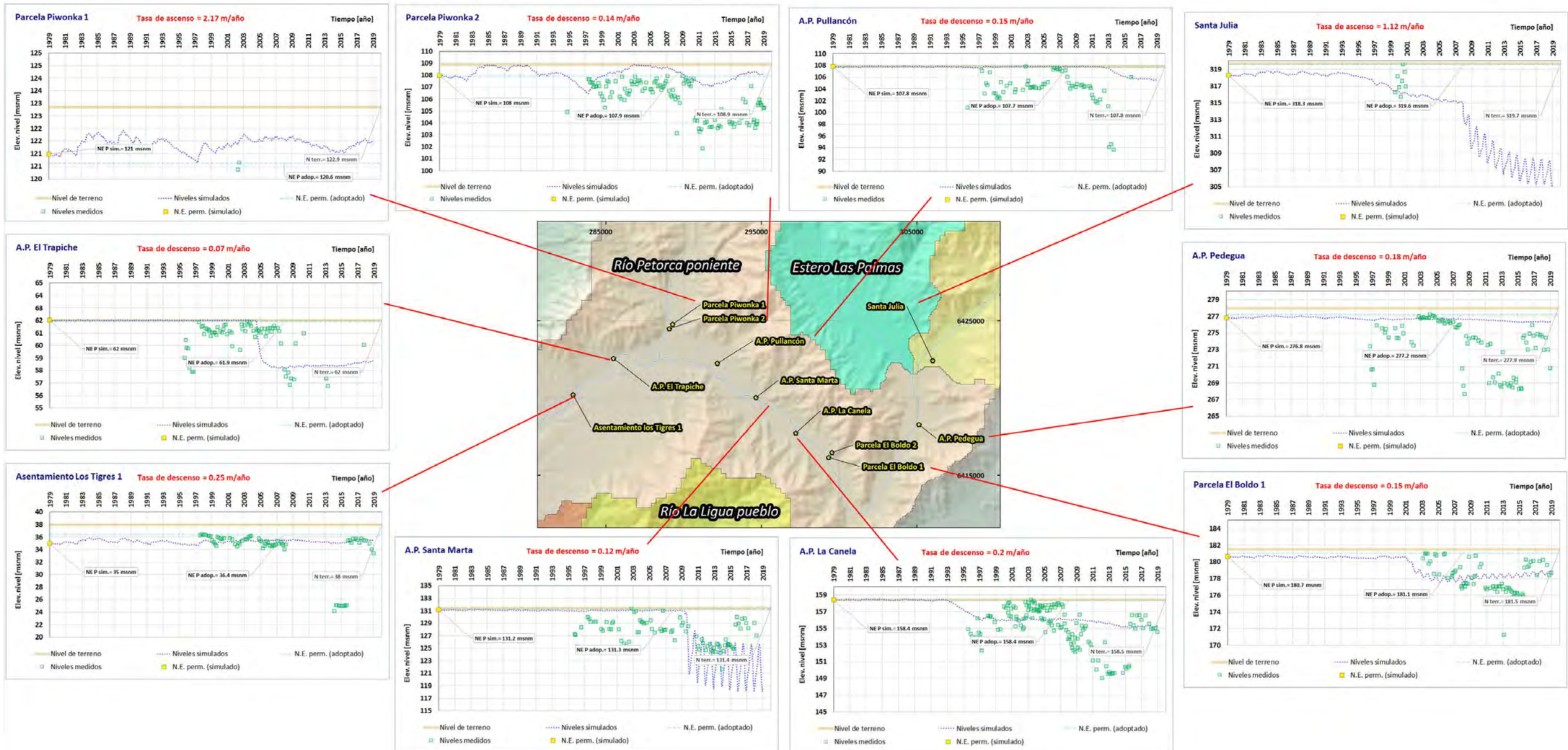


Figura 9-39. Niveles medidos y simulados en puntos de red de monitoreo DGA escenario histórico, calibración transiente (Fuente: Elaboración propia)

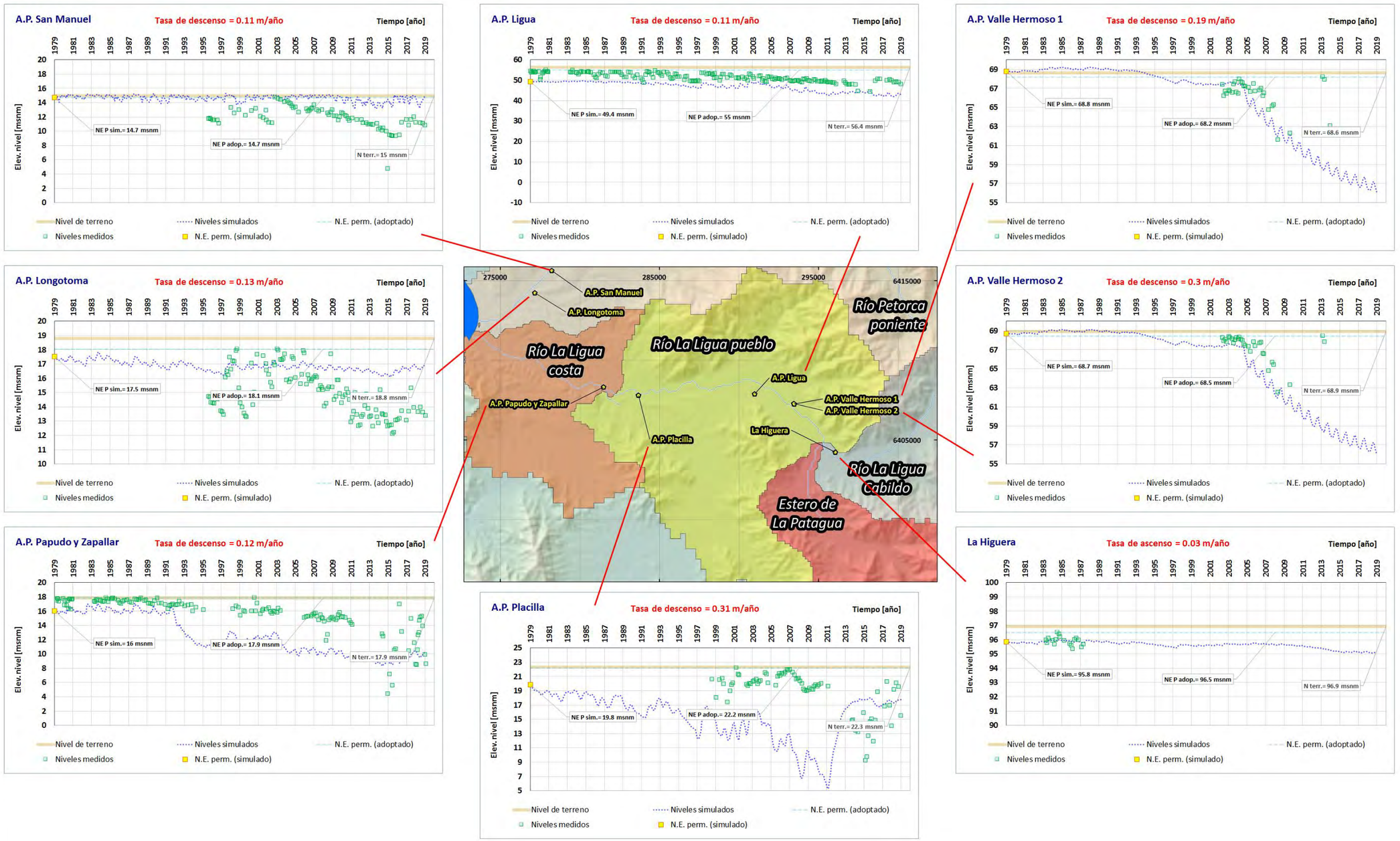


Figura 9-39. Niveles medidos y simulados en puntos de red de monitoreo DGA escenario histórico, calibración transiente (Fuente: Elaboración propia)

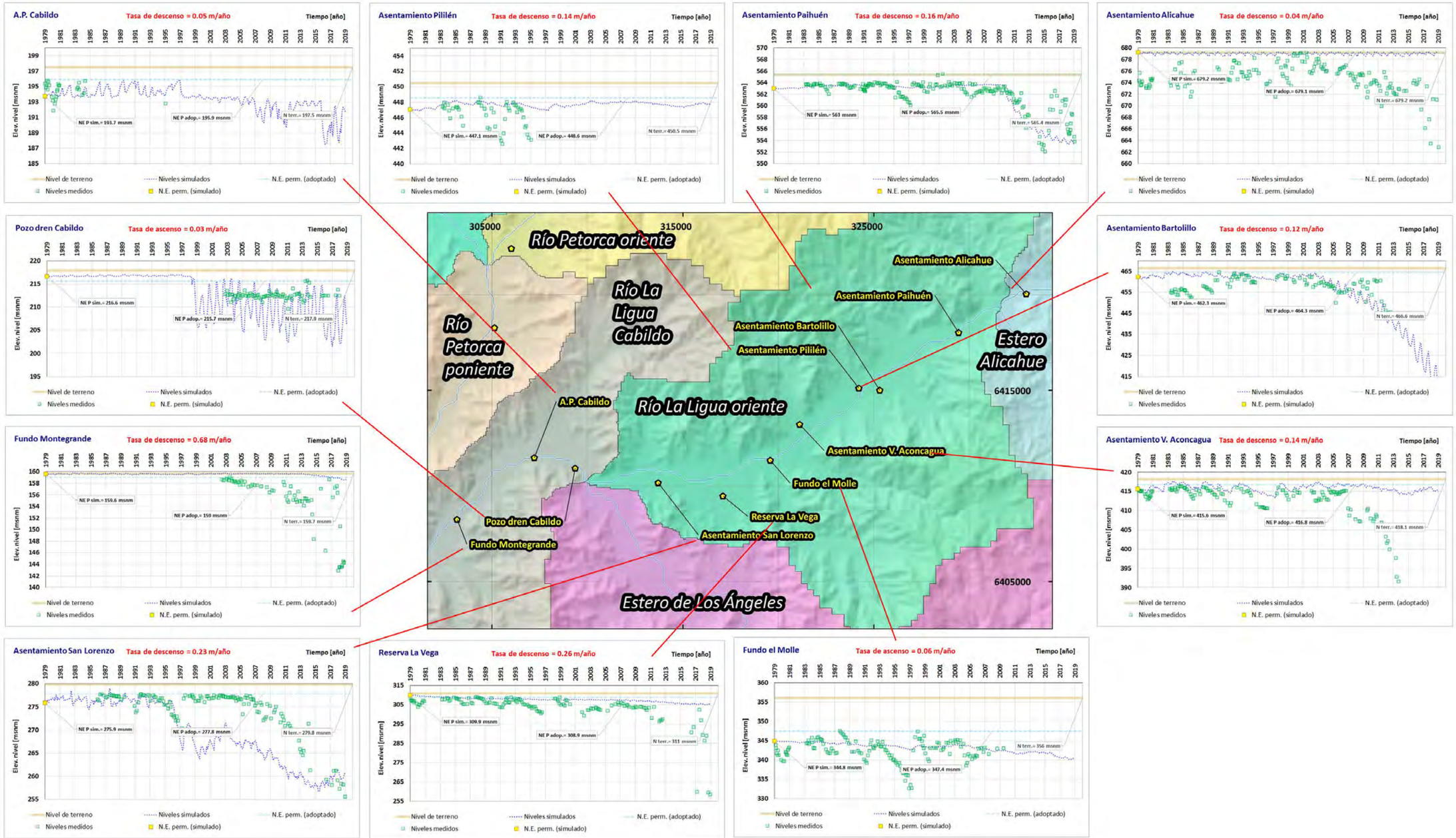


Figura 9-39. Niveles medidos y simulados en puntos de red de monitoreo DGA escenario histórico, calibración transiente (Fuente: Elaboración propia)